

## ‘ROMAN CEMENT’: HISTORY, CHARACTERISTICS AND REPAIR

### ABSTRACT

Binders known as ‘Roman cement’ and with very high hydraulic properties were widely used in Europe and its peripheries in the 19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> centuries on building façades especially in terms of historicist, eclectic and *Art Nouveau* architectural styles. It was also used in Istanbul although not as dominantly as in central Europe. Two EU projects centered in Vienna, focus on the reproduction of Roman cement for restoration of historic buildings: ROCEM -*Roman Cement to Restore Built Heritage Effectively* in 2003-2006 and ROCARE - *Roman Cements for Architectural Restoration to New High Standards* began in 2009 and still continuing.

Roman cements were natural, highly hydraulic binders, produced from marls or clayey limestones. This raw material required only calcinations below the sintering temperature (800-1200 °C) and then grinding. Roman cement as a binder must be considered between hydraulic limes and Portland cements. They differ from hydraulic limes in that they do not contain free lime and therefore do not require slaking. They differ from Portland cements in chemistry due to lower calcination temperature. The wide range of temperature results in parts calcined at different degrees, thus parts of the binder show different chemical characteristics. This burning temperature below sintering also gives the material its warm color. They have fast setting times after the addition of water and show minimal shrinkage. The development of strength is slow after rapid setting but compressive strength values may reach those of Portland cements in several months.

These production and workability features as well as their warm yellow-pink-brown color put Roman cements in great demand for cost-effective and easy manufacture exterior stuccoes.

## ‘Roma Çimentosu’

# Tarihçesi, Özellikleri ve Onarımı

 NİLÜFER BATURAYOĞLU YÖNEY

▷ ‘Roma çimentosu’ olarak bilinen yüksek hidrolik niteliğe sahip bağlayıcılar, Avrupa ve çevresinde tarihselci, seçmeci ve *Art Nouveau* mimari üslupları bağlamında 19. yüzyıl ve 20. yüzyılın ilk çeyreğinde yapı dış cephelerinde sıklıkla kullanılmış malzemelerdir. Özellikle Avusturya-Macaristan İmparatorluğu etki alanında ve merkezi Viyana’da yaygındır. Diğer Orta Avrupa ülkeleri ile Rusya ve İngiltere’de de kullanılmıştır. Aynı yoğunlukta olmamakla birlikte ülkemizde, özellikle İstanbul’da da örneklerine rastlanır.

Roma çimentosu (İng. *Roman cement*), ayrıca, rengi nedeniyle “siyah çimento” ve hidrolik niteliği nedeniyle “su çimentosu” adla-

Roma çimentosu, ayrıca, rengi nedeniyle “siyah çimento” ve hidrolik niteliği nedeniyle “su çimentosu” adlarıyla da bilinir.

İngiltere’de 17. yüzyılda kullanıma girdiği öne sürülür.

Pasley’e göre bu isim ilk defa Parker tarafından kullanılmıştır.

ıyla da bilinir. İngiltere’de 17. yüzyılda kullanıma girdiği öne sürülür. Ancak 19. yüzyıl öncesinde üretimde standartlaşma bulunmaması nedeniyle, pek çok doğal hidrolik kireç ve çimentonun aynı adla anılmış olabileceği unutulmamalıdır. Bu konuda bilinen en eski patentlerden biri olan “*Sualtı ve Diğer Yapılar ile Stüko İşlerinde Kullanılacak Bir Tür Çimento ya da ‘Tarras’ Yapımı için Patent*” James Parker’a aittir ve 1796 tarihlidir. ‘Roma çimentosu’ isminin bu dönemde sonunda malzemenin pembe-kahve rengi ve hidrolik niteliği nedeniyle yerleşmiş olduğu düşünülmektedir. Pasley’e göre bu isim ilk defa Parker tarafından kullanılmıştır. İngiltere’de 19. yüzyılın sonunda ‘geliştirilmiş’ Roma çimentosu olarak tanımlanan malzemeyi üreten A. M’Ara’nunki gibi çok sayıda atölyenin bulunduğu

bilinmektedir. Yine aynı dönemde İngiltere’de kullanılan patentli Atkens ya da Atkinson çimentosu da bir Roma çimentosu türevidir.<sup>2</sup>

Bilinen ilk tariflere göre Roma çimentosu İngiltere’de Sheppey Adası’nda bulunan killi kireç taşlarının (Lt. *septaria*) pişirilmesi ve öğütülmesi ile üretilir; hammaddesinin rengi mavi, kahve veya kıvılcılabılır. İngiltere dışında Orta Avrupa’da Fransa, Kuzey İtalya’da Bergamo ve Tyrol Bölgesi’nde Salzburg ve Viyana yakınlarında, İsviçre, Güney Almanya, Güney Polonya’da Bohemya ve Galisya ile Rusya’da bulunur. Hammadde olarak kullanılan İngiliz Sheppey taşı 55 kısım kireç, 38 kısım kil ve 7 kısım demir oksitten oluşur; malzemenin kalitesi kullanılan taş türü ve pişirme işleminin niteliğine bağlıdır. Bağlayıcı olarak ağırlığının iki katına kadar agrega kaldırabildiği kabul edilir. Smith’e göre basınç dayanımı kabul edilebilir düzeydedir. On beş dakikadan kısa bir sürede çok çabuk sertleşir. Sertleşme sırasında hemen hemen hiç rötre izlenmez. Rengi nedeniyle taş taklidine olanak verdiği gibi, istenirse yüzeyi boyanabilir. Dış hava koşullarına dayanımı çok yüksektir. Roma çimentosu, Portland çimentosu piyasaya çıkana dek dış cephelerde özellikle stüko ve öndöküm işlerinde kullanılmıştır.<sup>3</sup> Ancak Portland çimentosu kadar sert ve sağlam olmadığından,

19. yüzyıldan itibaren İngiltere’de yarı yarıya karıştırılarak kullanılmış; özellikle hidrolik nitelik gerektiren kaba sıva, dış cephe yapay taş sıva, çekme kalıp ve döküm işleri ile onarımlarda tercih edilmiştir. Yirminci yüzyılın başında genel kullanımdan ve 1960’larda piyasadan kalkmıştır (Pasley, 1826/2001: 12; Vicat, 1837/1997: 220, not [71], 123, not (f); Pasley, 1838/1997: 10-12; Burn, 1871/2001: 47-48, 50-51; Millar, 1897/2004: 73-74; Verall, 2000: II, 99; Ashurst ve Ashurst, 1989: 8; Baturayoglu Yöney, 2008: 199-200; *Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 7).

Avrupa Birliği bünyesinde biri tamamlanan diğeri halen devam eden Viyana merkezli iki proje, yapı onarımı amacıyla Roma çimentosunu yeniden üreterek kullanıma sokmayı amaçlamaktadır: Bunların ilki olan “ROCEM - *Roman Cement to Restore Built Heritage Effectively* [Mimari Mirasın Etkin Onarımında Roma Çimentosu]” Mart 2003 - Mayıs 2006 tarihleri arasında yürütülmüştür. Amaçları arasında Roma çimentosu ile üretilmiş tarihi sıvaların incelenmesi, bu tarihi malzeme ve buna ait uygulama tekniklerinin koruma-onarım alanı bilgi birikimine yeniden katılması ve Avrupa’da yapıların korunması alanında çalışan uzmanların bilinçlendirilmesi yer almaktaydı. Avrupa Birliği 5. Çerçeve Programı Tematik Öncelik: Çevre ve Sürdürülebilir Kal-

kınma, Anahtar Etkinlik 4: Geleceğin Kenti ve Kültür Mirası başlığı kapsamında EVK4-CT-2002-00084 sayılı kontratla desteklenen proje, araştırma, malzeme üretimi ve koruma-onarım uygulama alanlarından 10 ortakla gerçekleştirilmiştir (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006). Bu projenin tamamlanmasını izleyerek, 2009 yılında “ROCA-RE - *Roman Cements for Architectural Restoration to New High Standards* [Mimari Onarımın Yeni Yüksek Standartlara Ulaşması için Roma Çimentosu]” başlıklı Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı kapsamında FP7-ENV-2008-1 (Proje no 226898) desteklenen yeni bir proje başlatılmıştır. 14 ortaklı bu proje çerçevesinde Roma çimentosunun yeniden üretilmesi, pazarlanması ve koruma-onarım uygulamalarında kullanımının özendirilmesi amaçlanmaktadır. Yine aynı proje kapsamında 5-7 Kasım 2010 tarihlerinde Viyana Uygulamalı Sanatlar Üniversitesi Sanat ve Teknoloji Enstitüsü Konservasyon Birimi’nde, “*Tarihi Yapılarda Kullanılan Roma Çimentolarının Diğer Erken Çimentolardan Ayırt Edilmesi*” başlıklı uygulamalı bir uzmanlık çalışmayı gerçekleştirilmiştir.

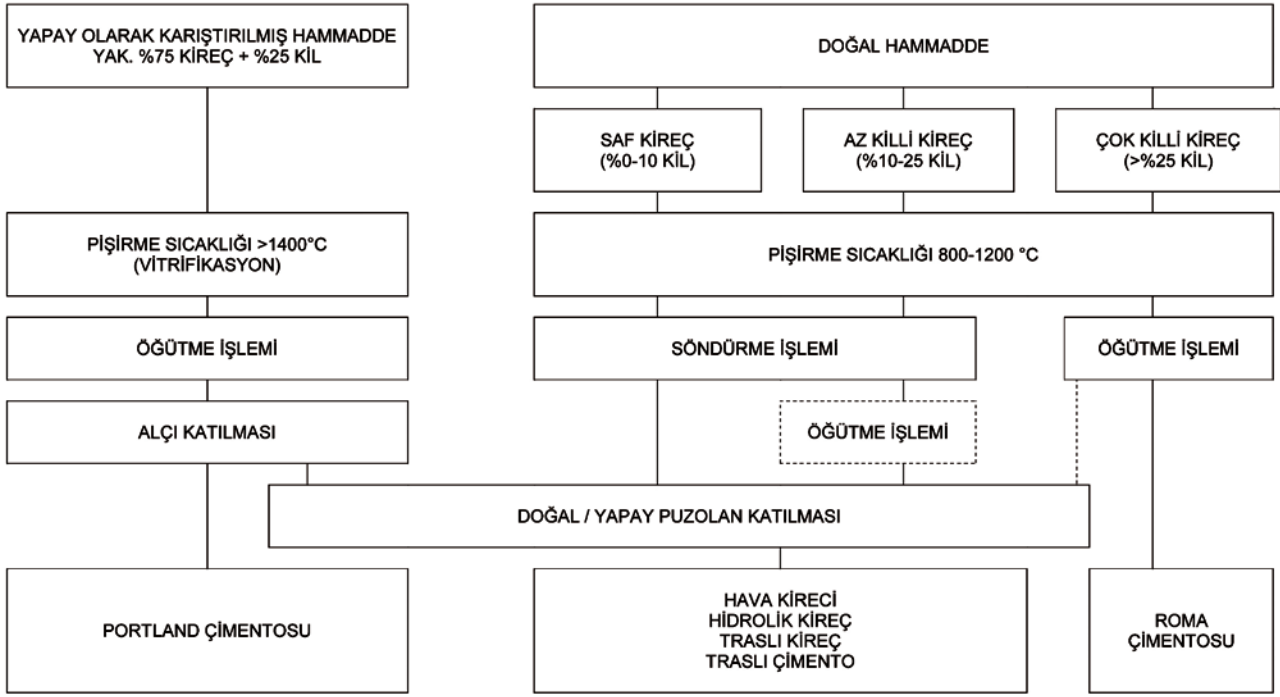
Roma çimentoları, marnlı yani killi kireç taşlarından üretilen yüksek hidrolik niteliğe sahip doğal bağlayıcılardır. Bu killi kalkerli hammadde yalnızca kalsinasyon sıcaklığı olan 800°C-1200°C aralığın-

<sup>2</sup> Parker, J., 1796, “A Certain Cement or Terras to be Used in Aquatic and Other Buildings, and Stucco Work,” *British Patent 2120* (27 July 1796 to James Parker of Northfleet).

