

TAPINAK KUBBELERİ NEDEN YEŞİLLENİR?

Doç. Dr. Osman GÜREL

İnsanoğlu yüzyıllar içinde kurduğu uygarlıkların hep-sinde inançlarının kalıcılığını irili ufaklı tapınaklarla ka-nıtlama yolunu seçmiştir. Doğanın ve insanın bozucu et-kilerinden korunmak amacıyla, en sağlam ve dayanıklı mal-zemelerle yapılan bu görkemli yapıtların pek çoğunda çat-ı örtüleri bakır ya da tunçla (bronz) kaplanmıştır.

Roma'daki Saint Pierre kilisesinin çatısının solgun ye-şil rengine, cami kubbelerinde de, Burma'daki budist tap-ınaklarının çatısında da rastlarız. Döşendiklerinde canlı kırmızı olan bakırın, ya da gri renkli tuncun yeşermesinin kutsal bir nedeni mi var acaba?

Kurgusal yaklaşımları bir yana bırakarak, insanlarla metallerin tanışıklıklarının başlangıcından yola çıkalım.

Metallerin ve alaşımlarının üretimi ve kullanımı, binler-ce yıl öncesine uzanmaktadır. İ.Ö. 3000 yıllarında Türk-istan, İran, Mezopotamya ve Nil deltasının oluşturduğu bölgede yaşayanlar, cevherinden indirgenmesi ve erime yete-neği uygun alan bakır metalini üretmekle yeni bir tarih çağı-nın hazırlayıcısı oldular. İlk aşamalarında doğada serbest ba-kırın kullanılması, giderek cevherden arıtma ve alaşımlama tekniklerinin gelişmesine yol açtı.

Dayanıklı ve dökümü kolay bakır alaşımlarının arasında en yaygınlık kazananı, İ.Ö. 3000 yıllarında beliren kalay-bakır alaşımı olan tunç (bronz) idi. Alaşımların soğuk dövme ile işlenmesi, sertliğin artmasını, dolayısıyla kullanım çeşitleri-nin çoğalmasını sağlamaktaydı. Oyle ki, kullanılacak aletin cinsine göre alaşımda metal oranlarının saptanması İ.Ö. 400 yıllarına kadar gider. Eski Çin metallürjistleri tunç malzeme-de bakır/kalay oranını, çan ve ziller için 5/1, saban için 4/1, kargı ve mızrak için 3/1, bıçaklar ve kılıçlar için 2/1 ve ayna-lar için 1/1 olarak kullanmışlardı.

Çok daha sonraları Leonardo da Vinci, bakır içinde ka-lay ve kurşunun sınır oranlarını saptamıştır. Örneğin, Tos-kana Rönesans döneminde heykeller ve top dökümlerinde kullanılan tunç % 88 bakır, % 9 kalay, % 2 kurşun bileşi-mindeyken, çanlarda ses niteliğini yüksek tutmak için kalay oranı % 33 idi. Dünyanın yedi harikasından biri sayılan Ro-dos'taki Helios heykeli, İ.Ö. 280 yılında dikilmişti. 40 metre yüksekliğindeki bu dev anıt % 11 kalay ve % 10 kurşunla yapılmış tunç alaşımıydı. 1733'de tunçdan dökülen Kremlin büyük çanı, 195 ton ağırlığında ve 7 metre çapındadır.

İlk tunç alaşımlarının bileşimleri, kullanılan cevherlerin özellikleriyle kısıtlıydı. Örneğin, Sina bölgesinden gelen ba-kır cevheri yanında kalay bulunmayışı, Mısır'da tunç çağı-nın gecikmesine yol açmıştı. Antik heykelerde tunç bileşim-



Tunç adak levhası, M.Ö. 9-6'ncı yüzyıl Urartu uygar-lığı (Giyimli'de bulunmuştur).

leri çeşitli dönemlerde farklılıklar göstermektedir. İ.Ö. 300-600 arasındaki Greka Etrüsk döneminde % 83-91 bakır, % 7-12 kalay ve % 1-6 kurşun alaşımları bulunurken, İ.Ö. 100-300 arasındaki Roma tunçlarında % 64-79 bakır, % 5-11 kalay ve % 10-27 kurşuna rastlanmaktadır. İsa'dan sonra 1300-1700 Toskana Rönesans yapıtları ise % 85-92 bakır, % 6-13 kalay ve % 1-2 kurşun bileşimindedirler.

