

## THE MORTAR, PLASTER and OTHER COMPOSITE MATERIAL BINDERS and THEIR PROPERTIES

### ABSTRACT

The appreciated and healthy conservation and restoration remedies on monuments and historical buildings can be achieved by the chemical, physical and mechanical compatibilities of original and restoration materials used as mortar, plaster, stone, brick etc. To achieve this compability, it is a necessity to evaluate the chemical, physical and mechanical properties of new restoration materials as well as the original.

The mortar, plaster, jointing materials and other composite building materials are important elements of the historical buildings, as be modern buildings. Because of their special characteristics and problems, the conservation works on the historical buildings should need deep care and sensitivity. But in previous restorations, since the necessary works on materials were neglected and the originals were replaced with contemporary materials, the documental value of historical buildings was lost.

To produce similar or compatible mortars and plaster for an historical building, it is necessary to know the old binders, fillers and additives, used in their time. It is also necessary to know their properties, preparations, periods and application techniques as well as decomposition mechanism and reasons. Because of this, the properties of historical mortars, plasters, and, mud, gypsum, non hydraulic and hydraulic lime, and, early cement binders were researched by restorers and related technical staffs.

In this study, the information about the properties of binders and their periods, those used in mortar, plaster and other composite materials, are given.

# Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri

TÜLAY UĞUR, AHMET GÜLEC\*

## Giriş

Yirmi birinci yüzyılda, doğal ve tarihi çevrelerini korumada göstermiş oldukları beceri ve başarı, ülkelere doğal ve kültürel zenginlik alanında olduğu kadar, siyasal alanda da güç ve prestij sağlamaktadır (Tankut, 2005).

Ancak taşınmaz eserlerin yapım aşamasında ve sonrasında, en temel yapı malzemelerinden olan harç ve sıvalara, yakın zamana kadar birçok restorasyon çalışmasında gereken önem verilmemiş ve korunmaları konusunda herhangi bir dikkat gösterilmemiştir. Bunun başlıca nedeni; yapılara taşıyıcılık, biçim, estetik gibi özellikleri veren taş, tuğla, kerpiç, ahşap gibi yapı malzemelerinin daha ön plana çıkmasıdır. Harçlar strüktürü oluşturan yapı malzemelerinin birbirleriyle olan bağlantısını sağlarken, sıvalar bu yapı malzemelerini korumak ve/



Şekil 1a-b. İstanbul, Fatih ilçesi'nde yer alan Demirhun Camii'nin dış yüzeyinde uygulanmış olan güncel sıva malzemesi ve detayı.

veya estetik görünüm sağlamak için kullanılmaktadır.

Anıtsal ve sivil yapıların restorasyon çalışmalarında, harç ve sıvaların çoğunlukla yeniden üretilmesi gerekmektedir. Orijinaline uygun harç-sıva imal edilebilmesi için onarılacak yapıya ait özgün malzemelerin kimyasal, fiziksel ve fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Bu özellikler, yapılması düşünülen onarımlarda kullanılacak harç ve sıvanın kompozisyonu hak-

kında kesine yakın bilgiler verecektir. Bu bilgilerden daha da önemlisi, orijinal harç ve sıvaların; üretildikleri ve/veya kullanıldıkları dönemin arkeolojik özellikleri, mimarisi, sosyal yapısı ile endüstriyel teknolojisi hakkında veri sağlamasıdır. Ancak, bu malzemeler için gerekli belgeleme ve diğer çalışmalar çoğunlukla göz ardı edilerek ya yapılmamış ya da eksik yapıldığından dolayı onarılacak binaya ait özgün malzemeler yitirilmiştir (Şekil 1a-b).

\* Ars. Gör. Tülay UĞUR; Selçuk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, e-posta: tulayugur2000@hotmail.com; Doç. Dr. Ahmet GÜLEC, Emekli Öğretim Üyesi, e-posta: gulecah@istanbul.edu.tr (Makalede kaynağı belirtilmeyen görseller müelliflerine aittir).

Bununla birlikte özellikle 1980'li yıllardan sonra, harç, sıva ve yapılarda kullanılan diğer malzemelerin nitelikleri ve sorunlarını belirlemek üzere yapılan çalışmalarda, yeterli olmasa da artış olmuş; günümüzde ise bu amaçla yapılan analizler neredeyse standart hale gelmiştir.

Harç, sıva ve diğer kompozit malzemelerin içeriklerini belirlemek üzere analizler yapılmadan önce bu gibi malzemeleri oluşturan temel

elemanların; yani bağlayıcı, dolgu ve katkıların bilinmesi gereklidir. Harç ve sıvalarda kullanılan dolgu ve katkı maddeleri çoğunlukla doğal kaynaklardan elde edilmekte, bağlayıcılar içinse teknolojik bir işlem gerekmektedir. Bu nedenle harç ve sıvaların teknolojileri, daha çok içeriklerindeki bağlayıcıya göre belirlenmekte ve adlandırılmaktadır (kil harcı, kireç harcı, alçı harcı, vb.). Roma, Bizans, Osmanlı ve daha

sonraki dönemlere ait harç ve sıvaların analizinde malzemenin niteliğini ve dönemini tanımlamada belirleyici olan eleman, bağlayıcı içeriğidir. Dolayısı ile geçmişte üretilmiş olan harçların ve sıvaların niteliklerini ve teknolojik gelişmelerini belirleyen bağlayıcıların neler olduğunun kısa bir tarihçesi ile birlikte bilinmesi, geçmiş uygarlıkların inşaat teknolojileri hakkında da bilgi verecektir.

