

KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE ONARIM ALANINDA ÇALIŞMALAR-I



Editör
YAŞAR SELÇUK ŞENER



BİDGE Yayınları

**KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE ONARIM ALANINDA
CALİSMALAR-I**

Editör: PROF. DR. YAŞAR SELÇUK ŞENER

ISBN: 978-625-372-669-0

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 12.06.2025

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İçindekiler

TARİHİ EL YAZMALARINDA DEMİR-MAZİ MÜREKKEBİ: KİMYASI, BOZULMASI, ANALİZ YÖNTEMLERİ VE KONSERVASYONU	4
EMİNE TORGAN GÜZEL	4
ÇÖZÜCÜLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ-ÖNEMİ VE KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA KULLANILAN ÇÖZÜCÜLER.....	61
SERAP ÖZDEMİR	61
AHŞAP KÜLTÜR VARLIKLARDA BOZULMA MEKANİZMALARI VE BOZULMA TÜRLERİ.....	101
CEMİLE YILDIRIM ALTUN	101

TARİHİ EL YAZMALARINDA DEMİR-MAZİ MÜREKKEBİ: KİMYASI, BOZULMASI, ANALİZ YÖNTEMLERİ VE KONSERVASYONU

EMİNE TORGAN GÜZEL¹

Giriş

Kültürel mirasımıza ait kültür varlıklarının korunması, saklanması, yaşatılması ve gelecek nesillere aktarılması hepimizin görevi olduğu kadar özellikle koruma-onarım alanında çalışan tüm personel ve uzmanların başlıca sorumluluğudur. Türkiye, kültürel varlıkların zenginliği ve çeşitliliği açısından tüm dünya tarafından gıpta ile bakılan bir ülke olmuştur. Sayısız somut kültürel nesne, müzelerimizde korunmakta, saklanmakta ve sergilenmektedir.

Somut kültürel varlıklar; organik, inorganik veya kompozit yapıda olabilmekte ve üretildikleri andan itibaren bozulmaya maruz kalmaktadırlar. Bu bozulmaya ve bozulma sürecine; çevresel faktörler, kullanılan malzeme ve/veya üretim sürecinde kullanılan yöntem ve teknikler, uygunsuz koruma-onarım müdahaleleri, kötü yönetim, doğal afetler, vandalizm ve bunun gibi birçok etken sebep olmaktadır.

¹ Dr, Orcid: 0000-0002-2539-9738.

Yazının bulunmasıyla birlikte insanlar hatırlamak, herhangi bir karışıklığı önlemek veya ileride bu bilgiyi kullanmak için farklı destek malzemelerini (kil tabletler, taş, kâğıt, papirüs, parşömen, vb.) kullanarak bilginin kalıcılığını sağlamıştır. İnsanlar, bilgileri yazıya dönüştürürken kimi zaman kazıma işlemi yapmışlar, kimi zaman da renkli malzemeler olan mürekkepleri kullanmışlardır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan demir-mazı mürekkebi, tarihi el yazmaları kitap ve belgelerinde 20. yüzyıla kadar sıklıkla kullanılmış bir mürekkep türüdür. Bu mürekkebin üretiminde kullanılan ana ve katkı malzemeleri onun bozulma sürecindeki davranışını arttırmış ve uygulandıkları alt tabakayı çevresel etmenlerin de varlığıyla tahrip etmiştir. Demir-mazı mürekkebi içeren el yazmalarının maruz kaldığı bu olumsuz sebepler koruma-onarım uzmanları, arşiv çalışanları, müzeciler ve ilgili bilim insanları tarafından uzun zamandır bilinen bir gerçektir. Böyle olmasına rağmen, bu konu ile ilgili ulusal alanda yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Hatta bu mürekkeplerin yapısı, bozulma mekanizması veya mekanizmaları, analizleri ve koruma-onarım süreçlerine ilişkin bütüncül bir yaklaşım ile değinen bir çalışma ulusal düzeyde maalesef ki mevcut değildir. Bu çalışma ile ülkemizde açıklığa kavuşulması amaçlanan demir-mazı mürekkebinin kimyası, bozulma sürecindeki davranışı, mürekkep ve bozulma ürünlerinin tespitine dayalı analiz yöntem ve teknikler ile demir-mazı mürekkeplerinin kullanıldığı arşiv malzemelerinin korunmasına yönelik koruma-onarım (konservasyon) çalışmalarına değinilecektir. Bu çalışmanın özellikle kâğıt konservatörü, yazma eserleri barındıran müze personelleri ve arşiv çalışan ve uzmanlarına yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Mürekkep

Mürekkep kelimesi, Latince *incausium* kelimesinden türemiştir (Bulcka & Wagner, 2004: 757; Panda, Singh & Singh, 2021). Arapça'da midâd ve hibr, Farsça'da siyâhî, zekab, zügâlâb

gibi kelimeler kullanılır. Birkaç maddenin birleşiminden oluştuğu için Türkçe’de mürekkep terimi kullanılmıştır (TDV, 2006: 46). Mürekkep, tutarlı ve yazmaya uygun bir ürün oluşturmak için birbirleriyle reaksiyona giren farklı organik ve inorganik bileşenlerden oluşan bir karışımdır (Zamorano, 2018: 484).

Mürekkepler, bir destek üzerine yazmak, resim veya çizim yapmak için kullanılan sıvı, yarı sıvı veya katı malzemelerdir. Çözücüler, pigmentler, boyalar, reçineler, yağlayıcılar, yüzey aktif maddeler, partiküllü maddeler, flüoresanlar ve çok sayıda katkı maddesinden oluşan karmaşık karışımlar olarak sınıflandırılabilirler (Panda, Singh & Singh, 2021; Ferretti, Sabatini & Degano, 2022). Mürekkepler, temiz bir yüzey üzerine (kâğıt gibi) kalem, fırça veya tüy kalemle yazı yazmak için kullanılır (Panda, Singh & Singh, 2021).

Tarihi el yazmalarında yaygın olarak üç temel mürekkep türünün kullanıldığı bilinmektedir. Bunlar; karbon mürekkebi, bitki mürekkebi ve demir-mazı mürekkebidir (Ghigo & Martínez, 2021: 3; Rabin, 2021: 72, 73).

Demir-Mazı Mürekkepleri (DMM) ve Kimyası

Eski el yazmaları antik bilgiyi barındıran kültürel ve tarihi mirasın en önemli somut nesneleri arasındadır. Bu kültürel mirasın birçoğu DMM ile yazıldığı için kâğıdın asitlenmesi yoluyla bozulması ve metin solması gibi korunma sorunları yaşanmaktadır (Ferretti, Sabatini & Degano, 2022). DMM, karbon siyahından sonra en çok kullanılan yazı malzemeleri arasında yer almış ve bu nedenle kültürel mirasın önemli bir unsuru haline gelmiştir (Lee, Mahon & Creagh, 2006: 170; Lerf & Wagner, 2016: 1; Ferretti, Sabatini & Degano, 2022). DMM; papirüs, parşömen, vellum veya kâğıt gibi farklı türdeki destek malzemeleri üzerinde yazı veya çizim amaçlı olarak eski zamanlardan beri kullanılmıştır (Corregidor & ark., 2019: 2691).

Müzelerde ve çeşitli kurumlarda saklanan, depolanan ve sergilenen çok sayıda tarihi el yazması ve çizim belgesi DMM içermektedir (Kanngießer & ark., 2004: 1511; Lee, Mahon & Creagh, 2006: 170; Malešič, Kočar & Fabjan 2012: 118; Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016; Lerf & Wagner, 2016: 1, 2; Corregidor & ark., 2019: 2691; Burgaud & ark., 2010: 16; Maciel & González, 2024: 60). DMM'nin kullanımı muhtemelen MS 3. yüzyılda Mısır'dan Filistin'e ve oradan da Avrupa'ya kadar ulaşmıştır. DMM'nin kullanımı Batı'da Geç Roma Dönemi/Orta Çağ Dönemi'nden başlayarak 20. yüzyılın başına kadar resmi belgelerde yaygındır (Reiðland & Hofenk de Graaff, 2001; Lee, Mahon & Creagh, 2006: 170; Virro & ark., 2008: 314; Rouchon & ark., 2009: 236; Rouchon & ark., 2011: 2589; Rouchon & ark., 2013: 1339; Manso & ark., 2015: 1107; Lerf & Wagner, 2016: 1; Duh & ark., 2018: 96; Zamorano, 2018: 484; Corregidor & ark., 2019: 2691; Burgaud & ark., 2010: 16; Panda, Singh & Singh, 2021; Lerf & ark., 2021; Melo & ark., 2022; Maciel & González, 2024: 61).

DMM'nin temel bileşenleri demir sülfat (vitriyol), tanen, Arap zıncısı ve sudur (Reiðland & Hofenk de Graaff, 2001; Kanngießer & ark., 2004: 1512; Lee, Mahon & Creagh, 2006: 170; Maitland, 2009: 39; Rouchon & ark., 2009: 236; Rouchon & ark., 2011: 2589; Rouchon & ark., 2013: 1339; Duh & ark., 2018: 96; Corregidor & ark., 2019: 2691; Burgaud & ark., 2010: 16; IFLA, 2020: 1; Ghigo & Martínez, 2021: 3; Panda, Singh & Singh, 2021; Wagner & Czajka, 2021; Ferretti, Sabatini & Degano, 2022; Melo & ark., 2022; Maciel & González, 2024: 60). Reçeteye, zamana veya coğrafi yere bağlı olarak sirke ve şarap gibi katkı maddeleri de içerikler arasında bulunabilmektedir (Kanngießer & ark., 2004: 1512; Corregidor & ark., 2019: 2691; Rabin, 2021: 72, 73; Wagner & Czajka, 2021; Maciel & González, 2024: 61). Sadece Avrupa topraklarında, birincil bileşenlere çok sayıda farklı katkı maddesi

eklenerek hazırlanmış 250'den fazla bilinen tarihi DMM reçetesi bulunmaktadır (Duh & ark., 2018: 96; Wagner & Czajka, 2021).

Metal kaynağı olarak tipik yeşil vitriyol adı verilen demir-(II)-sülfat (FeSO_4) kullanılmıştır. Yeşil vitriyol genellikle bakır (Cu) veya mangan (Mn) gibi diğer metal safsızlıklarını da içermekle birlikte (Maitland, 2009: 39), elde edilen kaynak veya arıtma işlemlerinin ağırlık katkılarına sahip metalik sülfatların (demir sülfat, bakır sülfat, mangan sülfat, çinko sülfat vb.) bir karışımından oluşmaktadır (Rabin, 2021: 73).

Akasya ağacından (*Acacia sensu lato*) elde edilen Arap zıncı (Resim 1), çözünmeyen parçacıklar için bir bağlayıcı görevi görmesinin yanı sıra mürekkebin viskozitesini değiştirerek yazma veya çizim için elverişli bir akış sağlayıcı işlev görmüştür (Maitland, 2009: 39). Zıncının varlığı, mürekkeplerin nihai bileşimini etkileyerek onların verdikleri tepkimeleri anlamak adına geniş bir zorluk yaratmıştır (Wagner & Czajka, 2021).

Resim 1. Akasya ağacından elde edilen Arap zıncı.



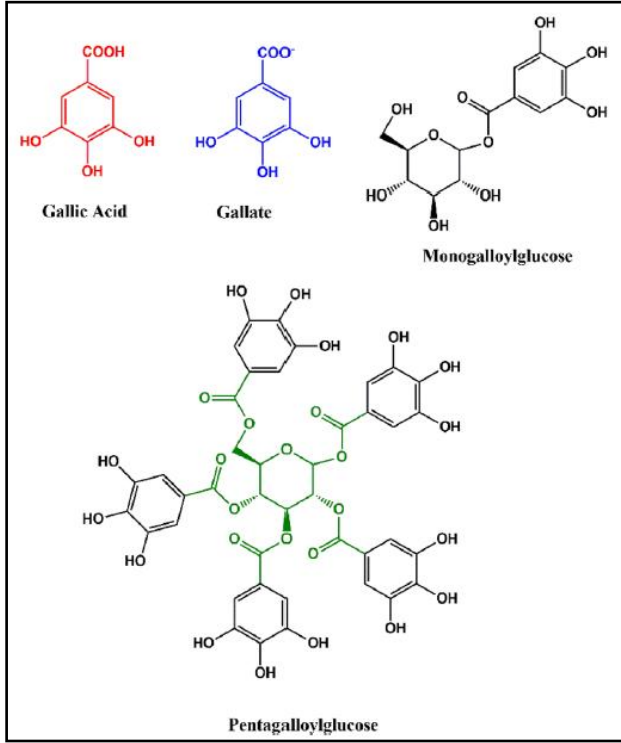
Kaynak: Tamiyu, Adebaya & Yusuf, 2023: 2.

Tanenler, genellikle mazi gomalağı bitkisinin gomalaklarından (Lerf & Wagner, 2016: 2; Burgaud & ark., 2010: 16) veya farklı bitkilerin diğer kısımlarının (Rabin, 2021: 72, 73; Wagner & Czajka, 2021) çeşitli yollarla (pişirme, kaynatma vb.)

özütünün alınmasından elde edilmiştir. Bu özütte hidrolize edilebilir tanenler (gallik asit, elajik asit ve türevleri) vardır ve bunlar polifenolik asit içerirler (Lerf & Wagner, 2016: 2; Burgaud & ark., 2010: 16). Kimyasal olarak, bu tanenler hidroksil grupları yerine m-digallik asit grupları içeren bir glikoz yapısındadır. Mürekkep oluşumu reaksiyonunda, düşük pH seviyeleri tanenlerin hidrolizine neden olarak mürekkep renklendiricisini oluşturmak üzere reaksiyona giren gallik asidi üretir. Modern mürekkep reçeteleri bitkisel özütler yerine basitçe saflaştırılmış tanik veya gallik asitlerden elde edilebilmektedir (Maitland, 2009: 39). Mürekkep bileşimi için kullanılan suyun yanında bazen sıvı olarak şarap, bira veya hatta idrar karıştırılmış olabilmektedir. Çeşitli bitkilerden çeşitli tariflere göre tanenlerin çıkarılması işlemi özütlerin bileşimini etkilemiş ve dolayısıyla demirin polifenollerle nihai reaksiyon ürünlerinde farklılıklara yol açmıştır (Wagner & Czajka, 2021).

Gallik asit (3,4,5-trihidroksibenzoik asit), bitkilerde ve meyvelerde yaygın olarak bulunan bir polifenoldür. Bu fenolik asit, boya olarak kullanımının yanı sıra antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve antikanser özellikleri nedeniyle ilaç ve gıda endüstrilerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Alkan, Torgan & Karadağ, 2017; Torgan Güzel, Karadağ & Alkan, 2019; Ferretti, Sabatini & Degano, 2022). Çok yakın zamana kadar gallik asit, mazı özütlerinin ana bileşeni olarak kabul edilmekteydi ve sonuç olarak, demir-gallat kompleksleri DMM'nin ana renklendiricisi olduğu (Rabin, 2021: 72; Melo & ark., 2022) varsayılmaktaydı. Ancak farklı üretim aşamalarının farklı DMM bileşimleriyle sonuçlandığı ve mevcut ana bileşenlerin pentagalloylglukoz (Şekil 1) ve heksagalloylglukoz gibi glikozun galloyl esterlerinin de olabileceği rapor edilmiştir (Melo & ark., 2022).

Şekil 1. Gallik asit, gallat, monogalloil glikoz ve pentagalloil glikozun kimyasal yapıları.



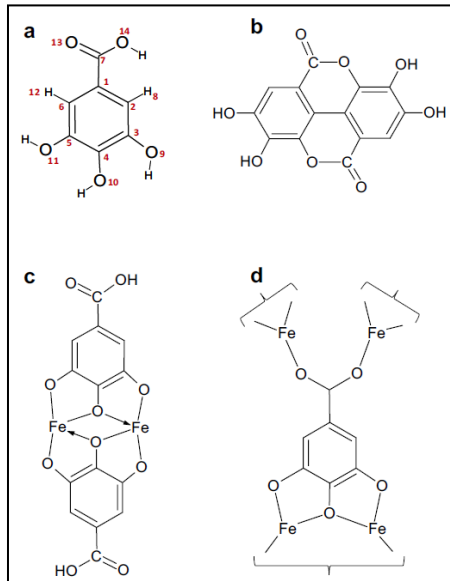
Kaynak: Melo & ark., 2022.

Başlangıçta, demir-II iyonlarının tanen bileşeniyle birleşmesiyle bir demir-II kompleksi oluşur (Bulcka & Wagner, 2004, s. 758). Bu demir-II kompleksi, kâğıt gibi bir destek üzerine yazıldıktan ve havadaki oksijene maruz kaldıktan sonra oksitlenmektedir. Böylece siyah mürekkepten sorumlu olarak ortaya çıkan bileşiğin 1:1 demir-III–pirogallin veya 1:1 demir-III–gallik asit kompleksleri olduğu düşünülmektedir. Bu demir-III kompleksleri suda çözünmezler. Kullanılan bileşenlerin stokiyometrik miktarları, demir-II-sülfat ile gallik asit arasındaki 1:1 oranına ulaşılamazsa bir bileşenin fazlalığı meydana gelmektedir. Tarihi mürekkep reçeteleri üzerinde yapılan çok sayıdaki incelemede

Fe-(II) iyonları fazlasının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Lee, Mahon & Creagh 2006: 170, 171) ve bu iyonların fazlalığı bozulmadaki ana etkenler arasındadır.

DMM'nin rengi, tanenlerin hidrolizi yoluyla üretilen serbest gallik asit ile demir-(III) etkileşimine bağlıdır. Sonuç olarak, hidrolize edilebilir tanenlerde, demir-(III)-gallat koordinasyon kompleksi tipik mavi-siyah renkten sorumludur. Bu noktada, demir-(III)-gallat kompleksi için iki ana yapı önerilmiştir. Birincisi demirin gallik asidi hidroksiller aracılığıyla 1:1 oranında kompleksleştirdiği (Krekel, 1999), ikincisi ise kompleksleşmenin hem hidroksil birimleri hem de karboksilatlar aracılığıyla (Wunderlich, 1994) meydana geldiğidir (Şekil 2) (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

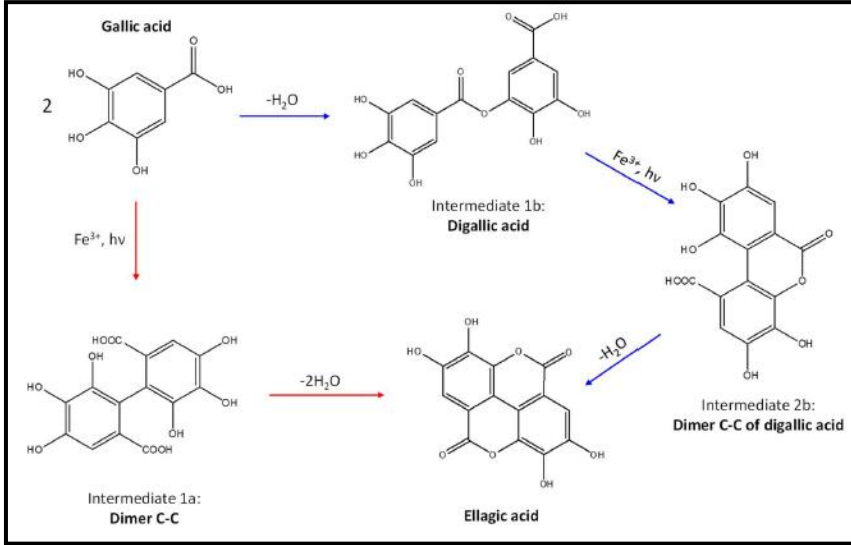
Şekil 2. a) Gallik asit, b) Elajik asit, c) Krekel tarafından önerilen demir-(III)-gallat kompleksi, d) Wunderlich tarafından önerilen demir (III)-gallat kompleksi.



Kaynak: Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016.

Elajik asit, bitkinin kendisinde olduğu gibi demir-(III) tarafından katalize edilen gallik asidin oto-oksidasyonuyla da oluşabilir. Bunun için iki mekanizma varsayılabilir (şekil 3). Birinci mekanizmada, gallik asit dimerizasyonu bir C-C bağı oluşumu ve ardından iki su molekülünün ortadan kaldırılması yoluyla ilerler. İkinci mekanizmada ise dimerizasyon, digallik asit ara ürünlerinin oluşumunu teşvik eder ve ardından C-C bağı oluşur ve bir dehidratasyon reaksiyonu gerçekleşir (Ferretti, Sabatini & Degano, 2022). Ferretti, Sabatini & Degano (2022) yaptıkları çalışmalarında, %30 gibi düşük bağıl nem seviyesinde gallik asidin digallik asit ara ürününe oto-oksidasyonunu teşvik ettiğini tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, daha yüksek nem seviyesinin muhtemelen gallik asidin C-C dimer ara ürününe oto-oksidasyonunu teşvik ettiğini, digallik asidin oluşumunu ve bağıl nemin %50 yaşlandırma koşullarında tanımlanmasını önlediğini belirlemişlerdir. Demirin varlığı, foto-oksidasyon reaksiyonunda bir katalizör olduğundan mekanizma, demir iyonlarının konsantrasyonu ve oksidasyon durumu, diğer metal iyonlarının varlığı ve oksijenin mevcudiyeti, katı numunedeki reaktif oksijen türlerinin (hidroksil radikal ($\text{OH}^\cdot$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve süperoksit radikal ($\text{O}_2^{\cdot-}$)) difüzyonu gibi diğer parametrelerden daha fazla etkilenebileceğini belirtmektedirler. Ayrıca, yaşlanmayla birlikte elajik asit içeriğinde bir artış gözlemlendiği, ancak gallik asidin elajik aside orantılı olarak azalmadığını rapor etmişlerdir (s. 6).

Sekil 3. Gallik asidin ellajik aside otooksidasyonu.



Kaynak: Ferretti, Sabatini & Degano, 2022.

DMM, uygulandıkları malzemenin (çoğunlukla kâğıt veya parşömen) bozulmasına neden olan bir etkiye sahiptir. Karmaşık bozulma sürecine genellikle *mürekkep aşınması* veya *mürekkep yanığı* adı verilmektedir (Reiðland & Hofenk de Graaff, 2001). Mürekkep aşınmasının derecesi; lif bileşimi, kalınlığı ve kimyasal özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle kâğıt ve parşömen için değişiklik göstermektedir. Mürekkep aşınmasının bazı belirtileri ise şunlardır:

- Mürekkebin renginin siyahtan kahverengiye doğru kademeli olarak değişmesi (Bulska & Wagner, 2004: 759; IFLA, 2020: 2),
- Destek malzemelerin kahverengiye dönmesi ve kademeli olarak kırılma oluşması (Bulska & Wagner, 2004: 759; IFLA, 2020: 2),
- Mürekkepli çizgilerin çatlaması veya toz haline gelmesi,
- Destek üzerinde mürekkepli alanların kaybı ve metin bütünlüğünün bozulması,

- Bozulma reaksiyonlarının bitişik malzemelere yayılması (IFLA, 2020: 2).

Mürekkeplerin kimyasal çeşitliliği, el yazması belgelerin karmaşık doğasını yansıtmaktadır ve bu durum hala tam olarak anlaşılammıştır (Rouchon & ark., 2009: 236; Rouchon & ark., 2011: 2589; Wagner & Czajka, 2021). Mürekkebin içine emildiği kâğıt desteğinin farklılıkları (kullanılan ahar ve dolgu malzemeleri gibi) ile mürekkeplerin değişkenliği bir araya geldiğinde el yazmalarının kimyasal çeşitliliği daha da karmaşık hale gelmektedir (Rouchon & ark., 2011: 2589; Wagner & Czajka, 2021). Demirin yüksek reaktivitesi tanenlerle çökelme, polisakkaritlerle şelasyon, gallik asitle redoks reaksiyonları, atmosferik oksijenle indüklenen oksidasyon gibi birçok etkileşime izin vermektedir. Tüm bu reaksiyonlar birbirleriyle rekabet edebileceğinden, orijinal el yazmalarında DMM'nin kimyasını anlamak daha da zor hale gelmektedir (Burgaud & ark., 2010: 16; Rouchon & ark., 2011: 2589).

DMM'nin kimyasal bileşimi, her bir bileşenin saflık durumu ve el yazmalarının yapıldıktan sonra saklandığı/depolandığı ortamdan da etkilenmektedir (Duh & ark., 2018: 96). Son yapılan çalışmalar ile bu mürekkeplerin kimyasının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunulmuştur. Çalışmalar;

- asidik pH'ın gelişimi,
- tanenlerden gallik asidin hidrolitik oluşumu,
- hızla çözünmeyen mavi-siyah demir-(III)-gallat kompleksine oksitlenen demir-(II)-gallat kompleksinin oluşumu,
- mürekkep karışımında önemli miktarda demir-(II) iyonunun kalması (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016) üzerine gerçekleşmiştir.

Parşömen

DMM, ilk olarak Orta Çağ'da hem parşömen hem de kâğıt üzerinde kullanılmıştır. Çok sayıda sanatçı ve bilim insanı, her iki malzemenin üzerine DMM kullanarak ustalıklarını ifade etmişlerdir (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

Parşömen, çoğunlukla yazı ve tezhiplerin yanı sıra kitap ciltleme gibi bir destek malzemesi olarak kullanılan önemli bir arşiv malzemesidir. Parşömen resmi olarak MS 2. yüzyıl civarında Pergamon (Bergama, İzmir) şehrinde kullanılmış olmasına rağmen daha erken kullanımlara dair kanıtlar da bulunmaktadır. Parşömen, bu tarihten el yapımı kâğıdın ortaya çıkmasına kadar yazı için ana malzeme olmuştur (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

Parşömen 2000 yıldan daha uzun bir süredir yazı ortamı olarak kullanılmıştır. Parşömen ve ana bileşeni kolajen, doğal heterojenlikleri nedeniyle karmaşık malzemelerdir ve doğal yaşlanma ile bozulması daha da kötüleşme eğilimindedir. Kolajen molekülü, üçlü bir sarmal oluşturan aminoasit dizisine sahip üç polipeptit zincirinden oluşan bir yapıdır (Možir & ark., 2012: 1559). Parşömen; hayvan türüne, vücut kısmına ve yaşa bağlı olarak tip-I ve tip-III fibriler kolajenden oluşur. Geleneksel olarak keçi, koyun, inek, deve, vb. hayvan derilerinden, coğrafi konumlara göre değişen bir üretim sürecinden sonra üretilmektedir. Üretim süreci çoğunlukla ıslatma, kireçleme, kıl alma, hayvan derisinin yüzülmesi ve kurutma işlemlerini içermektedir. Kireçleme sırasında kullanılan kalsiyum karbonatın (kirecin atmosferik karbondioksit maruz kalmasının sonucu olarak) kalıntı miktarları belirgindir. Malzemenin dokusunu ve sertliğini etkileyen şap, silikatlar, yağlar, tanenler, vb. diğer inorganik ve organik maddeler bulunabilir. Üretim süreci parşömenin yapısı üzerinde bir düzeyde zararlı bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, malzeme zaten kolajene göre kısmen bozulmuş bir durumdadır. Yukarıda bahsedilen çeşitli hazırlama adımları orijinal

deridekinden önemli farklılıklar gösteren bir malzeme oluşturur. Bu, parşömenin ı ışık, ısı, nem, vb. çevresel faktörler nedeniyle daha fazla bozulmasını hızlandırır (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

Çok sayıda demir- mazi mürekkepli veya tezhipli parşömen eser müzelerde, kütüphanelerde, özel koleksiyonlarda, arşivlerde, vb. saklanmakta ve/veya sergilenmektedir ve bunların çoğu ciddi bozulma durumundadır (Lee, Mahon & Creagh, 2006: 170; Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016). Parşömen üzerine yapılan çalışmalar kâğıt kadar geniş ölçüde olmadığından DMM'lerden ne ölçüde etkilendiğini belirlemek zordur (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

DMM'nin Bozulması

Kültürel mirasın korunmasındaki en büyük sorunlardan biri, önceki yüzyıllara ait el yazmaları, kâğıt, parşömen, kitaplar ve diğer değerli belgelerin bozulmasıdır (Faubel & ark., 2007: 669; Virro & ark., 2008: 314). Bozulma, uygun olmayan atmosferin etkisi, bağıl nem ve sıcaklık (Kanngießer & ark., 2004: 1512; Faubel & ark., 2007: 669; IFLA, 2020: 2; Ferretti, Sabatini & Degano, 2022), kâğıt bileşeni, mürekkep, pigmentler veya boyaların kullanılması gibi eklenen malzemelerden kaynaklanır (Faubel & ark., 2007: 669). Mürekkep türü, Arap zankı ve katkı maddeleriyle demir sülfat-gallik asit oranı ve uygulanan mürekkep miktarı da bozulma sürecinin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Kâğıdın gramajı, emiciliği veya kullanılan ahar ve dolgu maddelerinin türleri de bu süreci etkileyen unsurlar arasındadır. Tüm bu bileşenlerin destek üzerindeki dağılımı, el yazmasını heterojen bir malzeme haline getirir. Bu heterojenliğin temel sonucu, bozulmanın tekdüze dağılımının olmamasıdır. Heterojenliğin bir diğer önemli sonucu, analiz edilen numunenin konumuna ve boyutuna bağılı olarak pH, asitlik ve alkalinite gibi parametrelerin nicelleştirilmesi sırasında

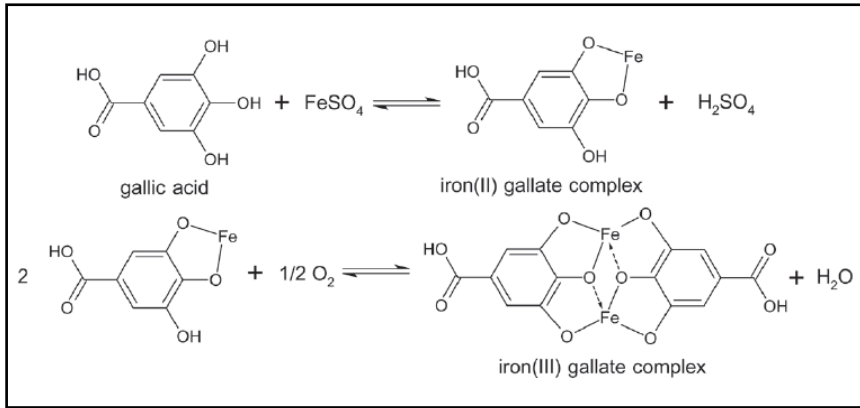
elde edilen sonuçların sınırlı tekrarlanabilirliğidir (Marín & ark., 2015: 230).

DMM sadece Fe metalini içermez, aynı zamanda önemli miktarda diğer geçiş metallerinin iyonlarını (Cu, Mn gibi) da içerebilir (Wagner & Czajka, 2021). Metaller, kâğıdın katalitik bozulmasını etkiler. Özellikle demir ve bakır, selülozun ayrışmasına neden olan etkili oksidasyon katalizörleri olarak iyi bilinmektedir (Kanngießer & ark., 2004: 1512; Lee, Mahon & Creagh, 2006: 171; Faubel & ark., 2007: 670; Malešič, Kočar & Fabjan, 2012: 118; Ferrer & Sistach, 2013: 175; Wagner & Czajka, 2021).

DMM özellikle kâğıt malzeme üzerinde ciddi bozulmaya neden olmuştur (Reißland & Hofenk de Graaff, 2001; Kanngießer & ark., 2004: 1512; Malešič, Kočar & Fabjan, 2012: 118; Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016; Lerf & Wagner, 2016: 2; Duh & ark., 2018: 96; Corregidor & ark., 2019: 2692; Burgaud & ark., 2010: 16; IFLA, 2020; Wagner & Czajka, 2021; Ferretti, Sabatini & Degano, 2022; Melo & ark., 2022; Maciel & González, 2024: 61). DMM'nin aşınması yoluyla el yazmalarının bozulması hızlı gelişen bir süreçtir. Meydana gelen hasar geri döndürülemez olduğundan, dünyanın yazılı mirasının büyük bir bölümünün tehdit altında olması uzun zamandır bilinmektedir (Lee, Mahon & Creagh, 2006: 170; Virro & ark., 2008: 314; Duh & ark., 2018: 96; Corregidor & ark., 2019: 2692; Melo & ark., 2022). Bu nedenle, çok sayıda araştırma bu bozulma mekanizmasını anlamaya ve durumu tersine çevirebilmeye odaklanmıştır (Wagner & Bulska, 2003: 1148; Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016; Corregidor & ark., 2019: 2692; Burgaud & ark., 2010: 16; Ferretti, Sabatini & Degano, 2022). Örneğin; mürekkebin kâğıda nüfuz etmesi, demir-(II)'nin demir-(III)'e oksidasyonunun etkisi veya DMM'nin kâğıt desteği üzerindeki pH'ın etkileri bu araştırmaların ana konuları arasındadır (Kanngießer & ark., 2004: 1512; Corregidor & ark., 2019: 2692; Melo & ark., 2022).

Yakın zamana kadar DMM, vitriyolden gelen iki değerlikli demirin mazi gomalaklarından gelen gallik asitle reaksiyonundan elde edilen bir demir-gallat pigmentinin süspansiyonu olarak değerlendirilmekteydi. Buna göre, ilk adımda demir-(II)-sülfat gallik asitle reaksiyona girerek renksiz, çözünür bir demir-(II)-gallat kompleksi üretir. İkinci olarak, oksidasyon (atmosferik oksijenle reaksiyon) bir demir-(III)-gallat kompleksi oluşturur. Bu son bileşik çözünmez ve renklidir (başlangıçta mavi-siyah bir renk) (Şekil 4) (Maitland, 2009: 39). Ancak son dönemlerde yapılan çalışmalar mazi özütlerinin bileşiminin daha karmaşık olduğunu göstermiştir (Ghigo & Martínez, 2021; Melo & ark., 2022).

Şekil 4. Renksiz demir (II) kompleksinden siyah demir (III) kompleksinin oluşumuna yönelik reaksiyon şeması.



Kaynak: Maitland, 2009: 39.

Demir-mazi mürekkeplerinin bozulmasının iki ana sürecin sonucu olduğu düşünülmektedir. İlk olarak, mürekkepteki tanenlerin ve demirin varlığı çok asidik pH değerlerine (2 ile 4 arasında) yol açmaktadır ve kâğıdın ana yapısı olan selüloz, asit hidrolizine karşı çok hassastır (Reißland & Hofenk de Graaff, 2001; Wagner & Bulska, 2003: 1148; Kanngießer & ark., 2004: 1512; Rouchon-Quillet & ark., 2004: 389; Rouchon & ark., 2011: 2589; Malešič,

Koçar & Fabjan, 2012: 118; Ferrer & Sistach, 2013: 175; Rouchon & ark., 2013: 1339; Marín & ark., 2015: 229; Duh & ark., 2018: 96; Burgaud & ark., 2010: 16; Panda, Singh & Singh, 2021; Maciel & González, 2024: 61). Selülozun b-glikozidik bağlarının asidik hidrolizi, selülozun polimerizasyon derecesinde azaltmaya ve dolayısıyla kâğıdın yapısal zayıflamasına neden olmaktadır (Isca & ark., 2019: 1278). İkinci olarak demir-(II), selülozun oksidasyon mekanizmalarını katalize eder ve böylece depolimerizasyonuna katkıda bulunur. Demir iyonu, ayrıca selülozun bozulma mekanizmalarının ana aktörlerinden biridir (Wagner & Bulska, 2003: 1148; Rouchon-Quillet & ark., 2004: 389; Rouchon & ark., 2011: 2589; Ferrer & Sistach, 2013: 175; Rouchon & ark., 2013: 1339; Marín & ark., 2015: 229; Duh & ark., 2018: 96; Isca & ark., 2019: 1278; Burgaud & ark., 2010: 16; Panda, Singh & Singh, 2021; Maciel & González, 2024: 61).

DMM'nin bozulması, gözlem yoluyla fark edilen ipuçları vermektedir. Bunlar; mürekkeplenmiş bölgenin etrafında flüoresans görünümü, rengin değişerek kahverengi tonlara dönüşmesi ve korozyon ilerledikçe gözle görülür haleler, mürekkeplenmiş bölgelerin koyu kahverengi tonlara dönmesi ve dolayısıyla paslı bir görünüm, mikro çatlaklar, daha büyük çatlaklar ve en sonunda destek kaybı bunlar arasındadır (Rouchon-Quillet & ark., 2004: 389; Wagner & ark., 2004: 195; Rouchon & ark., 2009: 236; Rouchon & ark., 2011: 2589; Maciel & González, 2024: 61).

Corregidor & ark. (2019), mürekkepli kâğıt bozulmasının ilk adımının selülozun asit hidrolizinden ve kâğıdın kristalinite indeksini azaltarak reaktif Fe-(II) türlerinin varlığından kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Bu durumun, mürekkep üretim reçetesine ve başlangıç hammaddelerine bağlı olarak etkilendiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, DMM'nin başlangıç malzemelerinde safsızlık olarak bulunan metallerin bu işlemlerden sorumlu olan Fe

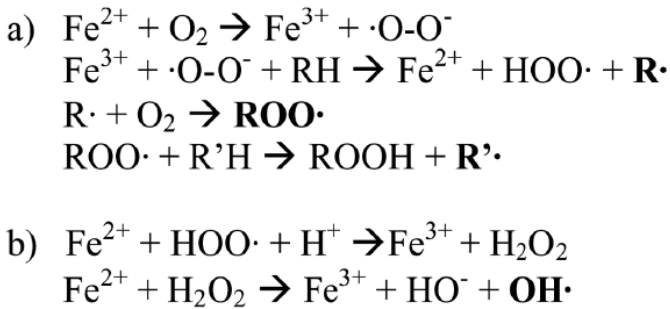
iyonlarıyla birlikte bulunabileceği rapor edilmiştir (Corregidor & ark., 2019: 2691).

Kâğıt üzerindeki DMM, korozyonunun mekanizmaları üzerine yürütülen son araştırmalardan birinde selüloz desteğinin bozulmasının iki olası mekanizmadan kaynaklandığı belirlenmiştir. Bunlardan ilki kompleksleşmemiş demir-(II) ve herhangi bir kirletici bakır-(II) iyonunun fazlalığı ile metal katalizli oksidasyon; ikinci olarak kompleksin oluşumu sırasında üretilen sülfürik asit (H_2SO_4) nedeniyle mürekkebin yüksek asitliğinden kaynaklanan asit katalizli hidrolizdir (Lee, Mahon & Creagh, 2006: 171).