Antik çağda dökülen tunç yapıtlardaki katışıklar hem mikro yapıyı, hem de kimyasal aşınma niteliklerini etkiler. Alaşımın yüzey bileşimi de iç bölgelerden farklı olabilir. Bir tunç örneğinin iç bölgesinin bileşimi % 65 bakır, % 35 kalay iken, yüzeyinin % 95 bakır, % 5 kalay olduğu bulunmuştur. Bu olayın çeşitli nedenleri arasında, kimyasal aşınma ile seçici sıyırma, yeniden ısıtmada seçici oksitlenme, katılaşma sürecinde makro birikimler sayılabilir.

Antik tunç dökümlerinde yapı içindeki kalıntılara da sık rastlanmaktadır. Erimiş metalin yavaş soğuması, kristaller arasında gözlenenlere ve geniş oyuklara yol açmaktadır. Bu döküm kusurları da kimyasal aşınma sürecini hızlandırır.

Bakırda Kimyasal Aşınma

Bakır, görece soy metaller arasında yer alırsa da, ter-modinamik kararsızlığından ötürü başka elementlerle bileşik oluşturmaya yatkındır. Başlangıçta, Bakır I oksit (Cu_2O) bileşiği, hidroksit ($Cu(OH)_2$) ya da karbonat ($CuCO_3$) gibi da-ha kararlı bileşiklere dönüşür. Açık havadaki bakır, bir iki hafta içinde ince oksit filmleriyle kaplanarak kararır. Yapıların ba-kır damlarının yeşil renk alması bir yüzyıl kadar sürebilmek-tedir. Kirli atmosferlerde bu süreç daha hızlı yürür.

Birçok malzemenin yapımında, metal eritilip döküldük-ten sonra soğumaya bırakılır. Bu işlem sırasında yüksek sı-caklıkta havayla temas sonucu siyah renkli (Tenorit (CuO)) oluşur. Ilıman atmosfer koşullarında ise kırmızı bakır oksit olan Kuprit (Cu_2O) meydana gelir. Kimyasal aşınmanın ara ürünleri sayılan bu oksitler başka bazik tuzlara dönüşme eğilimi taşırlar.

Havadaki karbon dioksit, yağmur, sis ve nemli toprakta çözünerek karbonik asit oluşturur. Bu asidin bakıra etkisiyle yeşil Malahit($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) ve mavi Azurit ($2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) bazik tuzları meydana gelir.

Kükürlü hidrojen gazı bulunan kirlili atmosferlerde, bakırın kükürlü bileşikleri Kalkosit (Cu_2S) ve Kovellit (CuS) görülür. Özellikle batık gemilerin ahşap kısımlarında bulunan sülfat indirgeyici bakteriler, sudaki sülfatları sülfüre indirgeyerek bakır ve bronz kısımlar üzerinde kovellit oluşumuna yol açarlar.

Demirli topraklardaki gömülerden çıkarılan Roma paralarında Kopirit (CuFeS_2) ve Bornit (Cu_5FeS_4) aşınma ürünlerine raslanmaktadır.

Havadaki kükürt dioksit, bakır oksitleri karışık tuzlara dönüştürür. Bunların en yaygını Brokantit'dir. ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu(OH)}_2$). New York'daki ünlü özgürlük anıtının yüzeyi Brokantit ile kaplanmıştır.

Tuzlu topraklar ya da kum çöllerinde uzun süre kalan bakır malzemede koyu yeşil Atakamit ($\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu(OH)}_2$) ve Nantokit (CuCl) oluşur. Her iki madde de koruyucu olmadıklarından bakır ve tuncun kırılmasına yol açabilirler.

