

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SUYA DOYMUŞ AHŞAP ESERLERİN**  
**KONSERVASYONUNDA KULLANILAN**  
**DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİNİN**  
**TARİHÇESİ VE GÜNCEL UYGULAMALAR**

**Zeynep Sare KARABÖREK**

**2501100221**

**TEZ DANIŞMANI**

**Doç. Dr. Hatice Işıl KOCABAŞ**

**İSTANBUL – 2019**



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS

TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : ZEYNEP SARE KARABÖREK Numarası : 2501100221

Anabilim Dalı / SUALTI KÜLTÜR  
Anasanat Dalı / Programı : KALINTILARINI KORUMA Danışmanı : DOÇ. DR. H. IŞIL ÖZSAİT KOCABAŞ

Tez Savunma Tarihi : 25.06.2019 Saati : 11:00

Tez Başlığı : " Suya Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonunda Kullanılan Dondurarak Kurutma Yönteminin Tarihçesi ve Güncel Uygulamalar "

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 36. Maddesi uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** OYBİRLİĞİ / ~~OYÇOKLUĞUYLA~~ karar verilmiştir.

| JÜRİ ÜYESİ                         | İMZA | KANAATİ<br>(KABUL / RED / DÜZELTME) |
|------------------------------------|------|-------------------------------------|
| 1- PROF. DR. ÜNAL AKKEMİK          |      | Kabul                               |
| 2- DOÇ. DR. H. IŞIL ÖZSAİT KOCABAŞ |      | Kabul                               |
| 3- DR. ÖĞR. ÜYESİ NAMIK KILIÇ      |      | Kabul                               |
|                                    |      |                                     |
|                                    |      |                                     |

| YEDEK JÜRİ ÜYESİ                       | İMZA | KANAATİ<br>(KABUL / RED / DÜZELTME) |
|----------------------------------------|------|-------------------------------------|
| 1- DR. ÖĞR. ÜYESİ EVREN TÜRKMENOĞLU    |      |                                     |
| 2- DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET FEVZİ UĞURYOL |      |                                     |

## ÖZ

### **SUYA DOYMUŞ AHŞAP ESERLERİN KONSERVASYONUNDA KULLANILAN DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ VE GÜNCEL UYGULAMALAR**

**Zeynep Sare KARABÖREK**

Suya doymuş ahşap eserler herhangi bir konservasyon çalışması yapılmadan kurumaya bırakılmamalıdır. Bu eserlerin konservasyonunda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri dondurarak kurutma yöntemidir. Gıda ve ilaç sektörü başta olmak üzere birçok alanda kullanılan dondurarak kurutma, nesnenin içindeki suyu veya çözücüyü süblimleştirme yoluyla uzaklaştırmak için kullanılan bir kurutma yöntemidir. Suya doymuş ahşap eserlerin kurutulması sırasında ve sonrasında karşılaşılan problemlere çözüm olarak farklı konservasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Dünyadaki farklı laboratuvarlarda suya doymuş ahşaba durağanlık kazandırmaya çalışan koruma uzmanları, diğer yöntemlerden göreceli olarak pahalı ve karmaşık olan dondurarak kurutma yöntemini tercih etmektedir. Bu tez çalışmasında, suya doymuş ahşap eserlerde dondurarak kurutma yönteminin gelişimi ve yöntemin farklı uygulamaları literatür taraması yapılarak araştırılmıştır. Yöntemin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle ahşabın yapısı, suya doymuş ahşapta bozulma ve tespit yöntemleri ile diğer konservasyon yöntemleri açıklanmıştır. Suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda kullanılan dondurarak kurutma yönteminin prensipleri ele alınmış, farklı ülkelerde yapılan uygulamalardan örnekler verilerek yöntemin gelişme süreci aktarılmış ve yöntemin günümüzdeki kullanımı yine örneklendirilerek açıklanmıştır. Sonuçta, dondurarak kurutma yönteminin suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda güvenle kullanılabilecek bir yöntem olduğu ve uygulanabilir yeni metotlar üzerinde de çalışmalar yapılması gerekliliği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Suya doymuş ahşap, dondurarak kurutma, konservasyon, restorasyon, PEG.

## **ABSTRACT**

### **HISTORY AND CURRENT APPLICATIONS OF FREEZE DRYING METHOD USED IN WATERLOGGED WOOD CONSERVATION**

**Zeynep Sare KARABÖREK**

Waterlogged wooden artefacts should not be allowed to dry without any conservation work. One of the most widely used methods in the conservation of these artifacts is the freeze drying method. Freeze drying, which is used in many areas especially in the food and pharmaceutical industry, is a drying method used to remove water or solvent from the object through sublimation. Different conservation methods have been developed as a solution to the problems encountered during and after drying of waterlogged wood. In different conservation laboratories around the world, conservation specialists who try to bring stability to waterlogged wood prefer the freeze-drying method, which is relatively more expensive and complex in comparison to the other methods. In this thesis study, the development of the freeze-drying method and the different applications of the procedure are investigated with a literature review. In order to better understand the method, the structure of wood, detection methods of deterioration of waterlogged wood as well as other conservation methods are explained. The principles of the freeze drying method in the conservation of waterlogged wood are described, the development of the method is narrated by giving examples from applications in different countries, and the current applications of the method are explained again with examples. In conclusion, it is shown that the freeze-drying method can be used safely in the conservation of waterlogged wooden artifacts and further studies should be carried out on new applicable methods.

**Keywords:** Waterlogged wood, freeze drying, conservation, restoration, PEG.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında suya doymuş arkeolojik ahşap eserlerde dondurarak kurutma yönteminin gelişimi ve yöntemin farklı ülkelerdeki kullanımları araştırılmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında beni yönlendirerek değerli katkılarını esirgemeyen, sabır ve anlayış gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Hatice Işıl Kocabaş'a teşekkür ederim.

İstanbul Üniversitesi (İÜ) Edebiyat Fakültesi, Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma Onarım Bölümü Başkanı Prof. Dr. Ufuk Kocabaş'a, İÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ayşe Dilek DOĞU'ya, İÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ünal AKKEMİK'e ve İÜ Edebiyat Fakültesi, Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma Onarım Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç'a tez çalışmama katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bu tez çalışmasının tamamlanması için beni teşvik eden ve yardımlarını esirgemeyen, görev yaptığım İstanbul Restorasyon ve Konservasyon Merkez ve Bölge Laboratuvarı Müdürü Ali Osman AVŞAR'a, Arkeolog-Konservatör Revza Ozil'e ve bana destek veren mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her zaman olduğu gibi bu çalışmamda da bana inanan ve beni cesaretlendiren annem Fatma Yalta'ya ve abim Abdullah Talha Yalta'ya ne kadar teşekkür etsem azdır. Eşim Yunus Karabörek ve kızım Begüm Kübra Karabörek bu kadar anlayışlı olmasaydı bu tez çalışması tamamlanamazdı. Sonsuz sabırları ve yardımları için onlara minnettarım.

Bu tez çalışmasını keşke görebilseydi dediğim, yüksek lisans öğrenimime başladığım ay kaybettiğim fakat hep arkamda desteğini hissettiğim babam Hamza Yalta'ya teşekkür ederim.

Zeynep Sare KARABÖREK

İSTANBUL, 2019

# İÇİNDEKİLER

*Sayfa*

|                          |      |
|--------------------------|------|
| ÖZ.....                  | iii  |
| ABSTRACT.....            | iv   |
| ÖNSÖZ.....               | v    |
| TABLO LİSTESİ.....       | ix   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....    | x    |
| SEMBOLLER LİSTESİ.....   | xiii |
| KISALTMALAR LİSTESİ..... | xiv  |
| GİRİŞ .....              | 1    |

## BİRİNCİ BÖLÜM

### SUYA DOYMUŞ AHŞAP VE KONSERVASYONU

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Ahşabın Yapısı .....                                                       | 4  |
| 1.1.1. Makroskobik Yapı .....                                                   | 4  |
| 1.1.2. Mikroskobik Yapı .....                                                   | 6  |
| 1.1.3. Hücre Çeperinin Yapısı.....                                              | 10 |
| 1.1.4. Kimyasal Yapı .....                                                      | 12 |
| 1.1.4.1. Selüloz.....                                                           | 12 |
| 1.1.4.2. Hemiselüloz.....                                                       | 13 |
| 1.1.4.3. Lignin .....                                                           | 14 |
| 1.1.4.4. Ekstraktif Maddeler.....                                               | 14 |
| 1.2. Suyu Doymuş Ahşapta Bozulma.....                                           | 15 |
| 1.3. Suyu Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonu.....                             | 21 |
| 1.3.1. Tuzdan Arındırma ve Demir Bileşiklerinin Uzaklaştırılması .....          | 22 |
| 1.3.2. Suyu Doymuş Ahşapta Tespit ve Bozulmanın Değerlendirilmesi.....          | 24 |
| 1.3.2.1. Işık Mikroskobu ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)<br>Analizi ..... | 25 |
| 1.3.2.2. Maksimum Su İçeriği .....                                              | 25 |
| 1.3.2.3. Yoğunluk.....                                                          | 26 |

### 1.3.3. Suyu Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonunda

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Uygulanan Yöntemler.....                                    | 27 |
| 1.3.3.1. Polietilen Glikol (PEG) Emdirme Yöntemi .....      | 28 |
| 1.3.3.2. şeker Emdirme Yöntemi.....                         | 31 |
| 1.3.3.3. Polimerizasyon (Melamin Formaldehid) Yöntemi ..... | 32 |
| 1.3.3.4. Karma Nucléart Yöntemi .....                       | 32 |
| 1.3.3.5. Organik Çözücülerin Kullanımı .....                | 33 |
| 1.3.3.6. Dondurarak Kurutma Yöntemi.....                    | 34 |

## İKİNCİ BÖLÜM

### SUYA DOYMUş AHşAP ESERLERDE DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİ

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Süblimleşme.....                                                    | 35 |
| 2.2. Vakumlu Dondurarak Kurutma Yöntemi.....                             | 36 |
| 2.2.1. Emdirme Malzemesi Seçimi .....                                    | 38 |
| 2.2.2. Vakumlu Dondurarak Kurutma Cihazı .....                           | 39 |
| 2.2.2.1. Kurutma Haznesi.....                                            | 40 |
| 2.2.2.2. Kondansör .....                                                 | 41 |
| 2.2.2.3. Vakum Pompası .....                                             | 41 |
| 2.2.2.4. Kontrol sistemi .....                                           | 41 |
| 2.2.3. Basınç ve Sıcaklık Değerlerinin Ayarlanması .....                 | 42 |
| 2.3. Vakumsuz Dondurarak Kurutma .....                                   | 44 |
| 2.3.1. Kış İklim Koşullarından Faydalan ılarak Yapılan Uygulamalar ..... | 44 |
| 2.3.2. Vakumsuz Dondurarak Kurutucu .....                                | 46 |
| 2.3.3. Diğer Vakumsuz Dondurarak Kurutma Uygulamaları .....              | 47 |

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### DONDURARAK KURUTMANIN VE SUYA DOYMUş AHşAP ESERLERİN KONSERVASYONUNDA DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Dondurarak Kurutmanın Kısa Tarihçesi ve Uygulama Alanları.....                               | 49 |
| 3.2. Suyu Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonunun Kısa Tarihçesi .....                            | 52 |
| 3.3. Suyu Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonunda Dondurarak Kurutma<br>Yönteminin Tarihçesi..... | 54 |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1. 1950-1970 Yılları Arası (İlk Uygulamalar) ..... | 54 |
| 3.3.2. 1971-1985 Yılları Arası .....                   | 59 |
| 3.3.3. 1986-2000 Yılları Arası .....                   | 70 |

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **SUYA DOYMUŞ AHŞAP ESERLERDE DONDURARAK KURUTMANIN GÜNCEL UYGULAMALARI**

|                                                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1. Danimarka Ulusal Müzesi-Roskilde 6 Batığı .....                                                      | 81         |
| 4.2. Fransa ARC-Nucléart Laboratuvarı .....                                                               | 83         |
| 4.2.1. Arles-Rhone 3 Batığı .....                                                                         | 83         |
| 4.2.2. Antibes Batığı .....                                                                               | 85         |
| 4.2.3. Lyon Saint Georges 4 Batığı .....                                                                  | 86         |
| 4.3. Norveç Denizcilik Müzesi-Barcode 6 (BC06) Batığı .....                                               | 88         |
| 4.4. Amerika Teksas A&M Üniversitesi-La Belle Batığı .....                                                | 89         |
| 4.5. Türkiye İstanbul Üniversitesi Yenikapı Batıkları Projesi Uygulama ve Araştırma<br>Laboratuvarı ..... | 91         |
| 4.5.1. Çamaltı Burnu I Batığı .....                                                                       | 91         |
| 4.5.2. Yenikapı Batıkları (YKI ve YK12) .....                                                             | 92         |
| 4.6. Kanada Québec Konservasyon Merkezi .....                                                             | 95         |
| 4.7. Almanya ve Çek Cumhuriyeti-Arkeo Montan Projesi .....                                                | 96         |
| 4.8. Portekiz-İspanya .....                                                                               | 97         |
| 4.9. İsveç .....                                                                                          | 98         |
| 4.9.1. Vasa Batığı Ahşapları .....                                                                        | 98         |
| 4.9.2. Årby Kazısı Eserleri .....                                                                         | 99         |
| 4.10. İngiltere-İngiliz Mirası Araştırma Departmanı .....                                                 | 101        |
| 4.11. Kore Ulusal Müzesi .....                                                                            | 102        |
| 4.11.1. Zırh Çerçevesi .....                                                                              | 102        |
| 4.11.2. Su Kabı .....                                                                                     | 103        |
| 4.11.3. Kılıç ve Kılıç Kını .....                                                                         | 104        |
| <b>SONUÇ .....</b>                                                                                        | <b>106</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                                                                     | <b>108</b> |

## **TABLO LİSTESİ**

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1: Ahşapta degradasyona neden olan bakteriler. .... | 16 |
|-------------------------------------------------------------|----|



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1: Bir ağacın özellikleri birbirinden farklı bölümleri.....                                                                                                                                                                                    | 5  |
| Şekil 1.2: İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç dokusu hücre yapısı.....                                                                                                                                                                               | 6  |
| Şekil 1.3: Torus ve margo. ....                                                                                                                                                                                                                        | 7  |
| Şekil 1.4: İğne yapraklı ağaçta (1) kenarlı geçit çiftinin şematik gösterimi ve (2)<br>aspirasyon durumunda olan geçit çiftinin şematik gösterimi. ....                                                                                                | 8  |
| Şekil 1.5: Geniş yapraklı ağaçta trahede tül oluşumu. ....                                                                                                                                                                                             | 10 |
| Şekil 1.6: Hücre çeperinin yapısı. ....                                                                                                                                                                                                                | 12 |
| Şekil 1.7: Selülozun açık formülü. ....                                                                                                                                                                                                                | 13 |
| Şekil 1.8: Suyu doymuş ahşap örneğinde ikinci hücre çeperleri geniş ölçüde<br>değişmiştir (A-B). Bozulmuş ahşap normal ahşap özelliklerini kaybetmiş<br>ve hücreler çökmüştür (C) .....                                                                | 17 |
| Şekil 1.9: <i>Teredo navalis</i> . ....                                                                                                                                                                                                                | 19 |
| Şekil 1.10: <i>Teredo navalis</i> 'in ahşaba verdiği zarar. ....                                                                                                                                                                                       | 19 |
| Şekil 1.11: <i>Limnoria Lignorum</i> .....                                                                                                                                                                                                             | 20 |
| Şekil 1.12: <i>Limnoria Lignorum</i> 'un ahşaba verdiği zarar. ....                                                                                                                                                                                    | 20 |
| Şekil 1.13: Suyu doymuş ahşap eser (Yenikapı Kazısı buluntusu). ....                                                                                                                                                                                   | 22 |
| Şekil 1.14: Şebeke suyunda uzun süre depolamada gelişen yumuşak çürüklük<br>mantarı saldırısını gösteren karaağaç örneği hücrelerinin SEM görüntüsü<br>(büyütme x 1000). ....                                                                          | 23 |
| Şekil 1.15: PEG ile işlem görmüş ve dondurularak kurutulmuş, asidik (pH gösterge<br>kağıdına bakınız) suya doymuş ahşap örneği.....                                                                                                                    | 23 |
| Şekil 1.16: İyi korunmuş ve bozulmuş hücrelere sahip çam örneği enine kesit SEM<br>görüntüsü. ....                                                                                                                                                     | 25 |
| Şekil 1.17: Bozulma durumuna göre I., II. ve III. sınıf ahşap.....                                                                                                                                                                                     | 26 |
| Şekil 1.18: Yaygın olarak kullanılan sağlamlaştırma maddelerinin kimyasal yapıları:<br>(1) keten tohumu yağı, (2) sakroz, (3) trehaloz, (4) laktitol, (5) Metil<br>akrilat / etil metakrilat kopolimer (Paraloid B72), (6) melamin ve (7)<br>PEG. .... | 28 |
| Şekil 1.19: Fransa ARC-Nucléart laboratuvarı ışınlama tesisi. ....                                                                                                                                                                                     | 33 |
| Şekil 2.1: Faz diyagramı ve üçlü noktanın gösterildiği grafik. ....                                                                                                                                                                                    | 36 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.2: Vakumlu dondurarak kurutma cihazı. ....                                                                   | 37 |
| Şekil 2.3: Kitosanın kimyasal yapısı. ....                                                                           | 39 |
| Şekil 2.4: Dondurarak kurutma cihazının dört ana bileşeninin şematik gösterimi. ...                                  | 39 |
| Şekil 2.5: Raylı sisteme sahip dondurarak kurutma cihazı şematik gösterimi.....                                      | 42 |
| Şekil 2.6: Moleküler kütlenin bir fonksiyonu olarak PEG'in ötektik ve çökme sıcaklığı grafiği. ....                  | 43 |
| Şekil 2.7: Fan eklemesi yapılmış bir dondurarak kurutma çadırı. ....                                                 | 45 |
| Şekil 2.8: Ev tipi dondurucuda yapılan dondurarak kurutma işlemi.....                                                | 47 |
| Şekil 2.9: Marsilya Gemisi'nin dondurarak kurutma mekanizmasının planı. ....                                         | 48 |
| Şekil 3.1: “ <i>chuño</i> ” patates üretimi. ....                                                                    | 49 |
| Şekil 3.2: Kan plazması dondurarak kurutma ekipmanı şematik çizimi.....                                              | 50 |
| Şekil 3.3: Günümüzdeki bir dondurarak kurutma tesisi. ....                                                           | 51 |
| Şekil 3.4: 1950'lerde Stockholm'deki Ulusal Antikalar Müzesi'nde bulunan alım kaynatıcı. ....                        | 53 |
| Şekil 3.5: Pesse kanosu. ....                                                                                        | 55 |
| Şekil 3.6: Oseberg eserinde oluşan çatlaklar.....                                                                    | 56 |
| Şekil 3.7: Ulster Müzesi'nde tasarlanan dondurarak kurutma cihazı. ....                                              | 62 |
| Şekil 3.8: Gottorp Kalesi'nde kullanılan 600 litre kapasiteli dondurarak kurutma cihazı.....                         | 63 |
| Şekil 3.9: Seibersdorf 'da bulunan araştırma merkezinde konservasyonu yapılan merdivenin çizimi. ....                | 63 |
| Şekil 3.10: Nara'daki büyük dondurarak kurutma cihazı. ....                                                          | 65 |
| Şekil 3.11: Quebec Koruma Merkezi'ndeki dondurarak kurutma çadırı. ....                                              | 67 |
| Şekil 3.12: İsviçre'de Biel Gölü'nde bulunan kanonun dondurarak kurutma aşaması .....                                | 73 |
| Şekil 3.13: Dover Teknesi'nin <i>in situ</i> görünümü. ....                                                          | 74 |
| Şekil 3.14: Dover teknesi. ....                                                                                      | 75 |
| Şekil 4.1: Danimarka Ulusal Müzesi'ndeki büyük dondurarak kurutma cihazında Roskilde 6 Batığının kurutulması. ....   | 78 |
| Şekil 4.2: ARC-Nucléart Laboratuvarı emdirme tesislerinde Lyon Saint-Georges Gemisi ahşaplarına PEG emdirilmesi..... | 80 |
| Şekil 4.3: Roskilde 6 Gemisi <i>in situ</i> görünümü. ....                                                           | 82 |

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.4: Roskilde 6 Gemisi'nin Londra'daki sergiye hazırlanması. ....                                                                                       | 83  |
| Şekil 4.5: Arles Batığı'nın bir parçasının Rhone Nehri'nden çıkartılması. ....                                                                                | 84  |
| Şekil 4.6: Arles Roma batığı. ....                                                                                                                            | 85  |
| Şekil 4.7: Antibes batığı ahşaplarının dondurarak kurutma işlemi. ....                                                                                        | 86  |
| Şekil 4.8: Lyon Saint Georges 4 Batığı <i>in situ</i> görünümü. ....                                                                                          | 86  |
| Şekil 4.9: Lyon Saint Georges 4 Batığı konservasyon çalışmaları. ....                                                                                         | 87  |
| Şekil 4.10: La Belle batığı. ....                                                                                                                             | 90  |
| Şekil 4.11: Yoğun <i>Teredo navalis</i> saldırısına maruz kalan 6 no'lu parçanın<br>konservasyon öncesi (sol) ve sonrası (sağ) durumu. ....                   | 92  |
| Şekil 4.12: YK 1 batığı <i>in situ</i> görünümü. ....                                                                                                         | 94  |
| Şekil 4.13: Atık su kanalı bölümlerinden birinin platform üzerinde sığınağa<br>yerleştirilmesi. ....                                                          | 96  |
| Şekil 4.14: Dippoldiswalde orta çağ madenleri. ....                                                                                                           | 97  |
| Şekil 4.15: DTPA'da ekstraksiyon işlemi ardından PEG emdirme ve dondurarak<br>kurutma işleminden önce (solda) ve sonra (sağda) iki ahşabın görünümü.<br>..... | 99  |
| Şekil 4.16: Alomla işlem görmüş ve asıl boyutlarını geri dönüşü olmayan bir şekilde<br>kaybetmiş olan küçük merdiven. ....                                    | 100 |
| Şekil 4.17: Dondurarak kurutma işleminden önce ve sonra tabletin görünümü. ....                                                                               | 102 |
| Şekil 4.18: Zırh çerçevesinin dondurarak kurutma işlemi öncesi ve sonrası<br>görünümü. ....                                                                   | 103 |
| Şekil 4.19: Su kabının dondurarak kurutma işlemi öncesi ve sonrası görünümü. ...                                                                              | 104 |
| Şekil 4.20: Daho-ri 1 nolu mezardan ele geçen kılıç ve kılıç kını. ....                                                                                       | 105 |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|            |                       |
|------------|-----------------------|
| %          | : Yüzde               |
| ×          | : Çarpım              |
| ®          | : Tescilli marka      |
| °          | : Derece              |
| cm         | : Santimetre          |
| gr         | : Gram                |
| g/mol      | : Gram/mol            |
| kg         | : Kilogram            |
| km/h       | : Kilometre/saat      |
| m          | : Metre               |
| mbar       | : Milibar             |
| %w/w       | : Ağırlıkça yüzde     |
| $U_{\max}$ | : Maksimum su içeriği |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|        |                                                                                            |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| AR     | : Arles-Rhone                                                                              |
| ARQUA  | : Museo Nacional de Arqueología Subacuática-Ulusal Sualtı Arkeoloji Müzesi                 |
| ASE    | : Anti-Shrinkage Efficiency-Anti-çekme etkinliği                                           |
| BC     | : Barcode                                                                                  |
| CCQ    | : Centre de Conservation Québec-Québec Konservasyon Merkezi                                |
| DTPA   | : Dietilentriamin pentaasetik asit                                                         |
| Ed.    | : Editör                                                                                   |
| EDDHMA | : Etilendiiminobis (2-hidroksi-4-metilfenil) asetik asit                                   |
| EDTA   | : Etilendiamin tetraasetik asit                                                            |
| ERDF   | : European Regional Development Fund/Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu                         |
| EVA    | : Etilen-vinil asetat                                                                      |
| FTIR   | : Fourier Transform Infrared Spektroskopisi                                                |
| ICOM   | : International Council of Museums-Milletlerarası Müzeler Konseyi                          |
| İÜ     | : İstanbul Üniversitesi                                                                    |
| LSG    | : Lyon Saint Georges                                                                       |
| MiBERZ | : Museum für mittelalterlichen Bergbau im Erzgebirge-Erzgebirge Ortaçağ Madenciliği Müzesi |
| MS     | : Milattan Sonra                                                                           |

|       |                                                                                              |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| NRICH | : National Research Institute of Cultural Heritage-Ulusal Kültürel Miras Araştırma Enstitüsü |
| PEG   | : Polietilen glikol                                                                          |
| S     | : ekme                                                                                      |
| SEM   | : Scanning Electron Microscope-Taramalı Elektron Mikroskobu                                  |
| t.y.  | : Tarih yok                                                                                  |
| vd.   | : Ve diğerkleri                                                                              |
| WOAM  | : Wet Organic Archaeological Materials-Islak Organik Arkeolojik Eserler                      |
| yy    | : Yüzyıl                                                                                     |
| YK    | : Yenikapı                                                                                   |

## GİRİŞ

Ahşap, insanların kullandığı ilk malzemelerden biridir. İnsanoğlu evriminin erken aşamalarında dahi ahşabı kullanmıştır. İnsanlık tarihi açısından önemli, en eski merkezlerin bazılarında ahşap kullanımına ilişkin izlere veya ahşap aletlere rastlanır. Örneğin; Peninj'de ortaya çıkartılan ve 1.7-1.5 milyon yıl öncesine tarihlendirilen Aşölyen taş aletlerde yapılan analiz sonuçları, bu aletlerin üzerinde ahşap işçiliği ile ilişkilendirilebilecek kalıntılar olduğunu göstermiştir (Dominguez-Rodrigo, vd., 2001). Ahşap günümüzde de farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılan hammaddelerden biridir. Bu tarihsel süreç dikkate alındığında oldukça çok ahşap nesne kullanılmış olmasına rağmen nispeten az arkeolojik eserin günümüze kadar korunagelmış olduğu düşünülebilir.

Aynı günümüzde olduğu gibi her ağaç türünün tarihte de bir kullanımı vardır. Örneğin; akmeşe sert, sağlam ve belirli derecede su geçirmezdir; fakat iyi bir yay yapmak veya kazıyıcı bir alet olarak ele almak için uygun değildir. Karaağaç, tokmak başındaki dayanıklılığıyla tanınır. Sarı ve beyaz çam kolayca işlenebilir ve esnektir; fakat çok sert ve sağlam değildir. Ardıç, çok çeşitli kullanımlar için sağlam ve uzun ömürlüdür. İnsanoğlu, ihtiyaçlarına bağlı olarak her ahşap türünün değerini öğrenmiş ve sayısız eser üretmiştir (Rodgers, 2004: 35). Ahşap eserler, geçmiş kuşakların becerileri ve yaratıcılıkları hakkında bilgi edinmemizi sağlamakla kalmaz; eserin yapım malzemesi olan ahşabın yapısındaki değişimler bize eserin kullanıldığı zamandaki çevre koşullarını ve geçen zaman içerisinde çevre koşullarındaki değişimi anlatır (Nilsson, Rowell, 2009: 11).

Ahşap organik bir malzemedir. Bu sebeple doğanın geri dönüşüm kimyasına maruz kalır. Geniş anlamda ahşap, karbondioksit ve suyun temel yapı taşından üretilmektedir ve doğada tekrar karbondioksit ve suya dönüşür. Ahşap eserler varlığını sürdürebilmesi için doğanın geri dönüşüm kimyasına karşı koymalıdır. Ahşabın bozulması geri dönüşü olmayan bir süreç olup degradasyona uğramış ahşap özgün durumuna geri döndürülemez (Nilsson, Rowell, 2009: 11, 13). Bu süreci geri döndüremesek de zamanında yapılan doğru müdahalelerle bu eserleri kazanarak günümüz toplumunun yararına sunabilir ve süreci yavaşlatarak bizden sonra gelecek

insan soyunun da yararlanmasını sağlayabiliriz. Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım bilimi bunun için çalışır. Bunu yaparken de çeşitli bilim dallarından yararlanır.

Suya doymuş ahşap konservasyonunda temel amaç, en az boyutsal ve görsel değişimle eseri suya doymuş durumundan kuru duruma getirmektir. Bu amaç, anlatımda kolay olsa da uygulamada bir takım zorluklar içerir. Konservasyon uygulamasına başlanmadan önce üzerinde çalışılan malzeme iyi tanınmalıdır. Ahşabın yapısını, özelliklerini, farklı koşullarda bulunduğunda bu özelliklerin nasıl değişebileceğini ve üzerinde bir uygulama yapıldığında nasıl tepki vereceğini bilmek gerekir. Ancak bu bilindikten sonra farklı uygulama yöntemleri karşılaştırarak eser için en uygununu seçme şansı olabilir.

Günümüzde suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri dondurarak kurutma yöntemidir. Dondurarak kurutma yöntemi, kazılardan suya doymuş olarak ele geçirilen özellikle ahşap ve deri gibi organik eserlerin kurutulması sırasında ve sonrasında karşılaşılan problemlere karşı ortaya konmuş bir c z md r. Ülkemizde suya doymuş ahşap konservasyonunda günümüze kadar çok sınırlı çalışma yapılmıştır. Yenikapı batıkları Türk bilim insanlarına bu alanda bilimsel anlamda ilk kez geniş kapsamlı araştırmalar ve uygulamalar yapma imkanı sağlamıştır. Bu  alışmalar, İstanbul  niversitesi tarafından Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında yapılmaya başlanmış ve YK 1 batığının konservasyon çalışması dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır (N. Kılıç, 2017). Bu çalışmaların ülkemizde suya doymuş ahşap konservasyonu konusunda yapılacak çalışmalara  nc  olacağı ve alandaki uygulamaların artacağı öngörülmektedir.

Ülkemizde suya doymuş ahşap konservasyonu konusunda çalışacak koruma uzmanlarının yararlanabileceği Türkçe kaynak sayısı sınırlıdır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda dondurarak kurutma yönteminin geleişme süreci ve günümüzdeki uygulamaları ele alınmıştır. Literatür taraması yapılarak yaklaşık 600 adet yayın (kitaplar, konferans bildirileri, süreli yayınlar, tez çalışmaları) incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Tezin 1. bölümünde

yöntemin daha iyi anlaşılabilmesi için ahşabın yapısı, suya doymuş ahşapta bozulma ve suya doymuş ahşapta tespit yöntemleri ile bu alanda kullanılmakta olan konservasyon yöntemleri açıklanmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde vakumlu ve vakumsuz dondurarak kurutma yöntemleri ele alınmıştır. 3. bölümde yöntemin gelişme süreci, son bölüm olan 4. bölümde ise yöntemin günümüzdeki kullanımı farklı ülkelerden örnekler verilerek açıklanmıştır. Çalışma sonucunda suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda dondurarak kurutma yöntemi konusunda kapsamlı bir çalışma ortaya konmuştur.



## BİRİNCİ BÖLÜM

### SUYA DOYMUŞ AHŞAP VE KONSERVASYONU

#### 1.1. Ahşabın Yapısı

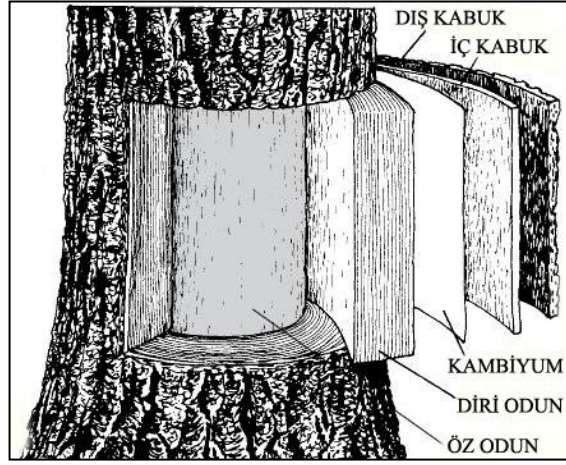
Odun, ağaçtan elde edilen bir ham maddedir. Ağaçların anatomik yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri türden türe değiştiği gibi benzer büyüme şartlarında gelişen aynı türe ait ağaçlarda bile farklılıklar bulunabilir (Doğu, 2002).

Ağaçlar, iğne yapraklılar (*Gymnospermler*: Açık tohumlular) ve geniş yapraklılar (*Angiospermler*: Kapalı tohumlular) olmak üzere başlıca iki gruba ayrılır. İğne yapraklı ağaçlar; çam, göknar, sedir ve ladin gibi ağaçlardır. Meşe, kestane, kayın, ıhlamur ve kavak ise geniş yapraklı ağaçlara örnek olarak gösterilebilir. İngilizce’de iğne yapraklı ağaçlar yerine “*soft woods*” yani yumuşak ağaçlar; geniş yapraklı ağaçlar yerine “*hard woods*” yani sert ağaçlar terimlerinin kullanılması, Türkiye’de de bazen benzer ifadeler tercih edilmesi söz konusu isimlerden yola çıkarak yanlış anlamalara yol açabilmektedir. Çünkü yumuşak ağaçlar terimi kullanılan bütün ağaçların yumuşak, hafif odunları ya da sert ağaçlar terimi kullanılan bütün ağaçların sert, ağır odunları yoktur (Erdin, 2009: 9-10; Wiedenhoeft, 2013: 11).

Bir ağaç gövdesinden üç farklı kesit elde edilebilir. Enine kesit ağacın boyuna eksenine dik yönde, radyal kesit ağaç ekseni boyunca özışınlarına paralel yönde ve teğet kesit yine ağaç ekseni boyunca yıllık halka sınırlarına teğet yönde kesilerek elde edilir. Bu kesit yüzeylerinde görülen özellikler birbirinden farklı olup odunun makroskobik ve mikroskobik tanımlamasında bunlardan yararlanılır (Bozkurt, Erdin, 2000: 30).

##### 1.1.1. Makroskobik Yapı

Yaşayan bir ağaç, görevleri ve özellikleri birbirinden farklı bölümlerden oluşur (Şekil 1.1). Ağaç gövdesi enine kesitinde bu bölümler ortak merkezli halkasal tabakalar şeklinde gözlenebilir. Bunlar; -dıştan içe doğru- dış kabuk, iç kabuk, kambiyum, diri odun, öz odun ve özdür (Wiedenhoeft, 2013: 10, 11).



**Şekil 1.1:** Bir ağacın özellikleri birbirinden farklı bölümleri.

**Kaynak:** University of Kentucky, 1997 (Çevrimiçi) <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/for/for59/for59.pdf>, 15 Nisan 2019.

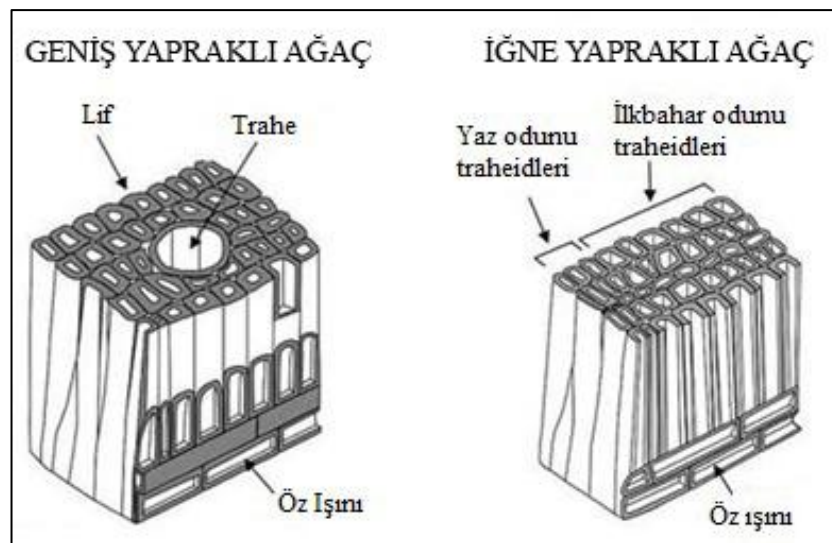
Ağaçta kambiyumun dış tarafında kalan dokulara kabuk adı verilir. Kambiyum, kabuk ve odun dokusu arasında yer alan ve her yıl bu dokulara ait hücreler üreten bir tabakadır (Wiedenhoeft, 2013: 11). Kambiyum her sene vejetasyon mevsiminin başında bölünmeye başlar ve bu bölünme vejetasyon mevsiminin sonuna kadar devam eder. Gövdenin iç kısmına doğru mevsim başında oluşan hücrelerin meydana getirdiği oduna ilkbahar odunu, mevsim sonunda oluşan hücrelerin meydana getirdiği oduna yaz odunu adı verilir. İlkbahar odunu hücreleri ince çeperli ve geniş lümenli, yaz odunu hücreleri ise kalın çeperli ve dar lümenlidir. Bu nedenle gövde enine kesitinde ilkbahar odunu açık renkli, yaz odunu ise daha koyu renkli görülür. Başka bir deyişle, bu iki odun arasındaki farklılık yıllık halkaların (yaş halkaları) daha belirgin şekilde ayırt edilmesini sağlar. Genellikle iğne yapraklı ağaçlarda yıllık halkalar çok belirgindir (Aslan, 1994a: 24-27). Yıllık halka yapısı özellikle yetişme ortamının sıcaklık ve yağış miktarına göre değişir ve bu değişiklikler odunun yoğunluğunu etkiler. Odun yoğunluğundaki değişimler de odunun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler (Topaloğlu, Ay, Altun, 2014: 92).

Öz odun, alet ve araç üretiminde ağacın en kullanışlı bölümü olduğu için koruma uzmanlarını en çok ilgilendiren kısımdır (Rodgers, 2004: 36). Ağaçta çap artımı ilerledikçe bir yaştan sonra gövdenin ortasında yer alan öze yakın dokular iletim ve depo etme görevini yapamazlar. Öz odun adı verilen ve ölü dokulardan oluşan bu iç kısım sadece destek görevi görür. Diri odun adı verilen bölüm ise canlı

dokulara sahip olan ve depolama görevine devam eden, iletim ve destek görevi de yapan kısımdır. Öz odun oluşumu sırasında odunda anatomik ve kimyasal değişimler olur (Örs, Keskin, 2008: 20). İğne yapraklı ağaçlarda geçitler aspirasyona uğrar, geniş yapraklı ağaçlarda trahelerde tül oluşur, yabancı madde birikimi de trahelerin tıkanmasına yol açar. Bunlardan dolayı öz odununun kurutulması ve emprenye edilmesi zordur. Öz odunda ekstraktif maddelerin birikmesinin etkisiyle rutubet azalır, öz odunun mantarlara ve böceklere karşı dayanıklılığı artabilir ve rengi diri odundan daha koyu olur. Öz odun diri odundan genellikle daha ağır, daha sert, daha düşük lif doygunluğu noktasına ve daha düşük higroskopisiteye sahiptir (Bozkurt, Erdin, 2000: 43-46).

### 1.1.2. Mikroskobik Yapı

Odun dokusu hücrelerden oluşur. Her odun hücresinde bir hücre çeperi ve bu çeperin sınırladığı lümen adı verilen hücre boşluğu vardır (Örs, Keskin, 2008: 4). İğne yapraklı ağaçların odun dokusunda genel olarak 4-5 hücre tipi bulunmakta, hacminin %90-95'i traheidlerden oluşmaktadır. Öte yandan daha fazla sayıda hücre tipine ve bu hücre tipleri içinde büyük bir değişkenlik derecesine sahip olan geniş yapraklı ağaç odunları daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Şekil 1.2) (Erdin, 2009: 14-18).

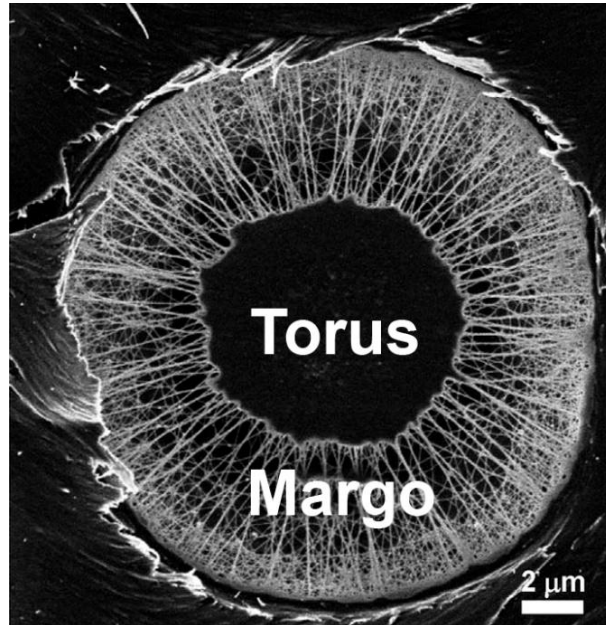


**Şekil 1.2:** İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç dokusu hücre yapısı.

**Kaynak:** Goto, 2017 (Çevrimiçi) <https://www.andrewgoto.com/2017/01/26/>, 18 Nisan 2019.

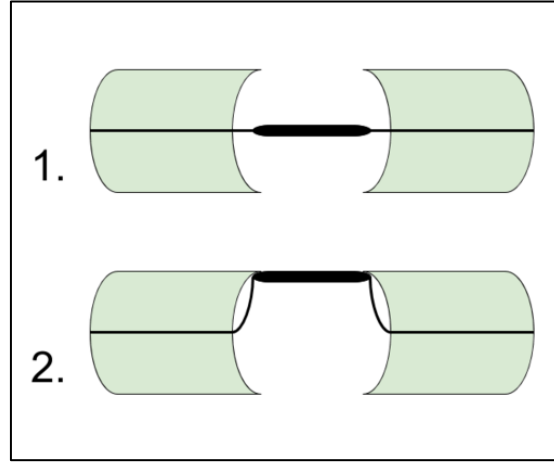
Hücreler arasında su ve besin alışverişi sekonder çeperdeki geçitler vasıtasıyla yapılır. Her geçit bir geçit zarı ile kaplanmış olup içinde bir geçit boşluğu vardır. Geçitler, bulundukları hücre dokularına göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak basit geçit ve kenarlı geçit olarak ikiye ayrılır (Örs, Keskin, 2008: 6, 7). Bitişik iki hücrede karşılıklı olarak geçit bulunduğunda bunlara geçit çifti denir. Bir hücre lümeninden diğer hücre lümenine sıvı ve gaz taşınmasında ana geçiş yolu geçit çiftleridir. Geçit çiftlerinin yapısı hücre tipine göre büyüklük, şekil ve yapı bakımından farklılık gösterir. Bu farklılık, odunun permeabilitesini, kurutulmasını ve emprenye edilmesini etkiler (Erdin, 2009: 13, 14).