Ferretti, Sabatini & Degano (2022) kromatografik bir yöntemle yaptıkları çalışmada, demir-mazı mürekkepli el yazmalarında bozulma gerçekleştikçe gallik asit (yaşlanma ve/veya bozulma ürünü) tespit etmişlerdir. Bunların gallik asit veya elajik asitten fotokimyasal olarak elde edilen radikal öncüllerden veya gallik asidin oto-oksidasyon mekanizmasının ara ürünlerinden türediğini varsaymışlardır. Radikal öncüllerin üretimini sülfat anyonu veya demir-(II)/demir-(III) redoks çiftini içeren Fenton tipi reaksiyonlarla desteklendiğini rapor etmişlerdir (s. 6). Ortam oksijeni tarafından tetiklenen ve Fenton mekanizmaları tarafından güçlendirilen selüloz oksidasyonu son derece karmaşık reaksiyonları barındırır (Şekil 5). Peroksitler gibi reaktif oksijen türlerini içerir ve hidroksil radikallerinin oluşumuna yol açar (Wagner & ark., 2001: 674; Wagner & Bulska, 2003: 1148; Kanngießer & ark., 2004: 1512; Wagner & ark., 2004: 195; Rouchon & ark., 2011: 2590; Malešič, Kočar & Fabjan, 2012: 118; Corregidor & ark., 2019: 2700, 2701). Hidroksil radikalleri çok reaktiftir ve selülozdan hidrojeni kolayca uzaklaştırarak organik radikallerin oluşumuna sebep olur. Bunlar daha sonra oksijen ve bitişik selüloz molekülleriyle zincirleme reaksiyona girer. Zincir kopması, selüloz hidroperoksit, demir-(II) iyonlarıyla Fenton benzeri bir şekilde reaksiyona girdiğinde meydana gelir. Sonuç olarak, hem Fe-(II) hem de Fe-(III) iyonları

yüzyıllar geçtikten sonra bile el yazmalarında serbest halde tespit edilebilmektedir (Wagner & ark., 2004: 195; Rouchon & ark., 2011: 2590).

Şekil 5. Demir (II) tarafından katalize edilen selülozun oksidatif bozunumu: a) organik radikallerin doğrudan üretimi ve bunların oksidasyonu, b) Fenton reaksiyonu veya hidrojen peroksit üretimi ve bunun bir hidroksil radikaline ve bir hidroksit iyonuna ayrışması.



Kaynak: Maitland, 2009: 40.

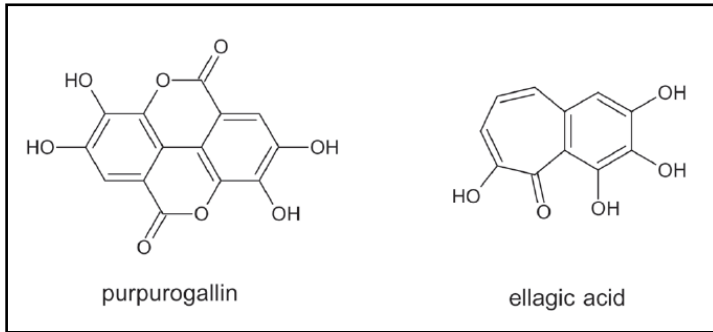
Şekil 5, birden fazla oksidasyon durumuna sahip herhangi bir metalin (bakır, krom, manganez ve diğ er geçiş metalleri) bu reaksiyonlarda katalizör olarak da hareket edebileceğini göstermesi açısından önemlidir. Özellikle Cu, alkali koşullar altında Fe'den daha yüksek bir katalitik aktiviteye sahiptir. pH=8'de Cu, Fe'den 20 kat daha etkili bir katalizör iken, pH=9'da katalitik aktivitesi Fe'in 200 katına çıkmıştır (Maitland, 2009: 40).

Rouchon-Quillet & ark. (2004), Rouchon & ark. (2011) ve Rouchon & ark. (2013), gallik asidin yalnızca bir demir-(III) kompleksleştirici madde olmadığını, aynı zamanda bir demir-(III) indirgeyici madde olarak da hareket edebileceğini tespit etmişlerdir. Gallik asidin selüloz oksidasyon mekanizmalarının katalizörü olan

demir-(II) oluşumunu aktive ettiğini ve bu şekilde DMM korozyon mekanizmalarına aktif olarak katıldığını saptamışlardır.

DMM'nin kendisi kahverengi bozulma ürünlerini, purpurogallini veya elajik asit (Şekil 6) gibi fenoller ve çeşitli demir oksitlerin karmaşık bir karışımını içerdğine inanılmaktadır (Lee, Mahon & Creagh, 2006: 171).

Şekil 6. Oksidatif DMM bozulma ürünlerinin kimyasal yapıları.



Kaynak: Maitland, 2009: 39.

Antik mürekkeplerde bulunan demirin katalitik aktivitesi pH=8,0-8,5 değerinde maksimuma ulaşır. Bazen DMM'de bulunan Cu'nun varlığı da pH=8,5'da yüksek bir katalitik etki yaratma potansiyelindedir (Isca & ark., 2019: 1278). Sabit pH=6 veya 6,5'da bozulma oranları arasında yalnızca küçük bir fark gözlemlenirken, pH=6 değerinin altında, bozulmada belirgin bir artış meydana gelir. pH=5,8'de kâğıt %50 oranında daha hızlı bozulmaya uğramaktadır (Marin & ark., 2015: 230).

DMM'de sıklıkla bulunan karakteristik geçiş metalleri, demir sülfatın ana kaynağı vitriyolden kaynaklanan alüminyum (Al), manganez (Mn), bakır (Cu) ve çinko (Zn)'dur. Bu metaller mürekkep çözeltisinin renk oluşumuna katkıda bulunmasa da mürekkebin kimyasal özelliklerini değiştirebilmektedirler (Manso & ark., 2015: 1107).

DMM içeren bir el yazmasını incelemenin doğru yolu, sayfanın en arkasından başlamak ve her zaman en çok etkilenen alana odaklanmaktır. Etkilenen alanları 1’den 4’e kadar sınıflayan bir ölçek kullanımı ile belirtmek mümkün olabilmektedir (Maciel & González, 2024: 62). Buna göre;

- Durum 1: Kâğıdın arka yüzünde renk bozulmasının görülmemesi veya mürekkeplenmiş alanlarda açık kahverengi renk bozulmasının olması eserin iyi durumda muhafaza edildiğini göstermektedir.
- Durum 2: Kâğıdın arka yüzünde mürekkepli alanlarda koyu kahverengi renk bozulmasının görülmesi, ancak fiziksel bir bozulmanın görülmemesi bu sınıfta yer alır. Bu durumdaki el yazmalarının elleçlenmesi sırasında son derece dikkatli olunmalıdır.
- Durum 3: Mürekkepli alanlarda mikro çatlaklar, yarıklar ve/veya küçük boşlukların görülmesi kötü durum olarak kabul edilir. Bu durumda, belge üzerindeki bilgilerin kaybolmaması için elleçlemenin sadece alanında tecrübeli bir personel tarafından yapılması ve son derece dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Durum 4: DMM olan yazılı belgenin metin satırında son derecede destek kayıplarının veya kırıkların olması kötü bir durumdur ve bununla ilgili işlem müze veya arşiv personeliyle sınırlandırılmalı, mümkün olduğunca nesne kullanılmamalı ve böylece eser kaybı önlenmelidir (Maciel & González, 2024: 62).

Sonuç olarak, son yıllarda yapılan çalışmalar sayesinde DMM’nin bozulma mekanizmalarını ve kullanılan destek malzemenin durumu hakkında ilerlemeler kaydedilmiştir, ancak net bir bozulma mekanizması söylemek doğru olmamaktadır. Kuvvetle

muhtemel bu tür mürekkep içeren el yazmalarında çok sayıda ve çeşitte bozulma mekanizması gerçekleşmektedir.

Analiz Yöntem ve Teknikler

Analitik araştırmalar, kültürel mirasa ayrılan emeğin önemli bir parçası haline gelmiştir. Hem tanı hem de koruma işlemleri için vazgeçilmez birer unsurdurlar (Bulska & Wagner, 2004: 783). Kâğıt ve mürekkeplerin bileşimini belirlemek, bozulmalarında rol oynayan reaksiyon mekanizmalarını anlamak açısından önemlidir (Lee, Mahon & Creagh, 2006: 171; Ferrer & Sistach, 2013: 175). Analitik bir araştırma, eserin var olan durumunu anlamaya, koruma ve onarım işlemleri için bir değerlendirme yapmaya olanak tanımaktadır (Wagner & Czajka, 2021).

Sanat nesneleri benzersiz olduğundan, uygulanan analitik yöntemler tahribatlı olmamalı veya bu mümkün değilse mikro-tahribatlı yöntem ve teknikler kullanılmalıdır. Temel kural, değerli nesnelerin yalnızca analizin görünür bir hasara yol açmadığı zaman araştırılabileceğini söyler. Genellikle bu, örneklemeyi tamamen ortadan kaldırır veya çok küçük miktarlarla sınırlar (Bulska & Wagner, 2004: 756).

DMM, kahverengiden siyaha kadar değişen tonlarda renklidir ve görünümünün tipik özellikleri diğer siyah ve kahverengi mürekkeplerden (sepya ve karbon gibi) farklıdır. Ancak bu, tanımlamayı mümkün kılsa da basit görsel tanımlama her zaman kolay değildir. DMM'nin tanımlanması için tahribatsız analiz, kızılötesi fotoğrafçılık, multispektral görüntüleme ve Fe-II gösterge şeritleri kullanılarak mikrokimyasal nokta testi analizi yapılabilmektedir (Lee, Mahon & Creagh, 2006: 171).

El yazmaları gibi nadir, hassas ve değerli nesnelerin araştırılması için en güvenilir yöntemlerin başında örneklem gerektirmeyen, eserin yerinde incelenmesini yapabilen tahribatsız

yöntemler almaktadır (Wagner & Czajka, 2021; Oubelkacem & ark., 2021; Wagner & ark., 2001: 675). Önceki yıllarda, el yazmalarındaki malzeme ve bozulmaları değerlendirmek ve analize izin vermek için mikro örnekler almak gerekmiştir, ancak örneklemeden kaynaklanan değerli belgelere verilen zarar kabul edilemez ve hatta daha sonra daha fazla zarara yol açabilmiştir (Faubel & ark., 2007: 669). Bir nesnenin yüzey durumunun yerinde incelenmesini sağlayan tahribatsız analitik yöntemler oldukça arzu edilir (Faubel & ark., 2007: 669; Oubelkacem & ark., 2021). El yazmalarının benzersizliği nedeniyle, bunları karakterize etmek için tahribatsız analiz teknikleri giderek daha fazla talep görmektedir (Faubel & ark., 2007: 669; Corregidor & ark., 2019: 2692; Oubelkacem & ark., 2021).

Birçok bilim insanı, nesneyi herhangi bir tehlikeye atmadan malzemelerin fizikokimyasal tanımına izin veren mobil enstrümantasyonu ve girişimsel olmayan analiz yaklaşımını benimsemiştir. Raman spektroskopisi, X-ışını floresan spektrometrisi (XRF), fiber optik yansıma spektroskopisi (FORS) ile zenginleştirilmiş Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), yerinde incelemeler için kullanılan en yaygın mobil tekniklerdir. Bu teknikler, neredeyse her türlü kültürel miras malzemesi için birbirlerini tamamlar niteliktedir (Oubelkacem & ark., 2021).

XRF (X-Işın Flüoresans Spektroskopisi)

XRF, geniş bir element tespitine olanak sağlayan cihaz donanımları sayesinde çok sayıda DMM içeren el yazmasının analizinde sık kullanılan tekniklerin başında gelmiştir. XRF, tek noktadan yüksek çözünürlüklü tarama yapabilen taşınabilir cihazların mevcudiyeti sayesinde yerinde analiz yapabilen, zengin bilgi ve deneyim açısından oldukça faydalıdır (Rabin, 2021: 73).

Manso & ark. (2015), DMM içeren parşömen ve kâğıt destekli 3 el yazmasında mürekkep etrafında gördükleri halelerin kökeni anlamak için XRF ile analiz gerçekleştirmişlerdir. DMM

mürekkeplerindeki karakteristik elementler Fe, Cu, Zn ve Mn olarak tanımlanmış ve mürekkeplerin bileşimlerinde ortak olarak yüksek miktarda Zn tespit etmişlerdir.

Duh & ark. (2018) XRF ile yaptıkları analiz çalışmalarında, minör/iz elementlerin içeriği ile mürekkebin korozyon durumu arasında bir bağlantı kurmanın mümkün olacağını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, el yazmalarının korunma durumunun kâğıt desteği, depolama ve sergileme gibi çok çeşitli parametrelere bağlı olsa da mürekkepli alanlarda tespit edilen Cu, Ti ve Al gibi belirli elementlerin aşırı miktarının mürekkebin daha hızlı aşınmasına eğilimli olduğunu belirtmektedirler. Aynı şekilde, mürekkepteki Zn varlığının el yazmasının daha yavaş bozulmasıyla ilişkilendirilebileceğini öne sürmüşlerdir. Mürekkepli alanlarda sıklıkla tespit edilen bir element olan potasyum (K) elementinin genellikle Arap zıkkı ile ilişkili olduğu, Fe'ye göre daha büyük K içeriğine sahip mürekkeplerin daha iyi korunma durumunda olduğunu söylemektedirler. Bu el yazmalarının koruma işlemlerinden sonra yapılan analizlerde majör ve minör elementler arasındaki oranlarda hafif bir kayma olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, koruma işlemlerinin kâğıt ve mürekkebin kimyasal özelliklerini değiştirdiğini, mürekkebin görsel bir değişiminin tespit edilmemesine rağmen kâğıdın yıkama işlemi nedeniyle daha beyaz olduğu gözlemlenmiştir. Hem mürekkepte hem de kâğıtta Ca elementinin arttığı belirlenmiş, bunun da koruma-onarım işlemleri sırasında kullanılan kalsiyum bikarbonat nötralizasyonunun bir sonucu olduğu belirtilmiştir. Mürekkeplerde genellikle suda çözünür sülfat olarak bulunan S'nin azalması da tespit edilmiştir. Koruma işleminden sonra K elementinde bir azalma gözlemlenmiştir. Bu, mürekkeplerdeki potasyumun Arap zıkkından geldiği varsayımını doğrulamış, bunun nedeni olarak da kurutulduktan sonra suda çözünür kalmasının beklenmesiyle açıklanmıştır (s. 98).

FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)

FTIR, malzemelerdeki moleküller içindeki çeşitli bağ tipleri hakkında değerli bilgiler sağlayan bir tekniktir. Kültürel miras malzemelerinde bozulma nedeniyle meydana gelen değişikliklere odaklanan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmıştır. Zayıflatılmış toplam yansıma (ATR), numune yüzeyiyle yakın temas halinde olan yüksek kırılma indisine sahip bir kristalin (genellikle germanyum, elmas veya çinko selenyum) yardımıyla toplam iç yansıma olgusundan yararlanan bir örnekleme tekniğidir. FTIR-ATR spektroskopisinde, geçici bir kızılötesi dalga, uygun bir geliş açısıyla kristale girer ve numuneye yaklaşık 1-3 mm nüfuz ederek buradaki radyasyonun bir kısmı malzemenin moleküllerindeki bağlanmaya bağlı olarak emilir (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

FTIR mikroskopisi, kâğıtta bulunan selüloz, lignin, sülfat, dolgu maddeleri ve pigmentler gibi bileşenlerin varlığının ve kimyasal durumunun ne kadar taranabileceğini test etmek için kullanılmaktadır (Faubel & ark., 2007: 670). FTIR, tarihi belgelerde görülen DMM tortularını analiz etmek için etkili bir araçtır (Ferrer & Sistach, 2013: 175).

Ferrer & Sistach (2013) FTIR ile yürüttükleri çalışmalarında, mürekkep üzerindeki tortuların bileşimi ile el yazmasının korunma durumu arasında güçlü bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. pH=5 üzerinde olan mürekkeplerde kalsiyum, bakır ve demir-(III) oksalat varlığının mürekkep çizgilerinde siyah tortular barındırdığını ve mürekkep aşınmasının az olduğunu tespit etmişlerdir. Mürekkep aşınması gösteren ve pH=4'den düşük olan el yazması numunelerde demir-(III)-potasyum oksalat $[K_3(Fe(CN)_6)]$ tespit etmişlerdir. $[K_3(Fe(CN)_6)]$, kristallerde veya siyah tortularda tespit edilebilir. Kalsiyum sülfat, su hasarlı el yazmalarında bulunmakta ve mürekkep çizgilerinde beyaz tozlu tortular göstermektedir. Sülfürik asit ve kuru koşullar nedeniyle pH=3,5'in altında olan mürekkepler,

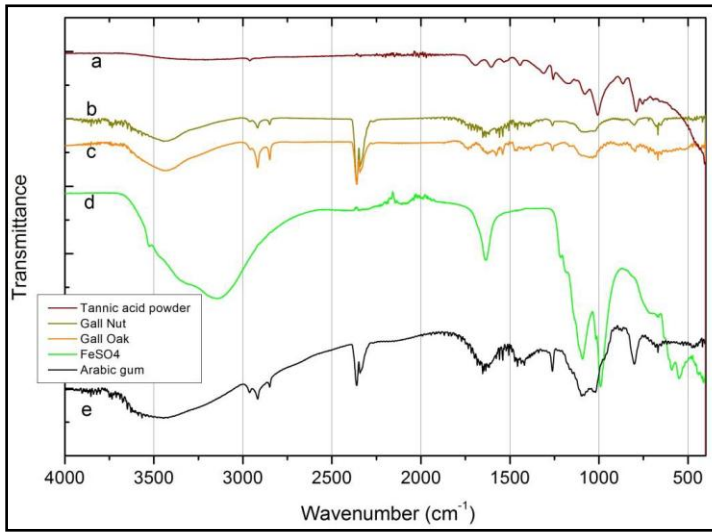
güçlü mürekkep aşınması ve kristal tortular göstermiştir. Bu kristallerin kızılötesi spektrumları, amarantit gibi demir bazik sülfatların karakteristik bantlarına sahiptir. Mürekkep çizgisinde kristaller, az mürekkep aşınması ve yaklaşık pH=4,5 olan mürekkeplerin bazılarının spektrumları, demir-(II) amonyum sülfatın durumuna benzerdir. Demir amonyum sülfat oluşumu, mürekkebin asitliğini kısmen nötralize eden mürekkepte amonyum tuzlarının varlığını gerektirir. Sonuç olarak, bu kristallerin diğer temel demir sülfatlarla bir arada bulunması, el yazmalarındaki güçlü korozyonu önleyebilir olduğu rapor edilmiştir (s. 189, 190).

Boyatzis, Velivasaki & Malea (2016) FTIR-ATR ile yürüttükleri çalışmada, yapay olarak yaşlandırılmış demir-mazı mürekkepli parşömen örneklerinde bozulma süresinin de etkisiyle mürekkepsiz alanlarda kalsiyum sülfat varlığının arttığını tespit etmişlerdir. Benzer bir çalışma, Arap zıncı içeren mürekkep formülasyonlarına sahip parşömen örneklerinde de gözlemlenmiştir, ancak bu durumda etki, yaşlanmanın ilk 4 gününde maksimuma ulaşmıştır.

Corregidor & ark. (2019), demir-mazı mürekkebindeki bileşenlerin FTIR spektrumlarını elde etmek için modern örneklerin analizini gerçekleştirmişlerdir. Şekil 7’de tanik asit, meşe palamudu, mazı meşesi, demir sülfat ve Arap zıncısına ait IR spektrumları görülebilmektedir. Şekil 7’de görüldüğü üzere meşe ve mazı gomalaklarının FTIR spektrumlarında önemli bir değişiklik görülmemektedir. Arap zıncısına ait FTIR spektrumu OH⁻ grubunun ve COOH ile COO⁻ gruplarının karakteristik gerilme titreşimleriyle (sırasıyla 1630 cm⁻¹ ve 1413 cm⁻¹ geniş tepeler) bağlantılı emilimini gösterir. C–O grubunun gerilme titreşimleri, 1072 cm⁻¹ ve 1023 cm⁻¹’de görülebilir. Kirletici olarak olası alkinler ve/veya nitril bileşiklerinin varlığı da 2400–2250 cm⁻¹ arasındaki tepe ve omuzdan tespit edilir. FeSO₄ spektrumuna bakıldığında 3600–3200 cm⁻¹’de geniş bir bant ve 1700–400 cm⁻¹’de keskin tepelerden oluşan bir grup

olarak iki bölgeye ayrılabilir. İlk bölge, 3530, 3357 ve 3145 cm^{-1} merkezli üç ana tepede (şekilde gösterilmemiştir) ayrıştırılabilir. Bunların hepsi, 1638 cm^{-1} tepe noktasıyla birlikte, yüksek su içeriği gösteren OH^- grubunun gerilme ve bükülme titreşimleriyle ilişkilidir. 1093, 989, 610 ve 536 cm^{-1} 'deki keskin tepe noktaları, hem simetrik hem de asimetrik SO_4^{2-} grubunun gerilme titreşimleriyle ilişkilidir (s. 2695, 2696).

Şekil 7. Bileşenlerin FTIR spektrumları. (a) Ticari tannik asit kaynağı; (b) meşe palamudundan elde edilen tanik asit, (c) mazi meşesinden elde edilen tanik asiti; (d) Arap zamkı; (e) FeSO_4 .



Kaynak: Corregidor & ark., 2019: 2695.

Možir & ark. (2012), tarihi bir parşöme bulunan demir-mazi mürekkebinin çalışmışlardır. IR spektroskopisi parşöme için en popüler spektroskopik araçlardan biridir. Amid-I titreşimi, 1600-1700 cm^{-1} 'de meydana gelen bir parşöme spektrumundaki baskın tepe noktasını, C=O ve C-N fonksiyonlarının bir dizi gerilme titreşimini temsil eder. Amid-II tepe noktası 1510-1580 cm^{-1} 'de meydana gelir. Amid-II, bir dizi bant içerdiği ve ağırlıklı olarak N-

H bükülme titreşimlerine bağlı olduğu için amid-I'den daha karmaşıktır. Bozulma sırasında amid-I ve II bantlarının emilim maksimumlarının konumu ve yoğunluğu değişir. OH⁻ gerilmesinde 3400 ve 1650 cm⁻¹ dalga sayılarında bir artış kaydedilebilir ve bu da amid-I tepe noktasının (1650 cm⁻¹) yoğunluğunda bir artışa yol açar. Karbonil bileşikleri, amid-I üzerinde bir omuz olarak gözlenir ve ayrıca tepe alanının artmasına neden olabilir (s. 1560).

Kâğıt ve parşömen mürekkeplerinde ve kültürel mirasın diğer birçok örneğinde yaygın olarak bulunan bileşiklerden biri kalsiyum oksalattır (CaC₂O₄). Oksalatlar genellikle hidroliz ve oksidasyon nedeniyle karbonhidratların son bozulma ürünüdür. Tanenlerden gelen Arabik zambak ve glisitlerin bozulması, katyonlarla reaksiyona girebilen kalsiyum oksalat (CaC₂O₄) üretir. IR spektrumunda 1320 cm⁻¹'de keskin bir spektroskopik bant normalde bu oksalata atfedilir. Bu bant bazen küçük bir kaymaya uğrar ve hatta 1320 cm⁻¹'deki banttan çok uzakta başka bir ikiz bant veya diğer keskin bantlar şeklinde görülür. Kalsiyumdan başka katyonlar içeren oksalatlar bu bantlara karşılık gelir ve bu küçük farklardan sorumludur. Mürekkep tortularında bulunan diğer bileşikler arasında sülfatlar da yer almaktadır. Yaklaşık 1100 cm⁻¹'deki büyük emilim alanının dışında, yaklaşık 1000 cm⁻¹'deki küçük ve keskin bir bant sülfatlar için karakteristiktir (Ferrer & Sistach, 2013: 176, 177).

Raman Spektroskopisi

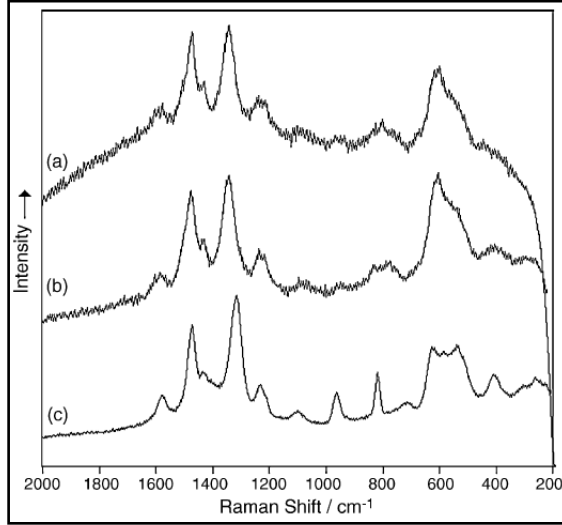
Raman tekniği; yüksek özgüllüğe, duyarlılığa, yeniden üretilebilirliğe, mekânsal (yaklaşık 1 µm) ve spektral (yaklaşık 1 cm⁻¹) çözünürlüğe sahiptir. Hem tahribatsız hem de yerinde uygulanabilir bir teknik olması açısından avantajlara sahiptir. Raman mikroskobu; el yazması, resim, seramik, cam, ikona ve arkeolojik eserler gibi çeşitli malzemelerin incelenmesinde, mevcut pigmentlerin çoğunun ve birçok boyanın tanımlanmasına izin vermesi yönünden oldukça başarılı bir tekniktir. Ayrıca, önceki

onarımın (restorasyon) tanımlaması ve sahteciliklerin tespitine de yardımcı olabilmektedir (Burgio, Clark & Hark , 2010, s. 5726). Raman spektroskopisi ile DMM incelendiğinde bu mürekkeplerin karakteristik bir spektrum gösterdiği tespit edilmiştir (Rabin, 2021: 73).

Burgio, Clark & Hark (2010), Victoria and Albert Museum'daki İtalyan Ortaçağ ve Rönesans el yazması kupür ve minyatürleri Raman mikroskobu kullanarak analiz etmişlerdir. Araştırmacılar, farklı dönemlerde ve farklı İtalyan bölgelerinde kullanılan pigmentlerin bir veri tabanını derlemek için bu çalışmayı yaptıklarını belirtmişlerdir. Analizler sonunda çeşitli pigmentlerin yanında DMM'nin varlığını belirlemişler ve DMM'nin karakteristik Raman bantlarını yaklaşık 1,580, 1,480 ve 1,340 cm^{-1} olarak tespit etmişlerdir (s. 5726).

Lee, Mahon & Creagh (2006), tarihi bir parşömen destek üzerinde bulunan DMM'yi incelemek için Raman spektrumunu kullanmışlar ve 782 nm lazer uyarımıyla başarılı sonuçlar elde etmişlerdir (Şekil 8). Ayrıca, 514 ve 633 nm'lik lazer uyarım kaynaklarıyla yapılan analizlerde yeni uygulanmış veya hazırlanmış mürekkep komplekslerinde de başarılı olunduğu, ancak mürekkebin artan flüoresansı nedeniyle tarihi numunelerin analizinde sınırlı kaldığı rapor edilmiştir (s. 171-174).

Şekil 8. Demir-(II) sülfat ve (a) tanik asit, (b) kırılmış meşe mazuları ve (c) gallik asit ile oluşan komplekslerin 782 nm Raman spektrumları.



Kaynak: Lee, Mahon & Creagh, 2006: 172.

Mössbauer Spektroskopisi

Mössbauer spektroskopisi, 1958'de Rudolf L. Mössbauer tarafından ilk kez incelenmiştir. Gama ışınlarının geri tepmesiz nükleer rezonans emilimini gözlemlemiştir. Daha sonrasında ise gelişen teknoloji ile bu yöntem geliştirilmiştir. 40'dan fazla element üzerinde çalışılmış olmasına rağmen, bu yöntemin tüm elementler için uygun olmadığı belirlenmiştir. ⁵⁷Fe'nin Mössbauer etkisi, nispeten gözlemlenmesi kolaydır ve spektrumlar iyi çözülmüştür. Ayrıca, bağlanma ve yapısal özellikler hakkında da önemli bilgiler sağlamaktadır (Bulska & Wagner, 2004: 776).

Mössbauer spektroskopisi tahribatsız bir yöntemdir ve herhangi bir örnek hazırlamaya gerek kalmadan doğrudan el yazması eserlerde uygulanabilir (Wagner & ark., 2004: 196; Lurf & Wagner, 2016). Mössbauer spektroskopisi, özellikle Fe²⁺/Fe³⁺ oranının

belirlenmesi için uygun bir yöntemdir (Bulska & Wagner, 2004: 776; Wagner & ark., 2004: 196). Bu yöntem ile çalışılırken dikkat edilmesi gereken Mössbauer kaynağı ile gama (γ) dedektör arasına en uygun sayfa sayısının yerleştirilmesidir, çünkü en verimli ölçüm koşulları için doğru soğurucu kalınlığı seçilmiş olmalıdır (Wagner & ark., 2004: 196).

DMM komplekslerinin temel merkezi olan Fe atomu etrafındaki oksidasyon durumunu ve elektron dağılımını izlemeye izin verdiği için belgelerdeki ve model sistemlerdeki mürekkeplerin incelenmesi için hassas bir araçtır. Mössbauer spektroskopisi ayrıca izomer kayması ve Mössbauer rezonansının elektriksel dört kutuplu bölünmesi temelinde demirin kimyasal durumu hakkında daha ayrıntılı sonuçlara varılmasını sağlar ve demir oksitler veya hidroksitler gibi manyetik olarak düzenli fazların tanımlanmasına olanak tanır (Lerf & ark., 2021). Son dönemlerde bu teknik ile yapılmış çok sayıda çalışma rapor edilmiştir (Wagner & ark., 2004; Burgaud & ark., 2010; Lerf & Wagner, 2016; Lerf & ark., 2021).

Mössbauer spektroskopisi mürekkeple ilgili malzemeleri incelemek için farklı şekillerde kullanılabilir. Bunlardan ilki sıvı mürekkeplerin düşük sıcaklıklarda dondurularak ve donmuş halde ölçümler yapılarak bir bütün olarak incelenmesidir. Bu şekilde, mürekkepleri kurutmadan veya kâğıda yazmadan önce demirin durumu hakkında bilgi edinilebilmektedir. Diğerinde ise mürekkepler kâğıda uygulanabilir ve elde edilen ürünler farklı yaşlanma durumlarında Mössbauer spektroskopisi ile tekrar incelenebilir (Lerf & Wagner, 2016).

Lerf & ark. (2021), Mössbauer spektroskopisi ile yaptıkları çalışmanın sonucunda el yazmalarında bulunan demir bileşiği veya bileşiklerinin doğasının hala açıklığa kavuşturulmaya çalışıldığını belirtmişlerdir. Mürekkebin temel pigmenti olarak kabul edilen demir-gallat dışındaki polifenollerle demirin az ya da çok amorf

komplekslerini temsil ettiğini öne sürmektedirler. Ancak bu ferrik bileşenin kâğıt içindeki selülozla demir sülfat çözeltisinin reaksiyonlarından veya mürekkebin bağlayıcısıyla demirin reaksiyonlarından da kaynaklanabileceği ve ferrogallik mürekkep reçetelerinin genellikle büyük miktarda ferröz sülfat içerdiğinden, bunun selülozla reaksiyon ürünleri, yazılı el yazmalarında ferrik demirin önemli bir bileşeni olabileceğini vurgulamışlardır (s. 13).

Wagner & ark. (2004), Mössbauer spektroskopisi ile yaptıkları çalışmada, 16. yüzyıla kadar uzanan el yazmalarında hem Fe-(II) hem de Fe-(III) iyonlarını tespit etmişlerdir. Bunun sonucu olarak, mürekkep aşınma sürecinin hala devam ettiği rapor edilmiştir (s. 198-201).

ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi)

ICP-MS, çok elementli analiz imkânı sunan bir tekniktir. 16. yüzyıl DMM içeren el yazmasındaki iz elementlerin belirlenmesi için Bulska & Wagner (2004) ICP-MS tekniğini kullanmışlardır. Bulska & Wagner (2004), 0,725 mg ile 0,800 mg arasındaki kütleyle sahip mikro numuneler ile analizi gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonunda tespit edilen Fe, Cu ve Pb elementlerinin varlığı mürekkep bileşimine bağlı olduğu; Na, Ag, Cd ve Al elementlerinin ise mürekkebin varlığından bağımsız olduğu sonucuna varmışlardır (s. 773, 774).

Bu teknik, hassas duyarlılık ve geniş bir element tespit olanağını sağlaması yanında mikro-tahribatlı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

PIXE (Parçacık/Proton) Tetiklenmiş X-Işını Emisyonu

PIXE, ppm seviyesindeki hassasiyeti nedeniyle çok çeşitli malzemelerin element bileşimini incelemek için güçlü bir tekniktir (Corregidor & ark., 2019: 2693). Corregidor & ark. (2019), PIXE tekniğinden DMM'nin hazırlanmasında kullanılan safsızlıkları

belirlemek için yararlanmışlardır. Arap zamkında K, Ti, Cu, Zn ve Ba gibi minör elementleri, demir sülfatta ise ana bileşenler olarak Fe ve S'ün yanı sıra, çok düşük derişimlerde Mn ve Zn'un varlığını tespit etmişlerdir (s. 2694).

Duh & ark. (2018), Zagreb'de bulunan Ulusal ve Üniversite Kütüphanesi'nden (National and University Library in Zagreb) farklı kâğıt ve mürekkep türlerinden oluşan ciltli bir 16. yüzyıl el yazması üzerinde XRF ve PIXE tekniği ile tahribatsız bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, mürekkep ve kâğıt türleri arasında ayırım yapmanın, mürekkeplerin kimyasal bileşimi ile korunma durumları arasındaki olası bağlantı kurmanın ve üstlenilen koruma işleminin etkinliğini değerlendirmenin mümkün olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

XRD (X-Işını Difraktometresi)

Corregidor & ark. (2019), XRD tekniğini kullanarak DMM olan alanlarda, kâğıt bozulmasının ilk adımlarıyla ilişkili olan kristalinite kaybını teşhis etmişlerdir. Elde ettikleri XRD sonuçları, kâğıt bozulmasının esas olarak selülozun asit hidrolizinden ve Fe-(II) iyonlarının varlığından kaynaklandığını, bu faktörlerin selüloz zincirlerinin kısılmasına yol açtığını ve bunun da kristalinitedeki gözlemlenen azalmanın bir açıklaması olabileceğini belirtmişlerdir (s. 2694-2701).

XANES (X-ışını Absorpsiyonu Yakın Kenar Yapısı)

XANES tekniği; kristal ve elektronik yapı, oksidasyon durumları ve yüzeye yakın bölgedeki bileşim hakkında bilgi elde etmek için senkrotron (parçacık hızlandırıcı) tabanlı bir tekniktir (Bulska & Wagner, 2004: 778). Bu teknik, DMM içeren el yazmalarında Fe^{2+}/Fe^{3+} oranını izleyen bir teknik olarak karşımıza çıkar (Lerf & ark., 2021).

Kanngießler & ark. (2004), orijinal ve model örneklerde bulunan mürekkepler üzerinde mikro-XANES ile ölçümler yaparak karakteristik $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ oranlarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda Fe^{2+} içeriğinin DMM korozyon derecesi için kimyasal bir gösterge olduğunu doğrulamışlardır. Az miktarda mürekkep korozyonu olan orijinal el yazması için neredeyse sabit bir $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ oranı bulunmuş, buna karşın ileri derecede mürekkep korozyonu olan başka bir örnekte, demir içeriği ile $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ oranı arasında karakteristik bir mekânsal bağımlılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Kâğıttaki DMM miktarının artmasıyla bu oranın arttığını da belirlemişlerdir (s. 1515, 1516).

Bulcka & Wagner (2004), 16. yüzyıla ait DMM içeren bir el yazmasında mikro-XANES ile yaptıkları çalışmada iyi sonuçlar aldıklarını, farklı noktalardan alınan sonuçların mürekkepteki bir karakterin içindeki tam konumuna bağlı olarak demirin oksidasyonunun farklı ölçüde gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. El yazmasındaki bir karakterin dış sınırları etrafında Fe-(III) baskın bir şekilde bulunurken, aynı karakterin iç kısmında ise Fe-(II)'nin baskın olduğunu saptamışlardır (s. 779).

Kromatografik Analizler

Kromatografik yöntemler, mikro-tahribatlı analitik yöntemler arasındadır (Ferretti, Sabatini & Degano, 2022). Ferretti, Sabatini & Degano (2022), demir-mazı mürekkepli 19. yüzyıl bir el yazması için optimize edilmiş bir gradyan sistemi ile HPLC-DAD (diyot dizi dedektörlü yüksek performanslı sıvı kromatografisi) ve HPLC-ESI-QToF (yüksek performanslı sıvı kromatografisi-elektrosprey iyonizasyon-dört kutuplu uçuş süresi kütle spektrometrisi) kromatografik yöntemlerini kullanmışlardır. Yaptıkları birçok uygulamadan sonra kromatografik ayırım için çözünürleştirici olarak EDTA-DMF (etilen diamin tetra asetik asit-dimetil formamid) çözücü sistemini kâğıt desteğindeki demir-mazı

mürekkeplerinin analizi için seçmişler ve olumlu sonuçlar almışlardır (s. 2, 3).

Torgan Güzel & ark. (2023), geç 15. yüzyıl DMM içeren ansiklopedik el yazmasında eserden tamamen ayrılmış numuneler üzerinde HPLC-DAD yardımıyla hem mürekkep içeriğini hem de bozulma ürünlerini tespit etmişlerdir.

SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)-EDS (Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi)

SEM, kâğıt koruma alanında belgeleme amacıyla uygulanan ilk yöntemler arasındadır (Wagner & ark., 2001: 675; Bulska & Wagner, 2004: 764). SEM yardımıyla bozulan veya bozulmaya uğramamış kâğıt liflerinin morfolojik ve kimyasal farklılıkları incelenebilmektedir (Wagner & ark., 2001: 679). Günümüzde yüzey analiz teknikleri giderek daha sık kullanılmaktadır. SEM-EDS yöntemi, el yazmaları ve çeşitli yüzeylerin bölgesel element analizinde en yaygın kullanılan yöntemler arasındadır (Virro & ark., 2008: 315).

Virro & ark. (2008), eski bir el yazmasının mürekkep yazısındaki demirin yüzey konsantrasyonunu belirlemek için SEM-EDS yöntemini kullanmışlardır. Yazılı alandaki ortalama demirin yüzey konsantrasyonunu $0,123 \mu\text{g mm}^{-2}$ olarak tespit etmişlerdir (s. 320-322).

SEM-EDX mikroanaliz yardımıyla hem mürekkepli hem de mürekkepsiz parşömen alanlarında kalsiyum sülfat kristalleri incelenmiştir. Bu kristallerin varlığı, mürekkepli alanlardan örneklerin bitişik mürekkepsiz bölgelerine iyon göçü olduğunu göstermiştir (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

EPMA (Elektron Prob Mikro Analiz)

EPMA, kâğıt yüzeyinin morfolojik karakterizasyonunu ve element dağılım haritalarını üretmesi yönünden faydalı bir tekniktir.

