



ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ DERGİSİ
ISSN: 1308-9196 / e-ISSN: 1308-7363

Yıl: 15 Sayı: 42 Aralık 2022

Yayın Geliş Tarihi: 01.09.2022 Yayına Kabul Tarihi: 11.12.2022

DOI Numarası: <https://doi.org/10.14520/adyusbd.1169901>

Makale Türü: Derleme Makale/Review Article

Atıf/Citation: Konak, A, Karahan, G. & Gedük, S. (2022). Açık Hava Koşullarında Sergilenen Taş Eserlerde Bozulma – Bozunma Süreçleri ve Koruma Yöntemleri. *Adiyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (42), 194-226.

AÇIK HAVA KOŞULLARINDA SERGİLENE TAŞ ESERLERDE BOZULMA – BOZUNMA SÜREÇLERİ VE KORUMA YÖNTEMLERİ

Ayşın KONAK* Günay KARAHAN** Serkan GEDÜK***

Öz

İnsanlık tarihine ait uzun süreli belleğin sergilendiği müzeler, geçmiş, bugün ve gelecek arasında önemli bağlar kurulmasını sağlayan mekanlardır. Kültür mirasının korunmasını sağlayan müze binaları ile çevresindeki açık alanlarda, malzeme türüne ve döneme göre sınıflandırılan pek çok eser sergilenmektedir. Müzelerin açık alanlarında genellikle bozulmaya ve bozunmaya karşı daha fazla direnç gösteren taştan üretilmiş eserler sergilenmektedir. Müzelerin sergi salonlarında, tarihi eserlerin bozulmadan ve bozunmadan sergilenmesine, depreme karşı korunmasına ve doğru aydınlatmanın nasıl olmasına yönelik çok sayıda çalışma yürütülmektedir. Bunlara karşılık, müzelerde açık alanlarda sergilenen eserler üzerinde bozulma ve bozunma süreçlerinin çok az araştırıldığı ve çoğunlukla göz ardı edildiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, müzelerde açık hava koşullarının etkisi altında sergilenen taş eserlerde bozulmaya ve bozunmaya neden olan etkenler, bu etkenlerin nedenlerini tespit etmeye yönelik araştırmalar, doğal taşlarda gözlenen bozulma ve bozunma şekilleri ile taş eserlerin ne tür yöntemlerle korunabilecekleri ele alınmıştır. Bu araştırmaların her bir

* Öğr. Gör. Kocaeli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, ays@kocaeli.edu.tr, Kocaeli, Türkiye

** Arş. Gör. Kocaeli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, gunay.karahan@kocaeli.edu.tr, Kocaeli, Türkiye

*** Kocaeli Müze Müdürü. serkangeduk@hotmail.com, Kocaeli, Türkiye

basamağında onarım ve korumanın çok disiplinli yönü, eserlere zarar vermeyen yöntemlerin kullanılması ve düzenli olarak denetlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bunlara ek olarak, çevre koşullarının etkisine açık alanlarda, sergilemeye yönelik düzenleme çalışmalarının neden önleyici koruma yaklaşımlarıyla desteklenmesi gerektiği anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Koruma, Önleyici Koruma, Bozulma, Bozunma.

DETERIORATION-DEGRADATION PROCESSES AND CONSERVATION METHODS IN STONE ARTIFACTS EXHIBITED UNDER OPEN-AIR CONDITIONS

Abstract

Museums are places that provide the links between the past, present, and future. Many artifacts classified according to material type and period are exhibited in museums, which ensure the protection of cultural heritage. Mostly artifacts made of stone, which are more resistant to deterioration and degradation are exhibited in open-air areas in museums. A large number of studies are carried out in museum exhibition halls to display historical artifacts without deterioration and degradation, to protect them against earthquakes. On the other hand, it is seen that the deterioration and degradation processes affecting the artifacts have been little researched and mostly ignored. Within the scope of this study, the factors causing deterioration and degradation in stone artifacts under open air conditions, the causes of these factors, deterioration and degradation patterns observed in stones, and their preservation methods are discussed. In each step, a great emphasis was put on multidisciplinary aspect of repair and conservation, the need for the use of methods that do not harm the artifacts and the regular inspection of these methods. In addition, it is explained why the arrangement works for exhibition in areas affected by environmental conditions should be supported by preventive conservation approaches.

Keywords: Conservation, Preventive Conservation, Deterioration, Degradation.

1. GİRİŞ

Zamanın ve çevre koşullarının yok ediciliğine karşı direnen arkeolojik eserler, geçmiş kültürlerin ve tarihlendirildikleri dönemin, tarihi çevresini, güzellik anlayışını, mimarisini, hammaddelerini ve teknolojik bilgi birikimlerini yansıtan somut değerler olarak oldukça önemlidir (Caner-Saltık, 2018: 65). Bu eserlerin taşıdıkları bilgiler sadece görsel nitelikleri ile sınırlı değildir. Ülkemizde müzelerde sergilenen taştan üretilen arkeolojik eserler, prehistorik dönemlerden başlayarak Orta Çağ'a kadar uzanan geniş bir çeşitlilik göstermektedir. Bunların bir kısmı müzelerin bahçesinde, hava koşullarının etkisine açık alanlarda sergilenmektedir.

Kültür toprağının içinde kısmen korunmuş olarak günümüze ulaşan bu taşınabilir arkeolojik eserler, bu aşamadan itibaren iklim, nem, değişen hava koşulları, çevre, hava kirliliği, bitki örtüsü ve deprem gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal mekanizmalara bağlı olarak bozulmaya ve bozunmaya başlamaktadır (Tiano, 2002). Son yıllarda bilim ve teknolojide gözlenen gelişmelere koşut olarak bilimler arası çalışmaların artması açık hava koşullarında bulunan taşların nasıl korunması gerektiğine yönelik yürütülen çalışmalara birçok açıdan katkı sağlamıştır (Tavukçuoğlu, 2018: 96; Caner, 2018: 107; Öztürk ve Türe, 2018: 1172).

İnsanlığın ortak mirası olan arkeolojik eserlerin müzelerde sürdürülebilir bir şekilde korunması için öncelikle iyi bir yönetim sistemi, bunların sürekli bakımını sağlayacak uzman onarım ve koruma kadroları ve maddi kaynaklar gerekmektedir (Ahunbay, 2018: 9; Öztürk ve Türe, 2018: 1170).

Müzelerin bahçeleri gibi açık hava koşullarının etkilerine açık alanlarda, sergilenen eserlerin nasıl korunacağını belirlemeden önce, bu eserlerin

bozulmasına ve bozunmasına neden olan faktörler ile bozulma ve bozunma şekillerinin ortaya konması oldukça önemlidir (Caner-Saltık, 2018: 65).

Tahribatsız analiz yöntemleriyle, dokunarak veya uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak arkeolojik eserlerin üretildikleri hammaddelerin özellikleri ve bu hammaddelerin zaman içinde gösterdikleri değişimler detaylı olarak incelenebilmektedir. Diğer yandan bu analizler, taş eserlerin korunmasının bilimler arası yönünü net bir şekilde ortaya koymakta, Jeoloji, Koruma ve Arkeoloji bilimlerinin uzmanlarını ortak paydada buluşturarak, arkeolojik eserlerin üretiminde kullanılan hammaddelerin özelliklerinin ölçülebilir verilerle tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Caner-Saltık, 2018: 65; Tavukçuoğlu, 2018: 81; Caner, 2018: 107; Ersen ve Verdön, 2010: 11).