İğne yapraklı ağaçlarda kenarlı geçit zarının orta kısmı iki yandan kalınlaşarak düğme şeklini almıştır. Torus olarak tanımlanan bu yapı ile geçit kenarı arasında margo denilen geçit zarı bulunur (Şekil 1.3). Margo, bir traheidden diğerine sıvı madde geçişini sağlar. Fakat hücreler kurumaya başlarsa geçitlerde oluşan basınç ve yüzey gerilimi etkisiyle torus mevcut konumundan kayarak geçit ağzını (porus) kapatır. Bu duruma geçit aspirasyonu adı verilir ve traheidler arası sıvı akışı engellenir (Şekil 1.4). Yaz odunu kenarlı geçitlerinde genel olarak aspirasyon gözlenmez (Bozkurt, Erdin, 2009: 90-95; Grattan, 1987: 57-58; Örs, Keskin: 7).



**Şekil 1.3:** Torus ve margo.

**Kaynak:** Venturas, vd., 2017: 362.



**Şekil 1.4:** İğne yapraklı ağaçta (1) kenarlı geçit çiftinin şematik gösterimi ve (2) aspirasyon durumunda olan geçit çiftinin şematik gösterimi.

**Kaynak:** Pit (Botany), (t.y.) (Çevrimiçi) [https://wiki.eanswers.net/en/Pit\\_\(botany\)](https://wiki.eanswers.net/en/Pit_(botany)), 18 Nisan 2019.

İğne yapraklı ağaç odunundaki hücreler traheidler ve paranşim hücreleridir. İletim ve destek görevi yapan traheidler, boyuna traheidler ve özışını traheidleri (enine traheidler) olmak üzere iki tipken; depolama görevi yapan paranşimler boyuna paranşimler, öz ışını paranşimleri ve epitel hücreleri olmak üzere üç değişik tiptedir. Ayrıca, iğne yapraklı ağaçlarda bir geçiş hücresi olarak düşünülen strand traheidler ve bazı türlerde reçine kanalları bulunur (Bozkurt, Erdin, 2000: 100).

Odunun önemli bir kısmını kaplayan boyuna traheidler, ağaç boyu yönünde uzanan ince, uzun, genellikle sivri uçlu, müstakil hücrelerdir. Yaz odunu traheidleri destek görevi, ilkbahar odunu traheidleri iletim görevi yapar. Hücreler arası su iletimi çeperlerindeki kenarlı geçitler ile sağlanır (Merev, 2003: 47- 50). Özışını Traheidleri ise bazı iğne yapraklı ağaçlarda görülen, enine yönde uzanan ve radyal yönde iletim yapan hücrelerdir. Öz ışını paranşim hücreleri, öz ışınları boyunca radyal yönde iletimi gerçekleştirirler. Bazı iğne yapraklı ağaçlarda az miktarda boyuna paranşim hücreleri bulunmakta olup bunlar üst üste dizilmiş kısa hücrelerdir (Bozkurt, Erdin, 2000: 107-110). Paranşim hücrelerinin asıl görevi depolama olmakla birlikte bazen iletim görevi de görürler. Bitişğinde yer alan hücrelerle hücrenin tipine göre değişen basit veya yarı kenarlı geçit çiftleri vasıtasıyla bağlantı sağlarlar (Erdin, 2009: 16).

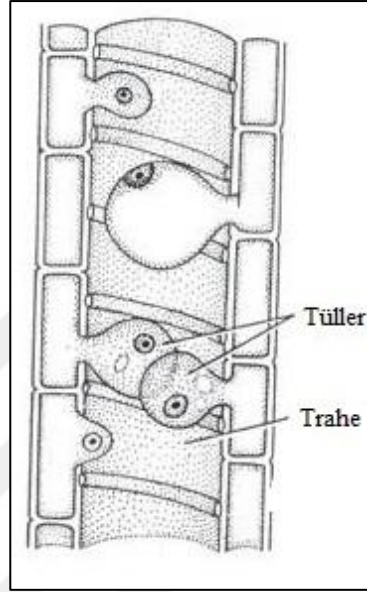
Geniş yapraklı ağaç odununu oluşturan hücreler görevlerine göre farklılaşarak özellik kazanmıştır. Destek görevini lif hücreleri üstlenirken, iletim

görevini traheler yürütür. Lif hücreleri, lif traheidleri ve libriform lifleri olarak iki şekilde bulunurlar. Geniş yapraklı ağaçların bir özelliği olarak trahelerin tıkanma riskine karşı vasküler ve vasisentrik traheidler yedek iletim hücreleri olarak görev yaparlar. Depolama görevini yerine getiren parانشim hücreleri, boyuna parانشimler ve özışını parانشimleri olmak üzere iki tiptir (Merev, 2003: 73). Traheler esas olarak bütün geniş yapraklı ağaçlarda bulunmakta olup iğne yapraklı ağaçlarda trahe bulunmaz (Boztoprak, Ergün, 2017: 91). Geniş yapraklı ağaçlar, enine kesitte bir yıllık halka içerisindeki trahe düzeni bakımından üç grupta toplanmaktadır. Bu özellikler ağaç türlerinin tanımında kullanılan önemli kriterlerdir. Meşe, dişbudak ve karaağaçta olduğu gibi ilkbahar odunlarındaki traheler yaz odunundakilerden daha büyük olan ağaçlara halkalı traheliler adı verilir. Akçaağaç, huş ve ıhlamurdaki gibi traheler yeknesak büyüklükte ve yıllık halka içerisinde düzenli dağılmışlarsa bunlar dağınık traheliler olarak adlandırılır. İlkbahar odunu traheleri ile yaz odunu traheleri arasındaki büyüklük farkı fazla değilse bunlar yarı halkalı traheliler adını alır. Ceviz ve kiraz bu grup ağaçlardandır (Bozkurt, Erdin, 2000: 128).

Trahe hücreleri sadece su iletimi görevi yapmakta olup toprakta bulunan suda erimiş mineral maddeleri yapraklara kadar iletirler. Ergin haldeki trahe hücreleri ligninleşmiş çeperli ölü hücrelerdir. Ağaç boyu yönünde üst üste dizilen trahe hücrelerinin arasında bulunan enine çeperler trahe hücrelerinin gelişme aşamasında kaybolur ve trahe adı verilen bir boru sistemi oluşur. Kaybolan enine çeperlerde ise perforasyon tablası denilen bir yapı oluşur (Merev, 2003: 84). Yapraklı ağaç odunlarında hücreler arası iletimi sağlayan kenarlı ya da yarı kenarlı geçitlerin yapısı temas ettikleri hücre tipine bağlı olarak değişir. Trahe-trahe arasındaki geçitler çok belirgin olup almasıklı, karşılıklı ve merdivenimsi olmak üzere üç değişik yapıdadır (Bozkurt, Erdin, 2000: 133).

Geniş yapraklı ağaçlarda bir trahenin bitişiğinde bulunan parانشim hücrelerinin içerikleri ile birlikte geçitler vasıtasıyla trahe lümenine girip burayı tamamen ya da kısmen doldurması ile tül (till) oluşur (Şekil 1.5). Tül oluşumu trahelerin çaplarıyla ilişkili olup büyük çaplı trahelerde görülür. Özodunu traheleri tüllerle tamamen tıkanmış zaman bu odunda su iletimi gerçekleşmez. Tül oluşumu sadece özodunda olmaz. Trahelerde su miktarı normalin altına düştüğünde odun

içerisinde herhangi bir bölgede de oluşabilir. Ağaç kesildikten hemen sonra diri odundaki tüm trahelerin içerisinde tüller oluşur. Trahelerin tüllerle dolması sıvı ve gaz akışını engelleyerek kurutma ve emprenye işlemlerinde problemlere neden olur (Bozkurt, Erdin; 2000: 136-138; Merev, 2003: 107-109).



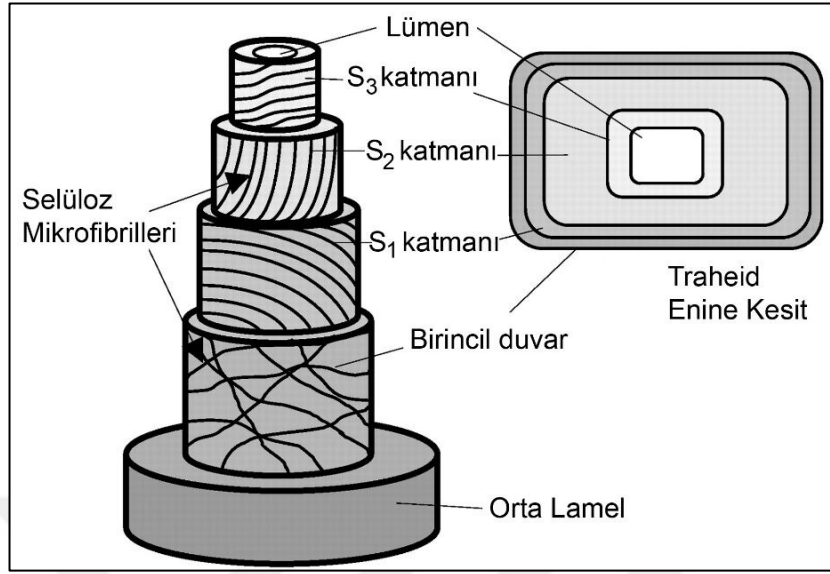
**Şekil 1.5:** Geniş yapraklı ağaçta trahede tül oluşumu.

**Kaynak:** Tyloses, (t.y.) (Çevrimiçi) <http://www.biologydiscussion.com/shoot-system/stems/dicotyledonous-stems/secondary-growth-in-dicotyledonous-stems-with-diagram-botany/20516>, 22 Nisan 2019.

### 1.1.3. Hücre Çeperinin Yapısı

Hücre çeperi temelde karbon, hidrojen ve oksijenin çeşitli kombinasyonlarda birleşmesiyle meydana gelen selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşur. Selüloz, uzun zincir moleküllerden meydana gelir ve bunlar tarafından oluşturulan demetler iplik şeklindeki mikrofibrilleri oluşturur. Her mikrofibril içindeki selüloz uzun zincir molekülleri birbirine paralel uzanmakla (kristalit zon) birlikte kısmen düzensiz halde de (amorft zon) olabilirler. Bu mikrofibriller hücre çeperinde kafes şeklinde bir iskelet oluşturmakta olup çevresi hemiselüloz ile bir kabuk gibi sarılmakta mikrofibriller arasında kalan boşlukları ise lignin doldurmaktadır (Erdin, 2009: 22; Örs, Keskin, 2008: 6). Ahşaba yapılan kısa süreli yüklemelerde selülozun yüksek elastikiyete sahip olması öte yandan ligninin plastik özellik göstermesi ahşaba diğer yapı malzemelerinden ayrı bir özellik kazandırmaktadır (Bozkurt, Erdin, 2009: 78).

Hücre çeperi primer çeper, sekonder çeper ve sigilli tabaka adı verilen farklı tabakalardan meydana gelir. Primer çeper; yeni oluşan bir hücrenin protoplazmasını çevreleyen ince, esnek bir tabaka olup hücre çeperinin en dış katmanıdır. Bu tabaka, selüloz mikrofibrillerinin hemiselülozla bağlanmasıyla oluşur. Sonrasında matris bir yapı oluşturmak için pektinle çapraz bağlanırlar. Primer çeperde mikrofibriller gevşek yapıda ve düzensiz bir örgü şeklinde sıralanmıştır. Sekonder çeper kendi içinde S1, S2 ve S3 olmak üzere 3 tabaka içerir (Şekil 1.6). Her katman, bileşenlerin kalınlığı ve oranı ile değişen bir lignin/hemiselüloz matrisi şeklinde gömülü olan kristal selüloz bileşiklerden oluşur. S1 tabakasında mikrofibriller yatık helezon şeklinde sıralanmış olup bu tabakanın mikrofibril düzeni hücrede enine yönde çekme direncini artırır ve rutubetle karşılaştığında boyuna yöndeki değişimlerden sorumludur. Sekonder çeperin S2 tabakası odunun daralma, genişleme ve mekanik özellikleri üzerinde en fazla etkinliğe sahip olan tabakasıdır. Hücre çeperinin en kalın kısmı olup en yüksek selüloz konsantrasyonuna sahiptir. Bu tabakada mikrofibriller, mikrofibrillerin hücre eksenine dik olarak yönlendiği S1 ve S3 tabakalarının aksine, 10° ile 30° arasında açı yaparlar. Bu farklılıklar ahşabın anizotrop yapısına katkıda bulunur. Bu anizotropi; yılın başlarında üretilen, ilkbahardaki olumlu büyüme koşulları nedeniyle daha büyük ve boyutları değişken olan ağaç hücrelerine sahip ilkbahar odununda daha belirgin olup yılsonuna doğru gelişen, genellikle yüksek yoğunlukta ve daha küçük boyutta hücrelere sahip olan yaz odunu daha izotropiktir. İki bitişik hücrenin primer çeperleri arasında yer alan orta lamel ise ahşap hücrelerinin birbirine yapışmasından ve hücresel ağın sabitlenmesinden sorumlu pektin/lignin matrisidir (Walsh-Korbs, Averous, 2019: 168; Örs, Keskin, 2008: 4; Bozkurt, Erdin, 2000: 80-82).



**Şekil 1.6:** Hücre çeperinin yapısı.

**Kaynak:** Plomion, vd., 2001 (Çevrimiçi) <http://www.plantphysiol.org/content/127/4/1513>, 25 Nisan 2019.

#### 1.1.4. Kimyasal Yapı

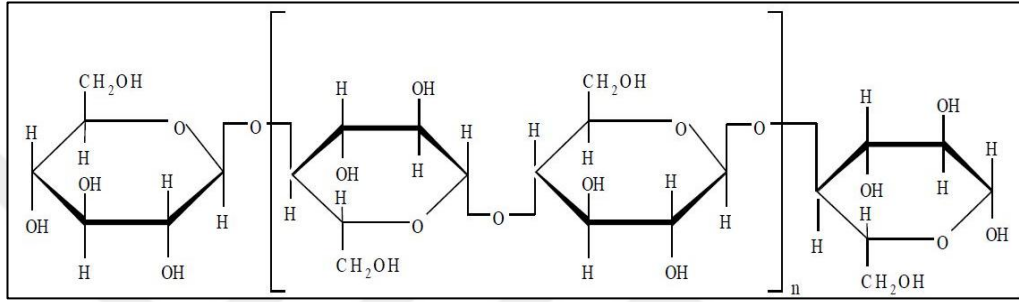
Odunun asıl bileşikleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Selüloz ve hemiselüloz beraberce holoselülozu oluşturur. Odunun yan bileşikleri ise reçine, eterik yağlar, karbonlu hidrojenler, tanen, boyar maddeler, pektin, nişasta, protein, organik asitler, anorganik tuzlar, kül ve azot gibi maddelerdir (Aslan, 1994b: 10).

Geniş yapraklı ağaçlar %40-50 selüloz, %15-25 lignin ve %15-25 hemiselüloz içerir. Kalan bileşenler çeşitli hücre dışı bileşiklerden oluşur. İğne yapraklı ağaç odunları, geniş yapraklı ağaç odunlarıyla hemen hemen aynı miktarda selüloz (%40-50) içerirken %5-10 daha fazla lignin ve daha az miktarda hemiselüloz içerirler (Blanchette, 2000: 189, 190).

##### 1.1.4.1. Selüloz

Selüloz ( $C_6H_{10}O_5$ ), odun hücre çeperinin yapı iskeletini oluşturan ve doğada en sık rastlanan organik maddelerden biridir. Bitkilerde genellikle hemiselüloz ve ligninle birlikte bulunmakla beraber pamuk lifleri hemen hemen saf selülozdur. Selüloz, glükoz moleküllerinden oluşur. Bitkiler klorofil, güneş enerjisi, su ve havanın yardımıyla glikoz üretirler. Glikozun polimerizasyonu ve su kaybetmesi ile

selüloz meydana gelir. Glikoz molekülleri yan yana birleşerek uzun selüloz zinciri molekülleri oluştururlar. Her bir selüloz zincirinde çift numaralı anhidrit glikoz molekülü ile tek numaralı anhidrit glikoz molekülü  $180^\circ$ 'lik bir açıyla birleşmiştir. Bu birleşmede belirsiz miktarda glikoz molekülünün birbiriyle eklenmesine polimerizasyon adı verilir (Aslan, 1994b: 16-18). Selülozun açık formülü Şekil 1.7'de gösterilmektedir.



**Şekil 1.7:** Selülozun açık formülü.

**Kaynak:** Bilici, 2014 (Çevrimiçi) [http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/ibrahimbilici\\_12.04.2014\\_4E1P.pdf](http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/ibrahimbilici_12.04.2014_4E1P.pdf), 29 Nisan 2019.

Formülünde de anlaşılaçağı gibi selüloz molekülünde çok sayıda hidroksil grubu bulunur. Hidroksil grupları ile su arasındaki çekim gücü fazladır. Su, selülozun özellikle amorf kısımları tarafından emilir ve az miktarda kristalin kısımlara nüfuz eder (Farmer, 1967: 9-14).

#### 1.1.4.2. Hemiselüloz

Selüloz gibi polimerik bir malzeme olan hemiselüloz, yapısı bakımından selüloza benzemekle birlikte bazı önemli özellikleri bakımından ondan farklıdır. Selüloz tümüyle glukoz birimlerinden oluşurken hemiselüloz altı karbonlu (glukoz galaktoz ve mannoz) ve beş karbonlu (ksiloz ve arabinoz) şekerlerden oluşur. Ayrıca hemiselüloz, selülozda bulunmayan uronik asit grupları içerir. Zincir molekülleri selüloz zincir moleküllerinden daha kısadır ve genellikle dallanma gösterir. Hemiselülozlar asitle kolayca hidrolize olur ve alkalilerle çözünürler. Hemiselülozlar; ksilan, mannan ve arabinogalakatan olarak üç grupta sınıflandırılırlar. Geniş yapraklı ağaçlardaki hemiselüloz oranı iğne yapraklı ağaçlardakinden daha fazladır. Bu iki ağaç türündeki hemiselüloz yapısı da değişiktir (Farmer, 1967: 16-18).

#### **1.1.4.3. Lignin**

Lignin de selüloz gibi polimerik bir materyaldir fakat ligninin polimer tipi farklıdır. Lignin molekülü fenilpropan çekirdeklerinden oluşmuştur. Bu üç karbon yan zincirli aromatik bir halkadır. Selüloz, fiber yapıda ve linear yapıda iken lignin amorf ve izotropik yapıdadır. Orta lamelde fazlaca bulunan lignin, fibriller arasında bağlayıcıdır. Lignin molekülleri asit hidrolizine dirençlidir ve daha küçük parçalara kolaylıkla ayrılmazlar (Farmer, 1967: 18-22).

Lignin, selüloolitik mikroorganizmalar tarafından degrede edilmesine karşı odunu korur. Guayasil lignin ve syringil lignin olmak üzere ligninin iki ana formu vardır. Guayasil lignin, mikrobiyolojik degradasyona karşı syringil ligninden daha dayanıklıdır. Bu nedenle; neredeyse sadece guayasil lignin içeren iğne yapraklı ağaç odunları, guayasil ve syringil karışımı lignin içeren geniş yapraklı ağaç odunlarından daha sağlamdır (Nilsson, Rowell, 2009: 12-13).

#### **1.1.4.4. Ekstraktif Maddeler**

Ekstraktif maddeler nötr, organik çözücülerle ya da suyla ekstre edilebilen odun bileşenleridir (Umezawa, 2001: 213). Ekstraktifler, ılıman iklim kuşağında yetişen ağaç odunlarında az miktarda bulunurken bazı tropikal ağaç odunlarında fazla miktarda bulunabilir. Oranı %40'lara kadar yükselebilir (Bozkurt, Erdin, 2000: 72).

Odun türleri arasında, odunun hücre çeperinin üç ana kimyasal bileşeninin - selüloz, hemiselüloz ve lignin- kimyasal yapısının farklılıkları azken; ekstraktif bileşim büyük bir çeşitlilik gösterir. Hücre çeperi polimerleriyle kıyaslandığında düşük konsantrasyonda bulunmasına rağmen bu fraksiyon her bir odun türünü kimyasal olarak karakterize eder Odun ekstraktiflerinin çoğu bileşeni ikincil metabolitler olarak sınıflandırılır. Belirli bileşiklerin dağılımı belirli ağaç türleriyle sınırlı olduğundan dolayı odunsu bitkilerin kimyasal sınıflamasında temel teşkil eder. Birçok fenolik bileşik öz odunda toplanırken diri odunda eser miktarda bulunur (Umezawa, 2001: 213).

Ekstraktifler odunun rengi, kokusu ve dayanıklılığı üzerinde baskın maddelerdir. Ayrıca kuruma, adezyon, higroskopisite özelliklerini de etkiler. Birçok ekstraktif belirli biyolojik aktiviteye sahiptir. Çeşitli odunlar ilaç kaynağı olarak yüzyıllardır kullanılmaktadır (Umezawa, 2001: 213). Mantar ve böceklerle karşı koruyucu etkili organik maddeler permeabilityi azaltır ve yoğunluk, sertlik ve basınç direncini arttırabilir (Bozkurt, Erdin: 2000: 72).

## **1.2. Suya Doymuş Ahşapta Bozulma**

Arkeolojik kazılarda ele geçen ahşaplar; Bölüm 1.1’de açıklanan “odunsu doğalarının” korunması nedeniyle kuru, kömürleşmiş, suya doymuş, sub-fosil ve fosilleşmiş olmak üzere birkaç temel korunma durumunda bulunur (Lev-Yadun, 2007: 142). Suya doymuş ahşap, taze ahşaba benzeyen fakat kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından ondan farklı, bozulmuş bir yapıdır (Florian, 1990: 3-34; Björda 2012: 119).

Ahşapta bozulma, ahşabın kendisi ve gömülü olduğu ortam arasındaki karmaşık ilişkinin sonucudur (English Heritage, 2012: 8). Ahşap gömülü olduğu alana bağlı olarak değişim geçirir. Bu değişimler onu eninde sonunda toza, humusa veya kömüre dönüştürür ya da mineralleştirir. Gömülü suya doymuş ahşapların çoğu diyajenezin erken döneminde olup diyajenez, tortul materyallerin yavaşça sıkıştığı ve sonunda kayaç formuna dönüştüğü doğal bir süreçtir. Fakat bazen içinde bulunduğu ortamla bir dengeye ulaşmış olan ahşap, bir tabaka içinden zaman kapsülü gibi sağlam olarak belirir (Florian, 1990: 5).

Ahşap uzun yıllar ayakta kalabilen dayanıklı bir malzeme olmasına karşın bunu belirleyen belli başlı faktörler vardır. Bunlardan biri odunun kimyasal yapısıdır ki bu yapı da oksijen, nem, pH, sıcaklık, mikroorganizmalar gibi diğer ana faktörlerle etkileşim içindedir. Ahşaba zarar veren bütün faktörler bir arada bulunduğu ahşabın ayakta kalması zor olabilir. Ilık bir ortamda mikroorganizmalarla temas halinde bulunan bir ahşabın fazla süre ayakta kalması mümkün olmayabilir. Çünkü ahşap, esmer çürüklük mantarı saldırısına uğrayarak ağırlık ve dayanım kaybedecektir. Su ve mikroorganizmalarla temas halinde bulunan ahşap da oldukça bozulmuş bir durumda ele geçebilir. Gemi ahşapları, *Terrado Navalis* ve *Limnoria*

tarafından kötü bir şekilde zarara uğrayabilir (Nilsson, Rowell, 2012: 6-8). Karasal gömü ortamlarının çoğunda odun hızla bozulur ancak kuru bir mezarın içine gömüldüğünde veya mikrobiyal aktiviteyi engelleyen koşullar altındaysa bozulma süreci yavaşlayabilir (Blanchette, 2000: 194). Hangi gömü alanı özelliklerinin en iyi korumayı sağladığına dair bir tespit yapmak gerekirse bariz özellikler ışığı, oksijeni ve anaerobik bakterileri ortadan kaldıracak bir derinlikte hızlı gömülmedir. Bu, ahşabı bir anlamda paketler (Florian, 1990: 18).

Yapılan araştırmaların sonuçları, denizde ve karada suya doymuş ortamlarda ahşapta ana bozunma kaynağının bakteriler ve mantarlar olduğunu göstermektedir (Powell, vd., 2001; Björdal, 2012; Björdal, vd., 2000; Köse, 2013; Blanchette, 2000).

Bakteriler, yaşayan en küçük mikroorganizmalar olup geliştikleri ortam şartlarına bağlı olarak aerob ve anaerob olarak iki gruba ayrılırlar. Aerob bakteriler, gelişmeleri için moleküler oksijene ihtiyaç duyarken anaerob bakteriler moleküler oksijenin bulunmadığı yerlerde bile yaşamlarını devam ettirebilir ve fermantasyon oluşturabilirler (Erdin, 2009: 47). Ahşabı degrade eden bakteriler kavitasyon (oyuk oluşturan), tünel ve erozyon bakterileri olarak üç gruba ayrılır. Tablo 1.1 bu bakterilerin ahşabın hangi bileşiklerine ve nasıl zarar verdiklerini göstermektedir (Blanchette, 2000: 192).

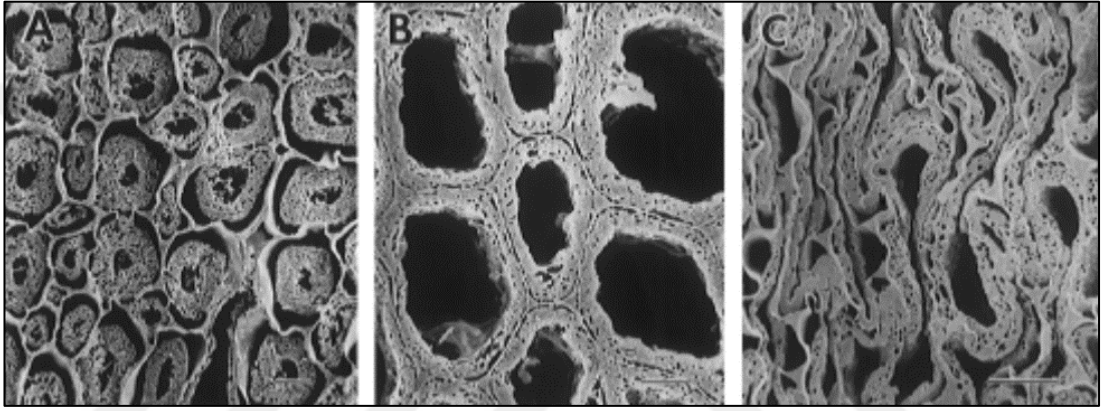
**Tablo 1.1:** Ahşapta degradasyona neden olan bakteriler.

| Bakteri    | Tüketilen Bileşenler                                                         | Bozulmanın Özellikleri                                            |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Erozyon    | Karbonhidratlar tüketilir. Lignindeki değişikliğin derecesi bilinmemektedir. | Erozyon nedeniyle çok miktarda hücre çeper kalıntısı kalır.       |
| Tünel      | Karbonhidratlar ve biraz lignin tüketilir.                                   | Sekonder çeper ve orta lamelde küçük tüneller oluşur.             |
| Kavitasyon | Karbonhidratlar tüketilir. Lignindeki değişikliğin derecesi bilinmemektedir. | Sekonder çeperde oyuklar oluşur ve hücre çeper kalıntısı bırakır. |

**Kaynak:** Blanchette, 2000: 192.

Ahşaba zarar veren bakterilerden erozyon bakterileri, diğer bakteriler ve mantarlardan farklı olarak düşük oksijen konsantrasyonlarında ahşaba zarar verebilirler (Björdal, 2012: 119). Bu bakteri, ahşaba yüzeyden zarar vermeye başlar. Geçitler ve öz ışınları yoluyla traheidlerin hücre lümenlerine girer ve hücre çeperine

saldırarak mikrofibriller boyunca hizalanır. Selüloz açısından zengin S2 tabakasına oldukça zarar verirken lignin açısından zengin olan orta lamelle pek zarar vermedikleri için birbirini tutan orta lamel ağı sağlam kalır. Degrede olmuş hücre çeperi su ile dolar ve orta lamel ahşabın bütünlüğünü koruması için gerekli dayanımı sağlar. Bu durumdaki suya doymuş ahşap ıslak koşullarda hala formunu koruyabilir ve bir bütün olarak kalabilir. Fakat kontrolsüz kurursa zayıflamış hücreler çöker (Şekil 1.8) (Björđal, 2012: 119; Blanchette, 2000: 193, 194).



**Şekil 1.8:** Suya doymuş ahşap örneğinde ikinci hücre çeperleri geniş ölçüde değişmiştir (A-B). Bozulmuş ahşap normal ahşap özelliklerini kaybetmiş ve hücreler çökmüştür (C). SEM görüntüsü.

**Kaynak:** Blanchette, 2000: 203.

Bazı çalışma sonuçlarına göre (Björđal, vd., 1999; Björđal, vd., 2000) suya doymuş ahşaplarda erozyon bakterilerinin sebep olduğu bozulmanın derecesi farklılık gösterebilir. Bir ahşabın farklı bölümlerinde kayda değer bir şekilde farklı bozulma dereceleri görülebilir. Farklı oksijen seviyelerinde mikroorganizmaların türü ve bozulmanın derecesi farklı olabilir. Tortullaşma derinleştikçe bozulma yavaşlayabilir ve ahşap korunmuş görünmesine rağmen hücreleri ağır şekilde bozulmuş olabilir. Bazı ahşap örnekleri mikrobiyal bozulmaya daha yatkın olabilir (Björđal, Nilsson, 2008).

Mantarlar da bakteriler gibi yaşayıp gelişebilmek için ahşabın hücre çeperindeki bileşenleri yaşamsal faaliyetlerinin bir parçası olarak kullanırlar. Ahşap çürüklük mantarları; beyaz çürüklük mantarları, esmer çürüklük mantarları ve yumuşak çürüklük mantarları olmak üzere üçe ayrılır. Beyaz ve esmer çürüklük

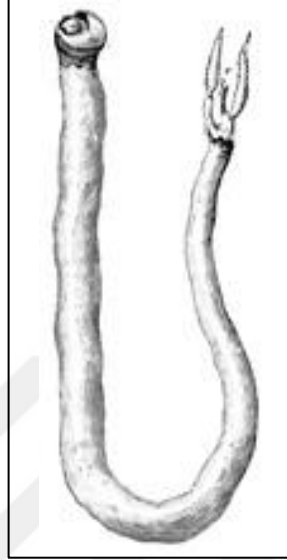
mantarlarının birçoğu düşük oksijen konsantrasyonlarını tolere edebilir fakat oksijensiz ortamda gelişmezler. Suyu doymuş ortamları tolere edemezler. Suyu doymuş ahşapta yumuşak çürüklük incelendiğinde bu türün daha düşük oksijen seviyelerinde ahşaba zarar verdikleri görülür. Yumuşak çürüklük mantarları genellikle lignini degrede etmezken hücre çeperindeki selülozu tüketirler (Nautical Archaeological Society, 2009: 30, 31).

Suyu doymuş ahşapta mikrobiyolojik bozulmanın daha az önemli olduğu durumlar vardır. Ahşap, deniz ortamında hızla ahşap delicilerin saldırısına uğrayıp birkaç yıl içerisinde dekompoze olabilir (Björdal, 2012: 121). Denizde yaşayan odun delici canlılar, kabuklular ve yumuşakçalardır (Sivrikaya, 2004: 137). Yumuşakçalardan *Teredinidae*'ler ve kabuklular grubuna dahil olan *Limnoridae*'ler oldukça yaygın ve zararlı ahşap delicilerdir (Sivrikaya, 2004: 137, 138; Dickinson, 1991: 11; NAS, 2009: 30) Tüm ahşap deliciler yaşamlarını sürdürebilmek için belirli tuzluluk, sıcaklık, derinlik ve çözünmüş oksijene ihtiyaç duyarlar. Çözünmüş oksijen, ahşap delicilerin varlığını sürdürebilmesi için çok önemli bir faktördür. Uygun tuzluluk ve sıcaklık olsa bile çözünmüş oksijen yoksa birçok ahşap delici yaşamını sürdüremez. Ahşap eser hızla sedimente gömülür veya oksijensiz sularda kalırsa bu canlılar tarafından saldırıya uğrama riski azalır. Baltık Denizi'nde tuzluluk ve sıcaklık düşük olduğu için çok sayıda iyi korunmuş durumda batık bulunmaktadır (NAS, 2009: 30).

*Teredinidae*'ler solucana benzer, ön kısmını örten küçük kabuğa sahip iki kabuklu yumuşakçalardır (Şekil 1.9). Kabuklarını törpü gibi kullanarak odunu delerler, dehidrasyon ve predatorlarından korunmak için paletleri ile oyuğu kapatırlar ve açtıkları deliklerin yüzeyini kalkerli bir maddeyle kaplarlar. Bazı türlerin uzunluğu iki metreyi bulabilmekte olup en uzun boylarına açtıkları oyuklarda ulaşırlar. *Teredinid*'lerin çoğu tuzluluk oranı yüksek olan sularda yaşarlar (Sivrikaya, 2004: 137, 138) . Yaratıkları tahribat öylesine büyüktür ki enine kesitte ahşap bir elek gibi görünür (Şekil 1.10) (Unger, vd., 2001: 134).

*Limnoria*'lar küçük kabuklulardan olup basık, *isopod*'a benzer, sarı-kahverengi canlılardır. Keskin dişlere sahip güçlü çeneleri vardır. Ahşapta yuvarlak,

kavisli oyuklar açarlar. Ahşabı dış kısmından tabaka tabaka tahrip ederek ilerlerler (Şekil 1.11 ve Şekil 1.12) (Unger, vd., 2001: 136).



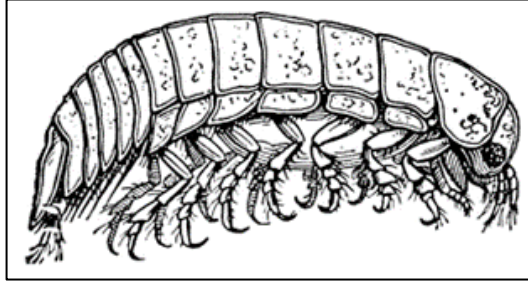
**Şekil 1.9:** *Teredo navalis*.

**Kaynak:** The Popular Science Monthly, 1878 (Çevrimiçi) <https://archive.org/details/popularsciencemo13newy/page/550>, 03 Mart 2019.



**Şekil 1.10:** *Teredo navalis*'in ahşaba verdiği zarar.

**Kaynak:** *Teredo navalis* in wood, (t.y.) (Çevrimiçi) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teredo\\_navalis\\_in\\_wood.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teredo_navalis_in_wood.jpg), 03 Mart 2019.



**Şekil 1.11:** *Limnoria Lignorum*.

**Kaynak:** *Limnoria Lignorum*, (t.y) (Çevrimiçi) [https://etc.usf.edu/clipart/86800/86885/86885\\_limnoria-lignorum-flabellifera.htm](https://etc.usf.edu/clipart/86800/86885/86885_limnoria-lignorum-flabellifera.htm), 03 Mart 2019.



**Şekil 1.12:** *Limnoria Lignorum*'un ahşaba verdiği zarar.

**Kaynak:** Fenwick, 2011 (Çevrimiçi) [http://www.aphotomarine.com/isopoda\\_limnoria\\_lignorum\\_gribble.html](http://www.aphotomarine.com/isopoda_limnoria_lignorum_gribble.html), 03 Mart 2019.

Borges'ın (2014) Avrupa'da, aralarında Mersin ve Bartın'ın da bulunduğu 15 merkezde yaptığı çalışmanın sonuçlarına göre merkezler arasında ahşap delicilerin tür çeşitliliği ve çokluğu açısından önemli farklılıklar vardır. Ahşap delicilerin zararları, türüne ve ortam koşullarına bağlı olarak bölge ile çeşitlenmektedir. Birçok merkezde *Teredinidae*'lerin *Limnoridae*'lere göre daha şiddetli saldırıya sebep olduğu gözlenmiştir.

Şen ve diğerleri (2010) Türkiye kıyılarında ahşap delici organizmaların çeşitliliğini araştırmak için Türkiye'yi çevreleyen denizlerdeki kıyı boyunca 6 limanda (Trabzon, Ereğli, Bandırma, Alaçatı, Finike ve İskenderun) çalışma yapmışlardır. Araştırmada, 5 ahşap delici mevcudiyeti belirlenmiştir. İskenderun Limanı en çok delici organizma çeşitliliği tespit edilen merkez olmuş; bunu Trabzon ve Finike Limanları takip etmiş; Bandırma, Ereğli ve Alaçatı Limanları en az tür çeşitliliği görülen merkezler olmuştur.

Suya doymuş ahşapta kimyasal bozulma ahşap içindeki asit üretimi ile ilişkilendirilir. Özellikle gömülü bir ahşabın içindeki demirin oksidasyonu asit üretebilir. Polisakkaritlerin hidrolizine ve ahşabın bozulmasına neden olabilir. Bu durum, özellikle gemi yapımında demir elemanların kullanıldığı ya da geminin kargosunda demir eşyaların yer aldığı batık gemilerde yaygındır (Almkvist vd., 2013).

10 Ağustos 1628'de ilk seferinde Stokholm Limanı'nda alabora olan İsveç Kraliyet Donanması'nın en yeni gemisi Vasa, battıktan 333 yıl sonra 1961'de Baltık Denizi'nin sularından iyi korunmuş durumda çıkartılmıştır (Fairley, Willshire, 2003: 18). Vasa batığında demir varlığının neden olduğu problemler uzun yıllardır araştırılmakta ve problemlerin çözümü için deneysel uygulamalar yapılmaktadır (Almkvist, vd., 2013). İstanbul Yenikapı batıklarında da ahşapların demir varlığı incelenmiştir (A. G. Kılıç, 2017).

### **1.3. Suyu Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonu**

Bir eserin konservasyonu kazı alanında başlar. Bu nedenle kazı planı yapılırken konservasyon uygulamalarına da en baştan yer verilmelidir. Kazı alanında mutlaka koruma uzmanları bulunmalıdır. Kazı alanında eserlerin güvenli bir şekilde korunmalarını sağlayacak bir arazi laboratuvarı ve eserlerin koruma işlemlerinin yapılacağı tam teşekküllü bir konservasyon laboratuvarı olması da temel gereksinimdir. Kazı alanında en az müdahale esas olmalıdır. Amaç, eserin konservasyon laboratuvarına en güvenli biçimde ulaşmasını sağlamaktır (Hall, vd., 2002).

Tüm malzemeler, gömülü olduğu süreç içinde az ya da çok değişime uğrayacaktır ve ortaya çıkartıldığında kazı sırasında veya kazıdan hemen sonra konservasyon çalışmalarına başlanması gerekir. Bir kazıda anında müdahale edilmesi ve vakit kaybetmeden üzerinde çalışılması gereken eserler öncelikle suya doymuş deri, tekstil ve ahşap eserlerdir (Şekil 1.13).

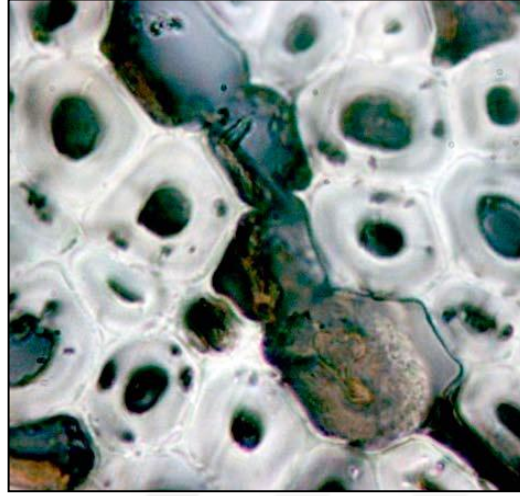


**Şekil 1.13:** Suya doymuş ahşap eser (Yenikapı Kazısı buluntusu).

**Kaynak:** İstanbul Restorasyon ve Konservasyon Merkez ve Bölge Laboratuvarı Arşivi (Zeynep Sare Karabörek).

### **1.3.1. Tuzdan Arındırma ve Demir Bileşiklerinin Uzaklaştırılması**

Kazı alanında suya doymuş bir eser ortaya çıkartıldığında eserin kurummasına izin verilmemesi ilk koşuldur. Daldırma yöntemiyle suya doymuş durumunda tutulması önerilebilir. Tuzlu su ortamından çıkan her eserin tuzdan arındırılması gerekir. Çünkü bu ortamdan eserin yapısına yerleşen tuzlar esere zarar verir. Tuzlu su ortamından çıkartılan bir ahşap hemen tatlı su ortamına alınmamalıdır. Eğer alınırsa ahşap hücreleri içindeki tuzlu su çözeltisi, tatlı su ile birleşmek üzere dışarıya doğru hareket eder. Tuzlu su boşaldıkça hücre duvarı tatlı suyun hücreye hızlı bir şekilde girmesini engeller ve bu da hücre duvarının çökmesiyle sonuçlanır. Tatlı suya aşamalı bir giriş bu sorunu ortadan kaldırır. Ahşap, başlangıçta tatlı su ve tuzlu sudan oluşan bir çözelti içine yerleştirilmelidir. Ardından yapılacak tatlı su ekleme oranı eserin boyutuna bağlı olmalıdır. Kademeli olarak yapılan eklemelerle tatlı suya güvenle ulaşılabilir. Tuzdan arındırma önemli bir aşama olmakla birlikte çözeltide mantar ve bakteri kolonileşmesi başlayacaktır (Şekil 1.14). Bu durumu önlemek için tuzdan arındırma işlemi aşamasında çözeltiye bakteri önleyici eklemek gerekir (Rodgers, 2004: 42, 43). Tuzdan arındırılan ve çözeltiye bakteri önleyici eklenen eserler serin ve karanlık bir ortamda saklanmalı ve sürekli olarak izlenmelidir.