Parker bu patenti 1798’de Samuel ve Charles Wyatt ortaklığına satmış, patentin kullanım süresinin sona erdiği tarihlerde pek çok farklı hammadde ve üretici ortaya çıkmıştır. Örneğin 1830’larda, yılda 30.000-40.000 ton kadar Harwich taşı kullanılarak üretilen Harwich çimentosu, koyu kahve renkli ve fiyatı Sheppey taşının dörtte biri kadardı. Daha sonra Harwich ve Swalecliffe taşları birlikte kullanılarak, Sheppey çimentosuna yakın renkte bağlayıcılar elde edilmiştir. Yorkshire yakınlarında Whitby ve Speeton taşlarıyla Bath ve Portland taşına yakın çok daha açık renkli çimentolar üretilmiştir; bunlar Mulgrave, Yorkshire, Whitby ve Atkinson çimentosu adıyla piyasada kullanılmışlardır. 1840’tan başlayarak Wight Adası’nda üretilen ve rengi Mulgrave çimentosuna benzeyen ‘Medina’ çimentosu ise önce Hampshire kıyılarında Christchurch ve daha sonra Kimmeridge’de çıkarılan taşlarla üretilmiştir. Millar’a göre (1897/2004) anında sertleşen Medina çimentosu özellikle öndöküm işleri için uygundu (Hughes vd., 2007a: 26-28).

<sup>3</sup> *Septaria* olarak tanımlanan taşlar üzerine çağdaş bir mineralojik araştırmanın sonuçlarına göre, Sheppey taşı %18 kuvars, %1 feldspat, %61 kalsit, %2 pirit ve %17 kilden (%16 illit ve %1 kaolinit); Harwich taşı %9 kuvars, %2 feldspat, %61 kalsit, %2 pirit ve %26 kilden (%16 smektit, %7 illit ve %3 kaolinit) ve Whitby taşı %10 kuvars, %64 kalsit, %2 pirit ve %25 kilden (%7 illit ve %18 kaolinit) oluşmuştur. Düşük pişirme sıcaklıkları kuvarsin çok küçük bir bölümünün tepkimeye girmesine olanak verir (Hughes vd., 2007a: 29, Table 1).

‘Roma çimentolu stüko’, Batı ve Orta Avrupa’da geleneksel veya yarı-geleneksel olarak tanımlanabilecek bir işçiliktir. 1 kısım çimento ile 1 kısım kuru, tementiz, köseli ve uygun granülometriye sahip dere kumu kuru karılır, su eklenerek uygun kıvama getirilir ve hemen uygulanır. Yak. 2 cm kalınlıkta ve tabakalar arasında aderans düşük olduğundan, tek kat halinde uygulanması uygundur. Genellikle stüko yüzeyinin fazla işlenmemesi tercih edilir. Yüzeyi sürekli ıslatılarak sertlik ve dayanımı artırılabilir. Portland çimentosu ile karıştırılarak kalıp uygulamalarında kullanılabilir. Yüzeyi boyanabilir. Çok çabuk sertleşir. (Burn, 1871/2001: 47-50; Verall, 2000: II, 99; Ashurst ve Ashurst, 1989: 8; Baturayoglu Yöney, 2008: 222) Farklı kaynaklarda bağlayıcı-kum oranının 1:0,25 ile 1:1,5 arasında değiştiği izlenir (Hughes vd., 2007a: 29-30).



Şekil 1. Tarihi bağlayıcılar (*Roman Cement - Advisory Note, 2006: 5*)

da pişirilip öğütülerek dayanıklı bir bağlayıcı haline getirilir. Bu çimento karışımının başarısı, kireç ve silis, alümin ve demir oksit kaynağı kilin yapay karışımlarla elde edilemeyecek doğal bağdaşıklığına bağlı olmalıdır. Roma çimentoları bağlayıcı yapı malzemesi olarak, Portland çimentosu ile hidrolik kireçler arasında bir yerde ele alınmalıdır. Hidrolik kireçlerden farklı olarak bünyesinde serbest kireç barındırmadığından, öğütme öncesinde söndürülmesi gerekmez; çok ince öğütülerek kullanılır (Hughes vd., 2007a). Portland çimentosundan farkı ise, görece daha düşük olan kalsinasyon sıcaklığında pişirilmesi nedeniyle

temelde kimyasaldır<sup>4</sup> (Şekil 1).

Su katıldıktan sonra priz süresi çok kısa ve rötresi asgaridir. Hızlı priz alan türleri, su katıldıktan sonra agregasız olarak 7 dakika içinde, normal priz alanlar 7-15 dakika içinde, yavaş priz alanlar ise 15 dakikadan sonra sertleşir.<sup>5</sup> Sertleşme ve dayanım kazanma mekanizmaları kendilerine özgüdür. Hızlı priz sonrasında sertleşerek dayanım kazanımı yavaşır ancak birkaç ay sonra Portland çimentoları ile eşdeğer hatta daha yüksek dayanıma erişirler. Bu fiziksel özellikleri ile sıcak sarı-kahve tonundaki renkleri Roma çimentolarını özellikle dış cephe stüko ve öndöküm bezeme

işçiliklerinde aranan bir malzeme haline getirmiştir.

Kalsinasyon yani kalsitlerin ayrışmasına olanak verecek ancak sinterleşmeye (vitrifikasyona) olanak vermeyecek, 800°C-1200°C biçiminde tanımlanan geniş bir sıcaklık aralığında pişirilmeleri, bir kerede pişirilen ürün içinde bile farklı kalsinasyon düzeyine erişmiş kısımların oluşmasına yol açar (*Roman Cement - Advisory Note, 2006: 7*). Malzeme bünyesindeki demir oksit bileşenleri yani ferritlerin füzyona girmesine olanak vermeyen bu pişirme sıcaklığı, Roma çimentolarına en temel özelliklerinden biri olan sarı-kahve-pembe tonun-

<sup>4</sup> Aslında tüm doğal çimentolar, güçlü hidrolik kireçlerdir. Vicat'ya (1828/1997: 111-113, 220-222) göre sukireçleri ile doğal çimentoları ayıran en önemli özellik, malzeme bünyesindeki aktif kil oranının %27-30'dan fazla olması, yani yine kendi sınıflamasına göre çok güçlü hidrolik kireçlerden yararlanmasıdır. Yine aynı kaynağa göre Roma çimentolarında kil oranı %31, Rus ve Fransız çimentolarında ise %34 civarındadır. Burn (1871/2001: 46-47, 52-53) ve Millar (1897/2004: 55, 80-81) bu görüşleri onaylar. Eckel (1928/2005: 200-205) ise kimyasal yapıları ve fiziksel özellikleri büyük değişiklik gösteren doğal çimentoların, killi kireçtaşlarının katkısız olarak pişirilerek öğütülmesi ile elde edildiğini ve bünyelerindeki silis, alümin ve demir oksit miktarının %15-40 arasında değişebileceğini belirtir. Pişirme sonucunda kirecteki karbon dioksit tamamen atılırken, serbest kireç silikat, alüminat ve ferrit bileşikleri oluşturur, magnezit içeren kireçtaşlarında ise magnezitli bileşikler ortaya çıkar. Suyu sönmeyişinden, ince öğütülerek ilettilen bu malzeme, kuru ortamda ve su altında çabuk sertleşen bir çimento oluşturur. Sönmemesi ve hidrolik nitelikleri ile kireçlerden; yine sönmemesi bakımından hidrolik kireçlerden; doğal malzemeden elde edilmesi, sarı-kahve rengi, düşük özgül ağırlığı, yüksek gözenekliliği, sinterleşme sıcaklığı altında pişirilmesi, daha hızlı donması, görece daha ince işçiliğe olanak vermesi ve bileşenlerinin oranlarında izlenen farklılıklar bakımından Portland çimentolarından ayrılır.

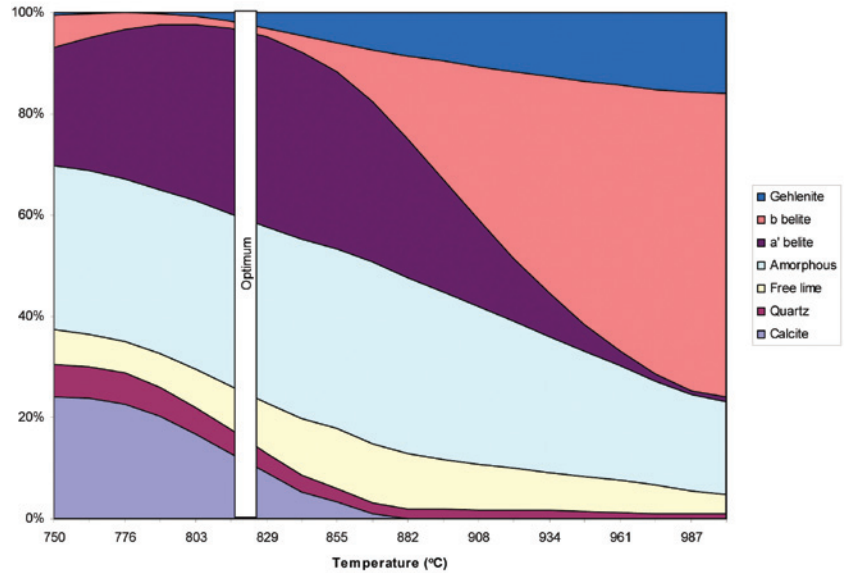
<sup>5</sup> *Österreichische Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement*, Aufgestellt und genehmigt vom Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein, 1880 (Tarnawski, 1887: 193-197).