2. TAŞLARDA BOZULMAYA VE BOZUNMAYA NEDEN OLAN ETKENLER

Tarihi eserlerin üretildiği doğal taşlarda meydana gelen bozulma ve bozunma, jeolojik süreç içerisinde kayalarda oluşan bozulma ve bozunma ile oldukça benzerlik göstermektedir. Taş eserlerde gözlenen bozulma, çevresel faktörler ve iklim etkisi altında, fiziksel ve mekanik etkenlere bağlı olarak taşların yapısal değişime uğraması olarak tanımlanmaktadır. Bozunma terimi, kimyasal, elektrokimyasal, biyokimyasal, mikrobiyolojik ve termal etkilere bağlı olarak taşlarda gözlenen kalıcı değişimleri ifade etmektedir. Taş eserlerde gözlenen bozulma ve bozunma, taşların dışında başlamakta ve taşların içine doğru devam etmektedir. Her iki durumda da taş eserler şekil değişikliğine uğrar, taşlarda yapısal değişiklik ve malzeme kaybı gözlenir, taşların direnci azalır, kırılgenliği ve gözenekleri artar (Spiridon ve diğ., 2017: 81; Yıldırım, 2011: 73).

Taştan yapılmış eserlerin bozulma ve bozunmasındaki süreci hazırlayan etmenlerin başında, taşın türü, fiziksel, kimyasal yapısı, zaman ve iklim gibi

etmenler gelmektedir. Taşlarının bozulma ve bozunmasında, taşın bulunduğu çevrenin iklimsel özellikleri birinci derecede rol oynamaktadır (Doğruer, 2019: 125; Öcal ve Dal, 2012: 26).

Arkeolojik taş eserlerin koruma çalışmalarına geçilmeden önce bozulma ve bozunmalarına neden olan etkenler öncelikle gözlem ve teknik incelemelerle saptanmalıdır. Açık alanlarda sergilenen arkeolojik eserler yıl içinde çeşitli mevsimlerde ve iklim koşullarında gözlenmeli, çevre koşullarından nasıl etkilendiği incelenmelidir (Ahunbay, 2020: 38).

2.1. Taşın Yapısından Kaynaklanan Etkiler

Kayaçlar, bir veya birkaç mineralin birleşmesiyle oluşur. Taşların mineralojik bileşimleri, tane ve kristal büyüklüğü ile bağlayıcı maddeler gibi dokusal özellikleri ciddi farklılıklar göstermektedir. Bunlarla birlikte taşı oluşturan minerallerin kimyasal bileşimi ve su ile reaksiyonları da önemli ölçüde farklılıklar gösterebilmektedir (Öcal ve Dal, 2012: 43, Küçükaya, 2004: 46).

2.2. İklim ve Atmosferik Etkiler

Uzun süreli doğal etkenlerin başında gelen atmosferik koşullar ve iklim özellikleri açık havada sergilenen eserlerin üretildiği hammadde üzerinde önemli derecede tahribata neden olmaktadır.

Mevsimsel farklar

Yüksek sıcaklık farkı olan iklim bölgelerinde sıcaklık farkı, taşları oluşturan minerallerin bağlarının gevşemesine, taşların fiziksel olarak parçalanmasına neden olmaktadır (Öcal ve Dal, 2012: 29). Arkeolojik taş eserler, sıcak yaz günlerinde aşırı sıcak nedeniyle genişlemektedir ya da kışın soğuk günlerde dona maruz kalmaktadır. Taş eserlerin kılcal çatlaklarına ya da daha büyük

çatlaklarına giren su, donduğunda kama etkisi yaparak çatlakların büyümesine ve büyük parçaların kopmasına yol açabilmektedir. Bunların yanında taşların gözeneklilik durumu da don etkisine bağlı yıpranmayı hızlandırabilmektedir. Bu tür ısı farkları ve donma ve erime döngüleri taş malzemelerin yorulmasına ve yıpranmasına neden olmaktadır. Bunlara ek olarak gece-gündüz arasındaki ısı farklılıkları ve mevsimlere göre farklılaşan hava koşulları da taşlarda zamanla renk değişimine yol açmaktadır (Ahunbay, 2020: 46-47; Zakar ve Eyüpgiller, 2000: 49; Küçükkaya, 2004: 56-59; Öcal ve Dal, 2012: 30-32).

Nem ve Yağış

Bozulma ve bozunmanın başlıca etkenlerinden biri olan yağış ve su, taş eserler üzerinde bozulma ve bozunma sürecini hızlandırmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 48). Nem, tüm bozulma ve bozunma süreçlerinde yer almaktadır, bu nedenle de taşların ayrışmasına neden olan etkenlerin başında yer almaktadır (Yıldırım, 2011: 71). Diğer yandan taşın gözenek yapısı, boşluk boyutu, geçirgenliği gibi özellikleri nem ve yağışın ne kadar etkili olacağını belirlemektedir. Nem, arkeolojik eserlerin üretildiği gözenekli taşın içine, yeraltı suyunun kılcal hareketle yükselmesine, yağışa ve havadaki gaz halindeki suyun difüzyonuna bağlı olarak yerleşmektedir (Öcal ve Dal, 2012: 33; Yıldırım, 2011: 71).



Şekil 1. Nem ve yağışın etkisi

Yağış sonrasında eserlerin ıslanmasıyla birlikte oluşan nem, öncelikle bozunmaya neden olan diğer faktörlerin aktif hale gelmesine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar değişen nem koşullarının, arkeolojik taş eserlerin sürekli ıslak kalmasından daha fazla bozunmasına neden olduğunu ve bozunmayı hızlandığını göstermiştir (Caner-Saltık, 2018: 66). Bunun yanında yağmur suyunun hızla uzaklaştırılmaması likenlerin, yosunların, mikroorganizmaların ve mantarların büyümesi gibi ciddi hasarların gelişimine neden olabilmektedir. Bunların yanında yağmur suyunun kolay aşınan taş eserlerin yüzeyinden akarken yaptığı aşındırıcı etki de göz ardı edilmemelidir (Ahunbay, 2020: 46; Küçükkaya, 2004: 65; 79).

Rüzgâr

Şiddetli rüzgarların kum gibi taneçikli malzemeyi, zeminden kaldırarak taşıdığı ve ardından eserlere çarptığı durumlarda, eserler üzerinde önemli miktarda yüzey aşınmalarına ve görünümünde değişikliğe neden olabilmektedir (Öcal ve Dal, 2012: 45).

Tuzlar

Gözenekli taşlardan üretilen arkeolojik eserlerin ayrışmasında, suda çözünen tuzlar oldukça etkilidir ve suda çözünen tuzların etkileri ile arkeolojik eserlerin yüzeyindeki ıslanma ve kuruma döngüleri arasında yakın bir ilişki vardır (Steiger ve diğ., 2010). Arkeolojik eserlerin üretildiği çeşitli taş türlerinde değişik düzeylerde çatlaklar ve kılcal gözenekler gözlenebilmektedir. Toprak altından çıkarılan arkeolojik eserlerin bu çatlak ve gözeneklerinde, suda çözünebilir tuzları içeren su bulunmaktadır. Gözenekli taşların içine bu tuzları taşıyan su buharlaştığında, tuz çözeltisi doygunluğa ulaşmaktadır. Bu durumda tuzlar hem taşın yüzeyinde hem de taşın gözenekleri içinde kristalleşmektedir (Yıldırım, 2011: 71, 74).

Arkeolojik eserlerin sergilendiği açık alanlarda bağıl nem değişimlerine bağlı olarak tuz kristalleşme – çözünme döngüleri oluşmaktadır. Bağıl nemin yüksek olduğu zamanlarda çatlaklardaki tuzlar çözünmekte ve kılcal gözeneklere yayılmakta, bağıl nem düşüncede kristalleşmektedir. Özellikle higroskopik tuzlar, doğrudan su ile temas etmeden, havadaki bağıl nemi soğurarak çözünebilmektedir ve nemim düşük olduğu durumda da soğurduğu nemi kaybederek yeniden kristalleşmektedir. Bununla birlikte, mikro çatlaklar içinde tuz ve donma çözülme döngüleri sonucunda gelişen kil mineralleri de genişerek tuzların kristalleşmesinin neden olduğu genişlemeyle birlikte, çatlakların giderek büyümesine ve zaman içinde taşlardan parça kopmasına neden olmaktadır (Caner-Saltık, 2018: 73; Zakar ve Eyüpgiller, 2000: 49; 109; Öcal ve Dal, 2012: 34; Yıldırım, 2011: 74; Steiger ve diğ., 2010).