**Şekil 1.14:** Şebeke suyu uzun süre depolamada gelişen yumuşak çürüklük mantarı saldırısını gösteren karaağaç örneği hücrelerinin SEM görüntüsü (büyütme x 1000).

**Kaynak:** English Heritage, 2012: 15.

Metal-ahşap birleşimi kompozit eserlerde ya da özellikle yapımında çok sayıda metal eleman kullanılan gemilerde demir korozyon ürünlerinin varlığı da konservasyonun ilk aşamalarında dikkate alınması gereken bir durumdur. Çünkü demir, ahşap gömülü durumdayken korozyona uğrar ve korozyon ürünleri daha gömülü olduğu ortamdaki ahşabın yapısına nüfuz eder (Hocker, vd., 2012: 175-176). Bu problem, gemilerin konservasyonu yapılacağı ve konservasyon yönteminde PEG kullanıldığında daha da önemli hale gelir (Şekil 1.15) (A. G. Kılıç, 2017).



**Şekil 1.15:** PEG ile işlem görmüş ve dondurularak kurutulmuş, asidik (pH göstergesi kağıdına bakınız) suya doymuş ahşap örneği.

**Kaynak:** Amberger, 2015 (Çevrimiçi) <https://www.khm.uio.no/english/research/projects/arco/wood-conservation-methods/>, 25 Nisan 2019.

Katalizli oksidatif bozunma ve asit hidrolizi gibi olumsuz etkiler nedeniyle konservasyondan önce, demir bileşiklerini ahşaptan uzaklaştırmak gerekir. Yapılan bazı deneylere göre bu işlem zaman alıcı olmakla birlikte serbest demir iyonları mevcut olduğu sürece uzun vadede korumayı baltalayacak kimyasal bozulmanın devam etmesi muhtemeldir (Almkvist, vd., 2013: 12). Ahşaplardaki demir bileşiklerinin uzaklaştırılmasında etilendiamin tetraasetik asit (EDTA), oksalik asit dihidrat, Etilendiiminobis (2-hidroksi-4-metilfenil) asetik asit (EDDHMA) ve Dietilentriamin pentaasetik asit (DTPA) kullanılabilir (N. Kılıç, 2017: 64; Hocker, vd., 2012: 180).

### **1.3.2. Suya Doymuş Ahşapta Tespit ve Bozulmanın Değerlendirilmesi**

Suya doymuş ahşap genellikle siyah, ıslak ve süngerimsi, hoş olmayan bir koku ile karşımıza çıkar. Binyıllar boyunca su altında korunmuş olsa da yapısal dayanımını büyük ölçüde azaltan önemli madde kayıpları yaşamış olabilir. Bu madde kaybı her zaman açık ve görünür şekilde değildir (Grattan, 1983: 23). Suya doymuş bir ahşap sağlam görünebilir, fakat parmakla bastırılınca ezilip ufalanacak kadar kötü durumda olabilir. Bazı durumlarda ahşabın dış bölgeleri çok yumuşaktır fakat iç bölgelerdeki ahşap dokuları daha sert ve sağlamdır. Konservasyon çalışmasından sonra kuru haldeki ahşapta bu homojen olmama durumu daha da belirgindir (Björðdal, vd., 2000: 16).

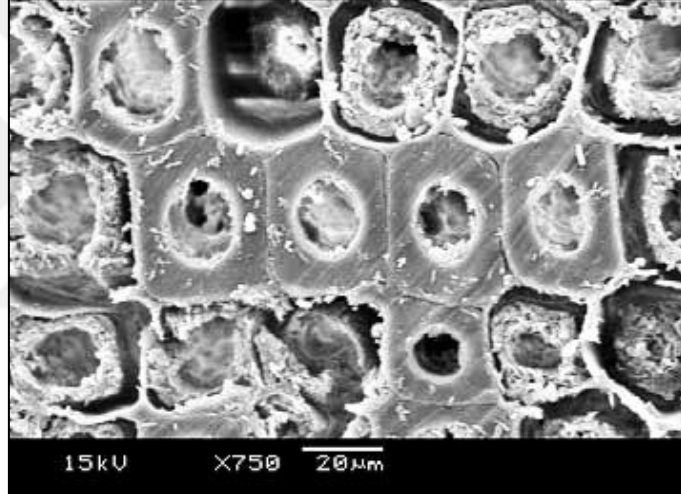
Suya doymuş ahşap herhangi bir konservasyon çalışması yapılmaksızın kurumaya bırakılırsa kısa sürede çekebilir ve tanınmaz hale gelebilir. Konservasyon işleminde ilk aşamalardan biri mevcut ahşap türlerini ve özelliklerini, bozulmanın türünü ve kapsamını tanımlamak için yapılan analizlerdir. Bir konservasyon çalışmasında yapılması gereken tüm analizleri yürütecek kaynak olmayabilir (Grattan, 1983: 23). Ancak yapılan farklı analizlerin sonuçlarından elde edilecek parametreler karşılaştırılarak eserin bozulma durumunu değerlendirmek ve en uygun konservasyon yöntemini seçmek en ideal olandır.

Su içeriği ve yoğunluk gibi parametreler, tespitleri basit olduğundan ve sadece suya doymuş ahşabı kurutmak için fırın ve bir terazi gerektirdiğinden en çok belirlenen parametrelerdir (Jensen, Gregory: 2006: 552).

### 1.3.2.1. Işık Mikroskobu ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

#### Analizi

Ahşaptan alınan kesitlerin ışık mikroskopunda incelenmesiyle ahşabın durumu, fiziksel yapısının ne kadar sağlam kaldığı, mikrobiyolojik bozulmanın ve ana geçiş yollarını tıkayan birikintilerin varlığı hakkında temel bir fikir edinmek mümkündür. Ahşap hücrelerinin durumunun daha net bir resmi ancak taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak elde edilebilir. Bu mikroskop kullanılarak elde edilen görüntüler, ahşabın maruz kaldığı farklı bozulmaları ve hasarın derecesini tespit etmeyi mümkün kılar (Şekil 1.16) (English Heritage, 2010: 28).



**Şekil 1.16:** İyi korunmuş ve bozulmuş hücelere sahip çam örneği enine kesit SEM görüntüsü.

**Kaynak:** English Heritage, 2010: 28.

### 1.3.2.2. Maksimum Su İçeriği

Bölüm 1.2’de açıklanan bozulma süreci sonunda ahşapta kaybedilen bileşiklerin yerine su dolar. Ahşaptaki su içeriğini hesaplamak ve sınıflandırma yapmak ahşapta bozulma derecesini tahmin etmenin basit ve hızlı bir yolu olabilir. Bazı suya doymuş ahşaplar %100 ila %200 arasında bir nem içeriğine sahipken bu oran, bazı ahşaplarda %1290’ a kadar çıkabilir (Kaye, vd., 2000: 243). Ahşapta maksimum su içeriği şu formülle hesaplanır ve % olarak ifade edilir:

$$U_{\max} = \frac{mw - m}{m} \times 100$$

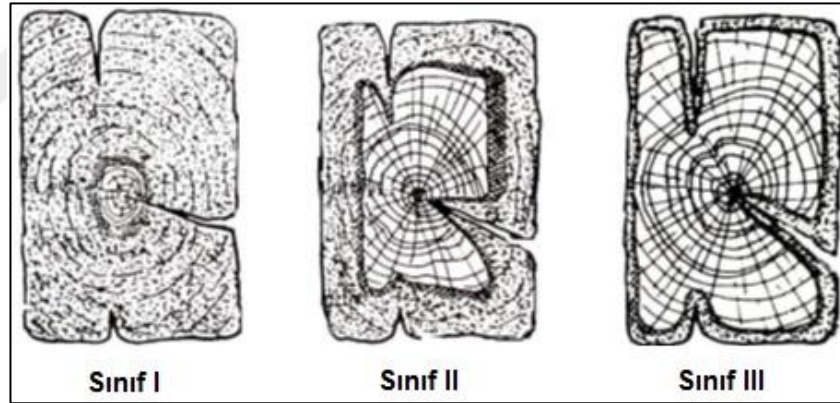
$U_{\max}$ : maksimum su miktarı, mw: suya doymuş ağırlık, m: tam kuru odunun ağırlığı.

Bu oran, de Jong'un Christensen'den devralarak geliştirdiği sınıflandırmaya göre 3'e ayrılır (Şekil 1.17) (Christensen, 1971: 29, 30; Jong, 1982: 23; Rodgers, 2004: 41):

de Jong :

Christensen :

|      |            |           |                                    |
|------|------------|-----------|------------------------------------|
| I.   | su miktarı | > %400    | Çok az sağlam odun dokusu olan     |
| II.  | su miktarı | %185–%400 | Daha fazla sağlam odun dokusu olan |
| III. | su miktarı | < %185    | Fazlaca sağlam odun dokusu olan    |



**Şekil 1.17:** Bozulma durumuna göre I., II. ve III. sınıf ahşap.

**Kaynak:** Grattan, 1987: 67.

### 1.3.2.3. Yoğunluk

Yoğunluk, suya doymuş ahşapta ne kadar selüloz kaldığını belirlemek için kullanılabilir. Bir örneğin hangi ağaç türüne ait olduğu belirlendikten sonra, bu tür için bilinen yoğunluk değerleri ile karşılaştırılır ve ne kadar selülozun kaybedildiğine dair bir rakam verilir. Yoğunluk şu formüle göre hesaplanır (Rodgers, 2004: 48):

$$\text{Yoğunluk} = \text{Fırın Kuru Ağırlık} / \text{Suya Doymuş Hacim}$$

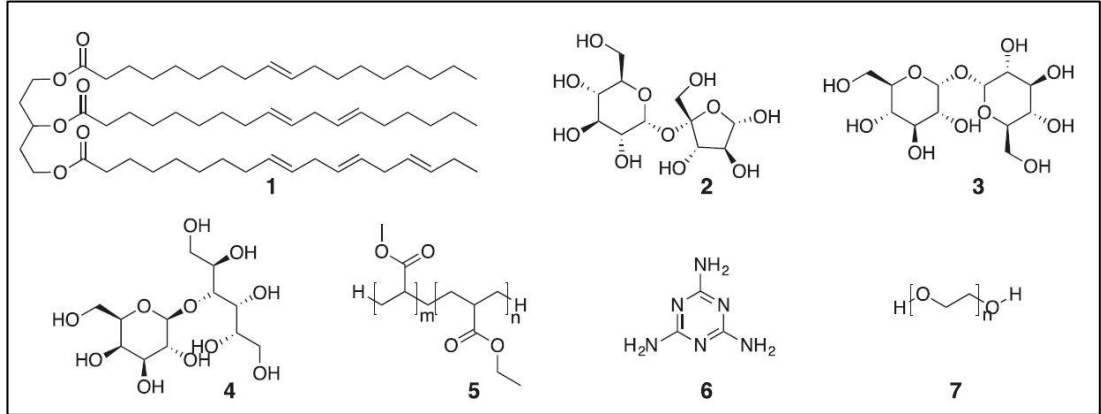
Yoğunluk, suya doymuş ahşapta bozulmanın göstergesi olabilir. Mesela, bir örneğin beyaz meşe olduğu tespit edilirse, yoğunluğunun 0.68 gr/cm<sup>3</sup>'e yakın olması gerekir (türler içinde bazı değişiklikler olabilir). Suya doymuş beyaz meşe örneğinin hesaplanan yoğunluk değeri 0.55 gr/cm<sup>3</sup> bulunursa bu örnek, bu türdeki bozulmamış odunundan yaklaşık %19 daha az yoğundur. Bu nedenle ahşabın karmaşık karbonhidrat yapısının yaklaşık %19'unu kaybettiği, %81'ini içerdiği söylenebilir (Rodgers, 2004: 48). Yoğunluk, ayrıca bir ahşabın çökme eğilimine dair gösterge verecek bir fiziksel parametredir. Buna dayanarak, uygun bir emdirme maddesi seçilerek kurutma işlemi belirlenebilir (Jensen, Gregory: 2006: 551).

### **1.3.3. Suya Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonunda Uygulanan Yöntemler**

Suya doymuş ahşap, konservasyon uygulaması yapılmadan kurumaya bırakılırsa hücre lümenindeki serbest suyun ve hücre duvarındaki higroskopik olarak bağlı suyun kontrolsüz uzaklaşması sonucu çökme, çekme, çarpıma, çatlaklar, yarıklar ve parçalanma ile ahşapta mevcut tuzların ve korozyon ürünlerinin çökmesi gibi olumsuz durumlarla karşılaşılır (Gregory, vd., 2012: 140).

Çökme, ahşaptaki serbest suyun kurutulması sırasında kontraktıl kuvvetlerin ahşabın sıkıştırma kuvvetini aşması sonucu gelişir. Bu durum ahşabın enine kesit incelemesinde düzleşmiş hücreler, radyal kesitte ise çok yoğun bir yapı ve dalgalı bir yüzey olarak tanımlanır. Çekme, ahşabın hücre duvarında higroskopik olarak bağlı suyun uzaklaştırılmasından kaynaklanır. Bağlı su kaybı, hücre duvarının hacminin azalmasına neden olmakla birlikte ahşapta boyuna ve enine yönde çatlaklar oluşur (Gregory, vd., 2012: 140).

Suya doymuş ahşap konservasyonunda temel amaç, eserlerin özgün yapısı ve hacmi korunarak içerdikleri suyun uzaklaştırılması ve dolayısıyla eserin durağanlığının sağlanmasıdır (Jensen, vd., 2009: 417). Bunun için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde çeşitli sağlamlaştırma maddeleri kullanılmakta olup yaygın olarak kullanılanların kimyasal yapıları Şekil 1.18'da verilmiştir.



**Şekil 1.18:** Yaygın olarak kullanılan sağlamlaştırma maddelerinin kimyasal yapıları: (1) keten tohumu yağı, (2) sakroz, (3) trehaloz, (4) laktitol, (5) Metil akrilat / etil metakrilat kopolimer (Paraloid B72), (6) melamin ve (7) PEG.

**Kaynak:** Walsh-Korbs, Averous, 2019: 180.

#### 1.3.3.1. Polietilen Glikol (PEG) Emdirme Yöntemi

Polietilen glikol (PEG), genel formülü  $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}$  olan etilen oksit polimeridir. Ortalama molekül ağırlığını temsil eden ve 200 ile 6000 arasında değişen bir sayıyla gösterilir. PEG'in moleküler ağırlığına bağlı olarak vizkositesi de değişiklik gösterir. 200, 300, 400 ve 600 molekül ağırlığında olan PEG 20°C'de duru ve akışkan; PEG 1000 ile 1500 yarı akışkan ve PEG 3250-6000 vaks gibi katıdır. Başka bir ifadeyle molekül ağırlığı arttıkça PEG daha az akışkan veya daha katı olur; suda çözünürlüğü, buhar basıncı ve nem alışverişi azalır (Pearson, 1981: 51). Tüm PEG'ler suda ve birçok alkolde çözünür (Hon, 2001: 811). Suda yüksek oranda çözünür olmasına rağmen, PEG molekülleri su moleküllerinden daha büyüktür. PEG, su kadar hızlı bir şekilde hücrelere yayılamaz ve kırılğan hücrelerin çökmesine ve kopmasına yol açabilir (Walsh-Korbs, Averous, 2019: 182).

PEG'in sulu çözeltileri, biyolojik aktiviteyi kontrol etmek için biyositlerin kullanılmasını gerektirebilir. Mikrobiyal aktiviteyi kontrol etmek için çözelti yakından izlenmeli ve biyosit dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Pek çok biyosit hafif derecede toksiktir ve bazı kişiler bu ajanlarla temas ettiklerinde hafif bir reaksiyon gösterir. Genel olarak Dovicide olarak bilinen orto-fenilfenol, mikrobiyal

aktiviteye karşı etkili bir caydırıcı olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır (Smith, 2003: 64).

Demir bileşikleri genel olarak çeşitli kimyasal reaksiyonları katalize edebilme ve oksidatif bozulmayı başlatma potansiyeline sahiptir. Ahşabın oksidatif degradasyonu, ahşap bileşenlerinin ve PEG'in depolimerleşmesine neden olur ve formik, glikolik ve oksalik asit gibi düşük moleküler organik asitler üretebilir. Bu nedenle, konservasyondan önce ahşaptaki demir bileşiklerini çıkarmak veya etkisiz hale getirmek gerekir (Almkvist, vd., 2013: 4). PEG işleminden önce ahşapta metal şelatörlerin, örneğin EDTA kullanılması bu sorunun azaltılmasına yardımcı olabilir (Walsh-Korbs, Averous, 2019: 182).

Emdirme işleminde ısı kullanılması gerektiğinde işlem yakından izlenmelidir. PEG çözeltisi ısıtıldığında PEG bozulabilir ve ahşap zarar görebilir (Gregory, vd., 2012: 141).

Konservasyonu yapılan eserin yüzeyindeki fazla PEG bir sıcak hava tabancasıyla, sıcak suyla veya alkolle alınabilir. PEG ile işlem görmüş ahşap, ısıya ve neme karşı duyarlıdır. PEG ile işlem görmüş eserler müze ortamına alışıacaktır fakat nemin ortamdan absorbe edilmesi PEG'in hacim arttırıcı özelliklerinin kaybolmasına veya değişmesine neden olarak eserin durağanlığını tehlikeye atabilir. Bu sebeple PEG ile işlem görmüş eserler, sıcaklık ve nem kontrollü bir ortamda sergilenmeli veya depolanmalıdır (Hon, 2001: 812; Smith, 2003: 66).

Esere kolay uygulanabilmesi ve toksik olmaması sebebiyle PEG, 20. yüzyılın 2. yarısından itibaren suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Walsh-Korbs, Averous, 2019: 182; Hon, 2001: 811).

Düşük moleküler ağırlıklı PEG'ler daha az bozulmuş ahşap için en etkili olmakla birlikte, yüksek moleküler ağırlıklı PEG'ler çok bozulmuş ahşap için daha uygundur. Ahşap yapısında her iki bozulma durumu mevcutsa hem düşük hem de yüksek moleküler ağırlıklı PEG bir arada kullanılabilir. Yani ahşaba tek aşamalı ya da iki aşamalı PEG emdirmesi yapılabilir (Hon, 2001: 811; Gregory, vd., 2012: 141).

PEG emdirme yöntemi, PEG'in ahşap hücrelerine nüfuz etmesiyle ahşap yapısının güçlendirilmesine dayanır. Odun hücresindeki serbest ve bağlı su 50-60°C'de ısıtılarak difüzyon yoluyla PEG ile yer değiştirir. Hücreler hacim kazanmış olarak sabitlenir ve PEG oda sıcaklığında katılaşır. 800'den daha büyük molekül ağırlığına sahip olan PEG'ler sadece hücre lümenine nüfuz edebilir ve esas olarak çökmeyi önlemek için kullanılır. 600'den daha düşük molekül ağırlığına sahip moleküller hücre duvarına girebilir, higroskopik olarak bağlı suyla yer değiştirebilir ve esas olarak ahşabın çekmesini azaltmak için kullanılır. İşlem süresi kimyasalın ahşaba difüzyon hızına bağlıdır. Emdirme işlemi için spreyleme ve daldırma yöntemi kullanılabilir. Bu işlem için kullanılacak tanklar kimyasalların aşındırıcı etkisine karşı dayanıklı ve su ile ahşabın ağırlığını taşıyacak kadar sağlam olmalıdır (Hon, 2001: 811; Gregory, vd., 2012: 141).

PEG emdirme yönteminde yüksek molekül ağırlığındaki PEG çözeltisinin konsantrasyonu %50'yi aştığında çözeltiyi sıvı tutmak için ısıtmak gerekir. Ahşap hücrelerinden su molekülleri buharlaşır fakat PEG hücrelere tam nüfuz edemediği için ozmotik çökme ya da çekme oluşabilir. PEG emdirme işleminden sonra ahşaplar esnek olduğu için sıcak buhar uygulamasıyla şekil alabilir. Fakat ahşaba doğru şekli verebilmek için ahşabın yüksek sıcaklıklarda işlem görmesi gerekir. Bu da PEG'in dekompoze olmasına yol açar (Strætkvern, vd., 2009).

1 aşamalı PEG emdirme işleminde, yüksek molekül ağırlıklı PEG 1500 ila 4000 konsantrasyonu %100'e yakın sona erecek şekilde %10'dan başlayarak kademeli olarak arttırılır. Konsantrasyon %50'nin üzerine çıkarıldığında çözeltinin sıvı kalması için ısı gereklidir. PEG ve ahşabın bozulmasını önlemek için ısıtma 60°C'yi geçmeyecek şekilde yapılmalıdır.

2 aşamalı PEG emdirme işleminde, ilk aşamada ahşaba düşük molekül ağırlıklı PEG 200 ila 600 ile emdirme yapılır. Konsantrasyon kademeli olarak %20 ila %40'a yükseltilir. Bu aşamada çözelti, yüksek molekül ağırlıklı PEG 2000 ila 4000 çözeltisiyle değiştirilir. İkinci çözeltinin başlangıç konsantrasyonu, birinci çözeltinin son konsantrasyonundan %10 ila 20 daha yüksek olmalıdır. Yüksek

molekül ağırlıklı PEG konsantrasyonu daha sonra 1 aşamalı işlemle aynı şekilde kademeli olarak arttırılarak son bulur (Gregory, vd., 2012: 141).

### 1.3.3.2. Şeker Emdirme Yöntemi

Suya doymuş ahşap konservasyonunda çoğunlukla sakroz ve laktitol kullanılır. Sofra şekeri olarak da bilinen sakroz disakarittir. Formülü  $C_{12}H_{22}O_{11}$  olup molekül kütlesi 342'dir. Laktitol monohidrat şeker alkolüdür. Formülü  $C_{12}H_{24}O_{11}$  ve molekül kütlesi 344'dür. Her ikisi de oda sıcaklığında katıdır ve suda kolay çözünür (Gregory, vd., 2012: 141).

Suya doymuş ahşap konservasyonunda şeker kullanımı, düşük maliyeti ve pahalı koruma ekipmanı gerektirmediği için tercih edilir (Walsh-Korbs, Averous, 2019: 180).

Şekerlerin düşük moleküler kütleleri iyi korunmuş büyük nesnelerin korunmasına imkan verecek şekilde ahşaba iyi nüfuz sağlar. Sakroz, kolayca temin edilebilir ve korozif değildir. Sakroz ve laktitol gerekirse daha sonra suya daldırma yöntemiyle ahşaptan çıkarılabilir. Şekerlerin en büyük dezavantajı, emdirme işlemi sırasında ve konservasyon sonrasında mikrobiyal saldırı veya böcek saldırısı riskidir. Solüsyona biyositler eklenebilse de mikrobiyal büyümenin kontrol edilmesi zordur. Mikroorganizmalar ve böcekler şekerin bozulmasına neden olabilir. Bireysel ve birleşik olarak çözünürlüğü sakrozdan daha fazla olan trehaloz ve laktitol kimyasal veya biyolojik bozulmaya karşı daha az hassastır yani banyolar penetrasyonu arttırmak için mikrobiyal büyüme riski olmadan ısıtılabilir. Sakroz kuruduktan sonra yapışkan ve kötü kokulu bir çözelti bırakarak fruktoz ve glikoza dönüşebilir. Solüsyon hala sıvı iken, yüzeydeki fazla sakrozu gidermek için sıcak su veya buhar uygulanabilir (Gregory, vd., 2012: 142; Walsh-Korbs, Averous, 2019: 180)

Şeker yönteminin emdirme uygulamasına daha az bozulmuş ahşapta %1-5 konsantrasyondaki sakroz çözeltisiyle başlanabilirken çok bozulmuş ahşapta daha yüksek konsantrasyon kullanılabilir. Konsantrasyon %50'ye ulaşıncaya kadar %1-5 gibi düşük oranda konsantrasyon artışı yapılır. Sonrasında artış %10 oranında yapılır. Oda sıcaklığında, şekerlerin çözünürlük kısıtlamaları nedeniyle son konsantrasyon

%64-67'yi geçmez. Çözelti 50°C'ye ısıtıldığında %75 konsantrasyon elde edilebilir. Bu, emdirme oranını artırır ve mikrobiyal saldırı riskini azaltır. Sakroz emdirilmiş ahşapta kalan su, oda sıcaklığında nesnenin etrafındaki bağıl nem kademeli olarak azaltılarak buharlaştırma yoluyla giderilir. Solüsyon hala sıvı iken, yüzeydeki fazla sakrozu gidermek için sıcak su veya buhar uygulanabilir. Laktitol emdirilmiş ahşapta en iyi kurutma sonuçları, 50°C'de yapılırsa elde edilir. Laktitol kurutulduktan sonra oluşan trihidrat kristalleri bozulmuş ahşabın yüzeyini tahrip edecek bir genişlemeye neden olur (Hon, 2001: 812; Gregory, vd., 2012: 141, 142).

#### **1.3.3.3. Polimerizasyon (Melamin Formaldehid) Yöntemi**

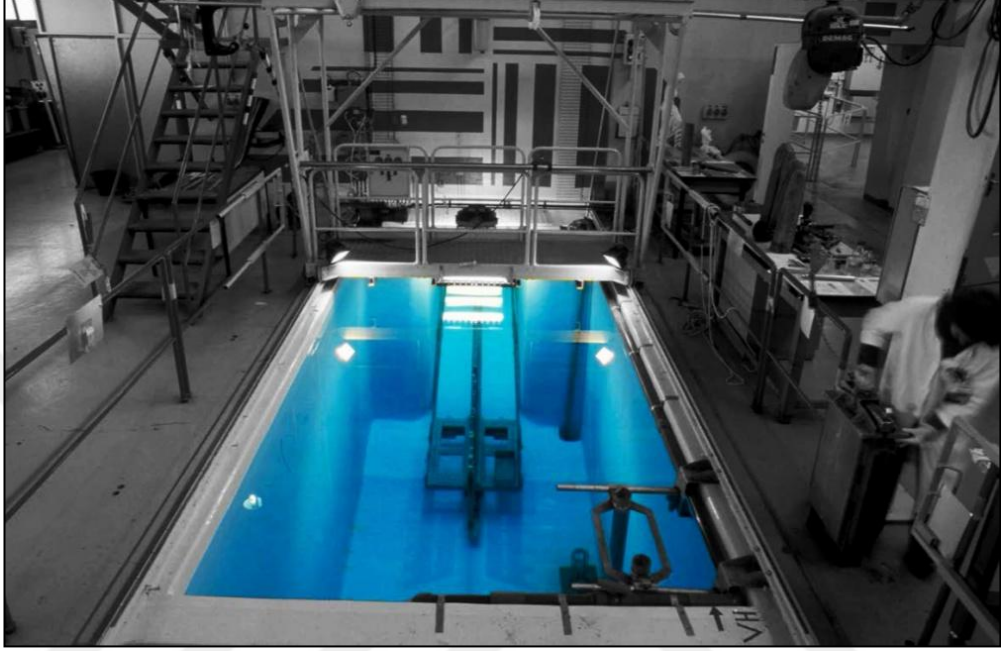
Düşük molekül ağırlığındaki monomerler ahşaba polimerlerden daha hızlı nüfuz ederler. Polimerizasyon, bazı monomerlerin ahşabın içinde polimerleşmesi prensibine dayanır (Tran, vd., 1990: 218, 219). Bu amaçla en yaygın kullanılan monomer, melamin formaldehit reçinedir. Ahşap, oda sıcaklığında %20-25 konsantrasyonda hazırlanan melamin formaldehit çözeltisine konur. Büyük boyutlu ahşaplarda -kürleşme süresini uzatmak amacıyla- kullanılan melamin formaldehitin %5'i kadar trietanolamin ilave edilebilir. Ahşaba 1 cm alttan ve 1 cm üstten olmak üzere ayda 2 cm nüfuz edebilen melamin formaldehit çözeltisi sistemli olarak kontrol edilir. Ahşap, kürleşme başladığında çözelti içerisinden çıkartılır. Emdirme işlemi tamamlanan ahşabın 50°C'de ayarlanmış fırında kuruması sağlanır. Fırınlama işlemi sonrası ahşabın en az 6 ay hava ile teması engellenir. Yöntem, belirli cins ve bozulma derecesindeki ahşaplarda başarılı sonuçlar vermekle birlikte yöntemde kullanılan reçinenin polimerleşmesi geri dönüşümü olmayan çapraz bağlanma ile gerçekleşir (N. Kılıç, 2013: 61-80).

#### **1.3.3.4. Karma Nucléart Yöntemi**

Fransa Grenoble'daki ARC-Nucléart tarafından geliştirilen bu yöntemde:

1. Suyu doymuş ahşaba %20 gibi düşük konsantrasyonda PEG çözeltisi emdirilir.
2. Ahşap dondurarak kurutulur.
3. Kurutulmuş ahşaba radyasyonla sertleşen polyester reçinesi emdirilir.

4. Ahşap ışınlanır. Polyester reçinesi, gamma ışınları ile ışınlandığında katılaşıp ve bu da reçinenin ahşap içinde çapraz bağlanmasına ve sertleşmesine neden olur (Şekil 1.19) (Tran, Cortella, 2017: 225, 226).



**Şekil 1.19:** Fransa ARC-Nucléart laboratuvarı ışınlama tesisi.

**Kaynak:** Tran, 2011 (çevrimiçi) [http://www.h-r-z.hr/images/stories/strucni\\_skupovi/radijacijske\\_metode/3.q.k.tran-radijacijski\\_postupci\\_u\\_zastiti\\_predmeta\\_kulturne\\_bastine\\_u\\_francuskoj.pdf](http://www.h-r-z.hr/images/stories/strucni_skupovi/radijacijske_metode/3.q.k.tran-radijacijski_postupci_u_zastiti_predmeta_kulturne_bastine_u_francuskoj.pdf), 28 Nisan 2019.

#### 1.3.3.5. Organik Çözücülerin Kullanımı

Organik çözücülerde dehidrasyon yöntemleri, ahşap içindeki suyun düşük yüzey gerilimi ve polariteye sahip organik çözücülerle yer değiştirmesi prensibine dayanır. Bu amaçla çoğunlukla kullanılan çözücüler etanol, izopropanol, 2-etoksi-etanol ve asetonudur. Suyun, suda çözünür organik çözücülerle değiştirilmesi kontraktıl kapiler kuvvetleri azaltarak buharlaşma sırasında gerçekleşen çökmeyi azaltır. Uygulamada, suyun yer değiştirilmesi ahşabın art arda organik çözücü banyolarına batırılmasıyla gerçekleştirilir. Su, organik çözücüyle değiştirildiğinde ahşap atmosferik basınçta ya da vakumda kurutulur. Son banyoya sağlamaştırıcı bir emdirme maddesi eklenebilir. Bu yöntemde aşındırıcı olmayan emdirme kimyasalları kullanılabilirdiğinden ahşap-metal kompozit eserler için kullanılabilir. Fakat organik çözücülerin kullanımı sağlık ve güvenlik sorunlarına neden olabilir. Ayrıca büyük

miktarda organik çözücünün kullanımı zor olduğundan yöntem küçük boyutlu nesneler için önerilebilir (Gregory, vd., 2012: 145; Smith, 2003: 21-28).

#### **1.3.3.6. Dondurarak Kurutma Yöntemi**

Suya doymuş ahşap konservasyonunda PEG ön emdirmesi sonrası vakumlu dondurarak kurutma yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Vakum altında veya atmosferik basınçta gerçekleştirilen dondurarak kurutma yöntemi Bölüm 2, Bölüm 3 ve Bölüm 4’de detaylı olarak açıklanmaktadır.



## İKİNCİ BÖLÜM

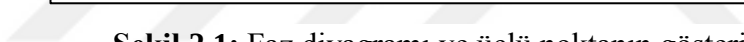
### SUYA DOYMUŞ AHŞAP ESERLERDE DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİ

Kurutma gerilmeleri sıvı yüzeyinde meydana gelir ve bu yüzey ortadan kaldırılarak bundan kaçınılabılır. Bunu yapmak için ahşap içindeki sıvı dondurulur ve daha sonra bu sıvı ahşaptan süblimleşmeyle uzaklaştırılır. Süblimleşme vakum altında veya atmosferik basınçta gerçekleştirilebilir. Fakat, ahşap hücre lümenindeki serbest su donduğunda genişerek nesnede çatlaklara neden olacağından ve hücre duvarındaki bağlı su uzaklaştırıldığında çekme, parçalanma ve çatlaklar meydana geleceğinden bu işlem sudan direkt yapılmamalıdır (Gregory, vd., 2012: 143). Ahşaba dondurarak kurutma öncesi kimyasal bir malzeme içeren çözelti emdirilir. Bu işlem, ahşabın sudan direkt dondurarak kurutulmasında gördüğü hasara karşılık ortaya konmuş bir çözümdür (Ambrose, 1971: 54, 55).

#### 2.1. Süblimleşme

Süblimleşme, maddenin katı fazdan sıvı faza geçmeden doğrudan gaz fazına geçişidir. Diğer bir ifadeyle bir katının doğrudan buharlaşmasıdır. Süblimleşme, faz diyagramında bir maddenin üçlü noktasındaki sıcaklık ve basınç değerlerinin altında meydana gelir (Şekil 2.1).

Süblimleşme özelliğine sahip olan bir katı sürekli ısıtılırsa sıcaklığı ancak belli noktalara çıkarılabilir. Çünkü sıcaklık süblimleşme noktası adı verilen değere ulaştığı zaman yoğun bir şekilde buharlaşma başlar. Katının tamamı buharlaşana kadar sıcaklık bu değerde kalır. Bunun sağlanabilmesi ancak maddenin kararlı bir sıvı fazının olmadığı koşullarda gerçekleşir. Başka bir şekilde açıklamak gerekirse sıvı fazda moleküller birbirleriyle daha yakın temas eder ve bunun dışındaki hallerde serbest dolaşır. Maddeyi sıvı halde tutabilmek için moleküllerin birbirleriyle yaklaşmasını sağlayacak seviyede dış basınç uygulamak gerekir. Eğer dış basınç bunu sağlayacak seviyenin altında ise o zaman sıvı faz kararlı olmadığı için süblimleşme gerçekleşir. Normal atmosfer basıncı altında süblimleşen maddeye en



**Şekil 2.1:** Faz diyagramı ve üçlü noktanın gösterildiği grafik.

**Kaynak:** İstar, 2018 (Çevrimiçi) <https://bilimakinesi.com/bilim/faz-diyagrami-uclu-nokta-nedir/>, 05 Mart 2019.

Herhangi bir maddenin süblimleşmesi için dış basıncını belli bir değerin altına düşürmemiz gerekir. Bu basınç değerine maddenin üçlü nokta basıncı denir. Bir maddenin üçlü noktası, o maddenin üç fazının (gaz, sıvı ve katı) bir arada bulunduğu sıcaklık ve basınçtır.

Saf su, saf buz ve saf su buharının stabil bir denge içinde bir arada bulunabileceği tek bir basınç ve sıcaklık kombinasyonu tam olarak 273.16 kelvin (0.01°C) ve 611.73 paskaldır (yaklaşık 6.1173 milibar) (Turgut, 2008: 76).

## 2.2. Vakumlu Dondurarak Kurutma Yöntemi

Suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda vakumlu dondurarak kurutma yöntemi; ön emdirme işlemi, dondurma, dondurarak kurutma, sergiye ya da depolamaya hazırlama aşamalarını içerir (Jensen, 2016: 31). İşlemin başarılı olması

için doğru emdirme malzemesi ve cihaz seçimi önemlidir. Hazne basıncı ve buz sıcaklığı olmak üzere önemli iki parametre de doğru belirlenmelidir.

Dondurarak kurutma işlemi sonrası ahşapta boyutsal değişimi analiz etmek dolayısıyla işlemin başarısını değerlendirmek için kullanılan iki ölçü, aşağıda tanımlandığı gibi çekme (S) ve anti-çekme etkinliğidir (ASE):

$$S = 100 \times (V_w - V_d) / V_w$$

$V_w$  = ıslak hacim,  $V_d$  = kuru hacim

$$ASE = 100 \times (S_0 - S_t) / S_0$$

$S_0$  = işlem görmemiş ahşapta çekme,  $S_t$  = işlem görmüş ahşapta çekme (Jones, vd., 2009: 2178)

100'lük bir ASE, çekme yaşanmadığı anlamına; ASE'nin 0 olması işlemin tamamen etkisiz olduğu anlamına gelir. 75 veya daha yüksek bir ASE makul kabul edilebilir (Grattan, vd., 1980: 127).

Vakumlu dondurarak kurutma uygulaması, vakumlu dondurarak kurutma cihazı kullanılarak gerçekleştirilir (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2:** Vakumlu dondurarak kurutma cihazı.

**Kaynak:** İstanbul Restorasyon ve Konservasyon Merkez ve Bölge Laboratuvarı Arşivi (Zeynep Sare Karabörek).

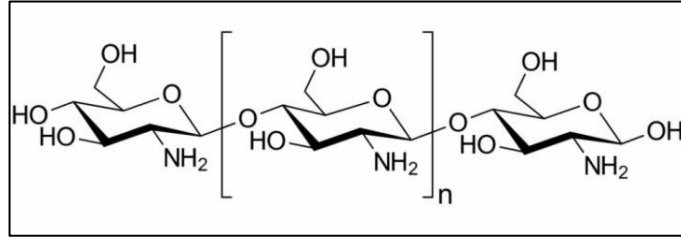
### 2.2.1. Emdirme Malzemesi Seçimi

Emdirme malzemesi seçiminde; malzemenin oda sıcaklığında katı olması, ahşaba hızlı ve derin nüfuz edebilmesi, denge nem içeriğinin düşük olması, hareketli iyonlar için ortam oluşturmaması, yüksek ötektik sıcaklığa sahip olması, dondurarak kurutma için hızlı ve ekonomik olması gibi parametreler gözönüne alınır (Jensen, 2016: 31).

Günümüzde PEG, suya doymuş ahşap konservasyonunda en yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Başka hiçbir malzeme PEG'den daha fazla test edilmemiş ve değerlendirilmemiştir (Fix, 2015: 174, 192). Ahşap nesnedeki su ile yer değiştiren PEG esere bağlanarak çekmeyi önler. Ahşabın gözenekli yapısı içerisindeki PEG esere dayanım kazandırır. Dondurarak kurutma sırasında PEG kriyoprotektan (donma koruyucu) olarak görev yapar ve suyun donması sırasında hacminin genişlemesiyle oluşan çatlamaları önler (Jensen, vd., 2009: 418). Sakroz kullanılarak da dondurarak kurutma uygulamaları yapılabilir (Strætkvern, vd., 2009: 440). PEG'in özellikleri Bölüm 1.3.3.1'de ve şekerin özellikleri Bölüm 1.3.3.2' de verilmiştir.

Suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda emdirme kimyasalları karşılaştırıldığında sakroz, laktitol, trehaloz gibi çökme sıcaklığı çok düşük olan amorf konservasyon çözeltilerinin dondurarak kurutmada kullanılması etkili değildir. Fakat tam tersi olarak kristal yapıda olan yüksek molekül ağırlığına sahip PEG'ler dondurarak kurutma için daha uygun malzemelerdir (Stelzner, 2016: 33-36).

Son yıllarda selüloza kimyasal olarak benzeyen ancak doğal biyolojik direnç, işlevselliğin kolaylaşması veya farklı bir kristal yapı gibi yararlı ek özelliklere sahip olan polisakaritler üzerine odaklanılmıştır. Bu konuda gündeme gelen ve dondurarak kurutma işleminde test edilen bir malzeme kitosandır (Şekil 2.3). Kitosanın çok bozulmuş ahşaba biraz sağlamlık kazandırdığı kanıtlanmış olup stabilizasyon, çekme ve sabitleme açısından değerlendirilebilmesi için daha fazla test yapılması gerekmektedir (Christensen, vd., 2015; Wals-Korb, Avereus, 2019: 189, 190).



**Şekil 2.3:** Kitosanın kimyasal yapısı.

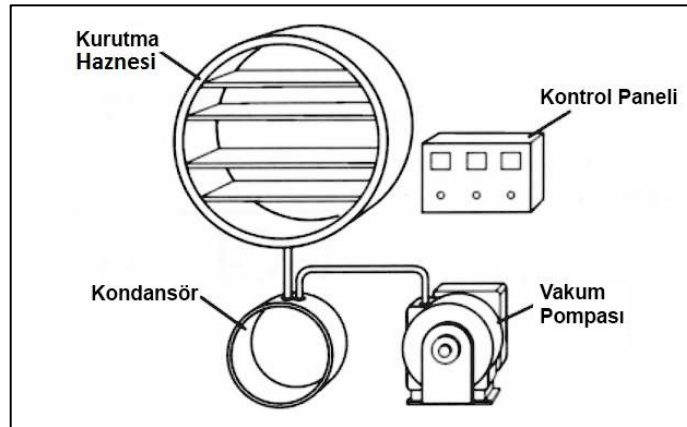
**Kaynak:** Kitosan, 2018 (Çevrimiçi) <https://www.biyolojidersi.org/kitosan.html>, 28 Nisan 2019

Dondurarak kurutma uygulamalarında, genellikle sulu çözeltiler kullanılmaktadır. Tert-bütanol gibi maddelerin kullanımı büyük dondurarak kurutma cihazlarında risk teşkil etmektedir (Sawada,1985: 117-123).