Hızlı sertleşme süreci kalsiyum alüminat hidratlara bağlanmakla birlikte alüminatın mineralojik kaynağı belirsizdir. Varlığı belirlenebilen tek kristal formundaki alüminat, gehlenittir ancak bu tepkimeye girmez. Amorf yapıda olduğundan X-ışınları analizleri ile tanımlanmayan başka alüminatların hızlı sertleşmeyi ortaya çıkardığı öne sürülebilir. (Hughes vd., 2007a) [6]

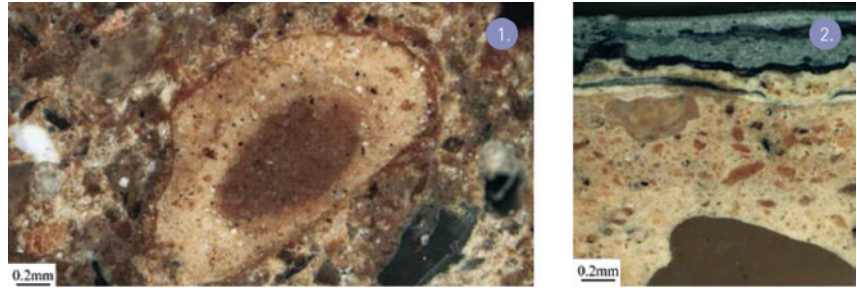
daki rengini verir. Bu sıcaklık farklılaşması aynı zamanda bağlayıcının kimyasal bileşiminin karmaşık hale gelmesine ve kısım kısım farklılık göstermesine neden olur (Şekil 2). Roma çimentolarını benzer nitelikteki diğer hidrolik bağlayıcılardan ayıran en önemli özellik de bu farklılık gösteren yapısıdır.

Marnlı kireçtaşlarının kalsinasyonu sonucu bazı kimyasal değişiklikler meydana gelir: Kalsitin dekompozisyonu ve kireç ve killi minerallerin dehidratasyonu ve dekompozisyonu sonucu amorf yapıdaki alümino silikatlar ortaya çıkarken, kirecin kuvars ve killi minerallerin dekompozisyon ürünleriyle tepkimesi sonucu dikalsiyum silikat oluşur. Bunlar iki farklı strüktürel modifikasyon olarak tanımlanan  $\alpha'$  ve  $\beta$  belit ile daha yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan kalsiyum alümino silikat ya da gehlenittir. Pişirme sıcaklığı yükseldikçe kalsit, kuvars ve amorf bileşenlerin oranı artar. Serbest kireç oranı ise belirli bir azami miktara ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Gehlenit oranı yükselir. Toplam belit oranı düşer ancak düşük sıcaklıklarda  $\alpha'$  - belit baskınken, sıcaklık arttıkça  $\beta$ -belit oranı artar. Pişirme sıcaklığı çimentonun niteliği bakımından belirleyicidir. Yüksek nitelikli çimentolarda belirli oranda kalsit içeriği kalması gerekir; fazla pişirme niteliksiz bir bağlayıcı ortaya çıkarır.<sup>6</sup>

Roma çimentolarını karakterize eden en önemli özellik, sinterleşme sıcaklığı altında gerçekleşen kalsinasyon (800°C-900°C) sonucu ortaya çıkan bu hidrolik nitelikli etken



Şekil 2. Roma çimentosu bileşiminin pişirme sıcaklığıyla değişimi: Optimum bileşenler  $\alpha'$  - belit, amorf faz ve daha düşük oranda ayrılmamış kalsitten oluşur. (Roman Cement – Advisory Note, 2006: 15; Kozłowski vd., 2010: 22, Fig. 8.)



Şekil 3 ve 4. Özgün Roma çimentosu klinkerinin bir kalıntısı: hidratasyona uğramamış çekirdek etrafında hidratasyon halkası izleniyor (1). Roma çimentosu bağlayıcılı bir sıvanın tipik stratigrafisi: üst (ince) sıva tabakası üzerine 0,1 mm kalınlığında çimento suyu sürülmüştür; en üstteki iki boya tabakası ise daha geç tarihli bir müdahaleye aittir (2). (Roman Cement - Advisory Note, 2006: 8, Figs. 1 & 2)

bileşenlerin varlığıdır: Bunlar ağırlığın %35-55'i oranında mikrokristalin yapıda dikalsiyum silikat  $\alpha'$  ve  $\beta$  belit ile ağırlığın %25-35'i oranında dehidrosilat kil minerallerinden oluşan yarı-amorf yapıda bileşenlerdir.

Kalsinasyon sıcaklığı demir ok-

sit bileşenlerinin füzyona girmesine olanak vermediğinden, Roma çimentosunun bağlayıcı olarak oluşturduğu matrisin rengi, gri tonlarındaki diğer erken çimentolar ve Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında kahverengimsidir.<sup>7</sup> Bu renk,

<sup>6</sup> Hidrolik kireç ya da sukireci, bünyesinde %10-25 oranında kil ve silis bulunan kireçtaşlarının (marn) 900°C üzerindeki sıcaklıklarda pişirildikten sonra söndürülerek toz haline getirilmesi ile elde edilir. Tüm doğal hidrolik kireçler kalsiyum silikat ve alüminatlarla birlikte,  $\text{Ca(OH)}_2$  ve tepkimeye girmeyen diğer bazı maddelerden oluşur. Pişirme sıcaklığı sinterleşme seviyesinin altında tutularak, ortaya çıkan kalsiyum silikatların çoğunlukla disilikat (belit) formunda olması sağlanır. Portland çimentosunun klinkerleşmesi gibi daha yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan tri-silikatlar (alit) fazla reaktiftir. Hidrolik kireçler su altında, hava ile temas etmeden priz alma ve sertleşme özelliğine sahiptir. Sertleşme süreci,  $\text{Ca(OH)}_2$  karbonatlaşmasına ek olarak,  $\text{C}_3\text{S}$  ve  $\text{CA}$  ile  $\text{C}_2\text{S}$  bileşiklerinin hidrasyon sonucu lifli kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidrat (C-A-H) kristal ağları oluşturmalarına bağlıdır. Pişirme sırasında aktif olan killi ve/veya silisli maddeler, hidrolik reaktivitenin düzeyini belirler. Hidrolik kireçlerle elde edilen dayanıklılık değerlerinin de genel olarak geleneksel yapı kireçleriyle elde edilenlerden daha yüksek olduğu söylenebilir. (Borelli ve Umland, 1999: IV, 8-9; Artel ve Dibag, 1969: 175-180; Eriç, 2002: 211-214; Allen ve diğ., 2003: 3-4)

Gehlenit ( $\text{C}_2\text{AS}$ ), 1200 °C altında düşük sıcaklıklarda pişirilen doğal hidrolik kireç ve çimentoların karakteristik bir bileşenidir. Gehlenitin stabilite aralığı 900-1150 °C kadardır; bu nedenle düşük pişirme sıcaklığına işaret eder. Büyük olasılıkla Portland çimentosu klinkerinin pişirilmesi sırasında da oluşan bir ara bileşik olmakla birlikte, sıcaklık artınca ayrılarak başka bir bileşiğe dönüştüğünden son üründe rastlanmaz. (Callebaut vd., 2001) Bir proto-ferrit olarak tanımlanabilir.

<sup>7</sup> Tarihi/erken çimentolar da 1400 °C altında pişirilmeyle birlikte demir füzyona girdiği için renkleri gri tonundadır. Pişirme sıcaklığı nedeniyle sertleşmiş bağ-

hammadenin niteliğine bağlı olarak, açık sarı / bej / açık pembe ile koyu kahverengi / çikolata tonları arasında değişebilir. Renk ayrıca, hammaddenin jeolojik orijini konusunda genel bir veri olarak kabul edilebilir. Örneğin Fransız ve İngiliz Roma çimentoları Orta Avrupa / Avusturya-Macaristan örneklerine göre daha koyu renklidir. Karakterizasyon bakımından, bağlayıcı matrisindeki belitler polarizan mikroskop altında genelde “amber” renginde görünür.

Kılın içinde ortaya çıkan farklı sıcaklık bölgeleri nedeniyle farklı düzeyde pişen klinker bölgelerinin varlığı, Roma çimentosu bağlayıcılı tarihi harçların hammadde özelliklerinin belirlenmesi bakımından tanımlayıcı bir özelliktir. Klinker tanecik boyutları, tarihi/erken çimento bağlayıcılı harçlarda 200-300 µm aralığında iken, modern çimentolarda bu boyut yak. 50 µm kadardır. Bu farklılaşan bölgeler yukarıda tanımlanan bileşiklerin oluşumuna göre üç alt grupta incelenebilir<sup>8</sup> (Hughes vd., 2007a: 32-33, figs 5-7):

1- “**Sub-optimum**” yani ortalama sıcaklık altında “az pişmiş” (İng. *under-burned*) bölgelere ait çimento topaklarının incelenmesi özgün pişmemiş hammaddenin tanımlanabilmesi açısından önem taşır.

2- “**Optimum**” yani ortalama sıcaklıkta “gerektiği gibi pişmiş” (İng. *well-burned*) tanecikler karbonizasyon sürecinde genellikle tamamen tepkimeye girerek tükenirler. Bunlar, sertleşmiş bağlayıcı matrisinde hidrolik tepkimenin izlendiği alanlardır ve bazen belit içerebilirler. Aşağıda sertleşme mekanizmasında anlatıldığı gibi belitin üç farklı poliformu vardır ve bunların tepkimeye girme süreleri daha yavaştır.

3- “**Super-optimum**” ya da ortalama sıcaklık üzerinde “fazla pişmiş” (İng. *over-burned*) bölgeler ise genellikle farklı boyutta belit ve

gehlenit salkımlarından oluşur. Bu alanlarda sıcaklık, fazla yükselerek demir oksidin füzyona girmesine neden olmuştur. Tanecik boyutları 100-150 µm aralığındadır.

Roma çimentosu mikro-yapısında, çok ince öğütülmüş bir doku içinde dikkat çekici oranda özgün çimentoaya ait hidrasyona uğramamış tanecikler görülür. Bunlar arasında en sık rastlanan, Roma çimentosunun temel bileşenlerinden biri olan  $C_2S$  tanecik-

Roma çimentolarını karakterize eden en önemli özellik, sinterleşme sıcaklığı altında gerçekleşen kalsinasyon (800-900 °C) sonucu ortaya çıkan hidrolik nitelikli etken bileşenlerin varlığıdır.

lerinin tam tepkimeye girmemiş kalıntılarıdır. Ayrıca gehlenit ( $C_2AS$ ), rankinit ( $C_3S_2$ ), wollastonit ( $CS$ ) ve  $SiO_2$ - $CaO$ - $Al_2O_3$ - $Fe_2O_3$  sisteminde başka bazı katı çözeltiler görülür (Şekil 3 ve 4). “Artık klinker” olarak adlandırılacak bu kalıntılar, harcın özellikleri üzerinde belirleyici rol oynarlar; çünkü çimento taşıma oluşturan hidrat matrisine güçlü bir biçimde bağlanmış agrega görevi görürler. Roma çimentosunun karakterizasyonu açısından tanımlayıcı bir özellik oluştururlar. Tarihi Roma çimentoları genellikle güçlü bir biçimde karbonatlaşmıştır. (Roman Cement - Advisory Note, 2006: 9). Bağlayıcı matrisinde ayrı-

ca çok sayıda serbest kireç tanecığı bulunur. Ancak bunlar kireç topağı (İng. *lime lump*) değil, kireç sıkışma bölgeleridir.