Diğer yandan taşların gözenekleri içinde giderek büyüyen tuz kristalleri basınç oluşturarak taşın gerilme dayanımının düşmesine, taş malzemenin küçük parçalar şeklinde kopmasına ya da malzemenin toz haline gelmesine neden

olmaktadır. Taş eserlerde bozunmaya neden olan tuzlar arasında, sodyum sülfat, sodyum klorür, sodyum karbonat, nitrat, magnezyum sülfat, kalsiyum karbonat en etkili suda çözünebilir tuzlardır. Bu tuzların en önemli kaynağı hava kirliliğidir (Yıldırım, 2011: 75; Oguchi ve Yu, 2021: 5)

2.3. Canlıların Neden Olduğu Etkiler

Bitkiler, mantarlar, bakteriler, algler, siyanobakteriler, mantarlar, likenler, kuşlar ve örümcek gibi böcekler, taş eserler üzerinde biyolojik bozunma olarak tanımlanan ve doğal taşların bozunmasına neden olan bir süreci başlatmaktadır (Dolar ve Yılmaz, 2014: 2; Sterflinger ve Piñar, 2013: 9638; Pinna, 2021: 13). Özellikle kuş dışkılarında bulunan asit, taş eserlerin bütünlüğünü bozabilmektedir. Diğer yandan bakteriler, likenler ve mantarlar yaşam etkinlikleri sırasında ürettikleri karbonik asitlerden dolayı taşlarda yeşil renkli bir tabaka oluşmasına, boşlukların gelişmesine neden olmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 50, 115, Küçükkaya, 2004: 79; Öcal ve Dal, 2012: 48-53; Öztürk ve Türe, 2018: 1173).



Şekil 2. Biyolojik büyüme

2.4. İnsanların Neden Olduğu Hasarlar

Savaşlar, Kötü kullanım ve Vandalizm

I. ve II. Dünya Savaşları, Bosna Savaşı ve Ortadoğu savaşları tarihi eserler üzerinde geri dönüşü olmayan oldukça üzücü hasarlara neden olmuştur. Savaşlar günlük haberler arasında hala önemli bir yer tutmaktadır. Bu savaşlar sırasında bir düşüncenin, bir inancın, eski bir rejimin bir etnik grubun ya da egemenliğin simgesi olarak görülen arkeolojik eserler, bilinçli bir şekilde tahrip edilebilmektedir (Ahunbay, 2020: 54; Öcal ve Dal, 2012: 59).

Diğer yandan müzelerde çevre düzenlemesi sırasında eserlerin taşınması sırasında da hasarlar oluşabilmektedir. Son yıllarda ziyaretçilerin öz çekim ya da fotoğraf çekimi için, eserlerin üzerine tırmanması ya da çıkması da zaman zaman eserlere zarar vermektedir.

Yanlış Temizlik ve Onarımlar

Bakımsızlık, taş eserlerde gözlenen küçük bozulma ve bozunmaların zaman içinde büyüyerek ilerlemesine neden olmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller; 2020: 52). Ön araştırmaya dayanmayan, doğru tanı konulmadan, uyumsuz malzeme ile yapılan onarımlar ve yanlış tekniklerle yapılan uygulamalar taş eserlerin üzerinde önemli tahribatlara neden olabilmektedir (Ahunbay, 2020: 102-103).

Bayındırlık Etkileri

Müzelerin yakınında yeni yoların, yeni binaların inşası, müzelerin zemini altında geçitlerin ve tünellerin açılması, arkeolojik eserlerin yerleştirildiği zemini bozarak, arkeolojik taş eserler üzerinde önemli etkilere neden olabilmektedir.

Hava Kirliliği

Kentsel ortamlarda yüksek oranlarda bulunan atmosferik kirlenici gazlar (kükürt dioksit, sülfür dioksit, nitrojen dioksit ve karbon dioksit), yağış, sis, nem, rüzgâr, sıcaklık ve güneş ışığı gibi atmosferik faktörler ile birleştiğinde taş eserler üzerinde, üretildikleri taşın cinsine bağlı olarak bozunmaya neden olmaktadır (Küçükaya, 2004: 73; Gökaltun, 1999: 135).

Trafik

Kamyon, tramvay, tren ve hızlı tren gibi ağır araçların geçerken zeminde oluşturduğu titreşimler taş eserler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Küçükaya, 2004: 55).

2.5. Zemin Özellikleri

Müzelerin açık alanlarında, arkeolojik eserlerin yerleştirildikleri yerin zemin özellikleri, taş eserlerin bozunma süreçleri üzerinde oldukça etkili olabilmektedir. Yeraltı su seviyesi, mevsimlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Yeraltı su seviyesine bağlı olarak yerden yükselen nem, taş eserin yerleştirildiği toprak zeminden yükselerek eserin içinde kılcallık (kapilarite) ile hareket etmeye başlamaktadır. Zeminden yükselen bu nem, eserin ıslanmasına neden olmaktadır. Bunun yanında suyun taşıdığı tuzlar, eserin yüzeyinde suyun buharlaşmasıyla çiçeklenmeye, liken, küf ve mantar oluşumuna, eserin fiziksel ve kimyasal yapısında değişimlere yol açmaktadır (Ahunbay, 2020: 46; Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 50).

2. 6. Doğal Afetler

Mevsim normallerinin üzerinde gözlenen yağışın neden olduğu seller ve ne zaman olacağı öngörülemeyen depremler, eserlerin yıkılmasına, yerinden oynamasına, taşınmasına neden olabilmekte ve eserler üzerinde geri dönüşü olmayan ciddi zararlar ortaya çıkabilmektedir (Ahunbay, 2020: 49; Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 50; Öcal ve Dal, 2012: 46).

3. ARAŞTIRMALAR VE ANALİZLER

Arkeolojik eserlerin üretildiği hammaddelerin çeşitlerine göre bozulma ve bozunmaya neden olan faktörlerin, bozulma ve bozunma türlerinin, bunların yaygınlığının, derinliğinin ve hızının belirlenmesi için çeşitli araştırmaların ve analizlerin yürütülmesi gerekmektedir. Çeşitli bilimlerin iş birliği çerçevesinde yürütülen bu analizler ve araştırmalar aşağıda madde başlıkları şeklinde verilen adımları içermektedir.

3.1. Taş Eserlerde Görsel Analiz

Arkeolojik eserlerin hammaddelerinin korunmasına yönelik uygulamalar, eserlere zarar vermeyecek olan kapsamlı ön araştırmaları gerektirmektedir. Arkeolojik eserlerin üretildiği malzemede gözlenen bozulmaların görsel analizi, koruma çalışmalarının planlanmasında yarar sağlayacak olan ilk verilerin elde edilmesini içermektedir (Tavukçuoğlu, 2018: 81). Görsel makro gözlemlerle, hammadde üzerinde bozulma ve bozunma şekillerinin belirlenmesi ve en az bozulma ve bozunma şeklinden başlayarak en şiddetli bozulma ve bozunma şekline kadar sınıflandırılması gerekmektedir. Bu analizler sonrasında taş eserlerin üzerinde gözlenen bozulma ve bozunma şekilleri ve şiddetleri ile bu şekillerin dağılımı ve bu dağılımın yönleri çizim ve fotoğraflar üzerine işlenerek

haritalanmalıdır. Böylece her eser ölçeğinde bozulma ve bozunma sorunlarının tanımı için ön bilgiler edinilmektedir. Diğer yandan bu haritalar tahribatsız analizlerin uygulanması sırasında, koruma uygulamalarının uygulanacağı yer tespitinde, bu uygulamaların ne kadar başarılı olduğunun izlenmesinde ve belli aralıklarla düzenli olarak yürütülen bakım çalışmalarında kullanılan bir belgeleme yöntemidir (Caner-Saltık, 2018: 67; Tavukçuoğlu, 2018: 82).