Bulska & Wagner (2004), tarihi el yazmalarının daha ayrıntılı bir çalışması için EPMA tekniğini kullanmışlardır. İncelenen 16. yüzyıl el yazmasının (Polonya Ulusal Kütüphanesi-National Library of Poland koleksiyonuna ait) incelenen alanlarında, mürekkep tabakasında yüksek miktarda Fe, Cu, Hg, Pb ve Zn elementlerini tespit etmişlerdir. İnceleme yapılan alan üzerinde hem S hem de Ca'un neredeyse eşit olarak dağıldığını, bu durumu da kükürt elementinin nem varlığında göç etmesi yeteneği ile açıklanmıştır. Ca'nın düzgün dağılımını ise kâğıdın yapısındaki dolgu maddelerinin bileşimi ile bağlantılı olduğunu ifade etmişlerdir (s. 770).

UV (Ultraviyole) ve IR (kızılötesi) ile Görüntüleme

Ultraviyole (UV) ve kızılötesi (IR) ışık altındaki görüntüler, farklı emisyon desenleri nedeniyle kâğıtta mürekkepsiz alanlar ile mürekkepli alanlar arasında ayırım yapmak için çok yararlı araçlardır ve ayrıca mürekkep lekelerini vurgulayarak bozulma durumunu değerlendirmek için kullanılır (Corregidor & ark., 2019: 2692).

Duh & ark. (2018), DMM içeren el yazmalarındaki bozulma durumunu, mürekkep farklılaşmasını, geçiş metal göçlerini ve lekelerin tespiti için ultraviyole (UV) ve kızılötesi (IR) görüntülerinden yararlanmışlardır. Resim 2'de NIR, UV ve VIS ile görüntüsü alınan bir el yazmasını göstermektedir. Görseldeki UV fotoğrafı, orijinal kalem darbesinin etrafında emilen UV radyasyonunun kalın bir halesini ve mürekkep bileşeni göçlerinin yayıldığını göstermektedir (s. 97).

Resim 2. Sırasıyla NIR (950 nm), UV ve VIS ile fotoğraflanan tarihi el yazması.



Kaynak: Duh & ark., 2018: 97.

Yakın kızılötesi (NIR) bölgede DMM, yavaş yavaş opaklığını kaybeder ve yaklaşık 1400 nm'lik kızılötesi ışık altında görünmez hale gelir. Karbon, bitki ve demir-mazı mürekkepleri arasındaki optik farklılıklar, yakın kızılötesi ışıktan ziyade kızılötesine tepkilerini karşılaştırarak iyi bir şekilde tanımlanmaktadır. Karbon mürekkebi koyu siyah bir renge sahiptir, DMM 1400 nm'nin üzerinde şeffaflaşır. Bitki mürekkebi ise yaklaşık olarak 750 nm'de kaybolmaktadır (Rabin, 2021: 73, 74).

Optik Mikroskop

El yazmalarından alınan çok sayıda örnek üzerinde yapılan çalışmalarda mürekkebin yüzeyinde kristaller veya amorf şeklinde tortular tespit edilmiştir (Ferrer & Sistach, 2013: 176; Rabin, 2021: 73). Bu kristallerin morfolojileri optik mikroskop yardımıyla tanımlanabilmektedir. Kristallerin yüksek konsantrasyonda

mürekkep içeren el yazmalarında daha sık görüldüğü ve normalde yoğun mürekkep aşınmasıyla ilişkilendirilen bozulma süreçleriyle üretilmiş olduğu belirlenmiştir (Ferrer & Sistach, 2013: 176).

Ferrer & Sistach (2013), el yazmasında bulunan tortuya bağlı olarak, restorasyon için farklı yöntemler uygulanabileceğini belirtmiştir. Örneğin, bir el yazmasını onarmak için metil hidroksietil selüloz ve su kullanıldığında bazı kristallerin çıkarıldığı, jelatin ve etanollü su kullanıldığında ise kristallerin yüzeyde kaldığını belirlemişlerdir. Birçok durumda, el yazmasını okuyabilmek için bu kristalleri tutmanın gerekli olabileceği de rapor edilmiştir (s. 176).

X-Işını Tomografisi

Albertin & ark. (2016), X-ışını tomografisi tekniğini kullanarak 200 sayfalık bir el yazması kitabın içinden kelimeleri ve çizimleri çözebilmişlerdir. DMM, karbon ve diğer organik mürekkeplerin aksine demir içeriği ve miktarından dolayı X-ışını emilimi yapmakta ve dolayısıyla X-ışını kontrastı sağladığından tomografik okuma yapılabilir. Oluşturdukları yeni X-ışını tomografisi yardımıyla büyük eski bir el yazması kitabın içeriğini açmadan “sanal okuma” yapabilişlerdir. Araştırmacılar, laboratuvar tabanlı tahribatsız olmayan bu radyoloji sistemini kullanarak olumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

Termal Analiz

Termal analiz, deri ve parşömen gibi malzemelerin karakterizasyonunda kullanılmıştır. Örneğin, taze haldeki parşömenin büzülme sıcaklığı olan T_s değerleri 55–60 °C aralığında iken, ağır hasarlı parşömenin T_s değerleri 30–40 °C’de ölçülmüştür (Boyatzis, Velivasaki & Malea, 2016).

Boyatzis, Velivasaki & Malea (2016), laboratuvar ortamında oluşturdukları modern demir-mazı mürekkebiyle boyanmış parşömen örneklerini orta sıcaklık ve nem altında yapay olarak

yaşlandırmışlardır. Araştırmacılar, sonrasında FTIR-ATR spektroskopisi, mikro-sıcak masa termal analizi ve SEM-EDX mikro-analizini kullanarak analiz gerçekleştirmişlerdir. Termal analiz, yaşlandırma sırasında tüm numunelerin mürekkepsiz alanlarda 32 güne ulaşana kadar azalmanın gözlemlendiğini ve büzülme sıcaklıklarında gerçek bir değişikliğin olmadığını göstermiştir. Aksine, mürekkepli alanlar, özellikle Arap zamkı içermeyen formülasyonlarda, yaşlandırma sırasında önemli bir azalma gösterdiği rapor edilmiştir (s. 14).

Redoks Potansiyel Ölçümleri

Burgaud & ark. (2010), bozulmaya uğramış el yazmalarındaki demir-mazı mürekkeplerinin belirli bir süre boyunca çözünmesini takip etmek için redoks potansiyel ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Demir-mazı mürekkeplerinin ana bileşenleri Fe-(II) ve Fe-(III) sülfatlar, gallik asit ve Arap zamkı arasındaki etkileşimleri anlamak için potansiyometre kullanılmıştır. Tüm bu bileşenler elektrokimyasal olarak aktif olmasına rağmen redoks potansiyeli esas olarak Fe-(III) iyonlarının Fe-(II) iyonlarının oranına bağlı olarak redoks çifti tarafından yönetilmiştir. Analiz sonunda görülmüştür ki, bir gallik asit molekülü 4 adet Fe-(III) katyonuna kadar kolayca indirgenebilmiştir.

Koruma Yöntemleri

Önleyici Koruma Yöntemleri

DMM içeren koleksiyonları korumak için ilk adım istikrarlı ve uygun çevre koşullarının sağlanmasıdır. Koleksiyonları korumak için çevre koşulları yakın zamana kadar 21°C (70°F) ve %50 bağıl nem değeri iken, daha yakın zamanda, bu koleksiyonlar için %30-%40 bağıl nem değeri ve daha serin sıcaklık değeri kabul görmektedir (Smith, 2007: 24; IFLA, 2020: 3). Bu koleksiyonları

içeren kurumların her ne olursa olsun istikrarlı koşulları sağlaması ve bunu sürdürmesi son derece önemlidir (IFLA, 2020: 3).

DMM'nin daha önce anlaşılandan daha fazla ışığa duyarlı olduğu bilinmektedir. Ayrıca, mürekkep solmasının hava kirleticilerinden kaynaklanabileceği ve bu eserlerin sergilenmesinde örtülü paspasların, sıkıca kapatılmış saklama kutularının ve özelleştirilmiş sergi vitrininin önemi vurgulanmaktadır (Smith, 2007: 24). Çevre koşulları sağlandıktan sonra bu eserlerin kutu gibi korunaklı bir muhafaza içinde saklanması onları ışık, toz ve su gibi çevresel unsurların neden olduğu zararlardan koruyabilme potansiyeline sahiptir (Reißland & Hofenk de Graaff, 2001; IFLA, 2020: 3). Kutular, koleksiyonlar ve çevresel koşullar arasında bir tampon görevi görerek nem ve aşırı sıcaklıkların etkilerini yavaşlatmaktadır. Kullanılan kutular kimyasal olarak kararlı, lignin ve ağartıcı kalıntılarından arındırılmış ve alkali tamponlu (pH 7,5'ten büyük) malzemelerden üretilmelidir. Korunak sağlayacak malzeme, araştırmacılara da güvenli bir kullanım ortamını sağlamalıdır (IFLA, 2020: 4).

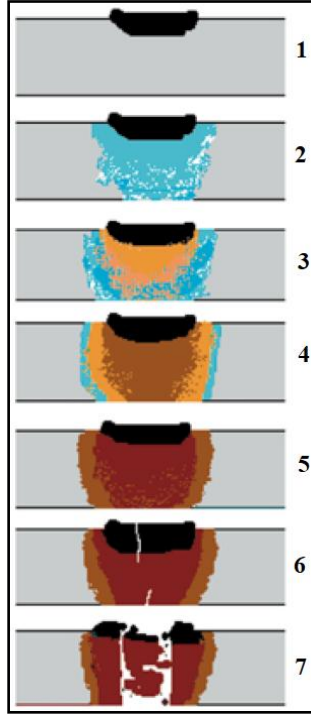
DMM içeren eserlerinin sergilenmesi sırasında da dikkat edilmesi gerekli unsurlar söz konusudur. Özellikle destek malzemesi olarak kullanılan organik yapıdaki malzemeler ve mürekkepler ışıktan (özellikle UV) etkilenmektedir (Reißland & Hofenk de Graaff, 2001; IFLA, 2020: 4). Aydınlatma değerinin 30 ile 50 lüks arasında bir değerde olmasına dikkat edilmelidir. Kullanılan aydınlatmalarda UV'nin zararlı etkilerinden korunmak için mutlaka UV filtrasyonu kullanılmalıdır. Bu tip eserler maksimum 6 ay boyunca sergilenmeli ve diğer sergilenme süresi için en az 5 yıl geçmesi beklenmelidir. Ayrıca periyodik olarak sıcaklık ve bağıl nem değerleri kontrol edilmelidir. Sergilenme ortamı için mikro ortamların tercih edilmesi, bu eserlerin korunması için en uygun seçim olacaktır (IFLA, 2020: 4).

Aktif Koruma Yöntemleri

DMM içeren el yazmalarında aktif koruma (restorasyon) işlemi yapılmasının kararı verilmeden önce mürekkebin ve destek tabakasının incelenmesi ve değerlendirilmesi gereklidir. Bu amaç için kullanılan tanı araçları bulunmaktadır. DMM içeren el yazmaları için “Durum Derecelendirme Sistemi” nin uygulanması (Reiðland & Hofenk de Graaff, 2001; Guild, Tse & Trojan-Bedynski, 2012: 19; IFLA, 2020: 3) bunların başında gelmektedir. DMM’li belgelerde mürekkep aşınmasının görünür ilerlemesi incelenen tüm kâğıtlar için benzerdir. Bu süreci göstermek için bozulma süreci sırasında DMM içeren bir kâğıdın kesitini gösteren bir model geliştirilmiştir (Resim 3). Buna göre;

- 1 DMM içeren bozulmamış bir kâğıdı,
- 2 Mürekkep etrafında yeşilimsi bir flüoresan ışığı yaymaya başladığı ve flüoresan ışığı yayan alanın, kâğıdın arka tarafına kadar uzandığını,
- 3 Yeşilimsi flüoresan renginin sarı renge dönüştüğü ve gün ışığında bu alanın açık kahverengi bir durum aldığını,
- 4 Gün ışığında, kâğıdın arka tarafının açık kahverengi bir tona dönüştüğü ve UV altında hala flüoresan ışıklı halelerin görülebilir olduğunu,
- 5 Flüoresansın olmadığını ve arka sayfadaki açık kahverengi tonun koyu kahverengiye dönüştüğünü,
- 6 Dokunulduğunda mürekkep çizgisinin çatladığını,
- 7 Ciddi bir malzeme kaybının yaşandığını göstermektedir (Reiðland & Hofenk de Graaff, 2001).

Resim 3. DMM için Durum Derecelendirme Sistemi.



Kaynak: Reißland & Hofenk de Graaff, 2001.

Tüm bu işlemlerden sonra kâğıt konservatörü restorasyon işlemine karar verirse öncelikle noktasal olarak lokal analizler yapılmalıdır (Guild, Tse & Trojan-Bedynski, 2012: 19).

En erken koruma yaklaşımları kâğıt desteğinin mukavemetini geri kazanmaya yöneliktir. 19. yüzyılın sonlarından 20. yüzyılın başlarına kadar, yapıştırıcı ve ince kâğıtlar veya şifon-ipek ile geleneksel astarlama ve laminasyon prosedürlerinden, ticari ürün olan selüloz nitrat Zapon gibi yeni sentetik malzemelere kadar çeşitli sağlamlaştırma (konsolidasyon) malzemeleri ve yöntemleri uygulanmıştır (Melo & ark., 2022). Mürekkep aşınmasına genellikle ciddi fiziksel bozulmalar (çatlaklar, kırıklar) eşlik etmekte ve bu da ek fiziksel stabilizasyonu gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, hasarlı

kâğıt alanlarının Japon kâğıtları, yapıştırıcılar veya yeniden nemlendirme mendilleri ile bölgesel olarak desteklenmesi genellikle hasar derecesine bağlı olarak uygulanmaktadır (Völkel, Prohaska & Potthast, 2020).

DMM içeren el yazmalarında kullanılan koruma yöntemlerinin çoğu geleneksel yöntemler olmuştur. Bu yöntemlerin başında suya daldırma yöntemi gelmektedir (Rouchon & ark., 2009: 236; Burgaud & ark., 2010: 16) ve su, kâğıt nesneler üzerinde tercih edilen bir çözücü olmuştur (Burgaud & ark., 2010: 16, 17). Su, selüloz zincirleri arasındaki hidrojen bağıını yeniden aktive eder ve kâğıt üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Maitland, 2009: 40; Rouchon & ark., 2009: 236). İstenmeyen lekelerin giderilmesi ve/veya kâğıt bozulma ürünlerinin uzaklaştırılması için güçlü bir çözücüdür. Ayrıca asit giderme işlemleri gibi birçok fiziksel ve kimyasal işlem, su esaslı çözeltilerle gerçekleştirilir (Rouchon & ark., 2009: 236). Ancak sulu işlemlerin olumlu yönlerinin olmasının yanında bazı olumsuz tarafları da vardır. Sulu işlemlerde kâğıt liflerinin şişmesi gerçekleşebilmektedir. Şişme, antioksidan ve asit giderme ajanlarının kâğıt liflerine nüfuz etmesini teşvik ederken, aynı zamanda boyutsal gerilim de getirir. Mürekkep çizgisinin bozulmuş alanları, çevreleyen kâğıttan daha hidrofobiktir (suyu sevmeyen) ve bu da farklı ıslanmaya ve ek gerilime yol açabilir. Sulu işlemler ayrıca çözünür ortamlar ve sulu işlemin yeniden bağlama olmadan neredeyse imkânsız olduğu kitaplar gibi nesneler için de sorun teşkil edebilmektedir (Maitland, 2009: 40).

Birkaç dakikadan başlayarak yarım saatten fazla süren daldırma işlemleri esnasında bozulmuş el yazmalarında bulunan fazla demir bileşiklerinin çözülmesi amaçlanmaktadır. Bu işlemler sırasında, kâğıtta bulunan S ve Fe'nin elementel göçleri gibi yan etkilere de işaret edilmektedir. Yapılan elementel nicel ölçümler, el yazmasında bulunan tüm demirin çözünmediğini göstermiştir (Burgaud & ark., 2010: 17). Rouchon & ark. (2009), birçok orijinal

el yazması üzerinde risk değerlendirmesi ve karşılaştırma yapmak için çeşitli sulu işlem türlerini test etmişlerdir. Bağlı nem değeri %80-90 değerinden daha düşük tutulduğunda, demir g   riskinin büyük    de azaldığını, ancak tamamen durdurulamadığını belirlemişlerdir (s. 251-252).

Son dönemlerde farklı çalışmalar k ğıtlardaki asitleri, çeşitli sulu ve susuz c z ltilere daldırarak nötralize edebilmektedir. Bu tür bir işlemden sonra elde edilen pH aralığı yaklaşık 7-9 değerindedir. Kâğıdın oksidatif bozulması, fitat, bazı kuaterner amonyum tuzları veya imidazolyum tuzları gibi çeşitli antioksidanların eklenmesiyle geciktirilebilmektedir (Maleřić, Ko ar & Fabjan, 2012: 119).

Aktif koruma işlemleri için kullanılan yöntemler çeşitlidir. Her yöntemin kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Kalsiyum Fitat/Kalsiyum Bikarbonat İşlemi

Bozulmaya uğramış DMM içeren el yazmaları için en çok test edilmiş ve yaygın olarak kabul görmüş koruma işlemi kalsiyum fitat/kalsiyum bikarbonat işlemidir. Bu işlem, isteğe bağlı bir yıkama işleminden sonra, el yazmasının şelatlama için kalsiyum fitat c z ltisine daldırılması ve ardından nötralizasyon için kalsiyum bikarbonat c z ltisine batırılması işlemine dayanır (Maleřić, Ko ar & Fabjan, 2012: 119; Duh & ark., 2018: 96). Bu işlemi ilk olarak Neevel (1995)  nermiř ve mürekkep aşınması olan eserlerin ömrünü uzatmak için etkili bir sulu yöntem olduğunu göstermiştir. Bu işlem genellikle řu adımlardan oluşmaktadır:

1. Nemlendirme işlemi ile nesnedeki boyutsal gerilimleri en aza indirmek için kuru halden ıslak hale kademeli geçiş sağlanır,
2. Asitlerin ve Fe^{2+} veya Cu^{+} gibi c z n r geçiş metal iyonlarının giderilmesi için suda yıkama gerçekleştirilir,
3. Kalsiyum fitat c z ltisine daldırma ile Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının fitat ile kompleksleşmesi sağlanır,

4. Kalsiyum bikarbonat ile asitsizleştirme ile kalan asitlerin nötralizasyonu ve kâğıtta alkali rezervinin birikmesi gerçekleştirilir,
5. Jelatinle ahar işlemi ile kâğıdın fiziksel mukavemetini artırma ve atmosfer ile mürekkebin yüzeyi arasına koruyucu bir tabaka eklenme sağlanır,
6. Fiziksel olarak bozulmuş (çatlak ve kırıklar gibi) alanları desteklemek ve daha fazla kaybı önlemek için bölgesel onarım işlemi ve ardından kurutma (Resim 4) (Melo & ark., 2022) işlemi gerçekleştirilir.

Sulu yıkama işleminde deiyonize su yerine, ince dağılmış kalsiyum karbonat birikintileri gibi kâğıdın kimyasal kararlılığına katkıda bulunduğu bilinen orijinal maddelerin çıkarılmasını önlemek için iyi kalitede musluk suyu veya yeniden kireçlenmiş su kullanılması önerilmektedir (Melo & ark., 2022).

Resim 4. Kalsiyum fitat ana işlem adımları.



Kaynak: Melo & ark., 2022 (düzenlenmiştir).

DMM içeren el yazmalarında en sık kullanılan asitsizleştirme işlemi, işlem boyunca nispeten nötr bir pH değerini koruduğu için kalsiyum bikarbonattır $[Ca(HCO_3)_2]$. Çok yüksek bir pH, mürekkep bozulmasının diğer alkali mekanizmalarına yol açar. Pigmentlerin

pH toleransı da dikkate alınmalıdır. Bu nedenle asitsizleştirme, renklendirici maddenin olası zararın ve selülozun yararına yapılan bir işlemdir (Maitland, 2009: 40).

Kalsiyum fitat/kalsiyum bikarbonat işlemi, bahsedilen avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptir. Bu işlemde, kâğıt yüzeyinde beyaz bir toz olarak görülebilen yeni bir kimyasal olan kalsiyum fitat çökeltisi oluşabilmektedir. Bu yüzeysel tortu, fırçalama ile giderilebilse dahi bu işlem demir-mazı mürekkebiyle ciddi şekilde bozulmuş kâğıtlarda önerilmemektedir. Bu işlemin en büyük sınırlamalarından biri de, fitatın susuz ortamlarda zayıf çözünürlüğüdür ve bu da suya duyarlı malzemelerde uygulamayı engellemektedir (Melo & ark., 2022). Dahası, gereken çoklu daldırma adımları mürekkep renginde değişikliğe, kâğıt/mürekkep bileşiminde farklılığa ve bu tür bozulmaya uğramış kâğıtların önemli fiziksel gerilimine sebep olabilmektedir (Rouchon & ark., 2013: 1340; Melo & ark., 2022).

Nanoselüloz

Nanoselülozlar, kâğıt yüzeyi üzerinde ve kısmen onunla birlikte güçlü, şeffaf, fibriler ağlar oluşturur ve oldukça olumlu yaşlanma davranışı gösterirler (Völkel, Prohaska & Potthast, 2020). Völkel, Prohaska & Potthast (2020), DMM'nin kimyasal stabilizasyonu için kalsiyum fitat/kalsiyum bikarbonat işlemi yapıldıktan sonra nanofibrile selülozun mekanik stabilizasyon için uygulanmasını etkili bir şekilde birleştirilebilir olduğunu öne sürmüşlerdir (s. 14).

Tetrabutylamonyum bromür (TBAB)

Rouchon & ark. (2013), demir-mazı mürekkebiyle zarar görmüş kâğıtlar için halojenürlerin kullanımını incelemişlerdir. Bu işlemde, aktif bileşiklerin ara sayfalardan belgelere göç etmesi için birkaç gün boyunca %80 ve üzeri bağıl nem koşullarına ihtiyaç

vardır. Bu işlemin dezavantajı ise demir ve asidik bileşiklerin mürekkepli alanlardan kâğıt boyunca göç etmesine sebebiyet vermesidir.

Demir-(II) için şelatlama maddesi olan kalsiyum fitat/kalsiyum bikarbonat sıklıkla kullanılmış bir yöntemdir ve aşındırıcı DMM için etkili bir işlemdir. Ancak bu işlem sulu olarak uygulanan ve mürekkeplerdeki diğer geçiş metal iyonlarının neden olduğu korozyonu ele almayan bir yöntemdir. Tetrabütil amonyum bromür (TBAB) olmak üzere yeni antioksidan işlemler avantajlı yönleriyle literatürde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Avantaj sağlayan yönü metale özgü olarak uygulanmaması ve sulu olmayan şekilde uygulanabilir olmasıdır. Bu antioksidan, yalnızca demir iyonlarını değil, aynı zamanda diğer geçiş metal katalizörlerini özellikle bakır kaynaklı korozyonda olumlu bir değişiklik yaratma potansiyeline sahiptir. Bakır iyonları demir-mazı mürekkeplerinde ya demir tuzlarındaki safsızlıklar olarak ya da birçok tarihi reçetede ayrı bileşenler olarak bulunmaktadır (Maitland, 2009: 37).

Kolar & ark. (2003), ilk kez DMM içeren kâğıdı stabilize etmek için antioksidan olarak halojenürlerin kullanımını önermişlerdir. TBAB'nin sulu çözeltisinin, selüloz depolimerizasyonunu kalsiyum fitattan daha yüksek bir oranda önlediğini araştırmalarıyla ortaya koymuşlardır (s. 764-769).

TBAB, klorür ve dodesitrimetil amonyum bromür, DMM içeren numunelere sulu veya diklorometan çözeltileri içinde eklendiğinde güçlü bir dengeleyici etki gösterdiği saptanmıştır. Ancak bu dengeleyici etkinin mekanizması henüz açıklığa kavuşturulmamıştır. Ayrıca TBAB'nin malahit ve bakır pası gibi bakır içeren belgelerin stabilizasyonu için de etkili olduğu rapor edilmiştir (Malešič, Kočar & Fabjan, 2012: 119).

Malešič, Kočar & Fabjan (2012), antioksidan TBAB ile emprenyeye edilmiş kâğıtların temasıyla geçiş metalleri içeren

kâğıtların bozulmasını yavaşlatma olasılığını incelemişlerdir. Önerdikleri işlemde, bağıl nem %65’de ve başlangıçtaki pH değeri 7’nin üzerinde olan veya geçmişte zaten asitliği giderilmiş belgeler üzerinde kullanılabileceği, %95 bağıl nemde ise pH değeri 7’nin altında olan ve kâğıdın çeşitli çözeltilere daldırılması veya ıslak halde elleçlenmesi nedeniyle bozulma riskinin çok yüksek olduğu belgeler için uygulanabileceğini test etmişlerdir. Ancak bu önerilen koruma işleminin tarihi belgelerde kullanımının güvenli olarak kabul edilebilmesi için çok daha fazla örnek üzerinde çalışma yapılmasının gerekli olduğu vurgulanmıştır (s. 119-123).

Poliamidoaminler

Isca & ark. (2019), kâğıt el yazmalarının korunmasına yönelik yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşıma göre hem kâğıt asitsizleştirilmekte hem de yapısal olarak güçlendirilmektedir. Çalışma, alkol gruplarıyla işlevselleştirilmiş poliamidoaminler (PAAOH), onların doğal formu (PAAb) veya borik asitle nötralize edilmiş hali (PAAAn) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PAAOH’lar ile asit giderme işlemi ilk olarak mürekkepsiz kâğıt numuneleri üzerinde, daldırma ve sert agar jel transferi ile karşılaştırılarak test edilmiştir. pH=7,0-8,3 değerlere eşit derecede etkili bir şekilde ulaşıldığı belirtilmiştir. Mürekkepli kâğıt numuneleri üzerindeki asit giderme işlemleri fırçalama veya hidroalkollü çözeltide PAAb ve PAAAn ile agar jel transferi yoluyla elde edilmiştir. Agar jelinin temas yoluyla transferi, numunelerin yüzeyinde PAAOH’lerin daha homojen bir şekilde salınmasına yol açtığı belirtilmektedir. İşlem sonunda, PAAb ve PAAAn’nın uygulanması DMM lekelerini değiştirmedeği veya lekelemediği, bunları sulu ortamda çözünmekten ve hızlandırılmış termohigrometrik yaşlanmadan koruduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, mürekkep lekelerinin ortasında, kenarında ve mürekkepsiz alanlarda ölçülen yüzey pH’ı, düşük polimer konsantrasyonuna sahip çözeltilerle (yani 0,1 M veya 0,15 M PAAOH, fırçalama veya agar jel ile) asit gidermenin sadece

mürekkepsiz alanlar için yeterli olabileceği vurgulanmıştır. Mürekkepli alanlarda da uygun asit giderme elde etmek için daha yüksek polimer konsantrasyonları (yani 0,3 M) veya işlemin tekrarlanmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Tüm bu işlemler sonunda yapılan çekme testlerinde hem mürekkepsiz ve hem de mürekkepli kontrol kâğıt örneklerinde fiziksel olarak önemli bir fark olduğu saptanmıştır (s. 1293).

Dietilentriamin pentaasetik asit

Wagner & Bulska (2003), demir-mazı mürekkebinde bulunan demir iyonlarının bir kısmının çıkarılarak yazılı belgelerdeki aşındırıcı süreçlerin yavaşlatılabileceği yeni bir yöntemin geliştirilmesinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, pH=9'da kullanılan dietilentriamin pentaasetik asidin koruma işlemlerinde kompleks oluşturuıcı maddeler arasında en iyi ligand olarak bulunduğunu saptamışlardır. Dietilentriamin pentaasetik asit, model olan örneklerden aktif demir iyonlarının çıkarılmasının yanı sıra aynı zamanda kalan demir miktarının kararlı bir kompleks şeklinde deaktivasyonuna da izin verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, Cu ve Mn gibi diğer metal komplekslerinin de dietilentriamin pentaasetik asit ile yüksek kararlılık sabitlerinin de önemli olduğu sonucuna varmışlardır (s. 1152).

Sulu Olmayan Yöntemler

Sulu olmayan işlemlerin kullanılması sulu yöntemin sağladığı bazı faydaları sağlamamaktadır, ancak boyutsal gerilim veya ortamın akma riski de çok az olmaktadır. Ek olarak, susuz işlemlerde ortam rengi değişiminin daha küçük olması muhtemeldir (Maitland, 2009: 40).

DMM içeren belgelerdeki herhangi bir bölgesel onarım, mümkün olduğunca az nemle gerçekleştirilmelidir, çünkü çok fazla nem mürekkepteki demir-II iyonlarının ve asitlerin çevredeki kâğıda

geçmesine neden olmaktadır. Mürekkep, demir ve bakır içeren pigmentler ile çalışılırken sulu olmayan çözücülerde çeşitli antioksidanların kullanımı son dönemlerde çalışılmaktadır (Guild, Tse & Trojan-Bedynski, 2012: 19).

Araya başka kâğıt ekleme

Araya başka kâğıt ekleme veya sıkıştırma teknikleri, belgenin bazı aktif bileşiklerle emprenye edilmiş bir aralama kâğıdıyla temas ettirilmesinden oluşmaktadır. Daha sonra bu topluluk preslenir ve birkaç gün boyunca yüksek bağıl nemde tutulur. Yüksek bağıl nemin etkisiyle, aktif bileşiklerin belgeye göç etmesi sağlanır. Bu koşulların orijinal el yazmalarında kullanılması şüphelidir. Birincisi, kâğıt yüksek bir neme maruz kalırsa mürekkep göçü riski artmaktadır. İkincisi, yüksek bir basınç kâğıt yüzeyini düzleştirme eğiliminde olacaktır. Bu da filigranlı veya kuru damgalı kâğıtlarda zarara neden olabilecektir (Rouchon & ark., 2013: 1340). Rouchon & ark. (2013), araya başka bir kâğıt ekleme yöntemi ile yaptıkları çalışmada, modern yaşlandırılmış kâğıtlarda olumlu sonuçlar alsa da el yazması eserler için bu yöntemin uygulanmasının bazı çekincelere sahip olduğunu ve daha fazla araştırılma yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır (s. 1346).

Sonuç

DMM, tarihi bilgilerin ve çizimlerin destek malzemesine aktarılmasında uzun bir dönem boyunca vazgeçilmez bir yazı malzemesi olarak kullanılmıştır. Çok sayıda kültürel miras niteliğindeki el yazması DMM'yi içermektedir. DMM'nin içeriğinde bulunan tanik asitler ve demir sülfatın kendisi asidik özelliğe sahiptir. Yani, mürekkep ilk hazırlandığı esnada havanın oksijeniyle birlikte bozulma davranışı göstermeye meyilli haldedir. Kullanılan malzemelerin saflığı (diğer geçiş iyonlarını içerip içermediği) ve destek malzemesinin bileşimi gibi etkenler de bu bozulma sürecinde aktif rol oynamaktadır. DMM'nin kâğıt gibi bir destek malzemesine

aktarıldıktan sonra bozulma süreci devam etmekte ve kâğıdın selüloz oksidasyonuna sebep olmaktadır.

DMM içeren el yazmalarının koruma-onarım çalışmaları için daha az girişimsel ve daha çevre dostu işlemlere ihtiyaç vardır. Uygulanan herhangi bir koruma işlemi demir-mazı mürekkebinin orijinal bileşimini geri döndürülemez bir şekilde değiştirebilmektedir. Koruma amacıyla uygulanan ligandların tercihen kâğıttan kolayca çıkarılabilir ve demirle kararlı kompleksler oluşturulabilir olması beklenmektedir. Kompleksler geniş bir pH aralığında kararlı olmalı, ancak mürekkep bileşiklerinden daha az kararlı ve renksiz olmalı, böylece rengi bozmamalıdır. Kâğıt desteğinde bulunan selülozun koruma işlemlerinden etkilenmemesi gereklidir. Son olarak aktif bir koruma işlemi yapılacaksa işlem için hazırlık ve uygulama aşamasının kolay olması önemlidir (Wagner & Bulska, 2003: 1149). Son yapılan çalışmalarla farklı kimyasalların kullanımı denenmekte ve uygun olan bir çözücü sistemi bulunmaya çalışılmaktadır. Ancak standart bir koruma-onarım işleminin olmaması bu mürekkebin kimyasının karmaşıklığından dolayı zor bir hal almaktadır. O nedenledir ki, herhangi bir aktif koruma işleminden önce yazılı mirasımızın korunması için gerekli önleyici tedbirlerin alınması elzem olmaktadır.

DMM içeren el yazmalarının korunması, onarılması ve gelecek nesillere aktarımı için koruma-onarım uzmanları ve bilim insanları sürekli olarak işbirliği içinde çalışmalıdır. Böylece değerli bilgileri içeren ve kültürel mirasımızda önemli bir yere sahip belge ve kitapların korunması elbirliğiyle sağlanacaktır.

Kaynakça

Albertin, F., Patera, A., Jerjen, I., Hartmann, S., Peccenini, E., Kaplan, F., Stampanoni, M., Kaufmann, R. & Margaritondo, G. (2016). Virtual reading of a large ancient handwritten science book. *Microchemical Journal*, 125, 185-189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2015.11.024>.

Alkan, R., Torgan, E. & Karadag, R. (2017). The Investigation of antifungal activity and durability of natural silk fabrics dyed with madder and gallnut. *Journal of Natural Fibers*, 14 (6), 769-780. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2017.1279101>.

Boyatzis, S. C., Velivasaki, G. & Malea, E. (2016). A study of the deterioration of aged parchment marked with laboratory iron gall inks using FTIR-ATR spectroscopy and micro hot table. *Heritage Science*, 4 (13). Doi: 10.1186/s40494-016-0083-4.

Bulska, E. & Wagner, B. (2004). A study of ancient manuscripts exposed to iron-gall ink corrosion. Damià Barceló (Ed.), *Comprehensive Analytical Chemistry içinde* (s. 755-788). Elsevier.

Burgaud, C., Rouchon, V., Wattiaux, A., Bleton, J., Sabot, R. & Refait, P. (2010). Determination of the Fe(II)/Fe(III) ratio in iron gall inks by potentiometry: A preliminary study. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 650, 16-23. Doi: 10.1016/j.jelechem.2010.09.015.

Burgio, L. Clark, R. J. H. & Hark, R. R. (2010). Raman microscopy and X-ray fluorescence analysis of pigments on medieval and Renaissance Italian manuscript cuttings. *PNAS*, 107 (13), 5726-5731. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0914797107.

Corregidor, V., Viegas, R., Ferreira, L. M. & Alves, L. C. (2019). Study of iron gall inks, ingredients and paper composition

using non-destructive techniques. *Heritage*, 2, 2691-2703. Doi:10.3390/heritage2040166.

Duh, J., Krstić, D., Desnica, V. & Fazinić, S. (2018). Non-destructive study of iron gall inks in manuscripts. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 417, 96-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.08.033>.

Faubel, W., Staub, S., Simon, R., Heissler, S., Pataki, A. & Banik, G. (2007). Non-destructive analysis for the investigation of decomposition phenomena of historical manuscripts and prints. *Spectrochimica Acta Part B*, 62, 669-676. Doi:10.1016/j.sab.2007.03.029.

Ferrer, N. & Sistach, M. C. (2013). Analysis of sediments on iron gall inks in manuscripts. *Restaurator*, 34 (3), 175-193. Doi: 10.1515/res-2013-0010.

Ferretti, A., Sabatini, F. & Degano, I. (2022). A model iron gall ink: an in-depth study of ageing processes involving gallic acid. *Molecules*, 27, 8603. <https://doi.org/10.3390/molecules27238603>.

Ghigo, T. & Martinez, M. J. A. (2021). The practice of writing inside an Egyptian monastic settlement: preliminary material characterisation of the inks used on Coptic manuscripts from the Monastery of Apa Apollo at Bawit. *Heritage Science*, 9 (62), <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00541-0>.

Guild, S. Tse, S. & Trojan-Bedynsk, M. (2012). Technical note on treatment options for iron gall ink on paper with a focus on calcium phytate. *J.ACCR (Journal of the Canadian Association for Conservation)*, 37, 17-21.

IFLA (International Federation of Library Associations Institutions). (2020). Iron-gall ink. *PAC North America*, 1-7.

Isca, C., Maggio, R. D., Collado, N. P., Predieri, G. & Lottici, P. P. (2019). The use of polyamidoamines for the conservation of iron-gall inked paper. *Cellulose*, 26, 1277-1296. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2105-8>.

Kanngieger, B., Hahn, O., Wilke, M., Nekat, B., Malzer, W. & Erko, A. (2004). Investigation of oxidation and migration processes of inorganic compounds in ink-corroded manuscripts. *Spectrochimica Acta Part B*, 59, 1511-1516. Doi:10.1016/j.sab.2004.07.013.

Kolar, J., Strlič, M., Budnar, M., Malešič, J. Šelih, V. S. Simčič, J. (2003). Stabilisation of corrosive iron gall inks. *Acta Chim. Slov.*, 50, 763-770.

Lee, A. S., Mahon, P. J. & Creagh, D. C. (2006). Raman analysis of iron gall inks on parchment. *Vibrational Spectroscopy*, 41, 170-175. Doi:10.1016/j.vibspec.2005.11.006.

Lerf, A. & Wagner, F. E. (2016). Model compounds of iron gall inks-a Mössbauer study. *Hyperfine Interact*, 237 (36). Doi: 10.1007/s10751-016-1280-y.

Lerf, A., Wagner, F. E., Dreher, M., Espejo T. & Perez-Rodriguez, J. L. (2021). Mössbauer study of iron gall inks on historical documents. *Heritage Science*, 9 (1). <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00522-3>.

Maciel, A. R. & González, E. D. (2024). Tintas ferrogálicas y su preservación – caso de estudio: los documentos del siglo XVI en el Archivo Histórico Provincial de Santa Cruz de Tenerife. *Conservar Património*, 46, 60-72. <https://doi.org/10.14568/cp30897>.

Maitland, C. (2009). Where archival and fine art conservation meet: applying iron gall ink antioxidant and

deacidification treatments to corrosive copper watercolors. *The Book and Paper Group Annual* 28, 20-23 Mayis, California, 37-45.

Malešič, J., Kočar, D. & Fabjan, A. B. (2012). Stabilization of copper- and iron-containing papers in mildly alkaline environment. *Polymer Degradation and Stability*, 97, 118-123. Doi:10.1016/j.polymdegradstab.2011.09.025.