Harç ve hamur yapımında kullanılan tipik su/bağlayıcı oranları 0,65-1,0 aralığındadır. Roma çimentosu hidrasyonu iki evreli bir mekanizmayla gerçekleşir:

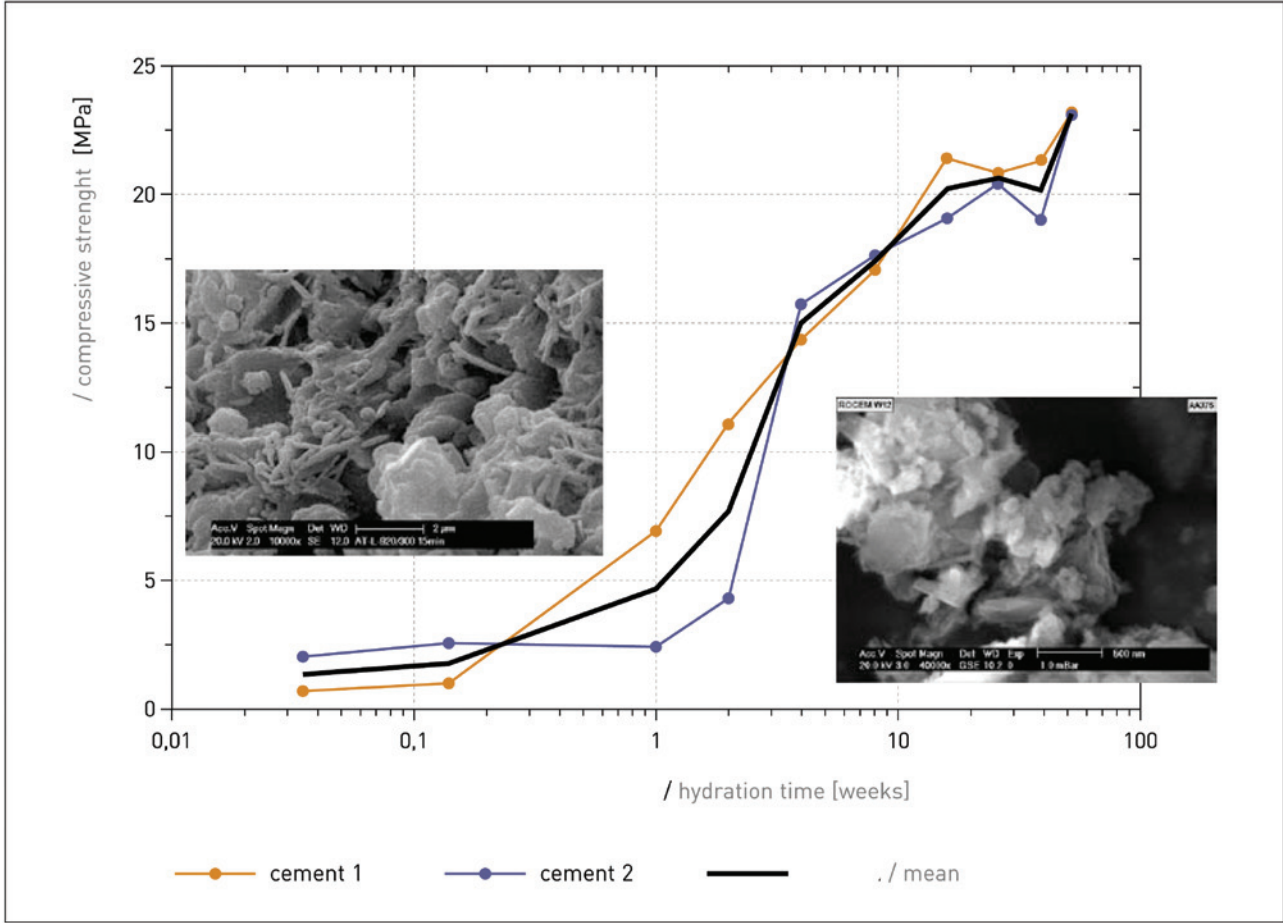
(Evre 1) Suyla karma sonucu hızlı biçim alma ve sertleşme gerçekleşir. Bu evre Portland çimentolarına oranla çok hızlıdır; Roma çimentoları, priz almanın (donma ya da ön biçim almanın) ardından birkaç dakika içinde sertleşirler. Uygun geciktiricilerden yararlanılarak donma hızı 15-90 dakika arasına uzatılabilir. Erken sertleşme ve dayanım kazanma, kalsiyum alüminat hidrat ( $C-A-H$ ) kristal ağlarının oluşumuna bağlıdır. Roma çimentosu, tipine bağlı olarak, 1-4 saatlik dayanım değerleri 4 N/mm<sup>2</sup> düzeyine ulaşabilir.

(Evre 2) Süresi değişebilen bir duraklama (uyku) döneminin ardından, Roma çimentosu türüne bağlı olarak dayanım kazanma, belit hidrasyonu ( $\alpha'$ -belit,  $\beta$ -belitten daha reaktiftir) ve dehidrosilat klinkerlerin kireçle puzolanik olarak tanımlanabilecek reaksiyonları sonucu kalsiyum silikat hidrat ( $C-S-H$ ) oluşumu ile devam eder. Geç dayanım kazanma birkaç yıl sürebilir ve çok yüksek değerlere ulaşabilir. Örneğin, 100 yıllık Roma çimentosu harçlarında 50 N/mm<sup>2</sup> düzeyine ulaşan değerler ölçülmüştür (Roman Cement - Advisory Note, 2006: 17; Şekil 5).

Sertleşmiş Roma çimentosunun mikro-yapısı, Ca/Si oranı 1,2-1,4 aralığında yoğun bir C-S-H jelinden oluştuğunu göstermektedir. Bu, Portland çimentosunun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan ve Ca/Si oranı 1,66-1,95 aralığında değişen C-S-H formasyonundan farklı bir morfolojiye sahiptir. Bağlı nem oranı %95’in üzerinde uygun ortamda

layıcı hamuru temelde belit taneciklerinden oluşur. Alit ( $C_3S$ ), kalsiyum alüminat ( $C_3A$ ) ve tetra kalsiyum alüminoferrite ( $C_4AF$ ) rastlanır. Alçı katkısı bulunduğu takdirde matrisde alite ( $C_3S$ ) rastlanması gerekir. [8] Bununla birlikte Hughes vd. (2007c) tarafından yürütülen çalışmada, Roma çimentosu klinkerinde, Portland çimentosu klinkerinde rastlanan Bogue bileşiklerinden kalsiyum alüminat ( $C_3A$ ), tetra kalsiyum alüminoferrit ( $C_4AF$ ) ve alite ( $C_3S$ ) rastlanmamıştır. Modern Portland çimentosu klinkerinin standartlarla sabit ve “Bogue bileşimi” olarak bilinen içeriği ise kütlece şu oranlardadır: alçı,  $CaSO_4$  %4,10; alit,  $C_3S$  %45; belit,  $C_2S$  % 31; kalsiyum alüminat,  $C_3A$  %6,30; tetra kalsiyum alüminoferrit,  $C_4AF$  % 7,20 (Lawrence, 2004: 169)

<sup>8</sup> “Tarihi Yapılarda Kullanılan Roma Çimentolarının Diğer Erken Çimentolardan Ayırt Edilmesi” başlıklı çalışmadan ders notu / sözlü bilgi, J. Weber ve F. Pinter



Şekil 5. İki farklı Roma çimentosu türünde tipik dayanım kazanımı: çimento 1 - sertleşmede duraklama dönemi olmayan çimento; çimento 2 - yüksek erken dayanımlı, duraklama dönemi uzun çimento. Mikrograflar: (a) 15 dakika sertleşme sonrasında C-A-H tabakalarından oluşmuş mikro-yapı (sol); (b) 7 aylık hidrasyon sonrası oluşmuş yoğun C-S-H ve C-A-H evreleri ile karışmış mikro-yapı (sağ) (Roman Cement - Advisory Note, 2006: 16).

sertleşen Roma çimentosunun başta neredeyse tamamen tekil dağlımlı olan ve gözenek çapı 0,1-0,3 mikrometre aralığında değişen gözenek yapısı, ortalama gözenek çapı 20 nanometre civarında yoğun ve nanokristalin bir mikro-yapıya dönüşür. Yine Portland çimentosundan farklı olarak, tarihi Roma çimentosu harçları %20-40 aralığında yüksek bir gözenek hacmi oranına sahiptir; bu yapı, su ve su buharının bünye içinde iyi taşınmasına izin verir. Roma çimentosu hidratlarının özellikleri, bu malzemeyle üretilmiş stüko, sıva ve yapay taşların neden bu kadar dayanıklı olduğunu açıklamaktadır (Roman Cement - Advisory Note, 2006: 17).

Roma çimentosu geçmişte Avrupa'nın belirli bölgelerinde öndöküm dış cephe bezeme elemanlarının seri üretiminde yaygın olarak kullanılmıştır. Dış iklim koşullarına dayanımı, özellik-

le alçı stükolara göre yüksek; maliyeti ise taş ve pişmiş toprak gibi alternatiflere göre daha düşüktür. Özellikle Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'nun başkenti Viyana'da yaygın olarak kullanılan kumtaşına benzerliği nedeniyle, alternatif olarak genel kabul gördüğü öne sürülebilir. Bu örneklerde agrega olarak kumtaşının tercih edildiği izlenir. Benzer biçimde daha koyu tonlu örnekler, pişmiş toprak elemanların yerine tercih edilmiş olmalıdır. İstanbul'da rastlanan örneklerde daha açık renkli, mermer kırığı gibi agregalar tercih edilerek, kentte yaygın kireçtaşı ve mermerlere alternatif oluşturulmaya çalışıldığı izlenmektedir. Özellikle 1850 sonrası Avrupa'sında özgün uygulamalarda, yüzeylerin boyanmadan kendi dokusunda bırakıldığı izlenir. Bazı İngiltere örneklerinde ise Bath taşını taklit etmek amacıyla, yüzeylere kireç ya da yağ esaslı boya-

uygulandığı bilinmektedir (Roman Cement - Advisory Note, 2006: 9).

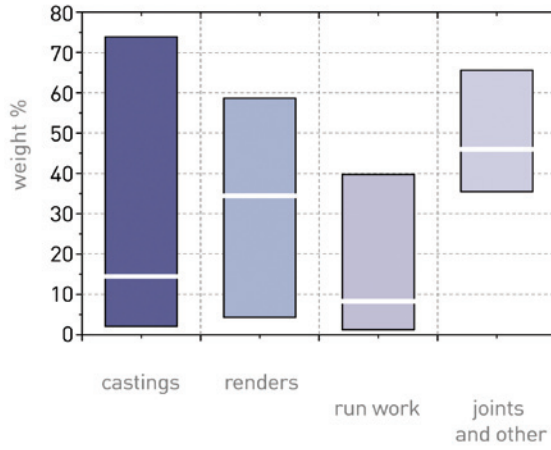
Uygulama yöntemi olarak işlikte üretilen öndöküm elemanlara ek olarak, yerinde uygulanan yüzeysel sıvalar ile çekme (sürme) kalıpla uygulanan profilli elemanlar göz önüne alınmalıdır. Bunlar aynı zamanda temel yapay taş uygulama yöntemleridir (Baturayoğlu Yöney, 2008; Baturayoğlu Yöney ve Ersen, 2009a; Baturayoğlu Yöney ve Ersen, 2009b). ROCEM ve ROCARE projeleri kapsamında incelenen Roma çimentosu bağlayıcılı örneklerin en dikkat çekici özelliklerinden biri; yüz yıllık ya da daha eski olmalarına karşın, son derece iyi korunmuş olmalarıdır.