### 2.2.2. Vakumlu Dondurarak Kurutma Cihazı

Eser konservasyonu için özel olarak üretilen ekipmanlar sınırlı olduğunda koruma uzmanları vakum dondurarak kurutma ekipmanlarını gıda ya da ilaç sanayi için üretim yapan üreticilerden almak zorunda kalabilirler. Bu üreticiler suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunun özel gereklilikleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmayabilir. Bu durumda, üreticiye bu iş için elverişli dondurarak kurutucuyu üretebilmesi için doğru özellikleri belirtebilecek tek kişi koruma uzmanıdır (Jensen, vd., 2009: 418).

Dondurarak kurutma sistemi; kondansör, kurutma haznesi, vakum pompası ve kontrol ünitesi olmak üzere başlıca dört ana üniteden oluşur (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4:** Dondurarak kurutma cihazının dört ana bileşeninin şematik gösterimi.

**Kaynak:** Cook, 2007: 1

Bu cihazdaki ünitelerin her birinin boyutu ve kapasitesi diğerlerini etkiler. Örneğin, vakum pompası belirli bir sürede haznedeki havayı vakumlamak zorunda olduğu için kapasitesi haznenin boyutuna uygun olmalıdır (Cook, 2007: 2). Sulu PEG çözeltisinin katılaşması ve eserin içindeki buzun süblimleşmesi için kurutma haznesi, sıcaklığı ve basıncı istenilen değerlere düşürebilmelidir. Vakum pompasına fazla yük yüklememek için kondansördeki sıcaklık, eserden süblimleşen su buharını kondanse edebilecek kadar düşük olmalıdır (Jensen, vd., 2009: 418).

#### **2.2.2.1. Kurutma Haznesi**

Bu ünite, kurutulacak nesnenin bulunduğu haznedir. Ancak bu hazneye sığabilecek büyüklükte nesneler kurutulabilir. Çoğunlukla gıda endüstrisinde kullanılan sistemlerin kurutma haznelerinde ısıtılmalı raflar yer alır. Bu tip bir haznesi olan sistemler, kültür varlıklarının konservasyonu için uygun değildir (Cook, 2007: 2). Soğutulabilen duvarlara sahip olan hazne, mekanik soğutma sistemleri ile soğutulur. Özellikle kullanılmış ekipman satın alırken sistemin ne tür bir soğutucu kullandığını bilmek önemlidir. Kurutma haznesinin genel teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Kurutma haznesinin basıncı 0.1mbar ila 1000 mbar arasında ve sıcaklığı minimum -35°C'ye kadar ayarlanabilir olmalıdır.
- En yüksek oda sıcaklıklarında bile hazne duvarının sıcaklığı -35°C' de korunabilecek şekilde yalıtılmış olması ve yalıtım kalınlığının en az 8-10 cm olması gerekmektedir.
- Aside dayanıklı paslanmaz çelikten yapılmış olmalıdır.
- Ön kapakta denetleme camı bulunmalıdır.
- Kontrol devresi üzerinde 4 ila 6 adet ısı sensörü kullanmak gerekir. Sensör olarak endüstride çok tercih edilen ve güvenilirliği en iyi olan -50°C ve +50°C aralıkta ölçüm yapabilen PT100 tipi sensör kullanmak gerekmektedir. 0.01 ila 1000 mbar arasında ölçüm yapabilen 1 adet vakum sensörü kullanmak gerekmektedir.
- Bütün sıcaklık sensörlerine düzenli kalibrasyon yapılmalıdır (Jensen, vd., 2009: 421, 422).

#### **2.2.2.2. Kondansör**

Kondansör, kurutma işlemi sırasında nesneden uzaklaştırılan su buharının yoğuşturulduğu ünedir. Paslanmaz çelikten yapılmalı ve buz oluşumu için azami yüzey alanını sağlamalıdır. Sistemde iki kondansör olması tercih edilir. Cihazın boyutuna göre değışmekle birlikte kondansörün genel teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Gün başına kapasitesi 5 ila 20 kg olmalıdır.
- Sıcaklık aralığı -50°C ila +30°C arasında olmalıdır.
- -50°C ve +80°C aralıkta ölçüm yapabilen sensör olmalıdır.
- Kurutma haznesinden süblimleşmenin oranını kontrol edebilmek için ön panelde gözlem camı bulunmalıdır (Jensen, vd., 2009: 423, 424).

#### **2.2.2.3. Vakum Pompası**

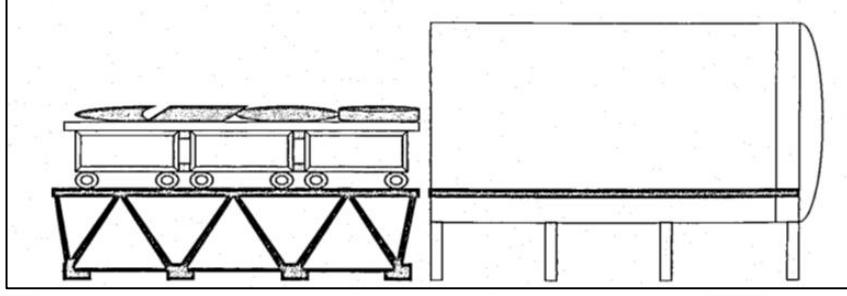
Vakum pompası haznenin içindeki havayı ve su buharını vakumlayarak hazneden uzaklaştırır. Burada önemli olan nokta pompalama kapasitesidir, çünkü sistemin havayı tahliye hızı bu kapasiteye bağlıdır (Cook, 2007: 2). Vakum pompasının genel teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 1. kademe pompa: Kapasitesi 1 saatte 1ila 5 kat hazne hacmi
- 2. kademe pompa: Kapasitesi 1 saatte 0.25 kat hazne hacmi
- Mekanik vakum gücü 1000 mbar ( +/-10 mbar) olmalıdır (Jensen, vd., 2009: 424, 425).

#### **2.2.2.4. Kontrol sistemi**

Dondurarak kurutuculardaki her bir ünitenin ayrı kontrol edilme olanağı vardır. Kurutma haznesi, kondansör, vakum pompaları ve soğutma sistemlerinin her biri bireysel denetleyici ve ekrana sahiptir. Bütün bu ayrı ayrı olan sistemleri tek bir bilgisayar sistemi ile kontrol etmek mümkündür. (Cook, 2007: 3).

Ayrıca, büyük ebatlı dondurarak kurutma cihazları eserlerin vakum haznesine kolaylıkla yerleştirilmesine ve çıkartılmasına imkân veren raylı sistemlere sahiptir (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5:** Raylı sisteme sahip dondurarak kurutma cihazı şematik gösterimi.

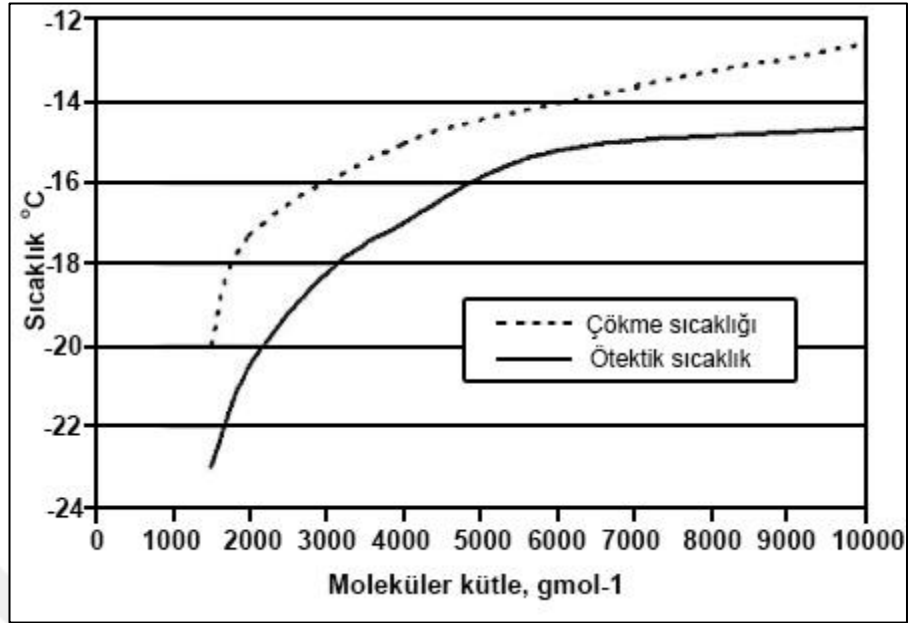
**Kaynak:** Jensen, vd., 2009: 425.

### 2.2.3. Basınç ve Sıcaklık Değerlerinin Ayarlanması

Vakumlu dondurarak kurutma işlemi süblimleşme prensibine dayalı olarak aşağıdaki işlem basamaklarını takip ederek gerçekleşir:

- Emdirme malzemeleri ahşaba emdirilir.
- Dondurarak kurutmadan önce ahşap soğutularak sulu emdirme çözeltisinin katı faza geçişi sağlanır (ötektik sıcaklık).
- Ahşabın içindeki sıcaklık donmuş çözeltinin erime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta dondurarak kurutulur (çökme sıcaklığı) (Jensen, 2016: 30).

Dondurarak kurutma işlemi saf sudan yapılmayacağından emdirme malzemelerinin eklenmesi çözeltinin donma noktasını düşürür. Dondurarak kurutma işlemi çözeltinin tamamen katılaşmasını gerektirdiğinden işlem sıcaklığı, çözeltinin ötektik/çökme sıcaklığının altında tutulmalıdır. Moleküler kütlenin bir fonksiyonu olarak PEG'in ötektik sıcaklık ve çökme sıcaklığı grafiği aşağıdadır (Şekil 2.6) (Gregory, vd., 2012: 143).



**Şekil 2.6:** Moleküler kütlenin bir fonksiyonu olarak PEG'in ötektik ve çökme sıcaklığı grafiği.

**Kaynak:** Gregory, vd., 2012: 144.

Dondurarak kurutma işleminde, koruma uzmanı tarafından ayarlanması gereken iki parametre vardır. Bunlar, kurutma haznesi basıncı ve buz sıcaklığıdır. Burada dikkat edilmesi gereken iki önemli nokta ise şöyledir:

- Hazne basıncı olabildiğince düşük olmalıdır (tercihen 0.1 mbar altında)
- Buz sıcaklığını çökme sıcaklığının hemen altında tutarak buzun üzerindeki su buharı basıncının olabildiğince yüksek olması sağlanmalıdır. Bu, ahşaba sensör yerleştirilerek ve hazne duvarı sıcaklığını istenen buz sıcaklığına ulaşana kadar yükseltilerek yapılabilir.

Başarılı bir dondurarak kurutma işlemi gerçekleştirebilmek için donma ve erime eğrilerini analiz ederek ötektik ve çökme sıcaklıkları iyi belirlenmelidir (Jensen, 2016: 32).

Çeşitli çözeltilerle işleme tabi tutulmuş nesnelerin dondurularak kurutulmasında optimum sıcaklığı belirlemek için dondurularak kurutma mikroskopisi kullanılabilir. Belirlenen değerlerdeki hatanın üst sınırının 1°C olduğu tahmin edilmektedir (Jones, vd., 2009: 2182).

Suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda dondurarak kurutma, vakumlu dondurarak kurutma cihazı gibi özel bir ekipman kullanılarak ya da atmosfer basıncında ev tipi bir dondurucuda vakumsuz olarak gerçekleştirilebilse de bazı eserler için vakumlu dondurarak kurutma iyi bir sonuç almak için tek seçenektir (Historic England 2018: 35).

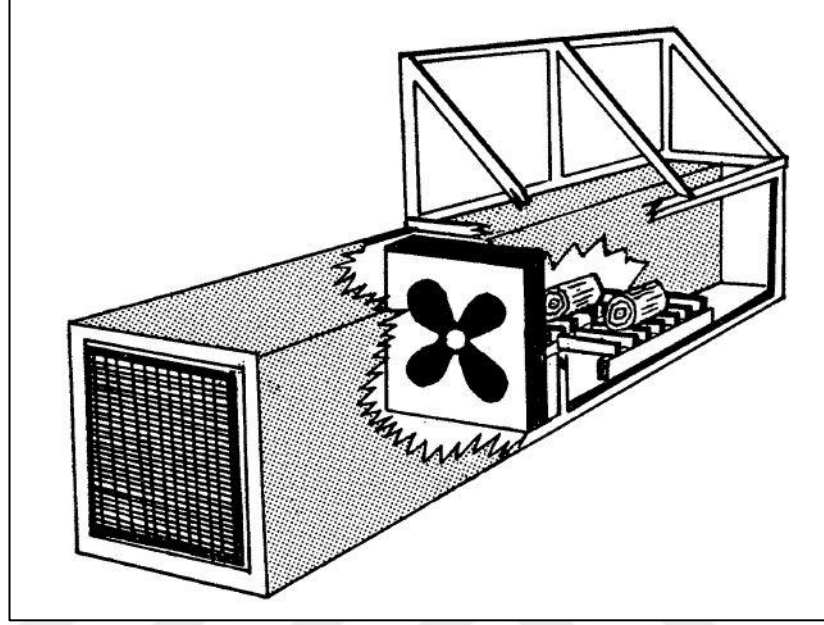
### **2.3. Vakumsuz Dondurarak Kurutma**

#### **2.3.1. Kış İklim Koşullarından Faydalanılarak Yapılan Uygulamalar**

Suya doymuş ahşap konservasyonu literatüründe “doğal dondurarak kurutma”, “atmosferik dondurarak kurutma” ve “dış dondurarak kurutma” olarak adlandırılan uygulama; dondurarak kurutma için gerekli iklim koşullarını sağlayan Kanada, Antartika ve And Dağları’nın yüksekleri gibi bölgelerde uygulanabilecek bir dondurarak kurutma yöntemidir (Ambrose, 1990: 252; Grattan, Clarke, 1987: 176, 203; Grattan, vd., 1980: 118). Dünya’nın kurak kıtası Antartika’da yer alan Davis, büyük ahşapların kurutulması için doğal şartların sağlandığı en uygun bölgelerden biridir (Ambrose, 1990: 253-258).

Bu uygulama için ilk koşul, dondurarak kurutma için ideal şartlara sahip bir doğal iklimin olmasıdır. Örneğin; 1970’li yılların sonunda Kanada, Ottawa’da yapılan uygulamada sıcaklığın 3 ila 4 ay boyunca 0°C’nin altında seyretmesi, Ocak-Mart arası sıcaklığın ortalama -10°C olması, her gün yaklaşık 5 saat güneş ışığının gizli süblimleşme ısını karşılaması ve ortalama 12 km/h’nin üzerindeki rüzgârların nesnenin etrafından suya doymuş havayı uzaklaştırması suya doymuş ahşabın süblimleşme yoluyla kurutulması için gerekli şartların sağlandığını göstermektedir. Uygulama, ahşabı yağıştan bağımsız fakat dış sıcaklığa maruz bırakarak kurutmak amacıyla kuvvetli rüzgârlarda ve şiddetli kış ikliminde ayakta duracak şekilde polietilen malzeme kullanılarak yapılmış basit bir çadırda gerçekleştirilebilir (Grattan, McCawley, 1978). Çadır tasarımıdaki iki temel gereksinim, iyi bir hava sirkülasyonu ile kar ve yağmurdan korunmadır. İki şartı da yerine getirmenin en basit yolu ise çadırı geniş tutmaktır. Karlı havalarda kapatılmak üzere, iç-dış sıcaklık ve bağıl nem farkını azaltmak için çatı pencereleri veya ahşap üzerine hava üfleyen bir

fan gibi eklemeler yapılarak da çadır sistemi geliştirilebilir (Şekil 2.7) (Grattan, vd., 1980).



**Şekil 2.7:** Fan eklemesi yapılmış bir dondurarak kurutma çadırı.

**Kaynak:** Grattan, vd., 1980: 120.

Kanada gibi bir kış ikliminin dondurarak kurutma için ideal şartları sağladığını ve vakum cihazı kullanmanın şart olmadığını düşünen bazı koruma uzmanları kış ikliminden yararlanarak dondurarak kurutma gerçekleştirmişlerdir (Grattan, McCawley, 1978; Grattan, vd., 1980; Grattan, vd., 1981). Büyük bir vakum cihazının pahalı olması ve konservasyonu yapılacak eserin büyüklüğünün, vakum cihazı haznesinin büyüklüğü ile sınırlanması onlara bu alternatif dondurarak kurutma yöntemini denemeyi düşündürmüştür (Grattan, Clarke, 1987: 176 ).

Coğrafik lokasyon, çadırın dizaynı ve ön işlemin dış ortamda dondurarak kurutma uygulamasındaki etkileri üzerine 1970’li yılların sonunda Kanada, Ottawa’ da araştırmalar yapılmıştır. Su içeriği %200’ün altında olan sağlam ahşaba %15 PEG 400 ve daha fazla bozulmuş ahşaba %10 PEG çözeltisi emdirilmiş ve ahşaplar - 25°C’de dondurularak Ocak ayında çadıra yerleştirilmiştir. İki buçuk ay sonra tamamen kuruması için 20°C, %38-55 bağıl nem koşullarındaki laboratuvar ortamına alınmıştır. En önemli gözlem, süblimleşme için uygun iklimin olduğu bir bölgede buz yüzeyinin iki buçuk aylık bir kurutma süresi sonunda ahşap yüzeyinden yaklaşık

1-2 cm geri çekilmesidir. Bu da bazı ince ahşaplar için tam bir kurutma elde edilebileceği anlamına gelir. Daha büyük ahşaplarda, buharlaştırılabilir suyun sadece %50'si veya daha azı uzaklaştırılabilmiştir (Grattan, vd., 1980). Dışı çok bozulmuş ahşaba bu yöntemin uygulanması durumunda yöntem, etkilenen bölgenin çekmesini ve çökmesini tamamen önleyemeyebilir. Ayrıca ahşaba PEG 400 emdirildiğinde su kaybı oranı daha yavaştır. Bu, çözeltinin buhar basıncının düşmesinden kaynaklanmaktadır. PEG ön emdirme işlemi yapılarak vakumlu dondurarak kurutma uygulanan ahşaplar ile PEG ön emdirme işlemi yapılarak dış ortamda dondurarak kurutma uygulanan ahşaplar karşılaştırıldığında, vakumlu dondurarak kurutma uygulanan ahşaplar daha iyi sonuçlar vermektedir (Grattan, vd., 1980).

Sonuçta, dış ortamda dondurarak kurutma uygulaması birçok tipte suya doymuş ahşap için başarılı bir yöntem olmakla birlikte çok bozulmuş ahşaplarda bu başarı daha az olmaktadır. Kurutmadan önce ahşaba PEG çözeltisi emdirmek sonuçları iyileştirebilir. Bu yöntem, Kanada gibi bir kış iklimi yaşanan bölgelerde yapılan kazılardan çıkartılan suya doymuş ahşaplarda basit bir tedavi yöntemi sağlayabilir (Grattan, vd., 1980). İşlem, ortamdaki dış koşullara yani mevcut güneş miktarına ve rüzgâr sıklığına bağlı olduğundan süreç üzerinde çok az kontrol sahibi olunabilmektedir. Fakat en büyük avantajı tamamen tabiat ana tarafından elimizdeki enerjiye dayanmasıdır (Bergeron, 2014: 11)

### **2.3.2. Vakumsuz Dondurarak Kurutucu**

Vakumsuz bir dondurarak kurutma cihazı kullanılarak yapılan dondurularak kurutma uygulamaları ile ilgili kapsamlı bilgiler bulunmamaktadır. Fakat dondurarak kurutmanın ucuz bir alternatifi olabilir (Şekil 2.8) (Gregory, vd., 2012: 143, 144).



**Şekil 2.8:** Ev tipi dondurucuda yapılan dondurarak kurutma işlemi.

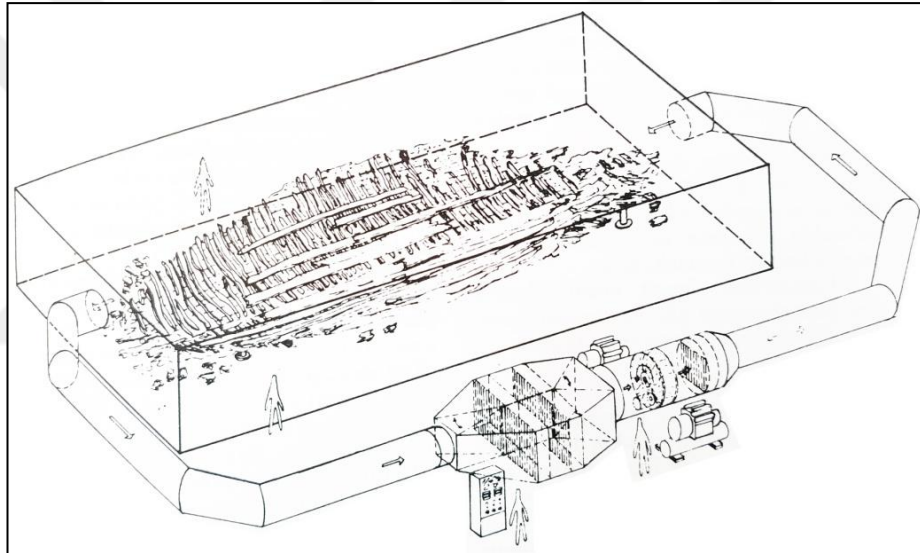
**Kaynak:** Historic England, 2018: 36.

McCawley, Grattan ve Cook tarafından deneysel olarak vakumsuz bir dondurarak kurutucu modeli geliştirilmiştir. Bu sistem,  $-8^{\circ}\text{C}$ 'de çalışan büyük bir kutu tipi soğutucu ile  $-40^{\circ}\text{C}$ 'de çalışan daha küçük bir kutu tipi soğutucunun birbirine bağlanması ile oluşturulmuştur. Zaman anahtarı tarafından kontrol edilen bir üfleyici, havayı her saat yaklaşık on dakika boyunca sistemde dolaştırır. Yüksek verimli bir vakumlu dondurucuda kurutulması yaklaşık 4 gün süren bir nesne bu kurutucuda yaklaşık 35 gün içinde kurumaktadır. Sonuçta, yöntem oldukça yavaştır ve vakumlu dondurarak kurutma kadar iyi sonuçlar vermemektedir. Çünkü işlemde ahşabın ilk 2 cm'si hızla kurur ve sonrasında bu kurumuş dış bölüm, iç bölgelere süblimleşme için gerekli ısı transferini azaltan bir yalıtkan görevi görür (Grattan, Clarke. 1987: 193-194).

### 2.3.3. Diğer Vakumsuz Dondurarak Kurutma Uygulamaları

1974 yılında Marsilya'da borsa inşaatı için yapılan hafriyat sırasında ortaya çıkartılan 19 m uzunluğunda, 8 m genişliğinde ve 20 ton ağırlığındaki Roma Dönemi ticaret gemisinin konservasyonu dünyada ilk kez 1980 yılında farklı bir dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem üç aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşama, ahşaptaki suyun azot kullanılarak dondurulmasıdır. İkinci aşama olan

süblimleşme aşaması, ahşabın yüzeyini 20 km/s hızında sürekli bir ultra-kuru hava akışına maruz bırakarak bu hava akımının damlacıklara dönüşmüş buz kristallerinin uçlarını alıp götürmesini sağlamaktır. Üçüncü aşama olan stabilizasyon aşamasında ise gemi düşük bir sıcaklık ve nem seviyesinde tutulur. Bu yöntem, geminin etrafına bir oda inşa edilerek uygulanmıştır. Kazı alanından müzeye nakledilen geminin etrafı cam ve katı malzemeden duvarlarla çevrilmiş, bu odanın ayrıca geminin kalıcı vitrini olması planlanmıştır. Sonrasında işlem için gerekli makinalar yerleştirilerek işlem uygulanmıştır. Bu mekanizmanın planı Şekil 2.9'da gösterilmektedir (Drocourt, Morel-Deledalle, 1983).



**Şekil 2.9:** Marsilya Gemisi'nin dondurarak kurutma mekanizmasının planı.

**Kaynak:** Amoignon, Larrat, 1985: 181.

1985 yılında Estonya, Saaremaa'da bulunan ve 16. yy'a tarihlendirilen Maasilinn gemisinin konservasyonu 1987 yılında özel olarak inşa edilen bir koruma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Gemi ahşaplarına bir yıl boyunca spreyleme yöntemi kullanılarak %20 PEG 1200 sulu çözeltisi uygulanmış, ardından vakumsuz dondurarak kurutma yapılmıştır. Dondurarak kurutma işlemi bir yıldan fazla sürmüştür. Pärnu Nehri'nden 1991'de kaldırılan Pärnu gemisi de PEG spreyleme işlemi için sistem içeren ve özel olarak yaptırılan bir konservasyon konteynirine yerleştirilerek Maasilinn gibi, %20'lik bir PEG 1200 su çözeltisi kullanılmasının ardından vakumsuz dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmuştur (Peets, Ratas, 2000).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### DONDURARAK KURUTMANIN VE SUYA DOYMUŞ AHŞAP ESERLERİN KONSERVASYONUNDA DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ

#### 3.1. Dondurarak Kurutmanın Kısa Tarihçesi ve Uygulama Alanları

Dondurarak kurutma veya liyofilizasyon, 19. ya da 20. yüzyılda icat edilmiş değildir. Orta asya kabilelerinin atmosfer basıncında süblimleşme yoluyla kurutmayı 10.000 yıldan daha uzun süre önce bildiği iddia edilmektedir (Bürger, 2006: 19). İnkalar da hasatlarını yıllarca saklayabilmek için yöntemler geliştirmiştir. Herhangi bir gıda işleme teknolojisine sahip olmayan bir kültür tarafından geliştirilen bu yöntemle üretilen ve “*chuño*” adı verilen dondurarak kurutulmuş patateslerin geleneksel işleme yöntemi ön işlem, dondurma ve kurutma aşamalarını takip eder. Patatesler, yüksek rakımlarda hasat zamanı toplandığında araziye yayılarak dondurucu havada bırakılır. Donmuş yumruların üzerinde yürüyerek (Şekil 3.1) donma tarafından serbest bırakılan nemin sıkıştırılarak çıkması sağlanır ve su tamamen uzaklaştığında patatesler güvenli bir şekilde saklanır (Haan, vd., 2010: 217). Yöntem, Amerika kıtası boyunca hala patates üretimi için kullanılmaktadır (Bürger, 2006: 19).

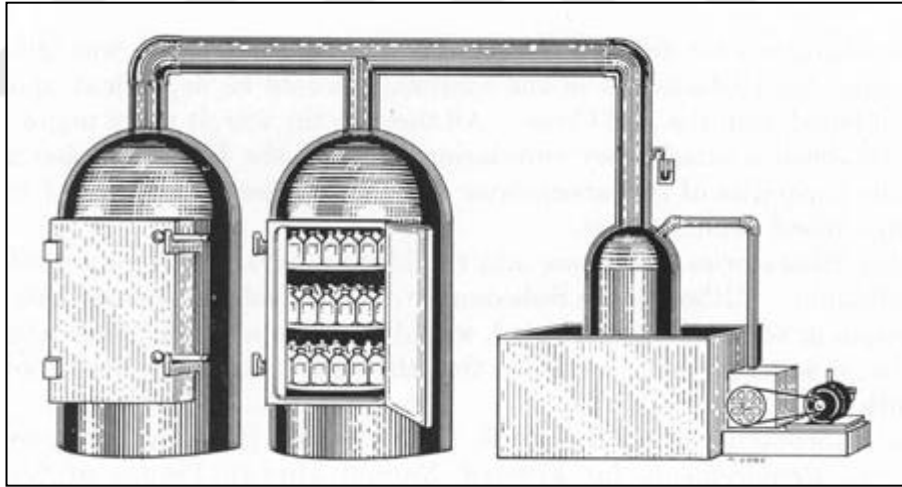


Şekil 3.1: “*chuño*” patates üretimi.

Kaynak: Romeo, 2016 (Çevrimiçi) <https://www.nytimes.com/>, 29 Nisan 2019.

İnkalar'ın patateslerini saklamak için kullandığı dondurarak kurutma yöntemi, günümüzde yüksek teknolojinin bize sağladığı imkanlarla soyu tükenmekte olan bazı hayvanların spermlerini koruma yöntemi olarak kullanılmaktadır ve bazı bilim adamları bu yöntemi hayvanların soyunu tükenmekten kurtarmanın bir yolu olarak görmektedir (Kaneko, vd., 2014).

Bugünün tanımıyla ilk liyofilizasyon, 1890 yılında Leipzig Üniversitesi'nde anatomi profesörü olan Richarrd Altmann tarafından gerçekleştirilmiştir. Altman, histolojik örnekleri dondurarak kurutmuştur. Bundan yıllar sonra 1909'da Shakell kan ürünlerinin dondurulmuş durumdan vakumla kurutma prensiplerini tarif etmiştir (Bürger, 2006: 19, 22, 23). 1927'de Tival ve 1934'de Elser dondurarak kurutma için patentli sistemler kurmuşlardır. Dondurarak kurutmanın endüstriyel önemi, II. Dünya Savaşı sırasında sahada çok miktarda ihtiyaç olan penisilin ve plazmanın nakliyesi ve soğutulması gerektiğinde ortaya çıkmıştır (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2:** Kan plazması dondurarak kurutma ekipmanı şematik çizimi.

**Kaynak:** Kendrick, 1964: 289 (Çevrimiçi) <https://collections.nlm.nih.gov/ext/dw/0014773/PDF/0014773.pdf>, 29 Nisan 2019.

1950'lerde ve 1960'larda, dondurarak kurutmanın farmasötik ve gıda amaçlı kullanımı yaygınlaşmış, yıllar geçtikçe de dondurarak kurutma çeşitli şekillerde gelişmiştir. İlk adımlar soğutma sistemleri, bileşenleri ve bunların kontrolünde iyileştirme için atılmıştır. Sonrasında, ilaç düzenleme otoritelerinin talepleri doğrultusunda daha güvenilir ekipman, aseptik işlem ve işlem doğrulaması desteği

için gelişme sağlanmış ve insan müdahalesini en aza indiren otomatik yükleme sistemleri geliştirilmiştir. Son zamanlarda ise üretim verimliliğinin optimize edilmesine de imkân verebilecek süreç ölçüm ekipmanlarının geliştirilmesi için çalışılmaktadır (Corver, 2009: 67).

Günümüzde, dondurarak kurutma yöntemi gıda sanayi için önemli bir işlemdir. Dondurarak kurutulmuş bir ürün orijinal özelliklerini yıllarca muhafaza edebilir. Ayrıca dondurarak kurutma, gıdanın ağırlığında önemli bir azalmaya yol açtığı için taşıma ve saklamada kolaylık sağlar. Askeriyede ve uzay gemilerinde bu avantajları için de tercih edilmektedir (Yney, 2005, Fellows, 2000: 441).

İlaç sanayinde dondurarak kurutma yöntemi, steril kuru enjeksiyonluk preparatların hazırlanmasında, kan ürünlerinin, biyolojik materyallerin, bakteri suşlarının, aşıların ve serumların kuru halde elde edilip saklanması, bitkilerin sulu ekstrelerinden etkin maddelerin elde edilmesinde ayrıca bazı özel ilaç şekillerinin ve ilaç taşıyıcı sistemlerinin hazırlanmasında kullanılır (şekil 3.3) (Doğanay, 2009: 44).



**şekil 3.3:** Günümüzdeki bir dondurarak kurutma tesisi.

**Kaynak:** GEA, (t.y.) (evrimii) <https://www.gea.com/en/products/ray-freeze-dryer.jsp>, 29 Nisan 2019.

Dondurarak kurutma yöntemi, arkeolojik buluntuların konservasyonunda kullanılmaktadır. Bu yöntem son yıllarda kazı alanlarından ele geçen suya doymuş organik buluntuların konservasyonunda kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir.

### **3.2. Suya Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonunun Kısa Tarihçesi**

Eski eserlerin korunmasına ilişkin en eski yazılı kanıt MS 1. yy'a dayanmakta olup modern korumanın temelleri Rönesans ve sonraki yüzyıllarda antikacılığın yaygınlaşmasıyla atılmıştır. 18. yy'ın ikinci yarısında yapılan Pompeii ve Herculaneum kazıları, ortaya çıkarılan eserleri korumak için tekniklere ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. 18. yy'ın sonunda ve 19. yy'ın başlarında, bilim adamlarının arkeolojik materyallerle ilgili sorunlara daha fazla ilgi duymaya başlaması ve onların katkıları, 19. ve 20. yy'da arkeologların geliştirdiği alan teknikleriyle birlikte modern arkeolojik koruma disiplini oluşturmuştur (Sease, 1996: 157).

1807 yılında kurulan Danimarka Kopenhag'daki Ulusal Müze, bir komisyon oluşturarak eserlerin koruma onarım faaliyetlerine başlamıştır. Müzede ıslak ahşap üstüne çalışmalar yapan C.F. Herbst 1861'de bu konudaki çalışmalarını yayınlamıştır (Sease, 1996: 158, 160). Modern koruma laboratuvarlarının öncüsü olan Berlin'deki Kraliyet Müzeleri'nin laboratuvar müdürlüğünü yapmış bir kimyager olan Friedrich Rathgen' in 1898'de yayınlanan “*Die Konservierung von Altertumsfunden*” kitabı farklı malzemeden yapılan eserlerin tedavisi için koruma teknikleri sunmuş ve 1905'te İngilizce'ye çevrilen bu kitap yıllarca tüm dünyada etkili olmuştur (Sease, 1996: 158). Rathgen ıslak ahşap nesnelerin konservasyonu için; geliştiren kişilerin adlarıyla anılan Leiner, Speerschneider ve Herbst'in yöntemini açıklamıştır. Leiner'in yönteminde ıslak ahşap nesneler az miktarda karbolik asitle karıştırılmış gliserinle işlem görürken Speerschneider'in yönteminde kolza yağı, balmumu, çam reçinesi ve benzen karışımı içinde ısıtılır. Herbst yöntemi ise şu şekildedir: Nesneler iki saat doymuş bir alum çözeltisi içinde kaynatılır. Kaynatma süresi nesnenin kalınlığıyla orantılı olmalıdır. Çözeltiden alınan ahşap, ılık suyla yıkanır ve iyice kurduğunda alabildiği kadar emdirilecek şekilde sıcak keten tohumu yağıyla fırçalanır. En son işlem olarak da ahşaba vernik veya şellak ile ince bir kaplama

uygulanır (Rathgen, 1905: 157-159). 1890'da Kopenhag'daki Ulusal Müze'ye atanan ve bir heykeltıraş olan Rosenberg, alum çözeltisine gliserol ekleyerek yöntemi değiştirmiştir (Sease, 1996: 158; Grattan ve Clarke, 1987: 168, Plenderleith, 1956: 135). Alum yöntemi, suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda 100 yılı aşkın bir süre kullanım alanı bulmuştur (Şekil 3.4) (Grattan ve Clarke, 1987: 188).



**Şekil 3.4:** 1950'lerde Stockholm'deki Ulusal Antikalar Müzesi'nde bulunan alum kaynatıcı.

**Kaynak:** Häggström, vd., 2013: 10.

1950'li yıllarda Moren ve Centerwall'ın çalışmalarıyla suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda PEG kullanımı gündeme gelmiştir. 1961'de ortaya çıkartılan İsveç savaş gemisi Vasa, 1962'de Danimarka Ulusal Müzesi'nde Skuldelev Gemileri, sonraki yıllarda İngiltere Kralı VIII. Henry' nin savaş gemisi Mary Rose, Avustralya'da Batavia başta olmak üzere birçok batığın ve batıklardan ele geçen eserlerin konservasyonu PEG yöntemiyle yapılmıştır. Yaklaşık 70 yıldır suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda kullanılan PEG, günümüzde halen en yaygın kullanılan malzeme olup dünyanın önde gelen laboratuvarlarında PEG ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemi standart uygulamalardan biridir (Hafors, 1990: 196-198; Unger, vd., 2001: 6, 501; Fix, 2015: 192).

### **3.3. Suya Doymuş Ahşap Eserlerin Konservasyonunda Dondurarak Kurutma Yönteminin Tarihçesi**

#### **3.3.1. 1950-1970 Yılları Arası (İlk Uygulamalar)**

1950’li yıllarda, suya doymuş ahşap konservasyonunda iki temel yaklaşım vardır. Bunlardan biri, ahşaptaki suyun alum gibi hacim arttırıcı bir malzeme ile yer değiştirmesini sağlayarak ahşaptaki hücre boşluklarının bu malzeme ile doldurulması ve böylece kuruma sırasında oluşan hücresel çökmeyi engellemektir. Diğer yaklaşım ise ahşaptaki suyun yüzey gerilimi düşük bir sıvı ile yer değiştirmesini sağlayarak suyun kuruma sırasında oluşturacağı hücresel hasardan kaçınmaktır (Ambrose, 1971: 53; Plenderleith, 1956: 134-137). Bu ikinci yaklaşıma alternatif bir diğer yaklaşım ise Christensen tarafından Danimarka Ulusal Müzesi’nde geliştirilen yöntemdir (Christensen, 1971: 27, Ambrose, 1971: 53). Bu yöntemde ahşap içindeki suyun tert-bütanol ile yer değiştirmesi sağlandıktan sonra ahşap dondurularak tert-bütanol, vakum cihazında süblimleşme yoluyla ahşaptan uzaklaştırılır. Dondurarak kurutma yönteminin ilk uygulamaları ya bu şekilde yapılmış ya da ahşap sudan direkt dondurarak kurutulmuştur (Ambrose, 1971: 53-57; Rosenquist, 1959b: 62-72; Organ, 1959: 96-105).

1955 yılında, Hollanda’nın Pesse Köyü yakınlarında yol yapımı sırasında bir çiftçi tarafından bulunan sarıçam ağacının kütüğünden oyularak yapılmış Pesse Kanosu’nun konservasyonunda dondurarak kurutma yönteminin denendiği bilinmekte olup bu kano Hollanda Assen’deki Drents Müzesi’nde sergilenmektedir (Şekil 3.5) (Verhagen, 2018: 89; Ambrose, 1990: 237; Rosenquist, 1959a: 69; Heide, 1981: 22)



**Şekil 3.5:** Pesse kanosu.

**Kaynak:** (Çevrimiçi) <http://www.allearningfamily.com/main/pesse-canoe-worlds-oldest-boat/>, 12 Mart 2019.

Organ, 1956 yılında Kalambo Çağlayanı'nda Dr. Desmond Clark tarafından yapılan kazıda ortaya çıkartılan Alt Paleolitik Dönem'e ait ıslak ahşap aletlerin konservasyon çalışmalarını British Museum Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirmiştir. Bu eserlerin konservasyonu için sudan direkt dondurarak kurutma denemeleri yapmış, ahşapları farklı yöntemler kullanarak dondurmuştur. Bu yöntemlerden biri, ıslak ahşabın buharlaşma yoluyla hızlıca dondurulması için vakum kullanılmasıdır. Bu denemede ahşap, içinden kaçan hava kabarcıklarından zarar görmüştür.  $-80^{\circ}\text{C}$ 'de katı karbondioksitle dondurma uygulamasında da aynı sorun oluşmuştur. Yumuşak ahşapların  $-182^{\circ}\text{C}$ 'de sıvı oksijene batırılma yoluyla dondurulması başarılı sonuç verse de bu uygulama daha sert ahşapların çatlamasına neden olmuştur. Bu farklı dondurma yöntemleriyle dondurulduktan sonra buzun süblime edildiği ahşap örneklerinden en iyi sonuç vereni bile radyal ve boyuna yönde %6 çekerek çarpılma göstermiştir. Sonuçta; sudan direkt dondurarak kurutma yöntemi güvenilir bulunmuş ve hayal kırıklığı yaratmıştır. Denenen bir başka yöntem, Christensen'in tert-bütanol'den dondurarak kurutma yöntemidir. Organ, bu yöntemle konservasyonunu gerçekleştirdiği eserlerde çatlama ve çarpılma gibi bozulmalar gözlemlemiştir. Süblimleşme aşamasında ahşapta çatlakların oluştuğu,

serin ortamda birkaç ay muhafaza edildikten sonra ise çarpılmaların meydana geldiği görülmüştür (Organ, 1959).

Aynı yıllarda, Rosenquist de Oseberg Gemisi'nden ele geçirilen ıslak ahşap buluntulardan bazılarının konservasyonunu tert-bütanolden dondurarak kurutma yöntemiyle yapmıştır. 1904 yılında Oslo Fiyordu'nun batısında bulunan Viking Gemisi Oseberg bulunduğu dönemde parçalar halinde Oslo'daki laboratuvara taşınmış ve Brgdøy'deki müzede tekrar inşa edilmiştir. Gemideki ahşap buluntuların büyük bir çoğunluğu alum metoduyla işlem görmüş fakat en iyi birkaç eser daha iyi bir konservasyon metodu bulunması beklentisiyle formalin eklenmiş su içinde korumaya alınmıştır (Rosenquist, 1959a: 13-15; Rosenquist, 1959b: 62-72). Yıllar sonra bu ahşapların konservasyonu 1955-1956 yıllarında Rosenquist tarafından Oldsaksamling Üniversitesi'nde tert-bütanolden dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmıştır. Fakat alınan tüm önlemlere rağmen eserlerde çatlaklar oluşmuş ve ciddi zararlar meydana gelmiştir (Şekil 3.6) (Rosenquist, 1959b: 62-72).