## 1. Harç ve Sıva Malzemeleri

Ana bileşenleri bağlayıcı ve agrega olan harç ve sıvalar, gerektiğinde doğal ve sentetik katkı maddeleri içerebilen karışımlardır. Ağırlıkça ya da hacimce belirlenen oranda bağlayıcı malzeme ile kum ve taş kırığı gibi dolgu malzemelerinin karıştırılmasıyla hazırlanan ve belli miktarda su ile hidrasyon ve işlenebilirlik özelliği kazanan, katılaşma özelliğine sahip bu karışımlar; içerdikleri bağlayıcı türüne göre kil, alçı, kireç, çimento ve melez harçlar olmak üzere beş ana gruptan oluşmaktadır. Harca gerekli olduğunda mineral esaslı pigment(ler) de katılmaktadır (Toten, 1938; Ashurts, 1984; Güleç, 1992; Borelli, 1999; Balksten, 2007; Eriç, 2010; Kozlu, 2010).

Çeşitli amaçlarla kullanılan bu karışımlar, yapıda kullanıldıkları yere göre harç ya da sıva olarak adlandırılmaktadır. Harçlar yapılarda; boşluklarda dolgu, sertleşme ve güçlü adhezyon özelliklerinden dolayı taş ya da tuğlalar arasında yapıştırma amacıyla ve yanı sıra eşit yük dağılımını sağlamak üzere kullanılır. Sıvalar ise; duvar, tavan ya da tabanda koruma, estetik amaçlı olarak ve düzgün bir yüzey elde etmek üzere uygulanır (Güleç, 1992; Borelli, 1999; Eriç, 2010).

Harç ve sıvalarda kullanılan hammaddelerin özellikleri ve reaksiyonları kadar, tarihsel gelişim süreçleri de önemlidir (Güleç, 1992). Tahmini olarak 4,5 milyar yıl yaşındaki dünya üzerinde, insanın yapı ve diğer üretimlerini

21. yüzyılda doğal ve tarihi çevreyi korumada göstermiş oldukları beceri ve başarı, ülkelere doğal ve kültürel zenginlik alanında olduğu kadar, siyasal alanda da güç ve prestij sağlamaktadır.

saptayabildiğimiz en eski dönem, jeolojik Pleistosen buzul devrinin bitmesi ile başlayan Neolitik çağdır. İnsanların kullandığı ilk yapı malzemeleri, yakın çevrelerindeki yerel malzemeler olup bu hammaddeleri şekillendirmek ve iyileştirmek için yapılan girişimler malzeme teknolojisindeki gelişmenin de ilk başarılarıdır (Akman, 2003).

Tarihte kullanılan ilk harç malzemesi olan kil, Mezolitik çağdan itibaren kullanılmaktadır (Akman, 2003; Eriç, 2010). Daha sonra bağlayıcı malzeme endüstrisinin gelişmesi ile Mısır'da alçı, Roma'da kireç ve puzzolanik özelliği olan malzemeler kullanılmıştır. Osmanlı Dönemi'nde daha çok kireç harcı ve horasan harcı olarak isimlendirilen puzzolanik harç kullanılmıştır. Avrupa'da, 18. yüzyılda Grapye ve su kireci (Romen çimentosu) ile hazırlanan harçlar, 19. yüzyılda ise çimento bağlayıcı harçlar kullanılmaya başlanmıştır (Eriç, 2010).

Günümüzde, farklı dönemlere ait ya da değişik zaman dilimlerinde onarım görmüş tarihi yapıların belirli bölgelerinden alınan harç

ve sıvalar üzerinde yapılmış olan karakterizasyon çalışmaları sonucunda, bu malzemelerin dönemsel olarak ayırt edici özellikleri belirlenebilmektedir. Saptanan bu karakteristik veriler, yapıların tarihlendirilmesinde ve geçmiş olduğu dönemsel onarımların tespitinde oldukça önem kazanmıştır.

### 1.1. Bağlayıcılar

Harç, sıva vb. kompozit karışımlar, zaman zaman katkı malzemeleri de kullanılmış bağlayıcı ve dolgu karışımları olarak tanımlanmaktadır. Bu karışımlarda kullanılan bağlayıcı malzemeler ilk çağlarda inşaat teknolojisinin en büyük sorunu olmuştur (Akman, 2003). Suyla karıştırıldığında plastiklik özelliği kazanan, kum, çakıl, taş kırığı, tuğla ve benzeri doğal ve/veya yapay dolgu maddelerini birbirine bağlayarak (yapıştırarak) uzun zaman dayanıklılığını koruyan ve kütle haline getiren maddeler, "bağlayıcı" adı altında toplanmaktadır (Artel, 1969; Güleç, 1992; Borelli, 1999; Baturayoglu-Yöney, 2008; Kozlu, 2010). Alçı, kireç ve çimento gibi bağlayıcılar yanında bitüm, katran, kil ve koloidal nitelikli bazı maddeler de kimyasal özellikleriyle, bağlanma sistemi birbirinden farklı olan bağlayıcı grupları olarak değerlendirilebilir (Artel, 1969; Güleç, 1992).

Bağlayıcılar katılaşma (prizlenme) özelliklerine göre üç grup altında toplanır:

1- Su kaybı ile prizlenen bağlayıcı malzemeler (kil),

2- Su ile reaksiyona giren bağlayıcı malzemeler (alçı, hidrolik kireç, çimento),

3- Havadaki karbondioksit ile reaksiyona giren bağlayıcı malzemeler (non-hidrolik kireç) (Güleç, 1992; Borelli, 1999; 2008; Kozlu, 2010).