3.2. Taş Eserlerde Malzeme Sorunlarının Belirlenmesi

Arkeolojik eserlerin tahribatsız yöntemlerle dış çevre koşullarına uyumunun araştırılması ne kadar dayanıklı ve sağlam ya da bozulmuş oldukları birbirini tamamlayan birden fazla tahribatsız analizle saptanmalıdır. Taş eserlerin özellikleri bir dizi fiziksel, kimyasal, petrografik, mineralojik ve mekanik test ve analizlerle anlaşılabilir (Caner, 2018: 107; Tavukçuoğlu, 2009: 187).

3.3. Kızıl Ötesi Isıl Görüntüleme (Infrared Thermography) Analizi

Arkeolojik taş eserlerin yaydığı ısıya hassas, ısı gören kameraların kullanıldığı bu yöntemde, malzemenin ısı yayıntıları ölçülmekte ve belli eşik değerlere göre renklendirilerek incelenen eserin ısı haritası üretilmektedir. İncelenen taş eserin bünyesinde barındırdığı nem, ısı iletkenliğini artırmaktadır. Diğer yandan taş eserin bünyesinde boşlukların bulunması tam tersi ısı iletkenliğini düşürmektedir. Böylece sıcaklık farklılıkları, ısı dağılımını gösteren haritalarla izlenebilmektedir (Tavukçuoğlu, 2018: 81-82). Bu analiz, nem kaynağını belirlemede kullanılan tahribatsız uzaktan algılama ve analiz yöntemlerinin başında gelmektedir. Bununla birlikte nem kaynağını yok etmeye yönelik üretilen çözümlerin ne kadar güvenilir olduğunun kontrolünü de sağlamaktadır (Caner-Saltık, 2018: 66).

3.4. Ultrasonik Hız Ölçümleri (Ultrasonic Pulse Velocity measurements)

Taş eserlerde taşın sağlamlık durumunu belirlemek, başka bir deyişle taşın yüzeyinde ya da iç yapısında gözle görünen ya da görünmeyen derinliklerdeki çatlak, ayrılma, boşluk ve gözenekte artış gibi süreksizliklerin tespitinde, taşta bozulma ve bozunma derecesinin belirlenmesinde, taş yüzeyinde bozulmuş tabakanın kalınlığının belirlenmesinde ve taş yüzeyine uygulanan sağlamlaştırma işleminin başarısının ölçülmesinde, malzemeye zarar vermeyen bu yöntemden yararlanılmaktadır (Caner-Saltık, 2018: 68; Tavukçuoğlu, 2018: 83-84). Bu yöntemde, alıcı ve verici uçlar yardımıyla taş eserin içerisinden geçirilen ultrasonik dalgaların, uçlar arasındaki mesafeyi ne kadar sürede geçtiği başka bir deyişle ultrason dalgasının taşın içindeki hızı hesaplanmaktadır.

Ultrasonik dalgaların hızı, malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine göre değişmektedir. Bu durumda, sağlam ve kuru malzemelerde ölçülen ultrasonik dalgaların hızı standart kabul edilmektedir. İncelenen eserde ölçülen ultrasonik dalgaların hızı, bu standart değer ile karşılaştırılmaktadır. Böylece taş eserin ne kadar sağlam olduğu ya da bozulmuşluk durumu konusunda bir değerlendirme yapılabilmektedir. Malzeme içinde ultrasonik dalgaların geçtiği alanda çatlak ve gözeneklilik artışı gibi süreksizlikler varsa ultrasonik dalga hızı azalmaktadır. Sağlamlaştırma işlemi uygulanan taş malzemede gözeneklilik azaldıkça ultrasonik dalga hızında önemli bir artış gözlenmektedir (Tavukçuoğlu, 2018: 83-84).

3.5. Laboratuvar Çalışmaları

Taş eserlerden kopmuş parçalardan alınan örnekler ve bu taş eserlerin üretildiği hammaddeler ile benzer jeolojik yatlardan alınmış örnekler detaylı laboratuvar analizleriyle incelenmektedir. Taş eserlerden alınan örnekler ya da

taş eserlerden kopmuş olan parçalar üzerinde fiziksel, fizikomekanik, mineralojik, kimyasal ve mikroskopik analizler yapılmaktadır. Taş eserlerde taşın cinsi, taşı meydana getiren mineraller, taşın dokusu, ayrışma ve bozulma durumları, birim hacim ağırlığı, gözenekliliği, mikro yapısı ve çatlakları mikroskopik, petrografik ve kimyasal analizlerle belirlenmektedir. Basınç dayanımı tayini ile taş eserlerin düşey yükler altında kırılma dayanımı ölçülmektedir. Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı ve donma çözülme dayanımı tayini ile taşın su emme kapasitesi, bünyesine giren su miktarı ve suyun donması sonucunda yarattığı basınca karşı dayanıklılığı belirlenir.

Yoğunluk tayini, taşların su emme, gözeneklilik ve taşın iç yapısı hakkında bilgi verir. Taşlarda fizikomekanik özelliklerinin belirlenmesi için aşınma direnci, ince kesit, XRD (X-Ray Diffraction), piknometre, mineralojik ve mikro yapı analizlerinden yararlanılmaktadır. Taş eserlerde yüzey altı çatlakların belirlenmesi için termal tarama testleri yürütülmektedir. Taşın ayrışma durumunun belirlenmesi için doku ve stratigrafi analizi yapılmaktadır. Taş eserin yüzeyindeki bitki, bakteri, liken ve mantarların tespiti için ve bunlara yönelik hangi önlemlerin alınacağına yönelik incelemeler mikroskopla ve SEM – EDX (Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy) analiziyle belirlenmektedir. Taşların yüzeyinde oluşan kirli kabuğun derinliği yine SEM – EDX analiziyle belirlenmektedir. Tuzların kantitatif ve kalitatif analizi gibi kimyasal testlerle taş eserlerde hasara neden olan tuzlar belirlenebilmekte ve belirlenen etkene göre temizlik ve koruma yöntemine karar verilebilmektedir. Benzer jeolojik yataklardan alınmış örnekler tuz kristalleşme ve donma-çözülme döngüleri ile eskitilmektedir. Ayrıca taş sağlamlaştırılmada uygulanacak olan sağlamlaştırıcının penetrasyon derinliği ve koruyucunun etkinliği SEM – EDX analizi ile belirlenmektedir (Ersen ve Verdön, 2010; Ersen, 2013: 4; Böhm, 2005: 409; Caner, 2018: 108-109).

3.6. Koruma Çalışmaları

Yukarıda söz edilen araştırmaların ve analizlerin sonucunda tahribatsız koruma çalışmalarına geçilmektedir. Bu koruma uygulamalarında, taş eserlerin bozulmasına ve bozunmasına neden olan süreçlerin kontrol altına alınması, yavaşlatılması ya da ortadan kaldırılması, görsel ve estetik özelliklerine zarar vermeden korunmaları amaçlanmaktadır. Bu amaçlara, yukarıda söz edilen taş eserlerde malzeme sorunlarının belirlenmesi adımı doğru bir şekilde uygulandıktan sonra ulaşılabilir. Günümüzde en az müdahale ile bozulmaya yönelik önlemlerin alınması yaklaşımının yanında, taşlara zararı dokunan ve taşın fiziksel kimyasal ve mekanik özellikleri ile uyumsuz malzemelerin kullanılmaması benimsenmiştir. Bunların yanında koruma uygulamalarının tekrarlanabilirlik, uyumluluk ve dayanıklılık gibi özelliklerinin olması gerekmektedir.

Taş koruma uygulamalarında, geriye çevrilebilirlik çoğu zaman olanaklı değildir. Bu durum, bozulmaya ve bozunmaya yönelik alınacak önlemlerin, uyumluluğun ve tekrarlanabilirliğin önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Diğer yandan önlemlerin yeterli olmadığı birçok durum ortaya çıkabilmektedir (Caner, 2018: 107-108). Koruma uygulamalarından sonra taş eserlerin yerinde incelenmesi ve uygulamanın ne kadar başarılı olduğunun düzenli aralıklarla izlenmesi gerekmektedir.