**Şekil 3.6:** Oseberg eserinde oluşan çatlaklar.

**Kaynak:** Rosenquist, 1959b: 66.

Madison'daki Orman Ürünleri Laboratuvarı'nda taze odunda boyutsal durağanlığı sağlamak için çalışmalar yürüten Stamm, ahşaba PEG emdirmeyi denemiş ve bu konudaki çalışmalarını 1956 yılında yayınlamıştır. Stamm, çalışmaları sonucunda suda yüksek çözünürlüğü ve uçucu olmaması gibi özellikleri nedeniyle PEG'in ahşap için hacim kazandırıcı ve boyutsal stabilizasyonu sağlayıcı bir madde olduğunu ortaya koymuştur. PEG'in, tarihsel değere sahip suya doymuş ahşap nesnelerin korunması için de uygun bir malzeme olduğunu, bu gibi nesnelere havada kurutulmadan önce bir süre PEG çözeltisi emdirilmesinin kuruma sırasında nesnede

çökmeyi engelleyeceğini ve nesnenin parçalara ayrılmasını önleyebileceğini belirtmiştir (Stamm, 1956: 204, Stamm, 1959). 1950'li yıllarda Moren ve Centerwall, PEG'in eser koruma alanında kullanımını İsveç'te Mo och Domsjö şirketinde adlarına patentlettirmiş ve yayınladıkları makale ile yöntemin tanıtımını yapmışlardır (Hafors, 1990: 196-198). Bu gelişmelerle birlikte dünyadaki farklı koruma laboratuvarlarında suya doymuş ahşap konservasyon uygulamaları PEG kullanılarak yapılmaya başlamıştır (Mühlethaler, 1973: 34-44, Jespersen, 1981: 71, 72).

1962 yılında Danimarka Roskilde Fiyordu'ndan bir balıkçı teknesi, iki savaş ve iki yük gemisinden oluşan Viking Dönemi'ne ait gemiler çıkartılmıştır. Christensen tarafından konservasyon çalışmalarına Danimarka Ulusal Müzesi'nde 1962 yılında başlanan Skuldelev Gemileri, müzede konservasyonu PEG kullanılarak yapılan ilk arkeolojik buluntu olmuştur (Jensen, vd., 2011: 14, 15). Danimarka Ulusal Müzesi'nde suya doymuş ahşapların konservasyonunda standart metot olarak 1859'den beri alum metodu kullanılmaktadır, fakat 5 yıl yapılan denemeler sonucunda alum metodu kaldırılmıştır. Büyük ahşap parçalar için yeni kullanılacak metodun PEG olmasına karar verilmiştir. Skuldelev Gemileri'ne ait, çoğunluğu meşe olan farklı türlerden yaklaşık 45.000 parça bulunmakta olup PEG 4000 emdirme uygulamalarına başlanmıştır. Emdirme işlemi diğer ağaç türlerinde başarıyla uygulanmaya devam ederken iyi korunmuş meşe ahşaplarının zarar gördüğü gözlemlenmiştir. Bu sebeple Christensen, ahşapları bozulma durumuna göre 3 sınıfa ayırmış; her bir sınıfa ayrı işlem uygulamıştır. 3. sınıftaki iyi korunmuş ahşaplarda permeabilityi arttırmak için çeşitli deneyler yapmıştır. Bunlardan biri ahşaba PEG 4000/tert-bütanol çözeltisinde emdirme yapılmasıdır. İlk önce ahşap aşamalı olarak tert-bütanolde dehidre edilmiş, dehidrasyon işleminin sonunda sıcaklık tert-bütanolün erime sıcaklığı olan 24-25<sup>0</sup>C'den 30-35<sup>0</sup>C'ye yükseltilmiştir. Sonrasında sıcaklık 52-55<sup>0</sup>C'ye yükseltilerek aşamalı olarak PEG 4000 eklemesi yapılmıştır. %40-50 konsantrasyona kadar yapılan yavaş ekleme sonunda konsantrasyon kısa sürede %66'ya çıkartılmıştır. Emdirme tankından çıkartılan ahşap, alüminyum folyoya sarılarak soğutucuda soğutulmuştur. Sonrasında, alüminyum folyo alınmış ve eser 19.9-26.6 mbar basınçla vakum işlemine alınmıştır. Eserin boyutuna göre süblimleşme birkaç saatle bir hafta arasında sürmüştür. Christensen bu yöntemi

uyguladığı ahşaplarda, teğet yönde %2 ila %8 çekme ve ahşapların yüzeyinde çatlak oluşumu gözlemlemiştir (Christensen, 1971: 27-35).

Öte yandan Ambrose, Rosenquist ve Organ'ın çalışmaları sonrasında gözlemledikleri olumsuzluklara rağmen dondurarak kurutma yönteminin diğer yöntemlerden daha iyi sonuç vereceğine inanmıştır. Başarılı bir dondurarak kurutma uygulaması yapmak için eserin dondurulması esnasında gördüğü hasar ve vakum uygulamasında oluşan çatlaklar olmak üzere iki problemin üstesinden gelmesi gerektiğinin farkındadır. Ambrose, yaptığı ilk deneylerde  $-196^{\circ}\text{C}$ 'de sıvı nitrojen ve  $-79^{\circ}\text{C}$ 'de karbondioksit ile hızlı dondurma yaptığında suyun donduğunda %12 oranında genişmesi sebebiyle ahşaplarda büyük çatlaklar oluştuğunu gözlemlemiştir. PEG 400'ün %10'luk sulu çözeltisinin donduğunda suyun yarısı kadar genişlediğini ve karbondioksitle yapılan dondurma uygulamasının sıvı nitrojenle yapılan uygulamaya göre ahşaba daha az hasar verdiğini tespit etmiştir. Ambrose, 1966 ve 1968 yıllarında Yeni Gine, Wahgi Vadisi'nde yapılan kazılarda ele geçirilen az bozulmuş ahşap buluntulara PEG 400 ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemi uygulamıştır. PEG 400'ün %10'luk sulu çözeltisinde, boyutuna göre 3 ay ila 12 ay arasında beklettiği ahşapları yarım saat ila iki saat kadar karbondioksite maruz bırakarak dondurmuştur. Sonrasında örnekleri alüminyum folyoya sarmış ve kurutma haznesine almıştır. Uygulamada kondansör sıcaklığı  $-35^{\circ}\text{C}$ , hazne basıncı 0.6 mbar ile 1.3 mbar arasında olup işlemin başlangıcında  $-60^{\circ}\text{C}$  olan ahşap sıcaklığı işlem boyunca yavaşça yükselmeye devam etmiştir. Ambrose, 70 kg ıslak ahşaba uyguladığı bu yöntem sonucunda sağlam ahşaplarda boyuna yönde %1 ve enine yönde %5 çekme ve bozulmuş ahşaplarda önemsenmeyecek kadar az bir çekme gözlemlemiştir. Ahşapların yüzeysel yapısı çok iyi korunmuş, işlem gören örneklerin renginde normal kuruyan bir ahşabın rengine kıyasla fark edilebilir bir değişiklik ve herhangi bir emdirme maddesiyle işleme tabi tutulduğuna dair bir belirti olmamıştır (Ambrose, 1971: 53-57). Konservasyonu 1968'de yapılan ahşaplarda 1990'a kadar herhangi bir bozulma gözlemlenmemiştir (Ambrose, 1990: 246). Güney Avustralya'da bataklık yataklarından ele geçen 10.000 yıllık bumeranglara da Ambrose tarafından aynı yöntem uygulanmıştır (Ambrose, 1975: 1-14). Bumeranglar, %7 PEG 400 çözeltisinde  $20^{\circ}\text{C}$ 'de 6 ay bekletilmiş sonrasında 3

ayın üzerinde bir süreçte konsantrasyon %10'a çıkartılmış ve çözeltiden alınan ahşaplar dondurarak kurutulmuştur. İşlem sonunda ahşapların yüzey görüntüsü ve rengi iyi korunmuş, ahşaplarda boyutsal bir değişiklik gözlemlenmemiştir (Unger, vd., 2001: 410). Ambrose bu yöntemi geliştirdiği sırada ondan bağımsız olarak Elmer da çok benzer bir prosedür tasarlamış, Elmer ve Hug, Ambrose'un yöntemine benzer teknikler için ayrıntılı prosedürler bildirmiştir (Grattan, Clarke, 1987: 174). Iwasaki ve Higuchi de Nara'daki Heijo Sarayı'nın kalıntılarından çıkartılan ahşap eserleri %50 PEG 6000 çözeltisinde yaklaşık 15 dakika beklettikten sonra dondurarak kurutmuştur (Iwasaki ve Higuchi, 1969: 1-20; Rosenquist, 1975: 14).

### **3.3.2. 1971-1985 Yılları Arası**

Suya doymuş ahşap koruma çalışmalarını çeşitli yöntemlerle sürdüren bazı koruma bilimciler, 1970'li yıllardan itibaren bölgelerinde yapılan kazılarda oldukça fazla suya doymuş ahşap eser ortaya çıkartılması ve çalıştıkları laboratuvarların kapasitelerinin yetersiz gelmesi üzerine alternatif yöntemler, daha iyi sonuçlar ve daha az işlem süresi ile ilgilenmeye başlamışlardır. Bu alanda yapılan gelişmeleri takip eden uzmanlar, Ambrose'un uyguladığı yöntemi, kazılardan gelen çok sayıda küçük eseri kısa zamanda, ucuz yoldan tedavi edebilmek için değerlendirmeye almış ve uygulamaya sokmuşlardır. Bir yandan da yöntemin daha iyi anlaşılmasına ve sonuçların iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır (Rosenquist, 1975; Sæterhaug, 1985).

Oslo'daki Oldsaksamling Üniversitesi laboratuvarına 1970 yılında Norveç şehirlerinin merkez bölgelerinde yapılan kazılardan oldukça fazla suya doymuş ahşap eser gelmeye başlamıştır. Tekne kalıntıları ve yapı elemanlarından önemli görülenler 60°C'de, PEG 1000 ve 1500 çözeltisinde %60 son konsantrasyon olacak şekilde emdirme işlemine tabi tutulmaktadır. Fakat Norveç'in güneydoğu bölgesinden de laboratuvara fazla sayıda suya doymuş küçük ahşap eserler gelmektedir. Rosenquist, Ambrose'un dondurarak kurutma yöntemi ile ilgilenmeye başlamış ve onunla irtibata geçerek dondurarak kurutma denemeleri yapmıştır. Yapılan uygulamalarda, -30°C dereceye ulaşabilen 550 lt kapasiteli derin dondurucu ve daha önce tert-bütanolden dondurarak kurutma uygulamalarında kullanılan 45 cm çapında ve 135 cm

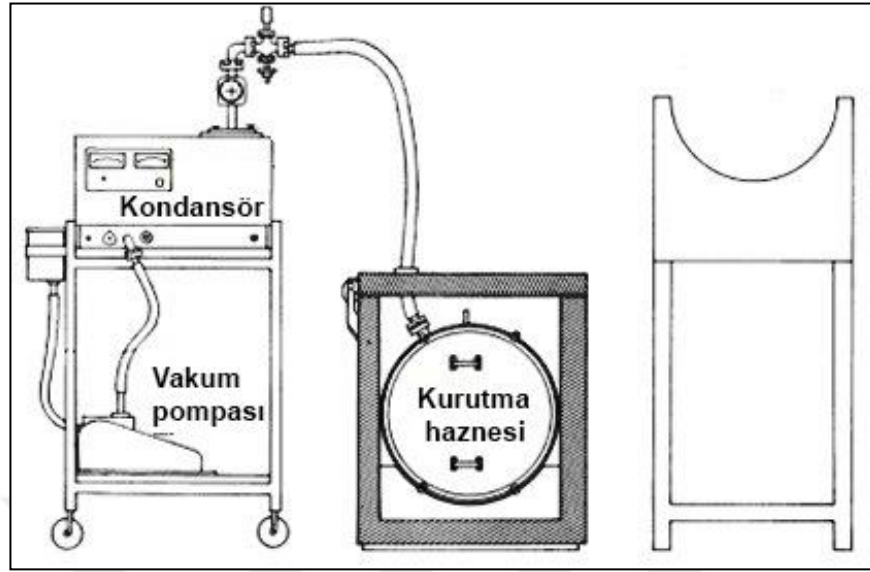
uzunluğunda vakum cihazı kullanılmış, 0.2 mbar ve 1.3 mbar basınç ve -20°C sıcaklık değerlerinde çalışılmıştır. PEG 4000 çözeltisiyle yapılan denemede, ahşapta çatlak ve ahşap yüzeyinde beyaz tabaka gözlemlenmiştir. PEG 1000, PEG 1500 ve metil selülozun dondurarak kurutma sebebiyle oluşan çatlaklara hiçbir etkisi olmamış öte yandan %10 PEG 400 emdirilerek dondurarak kurutma yapılan ahşapta %2 teğet yönde çekme saptanmış ve çatlak oluşmamıştır. Fakat bu yöntemle tedavi edilen ahşabın çok düşük dayanıma sahip olduğunu gözlemleyen Rosenquist, yüzeyi güçlendirmek ve yalıtım amacıyla ahşap yüzeyine sağlamlaştırıcı uygulamıştır (Rosenquist, 1975: 9-23).

Trondheim Üniversitesi Müze Konservasyon Laboratuvarı'na Norveç'te 1970'den itibaren devam etmekte olan Trondheim'deki Ortaçağ kazılarında eserler gelmektedir. Farklı bozulma durumlarında olan, %200-500 arasında su içeriğine sahip bu eserlerin konservasyonu 1975'e kadar PEG 4000 emdirme yöntemiyle yapılmış fakat uzun işlem süresi, PEG'in okside olma olasılığı ve işlem gören eserlerin ağır ve renginin koyu olması gibi sorunlar tespit edilmiştir. Ambrose, Rosenquist ve Christensen'in yaptığı çalışmalardan haberdar olan Sæterhaug, kazıların daha da genişleyerek laboratuvara gelen eser sayısının artması üzerine, küçük eserler için dondurarak kurutma yöntemini kullanmaya başlamış ve 1976-1984 yılları arasında dondurarak kurutma ile ilgili yapılan araştırmalarda ağaç türü, eserin bozulma derecesine göre PEG seçimi ve PEG konsantrasyonu ile ön dondurma hızının yöntemin sonuçlarını nasıl etkilediğini belirlemek üzere araştırmalar yapmıştır. Araştırmalar sonucunda; doğru konsantrasyonda PEG uygulandığında PEG'in sulu çözeltisinden dondurarak kurutmanın başarılı sonuç verdiği, ahşap türü ve ön dondurma metodu gibi diğer faktörlerin ikincil rol oynadığı tespit edilmiştir. PEG konsantrasyonunun bozulma derecesine bağlı olarak seçilmesi gerektiği ve %30 PEG 400'le işlem görmüş eserlerde depolama koşullarında yüksek bağıl nem olmasının problem yarattığı rapor edilmiştir. Ayrıca, yüzeyi süngerimsi fakat öz odunu sağlam olan yüksek su içeriğine sahip ahşap eserlerin daha problemlili olduğu, bu ahşaplarda PEG 400'ün diri oduna yeterli dayanımı sağlayamadığı fakat öz odun için yeterli olduğu, PEG 4000'in ise yüzey için gerekli dayanımı sağladığı fakat öz oduna kolay penetre olamadığı saptanmıştır. Tamamen süngerimsi ahşap eserlerin ise

düşük konsantrasyonlu çözeltiden dondurarak kurutma için uygun olmadığı belirtilerek bu ahşaplarda PEG emdirme yöntemi ya da başka bir yöntemin kullanılması tavsiye edilmiştir (Sæterhaug, 1985: 195-206).

Ambrose'un yöntemini uygulayan bir başka laboratuvar Polonya, Gdansk'daki Merkez Denizcilik Müzesi'dir. Koleksiyonlarındaki ahşap eserlerin tüm koleksiyonlarının %90' ını oluşturması nedeniyle yöntem değerlendirmeye alınmış ve kullanılmasına karar verilmiştir. Ekim 1979'da Danimarka şirketi *HETO* tarafından imal edilen bir dondurarak kurutma cihazı satın alınmıştır. Eserler korunma durumuna bağlı olarak iki hafta ila birkaç ay arasında %5-15 PEG 400 çözeltisinde bekletilmiş, çözeltiden çıkartılan eserler dondurarak kurutulmuştur. Solen ve W-21 batıklarından yüzlerce ahşap eserin konservasyonu bu yöntemle yapılarak tatmin edici sonuçlar alınmış, özellikle boyutsal değişikliklere duyarlı eserlerin konservasyonu konusunda bu yöntemin kullanımıyla çok iyi sonuçlar elde edileceği belirtilmiştir (Dyrkova, Jagielska, 1981: 203-205).

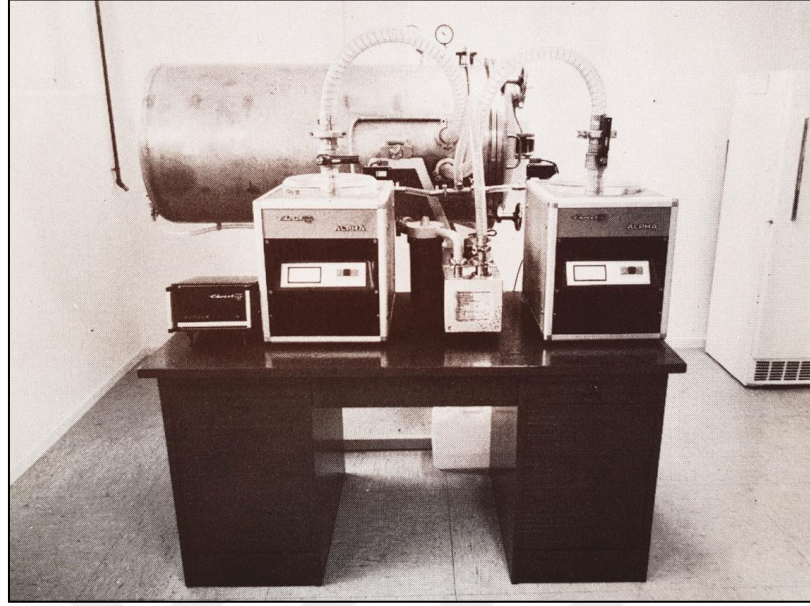
Kuzey İrlanda'da Ulster Müzesi, 1978'de La Trinidad Valencera batığından eserlerin korunmasına ilişkin sorumluluk aldığı anda, çok büyük miktarda suya doymuş organik malzemenin konservasyonu karşı karşıya kalmıştır. Kimyasal dehidrasyon ve emdirme işlemlerini kullanarak koruma işlemlerine başlamaya ve en kısa zamanda, küçük ve orta büyüklükteki nesnelerin hızlı ve etkili tedavisi için dondurarak kurutma ekipmanı elde etmeye karar verilmiştir. Fakat gerekli büyüklükte bir kurutma haznesine sahip özel sistemlerin çok pahalı olduğu görülmüştür. Sonuçta, Sussex,'deki *Edwards High Vacuum Limited* adlı firmadan sistem için gerekli bileşenlerin çoğu tedarik edilerek izin verilen bütçenin içine giren bir tasarım üretilmiştir (Şekil 3.7). Bu tasarım, benzer büyüklükte tescilli bir sistem için istenen fiyatın yarısından biraz daha düşük bir maliyetle elde edilmiştir (Kelly, 1980: 176-179).



**Şekil 3.7:** Ulster Müzesi'nde tasarlanan dondurarak kurutma cihazı.

**Kaynak:** Kelly, 1980: 178.

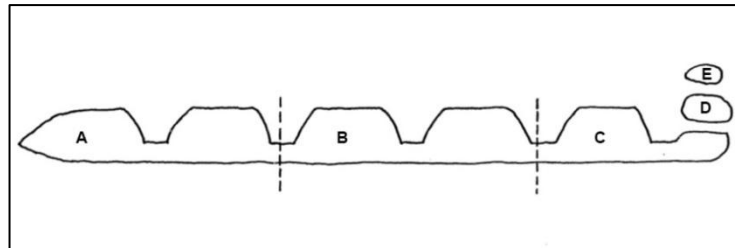
1979-1980 yıllarında Almanya'da yapılan Haithabu Gemisi kazısından çıkartılan geminin ve eserlerin Schleswing'deki Gottorp Kalesi'ne nakledilmesi; laboratuvarda organizasyon, depolama, belgeleme ve konservasyon çalışmaları yapmak gibi birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Kazıdan gelen geminin teşhire yetiştirilmesi için çalışılırken tonlarca suya doymuş organik eser de konservasyon çalışmaları yapılmak üzere beklemeye alınmıştır. Haithabu gemisi ahşapları için PEG 4000 emdirme yöntemi uygulanmasına karar verilmiş fakat 2. ve 3. sınıf meşe ahşaplarda emdirme işlemi çok uzun zaman alacağı için alternatif yöntemler üzerinde durulmuştur. Dondurarak kurutma yönteminin hem bu soruna hem de çok sayıda halat ve ahşap eserin konservasyon sorununa çözüm getireceği düşünülerek yöntem değerlendirilmeye alınmıştır. Ahşaplara %15 PEG çözeltisi emdirilmiş ve ahşaplar hızlı bir şekilde dondurulmadan önce ön soğutma yapılmıştır. Sonrasında ahşaplar 140 cm uzunluğunda ve 70 cm genişliğinde, hacmi 600 litre olan silindirik kurutma haznesine, 3 m<sup>3</sup> lük kondansöre ve 15 m<sup>3</sup>/saat gücünde vakum pompasına sahip dondurarak kurutma cihazında işleme alınmıştır (Şekil 3.8). İnce ahşapların kurutma işlemi birkaç haftada tamamlanmıştır. Yapılan bu ilk denemelerden sonra suya doymuş ahşap konservasyonunda dondurarak kurutma yönteminin uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır (Nielsen, 1985: 299-312).



**Şekil 3.8:** Gottorp Kalesi’ nde kullanılan 600 litre kapasiteli dondurarak kurutma cihazı.

**Kaynak:** Nielsen, 1985: 309.

Avusturya, Johnsbach Vadisi’nde 1983 yılında bir madende yapılan kazıda Ortaçağ’a ait bir merdiven çıkartılmış, ıslak durumda ele geçen bu buluntu Seibersdorf’da bulunan araştırma merkezine nakledilmiştir. Ladin ağacından yapılmış 246 cm uzunluğundaki bu nadir buluntu oldukça bozulmuş durumda ele geçmiştir. 1984’te başlanan koruma çalışmalarında dondurarak kurutma makinesinin yaklaşık 1 m uzunluğunda parçalar için koruma işlemi gerçekleştirilebilir olması nedeniyle eser A-B ve C olmak üzere 3 parçaya bölünmüştür. D ve E olmak üzere de biri zaten kopmuş, diğeri de temizlik sırasında kopan 2 küçük parça daha vardır (Şekil 3.9).



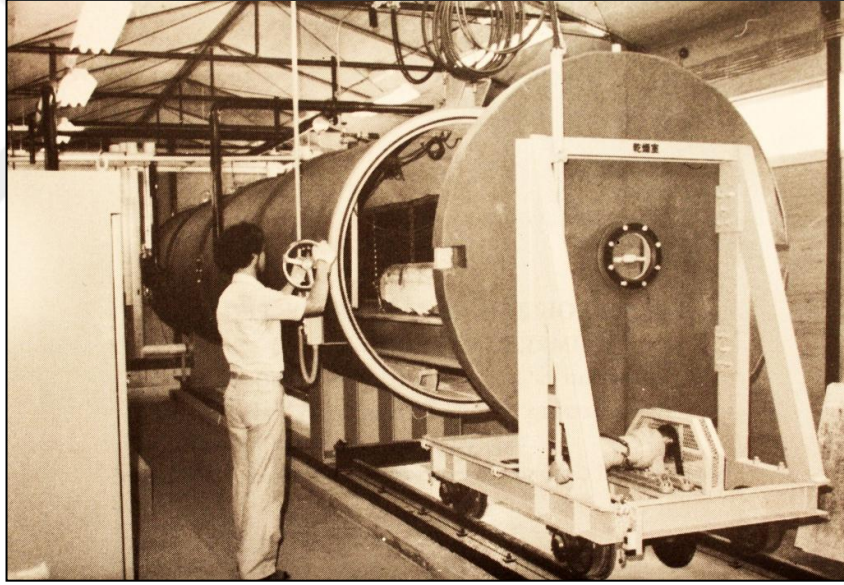
**Şekil 3.9:** Seibersdorf ‘da bulunan araştırma merkezinde konservasyonu yapılan merdivenin çizimi.

**Kaynak:** Schaudy, vd., 1985: Ek 3.

Temizlenen parçalar, borik asit ve boraks eklenen %15 PEG 400 çözeltisi içine yerleştirilmiştir. İki küçük parça (D ve E) 10 hafta sonra çözeltiden çıkartılarak -60°C'de *Leybold-Heraeus* şirketine özel olarak yaptırılan bir dondurarak kurutma makinesinde kurutulmuştur. Kurutma işlemi, kopan büyük parçada (D) 4 hafta, küçük parçada (E) 3 hafta sürmüştür. Kesilmiş parçaların en küçüğü (C) 14 hafta sonra çözeltiden çıkartılarak 16 haftada dondurarak kurutulmuştur. Kesilmiş en büyük iki parça (A ve B) yaklaşık 20 hafta sonra PEG çözeltisinden çıkartılmış ve ardından 6 ay dondurarak kurutulmuştur. Dondurarak kurutmadan sonra parçaların görsel olarak çok iyi durumda olduğu ve yeni çatlak veya deformasyon oluşmadığı gözlemlenmiştir. Konsolidasyon için, radyasyonla kürlenene bir emdirme malzemesi uygulanmış ve ardından gama radyasyonu ile ışınlama yapılmıştır. Tüm koruma işlemi 1 yıl içinde tamamlanmıştır. Koruma sonrası başlangıçta 49.43 kg olan ıslak merdivenin toplam ağırlığının 35.91 kg'a düşürülmesi yani 13.52 kg kaybetmesi mümkün olmuştur (Schaudy, vd., 1985).

Diğer taraftan, Christensen'in tert-bütanol/PEG 3350 dondurarak kurutma yöntemi Danimarka'da uygulanmaya devam edilmiş, Japonya ve Kore' de de benimsenmiş, Japonya, Nara Kültürel Varlıkları Araştırma Enstitüsü'nde yöntemin geliştirilmesi için deneysel uygulamalar yapılmıştır (Jespersen, 1986: 27-31, Sawada, 1978; Sawada, 1981; Sawada, 1985: 117-124; Yi, 2012: 28, 38). Sawada, bu yöntem sonucu ahşapta oluşabilecek çekme ve çatlama gibi problemleri azaltmaya yönelik değişiklikler yapmıştır. Son emdirmede kullanılan PEG miktarını ahşabın türüne ve bozulma durumuna göre düzenlemenin, hızlı ve düzgün bir dondurma işlemi yapmanın ve dondurarak kurutma işleminde sıcaklığın kontrollü artırılmasının işlem sonrası oluşabilecek olumsuz sonuçları azaltabileceğini belirtmiştir. Son emdirmede Christensen'in %66 olarak önerdiği PEG konsantrasyonunun %300 su içeriğine sahip ahşaplar için %60'ın altında, %300-%500 arası su içeriğine sahip geniş yapraklı ağaçlar ya da %800 su içeriğine sahip iğne yapraklı ağaçlar için %60 ve %800'ün üzerinde su içeriğine sahip ahşaplar için %60'ın üzerinde kullanılmasını önermiştir (Sawada, 1981). Sawada bir diğer çalışmasında tert-bütanol ve su ile PEG 4000 ve suyun ötektik noktalarını, örnekler -40°C de haznede tutulurken elektrik direncindeki değişiklikleri ölçerek belirlemiştir (Sawada, 1985: 123, 124). Nara Kültürel

Varlıkları Araştırma Enstitüsü'nde tert-bütanol/PEG uygulamaları devam ederken 1984 yılında laboratuvara yeni kurulan 8 m uzunluğunda ve 5 m çapındaki büyük dondurarak kurutma cihazında (Şekil 3.10) yöntemin uygulanması risk teşkil ettiğinden, tert-bütanol yerine sulu PEG çözeltileri kullanımı gündeme gelmiş ve farklı konsantrasyonlarda PEG 4000 çözeltileri emdirilen ahşabın dondurulması sırasındaki morfolojik değişiklikleri anlamaya yönelik deneysel uygulamalar yapılmıştır. %495 su içeriğine sahip geniş yapraklı ahşap örneklerinden ön işleme tabi tutulmayan ahşap örneğinde dondurma işleminin son aşamasında çatlak oluşurken %20 ve %40 PEG çözeltisi emdirilen ahşap örneklerinde dondurma işlemi tamamlandığında çatlama veya deformasyon meydana gelmediği tespit edilmiştir (Sawada,1985: 117-123).



**Şekil 3.10:** Nara'daki büyük dondurarak kurutma cihazı.

**Kaynak:** Sawada, 1985: 118.

Kore' de dondurarak kurutma çalışmaları tert-bütanol/PEG 4000 emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemi yapılarak başlamıştır. 1976 yılında Kore Atomik Enerji Araştırma Enstitüsü'nde bu yöntemin ilk kez uygulandığı kayıtlara geçmekle birlikte asıl uygulamalar 1982 yılında Kültürel Mirası Koruma Ulusal Araştırma Enstitüsü Koruma Bilimi Laboratuvarı'na 4 litre kapasiteli bir vakumlu dondurarak kurutma cihazı alınması ve Shinan bölgesinden küçük ahşap eserlerin konservasyon çalışmalarının bu yöntemle yapılmasıyla başlamıştır. Ahşaplar etanol

ve ardından tert-bütanol ile dehidre edilmiş ve ahşaplara aşamalı olarak %40 PEG 4000/tert-bütanol çözeltisi emdirilmiştir. Sonrasında 25 mbar basınç ve kondansör sıcaklığı -60°C’de vakumlu dondurarak kurutma yapılmıştır. Birçok küçük eserin konservasyonu tert-bütanol/PEG ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmaya devam etmiştir. Bu yöntemle konservasyonu yapılan eserlerin rengi parlak olduğundan özellikle üzerinde mürekkeple kaligrafi yazılmış eserlerde okunaklılığı kolaylaştırdığı için Kore’nin çeşitli bölgelerinde bulunan bu tip eserlerin konservasyonunda bu yöntem tercih edilmiştir (Yi, 2012: 38-39).

1978-1981 yıllarında Kanada Konservasyon Enstitüsü’den Grattan, McCawley ve Cook, suya doymuş ahşabı PEG 400 çözeltisi emdirerek dondurarak kurutmuşlar fakat farklı bir yöntem uygulamışlardır (Grattan, McCawley, 1978: 157-167; Grattan, vd., 1980: 118-136; Grattan, vd., 1981: 81/7/3/1-81/7/3/9). Küçük eserlerin konservasyonu yapılacağında, ticari dondurarak kurutma cihazlarının kullanılabileceğini fakat büyük gemi parçaları gibi eserlerin konservasyonu yapılacağında daha pahalı olan dondurarak kurutucuların bile boyutlarının yetersiz kaldığını düşünmüşler ve kış ikliminden yararlanarak ahşabı yağıştan bağımsız fakat dış sıcaklığa maruz bırakarak doğal dondurarak kurutma yapmışlardır. (Grattan, McCawley, 1978: 157-167 ).

1978 yılında Kanada, Ottawa yakınındaki bir gölde bulunan 3 m uzunluğunda ve 0.6 m genişliğinde bir kanonun konservasyonu kış iklim koşullarından yararlanarak yapılmıştır. Çam ağacından yapılmış, ortalama %140 su içeriğine sahip kanoya 3 ay boyunca %15 PEG emdirilmiştir. Sonrasında toz haline getirilmiş katı karbondioksit ile -78°C’de dondurulan kano Kanada Konservasyon Enstitüsü’nün çatısındaki korunakta 66 gün boyunca kurumaya bırakılmıştır. Bu süre sonunda kanodan %34 su uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir. 20°C ve %55 bağıl nem koşullarındaki laboratuara alınan ahşabın tam kuruma sonrasında ilk ağırlığı olan 54.3 kg’dan 23.7 kg’a indiği gözlemlenmiştir. Tüm kuruma işlemi yaklaşık 5 ayda gerçekleştirilen kanoda işlem sonrası herhangi bir çatlama veya çekme olmamıştır (Grattan, vd., 1981: 81/7/3/1-81/7/3/9).

Kanada, Québec şehrinde Medeniyet Müzesi'nin inşaat çalışmaları sırasında 1984-1985 yıllarında ortaya çıkartılan 6 tekneden 4'ünün konservasyonu da kış iklim koşullarından faydalanılarak yapılmıştır. Quebec Koruma Merkezi tarafından 1984 ve 1988 yılları arasında yürütülen çalışmalarda PEG 400 konsantrasyonu %10'dan %39'a kadar arttırılarak emdirme işlemi yapılan tekneler daha sonra Kanada kış iklim koşullarında Quebec Koruma Merkezi'ndeki çadırda (Şekil 3.11) kurutulmuştur (Bergeron, 1987; Bergeron, 1989; Bergeron, Rémillard, 2012a, Bergeron, Rémillard, 2012b).



**Şekil 3.11:** Quebec Koruma Merkezi'ndeki dondurarak kurutma çadırı.

**Kaynak:** Bergeron, Rémillard, 2012b: 30

İngiltere'de 1979-1984 yılları arasında Carlisle'de yapılan geniş çaplı kurtarma kazılarında konservasyon çalışması gerektiren farklı malzemelerden oldukça fazla sayıda eser ortaya çıkartılmış, bunların arasından Roma Dönemi bal mumlu yazı tabletlerine Durham Arkeoloji Bölümü'nde Jones tarafından PEG ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemi uygulanmıştır. Tabletlere %10 PEG 400 ve ardından birkaç hafta boyunca ekleme yapılarak %30 PEG 4000 emdirme işlemi yapılmış, 8 ila 10 hafta süren işlem sonrası eserler dondurarak

kurutulmuştur. İşlem sonrası ahşaplar sağlamlık ve renk açısından iyi sonuç vermiş ve ahşapların yüzey detayları açıkça görünür olmuştur (Jones, 1991).

Grattan, 1982 yılında yayınladığı çalışmasında PEG emdirme, dondurarak kurutma, aseton-rozin ve polimerizasyon gibi çeşitli konservasyon yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Farklı PEG 400 konsantrasyonlarından çeşitli dondurma yöntemleriyle dondurarak kurutma denemeleri gerçekleştirmiştir. Ambrose'un, ahşaba %10-15 PEG 400 emdirme sonrası  $-78^{\circ}\text{C}$ 'de hızlı bir şekilde dondurması ve ardından dondurarak kurutma yapması konusunda yaptığı deneylerde özellikle sağlam ahşabın  $-78^{\circ}\text{C}$ 'de hızlı dondurulmasıyla ahşapta çatlaklar meydana geldiğini,  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de derin dondurucuda daha yavaş dondurulmasıyla çok daha az çatlama meydana geldiğini tespit etmiştir. Emdirme işleminde PEG 400 konsantrasyonunun yaklaşık %30'a çıkartılmasının Ambrose'un yönteminin sonuçlarını iyileştirdiğini; yöntemin hız, çekme kontrolü ve basitlik gibi birçok avantaj sunduğunu ve ahşaba iyi bir görünüm ve doğal ağırlık verdiğini gözlemlemiştir. Öte yandan; PEG 400'ün %35 konsantrasyonda kullanılması durumunda ahşaplarda depolama sırasında küf gelişimi gözlemlendiğini, ahşabın "sabunsu" olduğunu ve yöntemin ahşaba çok fazla yapısal mukavemet ya da yüzey mukavemeti sağlamadığını saptamıştır (Grattan, 1982: 124-136).

Grattan, başka bir çalışmasında dondurarak kurutma uygulamasından önce emdirme işleminde iki PEG karışımının ve ideal oranının belirlenmesi için bir gelişme kaydetmiştir. PEG 400-PEG 3350 içeren karışım kullanılması durumunda bu PEG karışımının ve karışımın ideal oranının belirlenmesi için PEGcon adı verilen bilgisayar programı destekli bir hesaplama modeli geliştirmiştir (Ambrose, 1990: 247).

Watson, suya doymuş ahşap konservasyonunda farklı PEG tiplerinin ve konsantrasyonlarının etkilerini araştırmış ve yaptığı çalışmalar neticesinde; bozulmuş ahşaplarda %10 PEG 400 ve %15 PEG 3350'nin birlikte kullanılmasını önermiştir. Bu uygulamada ahşaba yaklaşık 1 ay %10 PEG 400 emdirme işlemi sonrası 2 haftada bir %5 artışlarla PEG 3350 eklenerek son konsantrasyon banyosunda 3 ay daha bekletilen ahşap dondurarak kurutulur (Watson, 1985, Watson, 1987). "İki

aşamalı işlem” olarak adlandırılan bu işlemde düşük molekül ağırlıklı PEG daha hızlı difüzyon ve daha iyi penetrasyon özelliği sayesinde hücre duvarlarına yayılarak ahşapta boyutsal stabilite sağlarken, daha yüksek molekül ağırlıklı PEG hücre duvarlarına yayılmadan hücre boşluklarını doldurarak ahşaba mekanik dayanım sağlar (Ambrose, 1990: 247). Watson ayrıca ahşapta emilmiş demir tuzlarının konservasyon işleminde probleme neden olacağını, işlem görmüş ahşaptaki demir ve sülfürün PEG ile reaksiyona girerek ahşabı bozulmaya uğratacağını gündeme getirmiştir (Watson, 1985: 213-215).

1985’de Cook ve Grattan (Cook, Grattan, 1985) PEG emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma ile yapılan uygulamalarda işlem sonrası ahşabın süngerimsi olması ve yüzeyde çatlak meydana gelmesi gibi olumsuzlukları dile getirerek dondurarak kurutma uygulaması öncesi ahşaba emdirme malzemesi olarak şeker kullanımını gündeme getirmişlerdir. Çok bozulmuş ahşaplarda PEG ve şeker kullanımıyla ilgili yaptıkları çalışmalarda, şeker testlerinde, sakrozun ve sorbitolun mannitolden daha iyi sonuç verdiğini, ikisinin de ahşaba tamamen uygun görüntü ve kalite verdiğini belirtmişlerdir. Dondurarak kurutma öncesi ahşaplara %20 sakroz çözeltisi emdirmeye en iyi sonucun alındığını, sorbitolle işlem gören örneklerde ozmotik çökme işaretleri gözlemlendiğini, mannitol ile işlem gören ahşabın ise yüzeyinin beyaz bir tabakayla kaplandığını rapor etmişlerdir (Cook, Grattan, 1985). Takip eden yıllarda Imazu, suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda PEG kullanımının karmaşık ve uzun zaman alan bir yöntem olduğunu öne sürerek, mannitol ve PEG emdirme sonrası dondurularak kurutma yaparak yeni bir yöntem açıklamıştır (Imazu, 1988). Yöntem aslında, mannitol emdirme sonrası dondurarak kurutma yönteminin değişik uygulama biçimidir. Yapılan çalışmalarda farklı konsantrasyonlarda 7 gün mannitol sulu çözeltisi emdirilen ahşaplarda -40°C’de, 48 saat vakumlu dondurarak kurutma denemesi yapıldığında, %20’lik mannitol çözeltisi emdirilen ahşap tatmin edici sonuçlar vermiştir. Fakat yüzeyde beyazlaşma, ince çatlak oluşumu ve her zaman başarılı sonuç alınamaması nedeniyle mannitol çözeltisi sonrası ahşaba PEG çözeltisi emdirilerek bu sorunların üstesinden gelineceği düşünülmüştür. Ahşap örnekleri 7 gün, %20’lik mannitol çözeltisinde bekletilmiş ve sonra örneklerle 7 gün, farklı konsantrasyonlarda PEG 4000 çözeltisi

emdirilerek -40°C’de, 48 saat vakumlu dondurarak kurutma yapılmıştır. %40’lık PEG 4000 ve vakumlu dondurarak kurutma iyi sonuçlar vermiştir. Bu yeni ve basit yöntemin özellikle küçük boyuttaki ve az bozulmuş ahşaplarda kullanımının etkili olduğu saptanmıştır (Imazu, Nishiura, 1990). PEG emdirmenin olumlu sonuçlarını; kuruma sonrası ahşapta beyazlaşma olmaması, PEG’in ahşabın yüzeyini hızlı dondurmanın yüzey çatlağı gibi olumsuz etkilerinden koruması, ahşaba mekanik dayanım sağlaması ve organik bir çözücüye ihtiyaç olmadan, fazladan ısıtma gerektirmemesi olarak belirlenmiştir (Imazu, Nishiura, 1990).

### 3.3.3. 1986-2000 Yılları Arası

1980’li yılların ikinci yarısından itibaren küçük eserlerde kabul görerek artık suya doymuş ahşap konservasyonunda dünyada yaygın olarak kullanılan ve standart bir yöntem haline gelen PEG ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemi, gemi gibi büyük ahşapların konservasyonunda da yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır.

Danimarka’da *Heto Lab Equipment A /S*, Danimarka Ulusal Müzesi’nden Poul Jensen ile birlikte sıcaklık ve basıncı, dondurma ve dondurarak kurutma işlemi sırasında mikroişlemci teknolojisi ile kontrol edilebilen arkeolojik malzemeler için özel olarak tasarlanmış yeni bir dondurarak kurutma sistemi geliştirmiştir. Bu sistemlerin ilki 1990’da Brede’deki Danimarka Ulusal Müzesi laboratuvarlarına kurulmuştur. Ardından Norveç’teki Trondheim, Oslo ve Tromsø Üniversiteleri de bu sistemleri kurdukmıştır. Bu sistemler, Norveç ve Danimarka’daki laboratuvarların birlikte çalışma ve ortak problemler hakkında deneyim alışverişinde bulunma imkanını sağlamıştır (Sæterhaug, 1990: 6).