Manso, M., Cardeira, A. M., Silva, M., Gac, A. L., Pessanha, S., Guerra, M., Caldeira, A. T., Candeias, A. & Carvalho, M. L. (2015). The mysterious halos in iron gall ink manuscripts: an analytical explanation. *Appl. Phys. A*, 118, 1107-1111. Doi: 10.1007/s00339-014-8924-z.

Marín, E., Sistach, M. C., Jiménez, J., Clemente, M., Garcia, G. & García, J. F. (2015). Distribution of acidity and alkalinity on degraded manuscripts containing iron gall ink. *Restaur.*, 36 (3), 229-247. Doi: 10.1515/res-2015-0002.

Melo, M. J., Otero, V., Nabais, P., Teixeira, N., Pina, F., Casanova, C., Fragoso, S. & Sequeira, S. O. (2022). Iron-gall inks: a review of their degradation mechanisms and conservation treatments. *Heritage Science*, 10 (145). <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00779-2>.

Možir, A., Gonzalez, L., Cigić, I. K., Wess, T. J., Rabin, I., Hahn, O. & Strlič, M. (2012). A study of degradation of historic parchment using small-angle X-ray scattering, synchrotron-IR and multivariate data analysis. *Anal Bioanal Chem.*, 402, 1559-1566. Doi: 10.1007/s00216-011-5392-6.

Neevel, J. G. (1995). Phytate: a potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron gall inks. *Restaurator*, 16, 143-160.

Oubelkacem, Y., Lamhasni, T., Bakkali, A. E., Lyazidi, S. A., Haddad, M. & Ben-Ncer, A. (2021). Parchments and coloring

materials in two IXth century manuscripts: On-site non-invasive multi-techniques investigation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 247, 119093. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119093>.

Panda, S. S., Singh, N. & Singh, M. R. (2021). Development, characterization of traditional inks for restoration of ancient manuscripts and application on various substrates to understand stability. *Vibrational Spectroscopy*, 114, 103232. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2021.103232>.

Rabin, I. (2021). Material studies of historic inks: transition from carbon to iron-gall inks. Lucia Raggetti (Ed.), *Traces of Ink: Experiences of Philology and Replication* içinde (s. 70-78). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004444805_006.

Reißland, T. B. & Hofenk de Graaff, J. (2001). Condition rating for paper objects with iron-gall ink. *Instituut Collectie Nederland*, No: 1.

Rouchon-Quillet, V., Remazeilles, C., Bernard, J., Wattiaux, A. & Fournes, L. (2004). The impact of gallic acid on iron gall ink corrosion. *Appl. Phys. A*, 79, 389-392. Doi: 10.1007/s00339-004-2541-1.

Rouchon, V., Durocher, B., Pellizzi, E. & Stordiau-Pallot, J. (2009). The water sensitivity of iron gall ink and its risk assessment. *Studies in Conservation*, 54, 236-254. Doi: 10.1179/sic.2009.54.4.236.

Rouchon, V., Duranton, M., Burgaud, C., Pellizzi, E., Lavédrine, B., Janssens, K., de Nolf, W., Nuyts, G., Vanmeert, F. & Hellemans, K. (2011). Room-temperature study of iron gall ink impregnated paper degradation under various oxygen and humidity conditions: time-dependent monitoring by viscosity and X-ray

absorption near-edge spectrometry measurements. *Anal. Chem.*, 83 (7), 2589-2597. Doi: 10.1021/ac1029242.

Rouchon, V., Duranton, M., Belhadj, O., Bastier-Deroches, M., Duplat, V., Walbert, C. & Hansen, B. V. (2013). The use of halide charged interleaves for treatment of iron gall ink damaged papers. *Polymer Degradation and Stability*, 98, 1339-1347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.03.028>.

Smith, C. (2007). George Washington's last will and testament: conservation and rehousing. *Journal of the American Institute for Conservation*, 46 (1), 15-26.

TDV (Türkiye Diyanet Vakfı) (2006). Mürekkep. *İslam Ansiklopedisi*, 32. Cilt, 46-47.

Tiamiyu, Q. O., Adebayo, S. E. & Yusuf, A. A. (2023). Gum Arabic edible coating and its application in preservation of fresh fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry Advances*, 2, 100251. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100251>.

Torgan Güzel, E., Karadağ, R. & Alkan, R. (2019). Durability, antimicrobial activity and HPLC analysis of dyed silk fabrics using madder and gall oak. *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1588827>.

Torgan Güzel, E., Karadağ, R. & Baydar, N. (2023). Characterization of materials in the late 15th-century animal encyclopedia at an Ottoman Library and detection of deterioration products by HPLC–DAD. *Heritage Science*, 11 (129). <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00968-7>.

Virro, K., Mellikov, E., Volobujeva, O., Sammelselg, V., Asari, J., Paama, L., Jürgens, J. & Leito, I. (2008). Estimation of uncertainty in electron probe microanalysis: iron determination in manuscripts, a case study. *Microchim Acta*, 162, 313-323. Doi: 10.1007/s00604-007-0821-0.

Völkel, L., Prohaska, T. & Potthast, A. (2020). Combining phytate treatment and nanocellulose stabilization for mitigating iron gall ink damage in historic papers. *Heritage Science*, 8 (86). <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00428-6>.

Wagner, B. & Bulska, E. (2003). Towards a new conservation method for ancient manuscripts by inactivation of iron via complexation and extraction. *Anal. Bioanal. Chem.*, 375, 1148-1153. Doi: 10.1007/s00216-003-1819-z.

Wagner, B. & Czajka, A. (2021). Non-invasive approximation of elemental composition of historic inks by LA-ICP-MS measurements of bathophenanthroline indicators. *Talanta*, 222, 121520. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121520>.

Wagner, B., Bulska, E., Hulanicki, A., Heck, M. & Ortner, H. M. (2001). Topochemical investigation of ancient manuscripts. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 369, 674-679.

Wagner, B., Bulska, E., Stahl, B., Heck, M. & Ortner, H. M. (2004). Analysis of Fe valence states in iron-gall inks from XVIth century manuscripts by ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 527, 195-201. Doi:10.1016/j.aca.2004.04.011.

Zamorano, G. M. C. (2018). The presence of iron in inks used in Valencian manuscripts from the 13th to 17th century. *Microchemical Journal*, 143, 484-492. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.07.043>.

ÇÖZÜCÜLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ-ÖNEMİ VE KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA KULLANILAN ÇÖZÜCÜLER

SERAP ÖZDEMİR¹

Giriş

Çözücüler (çözücüler) (Latince *solvō*: “çözmek, gevşetmek”), insanlık tarihi boyunca yalnızca kimyasal süreçlerin değil, aynı zamanda medeniyetlerin gelişiminin de merkezinde yer almıştır. İlk çözücü olan su, yalnızca yaşamın temeli değil, aynı zamanda tarih boyunca dini, tıbbi ve endüstriyel pek çok uygulamanın da ana bileşeni olmuştur. Antik çağlardan bu yana etanol, sirke ve bitki özütleri gibi çözücüler, ilaç yapımında, boyaların hazırlanmasında ve çeşitli arındırma işlemlerinde kullanılmıştır. Simyacılardan modern kimyacılar uzanan bu yolculukta, çözücüler sadece maddeleri çözmekle kalmamış, aynı zamanda bilgi ve teknolojinin çözümleyici gücünü de temsil etmiştir.

Zamanla sentetik çözücülerin keşfi ve kimya endüstrisinin gelişimiyle birlikte, çözücülerin kullanımı bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Ancak bu gelişmeler,

¹ Öğretim Görevlisi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, Orcid: 0000-0002-7670-9089.

çözücülerin çevresel ve biyolojik etkileri üzerine önemli soruları da beraberinde getirmiştir. Bugün geldiğimiz noktada, çözücü seçimi yalnızca etkinliğe değil, aynı zamanda insan sağlığına ve çevreye duyarlılığa göre yapılmaktadır.

Bu tarihsel ve kimyasal arka plan, çözücülerin yalnızca bilimsel bağlamda değil, aynı zamanda kültürel varlıkların korunması gibi hassas alanlarda da neden dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle konservasyon bilimi, çözücülerin seçimi ve kullanımı konusunda hem kimyasal bilgiye hem de etik sorumluluğa dayanan çok boyutlu bir yaklaşım gerektirir. Bu bağlamda, bu çalışmada öncelikle çözücülerin tanımı, sınıflandırılması ve tarihsel gelişimi ele alınacak, ardından konservasyon uygulamalarındaki rolleri ve koruma alanında kullanılan çözücüler incelenecektir.

Çözücüler ve Çözücülerin Tarihsel Gelişimi

Çözücü genellikle sıvıdır, ancak katı, gaz veya süperkritik bir sıvı da olabilir. Bu tanımdan yola çıkarak, 3,8 milyar yıl önce okyanusların, suyun sodyum klorürü çözen ilk çözücü olması sayesinde oluştuğunu düşünebiliriz. Şüphesiz, gezegenimizde yaşamın ortaya çıkışı, metan, amonyak, hidrojen ve oksijen içeren ilkel bir ortamın varlığıyla mümkün olmuştur. Bu ortam, biyolojik açıdan önemli moleküllerin, yani amino asitlerin, şekerlerin ve nükleik asitlerin oluşumunu sağlamıştır.

Hayat formlarının evrimi, nihayetinde insanların gezegende varlık göstermesine yol açmış, zamanla Homo sapiens tüm dünya üzerinde egemen tür haline gelmiştir. Bu gelişmelerin her aşamasında su, insan türünün hayatta kalması ve gelişmesi için kritik bir rol oynamıştır. Loren Eiseley'in de dediği gibi, "Eğer bu gezegende sihir varsa, suyun içinde bulunur." Gerçekten de tüm büyük medeniyetler, Nil, İndüs veya Dicle-Fırat gibi önemli nehirler etrafında gelişmiştir. Su, yalnızca yaşamı başlatmakla kalmamış;

aynı zamanda bedenlerimizin, ekonomimizin, ulusumuzun ve refahımızın da can damarını oluşturmuştur – Stephen Jones’un “Su, bedenlerimizin, ekonomimizin, ulusumuzun ve refahımızın can damarını oluşturur” sözleriyle ifade edildiği gibi (Mainkar, Ray, & Chandrasekhar, 2024: 7271).

İnsan hastalıklarına yönelik erken tedavi örnekleri, hastaların doğal ürün özleriyle tedavi edilmesini kaydeder. Bu zler; bitkilerin kök, kabuk ve meyve gibi çeşitli kısımlarından veya hayvanların organ ve organ bileşenlerinden elde edilmiştir. Çoğunlukla su gibi basit bir çözücü içinde hazırlanan bu doğal zler, gezegenimizdeki tüm yaşamın büyüme ve remesinden sorumlu olan çözücülerin önemini açıkça ortaya koyar.

Su, tarih boyunca hem biyolojik süreçlerde hem de kimyasal reaksiyonlarda temel bir çözücü olarak hayati rol oynamıştır. Su dışında etil alkol ve asetik asit gibi organik maddelerin de erken dönemlerde yaygın çözücüler olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir. İlk zamanlarda etkili sıvılar genellikle “kutsal su” olarak adlandırılmış ve “su” terimi genel olarak sıvı maddeleri ifade etmiştir. Simyacılar, felsefe taşının yanı sıra tüm maddeleri çözebilecek evrensel çözücü “alkahest”i aramış, bu arayış Paracelsus gibi bilim insanlarının çalışmalarında da yer bulmuştur. Her ne kadar bu madde keşfedilememiş olsa da, bu çabalar modern kimyanın gelişimine, laboratuvar tekniklerinin ilerlemesine ve “Benzerler benzerleri çözer” ilkesinin ortaya çıkmasına katkı sağlamıştır (Wypych, 2001: 7).

Çözücülerin tarihi, dördüncü ve beşinci yüzyılda Hindistan ve Çinli simyacılardan daha iyi tedavi yöntemleri bulmak için doğal kaynaklar kullandığı döneme kadar uzanır. Bu dönemde bitkiler ve mineraller kaynar su ve alkolle ztlenmiştir. Daha sonra, Mısır ve Yunan simyacılardan renkler ve boyalar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. zclerle ilgili ilk kanıtlar ise, etanol (alkol)

kalıntılarının 13.000 yıl öncesine ait bir arkeolojik alanda, İsrail'in Hayfa yakınlarında bulunan bir yerleşimde ve Shangshan kültürü²ne ait çömlek kaplardaki mikro-fosil kalıntıları, yaklaşık 10.000 yıl önce pirinç bazlı fermantasyonla üretilen alkollü içeceklerin varlığının gözlemlenmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu, çözücüler tarihinin başlangıcını işaret eden önemli bir bulgudur (Liu, Zhang, Li, & Jiang, 2024: 1; Mainkar, Ray, & Chandrasekhar, 2024: 7272).

“Alkol” kelimesi, Arapça “Al-Kohl” veya “Al-Kohol” kelimelerinden türetilmiştir. Alkol, antik medeniyetlerde dini ritüellerde kullanılmış ve zamanla uyuşturucu etkisi keşfedilmiştir. Etil alkolün sedatif olarak kullanımı, antik Mezopotamya’da ağrı kesici olarak kaydedilmiştir. Ancak, alkolün aşırı kullanımı, bağımlılık ve karaciğer hastalıklarına yol açmış, bu da daha güvenli ağrı kesicilerin arayışına neden olmuştur (Mainkar, Ray, & Chandrasekhar, 2024: 7272).

Sentetik etanol ilk olarak 1825 yılında Michael Faraday tarafından hazırlanmıştır. Faraday, sülfürik asidin büyük miktarlarda kömür gazını emebileceğini keşfetmiştir. Elde ettiği çözeltinin analizini yapması için bunu İngiliz kimyager Henry Hennell’e vermiştir. 1826 yılında William Hennell, etanol ile sülfürik asidin tepkimesinden oluşan çözeltide **etil hidrojen sülfat ($C_2H_5OSO_3H$)** bileşiğini belirlemiştir. Bu bileşik, o dönemde sülfovinikasit olarak da adlandırılmıştır. 1828 yılında ise Hennell ve Fransız kimyager Georges-Simon Sérullas, sülfovinikasinin etanole ayrışabileceğini bağımsız olarak keşfetmişlerdir. Böylece, 1825’te Faraday, etilenin (kömür gazının bir bileşeni) asidik katalizli hidrasyon yoluyla etanol üretmek için kullanılabileceğini fark etmeden keşfetmiş ve bu süreç günümüz endüstriyel etanol sentezine benzer bir yöntem olarak tarihe geçmiştir (Raja & Sivamani, 2023: 63).

² Çin'in Zhejiang bölgesinde, yaklaşık **M.Ö. 11.000 – 8.000** yılları arasında yaşamış erken Neolitik bir kültürdür.

Daha sonra, **etil alkol** (C_2H_5OH)'ün yerini almak amacıyla iki önemli çözücü geliştirilmiştir: **kloroform** ($CHCl_3$) ve **dietyl eter** ($C_2H_5OC_2H_5$). Ether, 1846'da anestezik olarak kullanılmaya başlanmış, kloroform ise 1847'de yaygınlaşmıştır. Benzin ve türevleri, çözünürlük özellikleri nedeniyle kimya alanında önemli yer tutmuş, ancak toksik etkileri nedeniyle kullanım alanları azalmıştır. **Eter** sınıfı çözücülerden **tetrahidrofuran** (THF, C_4H_8O), **organik sentezde yaygın olarak kullanılan** bir çözücüdür. Aromatik bileşiklerin keşfiyle birlikte benzen, zamanla çözücü olarak yaygınlaşmış, ancak kanserojen etkileri nedeniyle kullanımı kısıtlanmıştır. Aseton, 1606 yılında ilk kez elde edilmiş ve çeşitli endüstriyel süreçlerde kullanılmıştır. Ayrıca, **etil asetat** ($CH_3COOC_2H_5$) ve **dimetilformamid** (DMF, $HCON(CH_3)_2$) gibi çözücüler de, **organik bileşenlerin çözünürlük özelliklerini artırmak** amacıyla yaygın şekilde kullanılmıştır. Son yıllarda, daha çevre dostu ve verimli çözücüler olarak perfloro çözücüler³ ve iyonik sıvılar gibi yeni çözücüler geliştirilmiştir (Mainkar, Ray, & Chandrasekhar, 2024: 7272).

Sanayi Devrimi'yle birlikte kimya endüstrisinin hızla gelişmesi, pek çok yeni maddenin sentezlenmesine ve yaygın kullanımına yol açmıştır. Ancak bu gelişmeler, çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkiler tam olarak anlaşılmadan gerçekleşmiştir. Zamanla oluşan toplumsal farkındalık ve yasal düzenlemeler, çözücüler gibi maddelerin üretimi ve kullanımında daha temkinli ve denetimli yaklaşımları zorunlu kılmıştır. Bu süreç, kimyasal maddelerin risklerinin her birine özel olarak değerlendirilmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur.

³ Karbon-hidrojen bağlarının yerini tamamen karbon-flor bağlarının aldığı, kimyasal olarak kararlı, düşük yüzey gerilimli ve genellikle uçucu olan sıvı çözücülerdir.

Çözücülerin Önemi

Kimyasal reaksiyonlar gaz, sıvı veya katı halde gerçekleşebilir. Ancak çoğu kimyasal dönüşüm, sıvı fazda, yani çözelti içinde yapılır. Bunun en önemli nedeni, sıvıların ısıyı kolayca iletebilmesi ve reaktanların (tepkimeye giren maddeler) çözünmesini sağlamasıdır. Çözücüler, katı maddelerin yapısını bozarak çözünmesini sağlar, gaz ve sıvı maddeleri çözerek reaksiyon için uygun hale getirir. Ayrıca, kimyasal tepkimelerin hızını ve dengesini etkileyebilirler. Reaksiyona giren maddeler ve ürünler çözücüyle etkileşime girerek farklı sonuçlar ortaya çıkarabilir. Bu nedenle, bir reaksiyonun başarılı olması için yalnızca reaktanların türü, sıcaklık veya katalizör değil, aynı zamanda uygun bir çözücünün seçimi de büyük önem taşır. Çözücünün özellikleri, reaksiyonun verimini ve oluşacak ürünlerin dağılımını doğrudan etkileyebilir (Wypych, 2001: 1).

Kimyasal bir reaksiyonun başarıyla gerçekleşmesi, yalnızca doğru reaktanların seçimi, uygun reaksiyon kapları ve ideal sıcaklık koşullarının sağlanmasıyla sınırlı olmayıp, aynı zamanda en kritik unsurlardan biri de uygun bir çözücünün seçilmesidir. Çözücüler, reaksiyonun hızı, dengesi ve mekanizması üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu nedenle çözücü seçimi, kimyasal süreçlerde dikkate alınması gereken temel bir faktördür. Çözücülerin kimyasal reaktivite üzerindeki etkileri, bir yüzyıldan uzun süredir bilinmektedir. Bu etkiler yalnızca kimyagerleri değil, çözücülerini kullanan tüm meslek gruplarını ilgilendiren bir konudur. Bugün yaklaşık üç yüz yaygın çözücü bulunmaktadır ve bunların yanı sıra sayısız çözücü karışımı mevcuttur. Bu çeşitlilik, doğru çözücüyü seçmeyi hem önemli hem de karmaşık bir hale getirmektedir. Çözücülerin seçimi, sezgisel yaklaşımların ötesine geçmeli; bilimsel verilere dayanan genel kurallar ve rehber ilkelerle desteklenmelidir. Kimyagerlerden mühendis ve laboratuvar teknisyenlerine kadar geniş bir profesyonel yelpaze, çözücü seçimini bilinçli ve dikkatli bir

şekilde yapılmalıdır. Bu sayede kimyasal süreçlerin verimliliği artırılabilir ve istenmeyen yan etkiler en aza indirilebilir (Reichardt & Welton, 2011).

Çözücü Türleri ve Sınıflandırılması

Aşağıdaki tablo (Tablo 1) çözücülerin çeşitli sınıflandırma kriterlerine göre nasıl gruplandığını net bir şekilde sunmakta ve bu sınıflandırmanın kimyasal ve endüstriyel süreçlerdeki önemini vurgulamaktadır. Çözücüler, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olup, her bir özellik onların çözünürlük kapasitesini, reaktivitesini ve çevreyle olan etkileşimlerini belirler. Bu nedenle, Çözücülerin doğru bir şekilde sınıflandırılması hem araştırma hem de uygulama alanlarında doğru seçimlerin yapılmasını sağlar.

Tablo 1 Çözücülerin Sınıflandırılması.

Sınıflandırma Kriteri	Sınıflandırma Yöntemi	Açıklama
Fiziksel Özellikler	Dielektrik Geçirgenlik, Dipol Momenti, Polarite, Viskozite, Erime ve Kaynama Noktası	Bu özellikler, çözücünün elektriksel ve fiziksel davranışlarını belirler.
Kimyasal Özellikler	Asidik, Bazik veya Amfiprotik	Çözücüler, asidik, bazik veya amfiprotik özelliklere göre sınıflandırılır.
Kimyasal Yapı	Hidrokarbonlar	Alifatik, aromatik ve türevleri, genellikle apolar çözücülerdir.
	Oksijen İçeren Çözücüler	Alkoller, esterler, eterler, ketonlar gibi polar çözücüler.
	Azot İçeren Çözücüler	Aminler, nitriller, amidler gibi polar ve bazik çözücüler.
	Kükürt İçeren Çözücüler	Sülfoksitler, sülfonlar gibi polar çözücüler.
Solvatokromik Özellikler	α (Proton Verme), β (Hidrojen Bağı Alabilme), π (Polarite)	Solvatokromik parametreler, çözücünün davranışını tanımlar ve

		sınıflama yaparken kullanılır.
Çözücü Türü	Alifatik Hidrokarbonlar	Genellikle apolar ve düşük reaktiviteye sahip çözücüler.
	Aromatik Hidrokarbonlar	Polarite ve çözücü özellikleri daha yüksek, toksik özellikler gösterebilen çözücüler.
	Alkol ve Eterler	Oksijen içeren çözücüler, kutuplu özelliklere sahip.
	Ketonlar ve Esterler	Daha yüksek polarite ve çözünürlük kapasitesine sahip çözücüler.
Çevre Dostu Çözücüler (Yeşil Çözücüler)	Biyolojik Kaynaklı Çözücüler	Bitkisel ve hayvansal kökenli çözücüler. Biyolojik olarak sürdürülebilir ve çevre dostudur.
	Süperkritik Sıvılar	Süperkritik CO ₂ gibi sıvılar, çevreye duyarlı çözücülerdir.
	Sıvılaştırılmış Gazlar	Sıvılaştırılmış gazlar (örneğin, sıvılaştırılmış amonyak) çevre dostu çözücüler arasında yer alır.

Kaynak: (Wypych, 2001)

Çözücüler, kimyasal işlemler ve çeşitli endüstriyel uygulamalar için temel bileşenler arasında yer alır. Geçmişte, uygun çözücünün belirlenmesi büyük ölçüde deneyime dayalıydı ve genellikle deneme-yanılma yöntemiyle bulunuyordu. En geleneksel yaklaşım olan ‘benzer benzeri çözer’ ilkesi kimyacılar tarafından en çok benimsenen prensip olmuştur. Konservasyon uygulamalarında da çözücü seçimi genellikle "benzer benzeri çözer" ilkesine dayanır. Bu ilke, çözücü ve çözünen madde arasındaki moleküler etkileşimlerin benzerliği üzerine kuruludur. Ancak bu yaklaşım her zaman geçerli değildir, çünkü çözünme süreci yalnızca bu etkileşimlerle (entalpi) açıklanamaz. Termodinamik açıdan bakıldığında, çözünme iki temel faktöre bağlıdır: **entalpi** ve **entropi**. Entalpi, çözücü ile çözünen

madde arasındaki etkileşimlerin gücünü belirlerken; entropi, çözünen maddenin sıvı içinde dağılma ve karışma eğilimini, yani çözünmenin gerçekleşme hızını belirler. Pratikte, entropi genellikle göz ardı edilse de, çözünmenin itici gücü çoğu zaman entropik katkıdır. Dolayısıyla, çözücü seçimi yapılırken sadece kimyasal benzerliklere değil, çözünmenin termodinamik bütünlüğüne—yani hem entalpiye hem de entropiye—dayalı değerlendirme yapılmalıdır (Zumbühl, 2019: 1).

Zamanla, kimyagerler ve fizikokimyagerler, çözünme süreçlerini daha iyi anlamak ve çözücü seçiminde bilimsel bir temel oluşturmak amacıyla çalışmalar yürütmüşler ve ilk olarak, çözücülerin kimyasal yapıları incelenerek *apolar çözücüler*, *aprotik polar çözücüler* ve *protik polar çözücüler* olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. Çözücülerini sınıflandırmanın evrensel ve tek bir sistemi bulunmadığı ve böyle bir sistem oluşturmanın imkansızlığı sebebiyle bilim insanları bu sınıflandırmayı daha da geliştirerek çözücülerin özelliklerini daha ayrıntılı şekilde tanımladılar (Tablo 2) (Durand, Molinier, Kunz, & Aubry, 2011: 5155).

Bunlardan bazıları;

Tablo 2 Çözücülerin Teorik Parametrelere Göre Sınıflandırılması.

Sınıflandırma Şeması	Kriterler	Açıklama
Kolthoff-Reichard Sınıflandırma	Dielektrik sabiti, dipol momenti, hidrojen bağı oluşturma yeteneği	Çözücüler, dielektrik sabiti ve dipol momenti gibi fiziksel özellikler ile asidik, bazik veya amfiprotik özelliklere göre sınıflandırılır.
Taft-Kamlet-Abboud Solvatokromik	Polarite (π^*), proton verme yeteneği (α), hidrojen bağı alabilme (β)	Çözücüler, genel polarite, proton verebilme kapasitesi ve hidrojen bağı oluşturabilme kapasitelerine göre sınıflandırılır.
Parker Sınıflandırma	Proton verme veya alma yeteneği, iyon çözme	Çözücüler, proton verme ya da alma yeteneklerine göre asidik, bazik veya nötr özelliklerde sınıflandırılır.
Chastrette Sınıflandırma	Hidrojen bağı oluşturma kapasitesi, elektron çifti verici yeteneği, polarite, kendi kendine birleşme derecesi	Çözücülerin hidrojen bağı oluşturma kapasitesi, elektron çiftini bağlama yeteneği ve polarite gibi özelliklere göre sınıflandırılır.
Snyder Sınıflandırma	Polarite ve asit-baz etkileşimleri	Çözücülerin polarite ve asit-baz etkileşimlerine göre davranışlarını belirleyen üçgen modeline dayalı bir sınıflandırma yöntemidir.

Kaynak: (Durand & ark., 2011).

Bunlara ek olarak, deneysel verilere dayalı sınıflandırma şemalarını desteklemek amacıyla sıvıların termofiziksel özelliklerini hesaplamaya yönelik yeni hesaplamalı yöntemler geliştirilmiştir (Pushkarova & Kholin, 2012: 1318; Reichardt & Welton, 2011: 65).

Geleneksel çözücü sınıflandırmaları, çözücülerin kimyasal yapıları ve özelliklerine dayanır. Bu sistemler, organik çözücüler ve türevlerinin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak son yıllarda çevre dostu çözücülere yönelik artan ilgi, yeni sınıflandırmaların ortaya çıkmasına yol açmıştır. “Yeşil çözücüler” kategorisi, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir çözücüler için bir alan

açmaktadır. Bu yeni sınıflama, biyolojik kaynaklı çözücüler (bitkisel ve hayvansal kökenli), süperkritik sıvılar (süperkritik CO₂ gibi) ve sıvılaştırılmış gazları içermektedir (Janicka, ve diğerleri, 2022).

Konservasyon uygulamalarında pratikte Snyder'ın üçgen modeli sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle çözücü karışımlarının seçimi, temizlik uygulamaları ve malzeme ile çözücünün etkileşiminin görselleştirilmesi açısından oldukça işlevseldir.

Farklı çözücü sistemleri, çözünürlük özelliklerine (solvatokromik özellikler) göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamalar, çözücünün davranışını anlamak için istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılır. Bu yöntemler arasında temel bileşen analizi, kümeleme analizi ve faktör analizi yer alır. Ancak, bu analizlerin başarısı kullanılan verilerin kalitesine ve algoritmalara bağlıdır. Solvatokromik parametreler (α (Proton Verme), β (Hidrojen Bağ Alabilme), π (Polarite)) arasındaki benzerlikler, çözücüler arasında güvenilir bir ayırım yapmayı zorlaştırabilir. Bu yüzden daha dayanıklı ve güvenilir sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu durum, özellikle koruma alanında doğru çözücü seçimini etkiler (Wypych, 2001: 2).

Çözücülerin Solvatokromik Özellikleri Üzerine

Son yıllarda, solvatokromik parametrelerin kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve bu alanda yeni problemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır. Bu çalışmalar artarken, çözücü davranışlarını daha kapsamlı incelemek amacıyla geleneksel çözücülerin yanı sıra çözücü karışımları, katı yüzeyler, ince filmler, misel çözeltileri ve biyopolimerler gibi daha önce yeterince araştırılmamış sistemler de bilimsel ilgi görmeye başlamıştır.

Polar çözücüler, molekülleri içerisinde *asimetrik elektrik yükü dağılımına* sahip olup, hidrojen bağları ve diğer polar etkileşimler kurabilen, elektrolitlerin çözünmesini sağlayabilen

sıvılardır. En bilinen örneği sudur. Su molekülünde oksijen atomu elektron bakımından zengindir, bu yüzden pozitif yüklü (katyon) maddeleri çekebilir. Diğer taraftan, hidrojen atomları elektron bakımından fakir olduğu için negatif yüklü (anyon) maddeleri çözer. Bazı polar çözücüler, suya benzer şekilde $-OH$ (hidroksil) grubu içerir ve bu çözücüler hidrojen bağları yapabilir. Bu tür çözücüler *protik çözücüler* olarak bilinir. Örneğin, **alkol ($R-OH$)**, **formamid ($HCONH_2$)** ve **asetamid (CH_3CONH_2)** gibi maddeler **protik çözücülerdir**. Diğer polar çözücüler ise *aprotik çözücüler* olarak adlandırılır. Bunlar, hidrojen atomlarına sahip olmayan, ancak büyük dipol momentine sahip sıvılardır. Bu çözücüler, hidrojen bağları kurmazlar. **Asetonitril (CH_3CN)** ve **dimetil sülfoksit ($DMSO, (CH_3)_2SO$)** gibi maddeler, **aprotik çözücülere örnek olarak verilebilir**. Polar çözücüler, *şekerler, amino asitler ve alkoller gibi polar organik bileşikleri* çözmede oldukça etkilidir.

Apolar çözücüler, moleküllerinde belirgin polar veya elektrik yükü taşımayan maddelerdir. Bu özellikleri nedeniyle hidrojen bağları veya diğer güçlü polar etkileşimler oluşturmazlar. Yaygın **apolar çözücüler** arasında **petrol eteri (genellikle düşük karbonlu alkan karışımı, örn. $C_5H_{12} - C_6H_{14}$)**, **heksaklorobütadien (C_4Cl_6)** ve **benzen (C_6H_6)** bulunur. Bu çözücüler, *yağlar, hidrokarbonlar ve diğer apolar organik bileşikleri* çözmek için sıklıkla kullanılır (Fawcett, 2004: 148, 149).

Asidiklik, Bazlık;

Bir çözücünün *asidik* veya *bazik* olması, iyonları nasıl çözüp stabilize ettiğine bağlıdır.

Asidik çözücüler, *elektron çiftlerini alma* yeteneğine sahip olup, *anyonları* (negatif yüklü iyonlar) stabilize eder. Bu çözücüler, çözücünün pozitif ucu ile anyonları çeker ve çözünmelerini kolaylaştırır. Ayrıca, hidrojen bağları kurabilme yeteneği de asidik çözücülerin özelliklerini güçlendirir. Su, bu tür çözücülere örnektir.

Bazik çözücüler ise *elektron çiftlerini verme* kapasitesine sahip olup, *katyonları* (pozitif yüklü iyonlar) stabilize eder. Bu çözücüler, çözücünün negatif ucu ile katyonları çeker ve onları çözücü içinde çözülmeye yardımcı olur. **Amonyak (NH_3) ve dimetilsülfoksit (DMSO , $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$)** gibi çözücüler **bazik özellik gösterir.**

Bu özellikler, çözücünün iyonları nasıl çözüp stabilize edeceğini ve hangi tür iyonları çözebileceğini belirler (Fawcett, 2004: 198).

Hidrojen bağ etkileşimleri; Bir hidrokarbona hidroksil grubunun eklenmesi, söz konusu bileşiğin suda çözünürlüğünü kayda değer biçimde artırabilir. Bu durum, hidroksil grubunun hidrojen bağı oluşturma yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Hidrojen bağları, çözücü ile çözünen moleküller arasında güçlü ara moleküler etkileşimlerin oluşmasına olanak tanıyarak, çözünürlüğün artmasına doğrudan katkı sağlar. Genel anlamda bir maddenin çözünmesi, çözünür maddenin moleküllerinin çözücü ortamda homojen şekilde dağılabilmesiyle mümkün olur. Bu da ancak çözücü ile çözünen arasında yeterli düzeyde etkileşim kurulmasıyla gerçekleşir. Su gibi hidrojen bağı oluşturabilen çözücüler, polar veya hidrojen bağı yapabilen gruplar içeren çözünenlerle etkileşime girerek çözünürlük düzeyini artırır. Buna karşılık, apolar yapıya sahip ve hidrojen bağı kuramayan maddelerle bu tür bir etkileşim gerçekleşemez; dolayısıyla bu maddeler suda düşük çözünürlük gösterir. Çözücü-çözünen etkileşiminde hidrojen bağlarının varlığı ve gücü, çözünürlük düzeyini belirleyen temel faktörlerden biridir (Cooper & Klymkowsky, 2020: 6.3.1).

Su, hidrojen bağları oluşturarak bazı maddeleri çözebilir. Ancak yağlar ve hidrokarbonlar, apolar yapıları nedeniyle su ile hidrojen bağı kuramaz ve bu yüzden çözünmez. Öte yandan, elmas güçlü kovalent bağlardan oluşan kristal bir yapıya sahip olduğu için

suyla etkileşime girmez ve çözünmez. Hidrojen bağları, kovalent bağlara kıyasla daha zayıf etkileşimler olup çözünürlük için daha az enerji gerektirir. Örneğin, alkol ve su arasındaki hidrojen bağları, alkolün hidroksil grubunun su molekülleriyle etkileşime girmesini sağlayarak çözünmesini kolaylaştırır. Sonuç olarak, çözücü ve çözünen moleküller arasındaki hidrojen bağlarının gücü arttıkça çözünürlük de artar.

Çözücülerin Konservasyonda Kullanımı

Çözücüler, konservasyon alanında en yaygın kullanılan kimyasal maddelerden biridir. Konservasyon alanında hem inorganik hem de organik çözücüler, koruma uzmanları tarafından en yaygın kullanılan malzemeler arasındadır. *İnorganik çözücülere* örnek olarak *su* verilebilirken, *organik çözücüler* karbon temelli bileşikler olup kimyasal yapıları temelinde sınıflandırılmaktadır (Fife, 2021: 10).

Çözücüler temizlik işlemlerinde (eski vernik, kir, yağ ve diğer kirlenici maddelerin çözülmesi), malzemelerin güçlendirilmesinde ve antiseptik tedavilerde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, çözelti bazlı yapıştırıcılar ve yüzey kaplayıcılar ve sağlamlaştırıcılar hazırlanmasında da önemli bir rol oynar. Çözücüler, uygun bir madde içinde çözüldüğünde sıvı formda yayılmasına olanak tanır ve buharlaştığında yalnızca katı bileşenlerin kalmasını sağlar. Yapıştırıcılar, çözücü içinde çözüldüklerinde düşük viskoziteye sahip sıvı formuna dönüşerek yüzeye homojen bir şekilde yayılabilir. Çözücünün buharlaşmasıyla yapıştırıcı katılaşır ve yüzeyde bağ oluşturur (Conservation Unit Museums & Galleries Commission., 1992: 48,49).

Çözücü kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılara “*çözelti yapıştırıcıları*” denir. Bu tür yapıştırıcılar, uygun bir çözücü içinde bir yapıştırıcı malzemenin çözülmesiyle elde edilir. Uygulama

sonrasında çözücünün buharlaşmasıyla geriye yalnızca *katı yapıştırıcı tabakası* kalır.

Konservasyonda Kullanılan Çözücüler

Konservasyon uygulamalarında çözücü seçimi hem orijinal malzemeye zarar vermemek hem de işlem güvenliğini ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda, ideal bir çözücünün; orijinal malzemeyi koruyarak istenmeyen katmanları etkin şekilde uzaklaştırabilme potansiyeline sahip olması, orta düzeyde buharlaşma hızına sahip bulunması, karışım halinde kullanılacaksa diğer çözücülerle kimyasal uyumluluk göstermesi, pH, iletkenlik, jelleşme ve reoloji gibi fizikokimyasal özelliklerinin sürece uygunluğu ve sürdürülebilirlik kriterlerini karşılaması gerekmektedir. Bu kriterler doğrultusunda, çevreye ve insan sağlığına duyarlı, güvenli ve etkili çözücü alternatiflerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Konservasyonda kullanılan çözücülerini sınıflandırmalara göre ele almak, doğru çözücünün seçilmesini sağlayarak işlem güvenliğini ve etkinliğini artırır. Çözücüler daha önce bahsedildiği gibi öncelikle *kimyasal yapılarına* göre (örneğin hidrokarbon, oksijenli, halojenli), *uçuculuklarına* göre (yüksek, orta, düşük), ve *polariteye* göre (polar/apolar) sınıflandırılabilir. Bu özellikler, çözücünün çözme gücünü ve hangi maddelerle uyumlu olduğunu belirler.

Hidrokarbonlar

Hidrokarbonlar, sadece karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarından oluşan organik bileşiklerdir (Tablo 3). Yapılarındaki bağ çeşitlerine ve molekül şekillerine göre çeşitli sınıflara ayrılırlar. Hidrokarbonlar, doğada yaygın olarak bulunur ve özellikle çözücü (çözücü), yakıt ve ham madde olarak yaygın şekilde kullanılır. Ham petrolden türetilen çeşitli yakıt ürünleri (benzin, kerosen, fuel oil vb.)