4. AÇIK HAVADA GÖZLENEN BOZULMA VE BOZUNMA ŞEKİLLERİ

Toprak altında kısmen korunagelen arkeolojik eserlerin, açık havada farklı etkiler altında bozulma ve bozunma süreci çok çabuk bir şekilde başlamaktadır.

Bozulma ve bozunma türünün, kayacın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dış ve iç etkilerin özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir (Öcal ve Dal, 2012: 26). Bozulma ve bozunma türü ve derecesi, taş eserlerin üretildiği taşın türüne, boyutuna ve üzerindeki detaylara, müzede yerleştirildiği konuma göre değişiklik göstermektedir. Özellikle atmosferik koşullara karşı korumasız olarak sergilenen arkeolojik eserlerde bozulmanın ve bozunmanın derecesi gözle görülür şekilde artmaktadır.

4.1. Kirli Tabaka (Patina) Oluşumu

Kükürt dioksit içeren kirli hava koşullarına bağlı olarak taş eserlerin yüzeyinde, ince ve düzgün bir tabaka oluşumu gözlenmektedir (Küçükkaya, 2004: 100; Öztürk ve Türe: 2018: 1172).



Şekil 3. Kirli tabaka oluşumu

4.2. Siyah Kabuk Oluşumu

Sülfür bazlı asidik gazlar, karbon ve katranlı parçacıklardan oluşan hava kirliliği taşlar üzerinde kabuk olarak adlandırılan bir bozunma türüne neden olmaktadır

(Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 113). Rengi ve morfolojik özellikleri, fiziksel, kimyasal ve mineralojik yapısı taşın özelliklerinden farklıdır. Bu tür bir kabuk gelişimi eserlerde detayların ve ince hatların bozulmasına, taşlarda gözlenen boşlukların kapanmasına neden olmaktadır (Küçükaya, 2004: 100; Şenol, 2017: 7; Öztürk ve Türe, 2018: 1172).



Şekil 4. Siyah kabuk oluşumu

4.3. Betonlaşmış Kalın Kabuk (Kalsin) Oluşumu

Betonlaşmış kalın kabuk, kirli hava koşulları altında, kireçtaşı ve kumtaşı gibi sedimenter kayalar üzerinde gelişmektedir. Taşın içine işleyen yağmur suları, taşın içindeki karbonatların erimesine neden olmaktadır. Su buharlaşarak havaya dönerken taşın dış yüzeyinde erimiş maddeler birkaç milimetrelik bir tabaka oluşturmaktadır. Bu tabaka zaman içinde giderek sertleşmekte ve taşın yapısını ve rengini değiştirmektedir (Küçükaya, 2004: 100- 101).

4.4. Çiçeklenme

Taş eserlerin yüzeyinde gözlenen tuz etkisi, çiçeklenme (efflorescence) olarak adlandırılmaktadır. Çeşitli kaynaklardan gelen sodyum, potasyum ve magnezyum tuzları çiçeklenmeye neden olan en yaygın tuzlardır. Taşların iç kısmında gerçekleşen tuz etkisi, gizli çiçeklenme (cryptoflorescence) olarak tanımlanmıştır. İlk başta mikroskobik düzeyde başlayan tuz kristallenmesi, ıslanma ve kuruma döngüleri sonucunda taş yüzeyinde pudralanma şeklinde görülmeye başlamaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 109; Küçükkaya, 2004: 107; Hasbay ve Hattap, 2017: 33).

4.5. Lekelenme

Taş yüzeyinde gözlenen lekelenme, metallerin korozyonuna, havada bulunan kükürt, klor, azot, karbon ve hidrokarbon bileşenli maddelere, neme ve tuzlara bağlı olarak gelişmektedir. Taş yüzeylerinde liken, yosun ve mantar oluşumları ve kuş dışkıları da nokta ya da yuvarlak halkalar şeklinde lekelenmeye neden olmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 114; Küçükkaya, 2005: 54; 75, 105).

4.6. Tozlaşma, Tanelenme ve Şekerlenme

Büyük oranda ısı değişimlerine bağlı olarak yavaş yavaş ve sürekli olarak gelişmekte ve taşın yapısı yavaş yavaş çözülmektedir. Taşın yüzeyine dokunulduğunda taş toz şeklinde ufalanarak ele gelmektedir (Hasbay ve Hattap, 2017: 35). Atmosfer etkileri nedeniyle taşın doğal bağlayıcısı çözünerek erimekte, taş yüzeyi şeker dokusu şekline yavaş yavaş pürüzlü hale gelmektedir (Angı, 2011: 41).

4.7. Mikrokarst ve Oyuk Oluşumu

Taşın yapısında bulunan ve suyla eriyen kalsiyum karbonat, eriyerek çeşitli büyüklüklerde boşlukların oluşmasına neden olmaktadır (Hasbay ve Hattap, 2017: 35). Volkanik kökenli kayalarda, bazı minerallerin ayrılarak kopmasıyla

bunların yerinde boşluklar oluşmaktadır. Çakıltaşı, fosilli kireçtaşı gibi çökel kayalarda zamanla iri tanelerin ayrışmasına bağlı olarak ile kayaç yüzeyinde düzensiz oyuklar ve boşluklar gelişebilmektedir (Öztürk ve Türe, 2018: 1173).

4.8. Çatlama, Kavlanma, Yarılma, Ayrılma ve Parça Kopması

Yüksek ve düşük sıcaklık farklılıkları ve özellikle üzerinde suyun uzun süre kaldığı taşlarda çatlama, kavlanma ve parça kopması şeklinde bozunma türü gözlenmektedir. Taşların yüzeyinde farklı boyutlarda kılcal ve derin çatlaklar görülebilmektedir. Taşlarda yüzeysel donma görüldüğü zaman kavlanma gözlenirken taşların iç kısmında gözlenen çatlakların içindeki suyun donması sonucu parça kopması gözlenmektedir. Çatlama ince taneli mermerlerde daha çok görülmektedir (Şenol, 2017: 6).



Şekil 5. Parça kopması

4.9. Yapraklanma ve Kabuk Atma

Çevre koşulları ve iklim nedeniyle, taş yüzeyinde, taş yüzeyine paralel, yaprak gibi ya da kalın tabakalar halinde dökülme gözlenmektedir. Taş yüzeyinin doğrudan yağmur suyu ile yıkanmayan fakat nemin yoğunlaştığı bölümlerinde

hava kirliliği sonucunda kabuk atma meydana gelmektedir (Hasbay ve Hattap, 2017: 34, 36; Öztürk ve Türe, 2018: 1173).



Şekil 6. Kabuk atma

4. 10. Patlama

Taş eserin içine yerleştirilen metaller, kimyasal olaylar nedeniyle oksidasyona uğrar, zamanla genişir ve taşı zorlayarak patlamaya neden olur. Bu şekilde oluşmuş taş kopmalarında taşın içindeki metal açığa çıkmaktadır ve bozulma nedeni kolaylıkla anlaşılmaktadır (Küçükkaya, 2004: 53).

5. ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

5.1. Yüzey Temizliği

Temizlik, taş eserler üzerinde gerçekleştirilen koruma uygulamalarının ilk ve en önemli adımıdır. Doğru temizlik işlemiyle gelecekte gözlenebilecek olan bozulma

ve bozunmaların önüne geçilmektedir (Şenol, 2017: 8). Araç egzozlarından, ev ve fabrika bacalarından çıkan isler havayı kirletmekte ve taş eserlerin yüzeylerinin kararmasına neden olmaktadır. Yüzey temizliğinin düzenli aralıklarla yürütülmesi ve özenli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Aksi taktirde arkeolojik eserin bozunma süreci hızlanmaktadır. Yüzey temizliğinin hangi yöntemle yapılacağına karar vermeden önce taşın türü, kirliliğinin nedeni, kir tabakasının niteliği, yüzey bozulmaları çok iyi araştırılmalıdır. Temizlik sırasında taş işlenirken yüzeyde taş ustasının bıraktığı özgün izler ve taşın zamanla kazanmış olduğu ve taşın korunmasını sağlayan patina* yok edilmemelidir. Müzelerimizde, bu tür temizlik çalışmalarını üstlenecek koruma uzmanlarının sayısının her geçen gün artması oldukça sevindiricidir (Ahunbay, 2020: 102-103; Günel, 2010: 134; Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 108; Ersen, 2013: 6).