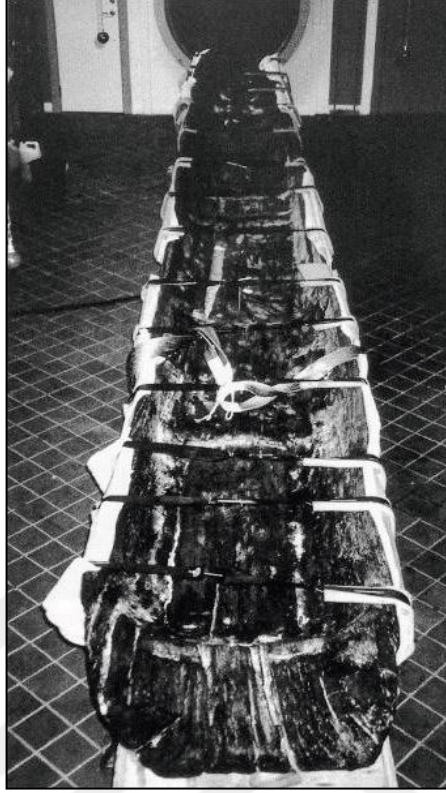
Londra şehir merkezindeki Billingsgate’de, 1982-1983 yıllarında Londra Müzesi tarafından yapılan kazılarda ortaya çıkartılan sahil yapılarının alandan kaldırılarak Londra’da açılması planlanan müzede sergilenmesi düşünülmüştür. Fakat bunlardan iyi durumda olan Ortaçağ’a ait bir tanesinin, 1986 yılının Ağustos ayında Londra’da düzenlenecek sergi için diğerlerinden önce konservasyonunun yapılmasına karar verilmiştir (Johnson, 1985: 63-64; Starling, 1987: 321). O dönem Birleşik Krallık ’ta bazıları 2 m uzunluğunda olan bu ahşapları dondurarak kurutmak

için gerekli büyüklükteki ekipmanlara sahip olan tek firma Dundee'deki *Consortium Conservation* firması olduğundan ahşaplar, 1985 yılında söz konusu firmaya gönderilmiştir. Ahşaplara iki aşamalı PEG emdirme ardından dondurarak kurutma uygulaması yapılmıştır. 4 hafta %10 PEG 400 emdirildikten sonra kalaslar %10 PEG 4000 çözeltisine alınmış ve çözeltinin konsantrasyonu 16 aydan daha uzun bir sürede %20'ye çıkartılmıştır. Sonrasında dondurarak kurutulan ahşaplarda her bir parti kurutma işlemi 3 hafta kadar sürmüştür. Kurutma işlemi sonrası ahşap yüzeylerine fırçayla %80 PEG 3400 çözeltisi uygulanmıştır. Uygulamadan sonra bazı kalaslarda çatlama ya da yarıma gibi hasarlar gözlenmekle birlikte uygulama birçok parçada başarılı sonuç vermiştir. Konservasyonu tamamlanan ahşaplar Londra Müzesi konservasyon departmanına gönderilmiştir. Geçici sergi için yeniden inşa edilen yapı, sergiyi ziyaret edenler tarafından oldukça ilgi görmüştür (Starling, 1987: 321-324).

Bir diğer uygulama, Norveç'in orta kesiminde, 1991 Eylül ayında kazısı yapılarak 1992 Mayıs ayında sergiye hazır hale getirilen 1200-1400 yıllarına tarihlendirilen bir ahşap köprüye ait 29 adet kütüğün konservasyon çalışmalarıdır. Norveç ladini kütükler, 1.6 m uzunluğunda ve 20 cm çapında olup iyi korunmuş durumda ele geçmiştir. Toplam ağırlığı 809 kg olan kütüklerin maksimum su içeriği yaklaşık %220'dir. %10 PEG 4000 çözeltisiyle başlanan emdirme işleminde, PEG konsantrasyonu 18 hafta içinde %46'ya arttırılmıştır. Bu süre zarfında sıcaklık da 30°C'den 40°C'ye yükseltilmiştir. Emdirme işlemi ardından yapılan dondurarak kurutma işlemi sırasında makinenin hazne yüzey sıcaklığı -25°C ila 30°C arasında düzenlenmiştir. Dondurarak kurutma işleminden sonra ilk ıslak ağırlığa göre ağırlık kaybı %28 olarak hesaplanmıştır. "Kabul edilebilir" bir sonuç elde edilmiş olup ahşapların kontrollü kurutulması da tercih edilebilir bir yöntem olarak görülmekle birlikte zaman darlığı nedeniyle böyle bir uygulamanın yapılması zaten mümkün olmamıştır (Sæterhaug, 1992: 10).

Dondurarak kurutmanın, büyük arkeolojik objelerin kurutulması için avantajlı bir yöntem olduğunu gösteren bir diğer çalışma Danimarka Ulusal Müzesi'nde gerçekleştirilmiştir. 1991 yılında İsviçre'de, Bern'in kuzeybatısında yer alan Biel Gölü'nde, M.Ö. 1553'e tarihlenen meşe kütüğünden yapılmış bir kano bulunmuştur.

7.85 m uzunluğunda ve yaklaşık 0.9 m genişliğindeki kano, İsviçre'de yeterli olanak ve tecrübenin bulunmamasından dolayı konservasyonu yapılmak üzere 1993 yılında Danimarka Ulusal Müzesi Koruma Bölümü' ne nakledilmiştir. Kanonun konservasyonu PEG emdirme sonrası dondurarak kurutma yöntemiyle yapılacağından öncelikle PEG seçimi ve konsantrasyonunun belirlenmesi için yapılan ölçümlerde ahşabın yoğunluğu dış katmanlarda 0.2 g/cm<sup>3</sup> ve iç kısmında 0.45 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Emdirme işlemine %9 PEG 400 ve %8 PEG 600 çözeltisi ile başlanmış, çözeltiye %1 mantar ve bakteri önleyici eklenmiştir. Yaklaşık 3.5 ay arayla 2 kere %10, 3 ay ve 5 ay arayla 2 kere %8 PEG 2000 eklemesiyle %36 PEG 2000 son konsantrasyonuna ulaşılmıştır. Emdirme işleminin son aşamasında sıcaklık 48 saat içinde yaklaşık 20°C'den 58°C'ye yükseltilmiş ve bundan sonra yaklaşık 50 gün boyunca 45°C'de tutulmuştur. Sıcaklığın kısa dönemli artırılmasındaki amaç, olası bir mikrobiyolojik gelişime engel olmak; geri kalan sürede sıcaklığın 45°C'de tutulmasının amacı ise verimli bir difüzyon sağlamaktır. Oldukça büyük bir dondurarak kurutma tankına sahip olunmasına rağmen, kanonun uzunluğu nedeniyle tankın yine de 1.5 m ek ile 8.5 m'ye uzatılması gerekmiştir (Şekil 3.12). Dondurarak kurutma işlemi -22°C ila -24°C sıcaklıkta ve 0.18 ila 0.8 mbar basınçta gerçekleştirilmiş, Nisan 1995 de başlayan dondurularak kurutma işlemi Kasım 1995'te sona ermiştir. İşlem sonrası kanonun yüzeyinde bazı çatlaklar oluşmuş fakat önemli bir boyutsal değişiklik gözlemlenmemiştir. Eserin doğal bir görünüme sahip olduğu görülmüştür (Meyer, 1997: 37-43).



**Şekil 3.12:** İsviçre’de Biel Gölü’nde bulunan kanonun dondurarak kurutma aşaması.

**Kaynak:** Meyer, 1997: 40.

Konservasyonu dondurarak kurutma yöntemiyle yapılan bir başka su taşıtı Dover teknesidir. İngiltere'nin güneydoğu ucunda yer alan Avrupa'nın en yoğun limanlarından biri Dover Kasabası'nda, 1992 yılında yol yapım çalışmaları sırasında Orta Tunç Çağı' na ait bir tekne bulunmuştur (Şekil 3.13). Yapılan kazıda teknenin kuzey ucu kurtarılamamış olup, kurtarılan kısmın 9.5 m uzunluğunda ve 2.2 m genişliğinde olduğu saptanmıştır. Tekne, 4 meşe plakanın karmaşık bir sistemle birleştirilmesiyle yapılmıştır. İnşaat çalışması durdurularak teknenin kurtarılması için kısa bir süre tanınmıştır. Tekneyi kurtarmanın tek yolunun parçalara ayırmak olduğuna karar verilmiş ve karmaşık birleşme yerleri korunarak 32 parçaya ayrılan tekne vinçle kaldırılmıştır (Clark, 2008: 11, 12).

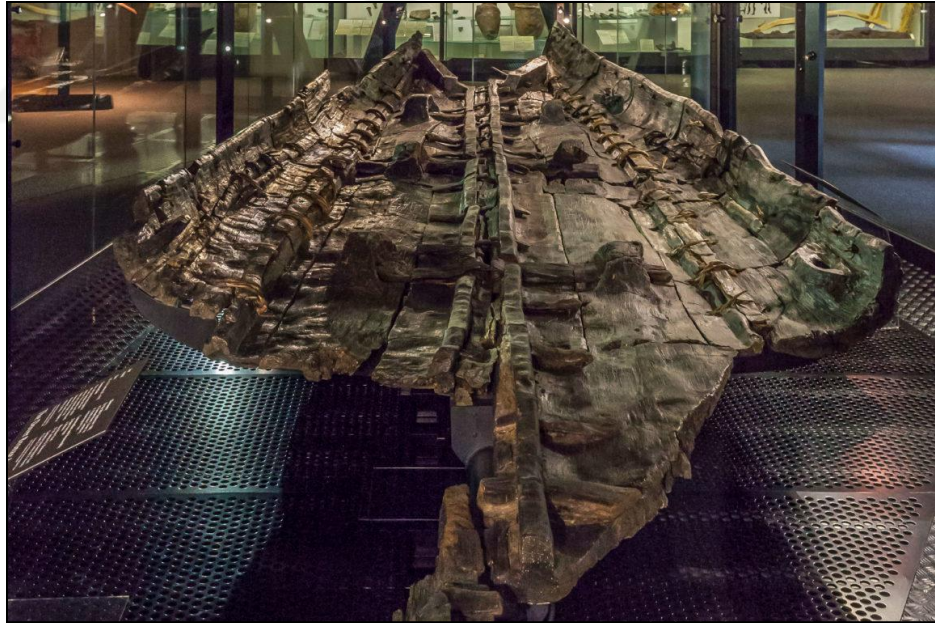


**Şekil 3.13:** Dover Teknesi'nin *in situ* görünümü.

**Kaynak:** Clark, 2004: 3.

Yapılan laboratuvar analizlerinde teknenin farklı bölümlerinden alınan ahşap örneklerinin maksimum su içerikleri %200 ile %850 arasında ve meşe örneklerinin özgül ağırlık değerleri 0.13 ile 0.26 arasında olduğu saptanmıştır. Bu değerlerin taze meşe örneklerinde 0.55-0.64 arasında olduğu dikkate alınarak tahmin yapıldığında, ahşapların havada kurutulması durumunda ahşaplarda %10-15 boyuna, %14-16 radyal ve %44-60 teğet yönde çekme gerçekleşeceği tahmin edilmiştir (Watson, 1993: 1-3). Hem iyi korunmuş hem de çok bozulmuş ahşapların mevcudiyetinden dolayı emdirme işlemi %10 PEG 400 ve %20 PEG 4000 ile yapılmıştır. Emdirme işlemine, %10 PEG 400 çözeltisiyle başlanmış ve 2 ay sonra iki hafta arayla her biri %5 olmak üzere iki sefer PEG 4000 ilave edilmiştir. İki hafta arayla % 2.5 PEG 4000 eklemesi yapılmaya devam edilerek PEG 4000'in konsantrasyonu %20'ye çıkartılmış ve son konsantrasyona ulaşmak yaklaşık 4 ay sürmüştür. Ahşaplar, 1 yıl daha çözeltide bırakıldıktan sonra çözeltiden çıkartılarak dondurarak kurutma işleminin yapılacağı *Mary Rose Trust*'a nakledilmiştir. Ahşaplar aynı kalınlıklardan oluşan 3 gruba ayrılarak dondurarak kurutmaya alınmıştır. Dondurarak kurutmaya -25°C'de başlanmıştır. Parçalar donmuş ağırlıklarının yaklaşık %25'ini kaybettiğinde sıcaklık 1°C artışlarla -20°C'ye yükseltilmiştir. Bu sıcaklıkta devam edilerek dondurarak kurutma işlemi tamamlanmıştır. Kurutma işleminin sonunda oda

sıcaklığına yine 1°C artışlarla ulaşılmıştır. Her bir grup ahşabın kurutulması 2 ila 3 ay sürmüştür. Ahşaplar, kurutma sırasında donmuş ağırlıklarının %12-40'ını kaybetmiştir. İşlem sonrası parçaların herhangi bir yönde çok az çekmeye uğradığı tespit edilmiş fakat kurutma işleminde yüzey çatlakları oluşmuştur. Ahşapların üst yüzeyinde, ahşaptaki oksitleyici minerallerin çözeltide çökmesi sonucu oluştuğu düşünülen sarı/yeşil bir tortu tespit edilmiştir. Hücresel yapı incelendiğinde ise yeni bir bozulma tespit edilmemiştir. Ahşap yüzeyine koruma amaçlı PEG 6000 uygulanmıştır (Watson, 2004: 282-289). Teknenin yeniden inşası 3 boyutlu bir bulmacaya dönüşmüş ve 10 ayda tamamlanmıştır. Teknenin konservasyonu toplam 4 yıl sürmüştür (Clark, 2008: 13). Sergileme ortamı değerleri 18°C ± 2°C sıcaklık ve %55 ± %2 bağıl nem olan tekne için sıcaklık ve nem kontrollü vitrin yapılmıştır (Watson, 2004: 289). Galeri, 22 Kasım 1999'da açılmış ve ulusal ve uluslararası birçok mükemmellik ödülü almıştır (Şekil 3.14) (Clark, 2008: 13).



**Şekil 3.14:** Dover teknesi.

**Kaynak:** Bronze Age Boat, (t.y.) (Çevrimiçi) <https://100objectsken.co.uk/object/bronze-age-boat/>, 28 Nisan 2019

İngiltere' den başka bir örnek, 1998 yılında Birleşik Krallık'ın Shardlow kasabasındaki Hanson Gravel Pit'te, bir taş ocağı makinesinin bölgede çalışması sırasında ortaya çıkartılan Hanson Teknesi'nin konservasyon çalışmalarıdır. Meşe

ağacının gövdesinden oyulmuş olan tekne, kumtaşı yükü taşıyor durumda ele geçmiştir. Teknenin 11 m sağlam kısmı, sahadan çıkartılmasını sağlamak için 1 m'lik bölümlere kesilmiştir. York Archaeological Trust tarafından yapılan konservasyon işleminde tekneye PEG 200 ardından PEG 3400 emdirme işlemi yapılmış ve ardından dondurularak kurutulmuştur (Pinder, vd., 2017).

1993 yılında İngiltere Scole'de yapılan arkeolojik kazılarda Waveney Nehri'nin her iki tarafında Roma Dönemi'nden kalma bazıları 3 m'nin üzerinde yapı kalıntıları ortaya çıkartılmıştır. Kazılardan ele geçirilen toplam 750 kg suya doymuş ahşap 1997 yılında konservasyon çalışmaları için Norfolk'tan Norveç Trondheim'e taşınmıştır. Çoğunluğu meşe ağacından olan ahşaplarda yapılan analizlere göre maksimum su içerikleri %290 ile %738 arasında değişmekte olup geneli %350-550 arasında olduğundan bu değer tüm ahşaplar için ortalama olarak seçilmiştir. Dışı bozulmuş içi sağlam durumda olan ahşapların emdirme işlemi PEG 400 ve PEG 4000 kullanılarak iki aşamalı yöntemle yapılmıştır. İşlem, 20°C'de başlamış ve 22 ay boyunca sıcaklık yavaş yavaş 40°C'ye yükseltilmiştir. Dondurarak kurutma için hazne sıcaklığı -35°C ila +35°C arasında düzenlenebilen, -50°C'nin altında soğutma yapabilen iki kondansöre sahip, vakum haznesinin çapı 75 cm ve asıl uzunluğu 220 cm olan fakat 370 cm'e uzatılabilen cihaz kullanılmıştır. Dondurarak kurutma işlemine -30°C civarında hazne sıcaklığıyla başlanmış ve işlem süresince aşamalı olarak sıcaklık 0°C'ye çıkartılmıştır. İşlem sonrası 742 kg PEG ile işlem görmüş ahşaptan toplam 160 kg buz çıkartılmıştır. İşlem sonrası daha ince ahşapların iyi bir stabiliteye sahip olduğu ve dayanım elde ettiği tespit edilmiştir. Fakat hafif bir çarpılma gözlemlenmiştir. Direk ve kiriş gibi daha kalın ahşapların iyi bir stabilite ve sağlamlık kazandığı saptanmıştır. Bu ahşaplarda, dondurarak kurutulduktan bir yıl sonra ağırlıkta nihai stabilite sağlanmıştır (Sæterhaug, Turner-Walker, 2002).

Avrupa'da dondurarak kurutma uygulamaları genellikle PEG'in sulu çözeltilerinin ahşaba emdirilmesi işlemiyle yapılmaya devam ederken Kore'de tert-bütanol/PEG 4000 çözeltisi kullanılmaya devam edilmiştir (Yi, 2012: 38). Bazı bilim adamları dondurarak kurutma yönteminde emdirme kimyasalı olarak tert-bütanol/PEG 4000 çözeltisi kullanmanın ahşaba nüfuz etme açısından PEG sulu çözeltisi kullanmaya göre daha dezavantajlı olduğunu düşünerek 1999 yılında

deneysel olarak PEG sulu çözeltisi kullanmaya başlamışlardır. 2002 yılından itibaren de bazı eserlere dondurarak kurutma öncesi PEG sulu çözeltisi emdirme sonrası dondurarak kurutma yöntemi uygulanmaya başlanmıştır (Yi, 2012: 28 ve 38). Dondurarak kurutma cihazının kapasitesi yöntemin uygulamasını sınırladığı için dondurarak kurutma yapılan çoğu eser küçük boyutlardadır. Öte yandan, Danimarka Ulusal Müzesi, 1992'den itibaren insan sağlığına zararlı olması ve bu şekilde yapılan işlemin uzun zaman alması gerekçesiyle tert-bütanolden dondurarak kurutma yöntemi uygulamasını bırakmıştır (Yi, 2012: 28).



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### SUYA DOYMUŞ AHŞAP ESERLERDE DONDURARAK KURUTMANIN GÜNCEL UYGULAMALARI

Günümüzde, PEG ön emdirme işlemi sonrası vakumlu dondurarak kurutma yöntemi suya doymuş ahşap konservasyonunda standart konservasyon işlemlerinden biridir. Suya doymuş ahşap konservasyonunda dünyanın önde gelen laboratuvarlarından birine sahip olan Danimarka Ulusal Müzesi'nde standart prosedür olarak PEG 2000 (%30-%40) ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma uygulamaları yapılmaktadır. Laboratuvarında 3 adet dondurarak kurutma cihazı bulunmakta olup bunların en büyüğü 8 m uzunluğundadır (Şekil 4.1) (Strætkvern, vd., 2009; Jensen, vd., 2009).



**Şekil 4.1:** Danimarka Ulusal Müzesi'ndeki büyük dondurarak kurutma cihazında Roskilde 6 Batığının kurutulması.

**Kaynak:** Brown, 2014 (Çevrimiçi) <https://nancymariebrown.blogspot.com/2014/03/vikings-come-to-london.html>, 29 Nisan 2019.

Dondurarak kurutma yöntemi uygulamalarında yaşanan problemler, başarılı bir uygulama yapabilmek için gerekli koşullar, dondurarak kurutma cihazlarının teknik özellikleri, sulu PEG çözeltilerinin ötektik sıcaklıkları ve faz diyagramları gibi konularda çalışmalar yapılmaktadır (Jensen, vd., 2002; Jensen ve Schnell, 2005; Schnell ve Jensen, 2007; Jensen, vd., 2009; Jensen, 2016). Laboratuvarıda gemi ahşaplarının konservasyonu uzun süredir sergileme amaçlı değil, araştırma amaçlı yapılmaktadır. Bu yüzden başlıca amaç, ahşapta şekil bozukluğunu önlemekten ziyade stabilizasyonu sağlamaktır. %30-40 PEG emdirilerek dondurarak kurutma yapılan ahşaplara sıcak buhar uygulamasıyla şekil vermek problem olabilmektedir. Bu sebeple laboratuvarıda her bir ahşabın orijinal şeklinin önceden belirlenmesi ve emdirme işlemi sonrası ahşaplara orijinal şeklini vererek daha sonra dondurarak kurutma aşamasına geçilmesi için çalışmalar yürütülmektedir (Strætkvern, vd., 2009).

Fransa ARC-Nucléart Laboratuvarı'nda suya doymuş ahşap konservasyonundaki standart uygulamalardan biri ahşaba %35 PEG 2000 ve 4000 emdirme sonrası dondurarak kurutma yapmaktır. Laboratuvar tarafından geliştirilen polyester reçine radyasyon yöntemi olarak bilinen ve asetonda dehidre edilen ahşaba polyester reçine emdirildikten sonra ışınlanması şeklinde uygulanan yöntem artık kullanılmamakta olup bunun yerine "karma Nucléart yöntemi" kullanılmaktadır. PEG emdirme ve ardından dondurarak kurutma işleminin yöntemin basamaklarından birini oluşturduğu "karma Nucléart yöntemi" Bölüm 1.3.3.4'de açıklanmıştır (ARC-Nucléart, 2017: 47). Laboratuvara 2006 yılında, laboratuvarın 5 m uzunluğunda ve 1 m çapındaki "tarihi" dondurarak kurutma cihazına ek olarak İspanyol *TELSTAR* şirketinden 3 m uzunluğunda ve 1.7 m çapında yeni bir dondurarak kurutma cihazı satın alınmıştır (Arc-Nucléart, 2010: 11). Son yıllarda ARC-Nucléart laboratuvarı'nda Arles-Rhone 3, Antibes ve Lyon Saint Georges 4 gemilerinin konservasyon çalışmaları PEG ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup onlarca küçük eserin uygulamaları da bu yöntem kullanılarak tamamlanmıştır. 2011 yılında laboratuvara Arles-Rhone 3 (AR3) Batığı nakledilmiştir (Sabrina Marlier, Pierre Poveda, Nicolas Ranchin, 2017: 383-389). Laboratuvarın dondurarak kurutucuları 2013 yılında özellikle Arles gemisinin son

parçaları ve ardından Antibes'in ahşaplarıyla dolmuştur. 2014 yılında, Lyon Saint-Georges Gallo-Roma gemisi ahşapları neredeyse tüm emdirme tesislerini kaplamıştır (Şekil 4.2) (Arc-Nucléart, 2015: 12). 2015-2016 yıllarında ise dondurarak kurutma tesisleri bu geminin kurutulması için kullanılmıştır (Arc-Nucléart, 2017: 12).



**Şekil 4.2:** ARC-Nucléart Laboratuvarı emdirme tesislerinde Lyon Saint-Georges Gemisi ahşaplarına PEG emdirilmesi.

**Kaynak:** Arc-Nucléart, 2017: 32.

Türkiye’de suya doymuş ahşap eserlerde vakumlu dondurarak kurutma uygulamaları İstanbul Üniversitesi’nde yapılmaktadır (N. Kılıç, 2015, N. Kılıç, 2017). Ülkemizde suya doymuş ahşap konservasyonunda dondurarak kurutma yönteminin ilk uygulaması İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sualtı Kültür Kalıntıları Koruma Anabilim Dalı tarafından Çamaltı Burnu I Batığı’nda, Yenikapı Batıkları Projesi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı’ndaki dondurarak kurutma cihazı kullanılarak İstanbul Üniversitesi bilim insanları tarafından gerçekleştirilmiştir (N. Kılıç, 2015). Laboratuvarda, *Frozen In Time* firması tarafından suya doymuş ahşap eserler için özel olarak üretilmiş, 90 cm çapında ve 250 cm uzunluğunda bir hazneye sahip vakumlu dondurarak kurutma cihazı bulunmaktadır (N. Kılıç, 2017: 121, 130). Yenikapı batıkları, Türk bilim insanlarına suya doymuş ahşap konservasyonu konusunda geniş kapsamlı bilimsel çalışma ve uygulama yapma

imkanı sağlamıştır. Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında farklı ülkelerden konunun uzmanlarıyla yapılan değerlendirmeler ve laboratuvar çalışmaları neticesinde genel olarak batık ahşaplarının PEG ön emdirme işlemi sonrası vakumlu dondurarak kurutma yöntemiyle tamamlanması amaçlanmıştır (N. Kılıç, 2017: 1-2). Yenikapı batıklarının konservasyon çalışmalarında genel olarak PEG ön emdirme işlemi sonrası vakumlu dondurarak kurutma yöntemi kullanılmakta olup bununla birlikte melamin formaldehid yöntemi de kullanılmaktadır (N. Kılıç, 2013).

İsveç ve Danimarka gibi bazı ülkelerde daha önceki yıllarda alum ile işlem görmüş ahşaplara ekstraksiyon çalışmasından sonra %40 PEG 2000 veya 4000 emdirilerek vakumlu dondurarak kurutma yapılmaktadır (Häggström, vd., 2013: 6, 15).

Günümüzde kış iklim koşullarından faydalanılarak da dondurarak kurutma uygulamaları yapılmakta olup bu konuda deneyimlerine başvurulabilecek ilk ülke Kanada'dır. Québec Konservasyon Merkezi'nde (CCQ) bu yöntem sıklıkla uygulanmaktadır (Bergeron, 2014).

Suya doymuş ahşap konservasyonunda PEG emdirme sonrası dondurarak kurutma yöntemiyle küçük boyutlu ahşap eserlerin konservasyonu başarılı bir şekilde yapılmakla birlikte 2000'li yılların başından itibaren bazı laboratuvarlara daha çok gemi ahşapları alındığından küçük eser uygulamalarında azalma olmuştur (Strætkvern, vd., 2009: 440).

#### **4.1. Danimarka Ulusal Müzesi-Roskilde 6 Batığı**

2009 yılında, Danimarka Ulusal Müzesi, Londra'daki İngiliz Müzesi ve Berlin'deki Tarih Öncesi ve Erken Tarih Müzesi arasında bir işbirliği projesi başlatılmış olup bu işbirliğinin odak noktalarından biri Viking'de güç birliği yapmak ve üç kurum arasında seyahat edebilecek bir sergi gerçekleştirmektir. Bu serginin kilit eserinin Roskilde 6 olması karara bağlanarak gerekli çalışmalar başlatılmıştır. Roskilde 6 gemisi, 1996 ve 1997 yıllarında Danimarka Roskilde limanında yapılan kazıda ele geçirilen dokuz gemiden bir tanesidir. Sadece %25'i korunan, aslı 36 m olan geminin tahmini yapım yılı 1025'dir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.3:** Roskilde 6 Gemisi *in situ* görünümü.

**Kaynak:** Vikingeskibsmuseet, (t.y.) (Çevrimiçi) <https://www.vikingeskibsmuseet.dk/en/professions/education/viking-knowledge/the-longships/findings-of-longships-from-the-viking-age/>, 29 Nisan 2019.

Bu işbirliği projesiyle koruma departmanındaki emdirme tanklarında 12 yıldır korunmakta olan Roskilde 6 gemisi ahşaplarının %40 PEG 2000 emdirme işlemi tamamlanmıştır. Sonrasında vakumla kurutmadan önce, ahşaplar ıslak durumdayken doğru pozisyonda sabitlenmiş ve böylece geminin yeniden bir araya getirilmesi işleminde kurumuş ahşapların ahşaba zarar veren ısıtma yöntemleri kullanmadan birleştirilebilmesi sağlanmıştır. Ahşapların dondurarak kurutma işlemi 2 m çapında 8 m uzunluğunda haznesi olan cihazda, 0.2 ila 0.15 mbar basınç ve -25°C sıcaklık değerlerinde yapılmıştır. Her kurutma işlemi beş ila altı ay olacak şekilde yedi işlem yapılmıştır (Şekil 4.4) (Morten, Strætkvern, 2017: 373-378).



**Şekil 4.4:** Roskilde 6 Gemisi'nin Londra'daki sergiye hazırlanması.

**Kaynak:** Hunt, 2017 (Çevrimiçi) <http://www.electrummagazine.com/2017/02/viking-legacy-longships-and-seafaring/>, 29 Nisan 2019.

## **4.2. Fransa ARC-Nucléart Laboratuvarı**

### **4.2.1. Arles-Rhone 3 Batığı**

Arles-Rhone 3 (AR3) batığı, 2004 yılında Fransa Arles'te Rhône Nehri'nin sağ kıyısında keşfedilmiş 1. yy 'a tarihlenen bir Gallo-Roma gemisidir. Mavna hala kullanılır durumdayken batmış, dolayısıyla içinde kullanılan eşyalar ve 21 ila 31 ton kireçtaşı bloğu kargosuyla ele geçirilmiştir. 31 m uzunluk, 2,90 m genişlik ve yaklaşık 1 m yüksekliğiyle o güne kadar Avrupa'da keşfedilen diğer Gallo-Roma batıklarında görülmemiş kadar uzun ve dar bir gemidir. Arles Müzesi, AR3 batığının karakteristik özellikleri nedeniyle 2010 yılı sonunda, 2008 yılında başlayan kazı çalışmalarını tamamlama ve mavneyi kaldırma kararı vermiştir. Fransız Kültür Bakanlığı bu batığı “ulusal hazine” olarak sınıflandırmış, Marsilya-Provence'in 2013 Avrupa Kültür Başkenti olması nedeniyle batıkla ilgili tüm çalışmalar bu kapsama alınmıştır. 2011 yılında, 7 ay süren sualtı kazısı ve kaldırma çalışmalarının sonunda mavna 10 bölüme ayrılarak kaldırılmıştır (Marlier, vd., 2017: 383-389). Geminin tonlarca ağırlığının yanısıra uzunluk-genişlik oranının bir blok birim olarak kaldırılması için zorluk teşkil etmesi, konservasyon çalışmalarının yapılacağı ARC-

Nucléart Laboratuvarı'nın alana 275 kilometre uzaklıkta olmasının nakliye sırasında gemi için önemli risk teşkil etmesi ayrıca geminin uzunluğunun laboratuvardaki en büyük depolama tankından bile çok daha uzun olması nedeniyle uygulanabilir tek seçeneğin gemiyi bölümler halinde kesmek ve kurtarmak olduğu karara bağlanmıştır (Şekil 4.5) (Fix, 2015: 159).



**Şekil 4.5:** Arles Batığı'nın bir parçasının Rhone Nehri'nden çıkartılması.

**Kaynak:** Marlier, vd., 2017: 384

Geminin konservasyonu için PEG 2000 emdirme işlemi sonrası 31 dondurarak kurutma seansı yapılmış, 2 yıl süren restorasyon çalışmasının ardından tekne Ekim 2013'te Arles Müzesi'nde yeni açılan bir bölümde sergilenmeye başlanmıştır (Şekil 4.6) (Bernard-Maugiron, 2014: 7-8).



**Şekil 4.6:** Arles Roma batığı.

**Kaynak:** Bernard-Maugiron, 2014: 8.

Arles-Rhone 3 (AR3) batığının pruvası ve direği, özellikle metal kısımları bulunan suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda bu merkezde kullanılan karma Nucléart yöntemiyle işlem görmüştür. Arles gemisinin pruvasının metal eklentileri olmasına rağmen korunması ne kadar önemli olduğunun göstergesidir (Tran, Cortella, 2017: 225, 226).

#### **4.2.2. Antibes Batığı**

Antibes, Antik Antibes Limanı'nın bulunduğu bölgede bir yeraltı otoparkı yapımı vesilesiyle 2012 yılında bulunan MS 2. yüzyıldan kalma bir Roma gemisidir. Geminin 7 m genişliğinde ve 15 m uzunluğundaki kalıntıları ele geçirilmiştir. 2012 yılı Ağustos ve Eylül aylarında kısa bir sürede gerçekleştirilen kazı çalışmalarından sonra ARC-Nucléart Laboratuvarı'na nakledilerek PEG 2000 emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutulan gemi ahşaplarının kurutma işlemi Haziran 2014'te tamamlanmıştır (Şekil 4.7) (Arc-Nucléart, 2015: 18).



**Şekil 4.7:** Antibes batığı ahşaplarının dondurarak kurutma işlemi.

**Kaynak:** Arc-Nucléart, 2015: 18.

#### **4.2.3. Lyon Saint Georges 4 Batığı**

Fransa, Lion'da bir yer altı otoparkı inşaatı sırasında başlatılan ve 2002-2004 yılları arasında sürdürülen kurtarma kazılarında 16 adet batık bulunmuş, bunlardan aralarında Lyon Saint Georges 4 (LSG4) batığının da bulunduğu Gallo-Roma Dönemi'ne tarihli 3 batık çıkartılarak Lion yakınındaki bir gölde ileride yapılacak çalışmalar için saklanmıştır (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8:** Lyon Saint Georges 4 Batığı *in situ* görünümü.

**Kaynak:** : Meunier-Salinas, 2014: 10.

Çevresindeki yapılar nedeniyle gemileri tek parça halinde çıkartmak mümkün olmamış, kaldırma çalışmalarından önce gemiler kesilerek parçalara ayrılmıştır. LSG4 gemisi her biri yaklaşık 2.5 m uzunluğunda 6 parçaya ayrılarak çıkartılmıştır. Aradan geçen yılların sonunda, çalışmak ve sergilemek için gemiler arasından LSG4 seçilmiş, aslı 28 m uzunluğunda ve 5 m genişliğinde olan geminin 15 m uzunluk ve 5 m genişliğindeki korunan kısmı 2014 yılında ARC-Nucléart Laboratuvarı'na taşınmıştır. Yaklaşık 2100 tane çivinin mümkün olduğunca hepsini alarak ahşaplardan demir ve sülfür bileşiklerini uzaklaştırmayı kolaylaştırmak için gemi sökölerek parçalara ayrılmıştır (Guyon, Meunier, 2018: 292-296). PEG emdirme işlemine %20 PEG 2000 çözeltisinde başlanmış, bu çözeltide en az 4 ay bekletilen ahşaplar daha sonra %35'lik ikinci çözelti banyosuna alınmıştır (Arc-Nucléart, 2017: 35). Geminin parçalarının boyutlarına göre laboratuvardaki 2 dondurarak kurutma cihazı da kesintisiz çalıştırılarak geminin tüm ahşaplarının dondurarak kurutma işlemi 18 ay sürmüş, geminin tüm konservasyon işlemleri 30 ayda tamamlanmıştır (Şekil 4.9) (Arc-Nucléart, 2017: 32).



**Şekil 4.9:** Lyon Saint Georges 4 Batığı konservasyon çalışmaları.

**Kaynak:** Arc-Nucléart, 2017: 34.

### 4.3. Norveç Denizcilik Müzesi-Barcode 6 (BC06) Batığı

Oslo, Bjørvika'da büyük bir bina projesini hayata geçirmek için 2008 ve 2009 yıllarında birçok bölge arkeolojik açıdan incelenmiş, bu incelemeler sırasında Ortaçağ'ın eski liman bölgesi ve Oslo Rönesans kasabası ortaya çıkmıştır. Bölgede yapılan kazı çalışmalarında 13 adet batık çıkartılmış, bölgeye inşaatı yapılacak binalar için düşünülen “Barcode” ismi verilmiş, bölgede bulunan batıklara da numara sırasıyla aynı isim verilmiştir. Kazı, tüm teknelerin sökülmesi ve taşınması dâhil olmak üzere 13 aydan daha kısa bir sürede tamamlanmıştır. Barkod binalarından birinin, teknelerden birini binasında sergilemek istediğini ve finanse edeceğini belirtmesi üzerine 2009 yılında bir konservasyon projesi başlatılmış ve projenin 2015 yılında sona ermesi planlanmıştır. Bu proje için dendrokronolojik olarak yaklaşık 1595'e tarihlendirilen, 7.8 metre uzunluğunda ve 1.9 metre yüksekliğindeki küçük bir tekne olan Barcode 6 seçilmiştir. Bu tekne esas olarak meşe ağacından yapılmış olup tekne ahşaplarının iç kısımları sağlam ve iyi korunmuş durumdayken ahşapların yüzeyi yumuşak ve bozulmuştur. Ahşapların maksimum su içeriği %116 ila 260 arasında değişmektedir. PEG emdirme işlemine ahşabın daha iyi korunan kısımları için %4 PEG 200 çözeltisiyle başlanmış, bunu takiben her 6 ayda bir %10 PEG 2000 ilavesiyle konsantrasyon %40'a ulaşana kadar devam edilmiş ve ahşaplar 6 ay da bu çözeltide bekletilmiştir. PEG banyosu, omurganın ve bazı çok bükülmüş ahşap parçalarının şekillendirilmesini kolaylaştırmak için 3 kez birkaç gün boyunca 60°C'ye kadar ısıtılmıştır.

Ahşapların dondurarak kurutulmasından sonra sert ve kırılgan olacağı, mekanik strese bağlı hasar riski yüksek olacağı ve teknenin rekonstrüksiyonunda zorluklar yaratacağı düşünülerek parçaların dondurarak kurutulmasından önce şekillendirilmesi için bir dizi yöntem uygulanmıştır.

Barcode tekneleri 2012 yılının başlarında Norveç Denizcilik Müzesi'ne tekne parçalarının kurumasını sağlayacak 6 m uzunluğunda ve 1.2 m çapında bir dondurarak kurutma cihazı edinme fırsatı sunmuştur. Tüm teknenin kuruması için başlangıçta 6-8 sefer doldurulması gerektiği düşünülmüş fakat projenin zaman sınırı nedeniyle yeniden inşa çalışmalarının tekneye ait tüm ahşaplar kuru olmadan önce

başlaması gerekmiştir. Tekne parçalarını doğru sırayla kurutmak ve dondurarak kurutucuyu verimli kullanabilecek şekilde parçaları doldurmak için yoğun çaba sarfedilmiş; sonuçta kurutma işlemi 5 sefere indirilmiştir. -30°C'deki sıcaklık kademeli olarak plakalar için 5-6 ay, omurga ve daha kalın parçalar için 9 ay boyunca küçük adımlarla artırılmış, vakum 0.25 ila 0.05 mbar arasında ayarlanmıştır (Hovdan, vd., 2015: 32-33).

Tekne şu an battığı yerde sergilenmekte olup tekneyi DNB binaları arasında cam pencereden görmek mümkündür (<https://marmuseum.no/en/barcode-6-from-sailing-vessel-to-archaeological-object>).

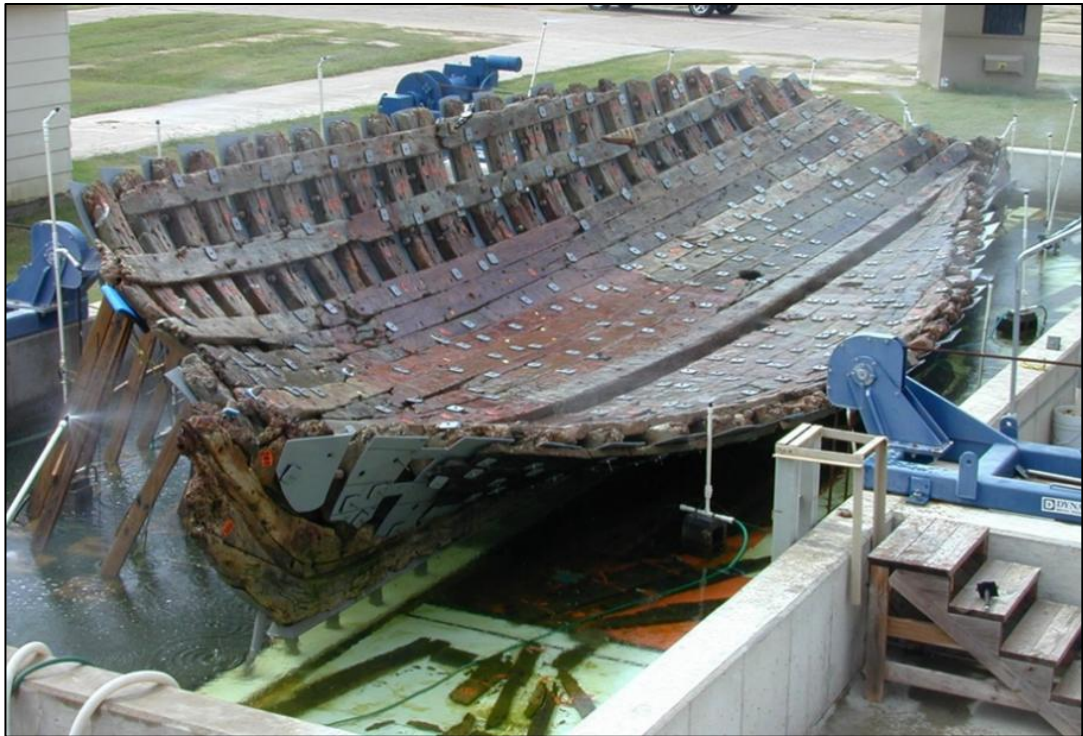
#### **4.4. Amerika Teksas A&M Üniversitesi-La Belle Batığı**

La Belle, 1684 yılında Fransa'dan Amerika'da koloni kurmak üzere yola çıkarak 1686 yılında fırtınada Meksika Körfezi'nin Matagorda Koyu'nda batan Kral XIV. Louis' in dört gemisi La Salle' den biridir (Bruseh, Turner, 2005: 3-15). 1995 yılında, La Belle Gemisi'nin bulunduğu bölge keşfedilerek batık geminin çevresine batardo inşa etmek suretiyle kuru ortamda arkeolojik kazı başlatılmış, kazı sonucunda on binlerce esere ve geminin kalan kısmına ulaşılmış ve gemi parçalarına ayrılarak 1997 yılında Teksas A&M Üniversitesi Konservasyon Araştırma Laboratuvarı'na taşınmıştır (Fix, 2015: 240-241).