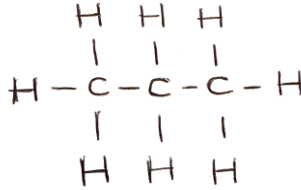
gibi, çoğu hidrokarbon çözücü, belirli tek bileşikler yerine karmaşık karışımlardır. Hidrokarbon çözücülerin farklı özellikleri, genellikle kaynama/destilasyon aralıkları ve aromatik bileşen içerikleri ile belirgin şekilde ayrılmaktadır. Bu sıvıları kullanırken, özellikle bu iki temel özellik hakkında bilgi sahibi olmak, uygulama güvenliği ve etkinliği açısından büyük önem taşır.

Hidrokarbonların sınıflandırılması, kullanım alanına ve inceleme amacına göre farklı şekillerde yapılabilmektedir. En temel sınıflandırma yöntemi, hidrokarbonları iki ana gruba ayırır: doymuş hidrokarbonlar (alkanlar) ve doymamış hidrokarbonlar (alkenler ve alkinler). Bu yöntem, özellikle temel organik kimya eğitiminde kullanılan teorik bir yaklaşımdır ve moleküllerin karbon-karbon bağ yapılarına (tekli, çiftli veya üçlü) odaklanır.

Buna karşın, daha kapsamlı ve uygulamaya yönelik bir sınıflandırma sistemi, hidrokarbonları dört ana gruba ayırır: alifatik, olefinik, naftenik ve aromatik hidrokarbonlar. Koruma (konservasyon) çalışmalarında kullanılan çözücülerin seçiminde, hidrokarbonların fiziksel ve kimyasal özellikleri büyük önem taşır. Bu nedenle, *dört gruba ayrılan yapısal sınıflandırma*, çözücü seçimi ve uygulama planlaması açısından daha doğru ve işlevseldir.

- a. *Alifatik Hidrokarbonlar*: Düz veya dallanmış zincir yapısına sahip, halka içermeyen hidrokarbonlardır. Tekli bağ içerenler *parafinik*, dallanmış yapılar ise *izo-parafinik* olarak adlandırılır. Bu hidrokarbonlar karardır ve düşük reaktivite gösterir. Ancak tersiyer karbonlar oksidasyona açık bölgeler olarak daha reaktiftir. 6-12 karbon atomu içeren türleri çözücü olarak kullanılır.

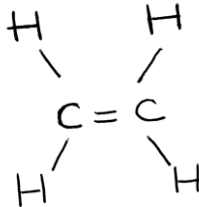
Şekil 1: Alifatik Hidrokarbon propan($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$) diyagramı.



b.

Olefinik Hidrokarbonlar: Olefinik bileşikler, karbonlar arasında **çift bağ** içeren hidrokarbonlardır. Bu çift bağlar, onları **daha reaktif** hale getirir. Bu yüzden olefinler; eklenme, polimerleşme gibi birçok kimyasal tepkimeye kolayca girerler. Olefinler C_nH_{2n} formülüne sahip doymamış bileşiklerdir. Çift bağlar, molekülü reaktif hâle getirir ve oksitlenebilir. Ayrıca ışık, ısı veya katalizörle polimerleşebilirler. Bu özellikleri nedeniyle, olefinik hidrokarbonlar çözücü olarak yaygın kullanılmaz. Örnek: Etilen (C_2H_4) (Sadeghbeigi, 2020: 49).

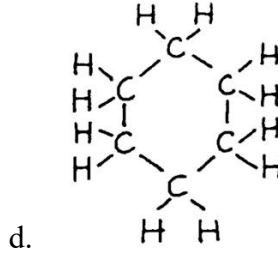
Şekil 2: Olefinik Hidrokarbon olan etilen(C_2H_4)yapı (karbonlar arasında çift bağ mevcuttu) diyagramı.



c.

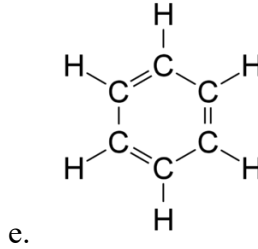
Naftenik Hidrokarbonlar: Doymuş ve halkalı yapıya sahip hidrokarbonlardır. Genellikle 5 veya 6 karbonlu halkalardan oluşurlar. Tersiyer karbonlar nedeniyle reaktiftir. *Turpentin*, bu gruptan doğal bir çözücüdür, ancak günümüzde daha stabil çözücüler tercih edilmektedir.

Şekil 3: Halkalı yapıya sahip sikloheksan(C_6H_{12}) yapı diyagramı.



Aromatik Hidrokarbonlar: Benzen halkası içeren hidrokarbonlardır. Konjuge çift bağlar sayesinde kararlıdır ve hafif bir polarite gösterir. Bu hidrokarbonlar güçlü çözücülerdir ancak toksik etkilere sahip olabilirler. Örnekler: Benzen, toluen, ksilen, stiren (Macaya, ve diğerleri, 2019: 1; Phenix, 2007: 13,14; Torraca, 2005: 39).

Şekil 4: Aromatik hidrokarbon olan benzen (C_6H_6) yapı diyagramı.



Fonksiyonel Gruplar-Oksijen İçeren Çözücüler

Bu grup çözücüler, *fonksiyonel gruplar* içermeleri nedeniyle bu şekilde adlandırılır ve genellikle bir hidrokarbon molekülüne oksijen ve/veya azot içeren atom gruplarının eklenmesiyle elde edilir. *Fonksiyonel gruplar*, molekülün polarlığını değiştirerek çözücünün kimyasal özelliklerini belirler. Bu çözücüler aynı zamanda, *oksijen içeren çözücüler* olarak da ifade edilir ve çoğunlukla *polar* veya *orta polar* çözücüler sınıfında yer alırlar.

f. Alkoller (-OH Grubu İçeren)

Alkoller, karbon atomuna bağlı bir veya birden fazla hidroksil grubu (-OH) içeren organik bileşiklerdir (Tablo 3). En basit alkol olan metanol, tek karbon atomuna sahiptir ve sanayiden konservasyon uygulamalarına kadar geniş bir kullanım yelpazesıyla dikkat çeker. Alkoller, yapılarındaki hidroksil grubu sayısına ve bu grubun bağlı olduğu karbon atomunun çevresine göre farklı sınıflandırılır.

1. Hidroksil grubu sayısına göre alkoller;

Alkoller, bünyelerinde bulunan -OH grubu sayısına göre iki temel gruba ayrılır:

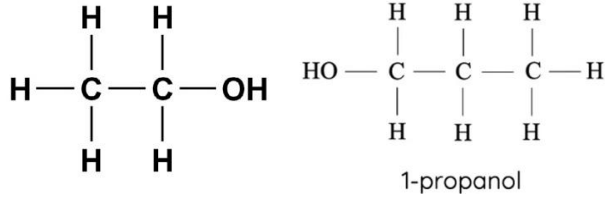
- *Mono alkoller*: Molekül yapısında yalnızca bir adet -OH grubu bulunan alkollerdir. En yaygın örnekleri metanol, etanol ve propanollerdir.
- *Poli alkoller*: Birden fazla -OH grubu içeren bileşiklerdir. İki hidroksil grubu taşıyanlara *dioller*, üç taşıyanlara ise *trioller* denir. Gliserin (propan-1,2,3-triol), yaygın kullanılan bir triol örneğidir.

2. Yapısal özelliklerine göre alkoller;

Mono alkoller ayrıca, hidroksil grubunun bağlandığı karbon atomunun komşuluk ilişkilerine göre de sınıflandırılır:

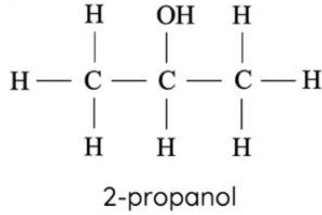
Birincil (Primer) alkoller: -OH grubunun bağlı olduğu karbon atomu yalnızca bir başka karbon atomuna bağlıdır. Etanol ve 1-propanol bu gruba girer (Şekil 5).

Şekil 5: Ethanol(C_2H_6O) ve 1- Propanol'un (C_3H_7OH) yapı diyagramı.



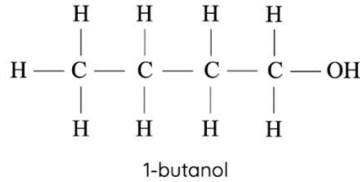
İkincil (Sekonder) alkoller: Hidroksil grubunun bağlı olduğu karbon atomu iki farklı karbon atomuna bağlanmıştır. İzopropil alkol (2-propanol) en bilinen örnektir (Şekil 6).

Şekil 6: 2-propanol(C_3H_8O) (izopropil alkol) yapı diyagramı.



Üçüncül (Tersiyer) alkoller: $-\text{OH}$ grubunun bağlı olduğu karbon atomu üç farklı karbon atomuna bağlıdır. Tersiyer bütıl alkol bu sınıfa girer (Şekil 7) (MEGEP, 2008: 7).

Şekil 7: Bütıl alkol(C_4H_9OH) yapı diyagramı.

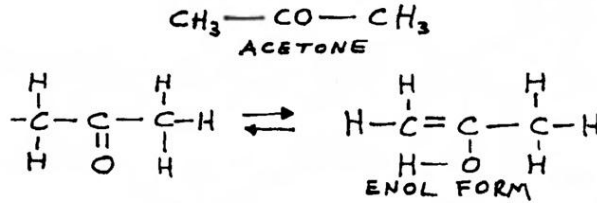


g. Ketonlar ($-\text{C}=\text{O}$ - Grubu İçeren)

Ketonlar, yapılarında bir *karbonil grubu* ($\text{C}=\text{O}$) taşıyan organik bileşiklerdir (Şekil 8). Bu grup oldukça *polar* olduğu için ketonlar, özellikle *vernık ve reçine çözücüsü* olarak konservasyonda

yaygın şekilde kullanılır (Tablo 3). Özellikle *alifatik ketonlar*, endüstriyel çözücü olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu bileşikler, başta *asetone* ve *metil etil keton (MEK)* olmak üzere birçok farklı formda bulunur ve özellikle *nitroselüloz bazlı lak sistemlerinde* yüksek çözme gücü sayesinde tercih edilirler. Ketonlar genellikle *renksiz, düşük viskoziteli* ve *hoş, eterimsi kokulu sıvılardır*. Ketonlar, yüksek çözücü kapasiteleri, malzemelerle uyumlulukları ve hızlı buharlaşma özellikleri sayesinde, çeşitli endüstriyel uygulamalarda, özellikle koruma ve onarım işlemlerinde etkin çözücüler olarak tercih edilmektedir (Park & Hofmann, 1932: 132).

Şekil 8: Asetonun yapı diyagramı.



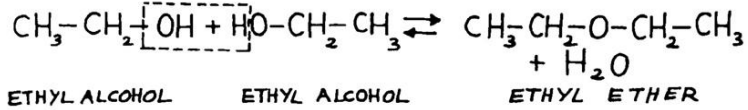
Kaynak: Torracca, 2005:31.

h.

i. Eterler (-O- Grubu İçeren)

Eterler, iki alkolün birleşimiyle oluşan organik bileşiklerdir (Şekil 9). Koruma çalışmalarında kullanılan eterler, genellikle çözünürlük özellikleri nedeniyle tercih edilir. Eterler, düşük viskoziteye sahip, uçucu ve genellikle kokusuz çözücülerdir (Tablo 3). Bu özellikleri, özellikle hassas materyallerin temizliğinde ve incelenmesinde önemli avantajlar sunar. Eterler, organik maddeleri çözerken genellikle suyu çözmezler, bu da onları, suya duyarlı malzemelerin korunmasında kullanışlı hale getirir (örn. Dietileter, diglikol eterler).

Şekil 9: İki alkolün birleşmesiyle eterlerin oluşumu.

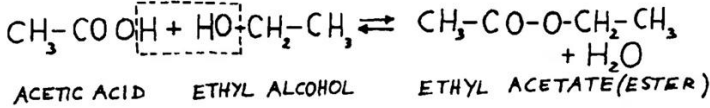


Kaynak: Torraca, 2005:38.

j. Esterler (-COO- Grubu İçeren)

Asitler, alkolle birleşerek esterler oluşturur (Şekil 10). Esterler, polarite kazandıran ester grubu içerir ve karbonil grubuna yakın metil veya metilen grupları varsa hidrojen bağları oluşturabilir. Bu özellikleriyle esterler, özellikle konservasyonda çözücü olarak kullanılır (Tablo 3). Hidrojen bağları, esterlerin materyallerle güçlü etkileşimler kurmasına olanak tanır, bu da temizlik ve koruma işlemlerini etkili kılar. Ayrıca düşük viskozite ve kolay buharlaşma özellikleri, onları konservasyon için uygun çözücüler yapar (Torraca, 1984: 38,39).

Şekil 10: Asitlerin alkolle birleşerek ester oluşturmaları.



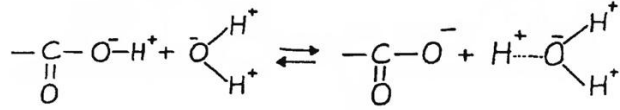
Kaynak: Torraca, 2005:38.

k. Asitler

Karboksil grubu (—COOH) içeren organik asitler, suyla temas ettiğinde az miktarda hidrojen iyonu (H⁺) salarak zayıf asidik özellik gösterir (Şekil 11). Bu özellikleri sayesinde, konservasyon çalışmalarında yüzey temizliği, tuz çözündürme ve hafif pH ayarlamaları gibi işlemlerde güvenle kullanılabilirler. Güçlü asitlere göre daha nazik etki gösterdiklerinden, hassas materyaller üzerinde tercih edilirler. Ayrıca, su bulunmadığında da yüksek polariteleri

sayesinde etkili çözücüler olarak işlev görebilirler (Tablo 3) (Torraca, 1984: 33).

Şekil 11: Karboksil grubu organik asitlerin suyla teması sonucu hidrojen iyonlarının açığa çıktığını gösteren formül.

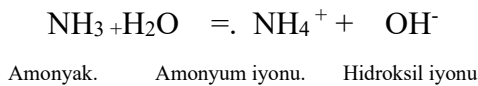


Kaynak: Torraca, 2005:32.

1. Aminler ve Bazlar

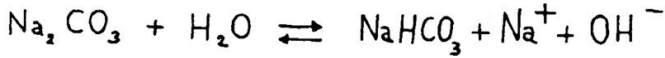
Aminler, organik kimyada azot (N) atomu içeren ve amonyak (NH₃) yapısından türeyen bileşiklerdir. Amonyaktaki bir veya daha fazla hidrojen atomunun alkil veya aril gruplarıyla yer değiştirmesi sonucu oluşurlar. Bu yapılarına göre aminler üç sınıfa ayrılır: *birincil aminler* (azota bir grup bağlı), *ikincil aminler* (iki grup bağlı) ve *üçüncül aminler* (üç grup bağlı). Ayrıca, azot atomuna dört grup bağlandığında oluşan *kuaterner amonyum tuzları* da bu sınıflandırmanın dışında yer alan önemli bir bileşik grubudur. Aminler genellikle *bazik* karakter gösterirler; su ile etkileştiklerinde az miktarda hidroksil (OH⁻) iyonu oluşturarak zayıf baz gibi davranırlar (Şekil 12). Bu özellikleri sayesinde çeşitli kimyasal tepkimelerde aktif rol oynarlar. Fiziksel olarak düşük molekül ağırlıklı aminler uçucu ve karakteristik kokulu olabilir. Reaktivite ve çözünürlükleri, yapılarındaki gruplara bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Şekil 12: Aminlerin su ile etkileşimi sonucu hidroksil iyonu oluşumu.



Bazlar, suyla temas ettiklerinde hidroksil (OH⁻) iyonu üreten maddelerdir (Şekil 13). *İnorganik bazlar* (örneğin sodyum hidroksit) güçlü bazlardır ve yüksek miktarda OH⁻ iyonu üretir. *Sodyum karbonat* ve *sodyum bikarbonat* gibi bazlar ise daha zayıftır. *Amonyak* gibi organik bazlar da zayıf olup sınırlı iyon üretir. Bu bazlar, çözücü olarak sınıflandırılmasalar da, *konservasyon çalışmalarında temizlik amaçlı* kimyasal aktivitelerinden dolayı kullanılırlar (Tablo 3). Özellikle yüzey temizliğinde, zararlı tabakaların uzaklaştırılmasında kontrollü temizlik sağlarlar ayrıca nötralizasyonda da kullanılırlar (NCERT, 2025: 259,260).

Şekil 13: Sodyum karbonat ve sodyum bikarbonatın su ile etkileşimi.



Sodyum Karbonat



Sodyum Bikarbonat

Halojen İçeren Çözücüler (Halojenli Organik Çözücüler)

Halojenli çözücüler, yapılarında brom, klor, flor veya iyot gibi halojen elementleri içeren, genellikle yanıcı olmayan ve uçucu organik bileşiklerdir. Güçlü çözücüler olmalarına rağmen, *cilt ve solunum yollarını tahriş edebilir*, ayrıca *merkezi sinir sistemi, karaciğer ve böbrekler* üzerinde toksik etkilere yol açabilirler. Birçoğu *şüpheli veya bilinen kanserojen* olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, *lateks ve nitril eldivenleri kolayca geçebildiklerinden*, bu malzemeler tam temas gerektiren işlemlerde yeterli koruma sağlamaz. Yaygın örnekler arasında *kloroform ve metilen klorür* bulunur (George Mason Üniversitesi, 2024).

Su ve İyonik Sıvılar

Su, yüksek dielektrik sabiti ve yüksek ısı kapasitesi gibi birçok benzersiz fiziksel özelliğe sahiptir. Suyun diğer önemli özellikleri arasında hidrojen bağlama etkisi ve hidrofobik etki (su fazından apolar organik maddelerin dışarı atılması) bulunmaktadır. Bu fiziksel ve kimyasal özellikler, suya organik dönüşümler için bir “yeşil çözücü” olarak bazı özel avantajlar sağlar. Örneğin, suyun yüksek ısı kapasitesi, onu yüksek egzotermik reaksiyonlar için mükemmel bir ısı tamponu yapar. Birçok durumda, suyun hidrofobik etkisi sayesinde, bir çözücü olarak su yalnızca organik dönüşümlerin, negatif aktivasyon hacmi enerjilerine sahip olanlarının hızını artırmakla kalmaz, aynı zamanda kimyasal seçiciliği ve bölgesel seçiciliği de iyileştirir. Suyun içindeki farklı tuzların “salting-in” ve “salting-out” (“**salting-in**”, düşük konsantrasyonlardaki tuzların, özellikle iyonik bileşiklerin, çözeltideki moleküllerin çözünürlüğünü artırdığı bir olgu, “**salting-out**”, tuz konsantrasyonunun artmasıyla çözünürlüğün azalması) etkileri, bu hidrofobik etkiyi daha da düzenleyebilir (Zhou, Hearne, & Li, 2019: 118, 119).

İyonik sıvılar, genellikle büyük organik katyonlar ile organik veya inorganik anyonların zayıf elektrostatik bağlarla birleşmesinden oluşan, oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda sıvı halde bulunabilen tuzlardır. Diğer tuzlardan farklı olarak düşük erime noktalarına sahip olmalarının nedeni, bileşen iyonların büyük yapıda olması ve bu nedenle iyonlar arası çekim kuvvetlerinin zayıf olmasıdır. Bu sıvılar uçucu değildir, buhar basınçları düşüktür ve geniş bir sıcaklık aralığında termal olarak kararlıdır. Ayrıca yüksek polariteye sahip olduklarından hem organik hem de inorganik maddeleri çözebilirler. Elektrik iletkenlikleri bulunur, ancak yüksek viskoziteleri iletkenliği sınırlayabilir. Aynı zamanda çevre dostu çözücüler olarak değerlendirilmektedirler çünkü geleneksel organik

özclere göre daha az uçucudur ve geri kazanımları daha kolaydır (Kolancılar, 2016: 91).

Silikon Bazlı özcler

Silikon esaslı çözücüler, özgün kimyasal ve fiziksel özellikleri dolayısıyla gerek endüstriyel üretim süreçlerinde gerekse koruma uygulamalarında tercih edilen işlevsel bileşenler arasında yer almaktadır. Başlangıçta kozmetik endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilen Cyclomethicone D4 ve D5 gibi bileşikler ile Velevisil Plus ve KSG 350Z gibi silikon bazlı emülgatörler, zamanla kültürel mirasın korunmasına yönelik özel uygulamalarda da kullanım alanı bulmuştur. Bu özcler; *düşük polarite*, *yüksek uçuculuk* ve *düşük viskozite* gibi özelliklerle tanımlanır. Düşük polariteleri, yağ veya yağ benzeri maddeleri zömmeleri anlamına gelir. Ayrıca uygulama sonrası tamamen buharlaşmaları sayesinde gözenekli yüzeylerde *kalıntı bırakmazlar*. Düşük viskoziteleri sayesinde ise gözenekli malzemelere kolayca nüfuz ederek bir tür *koruyucu bariyer* oluşturur ve yüzeyin başka çözücüleri ya da kirleticileri emmesini engeller. Velevisil Plus ve KSG 350Z gibi silikon bazlı emülsifiye ediciler, bu çözücülerin işlevselliğini artırır. Bu maddeler sayesinde su içinde silikon veya çözücü içinde silikon emülsiyonları kontrollü bir şekilde hazırlanabilir. Bu da özellikle *nem duyarlılığı yüksek* malzemelerin temizliğinde *nem kontrolünü sağlamak* açısından büyük avantaj sunar. Geleneksel temizlik maddelerine alternatif sunan bu çözücüler, *seçici temizlik etkisi*, *kırılgan yüzeyler için güvenli kullanım ve uygulama sırasında yüksek kontrol imkânı* ile öne çıkar (Mildwaters & Measday, 2018: 1.2).

Tablo 3. Konservasyonda Kullanılan Çözücüler

Diag ref. ¹	Çözücü Adı	Kaynama Noktası	Buhar	Basınç	Öz. Ağ.	Toksosite	Parlama noktası	Kesirli Parametreleri			Çözünürlük	Diğer Adı
		°C	mm Hg	at °C		TLV ppm ²	°C	N	D	W		
Alifatik Hidrokarbonlar												
A1	Beyaz ispirto	150-196	14	50	0.77	500	38	90	4	6		white spirit
A2	V.M. & P. Nafta	118-139	—	—	0.75	470	-7	94	3	3		
A3	Kokusuz beyaz ispirto	181-200	—	—	0.76	—	54	98	1	1		Kokusuz çözücü
—	n-Heptan	99	40	22	0.68	400	-4	100	0	0		
Aromatik Hidrokarbonlar												
B1	Benzen	80	74.6	20	0.88	10	-11	78	8	14		
B2	Toluen	110	22	20	0.86	100	4	80	7	13		
B3	Ksilen	138-140	10	30	0.87	100	17	83	5	12		Solvesso ksilen

¹ Çözücüler, kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmıştır; A (alifatik hidrokarbonlar), B (aromatik hidrokarbonlar), T (toplam hidrokarbonlar veya tolüen), C (alkoller), D (ketonlar), E (esterler), F (halojenli çözücüler), G (azotlu çözücüler), H (organik asitler) gibi harfler, her bir çözücü grubunu temsil etmektedir.

² Bir maddenin toksik etkisine karşı, insan sağlığına zarar vermeden maruz kalınabilecek **maksimum konsantrasyon değerini** ifade eder.

B4	Etil benzen	136	10	25	0.86	100	15	87	3	10	
B5	Stiren	146	6,5	25	0.91	50	31	87	4	18	

Diag . ref.	Çözücü Adı	Kaynama Noktası	Buhar	Basınç	Öz. Ağ.	Toksisite	Parlama noktası	Kesirli Parametreleri			Diğer Adı
		°C	mmH g	at °C		TLV ppm	°C	N	D	W	
Halka Yapılı Hidrokarbonlar											
T1	Dipenten	175	2	20	0.84	100	41	75	20	5	
T2	Terebentin	154-170	4	20	0.85 - 0.87	100	34	77	18	5	
—	Siklohekzan	81	77	20	0.78	300	-20	94	2	4	
Alkoller											
C1	Metil Alkol	65	95	20	0.79	200	10	30	22	48	Metanol
C2	Etil Alkol	78	40	20	0.79	1000	12	36	18	46	Etanol
C3	Propil Alkol	97	21	25	0.80	200	25	40	16	44	Propanol
—	İzopropil Alkol	82	33	20	0.79	400	12	—	—	—	İzopropano l
C4	Bütil Alkol	117	5.5	20	0.81	50	24	43	15	42	Bütanol
—	Sekonder Bütil Alkol	99	12	20	0.81	50	23	—	—	—	sec-bütanol

—	İzobütil Alkol	108	9	20	0.80	100	37	—	—	—	İzobütanol
—	Tert bütil Alkol	82	42	25	0.78	100	11	—	—	—	tert-bütanol
—	n-Amil Alkol	138	1	13	0.82	100	37	46	13	41	
C6	Sikloheksanol	161	1	20	0.95	50	67	50	12	38	
DI	Gliserol	290	0,002 5	30	1.26	—	175	25	23	52	Gliserin
D2	Etilen glikol	198	0.06	20	1.11	100	115	30	18	52	Glikol
—	Etilen Klorohidrin	128	4.9	20	1.20	1	60	—	—	—	2-kloroetanol
C7	Diaseton alkol	168	1	20	0.93	50	65	45	24	31	
—	Metil izobütil karbinol	132	3	20	0.81	25	54	50	10	40	2-pentanol-4 metil
W	Su	100	17	20	1.00	n.p.	n.i.	18	28	54	

Diag. ref.	Çözücü Adı	Kaynam a Noktası	Buha r	Basınç	Öz. Ağ.	Toksisit e	Parlama noktası	Kesirli Parametreleri			Çözünürlük	Diğer Adı
		°C	mm Hg	at °C		TLV ppm	°C	N	D	W		
Ketonlar												
E1	Aseton	56	178	20	0.79	750	-19	47	32	21		
E2	Metil etil keton	80	77	20	0.81	200	-6	53	26	21		

—	Metil n-propil keton	102	16	20	0.81	200	7	—	—	—	
E3	Metil isobütül keton	117	7.5	25	0.80	50	17	58	22	20	
—	Mesityll Oksit	129	9	20	0.86	15	32	55	24	21	
E4	Metil izoamil keton	144	—	—	0.82	100	35	62	20	18	2-heksanon-5-metil
E5	Di-izobütül keton	168	1.7	20	0.81	50	49	67	16	17	4-heptanon-2.6-dimetil
E6	Sikloheksanon	156	4.5	25	0.95	25	44	55	28	17	
Esterler											
F1	Etil asetat	77	73	20	0.90	400	-4	51	18	31	
F2	Propil Asetat	102	35	25	0.89	200	14	57	15	28	
F3	Bütül Asetat	126	10	20	0.88	150	22	60	13	27	
F4	İzobütül İzobütirat	147	10	38	0.86	—	49	63	12	25	
F5	Amil Asetat	149	5	25	0.88	100	25	60	12	28	
—	İsoamil Asetat	143	6	25	0.88	100	23	60	12	28	

Diag. ref.	Çözücü Adı	Kaynama Noktası	Buhar	Basıncı	Öz. Ağ.	Toksisite	Parlama noktası	Kesirli Parametreleri			Diğer Adı
		°C	mmHg	at °C		TLV ppm	°C	N	D	W	

Eterler											
—	Etil eter	35	439	20	0.71	400	-45	—	—	—	eter
G1	Metil cellosolve	125	6	20	0.97	25	38	39	22	39	
G2	Etil cellosolve	135	4	20	0.93	100	40	42	20	38	cellosolve
G3	Bütıl cellosolve	171	0.6	20	0.90	50	60	46	18	36	
G4	Dietilen glikol etil eter	202	0.13	20	0.99	—	96	48	23	29	karbitol
G6	Cellosolve asetat	156	1	20	0.97	25	47	51	15	34	
G7	Tetrahidra Furan	65	114	15	0.89	200	-17	55	19	26	
G8	Dioksan	101	37	25	1.03	25	11	67	7	26	
Klorlu Çözücüler											
H1	Metilen Klorid	40	440	25	1.33	100	n.i	62	26	12	dikloro metan
H2	Etilen Klorid	84	78	20	1.26	50	13	67	19	14	1.2-dikloro-etan
H3	Trikloroetan	74	100	20	1.34	350	n.i	70	19	11	Kloroetilen
H4	Klorobenzen	132	10	22	1.11	75	29	75	17	18	
H5	Trikloro etilen	87	58	20	1.46	50	n.i	68	12	20	trielin
—	Kloroform	61	160	20	1.49	10	n.i	67	12	21	tri-kloro-metan

H6	Karbon tetraklorid	77	91	20	1.59	5	n.i	85	2	13	
----	--------------------	----	----	----	------	---	-----	----	---	----	--

Diag. ref.	Çözücü Adı	Kaynama Noktası	Buhar	Basınç	Öz. Ağ.	Toksosite	Parlama noktası	Kesirli Çözünürlük Parametreleri			Diğer Adı
		°C	mmHg	at °C		TLV ppm	°C	N	D	W	
Eterler											
—	Etil eter	35	439	20	0.71	400	-45	—	—	—	eter
G1	Metil cellosolve	125	6	20	0.97	25	38	39	22	39	
G2	Etil cellosolve	135	4	20	0.93	100	40	42	20	38	cellosolve
G3	Bütil cellosolve	171	0.6	20	0.90	50	60	46	18	36	
G4	Dietilen glikol etil eter	202	0.13	20	0.99	—	96	48	23	29	karbitol
G6	Cellosolve asetat	156	1	20	0.97	25	47	51	15	34	
G7	Tetrahidra Furan	65	114	15	0.89	200	-17	55	19	26	
G8	Dioksan	101	37	25	1.03	25	11	67	7	26	
Klorlu Çözücüler											
H1	Metilen Klorid	40	440	25	1.33	100	n.i	62	26	12	dikloro metan

H2	Etilen Klorid	84	78	20	1.26	50	13	67	19	14	1.2-dikloro- etan
H3	Trikloroetan	74	100	20	1.34	350	n.i	70	19	11	Kloroetilen
H4	Klorobenzen	132	10	22	1.11	75	29	75	17	18	
H5	Trikoloro etilen	87	58	20	1.46	50	n.i	68	12	20	trielin
—	Kloroform	61	160	20	1.49	10	n.i	67	12	21	tri-kloro- metan
H6	Karbon tetraklorid	77	91	20	1.59	5	n.i	85	2	13	

Diag. ref.	Çözücü Adı	Kaynama Noktası	Buhar	Basınç	Öz. Ağ.	Toksosite	Parlama noktası	Kesirli Parametreleri			Diğer Adı
		°C	mmHg	at °C		TLV ppm	°C	N	D	W	
Asitler											
—	Formik asit	101	40	24	1.23	5	69	—	—	—	
—	Asetik asit	118	11	20	1.05	10	40	—	—	—	
Sülfür Bileşikleri											
S1	Dimetil sülfoksit	dec 100	0.37	20	1.10	—	95	41	36	23	
S2	Karbon disülfid	46	360	20	1.27	10	-30	88	8	4	

Kaynak: Torracca, 2005: 56-61.

Sonuç

Çözücüler, tarih boyunca sadece kimyasal çözücüler olarak değil, aynı zamanda insanlık tarihinin çeşitli alanlarında kültürel ve teknolojik ilerlemenin temel unsurları olarak önemli bir rol oynamıştır. İnsanlık tarihinin erken dönemlerinden itibaren çözücüler, tıptan sanayiye, sanattan bilime kadar geniş bir yelpazede kullanılmış ve bu süreçte kimya, tıp, mühendislik ve sanayi gibi alanlarda teknolojik ilerlemeyi desteklemiştir. Su, etanol, asetik asit gibi doğal çözücülerden sentetik çözücülere ve daha çevre dostu alternatiflere kadar gelişen çözücü kullanımı, kimyasal reaksiyonların verimliliğini artırmaya yönelik sürekli bir evrim göstermektedir. Bu gelişim, çözücülerin farklı özelliklerini keşfetme ve kullanma biçimlerini çeşitlendirmiş, her bir yeni çözücü türü, bilimsel ve endüstriyel yeniliklere kapı aralamıştır.

Endüstriyel devrimle birlikte çözücülerin kullanımı hızla yayılmış ve kimyasal işlemlerde önemli bir araç haline gelmiştir. Ancak bu dönemde çözücülerin biyolojik ve çevresel etkileri giderek daha fazla dikkat çekmeye başlamıştır. Bu gelişme, çözücülerin sadece kimyasal etkinliklerinin değil, aynı zamanda insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel zararlarının da göz önünde bulundurulmasını gerektirmiştir. Günümüzde çözücülerin seçimi, yalnızca kimyasal etkinliklerine dayanarak değil, aynı zamanda bu maddelerin insan sağlığına ve çevreye olabilecek olumsuz etkileri dikkate alınarak yapılmaktadır. Çözünürlük ve çözücü-molekül etkileşimleri, çözücülerin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi için çok önemlidir. Bu bağlamda, çözücülerin doğru seçimi, verimli kimyasal süreçlerin sağlanmasının yanı sıra çevresel sürdürülebilirlik açısından da büyük bir öneme sahiptir.

Çözücüler, kültürel mirasın korunmasına yönelik çalışmalarda disiplinler arası etkileşimlerin merkezinde yer alarak temel bir işlev üstlenmektedir. Konservasyon biliminde, çözücüler

yalnızca malzemelerin çözünmesinde değil, aynı zamanda tarihsel ve kültürel değerlerin korunmasında da kritik bir işlev üstlenmektedir. Kültürel varlıkların korunmasında çözücü seçimi, yalnızca hedef malzemenin kimyasal ve fiziksel bütünlüğünü muhafaza etmekle sınırlı kalmayıp aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve etik sorumluluk ilkelerini de gözeten bütüncül bir değerlendirme sürecini zorunlu kılar. Bu bağlamda, konservasyon uygulamalarında kullanılacak çözücünün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, toksisite düzeyi, uçuculuğu ve çevresel etkileri dikkatle analiz edilmelidir. Söz konusu yaklaşım, hem tarihi ve kültürel mirasın sağlıklı biçimde gelecek kuşaklara aktarılmasını hem de koruma süreçlerinin çevreye en az zarar verecek şekilde yürütülmesini temin eder. Örneğin, alifatik hidrokarbonlar düşük kimyasal reaktivite ve yüksek stabiliteleriyle öne çıkarken; ketonlar, güçlü çözücü nitelikleri sayesinde özellikle vernik ve reçine kalıntılarının uzaklaştırılmasında etkin rol oynar. Halojenli çözücüler geniş çözünürlük kapasiteleriyle dikkat çekerken, silikon bazlı çözücüler düşük toksisiteleri nedeniyle daha güvenli bir alternatif oluşturur. Buna karşılık, su ve iyonik sıvılar gibi çevre dostu çözücüler ise düşük toksik profilleri sayesinde sürdürülebilir uygulamalar için tercih edilen sistemler arasında yer almaktadır.

Çözücü seçiminde dikkate alınması gereken temel kriterlerden biri de çözücülerin **solvatokromik özellikleridir**. Bu özellik bir çözücünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak, çözücü ile çözültideki moleküller arasındaki etkileşimlerin ve buna bağlı olarak çözünürlük davranışlarının değişimini ifade eder. Bu fenomen, özellikle çözücü ortamının polaritesi, asit-baz karakteri ve hidrojen bağı oluşturma kapasitesine duyarlı moleküllerin davranışlarını incelemede kritik öneme sahiptir.

Polar ve apolar çözücüler arasındaki belirgin farklar, çözücünün çözünürlük kapasitesini ve çözünürlük ortamında

meydana gelen moleküler etkileşimleri doğrudan etkiler. Örneğin, su gibi yüksek polariteye ve güçlü hidrojen bağı oluşturma yeteneğine sahip çözücüler, hidrojen bağları aracılığıyla çözünen madde ile güçlü etkileşimler kurarak çözünürlüğü artırır. Buna karşılık, apolar çözücüler bu tür spesifik etkileşimlere giremez ve bu durum, genel olarak daha düşük çözünürlükle sonuçlanır. Benzer şekilde, bir çözücünün asidik ya da bazik karakteri ile bu karakterin moleküllerle kurduğu etkileşim biçimi, çözünürlük parametrelerini derinden etkileyen faktörler arasında yer alır.

Bu bağlamda, solvatokromik parametreler çözücü-çözünen etkileşimlerinin moleküler düzeyde anlaşılmasına önemli katkılar sunmakta; özellikle **kültürel mirasın korunması** gibi hassas uygulama alanlarında, malzemenin kimyasal bütünlüğünü bozmadan müdahale edilebilecek **daha seçici, kontrollü ve etkili çözücü sistemlerinin** tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla, çözücülerin ortamdaki moleküler etkileşimleri ve çözünürlük davranışları üzerindeki etkilerini ortaya koyan bu fenomen, pratik çözücü seçim süreçlerinde yönlendirici ve işlevsel bir bilimsel araç olarak değerlendirilmektedir.

Günümüzde çevresel kaygılar ve insan sağlığına yönelik artan duyarlılık, çözücü kullanımına ilişkin yaklaşımları derinden etkilemektedir. Özellikle kimya endüstrisi, zararlı etkileri en aza indirecek biçimde daha güvenli ve sürdürülebilir çözücü sistemlerinin geliştirilmesine odaklanmakta; bu doğrultuda yeşil kimya ilkeleri çerçevesinde kapsamlı araştırmalar yürütmektedir. Çevre dostu çözücüler, yalnızca toksik etkilerin azaltılmasına katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda konservasyon uygulamalarının hassasiyet ve etkinlik düzeyini de artırmaktadır. Bu nedenle, çözücü seçiminde geleneksel ve yenilikçi çözücüler arasında yapılacak değerlendirmeler, her zaman malzemenin yapısal özellikleri, korunma gereksinimleri ve işlem güvenliği gibi çok yönlü kriterlere dayanmalıdır.

Seçim süreci, yalnızca teknik gereklilikleri değil, aynı zamanda uzun vadeli çevresel sorumlulukları da dikkate almalı; çözücülerin hem işlevselliğini hem de sürdürülebilirliğini esas alan bütüncül bir anlayışla ele alınmalıdır. Bu yaklaşım, endüstriyel uygulamalarda verimliliği artırırken, kültürel mirasın korunması gibi etik açıdan duyarlı alanlarda da güvenli ve kalıcı çözümler sunulmasına olanak tanımaktadır.

Kaynakça

Conservation Unit Museums, & Galleries Commission. (1992). *The science for conservators series: Volume 3: Adhesives and coatings*. London: Routledge.

Cooper, M., & Klymkowsky, M. (2020). *CLUE: Chemistry, life, the universe and everything*. Michigan: Michigan State University Libraries.

Durand, M., Molinier, V., Kunz, W., & Aubry, A. (2011). Classification of organic solvents revisited by using the COSMO-RS approach. *Chemistry—A European Journal*, 17(18), 5155-5164.

Fawcett, W. (2004). *Liquids, solutions, and interfaces: from classical macroscopic descriptions to modern microscopic details*. New York: Oxford University Press.