Taş eserin özellikleri göz önünde bulundurularak, suyla, mekanik (mikro kumlama, bisturi ile yapılan temizlik), kimyasal, emici kil, jel ve kâğıt hamurları ve lazerle ile yüzey temizliği yapılabilmektedir (Ahunbay, 2020: 104; Yar, 2010: 82; Günel, 2010: 132). Arkeolojik eserler öncelikle yüzeyleri yıkanarak temizlenmeye çalışılmaktadır. Bu yöntem eğer kirler suda çözünüyor ise oldukça verimli sonuç vermektedir. Diğer yandan taş eserin yüzeyine bol miktarda su vermek, kılcal çatlaklar içinde suyun hareket etmesine eserin bünyesindeki tuzları harekete geçirerek çiçeklenmeye neden olabilmektedir. Bunun önüne geçmek için suyu zerre şeklinde püskürten ve suyun eserin üzerine kontrollü bir şekilde suyun yayılmasını sağlayan uçlardan yardım alınmalıdır (Ahunbay, 2020: 104; Küçükkaya, 2004: 111). İnce detayları olan taş eserlerde atmosfer etkisiyle

* Patina: Taşın ocaktan çıkarıldığı andan itibaren, eskimeye bağlı olarak taşın yüzeyinde oluşan ince bir film tabakası şeklinde renk ve doku değişikliğidir (Günel, 2010: 134; Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 108; Küçükkaya, 2004: 97).

oluşan kirlenmeler, lazerle temizlenebilmektedir. Bu uygulamaya düşük ayardan başlanmalı, uygulama mesafesi ve eserin hassasiyet derecesi test edilmelidir (Yar, 2010: 82; Küçükkaya, 2004: 115).

Bozulmamış, bezemesiz ve büyük yüzeylerde aşındırıcı partiküller mikro kumlama yöntemiyle (dolomit, cam tozu, alüminyum, bitkisel kökenli tanecikler, kuru buz) düşük basınçla yüzeye özenli bir şekilde püskürtülerek yüzey temizliği yapılabilmektedir (Günel, 2010: 134; Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 119). Bezemeli, estetik ve tarihi değeri yüksek eserlerin yüzeyinde kimyasal temizlik yapılmaktadır. Kâğıt hamuruna emdirilen kimyasal madde eserin yüzeyine uygulanmakta, belli bir süre bekletildikten sonra, bol su ile yıkanmaktadır. Ortaya çıkan yeni yüzeyin durumuna göre işlem birkaç kez tekrarlanabilmektedir (Ahunbay, 2020: 104).

Çok kirli ve çiçeklenme sorunu olan yüzeylerde kil hamuru ya da deiyonize su ile hazırlanan kâğıt hamuru taş eserin yüzeyine sürülür, kil hamuru kuruduktan sonra kaldırılır. Bu işlem, eser çözünür tuzlardan ve kirden arınana kadar tekrar edilmektedir. Düşey ve gözeneksiz yüzeylerde, zayıf bazik karışimli, macun kıvamında şeffaf jeller, fırça ile yüzeye sürülmekte, ardından buharlaşmanın önüne geçmek için sıkıca plastik ya da alüminyum folyo ile kapatılmaktadır. Belli bir süre sonra üstü açılmakta ve yüzey deiyonize su ile yıkanarak eser üzerinden kimyasal çözelti uzaklaştırılmaktadır (Ahunbay, 2020: 104).

Bunların yanında son yıllarda atmosferik ortam koşulları nedeniyle nitrat, sülfat ve karbonat esaslı bozunmaların temizliğinde mikroorganizmalardan yararlanılmaya başlanmıştır (Şenol, 2017: 13; Ersen, 2013:7). Taş eserlerde suda çözülebilen tuzların tek başına kontrolü bile taş eserlerin bozunma durumunu önemli ölçüde düşürmektedir (Steiger ve diğ., 2010).

5.2. Sağlamaştırma

Taş eserlerde taş bünyesinin zayıf olduğu ve daha ileri hasarlara açık olan bölgelerinde, bozulmayı ve bozunmayı azaltmak, değişken atmosferik koşullara karşı, taşın direncini arttırmak gerekmektedir. Eserlerin sağlamlaştırılmasında öncelikle çevre koşulları iyileştirilmelidir. Taş eserlerde bozunmanın durdurulamadığı durumlarda, sağlamlaştırma kimyasal koruyucu maddelerle de yapılabilmektedir. Kimyasal maddelerle koruma uygulaması, zarar verici etkenlerin başka yöntemlerle önlenemediği durumlarda kullanılmaktadır (Öztürk ve Türe, 2018: 1173).

Taş eserlere, sağlamlaştırıcı kimyasallar fırça ile sürülerek, püskürtülerek ya da vakumla uygulanmaktadır. Taşa uygulanacak olan kimyasalın taşın türüne ve yapısına uygun seçilmesine, taşın bünyesine nüfuz etmesine, düşük akışkanlığa sahip olmasına, bu uygulamanın taşın kimyasını bozmamasına, yeterli deneyimi olan uzmanlarca denetimli bir şekilde uygulanmasına dikkat edilmelidir (Ahunbay, 2020: 92; Küçükaya, 2004: 121; Şenol, 2017: 12; Ersen, 2013: 8; Öztürk ve Türe, 2018: 1173).

5.3. Yüzey Koruma

Su iticiler ve yüzey kaplamaları gibi yüzey koruyucuların, bir bakım programı dahilinde belirli aralıklarla yenilenmeleri gerekmektedir. Bunlar taş eserlerin yüzeyini, hava kirliliği ortamına ve iklimsel bozulmaya dirençli hale getirmek için uygulanan yöntemlerden biridir. Yüzey koruyucuların etkinliği uygulanan taş yüzeylerin petrografik ve fiziksel özelliklerine, suda çözünür tuzların varlığına göre değişebilmektedir. Bu malzemelerin etkinliğinin veya kullanılmasındaki sakıncaların, her uygulamadan önce raporlandırılması gerekmektedir (Ersen, 2013: 11; Ersen ve Döngel, 2010: 14).

5.4. Dolgu Tedavi

Bileşiminde çevre koşullarına karşı düşük dirençli mineraller bulunan bazı volkanik ve sedimenter kayalarda, iri tanelerin yerinden koptuğu, kayaç yüzeyinde ve iç kısımlarında oyuk ve boşlukların geliştiği görülmektedir. Bu tür durumlarda, taşa dolgu harçları enjekte edilmektedir (Küçükkaya, 2004: 123).

5.5. Yama Tedavi

Çeşitli tahrip etkenlerinin bir arada görüldüğü durumlarda taş eserlerden büyük parçalar kopabilir. Taşın kopan parçaları reçinelerle ya da daha kuvvetli yapıştırıcılarla yamanabilmektedir. Taşın kopan parçası taşıyıcı bir parçaysa, iş göremez durumdaysa ya da bulunamadığı zaman, benzer taşlarla ya da doğal malzemeler kullanılarak yama yapılabilir (Küçükkaya, 2004: 124-128).

5.6. Destekleme ve Çemberleme

Çatlamış, dağılma olasılığı bulunan eserlerin ve yanal açılma ve düşeyden ayrılma tehlikesi bulunan sütunların çevresi paslanmaz metal çemberlerle sarılarak sıkıştırılmaktadır. Bu tür uygulamalar genellikle düşey uzanım gösteren sütun gibi mimari parçalar üzerinde uygulanmaktadır. Sütunlar üretildikleri malzemenin boyutlarına göre ya tek parça olabilmektedir ya da parçaların üst üste bindirilmesiyle oluşmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 88).