Eckel, bağlayıcı malzemeleri temelde; birincil olarak, üretim ve kullanım proseslerinin yol açtığı kimyasal değişikliklerin miktarına, ikincil olarak da prizlenme sonrası meydana gelen kimyasal oluşumlara göre, basit bağlayıcılar ve karmaşık bağlayıcılar olmak üzere iki ana grup altında sınıflandırmıştır (Eckel, 1922; Baturayoglu-Yöneş, 2008; Kozlu, 2010).

**1- Basit bağlayıcılar:** Hammaddeleri ve sertleşmiş (prizlenme sonrası) haldeki kimyasal yapıları benzer olan bu bağlayıcılar; doğal bir ham maddeden, ısı ile içerisindeki bir sıvı ya da gazın uzaklaşması sonucu elde edilmektedir. Bu malzemeler bağlayıcı özelliklerini, kaybettikleri sıvı ya da gazı geri alarak özgün kimyasal yapılarına dönmeleri sonucu kazanır. Bu tür bağlayıcılar yine Eckel tarafından iki alt gruba ayrılmıştır:

■ **Hidrat bağlayıcılar veya alçılar:** İçerisindeki suyun uzaklaştırılması sonucu üretilen bu maddeler, kaybettikleri suyu geri alarak sertleşir. Alçı çeşitleri: Paris alçısı (*plaster of Paris*), jips alçısı (*gypsum plasters*), çimento alçısı (*cement plasters*) vb.'dir.

■ **Karbonatlı bağlayıcılar ya da kireç ve manyezitler:** Kireçtaşı ya da manyezit gibi içeriğindeki CO<sub>2</sub>'in uzaklaştırılması sonucunda üretilen bu maddeler, tekrar çevresinde bulunan CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girerek sertleşir (kireç, manyezit).

**2- Karmaşık bağlayıcılar:** Üretim ya da kullanım sırasında meydana gelen yeni kimyasal bileşikler vasıtasıyla sertleşme özelliği kazanan bu malzemeler, kendi hammaddelerinden farklı kimyasal yapılara sahiptir. Bu grup, kendi içerisinde üç alt gruba ayrılmıştır:

■ **Silikatlı bağlayıcılar ya da hidrolik çimentolar:** Sertleşme özelliğini üretim ya da kullanım sırasında silikatların oluşması sonucu



Şekil 2. Kubbe için hazırlanan çamur sıva ve kullanım sonrası genel görünüşü (İstanbul Atik Valide Camii Külliyesi)

kazanan bağlayıcılardır (hidrolik kireçler, Grappier çimentosu, doğal çimento, Portland çimentosu, puz-zolan çimentosu).

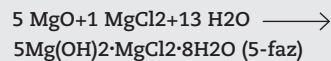
■ **Alüminat çimentoları:**

Sertleşme özelliğini üretim ya da kullanım sırasında oluşan kalsiyum alüminatlar sonucu kazanan bağlayıcılardır (kalsiyum alüminat çimentoları).

■ **Oksi-klorür bağlayıcılar:**

Sertleşme özellikleri oksi-klorürlerin oluşumuna bağlı olan bağlayıcılardır (manyezitli çimentolar, Sorel çimentosu) (Eckel, 1922; Baturayoglu-Yöneş, 2008; Kozlu, 2010).

Sorel çimentosu olarak tanımlanan manyezitli çimentolar, katı MgO ile MgCl<sub>2</sub>'ün karıştırılmasıyla üretilir ve su ile karıştırıldığında prizlenmesi aşağıdaki reaksiyon ile olur (Ring and Ping, 2014, Eckel; 2005; Baturayoglu-Yöneş, 2007; Kozlu, 2010).



Yapıların inşası ve onarımı açısından oldukça önemli olan alçı, kireç ve çimento gibi kalsiyumlu bağlayıcıların donma ve sertleşme mekanizmaları birbirinden farklı olup "hidrolik" ve "non-hidrolik" bağlayıcılar olarak sınıflandırıl-

maktadır. Alçı, su kireci (hidrolik kireç) ve çimento, su ile reaksiyona giren, yani hidrasyonla sertleşen hidrolik bağlayıcılardır. Su ile reaksiyona girmeden, içeriğindeki suyun buharlaşma yoluyla uzaklaşması ve havadaki CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girmesi sonucu sertleşen kireç (hava kireci) gibi bağlayıcılar, non-hidrolik bağlayıcılar olarak adlandırılmaktadır (Artel, 1969; Güleç, 1992).