Fife, G. (2021). *Greener solvents in conservation: An introductory guide*. London: Archetype Publications.

George Mason Üniversitesi. (2024, October). Chemical hazard assessment: Halogenated solvents. George Mason Üniversitesi. (2024, October).

<https://public.huddle.com/b/JvRJKX/index.html> adresinden alındı

Janicka, P., Plotka-Wasyłka, J., Jatkowska, N., Chabowska, A., Fares, M., Andruch, V., . . . Gębicki, J. (2022). Trends in the new generation of green solvents in extraction processes. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 37, 100670.

Kolancılar, H. (2016). Klasik çözücülere bir alternatif; iyonik sıvılar. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 90-100.

Liu, L., Zhang, J., Li, J., & Jiang, J. (2024). Identification of 10,000-year-old rice beer at Shangshan in the Lower Yangzi River

valley of China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(51), e2412274121.

Macaya, C., Durán, R., Hernández, L., Rodríguez-Castro, L., Barra-Sanhueza, B., Dorochesi, F., & Seeger, M. (2019). *Bioremediation of petroleum*. Elsevier .
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128096338208108?via%3Dihub> adresinden alındı

Mainkar, P., Ray, A., & Chandrasekhar, S. (2024). SOLVENTS: From Past to Present. *ACS Omega*, 9(7), 7271-7276.

MEGEP. (2008). *Kimya Teknolojisi: Alkol ve Eterler*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.

Mildwaters, N., & Measday, D. (2018). Silicone-based solvents and emulsions for cleaning natural science specimens: Case studies from the Otago Museum and Museums Victoria. *Biodiversity Information Science and Standards*, 2, e26450.
<https://doi.org/10.3897/biss.2.26450>

NCERT. (2025). Class 12 Chemistry Part II, Unit 9: Amines. <https://ncert.nic.in/textbook/pdf/lech204.pdf> adresinden alındı

Park, J., & Hofmann, H. (1932). Aliphatic ketones as solvents. *Industrial & Engineering Chemistry*, 24(2), 132-134.

Phenix, A. (2007). Generic hydrocarbon solvents: a guide to nomenclature. *WAAC newsletter*, 29(2), 13-22.

Pushkarova, Y., & Kholin, Y. (2012). The classification of solvents based on solvatochromic characteristics: the choice of optimal parameters for artificial neural networks. *Open Chemistry*, 10(4), 1318-1327.

Raja, T., & Sivamani, S. (2023). Production of bioethanol from waste tissue paper and newspaper and Its characterization. *International Journal of Engineering Inventions*, 12(9), 63-69.

Reichardt, C., & Welton, T. (2011). *Solvents and solvent effects in organic chemistry*. Weinheim: John Wiley & Sons.

Sadeghbeigi, R. (2020). Fluid catalytic cracking handbook: An expert guide to the practical operation, design, and optimization of FCC units. Butterworth-Heinemann.

Torraca, G. (1984). *Solubility and solvents for conservation problems*. Roma: ICCROM.

Torraca, G. (2005). *Solubility and solvents for conservation problems*. Roma: ICCROM.

Wypych, G. (2001). *Handbook of solvents*. Toronto: ChemTec Publishing.

Zhou, F., Hearne, Z., & Li, C. (2019). Water—the greenest solvent overall. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 18, 118-123.

Zumbühl, S. (2019). Solvents, Solvation, Solubilization and Solution: The Solubility of Materials. In *Solvents, Solvation, Solubilization and Solution: the Solubility of Materials*. HDW Publications Bern.

AHŞAP KÜLTÜR VARLIKLARDA BOZULMA MEKANİZMALARI VE BOZULMA TÜRLERİ

CEMİLE YILDIRIM ALTUN¹

Giriş

Ahşap, doğal kökeni, anizotropik yapısı ve higroskopik özellikleri sayesinde insanlık tarihi boyunca hem yapı malzemesi olarak strüktürel işlevlerde hem de estetik kaygılarla dekoratif uygulamalarda vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Bu organik kökenli materyal, canlı bir organizmanın dokusu olarak biyolojik sistemler içinde doğal bir işleyişe sahiptir; fakat kesildikten ve yapı ya da sanat objesi formuna dönüştürüldükten sonra, fizyolojik faaliyetleri durur ve çevresel etkilere karşı farklı bir hassasiyet geliştirmeye başlar. Dolayısıyla, ahşap malzemenin bozulması, hem biyolojik canlılık halindeki ağaç dokusunun zamanla uğradığı dejeneratif değişimlerle, hem de insan eliyle biçimlendirilmiş, ölü organik madde formundaki ahşap ürünlerin maruz kaldığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik yıkımlarla farklı düzlemlerde incelenmelidir.

Yaşayan bir ağaç dokusu, kendi iç metabolik sistemleri sayesinde çeşitli dış etkilere karşı doğal bir direnç gösterebilir. Su ve mineral iletimi, özelleşmiş hücre yapıları ve savunma enzimleri,

¹ Dr. Cemile YILDIRIM ALTUN. ORCID: 0000-0003-1421-2269

canlı ağacın mantar, böcek veya bakteriyel saldırılara karşı koruma sağlayan biyolojik bariyerleridir. Ayrıca, hücre duvarı yapısında bulunan lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi polimerik bileşenler, ağacın yapısal bütünlüğünü sağlayarak bozulmaya karşı doğal bir direnç oluşturur. Bununla birlikte, ağaç kesilip işlendikten sonra, biyolojik canlılığın sona ermesiyle birlikte bu savunma mekanizmaları da işlevini yitirir. Böylece ahşap hem çevresel koşullara hem de biyolojik etmenlere karşı daha savunmasız hale gelir.

Eser haline getirilmiş ahşap malzeme, genellikle iç mekân, dış cephe veya açık hava koşullarında uzun süreli çevresel etkilere maruz kalır. Bu süreçte nem değişimleri, sıcaklık dalgalanmaları, UV ışınları, atmosferik kirleticiler ve mikroorganizmalar gibi çeşitli bozulma etmenleri, malzemenin fiziksel yapısını zayıflatmakta; hücresel bozulmalara, renk değişimlerine, çatlaklara, çürüme ve biyolojik tahribatlara neden olmaktadır. Özellikle ahşabın gözenekli ve lifli yapısı, mantar sporlarının, böcek larvalarının ve bakterilerin yerleşimini kolaylaştırmakta; bu da bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Ahşabın doğal nem dengesinin bozulması, lifler arası bağların çözülmesine ve yapısal deformasyonlara yol açabilmektedir. Ayrıca, eser haline gelmiş bir kültürel varlık üzerinde yapılan belgesiz, bilimsel temelden yoksun ya da çağdaş koruma ve restorasyon ilkeleriyle bağdaşmayan niteliksiz müdahaleler, söz konusu malzemenin doğal yaşlanma sürecini hızlandırarak geri dönüşü olmayan yapısal ve estetik bozulmalara neden olabilmektedir. Bu tür müdahaleler, çoğu zaman özgün malzeme dokusunun ve teknik detayların kaybına yol açmakta; eserin tarihsel ve sanatsal bütünlüğünü zedelemektedir. Özellikle uygun olmayan yapıştırıcılar, modern boya veya kaplama malzemeleri gibi geri dönüşü zor, müdahale sonrası iz bırakacak uygulamalar, restorasyonun temel etik ilkelerinden biri olan "geri dönüştürülebilirlik" (reversibility) ilkesine açıkça aykırıdır.

Restorasyon etiği açısından değerlendirildiğinde, her müdahalenin belgelendirilmesi, asgari müdahale prensibine göre planlanması ve özgün yapıya saygı çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Niteliksiz uygulamaların yanı sıra, vandalizm kaynaklı zarar verme eylemleri de kültürel miras varlıkları üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır. Duvar yazıları (grafitiler), bilinçli kırma veya koparma eylemleri, yanıcı veya aşındırıcı madde kullanımı gibi kasıtlı zararlar hem estetik hem yapısal düzeyde tahribata yol açmaktadır.

Konservasyon alışmaları genel olarak iki ana yaklaşım altında ele alınmaktadır: pasif konservasyon ve aktif konservasyon. Pasif konservasyon, kültür varlıklarının doğrudan fiziksel yapısına müdahale etmeksizin; çevresel faktörlerin (ısı, nem, ışık, hava kirliliği vb.) uygun koşullara getirilmesi, bu koşulların izlenmesi ve istikrarının sağlanması yoluyla gerçekleştirilen koruma uygulamalarını içerir. Bu yaklaşım, yasal düzenlemeler, etik ilkeler ve koruma politikalarıyla desteklenir. Müdahale doğrudan olmasa da uzun vadeli etkileri açısından aktif konservasyon kadar kritik bir rol oynar. Buna karşılık, aktif konservasyon, eser üzerinde doğrudan fiziksel müdahaleleri kapsayan; temizleme, onarım, güçlendirme gibi teknik işlemleri içeren uygulamalardır. Bu müdahaleler, uzmanlık bilgisi, teknik ekipman ve bilimsel yöntemlerin rehberliğinde gerçekleştirilmelidir (Sease, 1994: 6-8).

Her bir uygulama biçimi, eserin türü, taşıdığı tarihi değer ve maruz kaldığı bozulma türüne göre farklı ilkeler çerçevesinde ele alınmalıdır. Bu bağlamda, yapılan her müdahalenin bilimsel, etik ve disiplinler arası bir yaklaşımla değerlendirilmesi, kültürel varlıkların sürdürülebilir biçimde gelecek kuşaklara aktarılmasında temel rol oynamaktadır.

Bu bağlamda, ahşap malzemenin bozulma sürecinin yalnızca materyalin türüyle değil; aynı zamanda yaşamsal işlevselliğinin sona

ermiş olup olmamasıyla da doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, yaşayan ağaç dokusu ile eser haline gelmiş ahşap arasındaki temel farklılıkların anlaşılması, koruma ve restorasyon uygulamalarının bilimsel temelde şekillendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde, söz konusu iki farklı form arasındaki yapısal, kimyasal ve biyolojik ayrımlar ayrıntılı biçimde ele alınacak; bozulmaya neden olan faktörler sistematik bir yaklaşımla sınıflandırılarak değerlendirilecektir. Ayrıca, bu bozulma süreçlerinin kültürel miras nesnelerinin korunması bağlamındaki yansımaları da irdelenecek; sürdürülebilir koruma stratejilerine ışık tutacak bilimsel bir temel oluşturulması amaçlanacaktır.

Odun Anatomisinin Temelleri

Odun anatomisi, ağaçların büyüme süreçleri ve ahşap yapıların oluşumuna dair ayrıntılı bilgiler sunar. Bu bilgiler, ahşap ürünlerin tasarım, üretim ve kullanım süreçlerinin yanı sıra, bozulma durumunda malzemenin iç yapısını ve bu yapıda meydana gelen değişimleri anlamak için de büyük önem taşır. Ahşabın makroskopik yapısı, çıplak gözle veya mikroskop altında gözlemlenen özelliklerdir (Şekil 1). Ağaç gövdesinin enine kesitinde üç ana bölüm bulunur (Bozkurt & ark., 2011).

Kabuk: Ağaç gövdesinin en dış kısmını oluşturan kabuk, iki ana bölümden oluşur: iç kabuk (floem) ve dış kabuk. İç kabuk, besin maddelerinin ağaç boyunca taşınmasını sağlar.

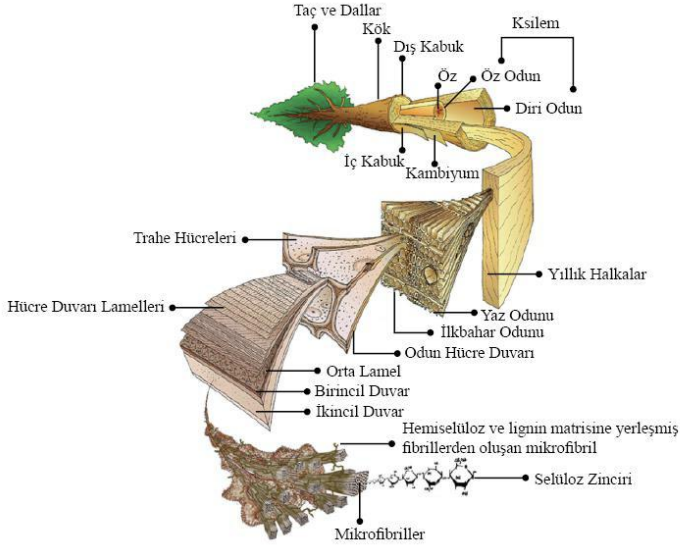
Odun: Odun kısmı, esas olarak yıllık halkalardan, öz odun ve diri odundan meydana gelir. Yıllık halkalar, ağacın yaşını ve büyüme koşullarını yansıtır.

Öz: Ağaç gövdesinin iç kısmında bulunan öz, su ve besin maddelerinin taşınmasında önemli bir rol oynar.

Ahşap anatomisinin korunma süreçlerine nasıl katkı sağladığı ve mikroskopik incelemelerin restorasyon

çalışmalarındaki önemi, malzemenin tarihsel ve kültürel değerinin korunmasında kritik rol oynamaktadır. Mikroskopik analizler, ahşap dokusundaki değişimleri tespit ederek, restorasyon tekniklerinin daha hassas ve doğru uygulanmasını sağlar.

Şekil 1 İğne yapraklı ağacın hiyerarşik yapısının şeması.



Kaynak: (Mannes, David Christian, 2009, s. 8).

Ahşap malzemenin tanımlanmasında, onun anatomik yapısının hem makroskopik hem de mikroskopik düzeyde incelenmesi büyük önem taşır. Ağaçların makroskopik özellikleri, enine kesitte gözlemlenebilen temel yapısal elemanlar aracılığıyla değerlendirilir. Bu yapılar; öz (pith), yıllık halkalar, öz odun (heartwood) ve diri odun (sapwood), öz ışınları, reçine kanalları, öz lekeleri ve kabuk bileşenlerinden oluşur. Söz konusu anatomik yapılar, ahşap malzemenin tür tayininde ve kullanım amacına uygunluğunun belirlenmesinde yol gösterici niteliktedir.

Bu makroskopik unsurlar, ahşap malzemenin fiziksel nitelikleri hakkında da önemli ipuçları sunar. Renk, lif yönü, tekstür (doku), parlaklık, koku/tat, ağırlık ve sertlik gibi fiziksel özelliklerin

belirlenmesinde bu yapılar temel alınır. Özellikle yıllık halkalar, ağacın yaşı ve büyüme koşulları hakkında bilgi verirken, öz odun ve diri odun ayrımı malzemenin dayanıklılık düzeyini anlamada önemlidir.

Ağaç türleri, genel biyolojik sınıflamaya göre iki ana gruba ayrılmaktadır: Gymnospermiler (açık tohumlular) ve Angiospermiler (kapalı tohumlular) (Akkemik, 2022: 11). Bu ayrım, yalnızca taksonomik açıdan değil, aynı zamanda ahşap malzemenin mikroskobik yapısı, lif düzeni ve teknolojik özellikleri açısından da belirleyicidir. Yapraklı ağaçlar (angiospermiler), genellikle daha kompleks yapılı damar sistemine sahipken, iğne yapraklı ağaçlar (gymnospermiler) daha basit ve homojen yapı sergilerler.

Bir ağacın kimyasal bileşimi; alınan örneğin gövde, dal, kök gibi hangi kısımdan elde edildiği, ağacın yetiştiği ortam, coğrafi konumu, iklim koşulları ve insan eliyle yapılan silvikültürel müdahaleler gibi birçok çevresel ve biyolojik etkene bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bununla birlikte, her ağaç türü kendi türüne özgü karakteristik bir kimyasal bileşim yapısına sahiptir ve bu yapı, tür tespitinde ya da malzeme davranışlarının öngörülmesinde önemli bir rol oynar.

Genel bir sınıflamayla, yapraklı (sert ağaçlar) ve iğne yapraklı (yumuşak ağaçlar) türler arasında kimyasal içerik bakımından belirgin farklılıklar mevcuttur (Özdemir, 2004: 3). Bu farklılıklar, lignin oranı, selüloz lif uzunluğu ve reçine içeriği gibi parametrelerde kendini göstermekte ve malzemenin dayanıklılığı ile işlenebilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Mikroskobik düzeyde ise ahşap anatomisi, ağaçların nasıl büyüdüğünü ve ahşap dokularının nasıl yapılandığını açıklayan bilimsel bir inceleme alanıdır. Bu düzeyde ahşap, üç temel organik bileşenden meydana gelir: selüloz, hemiselüloz ve lignin. Selüloz, ağaç hücrelerinin duvar yapısının temelini oluşturan ana bileşendir.

Hemiselüloz, selülozla birlikte hücre duvarının esnekliğini ve su geçirgenliğini düzenlerken; lignin, hücre duvarlarını destekleyerek sertlik ve dayanıklılık sağlar.

Ahşabın iç yapısında yer alan iletim sistemleri de bu bağlamda önem taşır. Ksilem dokusu, bitkide kökten yapraklara kadar su ve mineral taşınımını sağlayan iletim borularını içerir (Mannes & ark., 2009: 7). Ksilemin düzeni, türler arasında farklılık göstermekle birlikte, ahşap dokunun yoğunluğu ve gözenek yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Mikroskobik analizler, özellikle kültürel miras eserlerinin korunmasında, bozulma mekanizmalarının anlaşılması ve uygun konservasyon yöntemlerinin seçilmesi açısından vazgeçilmezdir. Ahşabın mikroskobik yapısındaki değişiklikler, nem etkisi, biyolojik tahribat ve kimyasal bozulmalar sonucunda ortaya çıkarak hem yapısal hem de estetik açıdan malzemeyi etkiler. Bu nedenle, restorasyon çalışmalarında detaylı mikroskobik incelemeler, eserlerin özgünlüğünü koruyacak müdahalelerin planlanmasında temel teşkil eder.

Makroskobik ve mikroskobik verilerin birlikte değerlendirilmesi, yalnızca tür tayini için değil, aynı zamanda geçmiş dönem işçilik tekniklerinin anlaşılması, orijinal yapının belgelenmesi ve malzemenin gelecek kuşaklara aktarılmasına yönelik bilimsel yaklaşımların geliştirilmesi açısından da önem arz etmektedir.

Eser Yapımında Kullanılan Ahşap Malzemenin Özellikleri

Ahşap, tarihsel süreçte insanlık tarafından en yaygın ve önemli yapı malzemelerinden biri olarak kullanılmış, milyonlarca yıl boyunca inşa, araç gereç yapımı ve sanat eserlerinin üretimi gibi çeşitli alanlarda vazgeçilmez bir organik materyal olmuştur. Hafifliği, dayanıklılığı ve işlenebilirliği gibi özellikleri sayesinde ahşap, yalnızca yapı malzemesi olarak değil, aynı zamanda sanatsal ve kültürel bağlamlarda da kullanılmıştır. Özellikle tarihsel ve

kültürel miras eserlerinin korunması ve onarılması süreçlerinde ahşabın tanımlanması büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, ahşap malzemenin türü, yaşı, yüzeyinde kullanılan pigment ve koruyucu maddeler, süsleme unsurları ve kompozit yapıdaki malzemelerin tespiti, bozulma türü ve bozulma boyutunun belirlenmesi gibi bir dizi parametre, bilimsel analiz yöntemleri ile ortaya konulabilir. Ahşap malzemenin bu yönlerinin doğru bir şekilde tanımlanabilmesi için hem makroskopik hem de mikroskobik düzeyde anatomik özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir.

Ahşap malzemenin, kültürel varlıklarda kullanılmasının birkaç önemli nedeni vardır. Bu nedenler, ahşabın doğasında barındırdığı bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerle doğrudan ilişkilidir. Bu özellikler kısaca şu şekilde sıralanabilir:

- m. Yoğunluk,
- n. Nem İçeriği,
- o. Gözeneklilik,
- p. Renk,
- q. Doku,
- r. Dayanıklılık,
- s. İşlenebilirlik.

Yoğunluk: Ahşap malzemenin yoğunluğu, birim hacim başına düşen kütleyi ifade eder ve bu özellik, malzemenin mekanik dayanıklılığı ile doğrudan ilişkilidir. Genel olarak yoğunluk arttıkça ahşabın sağlamlığı artar, ancak işlenebilirliği zorlaşabilir. Ahşap türleri arasında yoğunluk bakımından önemli farklılıklar bulunmakta olup, bu farklılıklar malzemenin elastikiyet modülü, işlenebilirlik düzeyi ve genel dayanıklılığı üzerinde belirleyicidir. Özellikle restorasyon uygulamalarında tamamlama için seçilecek ahşap türünün yoğunluğu, elastik modülünü doğrudan

etkileyeceğinden dikkatle seçilmelidir. Güneş & ark., (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı ahşap türleri üzerinde tanen emdirme ve ısıtım işlem uygulamalarının eğilme elastik modülü üzerindeki etkileri, Taguchi L9(3³) deney tasarımı yöntemiyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda, elastik modül üzerinde en belirleyici parametrenin ahşap türü olduğu, iklim koşullarının ise en az etkiye sahip olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, ısıtım işlem görmemiş örneklerin hem ısıtım işlem uygulanmış hem de tanenle emdirilmiş numunelere kıyasla daha yüksek elastik modül değerleri sergilediği belirlenmiştir.

Nem İçeriği: Ahşap malzeme doğası gereği nem içerir ve bu nem oranı, boyutsal değişiklikler, çürüme ve bozulma süreçleri üzerinde doğrudan etkilidir. Nem içeriği, çevresel koşullar ve saklama ortamına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Özellikle yüksek nem oranı, ahşabın genleşmesine, şekil kaybına ve mikrobiyal faaliyetlere açık hale gelmesine neden olur. Bu nedenle, ahşabın bulunduğu ortamda nem dengesinin korunması, malzemenin uzun ömürlü olması açısından kritik öneme sahiptir.

Gözeneklilik: Ahşap, yapısal olarak gözenekli bir malzemedir ve bu özelliği, içinden hava ve nem geçişine olanak tanır. Gözeneklilik, ahşabın nem alışverişi yapabilmesini sağlarken, aynı zamanda uzun süreli nem tutulumunun bozulmaya yol açmasına da neden olabilir. Gözenek yapısı, ahşap türlerine göre farklılık gösterir; bazı türler geniş gözenekleriyle nem buharlaşmasını kolaylaştırırken, diğerleri sıkı gözenek yapısıyla su tutulumunu sınırlar. Bu farklılıklar, ahşabın iklimsel değişimlere karşı verdiği tepkiyi ve bozulma süreçlerini anlamada önem taşır.

Renk: Ahşabın rengi; türüne, kesim yönüne, yaşına ve yetiştiği bölgeye bağlı olarak değişiklik gösterir. Açık ya da koyu tonlar, estetik açıdan tercih sebepleri olmakla birlikte, aynı zamanda malzemenin yaşı ve bozulma durumu hakkında da bilgi verir.

Zamanla oluşan renk değişimleri, ışık, nem ve hava kirliliği gibi çevresel faktörlerin etkisiyle gerçekleşir. Bu nedenle, yüzeydeki renk farklılıkları, restorasyon çalışmalarında malzemenin hasar düzeyinin tespiti için önemli bir göstergedir.

Doku: Ahşabın dokusu, lif yapısı ve büyüme halkalarının düzenine bağlı olarak türler arasında değişiklik gösterir. Bazı ağaçlar düzgün ve homojen dokuya sahipken, bazıları daha karmaşık ve belirgin desenler barındırır. Bu dokusal yapı hem estetik görünümü hem de işlenebilirlik düzeyini etkiler. Restorasyon çalışmalarında, özgün dokunun korunması ve yeni eklenecek parçaların doku açısından uyumlu olması, eserin bütünlüğünü sağlamak açısından önemlidir. Karmaşık dokular, özellikle tür tespiti ve dönem analizinde ipuçları sunar.

Dayanıklılık: Ahşap malzemenin dayanıklılığı, ağaç türüne, işlenme biçimine ve çevresel etkenlere karşı direncine göre değişkenlik gösterir. Bazı türler doğal olarak daha uzun ömürlü ve çürümeye dirençli iken, bazıları daha hassastır. Ahşabın korunmasında modern teknikler arasında nem kontrolü, biyolojik etkenlere karşı koruyucu uygulamalar ve mekanik stres azaltıcı önlemler yer almaktadır. Bu yöntemler, malzemenin ömrünü uzatmak ve restorasyon sırasındaki riskleri azaltmak için etkili araçlar sunar.

İşlenebilirlik: Ahşap, doğal yapısı itibarıyla tornalama, testere ile kesme, frezeleme gibi işlemlerle kolayca şekillendirilebilen bir malzemedir. Ancak işlenebilirlik düzeyi, yoğunluk ve sertlik gibi fiziksel özelliklere göre farklılık gösterir. Sert ve yoğun türler daha dayanıklı olmakla birlikte, işlenmeleri daha fazla güç ve zaman gerektirir. Buna karşın, daha yumuşak türler kolay şekil alabilir, ancak dış etkenlere karşı daha savunmasızdır. Ahşabın işlenebilirlik düzeyi, özellikle tarihi eserlerin replikası veya

restorasyon parçalarının üretilmesinde dikkate alınması gereken temel kriterlerden biridir.

Ahşap Malzeme Esaslı Eserlerde Bozulmalar

Doğal çevrenin önemli bir bileşeni olan ağaçlar, kökleriyle toprağa tutunan, odunlaşmış gövdelere sahip, dalları yapraklarla örtülü ve kereste üretimine uygun bitkiler olarak tanımlanır. Bu canlı organizmalar, fotosentez yoluyla enerji üretir, ekosisteme oksijen sağlar ve biyolojik çeşitliliğe ev sahipliği yapar. Ağaçların oluşturduğu topluluklar ise, ağaç ve/veya çalılarının bir araya gelmesiyle oluşan **orman** ekosistemlerini meydana getirir. Burada **çalılar**, odunsu yapıda olmalarına karşın kereste üretimi açısından elverişli olmayan, daha kısa ve çok gövdeli bitkiler olarak tanımlanır.

Ağaçların kesilmesiyle birlikte, artık biyolojik canlılıklarını sürdüremeyen bu yapılar **odun** olarak adlandırılır. Odun, kesilmiş, budanmış ve parçalara ayrılmış ağaç malzemesidir. Ancak bu haliyle hâlâ işlenmemiş ve kullanım amacına göre dönüştürülmemiştir. İşlenme sürecine giren odun malzeme, belli ölçü ve standartlara uygun şekilde hazırlanarak **yuvarlak odun** ya da yaygın adıyla **tomruk** haline getirilir. Bu tomrukların biçimlendirilmesiyle elde edilen ürünler ise **kereste** olarak adlandırılır. Kereste, ahşap malzemeye dönüşme sürecinin önemli bir aşamasını oluşturur.

Keresteden elde edilen ve yapı, eşya, sanat eseri gibi çeşitli alanlarda kullanılan işlenmiş malzeme ise **ahşap** olarak tanımlanır. Ahşap, artık doğal formundan uzaklaşmış, insan eliyle şekillendirilmiş, estetik, işlevsel ve yapısal bir üründür. Bu haliyle **yaşayan bir ağaçtan**, yani doğal ve canlı bir varlıktan; **eser haline gelmiş bir ahşap yapıya**, yani kültürel ve teknik müdahaleyle biçim kazanmış bir ürüne geçiş söz konusudur.

Bu bağlamda, yaşayan ağaç; doğada yer alan, kendi metabolik süreçlerine sahip canlı bir varlıkken, ahşap ise bu canlı varlığın kesilip işlenmesiyle elde edilen, cansız fakat işlevsel bir yapı malzemesidir. Aralarındaki fark yalnızca fiziksel değil; ekolojik, kültürel ve teknik boyutları da içeren çok katmanlı bir dönüşümü temsil eder.

Ağaçlar, canlı birer organizma olarak çevresel faktörlere karşı gelişmiş savunma mekanizmalarına sahiptir. Kök sistemiyle topraktan su ve besin alımı gerçekleştiren, yapraklarıyla fotosentez yapan ve özelleşmiş dokuları sayesinde kendini yenileyebilen ağaçlar; biyotik (mantarlar, böcekler) ve abiyotik (rüzgâr, don, kuraklık) zararlara karşı belirli bir direnç gösterebilir. Bu doğal sistem, ağaçların kendi bünyelerinde oluşabilecek çürük, çatlak, yaralanma gibi bozulmalara karşı onarım yeteneğini de içerir.

Ancak ağaç, kesilip canlılığını yitirdiğinde ve **odun** haline geldiğinde; daha sonra **ahşap** malzeme olarak işlenip kullanıldığında, artık bu biyolojik savunma mekanizmalarından yoksundur. **Ahşap**, ölü bir malzeme olduğu için bozulmalara karşı pasif durumdadır ve dış etkilerle başa çıkmak için yalnızca yüzey işlemleri, fiziksel koruma ve çevresel koşulların kontrolü gibi dışsal önlemlere ihtiyaç duyar.

Yaşayan ağaçtaki bozulmalar, genellikle doku içinde sınırlı kalabilir ve ağacın kendini onarma kapasitesiyle kontrol altına alınabilir. Örneğin, bir dal kırılması sonrası oluşan yara dokusu (kallus) çevre dokular tarafından sarılarak kapatılabilir. Buna karşın, **ahşap malzemede bozulmalar** geri döndürülemez biçimde ilerleyebilir; özellikle nem, mantar, böcek tahribatı, UV ışını ve sıcaklık değişimleri ahşabın lif yapısını bozarak çatlama, çürüme, renk değişimi ve mukavemet kaybı gibi ciddi hasarlara yol açabilir.

Ayrıca, **yaşayan ağaçta bozulmalar** genellikle içsel süreçlerle sınırlı kalırken, **ahşapta bozulmalar** çoğunlukla dışsal

etkenlerle tetiklenir. Örneğin, yapı ahşaplarında görülen mantar saldırıları (özellikle kahverengi çürüklük mantarları) veya mobilyalarda oluşan böcek delikleri (*Anobium punctatum* gibi) canlı ağaçta çok daha nadir görülür.

Bu bağlamda, **yaşayan ağaç ile ahşap malzeme arasındaki temel fark**, yalnızca canlılık durumu değil, bozulmalara karşı tepkisel yetkinliktir. Ağaç kendi kendini koruyabilirken, ahşap malzeme yalnızca insan eliyle koruma altına alınabilir. Bu gerçek hem ormancılık hem de konservasyon bilimleri açısından materyalin kullanım ömrü ve korunma stratejilerinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir.

Ahşap malzeme gerek doğal ortamda gerekse müze koşullarında; anatomik özelliklerine bağlı etmenler ile fiziksel, kimyasal, biyolojik ve fotokimyasal etkenler sonucunda bozulmalara uğrayabilir. Bu bağlamda, anatomik etkenler; ahşabın henüz ağaç formundayken (dikili haldeyken) gelişim sürecinde ortaya çıkan yapısal anormalliklerin neden olduğu içsel bozulmaları ifade etmektedir. Bu çalışmada, söz konusu bozulma türleri, ahşabın eser haline geldikten sonraki durumuna odaklanılarak “**Malzeme Seçimi, Yapım ve Üretim Sorunları**” başlığı altında ele alınmıştır. Dikili ağaçları kusurlu duruma getiren başlıca sebepler şunlardır;

- Ağacın yetiştiği yerin topografik durumu,
- Kuraklık ve güneş alamama durumu,
- Tek yönden esen veya aşırı rüzgar,
- Aşırı soğuklar ve don,
- Böcekler ve mantarlar,
- İnsanlar ve hayvanlar.

Bu faktörleri Bozkurt ve Erdin (2011) Tablo 1’deki gibi sıralamışlardır;

Tablo 1 Odun kusurları.

Ana Kategori	Alt Kategori	Örnek/Kusurlar
Çevre Koşullarının Oluşturduğu Faktörler	Gövde şekli anormallikleri	-
	Lif yönünde sapma	-
	Anormal yıllık halka yapısı	Eksantrik öz oluşumu, Yalancı yıllık halkalar, Devamlı olmayan halkalar, Dişli halkalar, Çift/çok öz oluşumu
	Reaksiyon odunu	Basınç odunu, Çekme odunu
	Büyüme gerilmeleri	Öz çatlakları, Halka çatlakları, Basınç çatlakları
	Gevreklik ve cazlama	-
	Yaralanma ile oluşan kusurlar	Travmatik kanallar, Reçine keseleri, Kabuk keseleri, Öz lekeleri, Don yaraları, Yıldırım yaralanmaları ve güneş yanığı
	Anormal renk oluşumu	Mineral çizikler, Ay halkası, Kırmızı öz odun, Kahverengi öz odun, Donmuş öz odun, Koruyucu odun
Doğal Büyüme Sonucu Meydana Gelen Kusurlar	Radyasyon kaynaklı anormallikler	-
	Budaklar	-
	Öz (heartwood)	-

Dikili, yani henüz kesilmemiş ağaçlarda gözlemlenen tüm anatomik kusurların, işlenmiş ve sanat eseri hâline getirilmiş ahşap malzemelerde aynı şekilde görülmesi beklenmez. Bu farkın başlıca nedeni, usta zanaatkârların malzeme seçiminde gösterdiği dikkat ve titiz yaklaşımıdır. Ahşap eser üretiminde, yalnızca estetik değil, aynı zamanda dayanıklılık ve işlevsellik açısından da nitelikli malzeme kullanımı esastır. Seçim sürecinde; yüzey düzgünlüğü, homojen renk ve doku, budaksızlık, düzgün lif yapısı gibi kriterler kadar, malzemenin mekanik dayanımı, işlenebilirliği, biyolojik etkenlere

karşı direnci ve düşük higroskopik hareketliliği gibi teknik özellikler de göz önünde bulundurulur. Bu unsurlar, eserin hem uzun ömürlü olmasını hem de estetik bütünlüğünü korumasını sağlar. Ancak tüm bu özenli seçim sürecine karşın, zamanla yapısal kusurlar barındıran (örneğin budak, reçine kesesi, ur ya da göz gibi) malzemelerin kullanılması durumunda bazı bozulmaların meydana geldiği görülmektedir. Söz konusu kusurlar, ahşabın boyutsal kararlılığını olumsuz etkileyerek çatlama, eğilme ve yüzey deformasyonları gibi problemlere yol açabilir.

Ahşap eserlerin bozulma türleri, temel olarak iki ana grupta incelenebilir:

(1) Malzeme Seçimi, Yapım ve Üretim Sorunları: Bu tür bozulmalar, eserin daha yapım aşamasındayken ortaya çıkabilecek kusurlardan ya da malzeme kaynaklı hatalardan kaynaklanır. Uygun olmayan ahşap türünün seçilmesi, yeterince kurutulmamış ya da budaklı malzemenin kullanılması, hatalı konstrüksiyon teknikleri, uyumsuz yapıştırıcılar ve montaj hataları, zamanla yapısal bütünlüğü zayıflatabilir.

(2) Koruma Sorunları ve Bozulmalar: Ahşap eserlerin sergilenme, depolama ya da kullanım koşulları; bakım eksiklikleri, hatalı restorasyon uygulamaları ve biyolojik etkenler gibi dış faktörlerle birleştiğinde çeşitli bozulmalara yol açar. Nem değişimleri, UV ışınları, hava kirliliği, mantar ve böcek zararları, vandalizm ya da yangın gibi etkiler zamanla eserin hem estetik hem de işlevsel özelliklerini kaybetmesine neden olabilir.

Bu çerçevede, ahşap eserlerdeki bozulmalar, sistematik bir yaklaşımla sınıflandırılabilir. Aşağıda sunulan

Tablo 2, bu bozulma türlerini nedenlerine göre gruplandırarak tanı sürecini kolaylaştırmakta ve koruma-restorasyon stratejilerinin bilimsel temellerle şekillenmesine katkı sağlamaktadır.

Tablo 2 Ahşap eserlerde görülen bozulma türleri.

Malzeme Seçimi, Yapım ve Üretim Sorunları		Budak			
		Reçine Keseleri			
		Göz ve Uurlar			
		Lif Kırıklığı			
Korunma Sorunları ve Bozulmalar	Yapısal Bozulmalar	Kırılma			
		Çatlama/Yarılma			
		Birleşim Yerlerinden Ayrılma, Gevşeme Oynama			
		Gönye Bozunumu/ Eksen Kayması			
		Parça Kaybı			
		Ahşabın Çalışması (Şişme, Sehim, Eğilme, Bükülme, Dönme, Çekme, Çanaklaşma, Kamburlaşma)			
	Yüzey Bozulmaları	Boya katmanında tabakalaşma/ayrışma			
		Koruyucu katmanda tabakalaşma/ ayrışma			
		Boya/Koruyucu tabakada renk değişimi			
		Korozyon			
		Erozyon			
		Renk değişimi			
		Yüzeysel toz/kir/kalıntı/lekelenme			
	Biyolojik Bozulmalar	Mantarlar	Küf Mantarları	Renk Değişimi	
			Leke Mantarları	Renk Değişimi ve Parçalanma	
			Çürüme Mantarları	Beyaz Çürüklük	
				Kahverengi Çürüklük	
		Böcekler ve Kemirgenler	Galeri/Böcek Uçuş Delikleri Koflaşma	Yumuşak Çürüklük	
		Niteliksiz Onarımlar ve Diğer Sorunlu Müdahaleler	Boya / Koruyucu katmanda ayrışma/tabakalaşma		
			Yüzeysel toz/kir/kalıntı/lekelenme		
	Niteliksiz Dolgu Malzemesi Kullanımı				
	Niteliksiz Ahşap Kullanımı				
	Niteliksiz Malzeme Kullanımı				
	Metal Malzeme Kullanımı				
	Vandalizm				

A. Malzeme Seçimi, Yapım ve Üretim Sorunları

Ahşap süsleme tekniklerinin başarıyla uygulanabilmesi için ahşabın yoğunluk, sertlik, lif yapısı ve dokusal homojenlik gibi fiziksel özellikleri büyük önem taşır. Örneğin, *oyma veya kabartma* tekniği için lifi düzgün, dokusu homojen ve çatlama riski düşük olan ceviz, ıhlamur ve meşe gibi türler tercih edilir. Bu tür ağaçlar, detaylı motiflerin hassasiyetle işlenmesine olanak tanır. Aşırı sert ya da lif yönü karmaşık ağaç türlerinde oyma sırasında yüzey kopmaları, çatlama ve detay kayıpları yaşanabilir. Benzer şekilde, *kazıma* tekniğinde de yüzeyin düzgünlüğü ve lif yönünün homojenliği, motifin netliği açısından kritik rol oynar.