Hammadde özellikleri irdelenecek olursa, agrega oranının, geniş bir aralıkta değişkenlik göstermekle birlikte, öndöküm ve çekme kalıp uygulamalarında ortalama olarak %20-25, sıva ve derz harçlarında ise %40-50 oranında olduğu izlenir

(Şekil 6). Agregaların jeolojik kökenleri yerel olduklarına işaret eder (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 9). Bu veriler 19. yüzyıl kaynaklarıyla uyumlu olmakla birlikte, diğer çimento türleri ile İstanbul'da üretilen yapay taşların karakterizasyonu sonucu elde edilen verilerden büyük oranda farklılık gösterir. Bu örneklerde öndöküm ve çekme kalıp yöntemiyle üretilen elemanlarla diğer yerinde yüzey uygulamalarında kullanılan karışımların agrega oranları arasında dikkate değer bir farklılaşma izlenmez. Agrega oranı kütlece genellikle %60-80 aralığında değişkenlik gösterir (Baturayoğlu Yöney, 2008; Baturayoğlu Yöney ve Ersen, 2010; Ersen vd., 2010).

Sıva tabakası kalınlıklarının ise 2-50 mm arasında değiştiği izlenmiştir. Roma çimentolu sıvaların rötre sorunu bulunmadığı için, azami 10-12 mm kalınlığında tabakalar halinde uygulanan kireç bağlayıcılı sıvalardan daha kalın olabilmektedir. Uygulama tek ya da iki tabakalı olabilir. Çekme kalıp ya da öndöküm yöntemleriyle üretilen elemanların da genellikle iki tabakadan oluştuğu izlenir. Bunların yüzüne genellikle Roma çimentosu suyu adı verilen sulu bir çimento çözeltisi sürülür ve boyanmadan bırakılır (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 9). İstanbul'da incelenen diğer çimento bağlayıcılı sıvaların da tabaka kalınlıklarının benzer bir biçimde geniş bir aralıkta seyrettiği izlenir. Bunlar da bir ila üç tabakalı olarak uygulanmıştır. Günümüzde görülen boya tabakaları, özgün olmayıp genellikle daha geç tarihli müdahalelere aittirler. Agrega ve bağlayıcı renkleri taklit edilmek istenen taşta göre seçilerek, yüzeyler özgün dokusunda müdahale edilmeden bırakılmak üzere tasarlanmıştır (Baturayoğlu Yöney, 2008; Baturayoğlu Yöney ve Ersen, 2010; Ersen vd., 2010).

**Tarihi Roma çimentosu harçlarının en önemli ve belirleyici fiziksel özelliklerinden biri, su ve subuharının hareketine olanak**



Şekil 6. Roma çimentosu karışımlarının % kütle cinsinden agrega oranları; beyaz çizgiler incelenen örnekler üzerinden hesaplanan ortalama değerleri göstermektedir. Soldan sağa doğru sırasıyla öndökümler, yüzeyel sıva uygulamaları, çekme (sürme) kalıp uygulamaları ve derz harçları ve diğer örnekler için elde edilen veriler sunulmuştur (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 8, Fig. 3).



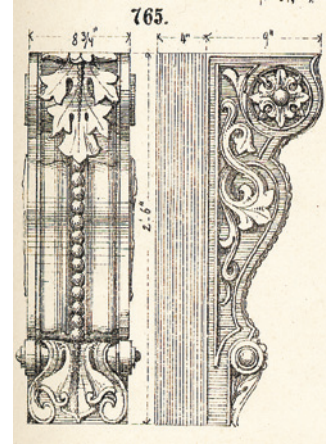
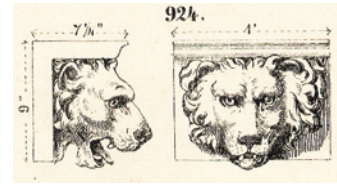
Şekil 7 ve 8. Roma çimentosu bağlayıcılı dökümlerde elde edilebilen narin detay niteliği diğer çimento bağlayıcılı harçlara göre çok daha yüksektir. Her iki örnekte bezemenin üzerine kaplayarak detay niteliğini bozan geç tarihli yüzey boya müdahaleleri kısmen temizlenmiştir. (*Roman Cement - Brochure*, 2005: 11, 14).

**veren yüksek gözenekliliği (hacimce %30-40) ile yüksek mekanik dayanım ve mükemmel dayanıklılıktır.** Cıva porozimetri deneyleri sonucu iki temel türde gözeneğe rastlanmıştır: Çapı 0,2 µm değerinden daha küçük olan ince gözeneklere çok iyi hidrasyona uğramış yaşlı/olgun Roma çimentosu matrislerinde rastlanmaktadır. Çapı ortalama 1 µm olan daha büyük gözenekler ise, genellikle hidrasyon sürecinin suyun hızlı buharlaşması sonucu yarım kaldığı kuru hava etkisine açık harçlarda görülür (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 9). Ayrıca matriste karakteristik dairesel hava deliklerine rastlanır. Bunlar genel olarak sıva hamurun kıvamından kaynaklanır. Dolayısıyla izlenen gözenek çapla-

rı aynı dönemde kullanılan erken çimentolarla karşılaştırıldığında, daha ince ancak hacimce gözeneklilik oranı çok daha yüksektir (Baturayoğlu Yöney, 2008). Erken çimentoların makro-gözenekliliği daha yüksek ancak mikro-gözenekliliği daha düşük olduğundan, bunların mikro-yapısı çok daha yoğundur.<sup>9</sup>

Tarihi Roma çimentoları çok yüksek dayanımlar ve elastisite modülüne sahip olmakla birlikte, aynı zamanda fazlasıyla gözenekli ve su hareketine açık bünyeye sahiptir. Bu durumda sağlam, kırılğan ve gözenekli bir malzeme olarak değerlendirilmeleri gerekir. Dökümlerde pek rastlanmamakla birlikte, genellikle sıvalarda yaygın bir uygulama olan karışıma kireç katılması, elastisite, gözeneklilik, su emicilik ve bu-

<sup>9</sup> "Tarihi Yapılarda Kullanılan Roma Çimentolarının Diğer Erken Çimentolardan Ayırt Edilmesi" başlıklı çalışıydan ders notu / sözlü bilgi, J. Weber ve F. Pinter.



Sekil 9. Viyana merkezli Heinrich Drasche Firmasına ait alçı ve çimento öndöküm mimari bezeme elemanı kataloğundan örnek bir sayfa ve yukarıdaki bezeme detaylarına benzeyen elemanlardan detay (kaynak Prof. J. Weber). Öndöküm bezeme elemanlarının tasarımındaki düzen ve detayların karmaşıklığı dikkat çekici düzeydedir.

har geçirgenliğini artırır, dayanımı düşürür (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 9).

Döküm işleri genellikle hayvansal zamktan yapılmış esnek kalıplarla gerçekleştirilmiştir. Son derece hızlı biçim almaları ve sertleşmeleri, kalıptan çabuk çıkarılmalarına ve aynı kalıbın kısa bir süre sonra yeniden kullanılmasına olanak vermiştir. Ayrıca elde edilebilen narin detay niteliği, diğer çimento bağlayıcılı harçlara göre çok daha yüksektir (Şekil 7 ve 8). Ağırılık azaltmak için döküm elemanlar içi boş olarak biçimlendirilmiş ve yığma taşıyıcı duvarlara dövme demir çivilerle asılmışlardır. Üretici işliklerin kataloglarında biçimleri görülebi-

len bu geleneksel ya da erken modern üretim teknikleri bugün kaybolmuştur (Şekil 9).

Yeni üretime de yol gösterici olabilecek deneysel veriler şöyle özetlenebilir: İncelenen öndöküm bezeme elemanı örneklerinde çimento-agrega oranı hacim olarak en az 2:1 kadardır; örneğin ortalama 3:1'in uygun olduğu kabul edilebilir. Agregalar iri olabilir; 1 cm değerine ulaşan agrega çapları izlenir. Ancak akışkanlık sağlamak bakımından taneciklerin yuvarlak olması tercih edilir. Kıvam bakımından su-çimento oranı 0,65 civarında tutularak ince detaylı dökümlerde bile boşluksuz neticeler elde edilmesi sağlanır. Roma çimentoları-

nun neme çok duyarlı olması nedeniyle, tamamen kuru kum kullanılarak en yüksek erken dayanım elde edilir. Karışım kalıba döküldükten sonra birkaç dakika içinde tepkime sonucu ortaya çıkan ısı malzemenin sıcaklığının 40 °C civarına ulaşmasına neden olur. İdeal durumda döküm 30 dakika kadar sonra kalıptan çıkarılabilir. Son dayanım uzun bir sürede gerçekleştiğinden, dökümler yüksek bağıl nem ortamında depolanırlar. Donma ve işlenebilirlik süresini birkaç dakika uzatmak amacıyla sitrik asit kullanılabilir. Suyu %0,2-0,5 oranında katılan sitrik asitin çimento ağırlığına oranı %0,13-0,32 düzeyine erişir (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 19).



Tarihi dış cephe stüko uygulamalarında genel olarak taş taklidinin esas olduğu izlenir. Yerinde uygulanan elemanlar ise çekme (sürme) kalıp tekniğiyle üretilmiştir. Bu, uygun konuma yerleştirilen harçın üzerinden profil kalıbının tekrar tekrar geçirilmesi ile yapılır (Şekil 10 ve 11). Korniş ya da silmenin kalınlığına göre, gerek görülürse bindirmeli tuğla altlık ya da demir donatı/taşıyıcı elemanlardan yararlanılabilir (Şekil 17). Genellikle iki ya da daha fazla farklı tabaka kullanılır: Alt (kaba) tabaka iri dokulu bir çekirdek oluşturur. Bunun üzerine ince dokulu üst (ince) tabaka uygulanır. Çok hızlı sertleşmesi nedeniyle Roma çimentosu, bu tür stüko uygulamalarında da aranan bir malzeme olmuştur.