### 1.1.1. Killi toprak

Killer, doğal alüminyum silikatların ve özellikle feldspatların atmosferik ve hidrotermal etkiler sonucu ayrışmasından veya volkanik kayaçların çözünmesinden meydana gelen, genellikle 2µ'dan (0,002 mm) küçük taneli maddeler olarak tanımlanmaktadır. Doğada hiçbir zaman saf halde bulunmayan kilin içeriğinde, alüminyum silikatlarla birlikte feldspat, kuvars, mika kırıntı ve kalıntılarıyla, demir, magnezyum, potasyum, kalsiyum, sodyum gibi metallerin oksitleri olan safsızlıklar bulunmaktadır. Ayrıca birçok kil mineralinin içeriğinde organik madde ve suda çözünebilir tuzlar da bulunabilmektedir (Artel, 1969; Malayoglu ve Akar, 1995). Doğadaki sular, bu mineralleri sürükleyerek ufalayıp yogurduktan sonra uygun



yerlere yığılarak kil yataklarının oluşmasını sağlar. Ana bileşen maddesi, polimerleşmiş hidrate alüminyum silikatlar olan killer, “ $m \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{SiO}_2 \cdot p \text{H}_2\text{O}$ ” genel formülü altında toplanır ve bol su ile ıslandıklarında iyonlaşarak çift katlı tabakalar oluşturur. Tabakaların araları,  $\text{H}_2\text{O}$  moleküllerini çekme özellikleri nedeniyle su ile dolar, dolayısıyla bu minerallerden bir veya birkaçını çeşitli oranlarda içeriğine alan killer çeşitlerine göre, karakteristik özellikleri olan şişme, kayganlık ve plastiklik yeteneklerini kazanır. Killer plastik özelliklerini, tabaka halindeki sulu alümina silikatların plaka şeklinde olması ve bunların su sayesinde birbiri boyunca kayması sonucu elde eder. İnce taneçiklerden oluşması ve suyla karıştırıldığında istenilen şekli alabilen, yapışkan ve plastiklik niteliği olan bir hamur haline gelebilmesi, kilin en önemli özelliğidir (Roy, 1954; Artel, 1969; Sazcı, 2001).

Mezolitik çağdan itibaren çeşitli amaçlarla kullanılmış olan kilden önce, su ile muamele edilen topraktan yararlanılmıştır. Bazı topluluklar, göçtükleri yerlerde inşaata uygun toplama taş bulunmamasından dolayı ilk yapay taş olan kerpici icat etmişlerdir (Akman, 2003).

Yapımında kullanılan killi toprağın doğada yaygın olarak bulunması ve kolay ve ekonomik bir şekilde üretilebilir olmasından dolayı geleneksel yöntemlerle imal edilen kerpîç, dünyanın birçok yerinde hâlâ yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Koçu ve Korkmaz, 2004; Eriç, 2010) (Şekil 2). Geçmişte olduğu gibi günümüzde de, kilin belli sıcaklıklarda pişirilmesi sonucu seramik, tuğla, kiremit, sıhhi tesisat elemanları, künk, elektrik izolatörleri, çini ve fayans gibi malzemeler üretilmektedir (Eriç, 2010).

Kerpîç üretiminde kum ve kil asıl malzemelerdir; kil yapıstırıcı olarak önemli rol üstlenmektedir. Kerpîç, bağlayıcı killi toprak ile çatlamayı önleme amaçlı; kum, saman, saz parçaları, keçi kılı, deve yünü, pirinç sapı gibi doğal ürünlerin katkı malzemesi olarak karıştırılması ve belli oranda su ilavesi ile



Şekil 3. Malatya’da halen kullanılmakta olan bir kerpîç evden detay.

plastiklik özelliği kazanan, kuruma sonucu sertleşme özelliğine sahip olan bir malzemedir. Ayrıca hayvan iç yağının hazırlanan karışıma eklenmesi kerpîcin suya ve neme karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Kerpîç üretmek üzere hazırlanan kuru karışım düz bir alanda toplanır, ortasına çukur açılıp suyla doldurulur. En az iki gün bu şekilde bekletilerek karışımın bütün parçacıklarının ıslanması sağlanır. Daha sonra kürekle karıştırılıp ayakla ezilerek hazırlanan kerpîç harcı, ahşap kalıplara dökülerek şekillendirilir ve kurutulur (Rezaei, 2007).

Kerpîç yapı malzemesi olarak Neolitik Çağ’da, Anadolu’da Çatalhöyük, Aşıklı Höyük ve Hacılar’da; Kalkolitik Çağ’da Can Hasan, Alişar ve Arslantepe’de; Hitit Dönemi’nde Kültepe ve Boğazköy gibi birçok yerleşim merkezinde kullanılmıştır (Naumann, 1975; Frangipane, 1997; Mellaart, 2003; Kozlu, 2010) (Şekil 3).

### 1. 1. 2. Alçı

Alçı, harç ve sıva olarak eski zamanlardan beri büyük oranda yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak ilk kullanım örneklerine Mısır’da rastlanmıştır. MÖ 3000 yıllarında Mısır piramitlerinde harç, derz harcı ve duvar sıvası olarak kullanılan alçının; Ortadoğu’da da yaygın

biçimde kullanıldığı ve Erken Yunan Dönemi’nde alçıtaşı, selenit gibi doğal hammaddelerin ustalar tarafından yakılarak (kalsine edilerek) üretildiği belirlenmiştir (Güleç, 1992; Sharpe and Cork, 2006).

Mısır’ın Sakkara ve Keops piramitlerinin derzlerinde dolgu maddesi olarak kullanılan alçı, Çatalhöyük’te duvar kaplama ve süsleme malzemesi olarak ortaya çıkmıştır; bu ören yerinde alçıdan üretilmiş bir de sandık bulunmuştur. Elde edilen bu bulgular, Neolitik ve Kalkolitik çağlardaki bazı toplumların alçıyı elde etme ve kullanmayı bildiklerini göstermiştir (Akman, 2003). Londra’da 1766 yılında meydana gelen yangında ahşap yapıları koruduğu gözlenen alçının kullanımı bilahare Paris’te zorunlu hale getirilmiş, sıva alçısı; “Paris alçısı” (*Plaster of Paris*,  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) veya “Stucco” olarak adlandırılmıştır (İpekçi ve Aköz, 2010).