Ahşap *kakma* veya *tarsi* tekniklerinde ise hem estetik hem de teknik açıdan büyük hassasiyet gerektirir. Kakma işleminde farklı renk, doku ve yoğunluktaki ahşap türlerinin bir arada kullanılması, malzeme genleşmesi ve büzülme farklarından dolayı uzun vadede deformasyon riskini artırır. Bu nedenle kakma tekniğinde kullanılacak türlerin nem alma-verme davranışları ve yoğunluk farkları dikkate alınmalı, mümkünse aynı fiziksel özelliklere sahip ama renk açısından farklı türler tercih edilmelidir. Metal, fildişi, sedef gibi malzemelerin ahşaba kakılması durumunda, ısı ve nem değişimlerine karşı farklı genleşme katsayıları üretim sonrası ayrılma ve çatlama gibi sorunlara yol açabilir.

Enkaustik teknik, sıcak mum esaslı boyaların yüzeye uygulanmasını içerdiğinden, ahşabın gözenekliliği ve ısıya karşı davranışı bu teknikte belirleyici olur. Özellikle yoğunluğu düşük ve açık lif yapısına sahip türlerde boya Emilimi dengesiz olabileceğinden, yüzey ön işlemleri titizlikle yapılmalıdır. Benzer şekilde, geleneksel boyama tekniklerinde de yüzey pürüzsüzlüğü, boya-tutunma kapasitesi ve renk değişimlerine karşı direnç gibi kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Renk pigmentlerinin

ahşapla kimyasal tepkimeye girmesi veya UV ışınlarına karşı düşük dirençli türlerde renk solmaları görülebilir.

Ahşap süsleme uygulamaları, üretim sürecini daha karmaşık ve hassas hale getirir. Oyma ve kakma gibi tekniklerde malzeme işlenebilirliği kadar üretim sırasında oluşabilecek deformasyonlar da göz önüne alınmalıdır. Özellikle ince işçilik gerektiren uygulamalarda, ahşabın kurutulma sürecinin iyi planlanmaması, iç gerilimler ve çatlaklara yol açabilir. Ayrıca lif yönüne dik yapılan işlemler, yapısal zayıflamalara ve uzun vadede ayrışmalara neden olabilir. Uygulanan süsleme tekniklerinin her biri, ahşabın hareketli doğasına karşı dirençli olacak biçimde tasarlanmalı ve üretim sonrası uygun koruyucu tabakalarla stabilize edilmelidir.

Ahşap süsleme teknikleri, sadece estetik değil aynı zamanda teknik zorluklar da barındırır. Geçmiş dönemlerde uygulanmış kakma, oyma veya kazıma süslemeleri, zamanla maruz kaldıkları çevresel koşullar nedeniyle deformasyona uğrayabilir. Restorasyon uygulamalarında, özgün malzemeye uygun yoğunlukta, benzer gözenek yapısına sahip ve aynı lif yönüne sahip türlerin seçilmesi, eserin bütünlüğünün korunması açısından kritiktir. Ayrıca süsleme tekniklerinin izlerinin korunması ve malzeme ile bütünleştirilmesi, restorasyonun etik ve teknik ilkeleriyle uyumlu olmalıdır.

Ahşap eserlerde gözlemlenen bazı bozulmalar, malzemenin ilk seçim aşamasında belirli özelliklerin yeterince dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır. Özellikle ahşabın doğal kimyasal ve anatomik yapısından kaynaklanan reçine kanalları, budaklar, göz ve ur gibi yapısal kusurlar hem estetik bütünlük hem de yapısal dayanım açısından çeşitli olumsuzluklara neden olabilmektedir.

Ayrıca odun halindeki anatomik bozukluklar, ahşap malzemenin higroskopik özellikleri nedeniyle zamanla belirginleşebilir; özellikle sıcaklık ve nem değişimlerinin etkisiyle

malzeme alıřtıķa (genleşme ve büzülme hareketleriyle) söz konusu kusurlar daha da görünür hâle gelir. Ayrıca, bu kusurların bulunduğu bölgeler, ahşap yüzeyine uygulanan koruyucu ya da dekoratif işlemler sonrasında farklı şekilde tepki verebilir; bu da yüzeyde renk değişimleri, lokal parlaklık farkları veya katman ayrılmaları gibi sonuçlara yol açabilir.

Buna ek olarak, budak ya da reçine kanalı gibi yapısal boşluklar zamanla toz ve kirin birikmesine neden olarak mikrodopolama alanlarına dönüşebilir; bu durum hem görsel kirliliğe hem de biyolojik bozulmaların başlangıç noktalarına zemin hazırlar. Parça kayıpları veya yzeyssel aşınmalar da bu bölgelerde daha sık görülmektedir. Dolayısıyla, ahşap malzemenin seçiminde yalnızca dış görünüş değil, i yapısal bütünlük ve kusur potansiyeli de dikkatle değerlendirilmelidir.

Budak

Budaklar, ahşap eserlerde genellikle estetik ve fonksiyonel açıdan önemli sorunların kaynağını oluşturur. Ahşap malzemenin doğal yapısında yer alan budaklar, liflerin yöneliminin bozulmasına yol açarak malzemenin mekanik dayanımını olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle sanat eseri yapımında kullanılan ahşapta, budakların yoğun olduğu bölgeler, estetik btnlğu bozan unsurlar olarak öne çıkar. Bu tür kusurlar, eser üzerindeki renk dengesizliğine, yüzeydeki dokusal farklılıklara ve zamanla meydana gelen çatlak ve kırıklara neden olabilir (Resim 1).

Budaklar, aynı zamanda ahşabın hücresel yapısının zayıfladığı bölgeler olup, çevresel değişimlere karşı daha hassastır. Nem ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak bu bölgelerde daha fazla büzülme ve şişme gözlemlenir. Bu fizyolojik hareketler, özellikle sanat eserlerinde kullanılan ince işçilik gerektiren yüzeylerde çatlamalara ve kırılmalara yol açabilir. Çatlaklar, estetik açıdan

rahatsız edici olduğu gibi, ahşap malzemenin dayanıklılığını da zayıflatır, bu da eserin ömrünü kısaltabilir.

Ayrıca, budakların bulunduğu yüzeyler genellikle mikroskopik düzeyde pürüzlülük gösterir. Bu pürüzler, ahşap yüzeyine uygulanan vernik, boyama veya diğerkoruyucu kaplama işlemlerinin düzgün bir şekilde dağılmasını engeller. Sonuç olarak, yüzeyde renk farklılıkları, parlaklık kayıpları ve dokusal bozulmalar meydana gelir. Zamanla bu bölgelerde biriken toz ve kir, eser üzerinde kalıcı lekeler bırakabilir, yüzeyin estetik ve fiziksel kalitesini düşürebilir.

Budaklar, biyolojik zararlılar için de birer giriş noktası oluşturur. Özellikle böcekler ve mantarlar, bu tip anatomik kusurların bulunduğu bölgelerde hızla çoğalabilir. Bu durum, eser üzerinde daha ileri seviyede biyolojik bozulmalara, örneğin çürümeye veya deliklerin oluşmasına yol açabilir. Ayrıca, bu tür biyolojik saldırılar, eser üzerinde tedavi edilmesi zor olan kalıcı hasarlara neden olabilir.

Eser bazında budakların neden olduğu bu tür problemler, sadece fiziksel bozulmalarla sınırlı kalmaz. Aynı zamanda eserin tarihsel ve kültürel değeri de zarar verebilir. Sanat eseri olarak kullanılan ahşap malzemenin özgünlüğü, dayanıklılığı ve estetik değeri, budak gibi doğal kusurlar nedeniyle zamanla ciddi oranda kaybedilebilir. Bu nedenle, ahşap eserlerin korunması ve restorasyonu sürecinde budakların etkisi göz önünde bulundurularak, özel koruma önlemleri ve onarım teknikleri uygulanmalıdır.

Budak odunu gövde odununa göre daha yüksek yoğunlukta, daha sert ve daha reçineli olup, kendisini çevreleyen odundan daha fazla daralma miktarına sahiptir. Budaklar lif yönünün değişmesine ve malzemede çatlaklara neden olur. Budaklı kerestenin direnci, yükleme tipi ile budakların cinsine, büyüklüğüne ve kerestede

bulunuş yerine bağılı olarak önemli derecede azalmaktadır. Ayrıca, odunun işlenmesi, kurutulması ve yapışma özellikleri üzerinde de olumsuz etki yapmaktadır. Kaynamış budaklar kerestenin basınç direncini, sertliğini ve makaslama direncini artırabilir. Ancak, rutubet değişikliğiyle çatladığından boyama güçleşir ve fazla boya kullanılmasına yol açarlar. Fazla reçine içerdiklerinden boyamadan önce yakılmaları gerekir. Budakların çevresindeki lif gidişindeki düzensizlik direnci azaltır. Eğilmeye maruz kalan kirişlerin alt kısımda çekme gerilmesi meydana geleceğinden, malzemenin ortasında budak olmaması gerekir. Bu özellikleri nedeniyle yapı malzemesinde budakların sağlamlığı, büyüklüğü ve bulunduğu yer önemlidir (Bozkurt & ark., 2011: 203).

Resim 1 Eser yüzeyinde budak örnekleri.



Reçine Keseleri

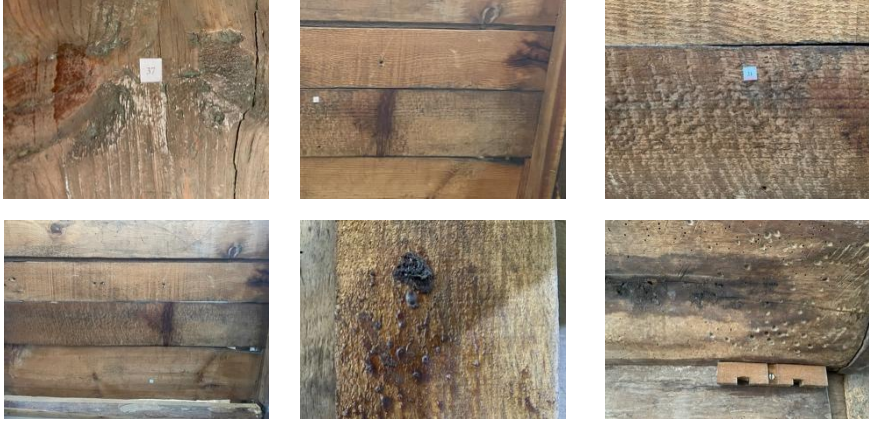
Reçine keseleri, ahşap eserlerde karşılaşılan önemli bozulma etkenlerinden biridir. Ahşabın doğal kimyasal bileşenlerinden biri olan reçine, ağacın savunma mekanizması olarak özellikle canlı ağaçlarda ortaya çıkar. Ancak işlenmiş ahşap, çevresel etkilere maruz kaldığında reçine sızıntılarına eğilim gösterebilir ve bu durum hem estetik hem de yapısal açıdan sorunlara yol açar. Reçine sızıntıları, yüzeyde yapışkan bir tabaka oluşturarak toz ve kirin birikmesine neden olur, bu da lekelenmelere ve estetik kayıplara yol açar. Bu tür kirlilik, yüzeyin düzgünlüğünü bozarak uygulanan koruyucu kaplamaların etkinliğini düşürür ve restorasyon çalışmalarını zorlaştırır (Resim 2).

Bunun yanı sıra, reçine sızıntıları ahşabın nem dengesini etkileyerek, zamanla büzülme, şişme veya deformasyon gibi yapısal bozulmaların ortaya çıkmasına neden olabilir. Ahşabın bu hareketleri, çatlama veya bükülme gibi ciddi hasarlara yol açabilir. Reçine, aynı zamanda ahşabın mikro yapısını zedeleyerek biyolojik zararlılar için uygun bir ortam oluşturur. Mantarlar ve böcekler gibi zararlılar, bu yapışkan yüzeylerden beslenebilir ve ahşap üzerinde çürümeye, deliklerin oluşmasına neden olabilir.

Reçine sızıntılarının tespiti ve restorasyonu, uzmanlık gerektiren bir süreçtir. Yüzeydeki reçine kalıntıları, özel solüsyonlar veya ısıtma işlemleriyle temizlenebilir. Bununla birlikte, yapısal bozulmaların onarımı daha karmaşık yöntemler gerektirir. Restorasyon sürecinde, reçine sızıntılarının etkilenen bölgelere uygun koruyucu kaplamalarla müdahale edilmesi, eserin uzun ömürlü olmasını sağlamada kritik bir rol oynar. Estetik ve yapısal bozulmaların önlenmesi için bu tür sızıntıların doğru bir şekilde tespit edilmesi, temizlenmesi ve uygun restorasyon tekniklerinin uygulanması gereklidir. Bu, eserlerin orijinal değerinin korunmasına yardımcı olacak ve restorasyonun etkinliğini artıracaktır.

Reçine keseleri, yalnızca iğne yapraklı ağaçlarda bulunmaktadır. Ahşap doğramada 5 mm'den dar ve kısa olan reçine keseleri dikkate alınmayabilir. Ancak ısı etkisiyle yağlı boya altında bulunan reçine sızarak boyaya zarar vermektedir. Ayrıca reçineli ahşap daha çabuk yanmaktadır (Perker, 2010: 83).

Resim 2 Eser yüzeyinde reçine keseleri örnekleri.



Göz ve Uurlar

Ahşap malzemede görülen "ur" ve "kuşgözü," yapısal bozulmalar ve işlenebilirlik açısından önemli sorunlar oluşturur. Ur, liflerin doğal yönelimini kaybederek kıvrılması ve top halini alması sonucu meydana gelir. Bu kusur, genellikle sağlam ve yuvarlak bir yapıya sahip olup, ağacın anatomik yapısında anormalliklere yol açar. Ur, ahşabın homojen yapısını bozar, bu da hem estetik açıdan olumsuz etkilere yol açar hem de işlenmesini zorlaştırır (Resim 3). Ur, yıl halkalarının gövde dışında oluşmasıyla karakterize edilir ve ağacın dengesiz büyümesi sonucu meydana gelir. Bu durum, ahşabın dayanıklılığını zayıflatır, yüzey işlemlerinin düzgün bir şekilde yapılmasını engeller ve estetik bütünlüğü bozar. Özellikle ceviz, şimşir, akça ağaç, kara kavak ve at kestanesi gibi bazı türlerde ur daha yaygın görülür. Uurlu bölümün kereste olarak kullanılması ise sakıncalıdır (Şener, 2006: 60).

Kuşgözü, ağacın kambiyum tabakasında oluşan yaralardan kaynaklanan bir diğer anatomik kusurdur. Kambiyumda meydana gelen bu yaralar, ağacın büyüme ve gelişme süreçlerinde zayıflamalara yol açar. Kuşgözü, ahşabın yapısal bütünlüğünü olumsuz yönde etkileyerek, dayanıklılığını azaltır. Ayrıca, kuşgözü olan bölgeler işlenmesini zorlaştırır ve yüzeyde pürüzlülükler meydana getirir. Bu durum, ahşap eserlerde estetik ve işlevsel problemleri artırır.

Hem ur hem de kuşgözü, ahşap malzemede kalıcı bozulmalara neden olabilecek önemli kusurlardır. Bu tür defolar, eserin ömrünü kısaltabilir ve restorasyon süreçlerinde ek zorluklar yaratabilir. Dolayısıyla, ahşap malzeme seçimi sırasında bu tür kusurların tespit edilmesi ve uygun önlemlerin alınması, eserlerin korunması ve uzun süre dayanıklı kalması için kritik bir öneme sahiptir.

Resim 3 Eser yüzeyinde göz ve ur örnekleri.



Lif Kıvrıklığı

Ağaçlarda boyuna yönde uzanan hücrelerin eksene paralel düzeninden sapmalar, malzemenin direncini zayıflatarak lif yönündeki sapmaları kusur olarak kabul edilmektedir. Bu durum, liflerin ağaç eksenine paralel seyretmesi gereken yerde, sağa veya sola eğilerek ya da gövdede spiral bir şekilde ilerlemesiyle kendini gösterir ve bu fenomene "lif kıvrıklığı" adı verilir (Bozkurt & ark., 2011: 168, 169).

Ahşap malzemede karşılaşılan lif kıvrıklığı, hem yapısal dayanım hem de estetik açıdan önemli bir bozulma unsurudur. Liflerin doğrusal düzeninden saparak düzensiz ve dalgalı bir yapıya dönüşmesi, ahşabın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Özellikle yük taşıyan veya ince işçilik gerektiren kısımlarda, bu durum malzemenin iç gerilimlere karşı direncini azaltarak kırılma, çatlama ve deformasyon riskini artırır (Resim 4).

Lif kıvrıklığı, aynı zamanda ahşap yüzeyin homojenliğini bozar ve bu, eser üzerinde görsel bütünlüğün kaybına yol açar. Düzgün olmayan lif yönlenmeleri, yüzeyde istenmeyen gölge ve renk farklılıklarına neden olabilir. Bu estetik bozulmalar, özellikle sanat ve zanaat amaçlı üretilmiş ahşap eserlerde görsel değeri düşürürken, yüzey işlemlerinin (boya, cila, vernik vb.) eşit şekilde tutunmasını engeller.

Sonuç olarak, lif kıvrıklığı hem malzemenin yapısal performansını zayıflatmakta hem de eserin görsel niteliklerini olumsuz etkileyerek değerini düşürmektedir. Bu nedenle, özellikle kültürel miras niteliği taşıyan ahşap eserlerin üretimi ve restorasyonu sürecinde, bu tür anatomik kusurların varlığı dikkatle değerlendirilmelidir.

Resim 4 Eser yüzeyinde lif kıvrıklığı örneği.



B. Korunma Sorunları ve Bozulmalar

Yapısal Bozulmalar

Ahşap malzeme bozulmaları, malzemenin yapısal bütünlüğünü tehdit eden ve doğrudan ahşabın doğal yapısını

etkileyen süreçlerdir. Bu bozulmaların temel kaynakları fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler olup, her biri ahşabın yapısında deformasyonlar ve kimyasal bileşim değişikliklerine yol açmakta, dolayısıyla eserin statik dayanımını zayıflatmaktadır.

Fiziksel bozulmalar genellikle doğrudan mekanik etki sonucu meydana gelir. Uygunsuz kullanım, yanlış taşıma, kötü depolama ve sergileme koşulları, ahşap malzemelerde fiziksel hasarlara yol açan başlıca etkenlerdir. Özellikle bağıl nemdeki ani değişiklikler, ahşabın higroskopik (nem çekici) yapısı nedeniyle şişme ve büzülme reaksiyonlarını tetikler. Bu reaksiyonlar, malzeme yüzeyinde homojen olarak gerçekleşmediğinden, çatlama, eğilme ve bükülme gibi deformasyonlara neden olabilir. Fiziksel bozulmaların başlıca nedenleri şunlardır:

Bağıl nemdeki değişiklikler: Ahşabın hacimsel olarak çalışmasına (şişme-büzülme) yol açar.

Hava koşullarına maruz kalma: Güneş ışığı, sıcaklık dalgalanmaları ve rüzgâr, ahşabın yüzeysel yapısında çatlamalara ve renk solmalarına neden olur.

İnsan faktörü: Yanlış kullanım, uygunsuz restorasyon müdahaleleri ve mekanik zorlamalar, malzemenin erken yıpranmasına yol açar.

Kimyasal Bozulmalar: Kimyasal bozulmalar, çevresel faktörlerle birlikte malzemenin kimyasal bütünlüğünü etkileyerek mekanik özellikleri zayıflatır ve estetik görünümde bozulmalara yol açar. Beş temel kimyasal bozulma etkeni şunlardır:

Işık ve UV Radyasyonu: Işık, özellikle ultraviyole (UV) bileşeni, ahşabın lignin maddesinin parçalanmasına neden olarak renk solmalarına, yüzeyde çatlamalara ve lif ayrışmalarına yol açar.

Asitler: Asidik bileşikler, selüloz yapısını hedef alarak ahşabı kimyasal olarak zayıflatır.

Bazlar (Alkaliler): Alkalın maddeler, ahşabın lignin ve hemiselüloz gibi bileşenlerini parçalayarak dokusal bütünlüğün kaybına yol açar.

Tuzlar: Tuz kristalleri, ahşap yapısında defibrilasyon (liflerin ayrışması) etkisi yaratarak içyapıda çatlak ve boşluklara neden olabilir.

Yangın: Yangın, ahşap malzemenin yapısını hızla tahrip eder ve kalıcı zararlar bırakır.

Kimyasal bozulmalar çoğunlukla çevresel kirleticilerle ilişkilidir. Ahşap malzemeye etki eden bu kirleticiler gaz, sıvı veya katı formda olabilir. Başlıca kimyasal kirleticiler şunlardır:

Gazlar: Hidrojen sülfür (H_2S), azot dioksit (NO_2), sülfür dioksit (SO_2) ve ozon (O_3) gibi hava kirliliği kaynaklı gazlar, oksijenin kendisi de oksidatif reaksiyonlara yol açabilir.

Sıvılar: Yapıştırıcılardan sızan plastikleştiriciler, insan eli kaynaklı yağlar gibi sıvılar, malzemenin yapısal özelliklerini olumsuz etkiler.

Katılar: Ortam havasında dolaşan toz partikülleri veya metalleri aşındıran tuzlar, yüzeyde fiziksel aşınmalara ve renk değişimlerine neden olabilir.

Bu kirleticiler, ahşap yüzeyde estetik değişikliklerin yanı sıra kimyasal çözünmeler ya da yüzey bozulmalarını tetikleyebilir. Özellikle kontrollü ortam şartlarının sağlanamadığı sergileme ve depolama alanlarında bu kirleticilerin etkisi artmaktadır.

Biyolojik Bozulma faktörleri, çevresel koşulların uygun hâle gelmesiyle aktif hâle gelir. Ahşap malzeme üzerinde bulunan küçük çaplı bozulmalar, nem artışı gibi faktörlerle birlikte biyolojik saldırılara (mantarlanma, böcek tahribatı vb.) dönüşebilir. Ortam

koşulları, doğrudan fiziksel ya da kimyasal bozulmaların yanı sıra, biyolojik tehditlerin de oluşumuna zemin hazırlayabilir.

Ahşap eserlerin korunmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin bütünsel olarak değerlendirilmesi büyük önem taşır. Bu unsurların her biri, ahşabın doğal yapısını farklı biçimlerde tehdit etmekte ve eserin estetik, işlevsel ve tarihsel değerini doğrudan etkilemektedir.

Ahşap eserlerin korunmasındaki en büyük zorluklardan biri, geçmişte gerçekleştirilen yetersiz ya da hatalı müdahalelerin neden olduğu bozulmalardır. Niteliksiz veya bilinçsizce yapılan restorasyon ve onarımlar, eserin orijinal yapısına zarar verir ve zamanla telafisi mümkün olmayan bozulmalara yol açar. Bu bağlamda, çivi gibi mekanik bağlantı elemanlarının uygunsuz kullanımı, ahşap lif yapısında yarılmalara neden olur; özellikle ince yüzeylerde çatlamlar ve deformasyonlar gözlemlenir. Yanlış miktarda ve uygunsuz özellikte tutkal kullanımı hem yüzeyde kalıntı bırakmakta hem de ileride yapılacak restorasyon işlemlerini güçleştirmektedir. Ayrıca, raspa (zımparalama) işlemi sırasında dikkatsiz uygulamalar, yüzeyde bulunan orijinal kaplamaların, boya katmanlarının ya da tarihî dokunun geri dönülmez şekilde ortadan kalkmasına neden olabilir. Geri dönüşü olmayan ve eserin yapısıyla kimyasal olarak etkileşime giren malzemelerin kullanılması, gelecek koruma ve konservasyon uygulamalarının önünü tıkayabilir.

Yapısal bozulmalar, kırılma, çatlama, aşınma/eskime, renk değişimi, birleşim yerlerinden ayrılma, gevşeme, oynama, gönye bozunumu, parça kaybı, ahşabın çalışması (şişme, sehim, eğilme, dönme, bükülme, çekme, çanaklaşma, kamburlaşma), korozyon, yüzeyel toz/kir/kalıntı/lekelenme ve erozyon gibi biçimlerde ortaya çıkmaktadır.

Kırılma

Ahşap eserlerde kırılma, çevresel etmenler ve kullanım koşulları nedeniyle meydana gelir. Ahşap, nem değişimlerine duyarlı bir malzeme olup, aşırı nem alma ya da kaybetme durumunda yapısal zayıflıklar oluşabilir. Ani sıcaklık değişiklikleri de ahşabın gerilmesine neden olarak kırılma riskini artırır. Böcek istilaları, özellikle larva aşamasında, ahşabın iç yapısına zarar vererek dayanıklılığını azaltır. UV ışığına, suya ve uygun olmayan nem koşullarına uzun süre maruz kalma da ahşabın kırılmasına yol açar.

Ahşap malzemenin taşıma kapasitesinin aşılması, örneğin ağır eşya taşıma veya yüksek basınca maruz kalma, kırılmayı tetikleyebilir. Ahşap eserlerin üretiminde kullanılan malzeme kalitesi, eserin dayanıklılığını doğrudan etkiler. Seçilen malzeme, birleşim yerlerinin kalitesi ve yapıdaki zayıflıklar, ahşabın kırılmasına neden olabilir. Ayrıca, hatalı veya niteliksiz onarımlar, eserin yapısal bütünlüğünü bozarak kırılma riskini artırır. Yanlış yapıştırma, hatalı bağlantı teknikleri ve düşük kaliteli dolgu malzemeleri, ahşabın stabilitesini olumsuz yönde etkiler. Bu tür hatalı onarımlar, yalnızca eserin estetik değerini değil, aynı zamanda işlevselliğini de ciddi şekilde zedeleyebilir (Resim 5).

Resim 5 Eser yüzeyinde kırılma örnekleri.



Çatlama-Yarılma

Çatlama ve yarılma, ahşap eserlerin yapısal bozulmalarından biridir. Ahşap, çevresindeki nemi alıp kaybedebilen hidroskopik bir malzemedir. Ani sıcaklık değişimleri de ahşabın yapısını olumsuz etkileyebilir. Sıcaklık değişimleri, ahşap eserlerin hızlı bir şekilde genişlemesine veya büzülmesine yol açar. Bu hareketler, yapısal gerilim yaratır ve çatlama riskini artırır. Özellikle sıcaklık ve nem

arasındaki dengesizlik, ahşap eserlerin uzun vadeli dayanıklılığını zayıflatır ve yapısal bozulmaların ortaya çıkmasına neden olabilir.

Zamanla, çevresel koşullara maruz kalan ahşap eserler doğal bir yaşlanma sürecine girer. Yaşlanma, ahşabın kimyasal yapısında değişiklikler meydana getirir ve bu, içerdiği bileşiklerin bozulmasına ve zayıflamasına yol açar. Sonuç olarak, çatlaklar ve yarılmalar oluşur. Doğal yaşlanma ve çevresel faktörlerin etkisiyle, çatlama ve yarıma, ahşap eserlerin fiziksel bütünlüğünü tehdit eden önemli sorunlardır. Bu bozulmalar, eserin estetik ve işlevsel değerini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, ahşap eserlerin korunmasında çevresel faktörler dikkate alınarak uygun bakım ve onarımların yapılması büyük önem taşır (Resim 6).

Resim 6 Eser yüzeyinde çatlama-yarıma örnekleri.



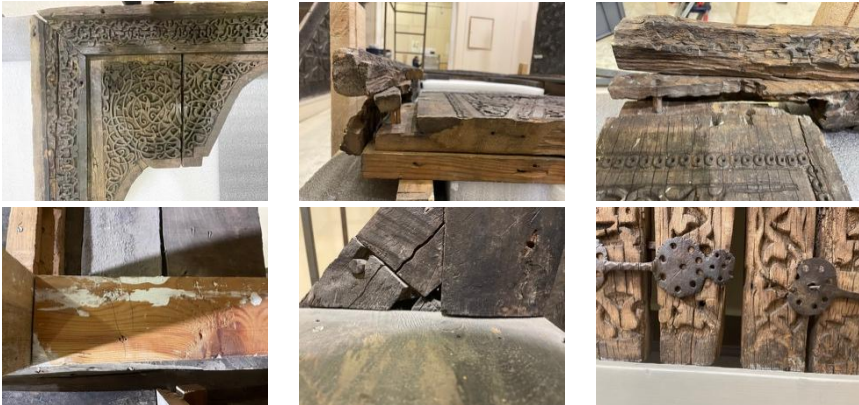
Birleşim yerlerinden ayrılma/gevşeme/oynama

Ahşap eserlerde birleşim yerlerinin ayrılması, yapısal bütünlüğü tehdit eden önemli bir sorundur. Bu durum genellikle bağlantı yöntemlerinin yetersizliği, düşük kaliteli malzeme kullanımı, uygun olmayan onarım teknikleri ve çevresel etkilerle ilişkilidir. Özellikle orijinal yapım tekniğine aykırı biçimde gerçekleştirilen müdahaleler, birleşim bölgelerinde gevşeme veya ayrılmalara yol açabilir. Örneğin künde-kârî tekniğiyle yapılmış bir eserin hatalı malzeme veya metal aksamla onarılması, bağlantı noktalarının bozulmasına neden olabilir. Bu tür müdahaleler, yalnızca estetik değer kaybına değil, aynı zamanda eserin taşıyıcı özelliklerinde de zafiyete yol açar (Resim 7).

Ahşap malzemenin kalitesi, birleşim yerlerinin dayanıklılığı açısından belirleyicidir. Damar yapısı düzensiz, lif yapısı zayıf malzemeler bu bölgelerde sorunlara neden olabilir. Farklı yoğunluk veya nem toleransına sahip parçaların birleştirilmesi de, malzemeler arasındaki uyumsuzluk nedeniyle bağlantıların zayıflamasına neden olur. Ahşabın nem değişimlerine karşı hassas yapısı, şişme, büzülme ve buna bağlı gerilim oluşumuna yol açarak birleşim yerlerinde ayrılmalara sebep olabilir. Ani sıcaklık değişimleri de benzer şekilde yapısal stres oluşturarak bağlantıların gevşemesine zemin hazırlar.

Zamanla ortaya çıkan doğal yaşlanma süreci, ahşabın kimyasal yapısını değiştirerek elastikiyet kaybına ve dolayısıyla birleşim yerlerinde bozulmalara neden olur. Bu süreç, düzenli bakım ve uygun onarımlarla yavaşlatılabilir. Özellikle geleneksel bağlantı tekniklerinin doğru uygulanması, birleşim yerlerinin dayanıklılığını artırır. Kündekâri tekniğinde kullanılan zıvana-kiniş bağlantısı, dışı ve erkek parçaların hassas biçimde birleştirilmesini gerektirir; bu denge sağlanamadığında malzeme hareketi birleşimlerde ayrılmalara yol açabilir. Benzer şekilde, kırlangıç kuyruğu bağlantısı da özellikle geniş tahta yüzeylerin kenetlenmesinde kullanılır ve sağlamlık açısından etkilidir. Bu yöntemlerin uygun şekilde uygulanmaması, uzun vadede yapısal sorunlara davetiye çıkarabilir.

Resim 7 Eserde birleşim yerlerinde ayrılma, gevşeme, oynama.



Gönye bozunumu/eksen kayması

Ahşap malzemede gönye bozunumu, malzemenin uygulanan gerilme kuvveti karşısında gösterdiği şekil değiştirme davranışını ifade eder. Bu şekil değiştirme, ahşabın boyutlarının uzama veya sıkışma eğiliminde değişmesiyle karakterize edilir. Ahşabın bu davranışı, malzemenin elastik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir; yani, dış bir kuvvet uygulandığında ahşabın deformasyona uğraması ve ardından yük ortadan kalktığında eski haline geri dönme yeteneği, elastikiyet özelliği tarafından belirlenir.

Ahşap esaslı eserlerde gönye bozunumu veya eksen kayması, malzemenin elastikiyet modülü ve viskoelastik özelliklerine bağlı olarak gelişir. Elastikiyet modülü, ahşabın gerilme karşısındaki direnç kapasitesini ve deformasyona uğramaya ne kadar dayanıklı olduğunu belirleyen bir parametredir. Ahşap, hidroskopik bir malzeme olduğundan, nem içeriği ve çevresel koşullarda meydana gelen değişimler bu elastikiyet özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu bağlamda, eserin dayanımını değerlendirmek için kullanılan ahşap türünün özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi kritik bir öneme sahiptir. Zira her ahşap türü, kendine özgü mekanik özelliklere (çekme dayanımı, basınç dayanımı, bükülme direnci vb.) ve deformasyon davranışına sahiptir. Bu nedenle, malzemenin mühendislik ve malzeme bilimi açısından değerlendirilmesi, eserin uzun ömrü ve yapısal bütünlüğü için vazgeçilmezdir.

Ek olarak, ahşap türlerinin farklı elastikiyet modüllerine ve viskoelastik özelliklere sahip olduğu göz önüne alındığında, bu türlerin her birinin farklı deformasyon biçimlerine ve dayanıklılığa sahip olacağı dikkate alınmalıdır. Bu faktörler, ahşap yapıların tasarımı ve restorasyonu esnasında göz önünde bulundurulmalı, uygulanan kuvvetler ile malzemenin gösterdiği reaksiyon arasındaki ilişki doğru bir şekilde analiz edilmelidir.

Parça kaybı

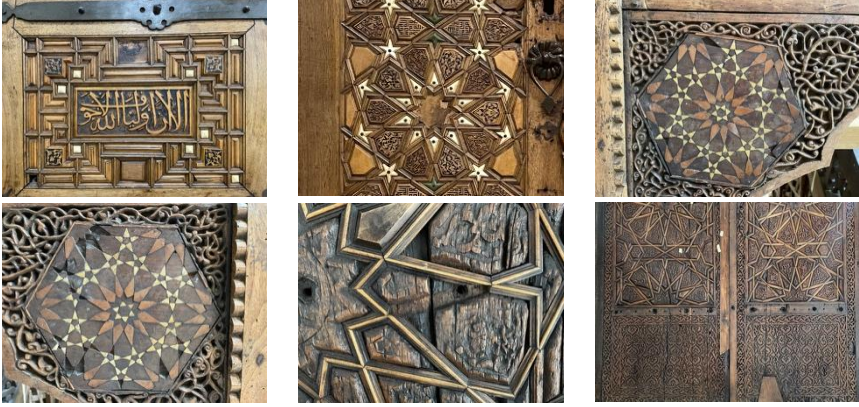
Eser yüzeyindeki parça kayıpları, yapısal dengesizliklere yol açabilir ve eserin dayanıklılığını ciddi şekilde tehdit edebilir. Özellikle, eserin ağırlığını desteklemesi gereken yapısal elemanlarda meydana gelen çatlaklar veya yarılmalar, acil koruma işlemleri gerektirir. Bu tür yapısal sorunlar, eserin bütünlüğünü tehlikeye atabilir ve kalıcı hasarların oluşmasına neden olabilir (

Resim 8).

Parça kaybının görüldüğü bölgelerde, ahşap yüzeyinde mantar oluşumu varsa, bu mantar türlerinin çürüme mantarları mı yoksa leke mantarları mı olduğu ayırt edilmelidir. Çürüme mantarları, ahşabın yapısal bileşenleri olan selüloz ve lignini tketererek ciddi bozulmalara yol açar. Bu mantarlar, ahşabın damarları boyunca ilerler ve çatlaktan geçerek malzemeyi zayıflatır. Çürüme mantarları, genellikle malzemeye vurulduğunda "boş" bir ses çıkarır, bu da ağırlık kaybını ve kırılğan yüzeyleri gösterir. Ayrıca, çürüyen ahşap tipik olarak karakteristik bir koku yayar. Eğer rme ilerlemediyse, koruma ve restorasyon işlemleri sırasında ahşap sağlamlaştırılabilir ve yapısal denge belirli bir lde geri kazandırılabilir.

Bunun yanı sıra, çürüyen mantarlarla birlikte böcekler de ahşap eserlerde ciddi zararlara yol açabilir. Ahşap yüzeyinde birden fazla böcek uçuş deliği varsa, bu durum kapsamlı bir yapısal inceleme yapılmasını gerektirir. Böcekler, ahşabın organik yapısını tketererek hızla yayılabilirler. Bu aktivasyon başladığında, yoğun parça kayıplarının meydana gelmesi olasıdır. Bu tür zararlara karşı erken tespit ve müdahale, eserin korunması açısından büyük önem taşır.

Resim 8 Eser yüzeyinde parça kaybı.



Ahşabın çalışması (Şişme, sehim, eğilme, dönme, bükülme, çekme, çanaklaşma, kamburlaşma)

Ahşabın çalışması, genellikle teğetsel ve radyal büzülme arasındaki farktan kaynaklanır. Başlangıçta kare ya da dikdörtgen kesitli bir kereste parçası, zaman içinde orta kısımlarında piramit şeklinde bir değişim gösterir. Düz lif yapılı, sınırlanmamış bir ahşap, genellikle bağıl nemdeki orta dereceli dalgalanmalara zarar vermeden dayanabilir. Ancak, mobilyalar gibi lifler boyunca birbirine bağlanan ve tutkal, çivi ya da vidalarla doğal genleşme ve büzölmelerden korunan ahşap parçaları, zamanla baskı altında bölünmeye eğilim gösterebilir (Resim 9).

Açık hava koşullarında muhafaza edilen ahşap nesneler, yağmur ve rüzgârla taşınan parçacıkların etkisiyle fiziksel erozyona uğrayabilir. Ahşabın yüzeyi genellikle gümüş grisi bir renk alır ve daha yumuşak olan erken odun aşındıktan sonra daha sert olan geç odun açığa çıkarak çizgili bir doku oluşur. Ultraviyole ışık, hücre

duvarlarındaki lignini parçalar ve bu maddeler yağmurla yıkanır. Yalnızca birkaç milimetre kalınlığındaki gümüş grisi yüzey, biyolojik saldırılara karşı daha dayanıklı olabilir.

Kamburlaşma, ahşabın öze yakın (yüzey) ve kabuğa yakın (ters yüzey) alanları arasında kuruma sırasında meydana gelen farklı çekme gerilmelerinden kaynaklanır. Bu gerilmeler, öze yakın yüzeylerin dışbükey, kabuğa yakın yüzeylerin ise içbükey olmasına neden olur. Kamburlaşma, kesit kabuğa doğru yaklaştıkça artar. Özden geçen kesitte kamburlaşma gözlenmez, yalnızca uçlarda incelme olur (Şener, 2006, s. 88).

Çanaklaşma, ahşabın genişliği boyunca oluşan deformasyondur ve genellikle geniş, sınırlanmamış ahşaplarda, örneğin açılır katlanır masaların katlama kısımlarında gözlemlenir. Çanaklaşma, ahşabın anatomik yapısından ya da çevresel etkenlerden kaynaklanabilir. Bazen, yalnızca bir tarafına cila uygulanması da bu durumu tetikleyebilir. Ayrıca, farklı mikro iklim koşullarının bulunduğu ortamlarda, örneğin güneş ışığına doğrudan maruz kalan ya da radyatör yakınındaki bir ahşap yüzey, altındaki yüzeye göre daha kuru olabilir.