Deprem gibi doğal afetlerde yıkılma tehlikesi olan bu tür uzun mimari parçalar bazı durumlarda zemine ya da etraflarındaki duvarlara tutturularak korumaya çalışılmaktadır. Bazı durumlarda paslanmayan çelik bir iskeletle kılıflama yapılmaktadır.

5.7. Tuz Temizliği

Tuz temizliği, üzeri açık alanlarda uygulanan en önemli koruma çalışmalarının başında gelmektedir. Gözenekliliği düşük ve daha çok kılcal çatlakların

görüldüğü mermerlerde tuz temizliği zaman alan ve kontrollü bir şekilde uygulanması gereken bir işlemdir. Taş eserden tuzların uzaklaştırılması, su banyoları yaptırılarak ya da tuz emici lapalar kullanılarak yapılmaktadır (Caner-Saltık, 2018: 72).

5.8. Mekânsal Düzenlemeler ve Taşıma

Geçmişte farklı amaçlarla inşa edilen binalar, sonradan müzeye dönüştürülebilmektedir. Bu tür yapılarda yağmur suyu drenajı gibi işlevsel sistemlerin daha işler hale getirilmesi gibi bazı mekânsal düzenlemelere gidilebilir. Bunun yanında eserleri güneşin dik ışıklarından ya da rüzgarlardan korumak gerekmektedir. Zemin ile ilgili yükselen nem ya da trafiğin neden olduğu titreşimlere yönelik sorunların çözümünde zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliğinden destek alınmalıdır. Açık havada sergilenen eserlerin korunmasının sağlanamadığı durumlarda eser sürdürülebilir bir şekilde korumanın sağlanacağı başka bir alana taşınabilmektedir. Diğer yandan doğrudan müze olarak tasarlanan yapılarda, bahçelerdeki peyzaj çalışmalarında önleyici korumanın ön planda olduğu projeler desteklenmelidir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Taş eserlerin mineralojik bileşimi, sertlik, gözeneklilik, ağırlık, homojen iç yapı, yoğunluk, boşluk oranı (porozite), geçirimsizlik (permeabilite), renk ve doku, suda çözünürlük gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri üretildikleri taşların türüne göre oldukça farklılık göstermektedir (Zakar ve Eyüpgiller, 2020: 108; Küçükkaya, 2004: 44-50). Bu nedenlerle, öncelikle arkeolojik eserin yapıldığı taşların bu özellikleri doğrultusunda, bozulma ve bozunma sorunları saptanmalı, ardından eserin yapısına uygun iyileştirme yapılmalı ve son olarak koruma çalışmalarına geçilmelidir.

Müzelerin bahçeleri gibi açık alanlarda sergilenen arkeolojik eserlerin üretildiği taşların genel olarak çevresel koşullara karşı oldukça dayanıklı olduğu görülmektedir. Fakat sürdürülebilir bir şekilde uzun yıllar korunabilmeleri için bazı araştırmaların yürütülmesi gerekmektedir. Bu araştırmalarda, öncelikle çevre koşullarına açık alanlarda arkeolojik eserlerde gözlenen bozulma ve bozunma nedenlerinin ortaya konması gerekmektedir. Bu araştırmaların ardından bu bozulma ve bozunma nedenlerinin ortadan kaldırılmasına yönelik önlemler alınmalıdır. Bu çalışmaların devamında yürütülecek olan koruma çalışmaları, bilimler arası araştırmaları gerektirmektedir. Bu çok disiplinli çalışmaların, çağdaş teknolojiye uygun bir şekilde esere zarar vermeyen yöntemlerle yürütülmesi gerekmektedir. Diğer yandan korumanın mutlaka uzmanlar tarafından yürütülmesi sağlanmalı ve taş eserlerin özgünlüğünün korunması hedeflenmelidir.

Taş eserlerde gözlenen bozunma sürecini geriye döndürmek olası değildir fakat bu eserlerin dayanımlarını artırmak ve özgün ayrıntılarını daha uzun süre yaşatabilmek olanaklıdır. Diğer yandan çeşitli tüzük ve bildirimlerde dile getirilen ve evrensel olarak kabul gören temel ilkeler çerçevesinde yürütülecek olan tüm koruma çalışmalarında veriye dayalı kararlar alınmalıdır. Bunun yanında taş eserlerin üretildikleri hammaddelerin sürdürülebilir bir şekilde nasıl korunacağına dair araştırmalar yaygınlaştırılmalıdır.

Hammadde üzerine uygulanan koruma işlemleri, hammaddenin dayanıklılığını kaybetmeye başladığı zaman, en gerekli ve en küçük ölçekte müdahaleler şeklinde olmalıdır. Bunlara ek olarak bu faktörlere bağlı olarak gelişen bozulmanın ve bozunmanın durumu belirli aralıklarla mutlaka izlenmelidir. Böylece müzelerde, arkeolojik eserlerin geçmişten günümüze sahip oldukları değerlerini kaybetmeden varlıklarını sürdürebilmesi sağlanmalı, müzelerin

kültür turizmindeki vazgeçilmez yeri, her geçen gün ilerleyen bilimler arası çalışmalarla pekiştirilmelidir.

Çıkar Çatışması Bildirimi

Bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve / veya yayınlanmasına ilişkin herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Destek/Finansman Bilgileri:

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve / veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Etik Kurul Kararı:

Bu araştırma için etik kurul kararına ihtiyaç yoktur.

KAYNAKÇA

- Ahunbay, Z. (2018). Arkeolojik Alanlarda Koruma Kavramı ve Yaklaşımlarına Giriş. *Arkeolojik Alanlarda Koruma ve Alan Yönetimi*. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Tarihi Yayınları.
- Ahunbay, Z. (2020). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*, İstanbul: Yem Yayınları.
- Angı, S. (2011). "İstanbul Tarihi Yarımada'daki Antik Yapılarda ve Anıtlarda Kullanılan Doğal Taşların Özellikleri ve Korunmuşluk Durumları". *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 6: 31-42.
- Böhm, B. (2005). "Quantitative Salt Analysis in Conservation of Buildings". *Restoration of Buildings and Monuments* 11 (6): 409-418.
- Caner, E. (2018). Taş Malzemenin Bozulma Sorunlarının İncelenmesi ve Koruma Yöntemlerinin Belirlenmesi. *Arkeolojik Alanlarda Koruma ve Alan Yönetimi*. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Tarihi Yayınları.

- Caner-Saltık, E. N. (2018) Arkeolojik Alanlarda Malzeme Koruma Çalışmalarının Kapsamı ve Aşamaları. Arkeolojik Alanlarda Koruma ve Alan Yönetimi. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Tarihi Yayınları.
- Doğruer, F. S. (2019). "Müzelerde Önleyici Koruma: Temel Yaklaşımlar ve Gelişimi". Akademik Sanat Dergisi, 4: 121-134.
- Dolar, A. Yılmaz, E. Ş. (2014). "Kültürel Yapılarda Biyolojik Bozunma Mekanizmaları". Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 12: 1-19.
- Ersen, A. Verdön, İ. (2010). "Konservasyon Biliminin Restorasyon Proje ve Uygulamalarına katkıları". TUBA-KED, 8: 7-20.
- Ersen, A. (2013). "Taş Korumada Son 20 Yılda Gelişmeler ve Yenilikler". Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 10: 3-19.
- Gökaltun, E. (1999). "Atmosferik Kirleticilerin Kuru ve Islak Çökeltme Mekanizmalarının Kireçtaşlarındaki Parlaklık Kaybına Etkisi". Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (1): 134-156.
- Hasbay, U. Hattap, S. (2017). "Doğal Taşlarda Bozunma (Ayrışma) Türleri ve Nedenleri". Bilim ve Gençlik Dergisi, 5: 23-45.
- Küçükçaya, G. (2004). *Taşların Bozunma Nedenleri ve Korunma Yöntemleri*. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Oguchi, C.T. Yu, S. (2021). A review of theoretical salt weathering studies for stone heritage, Progress in Earth and Planetary Science 8: 1-23.
- Öcal, A.D. Dal, M. (2012). *Doğal Taşlardaki Bozunmalar*. İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi Yayınları.
- Öztürk, Ö. T. Türe, A. (2018). "Side Müzesi'nde Bulunan Antik Döneme Ait Taş Eserlerin Koruma Onarım Çalışmalarının İncelenmesi". İdil Sanat ve Dil Dergisi 7(49): 1169-1176.
- Pinna, D. (2021). "Microbial Growth and its Effectson Inorganic Heritage Materials". In: Joseph, E. (ed) *Microorganisms in theDeterioration*