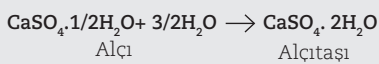
Alçı mineralleri, değişik sıcaklıklarda çeşitli molekül formlarına dönüştürülebilmektedir. Selenit veya alçıtaşının (*gypsum*) uygun sıcaklıklarda kısmi veya tamamen su kaybına uğratılması ile elde edilen alçının en önemli özelliği, hidrasyon niteliğidir. Doğal alçı olan selenit ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) saydam, camsı iğne biçimli ve sıkı mikro

kristal yapıda olup yoğunluğu 2,3 g/cm<sup>3</sup>'tür. Anhidrit alçının (CaSO<sub>4</sub>) yapısı ise sıkı, bazen de kristal veya şeker yapısı biçiminde olup yoğunluğu 2,8- 3,0 g/cm<sup>3</sup>'tür. Anhidrit alçı, açık havada veya fazla nemli yerlerde kullanıldığı takdirde hidrasyona uğrayarak selenite (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) dönüşür ve hacminde artış olur (Artel, 1969; Güleç, 1992).

Alçı minerallerinden, içerdikleri molekül suyunun farklı sıcaklıklarda kısmen ya da tamamen uzaklaştırılması sonucu değişik yapay türler elde edilir. Alçıtaşının ya da selenitin 130°C'de kızdırılmasıyla sıva ve harç olarak kullanılan, Paris alçısı olarak bilinen alçı (hemi-hidrat) elde edilir.



Fırın ortamı ve sıcaklık, alçı olarak tanınan hemi-hidrat (yarı hidrat) alçının tekrar sertleşmesinde etken olan kristal yapıyı etkiler. Bu şekilde elde edilen alçı, toz halinde öğütülüp su ile karıştırılarak kullanılır. Alçının katılaşması (hidrasyonu) pişmenin tersi yönde bir kimyasal reaksiyonla, kaybettiği suyu aralık kristalleşmesi sonucunda gerçekleştirir (Güleç, 1992; Borelli, 1999; Akbulut, 2006).



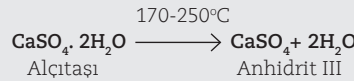
Alçının suyla olan reaksiyonu ekzotermik olup reaksiyon (sertleşme) sırasında ısı vererek bir miktar suyun buharlaşmasına neden olurken, molekülüne aldığı suyla da hacminde az miktarda bir artış olur (Güleç, 1992).

Hemi-hidrat alçının α ve β olmak üzere iki farklı formu vardır: α-hemi hidrat alçı, alçıtaşının yüksek basınç altında su buharlı ortamda kızdırılması sonucu elde edilir; harç olarak hazırlandığında su ile olan reaksiyonu oldukça yavaştır. Alçıtaşının kuru atmosferde ve normal basınçta kızdırılmasıyla elde edilen β-hemi hidrat alçının su ile olan reaksiyonu ise daha hızlıdır (Güleç, 1992).

Alçının suyla olan reaksiyonunu

hızlandırmak amacıyla tuz ve şap gibi katkı maddeleri, alum, sodyum karbonat, sodyum sülfat, potasyum sülfat, çinko sülfat, alüminyum sülfat gibi maddeler veya %0,1'lik konsantrasyonda sülfürik asit gibi inorganik asitler katılabildiği gibi, yavaşlatmak amacıyla zambak, jelatin, tutkal, kazein, kan, nişasta, gliserin, şeker, alkol, asetik asit, sitrik asit gibi organik maddeler ile boraks ve sodyum fosfat (%0,5- %1 oranında) da katılabilir (Eckel, 1922; Artel, 1969; Ashurst and Ashurst, 1990; Güleç, 1992; Kozlu, 2010).

Alçı minerali 130-170°C arasında kızdırılarak hemi-hidrat hale gelir, 170-250°C arasında kızdırıldığında ise tamamen dehidrasyona uğrayarak anhidrit III'e (susuz kalsiyum sülfat) dönüşür. Su ile olan reaksiyonu oldukça hızlı olan anhidrit III, su içermeyen, boşluklu ve hexagonal (altıgen) bir yapıdadır (Güleç, 1992).



Anhidrit III, 250°C'nin üzerinde kızdırıldığında kristal yapısında meydana gelen değişiklik sonucu, suda çözünmeyen anhidrit II'ye dönüşür. Anhidrit II, su ile reaksiyona girmediği için harç ve sıva olarak kullanılamamaktadır (Güleç, 1992).

Kuru ve sıcak iklimlerde, alçıtaşının anhidrit III dönüşümü kendiliğinden gerçekleşmektedir. Bu durum, alçı sıva ve harçların mekanik dayanımını azaltmaktadır. Anhidrit alçı günümüzden yaklaşık 3400 yıl önce, Mısır'da Amenhotep II'nin inşa ettiği Karnak Tapınağı taşlarının yerleştirilmesinde ve aynı yıllarda Girit'te yapılan Knossos Sarayı'nda kullanılmıştır (Güleç, 1992; Akman, 2003). Kalsiyum sülfatın çok az da olsa suda çözünebilir özellikte olması nedeniyle, alçının nemli bölgelerde ve açık havada kullanımı tercih edilmez. Alçı asidik nitelikte olduğundan yapılarda demirle birlikte kullanımı korozyona yol açtığı için önerilmemektedir (Artel, 1969; Ashurst and Ashurst, 1990; Güleç, 1992; Borrelli, 1999).