Bağlayıcı olarak Roma çimentosu kullanılarak üretilmiş tüm tarihi yapı elemanı ve kaplamalarının temizlik, onarım ve bütünlüme çalışmalarında ilk aşama, diğer tüm koruma-onarım uygulamalarında olduğu gibi “araştırma”dır. Varsa yapının inşasına ait arşiv belgeleri, projeler, iş kalemlerine yönelik üretim spesifikasyonları gibi kaynaklar detaylı olarak incelenmelidir. Stüko veya dış cephe kaplaması/elemanları özelinde, kullanılan bağlayıcı, agrega ve diğer katkıların tür ve menşeinin bilinmesi büyük önem taşıyacaktır. Ancak ülkemizde bu tür belge ve kaynaklara ulaşmak son derece zordur ve sadece çok özel yapılar söz konusu olabilir. Bu durumda ilgili yasa, yönetmelik ve ilke kararlarında yer aldığı biçimde, yapının ayrıntılı şekilde belgelenerek “analitik röleve”sinin hazırlanması ve bu röleve kapsamında malzeme analizleri ve karakterizasyon yöntemlerinden yararlanılarak cephe kaplaması/elemanları üretim ve uygulama yöntemleri ile niteliğinin, üretimde kullanılan malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Temizlik, onarım ve bütünlüme gibi müdahaleler konusunda ancak bu aşamadan sonra izlenen malzeme nitelikleri ve bozulmalarının çeşit, düzey ve özelliklerine dayanarak karar verilebilir. Aşağıda sunulan bilgiler yal-



Şekil 10 ve 11. Tarihi bir yapının kornişinden detay: Solda kırılan bölümün bütünlüme için uygun olmayan Portland çimentosu harçla onarıldığı görülüyor. Sağda aynı köşenin özgüne uygun Roma çimentosu harç ve çekme (sürme) kalıpla onarımı (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 20-21).

nızca genel geçer anlamda yararlı ve yol gösterici olabilir:

**Özellikle ‘yapay taş’ olarak sınıflandırılabilir taş taklidi sıvalı yapı dış cephele-ri göz önüne alındığında, kaplama ve elemanların özgün üretim ve bitirme yöntemlerinin tanımlanması, gerçekleştirilecek koruma-onarım uygulamalarının belirlenebilmesi açısından büyük önem taşır.** Malzeme karakterizasyonu için az bozulmuş saçak ya da çıkma altı gibi görece dış hava koşullarının etkilerinden korunmuş bölgelerden örnek alınmalıdır. Sıva/uygulama katmanları ile varsa boya, kir ve patina tabakalarının incelenmesi, ayrıca bağlayıcı ve agregaların tanımlanabilmesi için ince kesit petrografisi faydalıdır. Taş taklidi amacıyla düz (cilalı), rustik, taraklı vb. kesme taş yüzey dokuları oluşturulmuş ve bunlar zaman zaman bir arada kullanılmışlardır (Şekil 12 ve 13). İngiltere’de olduğu gibi açık renkli taşların taklit edildiği bölgelerde Roma çimentosu bağlayıcı yüzeyler üzerinde tam kuru-madan kireç badana gibi uygulamaların yapıldığı bilinmektedir (Hughes vd., 2007b: 44-45). Roma çimentosu bağlayıcılığı stüko yüzeylerinin farklı taşları taklit etmek amacıyla özgün tasarım kapsamında boyanmış olduğu durumlarda, yü-

zeyin önce temizlenip onarılması, daha sonra uygun rengin yeniden uygulanması gereklidir. Boya işlemi sonucu dayanıklı, yarı-şeffaf bir tabaka oluşturulmalı ve renk günümüze ulaşmış özgün kısımlarda izlenenle uyum sağlamalıdır (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 23). İstanbul özelinde henüz böyle bir örneğe rastlanmamıştır; ancak yine mimaride kullanılan taşların görece açık renkli olması nedeniyle, Roma çimentosu bağlayıcılığı dış cephe uygulamalarında açık renkli agregaların tercih edildiği izlenmiştir.

Roma çimentosu bağlayıcılığı mimari yüzey ve elemanların temel koruma ve konservasyon sorunları genellikle özgün olmayan, daha geç tarihli ve uygunsuz onarım ve renovasyon müdahalelerinden kaynaklanır. Zamanla kirlenen yüzeyler boya ve/veya özellikle 20. yüzyılda serpmeye Portland çimentosu tabakalarıyla kaplanmıştır (Şekil 7, 8 ve 14). İkinci tür uygulamalar, kalınlığı nedeniyle özgün bezemenin ince detaylarının üzerini örterek bunları nitelsiz hale getirmektedir. Ayrıca bu tabakanın altına hap-solan nem, özgün tabakalarda hızlı bozulma süreçlerine neden olabilmektedir. Ayrıca eski tarihli temizlik uygulamalarının özgün yüzeylere zarar verdiği (Şekil 15), uygunsuz malzemelerle yapılan bütünlüme-



Şekil 12 ve 13. Kesme taş taklidi, derz kesilmiş farklı siva yüzey dokularından örnekler. Roma çimentosu bağlayıcılı stüko ve elemanların yüzeyinde görülen çok ince çatlak dokuları karakteristik bir özelliktir (sol). Yere yakın kısımlarda, yetersiz drenaj ve bodrum duvarlarının su yalıtımının yetersizliği yerden yükselen nem ve/veya suda çözünebilir tuzların taşınması ve çiçeklenmesi sonucu hasarlara yol açabilir (sağ) (Viyana Reithlegasse 10 adresindeki 1878 tarihli köskten detaylar; fotoğraflar N. Baturayoğlu Yöney, 2010)



Şekil 14 ve 15. Zamanla kirlenen Roma çimentosu bağlayıcılı yüzey, önce boya, daha sonra serpme Portland çimentosu tabakasıyla kaplanmıştır; fotoğrafta temizlik evreleri görülüyor (sol; *Roman Cement - Brochure*, 2005: 23). Temizlik uygulaması sonucu hasar görerek erozyona uğramış özgün yüzey (sağ; *Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 13).



Şekil 16 ve 17. Yüzeysel çok ince çatlak dokusu ve çatı seviyesinde yetersiz yağmur suyu drenajı nedeniyle görülen nem ve suda çözünebilir tuzların taşınması sonucu oluşan çiçeklenmeler (sol) ile demir taşıyıcı elemanların paslanarak genişmesi sonucu parçalanmış korniş (sağ) (İstanbul, Karaköy Rum İlkokulu, Kemeraltı Caddesi No. 49, 1910'lar, esaslı onarım 1950'ler, alınlık ve korniş seviyesinden detay; fotoğraflar N. Baturayoğlu Yöney ve Esra Ekşi Balcı, 2011).

lerin (Şekil 10) ise hem estetik bakımdan tasarımları bozduğu, hem de ek yapı ve malzeme hasarlarına neden olduğu örneklere rastlanır.

Geç tarihli müdahalelerde uygulanan boya tabakalarının sağlam durumdaki özgün alt yüzeylerle genel olarak zarar vermediği ka-

bul edilebilir. Ayrıca boya tabakaları iyi durumda ve yüksek su buharı geçirgenliğine sahip ise, bunların kaldırılması şart olmayabilir. Bu nedenle boya tabakalarının temizlenmesi, korumadan çok estetik gerekçelere dayalı bir karardır. Dış cephe malzemelerinin suyla temizlik

sonucu zarar göreceği konusundaki genel geçer kanunun herhangi bir dayanağı yoktur. Özellikle sağlam Roma çimentosu stüko yüzeylerinin, su emme kapasitesi görece düşük ancak gözenekli yapıları nedeniyle kuruma hızı yüksektir. Dolayısıyla nem tutucu, alkil/akrilik polimer bağlayıcılı görece çağdaş boyaların Roma çimentosu bağlayıcılı yüzeylerden temizlenmesi için etkin yöntem, yüksek sıcaklıkta su sistemleridir. Kireç, kurşun, çinko ve mineral boyalar ve yüzey kaplamalarının temizliğinde ise düşük basınçlı aşındırma sistemleri tercih edilebilir; bunlar hava, su ve ince mineral tozlarının girdap hareketiyle püskürtülmesi esasına dayalıdır. Bu yöntemlerle temizlenemeyen kalıntıların, mekanik el aletleri ile kaldırılması uygundur. Ancak elle temizliğin tüm cepheye yayıldığı durumlar ekonomik bakımdan pek akılcı değildir. Kimyasal temizlik söz konusu olursa, yüzeyin uygulama sonunda tamamen nötralize edilmesi şarttır (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 23; Hughes vd., 2007b: 52). Boyanmadan bırakılmış Roma çimentosu bağlayıcılı cephe kaplama ve elemanlarının yüzeyine ince bir tabaka Roma çimentosu suyu sürülebilir; böylece patinalı, kirlili, boyalı ve erozyona uğramış farklı yüzey alanlarının estetik bütünlüğü sağlanabilir (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 23).

Roma çimentosu bağlayıcılı stüko ve elemanlar, genel olarak son derece dayanıklıdır. Yüzeyde görülen çok ince çatlak dokuları karakteristik bir özelliktir (Şekil 12 ve 16). Bunlar normal kurumaya bağlı rötre sonucu oluşurlar ve genellikle hasara yol açmazlar. Ancak doğrudan yağmur suyu etkisinde kalan alanlarda genişleyebilirler. Doğal koşulların etkisine açık konumda bulunan Roma çimentosu bağlayıcılı yüzeyler erozyona uğrayabilir (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 13).

**Roma çimentosu yüzeylerde izlenen bozulma ve başkalaşma (alterasyon) türleri dört ana başlık altında incelenebilir (Hughes vd., 2007b: 46-48):**

- Yüzeylerde sülfat birikmesine

sık rastlanır. Roma çimentosu bağlayıcı yüzeyler, genellikle sülfat etkisine dayanıklı olmakla birlikte, sülfat yoğunluğunun yüksek olduğu ve yağmur suyu etkisiyle temizlenmediği durumlarda, **yüzeyde kabcırcıklar ve kayıp** oluşabilir. Özellikle son tabakanın çok ince olduğu örneklerde bu durum yüzeyi kaba ve bozulmuş hale getirir. Ancak malzemenin kendisinin sülfat içeriği çok düşüktür ve tuz iletimi sonucu karbonat perdeleri (çiçeklenme) oluşumuna yol açmaz (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 23).

■ Yüzeyin hava koşullarının ve özellikle yağmur suyunun etkilerine açık olduğu durumlarda **yüzey erozyonu** ortaya çıkabilir. Bu türden yüzey kayıpları bezemelerin özgün ince işçiliğine zarar verir ve özellikle öndöküm elemanlarda bağlayıcı kaybı sonucu sert ve kaba agregaların görünür hale gelmesine, dolayısıyla yüzeyde farklı nitelikte bölgeler oluşmasına yol açabilir.

■ Agreganın bozulmasına görece daha nadir rastlanmakla birlikte, agregalarda alterasyon görülebilir. Ayrıca özgün karışımda uygun olmayan agregaların kullanılmış olduğu durumlarda, agregaların neden olduğu **genleşme ve yüzey çatlakları** gibi sorunlarla karşılaşılabilir.

■ Roma çimentosu bağlayıcı tarihi stükolar genellikle zaman içinde tamamen karbonatlaşmıştır. **Karbonatlaşma** alkaliniteyi azaltarak demir taşıyıcı elemanların paslanarak genleşmesine ve dolayısıyla stükonun çatlayarak dağılmasına neden olabilir (Şekil 17).