Gemi ahşapları çoğunlukla meşe olup geminin bazı bölümleri ise çamdır. Yumuşak yüzey dokusu ile iç bölümlerde sert ve yoğun bir ahşap dokusuna sahip ahşaplarda, ağır *Teredo Navalis* istilası ve geminin demir bağlantılarıyla kargosundaki metal eşyaların varlığı nedeniyle korozyon ürünlerinin birikmesi sonucu ahşaplarda bozulmalar gözlemlenmiştir. Ahşapların maksimum su içeriği %90'dan %500'e kadar değişmekte olup tüm ahşapların toplam yoğunluğu yaklaşık 10.443 kg'dır (Fix, 2015: 256-264).

1997 ve 2003 yılları arasında geminin belgeleme, temizlik ve özel bir destek sistemi yapılarak yeniden yapım çalışmaları sürdürülmüş, o zamanki plan PEG 200 çözeltisinin konsantrasyonunu %5'ten %40'a çıkartmak ve ardından PEG 3350'nin %70 ila 80 arasında bir konsantrasyona ulaştırılması olduğundan 2004 yılında %5

PEG 200 çözeltisiyle emdirme işlemine başlanmıştır (Şekil 4.10). Yeniden yapım sonucunda gemi bir bütün halinde emdirme işlemine alındığından, ahşaplarda korunma durumundaki aşırı aralıklar dikkate alınarak ve yapılan analizlerde ahşapların iç bölümlerindeki bazı yerlerin önemli ölçüde bozulmadığı tespit edildiğinden daha yaygın olarak kullanılan PEG 400 yerine PEG 200 seçilmiştir. 2007 yılında konsantrasyon %32'ye ulaşmıştır (Fix, 2015: 240, 301) Fakat 1998'deki proje planlama döneminde La Belle'yi korumak için gereken tüm PEG'i bağışlama sözü veren şirket geminin yeniden yapımını takiben artık projeyi planlandığı gibi desteklemek için finansal bir pozisyonda olmadığından uygulamaya planlandığı gibi devam edilememesi durumu doğmuştur. Ahşaplara PEG 3350 emdirilmesi uygulama maliyetini önemli ölçüde arttırdığından PEG 200 yüzdesini azaltma, gemiyi parçalara ayırma ve vakumlu dondurarak kurutma kararı alınmıştır (Fix, 2015: 301-304). %32 PEG 200 çözeltisindeki PEG çözeltisinin miktarı %5'lik miktarlarla azaltılmış, 11 ay sonunda PEG 200 konsantrasyonu %3-5'e düşürülmüştür. Yeni bir denge seviyesine ulaşması için ahşaplar, iki ay daha bu çözeltide bekletilmiştir. Ardından gemi parçalara ayrılmıştır (Fix, 2015: 305-307).



**Şekil 4.10:** La Belle batığı.

**Kaynak:** The History Blog, 2014 (Çevrimiçi) <http://www.thehistoryblog.com/archives/31505>, 01 Mart 2019.

Geminin parçalara ayrılmasını takiben demiri şelatlamak için sekiz aylık bir süre zarfında iki sulu %2 amonyum sitrat çözeltisiyle uygulama yapılmıştır. Arındırma işlemi yapılan ahşaplar daha sonra PEG 200'den kalanlarla uygun ozmotik basınçları korumak için %15 PEG 3350 ile emdirme işlemine başlanmış ve %5'lik artışlar yapılarak 18-23 ayda PEG 3350 çözeltisi %40 konsantrasyona ulaşmıştır (Fix, 2015: 308-310).

Dondurarak kurutma işlemine alınan La Belle ahşaplarının kurutulması için beş yükleme gerekmiştir. Kurutma sonrası yapılan incelemelerde, ahşapların %95'inden fazlasında çekmenin %2'den az olduğu tespit edilmiştir. Genel yapıyı etkilememekle birlikte bazı bölgelerde nedeni bilinmeyen çekme ve çökme olmuştur (Fix, 2015: 310- 312). Müzeye nakledilen ahşaplar hızlı bir şekilde monte edilmiş ve serginin açılışı yapılmıştır (Fix, 2015: 313).

#### **4.5. Türkiye İstanbul Üniversitesi Yenikapı Batıkları Projesi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı**

##### **4.5.1. Çamaltı Burnu I Batığı**

Marmara Adası'nda, 1998-2004 yılları arasında Doç. Dr. Nergis Günsenin'in bilimsel başkanlığında kazısı yapılan Çamaltı Burnu I Batığı, MS 13. yüzyıla tarihlendirilen bir yük gemisidir (Günsenin, 2005: 118, 119; Günsenin, Özaydın, 2000: 341).

Geminin konservasyon çalışmaları, İstanbul Üniversitesi Gemi Konservasyon ve Rekonstrüksiyon Laboratuvarı'nda yapılmıştır. İncelemelerde gemi ahşaplarında yoğun *Teredo navalis* hasarı gözlenmiş, ahşapların Umax değeri %276 ile 938 arasında tespit edilmiştir. Tuzdan arındırma ve demir bileşiklerinin uzaklaştırılması işlemlerinin ardından Mayıs 2009'da ahşaplara %5 PEG 2000 çözeltisi emdirme işlemine başlanmıştır. Her 6 ayda bir -sadece son yıl 12 ayda bir- %5 PEG 2000 eklemesiyle Kasım 2013'de % 45 konsantrasyonda PEG'e ulaşıncaya ekleme işlemi tamamlanmıştır. Bu çözeltide bir süre daha bekletilen ahşaplar Mayıs 2014'de çözeltiden çıkartılarak dondurarak kurutma işlemine başlanmıştır. Ahşapların sıcaklığının PEG 2000'in ötektik sıcaklığı olan -22°C'ye düşebilmesi için cihaz

hazne sıcaklığı -35°C'ye ayarlanmış, işleme bir sonraki gün vakum prosesinin 0,15 mbar çalıştırılması ile devam edilmiştir. Hazne sıcaklığı süreç boyunca sabit tutulmuş; biriken buz, kurutma haznesi durdurulmadan sadece vakum ve kondansör durdurularak boşaltılmıştır. Ahşapların ağırlıkları sabitlendiğinde dondurarak kurutma işlemi sonlandırılmıştır (Şekil 4.11).



**Şekil 4.11:** Yoğun *Teredo navalis* saldırısına maruz kalan 6 no'lu parçanın konservasyon öncesi (sol) ve sonrası (sağ) durumu.

**Kaynak:** N. Kılıç, 2015: 52.

Ahşaplar bağıl nemi %45 ile %60 arasında ayarlanmış bir ortamda depolanmıştır. Kazıdan çatlak ve parçalı olarak gelen ahşap parçaları EVA (Etilen-vinil asetat) kullanılarak birleştirilmiş, ahşapların bazı yerlerinde bulunan boşluklar ise öğütülmüş ahşap tozu ve EVA karıştırılarak doldurulmuştur. Konservasyon işlemi sonrası yapılan incelemelerde ahşaplarda çekme, çatlama ve boyutsal deformasyonlar gözlemlenmemiştir. Ahşaplar su çekmiş ağırlıklarına oranla işlem sonrasında oldukça hafiflemiş, *Teredo navalis* hasarı nedeniyle kendi ağırlıklarını taşıyamayacak durumdaki ahşaplar desteklerle yerlerinden kaldırılmıştır (N. Kılıç, 2015: 39-52).

#### 4.5.2. Yenikapı Batıkları (YKI ve YK12)

Marmaray ve Metro istasyon projesi kapsamında 2004 yılında İstanbul Arkeoloji Müzeleri başkanlığında başlatılan arkeolojik kazılarda Bizans Dönemi'ne tarihlendirilen Theodosius Limanı ortaya çıkartılmıştır (Karamut, 2007: 10–17). 2004-2013 yılları arasında sürdürülen kazı çalışmalarında binlerce eserin yanı sıra tek bir kazı alanında bulunan en büyük ortaçağ gemileri koleksiyonunu oluşturan ve MS 5. yüzyıldan 11. yüzyıla tarihlenen 37 adet gemi enkazı ortaya çıkartılmıştır. Bu

batıklardan 31 adedinin konservasyon alışmaları İstanbul Üniversitesi tarafından üstlenilmiştir (Kocabaş, 2015: 5; N. Kılıç, 2017: 9)

İstanbul Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen Yenikapı batıklarının konservasyon çalışmalarının genel olarak PEG ön emdirme işlemi ardından vakumlu dondurarak kurutma yöntemi ile yapılmasına karar verilmiş, YK 1 batığının bütün konservasyon süreci ve YK 12 batığının emdirme işlemi tamamlanmıştır (N. Kılıç, 2017: 2). Ayrıca, YK 12 batığına ait bazı parçaların ve YK 16 batığına ait bir grup eğrinin koruma çalışmalarında Melamin Formaldehid yöntemi tercih edilmiştir (N. Kılıç, 2013; N. Kılıç, 2016).

YK 1 batığı (Şekil 4.12) ahşaplarının 0,11-0,21 g/cm<sup>3</sup> arasında yoğunluk değerlerine ve 400-900 (%w/w) arasında maksimum su içeriğine; YK 12 ahşaplarının 0,09-0,18 g/cm<sup>3</sup> arasında yoğunluk değerlerine ve 500-1000 (%w/w) arasında maksimum su içeriğine sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca batıklara ait aynı ahşaplarda en kalın parçalarda bile bozulmanın tüm dokularda eşit olduğu tespit edilmiştir. YK 1 batığının emdirme alışmaları PEG 2000 kullanılarak tamamlanmış, YK 12 batığına ait ahşaplar biraz daha düşük yoğunluk ve yüksek su içeriğine sahip olduğundan emdirme işlemi %30 konsantrasyona kadar PEG 2000 ile %30'dan son konsantrasyona kadar PEG 3000 ile yapılmıştır. PEG %10'un altında emdirilmeye başlanmış, %10'luk artışlarla %45 son konsantrasyona ulaşılmıştır. Emdirme işlemi YK 1 batığında 26 ayda, YK 12 batığında 48 ayda tamamlanmıştır. PEG emdirme işleminden sonra her iki batıktan ahşap örneklerinin FTIR analizinde PEG'in ahşaplar tarafından emildiği kanıtlanmış, SEM görüntü analizinde ise PEG'in ahşap hücresinde homojen bir dağılım oluşturduğu gözlemlenmiştir (N. Kılıç, 2017: 58-105).



**Şekil 4.12:** YK 1 batığı *in situ* görünümü.

**Kaynak:** İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi (U. Kocabaş).

YK 1 ahşapları dondurarak kurutma işlemine alınmış, cihaz kurutma haznesi sıcaklığı  $-27^{\circ}\text{C}$  ile  $-30^{\circ}\text{C}$  arasında ve 0,15 mbar basınç değerlerinde işlem gerçekleştirilmiştir. Cihaz haznesinin sıcaklığı bu değerlerde ayarlandığında ahşapların sıcaklığının istenen değer olan  $-22^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmesi sağlanmıştır (N. Kılıç, 2017: 150, 172). İnce kaplama tahtalarının kurutulması yaklaşık 2 ay sürerken omurga gibi daha kalın ahşapların kurutulması yaklaşık 4 ay sürmüştür. İşlem sonrası bazı ahşapların yüzeyinde, PEG'den meydana gelen beyaz bir tabaka oluştuğu tespit edilmiş ve bu tabakalar ahşap yüzeyinden temizlenerek uzaklaştırılmıştır. Çatlak veya parçalı ahşaplar EVA kullanarak birleştirilmiştir. İşlem sonrası ahşapların renginde açılma olduğu gözlemlenmiş fakat bu durum ahşaplardaki detayların daha net fark edilmesini sağlamıştır. SEM incelemelerinde PEG'in ahşap hücre duvarlarında homojen bir şekilde dağıldığı, ahşap hücre yapısında herhangi bir çökme gözlemlenmediği dolayısıyla PEG'in boyutsal durağanlığı sağladığı saptanmıştır. YK 1 batığına ait meşe ağacından omurga üzerinden örnek alınmış;

yoğunluğu 0,17 g/cm<sup>3</sup> ve maksimum su içeriği 530 (%w/w) olan örnek, yapılan testlerde YK 1 batığı ile aynı emdirme sürecine alınarak yaklaşık 3 ay -22°C ve 0,15 mbar basınçta vakumlu dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmuştur. Örnekte radyal ve boyuna yönlerde çekme olmayıp, teğet yönde %0,05 çekme tespit edilmiştir. Ayrıca bu örnek herhangi bir emdirme yapılmadan diğer örneklerle birlikte vakumlu dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerle karşılaştırıldığında radyal ve boyuna yönlerde %100, teğet yönde yaklaşık %99,17 ASE değerleri tespit edilmiştir. PEG emdirme sonrası vakumlu dondurarak kurutma yönteminin ahşaplarda boyutsal durağanlığı sağladığı ve ahşapları mekanik olarak desteklediği kanıtlanmıştır (N. Kılıç, 2017: 158-199).

#### **4.6. Kanada Québec Konservasyon Merkezi**

2011 yılında Québec Konservasyon Merkezi (CCQ), Montréal Arkeoloji ve Tarih Müzesi Pointe-à-Callière'nin genişlemesi için yapılan kazı sırasında ortaya çıkartılan 17. yüzyıldan kalma atık su kanalı bölümlerinin konservasyonunu gerçekleştirmiştir. Yaz aylarında keşfedilen parçalar Québec'e gönderilmiştir. Laboratuvarın tankları ve dondurarak kurutma üniteleri bunların sığacağı kadar uzun olmadığı için emdirme işleminde PVC'den yapılmış modern bir atık su kanalı bölümü kullanmaya ve dış ortamda dondurarak kurutma yapılmasına karar verilmiştir. Emdirme işlemine %10'luk PEG 400 çözeltisi ile başlanmış ve 4 hafta sonra konsantrasyon %20'ye yükseltilmiştir. 2011 sonbaharında yapılan emdirme işlemi sonrasında 2012 Ocak ayının başında parçalar laboratuvarın çatısındaki sığınağa yerleştirilmiştir (Şekil 4.13).

Sığınağın ana bölümü, güneşin içeri girmesini ve havayı ısıtmasını sağlayan sert plastik kullanılarak yapılmıştır. Ana bölümün iki ucundaki kapılar ahşap yüzeyden süblimleşme yoluyla uzaklaşan su buharını tahliye edecek kadar kuvvetli rüzgar olduğunda açılmıştır. Işık, barınağın dışında 70.000 lux üzerinde ölçülürken içeride 48.000 lux'e kadar düşmüştür. Sıcaklıktaki fark günden güne büyük ölçüde değişmiştir. Barınak dışında rüzgarlı bir günde -4,0°C ölçülen sıcaklık, barınak içinde -1,9°C ölçülmüş ve hafif rüzgarlı günlerde dışarıda -4°C olan sıcaklık sığınak içinde +7°C'ye ulaşmıştır (Bergeron, 2014: 11, 12).



**Şekil 4.13:** Atık su kanalı bölümlerinden birinin platform üzerinde sığınağa yerleştirilmesi.

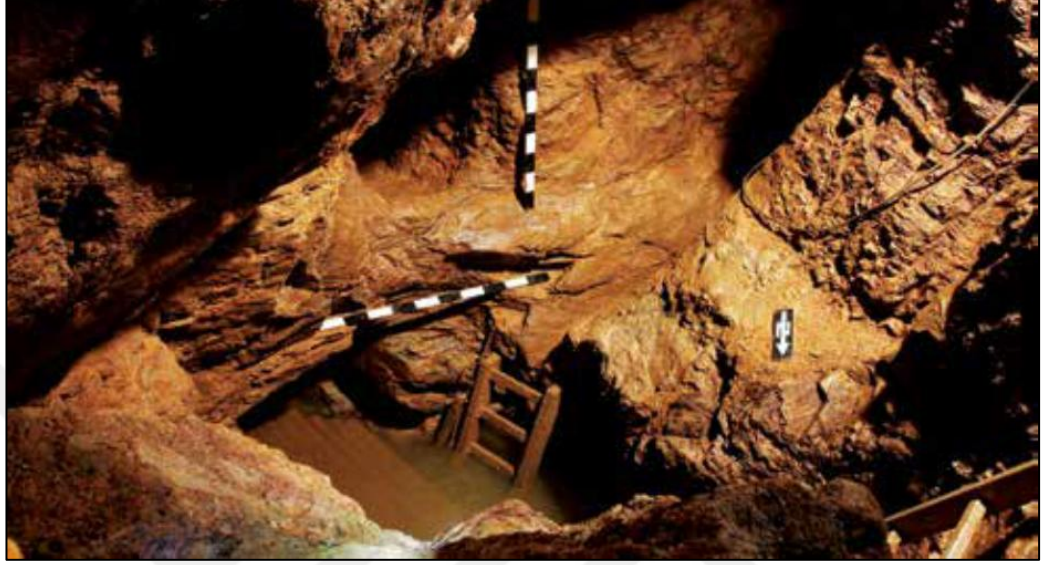
**Kaynak:** Bergeron, 2014: 12.

İşlem süresince karın sığınmaktan çıkarılması ve kapıların gerektiğinde açılması sağlanmıştır. İşlem hızı, ağırlık kaybına göre değerlendirilmiştir. Sıcaklığın donma noktasının üzerine çıkmasıyla Mart ayında ahşaplar içeriye alınarak kurutma işlemi laboratuvarında tamamlanmıştır (Bergeron, 2014: 12).

#### **4.7. Almanya ve Çek Cumhuriyeti-Arkeo Montan Projesi**

Almanya'nın Saksonya eyaleti ile Çek Cumhuriyeti sınırında bulunan ve zengin maden kaynaklarıyla (Şekil 4.14) tanınan Ore Dağları'nda 2012 yılında başlatılan bir Alman-Çek projesi Archaeo Montan ile bölgedeki araştırma faaliyetleri yoğunlaştırılmış ve bunun sonucunda yeraltından çok sayıda eser çıkartılmıştır. Bölgedeki araştırmalar devam ettikçe ve yeni madenler kazıldıkça buluntu sayısı artmıştır. Buluntuların önemli bir çoğunluğu suya doymuş ahşap eserlerden oluşmaktadır. 2016 yılına kadar bunlardan 1000 adedi konservasyonu yapılmak üzere seçilmiştir. Uzunlukları birkaç cm'den birkaç m'ye kadar değişen ahşaplardan yapı malzemesi olanlar avrupa göknarı gibi iğne yapraklı ağaçlardan oluşurken, aletler kayın gibi geniş yapraklı ağaçlardan yapılmıştır. Ahşapların %43' ünün Umax

değeri %400'den fazla, %52'sinin 185 ile 400 arasında ve %5'inin ise 185'den azdır (Schmidt-Reimann ve Reuterr, 2016: 125-130).



**Şekil 4.14:** Dippoldiswalde orta çağ madenleri.

**Kaynak:** Schmidt-Reimann, Reuterr, 2016: 127.

Ahşapların konservasyonu PEG 2000 ön emdirme işlemi ardından vakumlu dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmış, emdirme işleminde PEG 2000 sulu çözeltisinin konsantrasyonu yavaş yavaş artırılarak %30'a ya da 40'a çıkartılmıştır. Bu işlemin ardından ahşaplar 2.80 m uzunluğunda ve 0.70 m iç çapta kurutma haznesi olan dondurarak kurutma cihazına alınmış ve dondurarak kurutulmuştur.

Arkeolojik madencilik kalıntılarını belgelemek ve araştırmak için bir sınır ötesi işbirliği çalışması olan ve Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu (ERDF) tarafından finanse edilen Archaeo Montan Projesi çok sayıda suya doymuş ahşap eserin konservasyon çalışmaları için ortam sağlamıştır (Schmidt-Reimann ve Reuterr, 2016: 125-130). Bu eserler, proje kapsamında Dippoldiswalde Kalesi'nde açılan Erzgebirge Ortaçağ Madenciliği Müzesi'nde (MiBERZ) sergilenmektedir (<https://www.miberz.de/de/ueber-uns/>).

#### **4.8. Portekiz-İspanya**

Portekiz'in kuzeyi'ndeki Lima Nehri'nde bulunan Ortaçağ' a ait iki kanodan bir tanesinin 2014 yılında Portekiz'de Ulusal Arkeoloji Müzesi'nde gerçekleştirilecek

sergide yer almasına karar verilmiştir. Bu konservasyon çalışması da sınır ötesi bir iş birliğine ortam sağlamıştır. Kanoların konservasyonu PEG 400 ve PEG 4000 kullanılarak iki aşamalı PEG ön emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmıştır. Kanoların emdirme işlemi, Portekiz'de Ulusal Deniz ve Sualtı Arkeolojisi Merkezi'nde gerçekleştirilirken dondurarak kurutma işlemi İspanya, Cartagena'da Ulusal Sualtı Arkeoloji Müzesi (ARQUA) laboratuvarında yapılmıştır. Bu amaç için iki ülke yetkilileri arasında bir protokol imzalanmış, ayrıca emdirme çalışması için Fransa, Grenoble' deki ARC-Nucléart Konservasyon Merkezi'nden Dr. Khoi Tran'ın bilimsel desteği alınmıştır (Coelho, 2015: 7).

#### **4.9. İsveç**

##### **4.9.1. Vasa Batığı Ahşapları**

2003 yılından beri demir bileşiklerinin varlığına bağlı bozulma problemleriyle karşı karşıya olan Vasa Gemisi'nin ahşaplarından bu bileşiklerin ekstraksiyon yoluyla uzaklaştırılmasını araştırmak için yüksek performanslı demir şelatörleri (HPIC) kullanılarak bir dizi deney yapılmıştır. Ekstraksiyon, bir maddenin bir matristen bir çözücü vasıtasıyla uzaklaştırıldığı bir işlem olup demir ekstraksiyonu durumunda, bileşikler tercihen güçlü şelatlama ajanları tarafından çözülür. Çünkü çoğu demir bileşiği suda çok düşük çözünürlüğe sahiptir. Vasa Gemisi'nde yüksek performanslı demir şelatörleri (DTPA ve EDDHMA) ile yapılan ilk denemeler, gemi ahşaplarının bazı bölümlerinde tuz çökeltileri üzerine bölgesel uygulamalar olarak yapılmıştır. Bu uygulamalarda difüzyon zayıftır ve kimyasalları durulamak zordur. Daha sonra yapılan deneylerde, eserler daldırma yoluyla ekstre edilmiştir. Bazı ahşaplar daha sonra PEG 2000 emdirme ve vakumlu dondurarak kurutma yoluyla tekrar işlem görmüş ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır (Şekil 4.15). Elde edilen sonuçlar ümit verici olsa da, daha fazla araştırma ve denemeler yapılmalı ve demir ekstrakte edilmiş ahşaplar uzun süre izlenmelidir (Almkvist, vd., 2013).



**Şekil 4.15:** DTPA'da ekstraksiyon işlemi ardından PEG emdirme ve dondurarak kurutma işleminden önce (solda) ve sonra (sağda) iki ahşabın görünümü.

**Kaynak:** Almkvist, vd., 2013: 10.

#### 4.9.2. Årby Kazısı Eserleri

1900' lerin ilk yarısında İsveç'te yapılan Bulverket, Käringsjön ve Årby kazılarında ele geçen suya doymuş ahşapların konservasyonu alum yöntemi ile yapılmış olup Årby kazılarında ele geçen eserler İsveç'te kazılan az sayıdaki Viking Çağı teknelerinden biriyle ilişkili olan eserlerdir. Alumla işlem görmüş eserlerle ilgili problemler bilinmekle birlikte 2001 yılında İsveç, Stockholm'deki Tarih Müzesi'nde Viking Çağı sergisi açılarak Årby eserlerinin sergilenmesine kadar eserlerde tam bir araştırma yapılmamıştır. Sergiyle birlikte bazı eserlerde belirgin bozulma belirtileri bulunmuş (Şekil 4.16) ve 2002 yılında bu bozulmaları önlemek veya kontrol altına almak amacıyla yöntem bulmak için bir proje başlatılmıştır (Häggström, vd., 2013: 7).



**Şekil 4.16:** Alomla işlem görmüş ve asıl boyutlarını geri dönüşü olmayan bir şekilde kaybetmiş olan küçük merdiven.

**Kaynak:** Häggström, vd., 2013: 18.

Çalışma için alomla işlem görmüş, çeşitli bozulma durumlarından; buluntu yerine, tipine, yaşına ve işlendikleri alomla ek olarak hangi katkı maddeleri eklendiğine göre değişen çeşitlilikte yirmi dokuz adet eser seçilmiştir. Yapılan analizlerin ardından eserler alomla uzaklaştırmak için tuzdan arındırma, PEG emdirme ve vakumlu dondurarak kurutma aşamalarını içeren üç işlemden geçirilmiştir. Bu işlemlerden önce eserlerin bazılarında sıkı bir destek paketi yapılmış ve bunlar dondurarak kurutma aşamasından sonra çıkartılmıştır. Ayrıca bazı eserlere yüzey morfolojisini ve şeklini korumak amacıyla Paraloid® B-72 veya Parylene N ile uygulama yapılmıştır. Tuzdan arındırma işlemi oda sıcaklığında ve 48°C ila 50°C’de ısıtılarak suyla yapılmıştır (Häggström, vd., 2013: 37-38-39-66-67).

Eserlerin geneli çok bozulmuş durumda olduğundan son konsantrasyon %40 (w/v) olacak şekilde PEG 2000 emdirme işlemi yapılmıştır. Konsantrasyon %10 (w/v)’da başlamış ve son konsantrasyona kadar yüzde 15’lik artışlar yapılmıştır. Eserler kalınlığına göre 2 gruba ayrılarak emdirme işlemine alınmıştır. Kalınlığı 4 cm’den büyük olan eser grubu için süre 24.6 ay, 4 cm’den küçük olan 2. grup içinse 3.4 ay sürmüştür (Häggström, vd., 2013: 42-43). Emdirme işlemi tamamlanan eserler -40°C’ye ayarlanmış dondurarak kurutucu haznesine yerleştirilmiş ve

süblimleşme başlamadan önce üç günlük ilk donma işlemine tabi tutulmuştur (hazne duvar sıcaklığı -35°C). Küçük eserler için üç ay, büyükler için üç buçuk ay sonra ağırlık stabilizasyonu sağlanmıştır. Dondurarak kurutma işlemi sırasında hazne duvarı sıcaklığı -25°C ila -30°C arasında değişmiştir. Dondurarak kurutma işleminin başında maksimum 0.025 mbar basınç kaydedilmiş ve işlemin sonuna doğru art arda 0.0007 mbar'a düşmüştür (Häggström, vd., 2013: 44).

Eserlerin çoğunda çalışma sonrası çekme, deformasyon ve çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Fakat destek ve konsolidasyon materyalleri ile ilgili bazı olumsuz sonuçlar not edilmiştir (Häggström, vd., 2013: 63). Eserlerin genel olarak yeniden konservasyondan öncesine kıyasla şekillerini koruduğu tespit edilmiş ve ağırlıkları ortalama %33 oranında azalmıştır (Häggström, vd., 2013: 68). Başarılı bir yeniden koruma uygulaması sonuçları elde edilebilmiştir (Häggström, vd., 2013: 63).

Danimarka Ulusal Müzesi de son yıllarda, alum ile işlem görmüş ahşabın yeniden konservasyonu için vakumlu dondurarak kurutmayı kullanmıştır. Eserler paketlenerek konservasyon boyunca fiziksel olarak korunmuş, alum 80°C'de su içinde ekstre edilerek ahşaplara PEG 2000 veya 4000 %40 sulu çözeltisi emdirilmiş ve son olarak vakumlu dondurarak kurutma yapılmıştır (Häggström, vd., 2013: 15).

#### **4.10. İngiltere-İngiliz Mirası Araştırma Departmanı**

2006'da Silchester'daki kazılar sırasında bir kuyuda bulunan 200 yıllarına tarihli akçaağaçtan yapılmış bir yazı tabletinin konservasyonu PEG 400 ve PEG 4000 kullanarak dondurarak kurutma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. %10 PEG 400 çözeltisine, %5 artışlarla son konsantrasyon %15 olacak şekilde PEG 4000 eklemesi yapılmış ardından eser dondurarak kurutulmuştur. Kurutma sonrası ince yüzey detaylarını gizlememek ve ileride yapılabilecek analiz çalışmalarını engellemek için eser konsolide edilmemiş dolayısıyla gözenekli bir yüzeye sahip ve kırılgan durumda bırakılmıştır (Şekil 4.17). Paketlenerek koruma altına alınmıştır (Watson, 2008).



**Şekil 4.17:** Dondurarak kurutma işleminden önce ve sonra tabletin görünümü.

**Kaynak:** Watson, 2008.

#### **4.11. Kore Ulusal Müzesi**

##### **4.11.1. Zırh Çerçevesi**

Kore’de, M.Ö. 4. yy’a tarihlendirilen Imdang, Gyeongsan bataklık alanından 1997 yılında ortaya çıkartılan, 100 cm çevre ölçüsünde ve 55 cm yüksekliğinde suya doymuş ahşap zırh çerçevesinin konservasyonu 2003 yılında tert-butanolden dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmıştır. Eserin suya doymuş ağırlığının 32 kg olması nedeniyle PEG 4000 emdirme yöntemi uygulandığında eserin ağırlaşacağı buna karşın düşük konsantrasyonda PEG 4000 emdirme ardından dondurarak kurutma yöntemi uygulandığında eserin ağırlığında artış riski olmayacağı ve ayrıca renginin daha açık olacağı dikkate alınarak esere dondurarak kurutma yöntemi uygulamasına karar verilmiştir. Eserin hantal yapısı nedeniyle dondurarak kurutma öncesi sulu PEG çözeltisi emdirilmesi durumunda işlemin çok uzun sürme ve kurutma sırasında içindeki çözeltinin erime olasılığı düşünülerek eser tert-bütanol kullanılarak dehidre edilmiş ve ardından %40 tert-bütanol/PEG 4000 çözeltisinde emdirme yapılarak dondurarak kurutulmuştur. Ön emdirme işlemi 5 ayda, dondurarak kurutma işlemi 1 ayda tamamlanmıştır (Şekil 4.18) (Yi, 2012: 39; National Research Institute of Cultural Heritage, 2012: 74, 75).



**Şekil 4.18:** Zırh çerçevesinin dondurarak kurutma işlemi öncesi ve sonrası görünümü.

**Kaynak:** NRICH, 2012: 75.

Suya doymuş durumunda özgül ağırlığı 0.12 ve maksimum su içeriği %725 olan çam ağacından yapılmış eserin yüzeyi, inorganik maddenin tortulmasından dolayı koyu kahverengi renktedir.

Yapılan analizlerden sonra zırh çerçevesi ilk olarak inorganik maddelerden arındırmak için 20 gün boyunca %0.5 EDTA<sub>2</sub>Na ve %0.5 boraks çözeltisine alınmış ve saf suyla yıkanmıştır. Bu işlemin ardından ilk 45 gün %50 ve sonra 40 gün %100 olacak şekilde eserdeki suyla tert-butanolun yer değiştirmesi sağlanmıştır. Sonrasında esere 40°C’de, tert-butanol içerisinde başlangıç konsantrasyonu %10, son konsantrasyon %40 olacak şekilde 2 hafta arayla %10’luk artışlarla PEG 4000 eklemesi yapılarak ön emdirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından eser -40°C’de 4 gün dondurularak kondansör sıcaklığı -70°C, kurutma haznesi raf sıcaklığı -15°C ve 5.3 mbar basınç değerlerinde 34 günde dondurarak kurutulmuştur (NRICH, 2012: 74,75; Kim, Yi ve Lee, 2011: 16-22).

#### **4.11.2. Su Kabı**

Gyeongju Ulusal Müzesi yakınında yer alan alandan 1998 yılında çıkartılan 21.9 yüksekliğinde ve 24.5 cm dış, 17.1 cm iç çapında çam ağacından yapılmış şekil bütünlüğü bozulmamış fakat yumuşak ve hassas durumda olan bir su kabının konservasyonu 2002 yılında Kore Ulusal Müzesi’nde, iki aşamalı PEG emdirme işlemi sonrası dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmıştır. Eser ilk olarak %1

EDTA<sub>2</sub>Na ve %1 Kathon CG çözeltisine alınarak renksizleştirme ve koruma işlemi olarak tabir edilen işlem den geçirilmiştir. Daha sonra esere %10 PEG 200 ardından %50 son konsantrasyona kadar %10 artışlarla PEG 4000 emdirme işlemi yapılmıştır. Emdirme işlemi tamamlanan eser -40°C’de dondurulduktan sonra -70°C kondansör sıcaklığı, -40°C → -15°C raf sıcaklığı ve 5.3 mbar basınç değerlerinde dondurarak kurutulmuştur (Şekil 4.19) (Yi, 2012: 38, 39; NRICH, 2012: 76).



**Şekil 4.19:** Su kabının dondurarak kurutma işlemi öncesi ve sonrası görünümü.

**Kaynak:** NRICH, 2012: 76.

#### 4.11.3. Kılıç ve Kılıç Kını

Changwon’da Daho-ri 1 nolu mezardan ele geçen kılıç ve kılıç kınının (Şekil 4.20) 2005’de yapılan konservasyonu, bronz kısımları olduğu için korozyona uğrama endişesiyle PEG yerine %17 sakroz çözeltisi emdirildikten sonra dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmıştır. Çözeltinin erime sıcaklığını yükselmek için çözeltiliye %10 tert-bütanol eklenmiştir. Emdirme işlemi tamamlanan eser -40°C’de dondurulduktan sonra -70°C kondansör sıcaklığı, -40°C → -20°C raf sıcaklığı ve 5.3 mbar basınç değerlerinde dondurarak kurutulmuştur (Yi, 2012: 39; NRICH, 2012:138, 139).



**Şekil 4.20:** Daho-ri 1 nolu mezardan ele geçen kılıç ve kılıç kını.

**Kaynak:** Yi, 2012: 43.

## SONUÇ

Bu tez çalışması, suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda dondurarak kurutma yönteminin gelişme sürecinin ve son yıllarda yapılan uygulamaların literatür taraması yapılarak kapsamlı olarak araştırıldığı bir çalışmadır. Gelişme sürecinin araştırılması yöntemin daha net açıklanmasını ve dolayısıyla günümüzde yapılan uygulamaların daha net anlaşılmasını sağlamıştır.

Literatürde, suya doymuş ahşap eserlerin dondurarak kurutma yöntemi ile konservasyonu için genelde kabul gören tanım, su ve sağlamaştırıcı malzemeden oluşan çözeltinin ahşaba emdirilmesi sonrası suyun ahşaptan süblimleşme yoluyla uzaklaştırılmasıdır. Bu da genellikle vakumlu dondurarak kurutma cihazı kullanılarak yapılmaktadır. Günümüzde yapılan bu uygulamaların sonuçları genellikle tatmin edici bulunmaktadır. Su yerine organik çözücüler kullanılarak yapılan uygulamaların dondurarak kurutma tanımlamasında yer alması daha sınırlıdır. Vakumsuz dondurarak kurutma uygulamaları da yapılmakla beraber bu uygulamaların süreç ve sonuçları vakumlu dondurarak kurutma yöntemi kadar tatmin edici bulunmamaktadır.

Türkiye’de suya doymuş ahşap eserlerde dondurarak kurutma uygulamasının sınırlı çalışmaları PEG 2000 sulu çözeltisi ön emdirme işlemi ardından vakumlu dondurarak kurutma yöntemiyle yapılmış olup ülkemizde suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda bundan farklı bir dondurarak kurutma yöntemi uygulaması henüz yapılmamıştır.

Literatürde, suya doymuş ahşap eserlerde dondurarak kurutma yönteminin ilk başarılı çalışması olarak genelde kabul gören uygulama Ambrose’un (1971) az bozulmuş küçük boyutlu ahşaplara %10 PEG 400 sulu çözeltisi emdirerek yaptığı vakumlu dondurarak kurutma uygulamasıdır. Bu ilk uygulama, o dönem çalıştıkları laboratuvarlara “tonlarca” suya doymuş ahşap eser gelmeye başlayan koruma uzmanlarına umut ışığı olmuş, 1970’li yıllardan itibaren küçük eserlerde PEG ile yapılan dondurarak kurutma çalışmaları daha fazla uygulama alanı bulmuştur. Farklı koruma uzmanlarınca denenen yöntemin başarısı teyit edilmiş ve yapılan uygulamaların artması yöntemin daha iyi anlaşılmasına ve bu da sonuçların

iyileştirilmesine vesile olmuştur. Aradan geçen 15-20 yıl içinde 1990'lı yıllara gelindiğinde gemi gibi büyük boyutlu eserlerin, gerekli boyutta dondurarak kurutma cihazı bulunmayan bir ülkeden diğerine nakledilerek dondurarak kurutulması yöntemin başarısının en büyük ispatıdır.

Dondurarak kurutma öncesi emdirme işleminde PEG kullanılması, yöntemin adeta ayrılmaz bir parçası olmuş; PEG' in bazı olumsuz etkileri belirtilerek denenен diğer emdirme malzemelerinin hiçbirisi PEG kadar iyi sonuçlar vermemiştir.

Yöntemin geliştirilmesi ve geçen zaman içinde daha başarılı sonuçlar alınarak güvenilir bir yöntem olarak kabul görmesinin en önemli sebeplerinden biri kuşkusuz dondurarak kurutma cihazlarının geçen zaman içinde geliştirilerek güvenli kullanım avantajı sunmasıdır. Cihazlardaki bu gelişme, daha çok yatırım yapılan gıda ve ilaç sektörlerinin talepleri doğrultusunda yön bulsa da konservasyon bilimine de hizmet ettiği yadsınamaz bir gerçektir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen verilere göre; suya doymuş ahşap konservasyonunda ilk dondurarak kurutma uygulamaları 1950'li yıllarda ahşabın direkt sudan veya tert-butanolden dondurarak kurutulması şeklinde yapılmış fakat bu uygulamalarda eserlerde hayli ciddi hasarlar meydana geldiği tespit edilmiştir (Organ, 1959; Rosenquist, 1959b). 1971 yılında yayınlanan çalışmasında Ambrose, dondurarak kurutma uygulamasında, suyun donduğunda %12 oranında genişmesi sebebiyle eserlerde büyük çatlaklar oluştuğunu gözlemleyerek PEG 400'ün %10'luk sulu çözeltisinin donduğunda suyun yarısı kadar genişlediğini tespit etmiş ve dondurarak kurutma uygulamasının bir emdirme malzemesi olmaksızın başarılı olamayacağı gerçeğini ortaya koymuştur. Ambrose; -79°C'de karbondioksit maruz bırakarak dondurduğu, işlemin başlangıcında -60°C olan ahşapları hazne basıncı 0.6 mbar ile 1.3 mbar arasında olan bir vakum cihazında dondurarak kurutmuştur (Ambrose, 1971). Bu öncü çalışmanın üzerinden geçen yıllardan sonra, yapılan çalışmalar sonucunda suya doymuş ahşap konservasyonunda dondurarak kurutma uygulamaları artık bu eserlerin konservasyonu için özel olarak üretilmiş cihazlarda, belirli basınç ve sıcaklık parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Günümüzde PEG ön emdirme işlemine tabi tutulmuş ahşapların dondurarak

kurutulması için belirlenen parametreler -20°C ila -35°C hazne sıcaklığı ve 0.07 ila 0.14 mbar hazne basıncıdır (Jensen, vd., 2009). Hatta son yıllarda bu basınç değerlerinin de altında basınç değerleri kullanılarak uygulamalar yapılmaktadır (Häggström, vd., 2013: 44).

Her ne kadar vakumlu dondurarak kurutma yöntemi başarılı ve güvenilir bir yöntem olsa da günümüz teknolojisi bir çok alanda olduğu gibi suya doymuş ahşap konservasyonu alanında da araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmaya imkan vermektedir. Bu sebeple yöntemin geliştirilmesi ve aynı zamanda yeni yöntem arayışları suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonunda daha iyi sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.

Bir kazı çalışmasında sayıca fazla suya doymuş ahşap eser ortaya çıkartılması durumunda, bu eserlerin korunmasında dondurarak kurutma yöntemi uygulamasının en iyi sonucu vereceği bilimsel olarak ispat edilse de bu eserlerden fiziksel ve kimyasal durumu saklamaya elverişli olanlardan bazılarında uygulama yapılmayıp daha iyi bir konservasyon yöntemi bulunması ihtimaline karşı uygun koşullarda saklanması önerilir.