### 1.1.3. Kireç

Kirecin, Paleolitik çağda yaşayan insanların barındığı kalkerli taşlardan oluşan mağaralarda yaktıkları ateş sonucu elde edildiği tahmin edilmektedir (Akman, 2003). Fakat kalsiyum karbonatın kalsiyum okside dönüşmesi için gerekli olan 900°C'ye ulaşamadıkları için düşük kalitedeki bu kireci kullanmaları olanaksızdı. Neolitik ve Kalkolitik çağda kirecin badana malzemesi olarak kullanılmaktan öteye geçmediği bilinmektedir. Fakat tüm bu olumsuz bulgulara rağmen kirecin beton elde etmek için kullanıldığına dair arkeolojik kanıtlar mevcuttur. Günümüzden yaklaşık 3300 yıl önce, Tervat'ın Tesniye (Deutoronomi) bölümünde; İsrail kavminin, emirleri, taşları kireçle badana ettikten sonra yazmaları istenmiştir. Yine Aşıklı Höyüğü'nde ve Babil yapılarında kerpiç duvarlar kireçle badana edilmiştir (Akman, 2003).

Kireç kullanımına dair ilk kanıtlar yaklaşık olarak MÖ 8000 yıl öncesine kadar gitmektedir. Çayönü'ndeki kazılarda 7000-14.000 yıl öncesine tarihlenen sit alanında kireç harcı ile kaplanmış *terrazzo* bir zemin ortaya çıkarılmıştır. Ortadoğu'da yaklaşık yine 8000 yıl öncesinde, yanı sıra eski Yugoslavya'da Lepinski Vir'de 1960'larda ortaya çıkarılan ve MÖ 6000'e tarihlendirilen bir zeminde, kirecin kullanıldığına dair kesin kanıtlar mevcuttur. Lepinski Vir'de bulunan zemin, kireç, kum, kil ve su karışımından hazırlanan harçla yapılmıştır (Oates, 1998).

Çayönü'nde, İsrail'in Yiftah-El ve Ürdün'ün Eriha'da yapılan kazılarda ortaya çıkarılan ve Neolitik döneme tarihlenen çok yüksek dayanımlı, parlak, iyi sıkışmış taban döşeme harçları üzerinde yapılan mineralojik analizlerde, bunların kireç, puzulanik toprak ve pişmiş kille kum ve çakıl içerdiği saptanmıştır. Denizci bir kavim olan Fenikelilerin kolonileri Girit, Rodos ve Kıbrıs Adaları ile Teselya'daki Miken uygarlığında da benzer nitelikte harçlara rastlanmıştır (Akman, 2003).

Tibet'te günümüzden 5000 yıl önce Shersi piramitlerinin yapı-





Şekil 4a-b. Horasani harç olarak da adlandırılan, tuğla kırığı ve tozu katkılı kireç harcının hazırlanması ve kubbe yüzeyinde kullanımı (İstanbul Atik Valide Camii Külliyesi).

mında kullanılan kile, kireç ilave edilerek daha dayanımlı olması sağlanmıştır. Yine Çin Seddi ve Mısır piramitlerinin yapımında kireç kullanıldığı belirlenmiştir (Oates, 1998). Mezopotamya’da Khafaje’de ortaya çıkarılan ve yaklaşık MÖ 2450 yılına tarihlendirilen kireç fırınının, saptanan en eski kireç fırını olduğu tahmin edilmektedir. Yaklaşık olarak MÖ 1000’den itibaren, söndürülmüş ve söndürülmemiş kirecin, Yunan, Mısır, Roma, İnka, Maya, Çin ve Babür İmparatorluğu gibi birçok medeniyette, inşaatlarda yaygın olarak kullanıldığına dair kanıtlar mevcuttur (Oates, 1998).

Almanya Iversheim’da, lejyonerlerin yaşadığı bir bölgede ortaya çıkarılan seri şeklindeki altı kireç fırını, Romalıların askeri alanlarda kireç ürettiğini göstermektedir. Cato, MÖ 184’de kirecin fırınlarda üretiminden bahsetmiştir. Pliny (yaklaşık olarak MS 17’de) “*Chapters on Chemical Subjects*” adlı kitabında, kirecin üretimini, söndürme ve kullanımını tanımlayıp kimyasal saflığın önemini vurgulamıştır (Oates, 1998).

Dünya uygarlık tarihinde, çimento ve betonun sistematik olarak Romalılar ve kısmen Yunanlılar tarafından icat edildiği kabul edilmektedir. Yunanlılardan çok daha önceleri, kirece pişmiş toprak (tuğla) parçaları katılarak puzzolanik özellik kazandırılmıştır. Yunanlılar da kireç ve Santorini adasının toprağını (*Thera*) karıştırarak kullanmışlardır (Akman, 2003). *Thera*

antik kentinin yanındaki Delos adasında yer alan eski yapılarındaki puzzolanik harçların tarihleri, MÖ 2. yüzyıla kadar uzanmaktadır.