- and Preservation of Cultural Heritage*. Springer Nature, Open Access, <https://library.open.org/handle/20.500.12657/48713>.
- Spiridon, P. Sandu, I. Stratulat, L. (2017). "The Conscious Deterioration and Degradation of Cultural Heritage". *International Journal of Conservation Science* 8 (1): 81-88.
- Steiger, M., Charola, A.E., Sterflinger, K. (2011). *Weathering and Deterioration*. In: Siegesmund, S., Snethlage, R. (eds) *Stone in Architecture*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sterflinger, K., Piñar, G. (2013). "Microbial deterioration of cultural heritage and works of art — tilting at windmills?". *Applied Microbiology Biotechnology* 97: 9637–9646.
- Şenol, F. (2017). "Biyo-Remidiasyon: Tarihi Yapılarda Kullanılan Karbonatlı Taşlarda Görülen Siyah Kabuk Tabakasının Temizliğinde Alternatif Bir Yöntem Olarak Biyo-Temizlik ve Biyo-Sağlamlaştırma". *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 2(1): 1-15.
- Tavukçuoğlu, A. (2009). "Tarihi yapıların Tahribatsız Yöntemlerle Muayenesi", II. Kâgir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri, 28-29 Eylül, İstanbul.
- Tavukçuoğlu, A. (2018) *Tahribatsız Analizlerin Malzeme Sorunlarının Teşhisi ve Koruma Uygulamalarının Takibinde Sağladığı Yararlar*. *Arkeolojik Alanlarda Koruma ve Alan Yönetimi*. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Tarihi Yayınları.
- Tiano P. (2002). *Biodegradation of cultural heritage: decay mechanisms and control methods*. In: Seminar article, the new university of Lisbon. Department of Conservation and Restoration 2002 April, 7–12.
- Yar, M. N. (2010). "Restorasyon Uygulamalarında Lazerle Temizlik", II. Kargir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri, 16-17 Aralık, İstanbul.

Yıldırım, N. (2011). "Dolmabahçe Sarayı'nın Yapı Malzemeleri Üzerinde Suda Çözünebilir Tuzların Etkileri". Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 6: 70-85.

Zakar, L., Eyüpgiller, K. K. (2020). *Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri Restorasyon Uygulamalarında Kullanılan Çağdaş Teknikler*. İstanbul: Ömür Matbaacılık.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The movable archaeological artifacts that have survived under the ground are starting to disintegrate due to various reasons such as climate, weather conditions, air pollution, vegetation, and earthquakes. Sustainable preservation of archaeological artifacts in museums requires a good management system, financial resources, an expert who continuously repair and protect the artifacts. Before determining how to protect the artifacts exhibited in open spaces, it is very important to reveal the factors that cause deterioration and the ways of degradation.

Factors Caused by Stone Deterioration and Degradation

Factors such as the type of the stone, its physical and chemical structure and climate are the leading factors that cause the deterioration and degradation of stone artifacts. Before proceeding with conservation studies, these factors should be determined primarily by observation and technical examinations. The works exhibited in open areas should be observed in various seasons and climatic conditions throughout the year.

Atmospheric conditions and temperature difference cause the physical fragmentation of the raw material from which the stone works are produced. Stone works expand due to the heat in summer and are exposed to frost on cold days in winter. Such temperature differences, freezing and thawing cycles cause wear of stone materials. Acid found in bird droppings can disrupt the integrity of stone artifacts. Bacteria and fungi cause the formation of a green layer and the development of cavities due to the carbonic acid they produce (Öztürk and Türe, 2018: 1173).

Wars have caused irreversible damage on historical artifacts. During these wars, archaeological artifacts, which are seen as symbols of an idea or a belief, are deliberately destroyed. On the other hand, damage may occur during the transportation of artifacts in museums. Atmospheric pollutants, which are found at high rates in urban environments, cause degradation on stone works (Gökaltun, 1999: 135).

Repairs made with incompatible materials that are not based on preliminary research, without making a correct diagnosis, damage stone artifacts. The construction of roads, buildings, the opening of passages and tunnels disrupt the ground where the archaeological artifacts are placed, and the vibrations caused by heavy vehicles such as trams and trains on the ground can cause negative effects on stone artifacts (Küçükkaya, 2004: 55).

The soil properties of the place where the archaeological artifacts are placed are very effective on the deterioration and degradation processes of the stone artifacts. Moisture rising from the ground causes the stone work to get wet. In addition, the salts carried by the water cause changes in the physical and chemical structure of the work (Zakar and Eyüpgiller, 2020; 50).

Research and Analysis

Various research and analyses should be carried out in order to determine the factors causing degradation, the types of degradation, prevalence, depth and speed according to the types of raw materials from which the archaeological artifacts are produced. Visual analysis of the deterioration and degradation processes observed in the material from which the archaeological artifacts were produced includes obtaining the first data that will enable the planning of conservation studies (Tavukçuoğlu, 2018: 81). With macro-observations, it is necessary to determine the deterioration and degradation patterns on the raw material and to classify it from the least deterioration to the most severe deterioration. Then, the observed decay patterns and intensities on the stone artifacts and the distribution of these shapes and the directions of the distribution should be mapped by processing them on drawings and photographs.

Infrared Thermography analysis and Ultrasonic Pulse Velocity measurements are among the leading non-destructive remote sensing and analysis methods. Physical properties such as unit volume weight, porosity, and microstructure of the samples taken from the fragments of stone artifacts are determined by thin section, XRD, SEM – EDX, mineralogical and microstructure analyses.

Conservation practices, aim to control, slow down or eliminate the processes that cause the deterioration and degradation of stone artifacts.

Solutions

Surface cleaning is the first step of conservation practices on stone artifacts and should be carried out at regular intervals. Before deciding on the method of surface cleaning, the type of stone, the cause of the pollution, the nature of the dirt layer, and the surface deterioration and degradation should be thoroughly investigated. Considering the characteristics of the stone work, surface cleaning can be done with water, absorbent clay, gel pulp and laser. Stone artifacts are first tried to be cleaned by washing their surfaces. Contaminations caused by the atmosphere effect in works with fine details can be cleaned with laser (Günel, 2010: 132; Küçükkaya, 2004: 115; Zakar and Eyüpgiller, 2020: 108).

Surface cleaning can be done on undecorated surfaces by carefully spraying the surface with low pressure using the micro sandblasting method. Chemical cleaning is carried out on the surfaces of ornamented, aesthetic and historical artifacts. In recent years, microorganisms have begun to be used in the cleaning of nitrate, sulfate and carbonate-based degradation due to atmospheric environmental conditions (Şenol, 2017: 13; Ersen, 2013: 7).

Surface protectors such as water repellents and surface coatings must be renewed regularly. The effectiveness of surface protectors can vary according to the physical properties of the applied stone surfaces (Ersen and Döngel, 2010: 14). In cases where various destruction causes are seen together, large pieces of stone artifacts can be broken. The broken pieces of the stone can be patched with strong adhesives. If the broken piece of the stone is a carrier piece or cannot be found, it can be patched with similar stones. Salt cleaning is one of the most important protection methods applied in open areas. Salts are removed from the stonework by making water baths and using salt-absorbing mash (Caner-Saltik, 2018: 72).

The perimeter of the cracked, potentially dispersed artifacts and the columns that are in danger of lateral opening and separation from the vertical are tightened by wrapping them with stainless circles. Long architectural pieces that are in danger of collapse in natural disasters such as earthquakes are tried to be protected by attaching them to the ground or to the walls around them.