Roma çimentosunun kullanıma girdiği dönemde mimari üretim yöntemleri bakımından getirdiği yenilikler, yeni uygulama tekniklerinin gelişimine neden olmuştur. Malzemenin uygulama bakımından en önemli özelliklerini oluşturan çok hızlı donma, yüksek ön dayanım kazanımı, yüksek adhezyon ve düşük rötre, aşağıda anılan özel yapay taş üretim tekniklerinin gelişimine yol açmıştır (Hughes vd., 2007b: 48-49):

■ Pilastır ve kornişler gibi çıkıntılı elemanlar için çimentoyla kargir duvara tutturulan tuğla/kiremit ar-



Şekil 18. Farklı parçaların bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş öndöküm bezeme panelinden detay. Kir ve boya kalıntıları detayları belirsiz hale getiriyor. Şeklin üst tarafında yer alan korniş ise farklı bir malzemeyle, çinko levha metalden üretilmiştir (*Roman Cement - Brochure*, 2005: 4).

kalıkların kullanımı,

■ Yerinde ve/veya ışikte çekme (sürme) kalıpla profil uygulamaları,

■ Genellikle kaba bir alt ve ince bir üst tabakadan oluşan ve bazen iç yapısı tuğla/kiremit parçalarıyla desteklenen öndöküm elemanlar,

■ Stüko uygulanacak kargir yüzeyler üzerine sürülen beton altlık ve dolgular,

■ Yerinde uygulanacak profiller için çıkmalı taşıyıcı tuğla altyapılar,

■ Derz kesilen düz yüzey (sıva) uygulamaları.

Farklı uygulama tekniklerinin bir arada kullanılmış olması nedeniyle (Şekil 18), koruma-onarım uygulaması öncesinde özgün yapı sistematığının iyi anlaşılması gereklidir. Bozulmaların bir bölümü uygulama yöntemlerinden ve/veya alt yüzeylerin, altlık ve taşıyıcıların hazırlanmasında kullanılan malzemelerden kaynaklanabilir.

Örneğin, düz yüzey uygulamalarında sıva tabakası ile taşıyıcı alt yüzeyler arasında sıklıkla boşluklara rastlanır; fakat bunlar genellikle koruma bakımından sorun oluşturmaz. Ancak boşlukta su hareketi varsa malzeme kaybı görülür. Gerktiğinde Roma çimentosu suyla karıştırılarak uygun akışkanlık-

ta hazırlanacak bir malzemeyle enjeksiyon yapılabilir; bu karışıma gerekirse bir yüzey koruyucu ve/veya viskoziteyi ayarlamak amacıyla kazein vb. eklenebilir. Karbonatlaşma olanağı bulunmadığından hidrolik nitelikli bir bağlayıcı kullanılmalıdır. Enjeksiyon uygulamasından önce boşluk suyla yıkanmalıdır. Bu yöntemle aynı zamanda birbirinden ayrılan yüzey ya da tabakalar sağlamlaştırılabilir. Temizlenerek ıslatılmış çatlaklar da benzer biçimde doldurulabilir. Ancak bu işlem yalnızca dolgu ve boşlukların sabitlemesini sağlar. Sentetik reçinelerin aksine kopmuş parçaları yapıştırır. Ayrılmış yüzey ve parçaları yeniden alt yüzeye tutturmak için reçine içine gömülmüş paslanmaz çelik vida ve çivilerden veya seramik ya da cam lifi gibi demir içermeyen sentetik malzemelerden yararlanılabilir (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 23; Hughes vd., 2007b: 52).

Malzemenin kendisindeki bozulmalar; harcın fiziksel ve kimyasal bozulmasından kaynaklanabileceği gibi; metal taşıyıcıların paslanarak genleşmesi sonucu da oluşabilir. Sorunun demir donatı ve taşıyıcılardan kaynaklandığı durumlarda (Şekil 17), bunların paslanmaz

çelik elemanlarla değiştirilmesi ya da paslanmayı önleyici çözümler düşünülmelidir. Ayrıca oturma gibi strüktürel hareketlere bağlı olarak çatlak oluşumu görülebilir. Yetersiz bakım, özellikle stükoların sürekli olarak fazla rutubete maruz kalması, bozulmaya yol açan etkenlerin başında gelir. Dış cephele- rin üst kısımlarında rutubet, hasar görmüş ya da işlevini yitirmiş yağ- mur oluklarından ve drenaj sistem- lerinden kaynaklanabilir. Yere ya- kın kısımlarda ise, yetersiz drenaj ve bodrum duvarlarının su yalıtı- mının yetersizliği yerden yükselen nem ve/veya suda çözünebilir tuz- ların taşınması ve çiçeklenmesi so- nucu hasarlara yol açabilir (Şekil 13 ve 16). Yapıda suyun hareketi de- taylı biçimde incelenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Buna karşılık suyun etkisinden korunmuş alan- larda sülfat ve kara kabuk birikim- leri izlenebilir (*Roman Cement - Ad- visory Note*, 2006: 13; Hughes vd., 2007b: 50-51).

Yine koruma-onarım çalışma- ları öncesinde yapının daha önce geçirmiş olduğu onarımların ve bu amaçla kullanılan malzemelerin incelenmesi şarttır. Çoğu örnekte bu onarımların neden olduğu bo- zulmalar ya da bunların yeniden onarımını gerektiren durumlarla karşılaşılabilir.

Onarım ve bütünleme işlerinde kullanılacak harçların öncelikle öz- gün malzemeye renk ve doku ba- kımından uyumlu olması gereklidir. Bu nedenle farklı agregalar üze- rinde deneysel çalışmalar yapıla- rak doğru boyut dağılımı, karışım ve miktarlar/oranlar belirlenmelidir. Özgün harçlarda genellikle günü- müzde kullanılan daha ince bir agregada gredasyonunun ve taş takli- di amacıyla özel renkte taş kırıkla- rının tercih edildiği göz önüne alın- malıdır. Özgün stükolara uygun da- yanımında harçlar elde etmek için kullanılacak çimento-agrega oranı hacimce 1:0,5-1 ila 1:3 arasında de-ğişebilir. Bütünleme ve boşluk dol- durma işlerinde iyi yapışma sağla-

mak için boşluğa öncelikle sulan- dırılmış harç ya da uygun bir poli- mer dispersiyonu sürülmelidir. Ye- terli sertleşme sağlamak için, dol- durulan bölüm bir süre nemli tu- tulmalıdır. Yüksek su tutma ka- pasitesi ve yüksek nem ortamın- da sertleşmeye devam etmesi ne- deniyle, Roma çimentosu harçların- da genellikle “yanma” olmaz. Kes- me taş taklitlerinin bütünlenmesin- de, yama yerine derz kesilmiş ‘kes- me taşın’ tamamen derz hizasın- dan temizlenerek yeniden yapılma- sı önerilebilir. Ancak geleneksel sı- vaya derz kesme işçiliği günümüz- de devam etmediğinden, nitelikli derz kesilmesinin zorluğu göz önü- ne alınmalıdır. Ayrıca tarihi ve yeni harç ve/veya sıva uygulamaları ara- sında cephenin bütünlüğünü boza-

### Özgün malzemeye onarım ve bütünle- menin önündeki en büyük engel, Roma çimentosunun piya- sada henüz yaygın olarak bulunama- masıdır.

cak büyük zıtlıklar meydana getiril- mesi engellenmelidir. Yine yerinde yüzey sıva uygulamalarında geçerli olmak üzere, pek çok tarihi örnekte birden fazla katmana, genellikle biri kaba diğeri ince olmak üzere iki tabakaya rastlanır. Onarımlarda iki tabaka arasında adhezyon sağ- lamak için, çimento suyuyla ıslatma ya da mekanik taraklama gibi ön- lemlerin alınması gereklidir (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 23; Hughes vd., 2007b: 52-53).

Özgün malzemeye onarım ve bütünlemenin önündeki en büyük engel, Roma çimentosunun piya- sada henüz yaygın olarak buluna- mamasıdır. ROCEM Projesini izle- yen ROCARE Projesi kapsamında, Roma çimentosunun yeniden üreti-

mi, optimizasyonu ve pazarlanarak kullanımının özendirilmesi gün- deme gelmiştir. Deneysel olarak üretime başlanmış olup, şimdilik Roma çimentosu kullanmak isteyen koruma-onarım projelerine ücret- siz olarak malzeme sağlanmakta- dır.<sup>10</sup> Roma çimentosu ile üretilmiş sıva, harç ve mimari elemanların onarımında özgün malzemenin ye- niden üretilmiş biçimini kullanmak, bütünlemede görsel ve fiziksel ben- zerlik sağlamak açısından en uygun çözümdür. Bunun yerine piyasada mevcut diğer doğal hidrolik kireç- lerden yararlanmak mümkünse de, başarılı sonuçlar elde etmek daha güçtür (Hughes vd., 2007b: 54-55).

Harç karışımlarında agregada ora- nı yüksek tutulmalıdır. Uygun çimento-agrega oranları, kaba ta- bakalar için hacim olarak 1:1,5, ince tabakalar için ise 1:1 kadardır. Ag- rega olarak kum tercih edilebileceği gibi, tarihi örneklerde kullanılan ye- rel malzeme ve özellikler de dikkate alınmalıdır. Kaba tabakalarda kalın dokulu, çapı 4 mm düzeyine ulaşan ancak ortalama çapı 0,25 mm civa- rındaki agregalar tercih edilirken, ince tabakalarda çaplar daha küçük tutulmalıdır. Harcın kıvamı için 0,6 su-çimento oranı uygundur. Yerinde yapılan uygulamalar için harcın işlenebilirlik süresinin uzatılması gerekir. Geleneksel olarak, çimen- tonun üç gün süreyle ağzı açık kap- larda bekletilerek havadaki nem- le tepkimeye girmesinin sağlanma- sı ve böylece donmanın geciktiril- mesi yönteminden yararlanıldığı bi- linmektedir. Ayrıca geciktirici ola- rak karıştırma suyuna %0,5 oranın- da sitrik asit katılabilir. Böylece elde edilen 30 dakikalık işlenebilirlik sü- resi, deneyimli bir ustanın birkaç metrekare iş üretmesi için yeterlidir. Yüzeye en fazla 1 saat içinde, ister kaba/rustik/taraklı vb. bir doku, is- ter düz/cıvalı bir görünüm verile- bilir (Şekil 12-13). Uygulama ön- cesinde stükonun suyunu emme- mesi için alt yüzey iyice ıslatılmalı- dır. Roma çimento harç/sıva taba- kasının kalınlığı 3-60 mm arasında

<sup>10</sup> Detaylı bilgi için bkz. <http://www.rocace.eu/page/seite,about-us.html>

değişebilir. Yine uygulama sırasında harcı ıslak/nemli tutmak önemlidir. Zaman zaman harcın yüzeyinde ince beyaz bir kalsiyum karbonat tabakası oluşabilir. Bunu engellemek için uygulama yapıldığı gün yüzeyi ıslatmamak gerekir. Oluşan bu ince tabaka, yüzey kısmen sertleşmiş fakat tepkimesini henüz tamamlamamış harçla silinerek temizlenebilir (*Roman Cement - Advisory Note*, 2006: 21).