Roma Dönemi’nde, kireç bağlayıcı harç ve kireç bağlayıcı betona puzzolanik malzeme eklenerek kullanmak, imparatorluğun her tarafında yaygınlaşmıştır. Romalılar kireç yakma ve harç, çimento ve beton kullanma teknolojilerini geliştirmiş, kireci bağlayıcı olarak kullanmışlardır. Betonun (*opus caementitium*) Romalılar tarafından geliştirildiği yaygın bir kanı olmakla birlikte; Vitruvius, Yunan yapılarında kireç harç ve sıvaların kullanıldığına ve betonun muhtemelen Roma öncesi zamanlarda bilindiğine dikkat çeker. Puzzolan ilaveli kireçle hazırlanan harcın, sarnıçların duvarlarını su yalıtımı amacıyla kaplamak için kullanıldığını, Rodos’taki Kamerios (MÖ 500) sarnıcı üzerinde yapılan çalışmalar doğrulamaktadır (Moropoulou vd., 2005).

Romalılar da, kirece Vezüv Yanardağı yakınındaki Pozzuoli yöresinin toprağını katarak hidrolik özellik kazandırmış ve elde ettikleri bu karışıma dolgu olarak kum ve çakıl eklemişlerdir. Hidrolik kireç ve kireç ve puzzolan karışımından hazırladıkları harçla, Appian yolu da (MÖ 312) dâhil olmak üzere birçok yer inşa etmişlerdir (Oates, 1998; Akman, 2003; Moropoulou vd., 2005).

Vitruvius (MÖ 90-20), Mimarlık Üzerine On Kitap “*De Architectura*”

(MÖ 25 civarında yazıldığı tahmin edilmektedir) adlı eserinde, puzzolan ve kireç karışımlarının yarattığı hidrolik özelliklerden bahsetmiş ve harç için karışım oranları vermiştir. Kitapta, söndürülmüş 1 ölçek kirece eğer ocak kumu kullanılacaksa 3 ölçek kum, dere veya deniz kumu kullanılacaksa 2 ölçek kum katılarak kullanılmasının uygun olacağını; ayrıca dere veya deniz kumu kullanılacaksa 1/3 oranında dövülerek elenmiş, fırınlanmış tuğla kırığı katılırsa daha kaliteli bir harç elde edileceği de belirtilmiştir (Vitruvius, 2005).

Tuğla tozu, ağırlıklı olarak sıvalarda ve zeminlerin üst tabakalarında kullanılmışken, iri tuğla kırıkları duvarlar, kemerler ve temeller gibi yüksek nem ve su bulunduran yerlerde ve harçların performansını arttırmak üzere beton nitelikli yapı elemanlarında da kullanılmıştır (Moropoulou vd., 2005; Vitruvius, 2005).

Vitruvius aynı eserinde, Baiae yakınlarında ve Vezüv Dağı eteklerindeki kentlerin çevresinde bulunan bir toz (volkan külü) türünün kireç ve molozla karıştırıldığında çeşitli yapıların dayanıklılığını arttırdığını, ayrıca iskele ayaklarında kullanıldığında suyun altında da sertleşme (prizlenme) özelliği taşıdığını ifade etmiştir (Moropoulou vd., 2005; Vitruvius, 2005).

Bizanslılar yapıların taş ve tuğla örgülerinde kireç harcı kullanmışlardır. Romalılar kireç yapımında kullanılacak kireçtaşları konusunda

seçiciydiler, Bizanslılar ise o kadar titiz olmasalar da bazı bilimsel analizler yapıyorlardı; örneğin %8'den fazla oranda kil içeren kireçtaşlarından hazırlanan kireçle nemli ve sulu ortamlarda kullanılan harçlar yapılmaktayken, %20'den daha fazla kil içeren taşlar kireç yapımında kullanılmıyordu. Kievan Rus'ta (Kiev Dükalığı) bulunan Bizans harçları incelendiğinde farklı kalitedeki kireçlerin rastgele kullanıldığı saptanmıştır (Ousterhout, 1999).

Bizans harçları agrega olarak eklenen tuğla kırığına ve çakıl taşına bağlı olarak, griden pembeye çeşitli renk farklılıkları göstermektedir. Tuğla kırığı veya tuğla tozu, harca genellikle hidrolik özellik kazandırmasının yanı sıra, pembe renk vermek için de kullanılmıştır. Bu işlem, Roma döneminden beri kullanılmakta olup Vitruvius tarafından da tavsiye edilmiştir (Ousterhout, 1999).

Bizans harçları üzerinde yapılan analizler sonucunda, kaymak (hava kireci) kireç bağlayıcı ile tuğla kırığı agregası veya tuğla tozu arasında yavaşça gelişen kimyasal reaksiyonun (puzzolanik aktivite) beton gibi sert bir materyal oluşturduğu saptanmıştır (Şekil 4a-b). Tuğla kırıkları, harca dayanıklılık ve sağlamlığın yanında özel bir yoğunluk da sağlamaktadır. Ancak bu puzzolanik aktivitenin Bizans Dönemi'nde tam olarak anlaşılıp anlaşılmadığı bilinmemektedir. Bununla birlikte, tuğla parçacıklarının yoğun bir şekilde kullanılmış olması, yapı ustalarının bu malzemenin önemini bildiğini göstermektedir. İlk Erken Bizans harçları üzerinde yapılan çalışmalarda, rötre sonucu meydana gelen deformasyonların ilk başta yüksek seviyede olabildiği, fakat yaklaşık 30 gün sonra harcın nispeten daha dayanıklı hale geldiği görülmüştür (Ousterhout, 1999).