Çekme, genellikle eşit olmayan büzülmeden kaynaklanır. Bu durum, yüzeyin sonunda ya da yüzeye yakın bölgelerde, lif boyunca hücrelerin ayrılmasına yol açabilir. Çatlama, genellikle ilk kesim süreci esnasında meydana gelir; ancak bağıl nemin hızlı bir şekilde düşmesi durumunda da gözlemlenebilir. Çatlamalar, küçük boyutlu bir mesafeye kadar uzanarak sadece görsel hasara yol açabilir, ancak daha büyük çatlaklar yapısal bozulmalara neden olabilir.

Çatlama, özellikle kurutulmaya bırakılan kütüklerde yaygındır ve neredeyse her zaman radyal çatlamalar oluşur. Bu durum, radyal ve teğetsel düzlemler arasındaki büzülme farkından kaynaklanan stresin bir sonucu olarak, özden kabuk kenarına doğru üçgen şeklinde bir çatlak açılmasına neden olabilir. Üç boyutlu

heykeller gibi geniş kesitli nesnelerin yapımında kullanılan ahşap, yavaş ve dikkatli bir şekilde kurutulmalı, aksi takdirde büyük oranda çatlamalar meydana gelebilir. Ancak, bu önlem alınsa bile ahşap malzeme her zaman radyal çatlamaya eğilimli olacaktır.

Resim 9 Ahşap malzemenin çalışması sonucu eserde oluşan bozulma örnekleri.



Yüzey Bozulmaları

Ahşap eserlerin yüzeyinde zamanla çeşitli bozulmalar meydana gelebilir. Bu bozulmalar genellikle boya ve koruyucu katmanlarda tabakalaşma, ayrışma, renk değişimi, korozyon, yüzeysel kirlenme (toz, leke, kalıntı) gibi biçimlerde kendini gösterir. Söz konusu sorunlar hem estetik hem de koruyucu işlevlerin zayıflamasına neden olabilir.

Yüzey bozulmalarının başlıca nedenleri arasında UV ışınlarına maruz kalma, ani sıcaklık ve nem değişimleri, düşük kaliteli boya ve koruyucu malzeme kullanımı, yetersiz bakım, çevresel kirlilik, biyolojik etmenler (mantar, küf, böcekler) ve insan kaynaklı zararlar (vandalizm) yer alır. Özellikle güneş ışığına maruz kalan yüzeylerde, lignin gibi bileşenlerin bozulması sonucu renk solması ve fotokimyasal hasarlar oluşur. Sıcaklık-nem dengesizlikleri ise ahşapta çalışmalara yol açarak yüzey katmanlarının çatlamasına, kabarmasına ve soyulmasına neden olabilir. Koruyucu katmanların uygun aralıklarla yenilenmemesi ya da yanlış malzeme kullanımı, yüzeyin hem fiziksel dayanımını hem de görsel bütünlüğünü zayıflatır. Ayrıca, mantar ve böcek gibi biyolojik etmenler, yüzeyin dokusunu bozarak alt katmanlara zarar

verir. Özellikle odun zararlısı böceklerin oluşturduğu galeriler hem yüzeyde hem de iç yapıda ciddi deformasyonlara yol açabilir.

Vandalizm gibi insan kaynaklı müdahaleler ise fiziksel tahribatın en doğrudan örneklerini oluşturur. Kazıma, boyama ya da kesici aletle müdahaleler, koruyucu sistemleri zayıflatır ve yapının estetik değerini düşürür.

Tüm bu etkenlerin önüne geçilmesi, düzenli bakım, uygun malzeme seçimi ve kontrollü çevresel koşulların sağlanmasıyla mümkündür. Böylelikle, ahşap eserlerin yüzey bütünlüğü korunarak uzun ömürlü olmaları sağlanabilir.

Boya katmanında tabakalaşma/ayırışma

Ahşap sanat eserlerinde, yüzey kaplaması olarak uygulanan boya katmanının taşıyıcı malzeme yüzeyinden ayrılması, malzemenin fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü tehdit eden önemli bozulma türlerinden biridir. Bu ayırışma, çoğunlukla boya katmanının pul pul dökülmesi ya da geniş yüzeyler halinde tabakalar hâlinde ayrılması biçiminde tezahür eder. Söz konusu bozulma, ahşap altlığın dış etkilere karşı korunmasız kalmasına yol açarak, ikincil bozulma süreçlerini tetikleyebilir. Bu tip ayırışmaların meydana gelmesinde, çevresel koşullar belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle bağıl nemdeki dalgalanmalar ve sıcaklık değişimleri, ahşabın higroskopik karakteri nedeniyle boyutsal değişimlere sebep olmakta; bu da boya katmanının altlıkla olan yapışmasını zayıflatmaktadır. Ayrıca, uzun süreli ultraviyole (UV) ışını maruziyeti, boya bağlayıcılarının moleküler yapısında bozulmaya yol açarak ayrılma süreçlerini hızlandırmaktadır (Resim 10).

Yüzey kaplamalarında düşük kaliteli veya orijinal malzemeyle uyumsuz boya ve koruyucuların kullanımı da ayırışma riskini artırmaktadır. Malzeme seçiminde, ahşabın türü, lif yönü, gözeneklilik düzeyi ve nem alışverişi kapasitesi göz önünde

bulundurulmadan yapılan uygulamalar, katmanlar arası uyumsuzluk nedeniyle ayrılmalara neden olmaktadır. Ayrıca, geçmiş dönemlerde yapılan bilinçsiz restorasyon müdahaleleri, özgün yüzeyin fiziksel ve kimyasal özelliklerini bozarak tabakalaşma eğilimini artırabilir.

Resim 10 Eser yüzeyine uygulanan boya katmanında tabakalaşma/ayırışma.



Koruyucu katmanında tabakalaşma/ayırışma

Ahşap eserlerin yüzeyine uygulanan koruyucu katmanlar, hem estetik görünüm sağlamak hem de malzemeyi çevresel etkenlere karşı korumak amacıyla uygulanmaktadır. Ancak zamanla bu katmanlarda çeşitli bozulmalar meydana gelebilir. Koruyucu tabakada gözlenen en yaygın bozulmalar arasında yüzeyde kabarma, çatlama, opaklaşma ve katmanın yer yer parçalanarak dökülmesi sayılabilir. Bu tür bozulmalar, sadece estetik açıdan değil, aynı zamanda taşıyıcı ahşap yüzeyin korunmasız kalmasına neden olarak yapının genel sağlığını tehdit edici niteliktedir. Söz konusu bozulmalar, genellikle dış çevresel koşulların etkisiyle oluşan kimyasal ve fiziksel süreçlerin sonucudur. Özellikle sıcaklık ve nem oranlarındaki ani değişimler, koruyucu katmanın hacimsel gerilmelere maruz kalmasına neden olur. Bu durum, katmanın ahşap yüzeyle olan aderansını zayıflatır ve ayrışma sürecini hızlandırır. Ayrıca, atmosferik kirleticilerle etkileşen koruyucu katmanlar, zamanla kimyasal olarak bozularak yüzeyde matlaşma, sararma veya renk değişimine yol açabilir. Bunlara ek olarak, yüzeye uygulanan malzemenin uygun viskozite ve geçirgenlik özelliklerine sahip olmaması da bozulma sürecini tetikleyen etmenlerdendir. Özellikle mikroiklim koşullarının değişken olduğu ortamlarda, homojen

olmayan kuruma ve iç gerilim farklılıkları yüzey deformasyonlarına neden olabilir. Yanlış uygulama teknikleri, kalın veya çok katlı uygulamalar da katmanın zamanla ayrışmasına ve dökülmesine zemin hazırlar (Resim 11).

Resim 11 Eser yüzeyine uygulanan koruyucu katmanda tabakalaşma/ayrışma.



Boya/koruyucu katmanında renk değişimi

Ahşap eserlerin yüzeyine uygulanan boya ve/veya koruyucu katmanlarda zamanla meydana gelen renk değişimleri, materyalin kimyasal yapısında oluşan dönüşümler ya da çevresel etkenlerin yol açtığı fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu tür bozulmalar, genellikle yüzeyin sararması, orijinal rengin solması veya koyulaşması şeklinde kendini gösterir.

Renk değişimleri, estetik bütünlüğü olumsuz yönde etkilediği gibi, yüzeyin yaşlandırma sürecinin de görsel bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Bu bozulmaların oluşumunda en etkili faktörler arasında ultraviyole (UV) ışınım, kontrolsüz sıcaklık-nem değişimleri, düşük kaliteli uygulama malzemeleri ile gerçekleştirilen işlemler ve uygun olmayan restorasyon müdahaleleri yer almaktadır. Ayrıca, kullanılan boyar maddelerin ışık ve ısıya karşı duyarlılığı ile malzemenin geçirgenlik özellikleri

de bu süreci hızlandıran parametreler arasında sayılabilir. Özellikle dış ortama maruz kalan ya da yüksek ışık yoğunluğuna sahip ortamlarda bulunan eserlerde, bu tip bozulmalar daha belirgin ve yaygın şekilde gözlemlenmektedir (Resim 12).

Resim 12 Eser yüzeyine uygulanan boya/koruyucu katmanda renk değişimi.



Korozyon

Ahşap eserlerin yüzeyine süsleme veya birleştirme amacıyla entegre edilen metal ya da diğer inorganik malzemelerde zamanla meydana gelen kimyasal bozulmalar, “korozyon kaynaklı bozulmalar” başlığı altında değerlendirilmektedir. Korozyon, temel olarak metal yüzeylerin oksijen, nem, asidik veya bazik bileşenlerle temas etmesi sonucu oluşan elektrokimyasal reaksiyonlarla ilişkilidir. Bu süreç, tek bir metalin çevresel koşullar altında oksidasyona uğramasıyla gerçekleşebileceği gibi, elektro-kimyasal potansiyelleri farklı en az iki metalin bir arada bulunması durumunda galvanik korozyon yoluyla da meydana gelebilir. Özellikle nemli ortamlarda bu tür reaksiyonların şiddeti artmakta, metal yüzeylerde yapısal bütünlüğü bozan deformasyonlar oluşurken, çevreleyen ahşap dokuda da renk değişimleri ve lekelenmeler şeklinde görsel bozulmalar gözlemlenmektedir (

Resim 13). Bu tür bozulmalar hem estetik hem de yapısal açıdan eserin bütünlüğünü tehdit edebilir niteliktedir ve malzeme

seçimi ile çevresel kontrolün restorasyon süreçlerinde dikkate alınması gereken başlıca etkenlerden biridir.

Resim 13 Eser yüzeyinde korozyon örneği.



Erozyon

Ahşap eserlerde gözlemlenen aşınma ve erozyon, kullanım sıklığına ve çevresel koşullara bağlı olarak gelişen fiziksel bozulma türlerinden biridir. Bu tür bozulmalar özellikle yapısal yük taşıyıcı öğeler olan ayaklar, korkuluklar, merdiven basamakları gibi unsurlarda yoğun şekilde ortaya çıkmaktadır. Açık alanda sergilenen ya da muhafaza edilen ahşap nesnelerde ise yağmur, rüzgâr ve taşınan partiküllerin etkisiyle fiziksel yüzey aşınmaları, yani erozyon meydana gelir. Dış ortam koşullarında ahşabın bozulmasına etki eden başlıca etkenlerden biri fotokimyasal süreçlerdir. Bu süreçler sonucu, ahşap yüzeyinde lignin yapısının ultraviyole (UV) ışınlarla parçalanması meydana gelir. Lignin kaybı sonrası yüzey gri tonlara dönüşür; diri odunun aşınması ve daha sert öz odunun açığa çıkmasıyla malzeme çizgili ve düzensiz bir doku kazanır. Erozyon, yalnızca çevresel etkilere bağlı değil, aynı zamanda kullanım kaynaklı mekanik zorlanmalar sonucu da meydana gelir. Özellikle cami minberleri gibi yoğun kullanım gören alanlardaki ahşap basamaklar, korkuluklar, kürsüler veya el ile sık temas edilen rahleler, kutular ve mobilya türü eserlerde yüzeyde belirgin

aşınmalar gözlemlenmektedir (Resim 14). Bu bozulma türlerine etki eden başlıca faktörler aşağıda sınıflandırılmıştır:

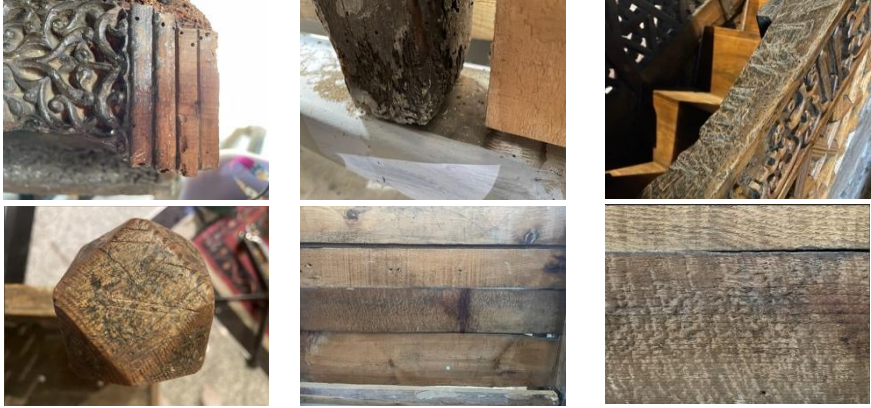
Mekanik aşınma ve sürtünme: Sürekli temas ve kullanım, ahşap yüzeylerde fiziksel yıpranmaya neden olur.

Nem ve sıcaklık değişimleri: Yüksek bağıl nem, ahşabın hacimsel genişlemesine ve ardından gelen kuruma süreçlerinde çatlamalara, lif ayrışmalarına yol açabilir.

Ultraviyole ışınım: Güneş ışığına uzun süre maruz kalan yüzeylerde renk solmaları, doku zayıflamaları ve yüzey bozulmaları oluşur.

Uygunsuz restorasyon uygulamaları: Aşındırıcı kimyasal temizleyiciler, yanlış mekanik müdahaleler ve niteliksiz bakım işlemleri ahşap yüzeyde geri dönüşü zor hasarlara neden olabilir.

Resim 14 Eser yüzeyinde erozyon örneği.



Renk Değişimi

Renk değişimi, organik esaslı ahşap malzemelerin dış katmanlarında meydana gelen ve genellikle ultraviyole (UV) ışınlarla, mantar oluşumuna, ani nem ve sıcaklık değişimlerine ya da suyun etkisine bağlı olarak gelişen bir bozulma türüdür. Bu bozulma,

ahşap yüzeyinde solma, koyulaşma, sararma veya lekelenme şeklinde kendini gösterebilir (

Resim 15).

Ahşap malzemelerde renk değişimine neden olan başlıca etkenler şu şekilde sıralanabilir:

Güneş ışığı ve UV ışınları: Uzun süreli maruziyet sonucunda, ahşabın doğal renginde solma ve genel renk bütünlüğünde bozulma gözlemlenebilir. Açık renkli ahşap türleri bu etkilere daha duyarlıdır.

Uygun olmayan sıcaklık ve nem koşulları: Aşırı nem, yüzeyde lekelenmelere ve küf oluşumuna yol açarken; aşırı kuruluk, çatlamaya ve yüzey renginde solmaya neden olabilir.

Kimyasal etkiler: Yanlış bakım uygulamaları, temizlik maddeleri veya leke çıkarıcılar, ahşap yüzeyinde renk değişimine yol açabilir.

Doğal yaşlanma: Zaman içerisinde ahşabın kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler, renk tonunda koyulaşma ya da farklılaşmalara neden olabilir. Bu süreç, bazı durumlarda estetik bir değer olarak da değerlendirilebilir.

Biyolojik faktörler (özellikle mantarlar): Bazı mikroorganizmalar, ahşap yüzeyinde besin rezervlerini tüketmek suretiyle mavi, kahverengi, yeşil ya da kırmızı gibi renk değişimlerine yol açabilir. Bu durum, özellikle ksilemde öz lekesi şeklinde ortaya çıkar ve çoğunlukla yüzeysel niteliktedir. Bu

mantarlar, ahşap yüzeyinde yalnızca yüzeysel bir renk değişikliğine veya ksilemde öz lekesine neden olarak ahşabı bozabilir. Organizmanın ve alt tabakanın türüne bağlı olarak ahşap, mavinin, kahverenginin, yeşilin veya kırmızının çeşitli tonlarına dönüşebilir (Blanchette, Nilsson, Daniel, Abad, 1989, s.142).

Resim 15 Eser yüzeyinde renk değişimi örnekleri.



Yüzeysel toz/kir/kalıntı/lekelenme

Ahşap eserler, müze ortamlarında uygunsuz kullanım, hatalı temizlik prosedürleri ve kötü depolama ya da sergileme koşulları nedeniyle fiziksel hasara uğrayabilir. Eserlerin toprak ve toza daha fazla maruz kalması, sık temizlik ihtiyacını artırır ve bu da fiziksel hasar riskini yükseltir. Ayrıca, uygulanan niteliksiz veya yanlış onarımlar da hasarın yaygın nedenlerindendir. Onarımlarda kullanılan çiviler, ahşap malzemenin parçalanmasına ve yüzeyde deformasyonlara yol açabilir. Birleşim yerlerinde kullanılan tutkalın fazla miktarda uygulanması, malzeme üzerinde kalıntı bırakabilir

veya orijinal kaplamaların yanlışlıkla kaldırılmasına neden olabilir. Geri dönüşü olmayan malzemelerin kullanımı, gelecekte yapılacak koruma işlemlerini zorlaştırarak eserlerin uzun vadeli korunmasını tehdit edebilir (Resim 16).

Resim 16 Eser yüzeyinde yüzeysel toz/kir/kalıntı/lekelenme örneği.



Biyolojik Bozulma

Biyolojik bozulma, ahşap eserlerde görülen bozulma türlerinden biridir ve çeşitli biyolojik etkenlerin etkisiyle meydana gelir. Ahşap, biyolojik etkenlere bağlı olarak bozulmaya uğrayabilir ve bu hasar çoğunlukla eser müze ortamına yerleştirilmeden önce başlar; hatta ahşap, kereste haline getirilmeden önce bile bozulma süreçlerine girebilir.

Ahşapta biyolojik bozulmaya yol açan başlıca etkenler şunlardır:

Bakteriler, ahşabın öz ışın hücrelerinde depolanan nişastalarla beslenir. Genellikle suya doymuş ahşap üzerinde etkili olan bakteriler, çoğu müze koleksiyonunda sorun oluşturmazlar. Ancak bakteriler tarafından daha geçirgen hale getirilen ahşap, mantarların etkilerine karşı savunmasız hale gelebilir.

Mantarlar, ahşapta biyolojik bozulmaya yol açan en önemli etkenlerden biridir. Klorofili olmayan mantarlar, diğer organik maddelerle beslenir ve misel adı verilen ipliksi yapılarla büyürler. Mantarlar, ahşap üzerinde çok sayıda spor üretirler. Ahşabı etkileyen başlıca mantar türleri şunlardır:

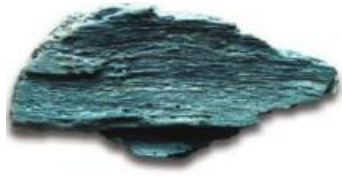
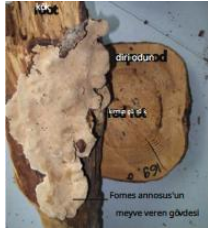
Küf mantarları: Ahşabın yüzeyinde yaşar, rengini değiştirir, ancak selülozu tüketmedikleri için ahşabın yapısal zayıflamasına neden olmazlar.

Leke mantarları: Diri odunun hücre yapısını istila eder ve depolanmış karbonhidratlarla beslenir.

Çürüme mantarları: Ahşabın hücresel yapısını tüketir ve bazen tamamen yok ederler. Bu mantarlar, hücreleri parçalayan enzimler üretirler. Çürüme mantarlarının başlıca türleri **kahverengi çürüklük** ve **beyaz çürüklüktür** (Tablo 3). Kahverengi çürüklük, selülozu tüketerek kahverengi bir renk bırakır ve lif yönünde yayılır. Beyaz çürüklük ise selüloz ve lignini tüketerek ahşabın rengini kaybetmesine ve lif yönünde çatlamasına neden olur.

Bu biyolojik bozulmaların önlenmesi için, müzelerde ahşap objelerin korunmasında nem ve sıcaklık kontrolüne dikkat edilmesi önemlidir.

Tablo 3 Ahşap malzemede görülen çürüme örnekleri.

	
Mavi çürüme örneği	Yeşil çürüklük
	
Kahverengi çürüme	Kırmızı çürüklük



Kaynak: Schweingruber, F. H., Börner, A., 2018).

Ahşap malzemeler, özellikle yüksek bağıl nemin bulunduğu ılıman iklimlerde biyolojik zararlılara karşı savunmasızdır. Bu bağlamda, başlıca zararlılar ve etkileri şu şekilde özetlenebilir:

Odun tahrip edici böcekler, yumurtalarını ahşap yüzeydeki çatlak ve gözeneklere bırakır. Yumurtalardan çıkan larvalar, ahşap içerisinde galeri açarak gelişimlerini sürdürürler. Larva evresi 10 yıla kadar sürebilir. Erişkin böcekler yüzeyde delikler açarak dışarı çıkar (

Resim 17).

Termitler, özellikle sabit yapılarda ciddi yapısal tahribata yol açabilen zararlılardır. Bazı türleri kuru odunla beslenir ve nem gereksinimi duymadan yaşamlarını sürdürebilir.

Oduncu karıncalar odunu doğrudan tüketmez, ancak koloni oluşturmak amacıyla geniş boşluklar kazarak ahşabın yapısal bütünlüğünü zayıflatırlar.

Oduncu arılar, yumurtalarını bırakmak üzere odun içerisine geniş boşluklar açarlar. Odun tüketimi yapmasalar da bu fiziksel tahribat eser üzerinde hasara neden olabilir.

Deniz organizmaları, özellikle batıklar ve ahşap tekneler gibi su altı kalıntılarında ciddi biyolojik bozulmalara yol açar. *Gemi kurdu* (bir tür deniz yumuşakçası), ahşapta geniş galeriler açarken, *gribble* adlı kabuklu türü ise yüzeye yakın ince galeriler oluşturur.

Kemirgenler, ahşap yüzeyleri genellikle besin kalıntılarına veya ahşap içerisindeki yiyeceğe ulaşmak için kemirir. Bu tahribat, özellikle yiyecek saklama işlevi görmüş tarihî ahşap objelerde belirgindir. Ancak bu tür kalıntıların uzaklaştırılması, eserin özgün kullanımına dair önemli verilerin kaybına yol açabilir.

Kuşlar, özellikle ağaçkakanlar, dış mekânda yer alan ahşap yapılar üzerinde hasara neden olabilir. Böceklerle beslenen bu türler, ahşap içerisine erişim sağlamak için yüzeyde delikler açabilirler.

Resim 17 Eser yüzeyinde biyolojik bozulma örneği.



Niteliksiz Onarımlar ve Diğer Sorunlu Müdahaleler

Ahşap eserlerde meydana gelen bozulmaların başlıca nedenleri arasında niteliksiz onarımlar, uygun olmayan malzeme kullanımı ve kontrolsüz çevresel koşullar yer almaktadır. Bu olumsuz müdahaleler sonucunda boya veya koruyucu katmanlarda tabakalaşma ve ayrışma, yüzeyde toz, kir, kalıntı ve lekelenme, ayrıca uygun olmayan dolgu malzemesi kullanımına bağlı yapısal sorunlar gözlemlenebilmektedir.

Pek çok ahşap obje, müze koleksiyonlarına dâhil edilmeden önce açık havada uzun süre kullanım görmüştür. Bu nedenle, mantar ve böcek zararlarından arındırılmış, uygun iklim koşullarında muhafaza edilen ahşap eserlerin, yapıldıkları dönemin teknik ve estetik özelliklerini yansıtan belgeler olarak korunması büyük önem taşımaktadır.

Müze koleksiyonlarında yer alan ahşap nesnelerin karşılaştığı fiziksel hasarların önemli bir kısmı, uygunsuz kullanım ve temizlik uygulamaları ile yetersiz depolama ve sergileme koşullarından kaynaklanmaktadır. Özellikle toprakla doğrudan temas eden ya da toz birikimine açık alanlarda sergilenen ahşap objeler, sık temizlik ihtiyacı nedeniyle daha fazla fiziksel müdahaleye maruz kalmakta, bu da yapısal bütünlüklerini zedeleyebilmektedir.

Tarihi ve kültürel değere sahip ahşap eserlerde yapılan onarımlar, malzemenin orijinal yapısını koruyacak nitelikte olmalıdır. Ancak yeterli uzmanlık ve uygun teknik bilgiye dayanmayan müdahaleler, eserin estetik, teknik ve yapısal bütünlüğünü zedeleyebilir. Niteliksiz onarım uygulamaları, özellikle boya ve koruyucu katmanlarda tabakalaşma, yüzeysel kirlenme, uygunsuz dolgu ve ahşap malzeme kullanımı, metal eklerin zarar verici etkileri gibi çeşitli sorunlara yol açmaktadır (

Resim 18).

Boya ve Koruyucu Katmanda Ayrışma/Tabakalaşma:

Niteliksiz boyalar ya da yüzeye uygun olmayan koruyucu malzemelerin kullanılması, zamanla yüzeyde tabakalaşma, kabarma ve ayrışma gibi sorunlar doğurur. Bu tür malzemeler, ahşabın higroskopik yapısına uyum sağlayamaz ve çevresel değişimlere bağlı olarak çatlar veya yüzeyden ayrılır. Ayrıca, yeni boya tabakasının alttaki özgül yüzeyle kimyasal uyumsuzluğu, koruyucu sistemin bütünlüğünü bozar ve orijinal malzemenin zarar görmesine neden olabilir.

Yüzeysele Toz, Kir, Kalıntı ve Lekelenme: Yetersiz ya da yanlış temizlik yöntemleri, ahşap yüzeylerde kalıcı lekelenmelere ve kir birikimlerine sebep olabilir. Uygulanan onarımlar esnasında yüzeyin korunmaması, özellikle solvent artıkları, tutkal kalıntıları ya da boya sıçramaları gibi izler bırakabilir. Bu durum yalnızca estetik bozulmaya değil, aynı zamanda biyolojik tahribatın artmasına da zemin hazırlar.

Niteliksiz Dolgu Malzemesi Kullanımı: Onarımlar sırasında boşlukların kapatılması amacıyla kullanılan dolgu malzemeleri, ahşabın doğal genleşme ve büzülme hareketlerine uyum sağlayamazsa çatlama, ayrılma ve yüzeyden dökülme gibi sorunlar doğurur. Ayrıca, sert veya esnekliği yetersiz dolgu malzemeleri, orijinal dokuya zarar verebilir ve restorasyon sonrasında iz bırakarak estetik bütünlüğü bozar. Uygunsuz reçineler veya ticari dolgu ürünlerinin kullanımı, zaman içinde sararma, büzülme veya kırılma gibi ikincil bozulmaları tetikleyebilir.

Niteliksiz Ahşap Kullanımı: Restorasyonlarda orijinal ahşap türü ile uyumsuz malzeme kullanımı, eserin yapısal dengesini bozar. Lif yönleri, yoğunluk, nem tepkisi gibi temel özellikleri dikkate alınmadan yapılan müdahaleler, çatlama, ayrılma ve yüzey deformasyonlarına neden olur. Aynı zamanda, düşük kaliteli ya da

işlem görmemiş ahşapların kullanımı biyolojik zarar görme riskini artırır.

Niteliksiz Malzeme Kullanımı: Ahşap eserlerde restorasyon sırasında kullanılan diğer yardımcı malzemelerin (yapıştırıcı, vernik, dolgu, bağlayıcı vb.) niteliksiz olması, eserin ömrünü kısaltır. Kimyasal içeriği belirsiz ya da tarihi ahşapla uyumsuz maddeler, hem mekanik dayanım kaybına yol açar hem de zamanla bozularak yeniden müdahale gerektirir. Bu durum, eserin özgünlüğünün geri dönülemez biçimde tahrip olmasına neden olabilir.

Metal Malzeme Kullanımı: Ahşapla metal arasında farklı genleşme katsayıları bulunur. Bu nedenle metal çiviler, vidalar ya da takviye elemanları, zamanla ahşap içinde çatlamalara ve ayrılmalara yol açabilir. Ayrıca, özellikle uygun olmayan türde metal kullanımı (örneğin paslanabilir demir veya düşük kaliteli alaşımlar) yüzeyde oksitlenme ve korozyon lekelerine neden olur. Bu lekeler hem yapının estetiğini bozar hem de ahşabın lif yapısını kimyasal olarak zayıflatır.

Resim 18 Eser yüzeyinde niteliksiz onarım ve diğer sorunlu müdahale örnekleri.





Vandalizm

Vandalizm, kültürel miras unsurlarına yönelik kasıtlı ya da bilinçsiz zarar verme eylemlerini tanımlar. Bu tür eylemler; tarihî yapılar, anıtlar, heykeller, dini yapılar, arkeolojik alanlar ve sanat eserleri gibi çeşitli kültürel varlıklar üzerinde gerçekleşebilir. Vandalist saldırılar, yalnızca fiziksel hasar vermekle kalmaz, aynı zamanda toplumun kültürel belleğini ve kimliğini de hedef alır.

Vandalizm farklı güdülerle ortaya çıkabilir. Bunlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

Hırsızlık ve Koleksiyon Amaçlı Vandalizm: Kültürel eserlerin sökülmesi, taşınması ya da yüzeylerinin kazınması gibi eylemler, özellikle sanat eserleri ve tarihi yapı elemanlarında sıkça görülmektedir. Örneğin, antik dönem lahitlerinin üzerindeki kabartmaların parçalanarak yurt dışına kaçırılması bu gruba girer.

Protesto Amaçlı Vandalizm: Politik, ideolojik ya da sosyal nedenlerle yapılan tahribatlar bu grupta değerlendirilir. Örneğin, siyasi bir mesaj vermek amacıyla anıtlara spreyci boya ile yazılar yazılması veya heykellerin yıkılması, kültürel mirasın doğrudan ideolojik çatışmaların aracı hâline geldiğini gösterir.

Dini veya İnanç Temelli Müdahaleler: Bazı bireyler ya da gruplar, kendi inançlarına aykırı olduğunu düşündükleri yapıtları yok etmeyi ya da üzerlerinde ritüel uygulamayı meşru görebilir.

Örneğin, mezar taşlarına zarar verilmesi veya kutsal kabul edilen alanlara bilinçli müdahaleler bu türdür.

Merak veya Nedensiz Zarar Verme: Tarihi yapılara isim kazıma, objeleri kurcalama, tırmanma ya da parçalara zarar verme davranışları rastlantısal veya eğlence temelli gerçekleşebilir. Bu eylemler genellikle kişisel tatmin veya sosyal medya paylaşımları gibi geçici motivasyonlarla yapılır, ancak etkisi kalıcı olabilir (Resim 19).

Resim 19 Eser yüzeyinde vandalizm örneği.



SONUÇ

Ahşap eserlerin korunması ve restorasyonu, yalnızca fiziksel bozulmaların önlenmesiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda estetik bütünlüğün ve kültürel değerlerin de korunmasını hedefleyen karmaşık bir süreçtir. Bu süreç, eserin malzeme seçiminden üretim aşamasına, çevresel etkenlerden bakım ve restorasyon müdahalelerine kadar birçok faktörün etkisi altındadır. Ahşap, doğal yapısı ve çevresel koşullara duyarlılığı nedeniyle zamanla çeşitli bozulmalara uğrayabilir ve bu bozulmaların etkileri, eserlerin estetik ve fonksiyonel değerini önemli ölçüde zedeleyebilir. Bu bağlamda, ahşap eserlerin korunmasında karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, niteliksiz onarımlar, yanlış malzeme kullanımı ve çevresel tehditlerin birleşimidir.

Ahşap eserlerdeki bozulmaların önlenmesinde en kritik adımlardan biri, doğru onarım tekniklerinin uygulanmasıdır. Ancak, ne yazık ki, birçok ahşap eserin tarihsel süreç içerisinde niteliksiz onarımlar ve kötü malzeme kullanımı nedeniyle kalıcı hasar gördüğü

gözlemlenmektedir. Onarımda kullanılan malzemelerin kalitesizliği, ahşap yüzeyin orijinal yapısını bozarak hem estetik hem de yapısal sorunlara yol açabilir. Örneğin, niteliksiz tutkal, çivi ya da dolgu malzemeleri kullanmak, eserin yapısal bütünlüğünü zayıflatır ve uzun vadede daha ciddi bozulmalara yol açar. Ayrıca, bazı onarımlar geri dönüşü olmayan şekilde yapılmış olabilir, bu da gelecekteki restorasyon süreçlerini zorlaştırabilir.

Bunlara ek olarak, aşırı ya da yanlış şekilde yapılan onarımlar, eserin orijinal özelliklerini kaybetmesine neden olabilir. Örneğin, fazla miktarda tutkal kullanımı, malzemenin yüzeyinde kalıntı bırakabilir ve bu kalıntılar zamanla eserin orijinal kaplamalarının zarar görmesine yol açabilir. Aynı şekilde, geri dönüşü olmayan malzemelerin kullanılması, gelecekteki bakım işlemlerini karmaşıktırarak eserin uzun ömürlü olmasını tehdit eder.

Ahşap eserlerin karşı karşıya kaldığı bir diğer büyük tehlike de doğrudan vandalizm ve çevresel etkenlerin etkisidir. Vandalizm, özellikle sanat galerileri, müzeler veya halka açık alanlarda sergilenen ahşap eserler için büyük bir tehdit oluşturur. Kesici aletlerle yapılan kazıma, boyama veya başka şekillerdeki müdahaleler, eserlerin yüzeyinde kalıcı hasara yol açarak estetik değerini kaybettirir. Bu tür eylemler hem fiziksel hem de sembolik zarar yaratır, çünkü bir kültürel mirasın görsel bütünlüğü ve toplumsal anlamı bozulmuş olur. Bu tür zararlar, restorasyon ve onarım sürecini daha karmaşık hale getirebilir, çünkü orijinal malzeme yapısı büyük ölçüde tahrip olmuştur.

Çevresel etkenler de ahşap eserlerin korunmasında kritik bir rol oynar. Nem dalgalanmaları, ultraviyole ışınlar, toz, hava kirliliği ve biyolojik zararlılar (mantarlar, böcekler) gibi dışsal faktörler, ahşap malzemenin zamanla estetik ve yapısal bozulmasına neden olabilir. Nem dalgalanmaları, ahşabın doğal özelliği gereği

büzülmesine ve genişlemesine yol açarak, çatlama ve deformasyona neden olabilir. Aynı şekilde, ultraviyole ışınlar, ahşap yüzeylerinde renk değişimlerine ve fotokimyasal bozulmalara yol açabilir. Ayrıca, biyolojik zararlılar, özellikle reçine sızıntıları ve ahşabın yapısındaki boşluklar sayesinde ahşap yüzeyinde hızla çoğalarak, eserin çürümmesine ve yapısal bozulmalara yol açabilir.

Ahşap eserlerin anatomik bozuklukları, eserin üretimi sırasında kullanılan malzemenin doğal yapısından kaynaklanan çeşitli problemlerin bir yansımasıdır. Ağaçların büyüme süreçlerinde ortaya çıkan budaklar, reçine keseleri, gözler ve diğer yapısal kusurlar, zamanla ahşap eserlerin estetik ve işlevsel bütünlüğünü tehdit edebilir. Bu tür anatomik bozukluklar, doğru malzeme seçimi ve işleme teknikleriyle minimize edilebilse de ahşap malzemenin doğası gereği tamamen yok edilemezler. Dolayısıyla, bu tür kusurların ortaya çıkması hem eserin orijinal yapısını hem de restorasyon süreçlerini etkileyebilir. Ancak, modern restorasyon teknikleri ve uzman müdahaleleriyle, bu bozukluklar en aza indirilebilir ve eserin uzun ömürlü olmasına katkı sağlanabilir. Sonuç olarak, ahşap eserlerin korunmasında anatomik bozuklukların göz önünde bulundurulması ve bu bozukluklarla başa çıkmak için uygun tekniklerin geliştirilmesi, eserin tarihsel ve kültürel değerini korumanın temel unsurlarından biridir.

Ahşap eserlerin korunmasında, malzeme seçimi, üretim teknikleri, çevresel etmenler ve restorasyon süreci gibi faktörlerin hepsi bir arada değerlendirilmelidir. Nitelsiz onarımlar, yanlış malzeme kullanımı ve çevresel tehditler gibi sorunlar, ahşap eserlerin estetik ve yapısal bütünlüğünü ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu nedenle, restorasyon çalışmalarının uzmanlık gerektiren bir süreç olduğunu unutmamak gerekir. Eserin orijinal yapısının korunması için doğru malzeme seçimi, uygun onarım teknikleri ve çevresel etkenlerden korunma stratejilerinin geliştirilmesi önemlidir. Ahşap eserlerin uzun ömürlü olması ve

kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması için, dikkatli bir koruma ve restorasyon yaklaşımının benimsenmesi gereklidir.

Kaynakça

Akkemik, Ü. (2022). Mimari ve arkeoloji bilimlerinde ahşap anatomisi ve dendrokronoloji. Koruma Akademisi Yayınları, İstanbul. ISBN 978-605-71821- 1-1.

Blanchette, R.A., Nilsson, T., Daniel, G., & Abad, A. 1990. Biological degradation of wood. In Archaeological wood: Properties, chemistry and preservation. Edited by R.M. Rowell and R.J. Barbour. Adv. Chem. Ser. 225. eISBN: 9780841224070 <http://dx.doi.org/10.1021/ba-1990-0225.ch006>

Bozkurt, Y., & Erdin, N., (2011). Ağaç Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, İstanbul.

Gunes, M., Ersin, C., & Altunok, M. (2024). Effect of climate and wood type on elastic modulus of heat-treated wood and its optimization by the Taguchi method. BioResources, 19(2), 3138. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.19.2.3138-3148>

Mannes, D. C. (2009). Non-destructive testing of wood by means of neutron imaging in comparison with similar methods (Doctoral dissertation, Eth Zurich).

Özdemir, H. (2004). Anadolu Gökmar türleri (Abies spp.) odunlarının kimyasal karakterizasyonu. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü [Yüksek Lisans Tezi].

Sease, C. (1994). *A conservation manual for the field archaeologist*. Los Angeles: UCLA Institute of Archaeology. ISBN: 0-917956-82-6.

Şener, N. (2006). Mobilyada kullanılan ahşap malzeme, yüzey, üst yüzey işlemler ve koruma. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Ana Bilim Dalı İç Mimarlık [Yüksek Lisans Tezi].

KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE ONARIM ALANINDA ÇALIŞMALAR-I