Yirminci yüzyılla birlikte yaşamımıza egemen olan bezemeden arınmış Modernist mimarlık kuramlarının etkisiyle bir 'yozlaşma' olarak nitelenen 19. yüzyıl tarihselci, canlandırmacı ve/veya seçmeci *Beaux-Arts* üslubu, günümüzde mimarlık tarihinin sürekliliği içinde kendi tasarımsal karmaşıklığı nedeniyle önemli bir basamak olarak görülmektedir. Dolayısıyla böylesi nitelikli ve uzun soluklu bir geçiş dönemi mimarlığının tasarımı, malzeme ve üretim teknolojilerinin irdelenmesi, tanımlanması ve korunarak onarılması bugün önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı dönem içinde meydana gelen bilimsel gelişmeler ve yoğun endüstriyelleşme ve kentleşme; geleneksel yapı sistemlerinin adaptasyonu ve yeni yapı üretim teknolojilerinin ortaya çıkışı ile sonuçlanmıştır.

Onsekizinci yüzyılın sonlarında hidrolik bağlayıcıların sertleş-

me mekanizmalarının anlaşılması ve doğal çimentoların ayırt edilmesi, 19. yüzyılın başlarında hidrolik nitelikli bağlayıcıların yapay üretimi ve ardından yaygınlaşarak ucuzlaması yeni yapı yöntemlerini desteklemiş ve basit yapılarda bile kullanılabilir hale gelmesini sağlamıştır. Büyük mühendislik projelerinde daha yüksek dayanıklılık ve mukavemet sağlamak üzere geliştirilen ve su altında inşaata olanak sağlayan bu yeni malzemeler, zamanla dönemin estetik anlayışına uygun yapı ve bezeme elemanlarının üretiminde de kullanılmış; kısa süre içinde çok sayıda fabrika ve işlikte patentlerle tescil edilmiş yöntemlerle seri yapay taş üretimi başlamış ve yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Bu, aynı zamanda Endüstri Devrimi'nin ikincil etkilerinden biri olarak görülebilir. Yapı işleri zamanla hızlanmış, ucuzlanmış, standartlaşmış ve serileşmiş; maliyeti yüksek geleneksel sistemler yerini döneminin dinamik yapısına uygun malzeme ve uygulama yöntemlerine bırakırken, doğal taş işçiliğinin yerini de tuğla kargir, sıvalı ve yapay taş kaplama ve elemanlı sistemleri almıştır. Bu değişim, mimarlık ve inşaat dünyasına olduğu kadar, sosyo-ekonomik gereksinimleri ve konfor koşulları konusunda beklentileri yükselen ancak görsel estetik beklentileri pek değişmeyen ve bu yeni malzeme ve

yöntemleri bir ilerleme değil, yozlaşma olarak gören toplumsal hayata da damgasını vurmuştur. On dokuzuncu yüzyılın sonuna doğru, yapı üretiminin dönüşüme uğradığı ve geleneksel üretim yöntemlerinin yerini ucuz ve hızlı üretilen kopyaların aldığı izlenir.

Bu dönüşüm sürecinde öne çıkan bağlayıcılardan biri de Roma çimentosu olarak anılan doğal çimento olmuş ve özellikle Orta Avrupa ve İngiltere'de yaygın olarak kullanılmıştır. Türkiye ve İstanbul'da üretilmediği düşünülmeyle birlikte, çeşitli etkileşim ve itihalat süreçleri ile ülkemize de geldiği ve örneğin Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'nda görüldüğü kadar yaygın olmamakla birlikte, zaman zaman kullanıldığı bilinmekte ve örneklerle kanıtlanabilmektedir.

Özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısı ve 20. yüzyılın ilk çeyreği olarak tanımlanabilecek uzun bir dönemde varlığını sürdüren ve Avrupa coğrafyası içinde geniş bir alanda yaygın olarak kullanılan Roma çimentosunun doğru olarak anlaşılması ve tanımlanması, koruma-onarım çalışmalarında malzemenin özelliklerinin ve bozulma mekanizmalarının doğru biçimde anlaşılması göz önüne alınması ve onarımlarda uygun malzemelerin ve mümkün olduğu oranda yeni üretilen Roma çimentolarının kullanılması büyük önem taşımaktadır.

## REFERANSLAR

- 1- Adamski, G., Bratasz, L., Mayr, N., Mucha, D., Kozłowski, R., Stilhammerova, M. ve Weber, J., 2009, "Roman Cement - Key Historic Material to Cover the Exteriors of Buildings", *Workshop Repair Mortars for Historic Masonry - Proceedings*, C. Groth (ed.), RILEM Publications SARL, s.2-11.
- 2- Ashurst, J. ve Ashurst, N., 1989, *Mortars, Plasters and Renders, Practical Building Conservation*, Vol. 3, English Heritage Technical Handbook, Gower Technical Press, UK.
- 3- Baturayoğlu Yöney, N., 2008, *19. Yüzyıl Sonu ve 20. Yüzyıl Başı Yapı Cephelelerinde Kullanılan Yapay Taşların Mimarlık ve Koruma Bilimi Açısından Değerlendirilmesi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- 4- Baturayoğlu Yöney, N. ve Ersen, A., 2009a, "19. Yüzyılın Sonu ve 20. Yüzyılın Başında İstanbul'da Yapı Dış Cephelelerinde Kullanılan Yapay Taşların Mimari Değerlendirmesi 1", *Restorasyon Konservasyon Çalışmaları*, Sayı 2, Temmuz-Ağustos-Eylül 2009, İBB KUDEB, İstanbul, s.21-31.
- 5- Baturayoğlu Yöney, N. ve Ersen, A., 2009b, "19. Yüzyılın Sonu ve 20. Yüzyılın Başında İstanbul'da Yapı Dış Cephelelerinde Kullanılan Yapay Taşların Mimari Değerlendirmesi 2", *Restorasyon Konservasyon Çalışmaları*, Sayı 3, Ekim-Kasım-Aralık 2009, İBB KUDEB, İstanbul, s.49-58.

- 6- Baturayoglu Yoney, N. ve Ersen, A., 2010, "19. Yüzyılın Sonu ve 20. Yüzyılın Başında İstanbul'da Yapı Dış Cephelerinde Kullanılan Yapay Taşların Mimari Değerlendirmesi 4", *Restorasyon Konservasyon Çalışmaları*, sayı 5, Nisan-Mayıs-Haziran 2010, İBB KUDEB, İstanbul, s.78-92.
- 7- Burn, R. S., 1871/2001, *(The New Guide to) Masonry Bricklaying and Plastering: Theoretical and Practical*, (ilk basım: John G. Murdock, London, 1871), Donhead, UK.
- 8- Callebaut, K., Elsen, J., Van Balen, K., Viaene, W., 2001, "Nineteenth century hydraulic restoration mortars in Saint Michael's Church (Leuven, Belgium): Natural hydraulic lime or cement?", *Cement and Concrete Research*, 31, pp.397-403.
- 9- Ersen, A., Gürdal, E., Güleç, A., Baturayoglu Yoney, N., Polat Pekmezci, I., Verdön, İ., 2010, "An Evaluation of Binders and Aggregates Used in Artificial Stone Architectural Cladding and Elements in Late 19<sup>th</sup> - Early 20<sup>th</sup> Centuries", *METU Journal of the Faculty of Architecture*, Vol. 27, No. 2, pp.207-221 [DOI: 10.4305 / METU.JFA.2010.2.11].
- 10- Hughes, D., Swann, S., Gardner, A., 2007a, "Roman Cement - Part One: Its Origins and Properties", *Journal of Architectural Conservation*, Vol. 13, No. 1, Donhead, UK.
- 11- Hughes, D., Swann, S., Gardner, A., 2007b, "Roman Cement - Part Two: Stucco and Decorative Elements, a Conservation Strategy", *Journal of Architectural Conservation*, Vol. 13, No. 3, Donhead, İngiltere, UK.
- 12- Hughes, D.C., Jaglin, D., Kozłowski, R., Mayr, N., Mucha, D., Weber, J., 2007c, "Calcination of Marls to Produce Roman Cement", *Journal of ASTM International*, Vol. 4, No. 1, January 2007, pp. 1-12, paper ID JAI100661.
- 13- Kozłowski, R., Hughes, D., Weber, J., 2010, "Roman cements - key materials of the built heritage of the nineteenth century", *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, M. Bostenaru Dan, R. Prikryl, Á. Török (eds.), Springer.
- 14- Lawrence, C.D., 2004, "The constitution and specification of Portland cements", *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, P.C. Hewlett (ed.), 4th ed., Vol. 4, pp.131-193.
- 15- Millar, W., 1897/2004, *Plastering - Plain and Decorative*, (ilk basım: B. T. Batsford, High Holborn, Londra, 1897), Donhead, UK.
- 16- Pasley, C.W., 1838/1997, *Observations on Limes*, (ilk basım: 1838), Donhead, UK.
- 17- Pasley, C.W., 1826/2001, *Outline of a Course of Practical Architecture Compiled for the Use of the Junior Officers of Royal Engineers*, (ilk basım: Chatam, 1826; yeniden basımı: 1862), Donhead, UK.
- 18- *Roman Cement - Brochure*, 2005, *European Commission Research Project: ROCEM Roman Cement to restore built heritage effectively*, Volume 1 of a series EU-Project ROCEM, J. Weber (yay. haz.), S. Olah (düz.).
- 19- *Roman Cement - Advisory Note*, 2006, *European Commission Research Project: ROCEM Roman Cement to restore built heritage effectively \_ Advisory Note*, Volume 5 of a series EU-Project ROCEM, K. Bayer, C. Gurtner, D. Hughes, R. Kozłowski, S. Swann, W. Schwarz, J. Weber (yay. haz.), C. Klell (düz.), www.heritage.xtd.pl
- 20- Tarnawski, A., 1887, *Kalk, Gyps, Cementkalk und Portland-Cement in Oesterreich-Ungarn*, Wien.
- 21- Verrall, W., 2000, *The Modern Plasterer*, (ilk basım: Caxton, tarihsiz), Donhead, UK.
- 22- Vicat, L.J., 1837/1997, *Mortars and Cements, (A Practical and Scientific Treatise on Calcerous Mortars and Cements, Artificial and Natural, etc.)*, (ilk basım: John Weale Architectural Library, 1837), Donhead, UK.
- 23- Weber, J., Gadermayr, N., Bayer, K., Hughes, D., Kozłowski, R., Stillhammerova, M., Ullrich, D. ve Vyskocilova, R., 2007, "Roman Cement Mortars in Europe's Architectural Heritage of the 19th Century", *Journal of ASTM International*, Vol. 4, No. 8, Paper ID JAI100667.
- 24- Weber, J., Gadermayr, N., Kozłowski, R., Mucha, D., Hughes, D., Jaglin, D., Schwarz, W., 2007, "Microstructure and mineral composition of Roman cements produced at defined calcination conditions", *Materials Characterization*, 58 (2007), Elsevier, pp.1217-1228.