## KAYNAKÇA

- ADAMS, G., 2007 "The Principles of Freeze-Drying", Ed. J. G. Day, G. N. Stacey, **Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols**, Humana Press, Totowa, New Jersey, 15-38.
- ALMKVIST, G.,  
E. HOCKER,  
M. SAHLSTEDT, 2013 **Iron Removal from Waterlogged Wood**, SLU Repro, Uppsala.
- AMBERGER, M. L.,  
2015, 06 October "Conservation Methods", (Çevrimiçi)  
<https://www.khm.uio.no/english/research/projects/arco/wood-conservation-methods/>, 25 Nisan 2019.
- AMBROSE, W., 1971 "Freeze-Drying of Swamp-Degraded Wood", **Conservation of Wooden Objects: Preprints of the Contributions to the New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects**, second edition, volume 2, The International Institute for the Conservation of Historic and Artistic Works, London, 53-57.
- AMBROSE, W. R.,  
1990 "Application of Freeze-Drying to Archaeological Wood", Ed. R. M. Rowell, R. J. Barbour, **Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation**, Advances in Chemistry Series, 225, American Chemical Society, Washington DC, 235-261.
- AMOIGNON, J.,  
P. LARRAT, 1985 "Traitement Des Bois Gorges d'Eau Par Lyophilisation a la Pression Atmospherique: Application Aux Objets de Grandes Dimensions", **Les Bois Gorges d'Eau: Etude et Conservation, Actes de la 2<sup>e</sup> Conference du Groupe de Travail "Bois Gorges d'Eau" de l'COM / Waterlogged Wood: Study and Conservation, Proceeding of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference Grenoble, 28-31 Août 1984**, Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges d'Eau, Grenoble, 181-186.
- ARC-NUCLÉART,  
2010 Rapport d'activité 2006-2008 (çevrimiçi)  
<http://www.arc-nucleart.fr>, 01 Şubat 2019
- ARC-NUCLÉART,  
2015 Rapport d'activité 2013-2014 (çevrimiçi)  
<http://www.arc-nucleart.fr>, 01 Şubat 2019

- ARC-NUCLÉART, 2017 Rapport d'activité 2015-2016 (çevrimiçi) <http://www.arc-nucleart.fr>, 01 Şubat 2019
- ASLAN, S., 1994a **Ağaç Dendrokronolojisi Odun Anatomisi**, Ankara.
- ASLAN, S., 1994b **Ağaç Kimyası**, Ankara.
- BERGERON, A., 1987 “Le Séchage à Froid en Milieu Extérieur: Évaluation de L'efficacité de l'hiver Québécois”, Ed. K. Grimstad, **ICOM Committee for Conservation 8th Triennial Meeting: Sydney, Australia, 6-11 September 1987: Preprints**, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, California, 297-300.
- BERGERON, A., 2014 “Outdoor Freeze-Drying; Playing with Water-logged Wood in the Cold”, **WOAM Newsletter**, 53, 11-12.
- BERGERON, A., F. RÉMILLARD, 1989 “Le Traitement de Conservation des Embarcations Gorgées d'Eau du Musée de la Civilisation. 1e partie, Historique et Présentation du Context. 2e partie, Approches de Traitement et Résultats”, Ed. J. G. Wellheiser, **Proceedings of the 14th Annual IIC-CG Conference/Actes du 14e Congrès Annuel de l'IIC-CG du 27 au 30 mai 1988**, IIC Canadian Group, Ottawa, Ontario, 137-152.
- BERGERON, A., F. RÉMILLARD, 2012a “Twenty-Five Years Later: The Treatment and Display of a Group of XVIIIth Century Boats,” Ed. K. Strætkvern, E. Williams, **Proceedings of the 11th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Greenville 2010**, ICOM Committee for Conservation, Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, Bremerhaven, 321-326.
- BERGERON, A., F. RÉMILLARD, 2012b **Le Traitement de Conservation des Embarcations du Musée de La Civilisation, Vingt ans Après**, Centre de Conservation du Québec.
- BERNARD-MAUGIRON, H., 2014 “Conservation of a Gallo Roman Boat, Arles, Southern France”, **WOAM Newsletter**, 53, 7-9.
- BİLİCİ, İ., 2014, 12 Nisan (Çevrimiçi) [http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/ibrahimbilici\\_12.04.2014\\_4E1P.pdf](http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/ibrahimbilici_12.04.2014_4E1P.pdf), 29 Nisan 2019.

- BJÖRDAL, C. G., 2012 “Microbial Degradation of Waterlogged Archaeological Wood”, **Journal of Cultural Heritage**, 13 (3), 118-122.
- BJÖRDAL, C. G.,  
T. NILSSON,  
G. DANIEL, 1999 “Microbial Decay of Waterlogged Archaeological Wood Found in Sweden, Applicable to Archaeology and Conservation”, **International Biodeterioration& Biodeterioration**, 43, 63-73.
- BJÖRDAL, C. G.,  
T. NILSSON,  
G. DANIEL, 2000 “Depth of Burial, an Important Factor in Controlling Bacterial Decay of Waterlogged Archaeological Poles”, **International Biodeterioration&Biodeterioration**, 45, 15-26.
- BJÖRDAL, C. G.,  
T. NILSSON, 2008 “Reburial of Shipwrecks in Marine Sediments: A Long-Term Study on Wood Degradation”, **Journal of Archaeological Science**, 35, 862-872.
- BLANCHETTE, R. A.,  
2000 “A Review of Microbial Deterioration Found in Archaeological Wood from Different Environments”, **International Biodeterioration&Biodegradation**, 46, 189-204.
- BORGES, L. M. S.,  
2014 “Biodegradation of Wood Exposed in the Marine Environment: Evaluation of the Hazard Posed by Marine Wood-Borers in Fifteen European Sites”, **International Biodeterioration&Biodegradation**, 96, 97-104.
- BOZKURT, A. Y.,  
N. ERDİN, 2000 **Odun Anatomisi**, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- BOZTOPRAK, H.,  
M. E. ERGÜN, 2017 “Yapraklı Ağaçlarda Trahe ve Liflerin Belirlenmesi”, **Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)**, 6(2), 87-96.
- BRONZE AGE BOAT,  
(t.y.) (Çevrimiçi) <https://100objectskent.co.uk/object/bronze-age-boat/>, 28 Nisan 2019.
- BROWN, N. M., 2014,  
5 March “Vikings Come to London” (Çevrimiçi) <https://nancymariebrown.blogspot.com/2014/03/vikings-come-to-london.html>, 29 Nisan 2019.
- BRUSETH, J. E.,  
T. S. TURNER, 2005 **From a Watery Grave: The Discovery and Excavation of La Salle's Shipwreck, La Belle**, Texas A&M University Press.

- BÜRGER, H-D., 2006 "Geschichte der Gefriertrocknung bis 1910", **Vakuum in Forschung und Praxis**, 18(4), 19-23.
- CHRISTENSEN, B. B., 1971 "Development in the Treatment of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark During the Years 1962-69", **Conservation of Wooden Objects: Preprints of the Contributions to the New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects**, second edition, volume 2, The International Institute for the Conservation of Historic and Artistic Works, London, 27-35.
- CHRISTENSEN, M.,  
E. LARNØY,  
H. KUTZKE,  
F. K. HANSEN, 2015 "Treatment of Waterlogged Archaeological Wood Using Chitosan- And Modified Chitosan Solutions. Part 1: Chemical Compatibility and Microstructure" **Journal of the American Institute for Conservation**, 54(1), 3-13.
- CLARK, P., 2004 "Introduction: Building New Connections", **The Dover Bronze Age Boat**, English Heritage, 1-11.
- CLARK, P., 2008 "One Step at a Time: The Dover Bronze Age Boat Experimental Research Programme", **Historical Boat and Ship Replicas: Conference-Proceedings on the Scientific Perspectives and the Limits of Boat and Ship Replicas Torgelow 2007**, 11-20.
- COELHO, J., 2015 "Conservation of Two Medieval Dugout Canoes", **WOAM Newsletter**, 54, 7.
- COOK, C.,  
D. W. GRATTAN,  
1985 "A Practical Comparative Study of Treatments for Waterlogged Wood: Part III: Pretreatment Solutions for Freeze-Drying", **Les Bois Gorges d'Eau: Etude et Conservation, Actes de la 2<sup>e</sup> Conference du Groupe de Travail "Bois Gorges d'Eau" de l'ICOM / Waterlogged Wood: Study and Conservation, Proceeding of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference Grenoble, 28-31 Août 1984**, Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges d'Eau, Grenoble, 219-239.
- COOK, C., 2007 "Vacuum Freeze-Drying Archaeological Artifacts", **CCI Notes 4/2**.

- CORVER, J., 2009 "The Evolution of Freeze-Drying", **Innovations in Pharmaceutical Technology**, July 2009, 66-70.
- DICKINSON, D. J., 1991 "Wood Preservation: The Biological Challenge", Ed. R. Thompson, **The Chemistry of Wood Preservation**, Woodhead Publishing, 1-15.
- DOĞANAY, T., 2009 "Kurutma", **Modern Farmasötik Teknoloji**, Türk Eczacılar Birliği, Eczacılık Akademisi Yayını, Ankara, 17-47.
- DOĞU, A. D., 2002 "Odun Yapısı Üzerinde Etkili Faktörler", **Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü DOA Dergisi (Journal of DOA)**, 8, 81-102.
- DOMÍNGUEZ-RODRÍGO, M., J. SERRALLONGA, J. JUAN-TRESSERRAS, L. ALCALA, L. LUQUE, 2001 "Woodworking Activities by Early Humans: A Plant Residue Analysis on Both Acheulian Stone Tools from Peninj (Tanzania)", **Journal of Human Evolution**, 40(4), 289-299.
- DROCOURT, M., M. MOREL-DELEDALLE, 1983 "The Roman Ship of Marseilles: a World Première", **Museum**, 35(1), 49-53.
- DYRKOWA M, I. JAGIELSKA, 1981 "Konserwacja Mokrego Drewna Metodą "Freeze-Drying" w Centralnym Muzeum Morskim w Gdańsku", **Ochrona Zabytków**, 34/3-4 (134-135), 203-205.
- ENGLISH HERITAGE, 2010 **Waterlogged Wood Guidelines on The Recording, Sampling, Conservation And Curation of Waterlogged Wood**, English Heritage Publishing.
- ENGLISH HERITAGE, 2012 **Waterlogged Organic Artefacts Guidelines on their Recovery, Analysis and Conservation**, English Heritage Publishing.
- ERDİN, N., 2009 **Ahşap Konservasyonu**, İstanbul, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- FAIRLEY, R.E., M. J. WILLSHIRE, 2003 "Why the Vasa Sank: 10 Problems and Some Antidotes for Software Projects", **IEEE Software**, 20(2), 18-25.

- FARMER, R. H., 1967 **Chemistry in the Utilization of Wood**, Pergamon Series of Monographs on Furniture and Timber, 9, Pergamon Press.
- FELLOWS, P., 2000 **Food Processing Technology: Principles and Practice**, Second Edition, Woodhead Publishing Limited.
- FENWICK, D., 2011, 09 November "Gribble Limnoria lignorum" (Çevrimiçi) [http://www.aphotomarine.com/isopoda/limnoria\\_lignorum\\_gribble.html](http://www.aphotomarine.com/isopoda/limnoria_lignorum_gribble.html), 03 Mart 2019.
- FIX, P. D., 2015 **Archaeological Watercraft: A Review and Critical Analysis of the Practice**, Texas A&M University, Doctoral Dissertation.
- FLORIAN, M. L. E., 1990 "Scope and History of Archaeological Wood", Ed. R. M. Rowell, R. J. Barbour, **Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation**, Advances in Chemistry Series, 225, American Chemical Society, Washington DC, 3-34.
- GEA, (t.y.) "RAY™ Freeze Dryer" (çevrimiçi) <https://www.gea.com/en/products/ray-freeze-dryer.jsp>, 29 Nisan 2019.
- GOTO, A., 2017, 26 January "Difference Between Hardwoods, Softwoods And Modified Timber", (Çevrimiçi) <https://www.andrewgoto.com/2017/01/26/>, 18 Nisan 2019.
- GRATTAN, D. W., 1982 "A Practical Comparative Study of Treatments for Waterlogged Wood Part I" **Studies in Conservation**, 27(3), 124-136.
- GRATTAN, D. W., 1983 "Recent Progress in Conserving Waterlogged Wood", **Museum**, 35(1), 23-26.
- GRATTAN, D.W., 1987 "Waterlogged Wood", **Conservation of Marine Archaeological Objects**, Ed. C. Pearson, London, Butterworths, 55-67.

- GRATTAN, D. W., J. C. MCCAWLEY, 1978 "The Potential of the Canadian Winter Climate for the Freeze-Drying of Degraded Waterlogged Wood" **Studies in Conservation**, 23(4), 157-167.
- GRATTAN, D. W., J. C. MCCAWLEY, C. COOK, 1980 "The Potential of the Canadian Winter Climate for the Freeze-Drying of Degraded Waterlogged Wood Part II", **Studies in Conservation**, 25(3), 118-136.
- GRATTAN, D. W., J. C. MCCAWLEY, C. COOK, 1981 "The Conservation of a Waterlogged Dug-Out Canoe Using Natural Freeze-Drying" **ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 21-25 September, 1981: Preprints**, International Counsel of Museums, Paris, 81/7/3/1-81/7/3/9.
- GRATTAN, D.W., R. CLARKE, 1987 "Conservation of Waterlogged Wood", **Conservation of Marine Archaeological Objects**, Ed. C. Pearson, London, Butterworths, 164-206.
- GREGORY, D., P. JENSEN, K. STRÆTKVERN, 2012 "Conservation and In Situ Preservation of Wooden Shipwrecks From Marine Environments", **Journal of Cultural Heritage**, 13(3), 139-148.
- GUYON, M. L. MEUNIER, 2018 "Shipwreck LSG4: Interdisciplinarity to Increase and Renew Knowledge", Ed. E. Williams, E. Hocker, **Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference Florence 2016**, 292-296.
- GÜNSENİN, N., 2005. "A 13th. Century Wine Carrier: Camaltı Burnu, Turkey", **Archaeology Beneath the Seven Seas**, Ed. G. Bass, Thames, Hudson, 118-123.
- GÜNSENİN, N., N. ÖZAYDIN, 2000 "Marmara Adası, Çamaltı Burnu I Batığı-1998", **21. Kazı Sonuçları Toplantısı**, T.C. Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü, cilt 2, 341-350.
- HAAN, S., G. BURGOS, J. ARCOS, R. CCANTO, M. SCURRAH, E. SALAS, M. BONIERBALE, 2010 "Traditional Processing of Black and White Chuño in the Peruvian Andes: Regional Variants and Effect on the Mineral Content of Native Potato Cultivars", **Economic Botany**, 64(3), 217-234.

- HAFORS, B., 1990 “The Role of the Wasa in the Development of the Polyethylene Glycol Preservation Method” Ed. R. M. Rowell, R. J. Barbour, **Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation**, Advances in Chemistry Series, 225, American Chemical Society, Washington DC, 195-216.
- HÄGGSTRÖM, C., K. LINDAHL, M. SAHLSTEDT, T. SANDSTRÖM, 2013 **Alum-treated Archaeological Wood: Characterization and re-conservation**, Swedish National Heritage Board.
- HALL, K., T. EKMEKÇİ, A. ORON, 2002 “Conservation of Marine Finds/Arkeolojik Sualtı Kazılarında Buluntuların Konservasyonu”, **Field Notes/Kazi Notları**, 20, Japanese Institute of Anatolian Archaeology.
- HISTORIC ENGLAND, 2018 **Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their Recovery, Analysis and Conservation**. Swindon: Historic England.
- HOCKER, E., G. ALMKVIST, M. SAHLSTEDT, 2012 “The Vasa Experience with Polyethylene Glycol: A Conservator’s Perspective”, **Journal of Cultural Heritage**, 13(3), 175-182.
- HON, D. N. S., 2001 “Preservation of Waterlogged Wood”, **Wood and Cellulosic Chemistry**, Ed. D.N.-S. Hon, N. Shiraishi, 2nd ed., rev. and expanded, New York, 807-825.
- HOVDAN, M., B. SANDVOLL, P. THOME, 2015 “Conservation of a 17th Century Boat, Barcode 6, for Exhibition”, Ed. K. Piotrowska, P. Konieczny, **Condition 2015 Conservation and Digitalization Conference Proceedings**, Gdańsk, 31-38.
- HUNT, P., 2017, 01 February “Viking Legacy: Longships and Seafaring”, (Çevrimiçi) <http://www.electrummagazine.com/2017/02/viking-legacy-longships-and-seafaring/>, 29 Nisan 2019.
- IMAZU, S., 1988 “The Method Using Mannitol and Polyethylene Glycol in Freezedrying Waterlogged Organic Material”, **Kobunkazai no kagaku**, 33, 52-62 Kobunkazai Kagaku Kenkyukai, Tokyo.

- IMAZU, S.,  
T. NISHIURA, 1990  
“A New Freeze-Drying Method Using Mannitol and PEG for the Preservation of Waterlogged Wood”, Ed. K. Grimstad, **ICOM Committee for Conservation 9th Triennial Meeting: Dresden, German Democratic Republic, 26-31 August 1990: Preprints**, ICOM Committee for Conservation, Paris, 234-238.
- IWASAKI, T.,  
S. HIGUCHI, 1969  
“Conservation of Wooden Objects from the Ruins of the Heijo Palace”, **Hozon kagaku**, 5, 1-20, Tokyo Bunkazai Kenkyujo Hozonkagaku-bu, Tokyo.
- İSTAR, 2018, 12  
Kasım  
“Faz Diyagramı (Üçlü Nokta) Nedir?” (Çevrimiçi) <https://bilimakinesi.com/bilim/faz-diyagrami-uclu-nokta-nedir/>, 05 Mart 2019.
- JENSEN, P., 2016  
“Optimizing the Freeze-Drying Process of Waterlogged Wood”, **Wet Wood Conservation Colloquium-Extended Abstracts: Monastery Bad Schussenried, Upper Swabia, Germany, May 12th-14th, 2016**, 28-32, Ed. E. Gerhard, S. Ingrid, Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart.
- JENSEN, P.,  
A. H. PETERSEN,  
K. STRAETKVERN,  
2011  
“From the Skuldelev to the Roskilde Ships - 50 Years of Shipwreck Conservation at the National Museum of Denmark”, Ed. M. Elk, **Proceedings of Shipwrecks 2011: Proceedings, Chemistry and Preservation of Waterlogged Wooden Shipwrecks, Stockholm, Sweden 18-21 October 2011**, 14-20, Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology.
- 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, 551-559.
- JENSEN, P.,  
G. JØRGENSEN,  
U. SCHNELL, 2002  
“Dynamic LV-SEM Analyses of Freeze Drying Processes for Waterlogged Wood”, Ed. P. Hoffmann, J.A. Spriggs, T. Grant, C. Clifford, A. Recht, **Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Stockholm 2001**, ICOM Committee for Conservation Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, Bremerhaven, 319-333.

- JENSEN, P.,  
K. STRÆTKVERN,  
U. SCHNELL,  
J. B. JENSEN, 2009 "Technical Specifications for Equipment Vacuum Freeze Drying of Peg Impregnated Waterlogged Organic Materials", Ed. K. Strætkvern, D.J. Huisman, **Proceedings of the 10th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Amsterdam 2007**, Rijksdienst voor Archeologie Cultuurlandschap en Monumenten, Amersfoort, 417-438.
- JENSEN, P.,  
U. SCHNELL, 2005 "The Implications of Using Low Molecular Weight PEG for Impregnation of Waterlogged Archaeological Wood Prior to Freeze Drying", Ed. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J.A. Spriggs, D. Gregory, **Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Copenhagen, 2004**, H.M. Hauschild GmbH, Bremen, 279-310.
- JESPERSEN, K. 1981 "Conservation of Waterlogged Wood by Use of Tertiary Butanol, PEG and Freeze Drying", **Conservation of Waterlogged Wood: International Symposium on the Conservation of Large Objects of Waterlogged Wood**, Proceedings of the Symposium Amsterdam 24-28 September 1979, The Hague, Netherlands: Netherlands National Committee for UNESCO, Government Printing and Publishing Office, 69-76.
- JESPERSEN, K., 1986 "Konserwacja drewna wydobytego z wody w Danii od 1859 do 1984 (Conservation of Waterlogged Wood in Denmark from 1859 to 1984)", Ed. J. Lehmann, **Ochrona Obiektów Muzealnych: Sympozjum Konserwatorskie, Warszawa 2-4 X 1984 = Protection of Museum's Objects: Restorer's Symposium, Warsaw 2-4 X 1984**, Biblioteka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, Seria B, 80, 27-31.

- JOHNSON, R., 1985 "Large Waterlogged Timber Structures Excavated on the Billingsgate Excavation, London 1982" **Les Bois Gorges d'Eau: Etude et Conservation, Actes de la 2<sup>e</sup> Conference du Groupe de Travail "Bois Gorges d'Eau" de l'COM / Waterlogged Wood: Study and Conservation, Proceeding of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference Grenoble, 28-31 Août 1984**, Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges d'Eau, Grenoble, 63-69.
- JONES, J., 1991 "Conservation of Carlisle Roman Writing Tablets", **Ancient Monuments Laboratory Report**, 24/91.
- JONES, P.P.,  
N.K.H. SLATER,  
M. JONES, K. WARD,  
A.D. SMITH, 2009 "Investigating the Processes Necessary for Satisfactory Freeze-drying of Waterlogged Archaeological Wood", **Journal of Archaeological Science**, 36(10), 2177-2183.
- JONG, J.,  
DE W. EENKHORN,  
A. J. M. WEVERS, 1982 "The Conservation of Shipwrecks at The Museum of Maritime Archaeology at Ketelhaven", **Rapporten Inzake de Inrichting en Ontwikkeling Van de Ijsselmeerpolders en Andere Landaan winningswerken**, 199, Smedinghuis.
- KANEKO, T., H. ITO,  
H. SAKAMOTO,  
M. ONUMA,  
M. INOUE-  
MURAYAMA, 2014 "Sperm Preservation by Freeze-Drying for the Conservation of Wild Animals", **PLoS ONE** 9(11), (Çevrimiçi)  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113381>, 20 Nisan 2016
- KAYE, B.,  
D. J. COLE-  
HAMILTON,  
K. MORPHET, 2000 "Supercritical Drying: A New Method for Conserving Waterlogged Archaeological Materials", **Studies in Conservation**, 45(4), 233-252.
- KENDRICK, D. B.,  
1964 **Blood Program In World War II** (Çevrimiçi)  
<https://collections.nlm.nih.gov/ext/dw/0014773/PDF/0014773.pdf>, 29 Nisan 2019.
- KELLY, J., 1980 "The Construction of a Low Cost, High Capacity Vacuum Freeze-Drying System", **Studies in Conservation**, 25(4), 176-179.

- KILIÇ, N., 2013 **Yenikapı 12 Batığında Kullanılacak Konservasyon Yönteminin Araştırılması ve Koruma Uygulaması**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- KILIÇ, N., 2015 “Çamaltı Burnu 1 Batığının Konservasyonu”, **Art-Sanat**, 4, 39-52.
- KILIÇ, N., 2016 “Conservation of A Group of Frames from YK 16 Shipwreck”, **Art-Sanat**, 6, 85-97.
- KILIÇ, A. G., 2017 **Yenikapı Batıklarında Sülfür ve Demir Analizi, Dağılımı ve Ahşaplardan Uzaklaştırılması**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- KILIÇ, N., 2017 **Yenikapı Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi-Vakumlu Dondurarak Kurutma Yönteminin Değerlendirilmesi**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- KİTOSAN, 2018, 09 Kasım “Kitosan”, (Çevrimiçi) <https://www.biyolojidersi.org/kitosan.html>, 28 Nisan 2019
- KOCABAŞ, U., 2015 “The Yenikapı Byzantine-Era Shipwrecks, Istanbul, Turkey: A Preliminary Report and Inventory of the 27 Wrecks Studied by Istanbul University”, **International Journal of Nautical Archaeology**, 44(1), 5-38.
- KÖSE, C., 2013 “Suya Doymuş Ahşaplarda Mikrobiyolojik Bozunmalar: Yenikapı Batık Gemilerine Ait Bazı Örnekler” **Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 2 Bildiri Kitabı/Symposium On Restoration and Conservation of Timber Structures 2 Proceedings**, İstanbul, KUDEB, 88-95.
- LIMNORIA  
LIGNORUM, (t.y) “Limnoria Lignorum (Flabellifera)”, (Çevrimiçi) [https://etc.usf.edu/clipart/86800/86885/86885\\_limnoria-lignorum-flabellifera.htm](https://etc.usf.edu/clipart/86800/86885/86885_limnoria-lignorum-flabellifera.htm), 03 Mart 2019.

- MARLIER S.,  
P. POVEDA,  
N. RANCHIN, 2017 “The Arles-Rhone 3 Project (Arles, France). From the Excavation and Raising of a Gallo-Roman Barge to its Documentation and 3D-modelling (2011-2012)”, Ed. J. Gawronski, A. van Holk, J. Schokkenbroek, **Ships and Maritime Landscapes: Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Amsterdam 2012**, Barkhuis, 383-389.
- MCCAWLEY, J. C.,  
D. W. GRATTAN, 1980 “Natural Freezedrying: Saving Time, Money and a Waterlogged Canoe”, **Journal of the Canadian Conservation Institute**, 4, 36-39
- MEREV, N., 2003 **Odun Anatomisi**, Trabzon, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası.
- MEUNIER-SALINAS,  
L., 2014 “Conservation of a II Century Gallo-Roman Boat from Lyon”, **WOAM Newsletter**, 53, 10.
- MEYER, I., 1997 “The Conservation of the Bronze Age Logboat of Erlach (Lake of Biel) in the National Museum of Denmark”, **Archeologie im Kanton Bern**, Bd. 4B, 37-43.
- MORTEN G.,  
K. STRÆTKVERN,  
2017 “The Roskilde 6 Ship (Denmark). Reconstructing the Longest Warship Find of the Viking Age”, Ed. J. Gawronski, A. van Holk, J. Schokkenbroek, **Ships and Maritime Landscapes: Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Amsterdam 2012**, Barkhuis, 373-377.
- MÜHLETHALER, B.,  
1973 **Conservation of Waterlogged Wood and Wet Leather**, Eyrolles.
- NAUTICAL  
ARCHAEOLOGICAL  
SOCIETY, 2009 **Underwater Archaeology: The NAS Guide to Principles and Practice**, Ed. A. Bowens, 2nd edition.
- NIELSEN H. O., 1985 “The Treatment of Waterlogged Wood from the Excavation of the Haithabu Viking Ship” **Les Bois Gorges d'Eau: Etude et Conservation, Actes de la 2<sup>e</sup>**

**Conference du Groupe de Travail "Bois Gorges d'Eau" de l'COM / Waterlogged Wood: Study and Conservation, Proceeding of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference Grenoble, 28-31 Août 1984, Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges d'Eau, Grenoble, 299-312.**

NILSSON, T.,  
G. DANIEL, 1990

"Structure and Aging Process of Dry Archaeological Wood", Ed. R. M. Rowell, R. J. Barbour, **Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation**, Advances in Chemistry Series, 225, American Chemical Society, Washington DC, 67-86.

NILSSON, T.,  
R. ROWELL, 2009

"Historical Wood-Structure and Properties", Wood Science for Conservation of Cultural Heritage-Florence 2007, **Proceedings of the International Conference Held by Cost Action IE0601 in Florence (Italy), 8-10 November 2007**, Firenze University Press, 2009, 11-14.

NILSSON, T.,  
R. ROWELL, 2012

"Historical Wood-Structure and Properties", **Journal of Cultural Heritage**, 13(3), 5-9.

NRICH, 2012

**Conservation of Wooden Objects**, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon.

ORGAN, R. M., 1959

"Carbowax and Other Materials in the Treatment of Water-logged Paleolithic Wood", **Studies in Conservation**, 4(3), 96-105.

ÖRS, Y., H. KESKİN,  
2008

**Ağaç Malzeme Teknolojisi**, Gazi Kitabevi, Ankara.

PEARSON, C., 1981

"The Use of Polyethylene Glycol for the Treatment of Waterlogged Wood-Its Past and Future", **Conservation of Waterlogged Wood: International Symposium on the Conservation of Large Objects of Waterlogged Wood**, Proceedings of the Symposium Amsterdam 24-28 September 1979, The Hague, Netherlands: Netherlands National Committee for UNESCO, Government Printing and Publishing Office, 51-56.

- PEETS, J., J., RATAS, 2000 “The Conservation of Large Archaeological Waterlogged Wooden Objects: Results and Problems”, Ed. R. Hordal, T. Ruuben, **The Conservator as an Investigator: Postprints of the Baltic-Nordic Conference on Conserved and Restored Works of Art, 6-9th October 1999**, Conservation Center KANUT, Tallinn, 139-143.
- PESSE CANOE: WORLD’S OLDEST BOAT, (t.y.) (Çevrimiçi) <http://www.allearningfamily.com/main/pesse-canoe-worlds-oldest-boat/>, 15 Şubat 2019.
- PINDER, A. P., I. PANTER, G. D., ABBOTT, B. J. KEELY, 2017 “Deterioration of The Hanson Logboat: Chemical and Imaging Assessment with Removal of Polyethylene Glycol Conserving Agent”, **Scientific Reports**, 7.
- PLENDERLEITH, H. J., 1956 **The Conservation of Antiquities and Works of Art: Treatment, Repair and Restoration**, Oxford University Press, London.
- PIT (BOTANY), (t.y.) (Çevrimiçi) [https://wiki.eanswers.net/en/Pit\\_\(botany\)](https://wiki.eanswers.net/en/Pit_(botany)), 18 Nisan 2019.
- PLOMION, C., G. LEPROVOST, A. STOKES, 2001 “Wood Formation in Trees”, (Çevrimiçi) <http://www.plantphysiol.org/content/127/4/1513>, 25 Nisan 2019.
- POWELL, K. L., S. PEDLEY, G. DANIEL, M. CORFIELD, 2001 RATHGEN, F., 1905 “Ultrastructural Observations of Microbial Succession and Decay of Wood Buried at a Bronze Age Archaeological Site”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 47(3), 165-173. **The Preservation of Antiquities: A Handbook for Curators**, Trans. G. Auden, H. Auden, Cambridge University Press.
- RODGERS, B. A., 2004 **The Archaeologist’s Manual for Conservation, A Guide To Non-Toxic, Minimal Intervention Artifact Stabilization**, New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- ROMEO, S., 2016, 10 August “A Space-Age Food Product Cultivated by the Incas”, The New York Times, (Çevrimiçi) <https://www.nytimes.com/>, 29 Nisan 2019.

- ROSENQUIST, A. M., 1959a "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg-Part I", **Studies in Conservation**, 4(1), 13-22.
- ROSENQUIST, A. M., 1959b "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg-Part II", **Studies in Conservation**, 4(2), 62-72.
- ROSENQUIST, A. M., 1975 "Experiments on the Conservation of Waterlogged Wood and Leather by Freeze-Drying", Problems in the Conservation of Waterlogged Wood, **Proceedings of the Conservation of Waterlogged Wood, 5-6 October 1973**. Ed. by W.A. Oddy, 9-24, National Maritime Monographs and Reports No. 16. Greenwich, England: National Maritime Museum.
- SAWADA, M., 1978 "Conservation of Water-Logged Wooden Materials from the Nara Palace Site", **International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property: Conservation of Wood: 24-28 November 1977, Tokyo, Nara, and Kyoto, Japan**, International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, Organizing Committee (Corporate Author). Bunka-cho Tokyo Kokuritsu Bunkazai Kenkyujo Hozon Kagakubu, Tokyo, 49-58.
- SAWADA, M., 1981 "A Modified Technique for Treatment of Waterlogged Wood Employing the Freeze-Drying Method", **ICOM Committee for Conservation 6th Triennial Meeting: Ottawa, 21-25 September 1981: Preprints**, International Council of Museums, Paris, 6.
- SAWADA, M., 1985 "Some Problems of Setting of PEG 4000 Impregnated in Wood (Contraction of Impregnated PEG Solutions upon Setting and its Effects on Wood)", **Les Bois Gorges d'Eau: Etude et Conservation, Actes de la 2<sup>e</sup> Conference du Groupe de Travail "Bois Gorges d'Eau" de l'ICOM / Waterlogged Wood: Study and Conservation, Proceeding of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference Grenoble, 28-31 Août 1984**, Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges d'Eau, Grenoble, 117-124.

- SCHAUDY, R.,  
C. EIBNER, E. SLAIS,  
1985 "Konservierung Eines Mittelalterlichen Steigbaumes  
Durch Gefriertrocknung und Harztrankung",  
Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Bern r  
4341.
- SCHNELL, U.,  
P. JENSEN, 2007 "Determination of Maximum Freeze Drying Temperature  
for PEG Impregnated Archaeological Wood" **Studies in  
Conservation**, 52(1), 50-58.
- SCHMIDT- REIMANN,  
P.,  
T. REUTER, 2015 "Conservation and 3D-Documentation of Waterlogged  
Wood from Medieval Mining", Ed. K. Piotrowska, P.  
Konieczny, **Condition 2015 Conservation and  
Digitalization Conference Proceedings**, 125-130,  
Gdańsk.
- SEASE, C., 1996 "A Short History of Archaeological Conservation",  
**Studies in Conservation**, 41, 157-161.
- SÆTERHAUG, R., 1985 "Investigations Concerning the Freeze-Drying of  
Waterlogged Wood Conducted at the University of  
Trondheim", **Les Bois Gorges d'Eau: Etude et  
Conservation, Actes de la 2<sup>e</sup> Conference du Groupe de  
Travail "Bois Gorges d'Eau" de l'ICOM /  
Waterlogged Wood: Study and Conservation,  
Proceeding of the 2nd ICOM Waterlogged Wood  
Working Group Conference Grenoble, 28-31 Août  
1984**, Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges  
d'Eau, Grenoble, 195-206.
- SÆTERHAUG, R., 1990 "New Custom Designed Freeze-Drying System",  
**WOAM Newsletter**, 21, 6.
- SÆTERHAUG, R., 1992 "A Wooden Trackway-From Excavation to Exhibition",  
**WOAM Newsletter**, 23. 10.
- SÆTERHAUG, R.  
G. TURNER-WALKER, 2002 "Conservation of Roman Structural Timbers Using the  
Two-Step Method", Ed. P. Hoffmann, J.A. Spriggs, T.  
Grant, C. Clifford, A. Recht, **Proceedings of the 8th  
ICOM Group on Wet Organic Archaeological  
Materials Conference: Stockholm 2001**, ICOM  
Committee for Conservation Working Group on Wet  
Organic Archaeological Materials, Bremerhaven, 91-102.

- SİVRİKAYA, H., 2004 “Odunu Tahrip Eden Başlıca Deniz Zararlıları”, **ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, 6(6), 136-141.
- SMITH, C. W., 2003 **Archaeological Conservation Using Polymers Practical Applications for Organic Artifact**, Texas A&M University Press, Texas.
- STAMM, A. J., 1956 “Dimensional Stabilization of Wood with Carbo-waxes”, **Forest Products Journal**, 6(5), 201-204.
- STAMM, A. J., 1959 “Effects of Polyethylene Glycol on the Dimensional Stability of Wood”, **Forest Products Journal**, 9(10), 375-381.
- STARLING, K., 1987 “The Conservation, Reconstruction, and Dendrochronology of a Medieval Water Front Revetment from London”, Ed. K. Grimstad, **ICOM Committee for Conservation 8th Triennial Meeting: Sydney, Australia, 6-11 September 1987: Preprints**, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, California, 321-324.
- STELZNER, I., 2016 “Freeze Drying Archaeological Wood-A Protocol for Testing Conservation Materials”, Ed. E. Gerhard, S. Ingrid, **Wet Wood Conservation Colloquium: Extended Abstracts, Monastery Bad Schussenried, Upper Swabia, Germany, May 12th-14th, 2016**, Staatliche Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart, 33-36.
- STRÆTKVERN, K.,  
A. HJELM-PETERSEN,  
J.N. SØRENSEN,  
E. JØRGENSEN,  
M. GØTHCHE,  
T. THOMASSEN, 2009 “Successful Shaping or Destructive Devices? Freeze-Drying of Ship Timbers in Moulds and Frames.” Ed. K. Strætkvern, D.J. Huisman, **Proceedings of the 10th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Amsterdam 2007**, Rijksdienst voor Archeologie Cultuurlandschap en Monumenten, Amersfoort, 439-454.
- ŞEN, S.,  
H. SİVRİKAYA,  
M. YALÇIN,  
K. BAKIR,  
B. ÖZTÜRK, 2010 “Fouling and Boring Organisms that Deteriorate Various European and Tropical Woods at Turkish Seas”, **African Journal of Biotechnology**, 9(17), 2566-2573.

- TEREDO NAVALIS IN WOOD, (t.y.) (Çevrimiçi) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teredo\\_navalis\\_in\\_wood.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teredo_navalis_in_wood.jpg), 03 Mart 2019.
- THE HISTORY BLOG, 2014, 17 July “*La Belle* Moves from Freeze Dryer to Museum”, (Çevrimiçi) <http://www.thehistoryblog.com/archives/31505>, 01 Mart 2019.
- THE POPULAR SCIENCE MONTHLY, 1878 (Çevrimiçi) <https://archive.org/details/popularsciencemo13newy/page/550>, 03 Mart 2019.
- TOPALOĞLU, E., N. AY, L. ALTUN, 2013 “Ekolojik Faktörlerin Odun Özelliklerine Etkisi”, **Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi**, 10(1), 84-96.
- TRAN, Q. K., 2011 “ARC-Nucléart: A Workshop for Conservation of Cultural Heritage Using Gamma Irradiation” (çevrimiçi) [http://www.h-r-z.hr/images/stories/strucni\\_skupovi/radijacijske\\_metode/3.q.k.tran-radijacijski\\_postupci\\_u\\_zastiti\\_predmeta\\_kulturne\\_bastine\\_u\\_francuskoj.pdf](http://www.h-r-z.hr/images/stories/strucni_skupovi/radijacijske_metode/3.q.k.tran-radijacijski_postupci_u_zastiti_predmeta_kulturne_bastine_u_francuskoj.pdf), 28 Nisan 2019.
- TRAN, Q. K., L. CORTELLA, 2017 “The State of the Art in Radiation Processing for Cultural Heritage in France”, **Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation**, Iaea Radiation Technology Series No. 6, International Atomic Energy Agency, Vienna, 221-228.
- TRAN, Q. K., R. RAMIERE, A. GINIER-GILET, 1990 “Impregnation with Radiation-Curing Monomers and Resins”, Ed. R. M. Rowell, R. J. Barbour, **Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation**, Advances in Chemistry Series, 225, American Chemical Society, Washington DC, 217–233.
- TURGUT, S., 2008 “Merak Ettikleriniz”, **Bilim ve Teknik Dergisi**, Ocak 2008, 76.
- TYLOSES, (t.y) “Secondary Growth in Dicotyledonous Stems (With Diagram) Botany”, (Çevrimiçi) <http://www.biologydiscussion.com/shoot-system/stems/>

- dicotyledonous-stems/secondary-growth-in-dicotyledonous-stems-with-diagram-botany/20516,  
22 Nisan 2019
- UMEZAWA, T., 2001 “Chemistry of Extractives”, **Wood and Cellulosic Chemistry Second Edition, Revised and Expanded**, Ed. D.N.S. Hon, N. Shiraishi, New York, 213-241
- UNGER A.,  
A. P. SCHNIEWIND,  
W. UNGER, 2001 **Conservation of Wood Artifacts: A Handbook**, Springer.
- UNIVERSITY OF  
KENTUCKY, 1997 “An Introduction to Wood Anatomy Characteristics Common to Softwoods&Hardwoods” (Çevrimiçi) <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/for/for59/for59.pdf>, 15 Nisan 2019.
- VAN DER HEIDE, G., 1981 “A Piece of History in Conservation of Waterlogged Wood”, **Conservation of Waterlogged Wood: International Symposium on the Conservation of Large Objects of Waterlogged Wood**, Proceedings of the Symposium Amsterdam 24-28 September 1979, The Hague, Netherlands: Netherlands National Committee for UNESCO, Government Printing and Publishing Office, 17-24.
- VENTURAS, M. D.,  
J. S. SPERRY,  
U. G. HACKE, 2017 “Plant Xylem Hydraulics: What We Understand, Current Research, and Future Challenges”, **Journal of Integrative Plant Biology**, 59(6), 356-389.
- VERHAGEN, S., 2018 “Pesse Kanosu: Dünyanın En Eski Teknesi/The Pesse Canoe: The Oldest Boat of the World”, **TINA Dergi**, 09-090-093, 88-91.
- VIKINGESKIBSMUSE  
ET, (t.y.) (Çevrimiçi) <https://www.vikingskibsmuseet.dk/en/professions/education/viking-knowledge/the-longships/findings-of-longships-from-the-viking-age/>, 29 Nisan 2019.
- WALSH-KORBS, Z.,  
L. AVEROUS, 2019 “Recent Developments in the Conservation of Materials Properties of Historical Wood”, **Progress in Materials Science**, 102, 167-221.

- WATSON, J., 1985 "Research into Aspects of Freeze-Drying Hardwoods Between 1982 and 1984", **Les Bois Gorges d'Eau: Etude et Conservation, Actes de la 2<sup>e</sup> Conference du Groupe de Travail "Bois Gorges d'Eau" de l'ICOM / Waterlogged Wood: Study and Conservation, Proceeding of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference Grenoble, 28-31 Août 1984**, Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges d'Eau, Grenoble, 213-218.
- WATSON, J., 1987 "Suitability of Waterlogged Wood from British Excavations for Conservation by Freeze-Drying", **Recent Advances in the Conservation and Analysis of Artifacts: Jubilee Conservation Conference Papers, London 6-10 July 1987**, Compiled by J. Black, Summer Schools Press, London, United Kingdom, 273-276.
- WATSON, J., 1993 "Dover Bronze-age Boat: Assessment for Conservation", Ancient Monuments Laboratory Report Series, 47/93.
- WATSON, J., 2004 "Conservation", Ed. P. Clark, **The Dover Bronze Age Boat**, English Heritage, 282-289.
- WATSON, J., 2008 "Silchester Conservation of a Wooden Writing Tablet", Research Department Report Series, 54-2008.
- WIEDENHOEFT, A. C., 2013 "Structure and Function of Wood", **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, second edition, 9-32.
- YEV-LADUN, S., 2007 "Wood Remains from Archaeological Excavations: A Review with a Near Eastern Perspective", **Israel Journal of Earth Sciences**, 56, 139-162.
- YI, Y., 2012 "History of the Conservation Tecnology of the Excavated Wooden Objects", **Conservation of Wooden Objects**, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 25-49.
- YÖNEY, T., 2005 "Gıdaları Dondurarak Kurutup Saklamak Nasıl Çalışır?", **Bilim ve Teknik Dergisi**, Aralık 2005, Tübitak, 101.