Bakır dam örtülerindeki atmosferik aşınmada etkin olan sülfat iyonudur. Deniz kıyıları ve kentsel yerleşim alanlarında sülfat etkisi, klorür etkisinden daha baskındır. Ancak atmosferin bileşimi yanında rüzgârın yönü de farklı aşınma ürünleri oluşmasına yol açmaktadır. 300 yıllık bir kilisenin damının kuzey cephesi siyah renkli iken, güney cephesi yeşil bir kabukla kaplanmıştır. Genellikle damlardaki aşınma ürünleri şöyle bir sıra izlerler: Önce kahverengi bir film oluşur. Birkaç ay sonra yeşilimsi bakır sülfat kristalleri meydana gelir. Daha sonra yüzey kararır. Beş yıl sonra bazik bakır sülfat ve karbonatlar oluşur ve sonunda yeşil kabuk ortaya çıkar.

Tunçta Kimyasal Aşınma

Tunç alaşımındaki kalay, bakırdan çok daha aktif bir metal olduğundan, kalayca zengin bölgelerde aşınma çok daha hızlı olmaktadır. Tunçtaki kimyasal aşınma bakırdakine benzer. Bakırdaki aşınma ürünlerine tunçta da raslanır. Alaşımdaki



Tunç kemer parçası (Urartu Uygarlığı)

kalay ve kurşun, tuncun daha hızlı aşınmasına yol açarlar.

Kalayın ana aşınma ürünü, kalay dört oksit (SnO_2) dir. Ayrıca Romarşit (Sn O) ve Hidroromarşit ($5\text{SnO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gibi ürünler de görülür. Kalay oksit beyazımsı renkte ise de, demir tuzları ile kahverengi-kara, bakır tuzları ile yeşil-mavi görünebilir. Tunç yüzeyinde oluşan oksit, daha iç bölgelerde oksitlenmeye engel olur. Kalay oranı yükseldikçe direncin gücü de artar. Bu nedenle eski Çin aynalarında yaklaşık % 50 kalay oranına raslanmaktadır.

Erimiş alaşımın akışkanlığını artırmak için katılan kurşun, tunç içinde kısmen çözünür ve genellikle küresel birikintiler oluşturur. Nemli ve karbon dioksitli ortamda Serusit (Pb CO_3) oluşur.

Serusit, bazik bakır karbonat Malahit yapısı içinde görülür. Klorürlü ortamlarda Kotunnit (Pb Cl_2) de ortaya çıkabilir.

Düşük kalay oranlı tunçlarda, genellikle gren sınırlarında kalay derişimi yüksek olduğundan, aşınma bu anodik bölgelerde başlar. % 10'dan fazla kalay bulunduran tunçlarda ise iki faz göze çarpar. (α) fazı bakırca (α) fazı kalayca zengindir. (α) fazı ($\text{Cu}_4 \text{Sn}$) olup % 31.8 kalay içerir. Aşınma genellikle bu fazda başlar ve granüller arasında ilerler. Alaşımda çok az çinko bulunması, bu fazın aktifliğini azaltan önemli bir etkidir.

Korunma

Bakır ve tunç yüzeylerindeki kimyasal aşınma ürünü kapuklar, hem koruyucu özellik taşırlar, hem de güzel görünüm sağlarlar. Bu kabuğun üzerine yağ ya da mum kaplanması başka etkileri önleyebilir.

Tunç yapıtların korunmasında uygulanan belli başlı işlemler şöyle sıralanabilir.

- 1) Hidrolizi önlemek için bağıl nemi % 35'den düşük atmosferlerde tutmak,
- 2) Sodyum seskikarbonat çözeltisine daldırarak tüm Cu Cl'ü gidermek,
- 3) Malzemeyi damıtık su içinde katot yaparak, aktif bölgelerden klorür iyonlarını gidermek,
- 4) Gümüş oksit tuzu ile aktif bölgeleri işleyerek, bu bölgeleri gümüş klorürle kaplamak,
- 5) Benzotriazol gibi bir aşınma durdurucu ile Cu Cl'ü giderip kararlı bakır benzotriazol kompleksi oluşturmak.

Bunlardan başka özel verniklerle yapılan kaplamalar da yapıtların korunmasında yararlı sonuçlar vermektedir. □