Ortaçağ kireç endüstrisi hakkında çok az şey bilinmekle birlikte, eski kilise ve belediye kayıtlarında kirecin özellikleri ve yapılarında kullanımı ile ilgili bilgilere rastlanmaktadır; 1400'lü yıllarda tüm Avrupa'da kirecin yapıarda kullanılması yaygınlaşmıştı. Ivory

Manastırı'nın, Selanik'teki bir çeşmenin onarımı ve büyütülmesinin gereklerini belirten 1423 yılına ait bir belgesinde, yedi kova sönmemiş kireç ile birlikte üç kova -muhtemelen çömlek kırığı veya tuğla kırığı olan- *ostraka* talep edilmiştir (Oates, 1998; Ousterhout, 1999).

Kimya, fizik ve diğer bilim dallarının geliştiği ve konuyla ilgili araştırmaların arttığı 1700'lü yıllarda Joseph Black, yüksek sıcaklıkta kireç taşından karbondioksit çıkışının nasıl gerçekleştiğini açıklamıştır. Black'in araştırmaları daha sonra Lavoisier tarafından geliştirilmiş ve 1766'da De Ramecourt, kireçtaşının çıkarılması ve kirecin yakılma prosedürü ile ekonomik yönünü anlatan, "The Art of the Lime Burner" adlı ayrıntılı bir açıklama yayınlamıştır (Oates, 1998).

Bağlayıcı olarak kullanılmasının dışında çeşitli amaçlarla farklı alanlarda kullanılan kireç, Romalılar tarafından kimyasal bir reaktif madde olarak da bilinmekteydi. MÖ 350'de Xenophon, kirecin keteni ağartmak için kullanıldığını belirtmiştir. Akdeniz insanlarının hemen hemen tamamı kireci boya olarak kullanmaya alışkındılar; ayrıca deri tabaklamak, organik bileşiklerle karıştırarak macun ve tutkal yapmak gibi birçok endüstriyel uygulamada da kullanılmışlardır (Oates, 1998).

Kireç, inşaat işleri dışında Asurlular tarafından cam üretimi ve toprak kapların sırlanması gibi işlerde kullanılmıştır; Dioscorides kirecin MS 75'de tıp alanındaki kullanımından bahseder. Söndürülmüş kireç Ortaçağdaki savaşlarda saldırı amacıyla da kullanılmıştır. İngilizlerin, 1217'de bir deniz savaşında düşmanlarının yüzüne kireç savurduğuna dair kayıtlar mevcuttur (Oates, 1998).

### 1.1.3.1. Kireç Harçları

Harç ve sıvalarda erken dönemlerden itibaren bağlayıcı olarak kullanılan kireç; ana maddesi tamamen ya da büyük oranda kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) olan kalkerli taşların atmosferik ortamda (1 atmosfer basınç altında)

yaklaşık olarak 900°C'de (en az 880°C) yakılması (kızdırılması) ile elde edilen kalsiyum oksidin  $\text{CaO}$  (sönmemiş kireç), su ile reaksiyonu (söndürülmesi) sonucu üretilen kalsiyum hidroksittir  $\text{Ca(OH)}_2$  (söndürülmüş kireç). Hammadde olarak kullanılan kireçtaşı, içeriğine göre havadaki  $\text{CO}_2$  ile reaksiyona girerek katılaşma özelliği gösterir (Davey, 1961; Boynton, 1980; Ashurst and Ashurst, 1990; Swallow ve Carrington, 1995; Ousterhout, 1999; Eric, 2010).

Kireç elde etmekte kullanılan taşlar, yüksek oranda (%97-%99) kalsiyum karbonat içermekte olup bunların dışında mermerler, dolomitik kireçtaşları ve killi kireçtaşları da kullanılmaktadır. Mermerler iri kristalli olduklarından, kalkerli taşlara göre sönmemiş kireç haline gelmeleri daha zordur ve kireç üretimine elverişli değildir. Dolomitik kireç, %5'ten fazla oranda  $\text{MgCO}_3$  içeren kireçtaşlarından elde edilmektedir. Dolomitik kireçtaşlarında  $\text{MgCO}_3$  oranı %43'e kadar yükselebilmektedir. Oluştugu yere, içerdiği safsızlıkların cinsi ve miktarı ile kullanım alanına göre, 40 kadar kireçtaşı çeşidi bulunmaktadır (Boynton, 1980; Güleç, 1992; Oates, 1998).

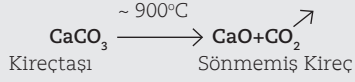
Kireç, geleneksel harç ve sıvalarda bağlayıcı olarak kullanılmıştır ve bu işlevi günümüzde de devam etmektedir. Katkı içeren veya içermeyen bağlayıcı ve dolgu karışımı olarak tanımlanan harç ve sıvaların geleneksel olanları, bağlayıcı kirecin içeriğine ve ilave edilen katkılarına göre üç ana grup altında sınıflandırılmıştır:

- 1- Non-hidrolik (hava kireci veya kaymak kireç) kireç harcı,
- 2- Hidrolik (su kireci) kireç harcı,
- 3- Puzzolanik (doğal ve yapay puzzolanik katkılı harç) kireç harcıdır.

### 1.1.3.2. Non-hidrolik (Hava Kireci) Kireç Harcı

Kirecin hammaddesi olan kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ), yüksek oranda (%97-%99) kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) minerallerinden oluşan taşların yaklaşık olarak 900°C sıcaklıkta

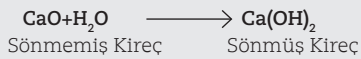
kızdırılması ve bu suretle molekül yapılarında bulunan karbonatın ( $\text{CO}_3^{=}$ ) ayrışması sonucunda, karbondioksitin ( $\text{CO}_2$ ) gaz halinde uzaklaşması ile elde edilmektedir (Güleç, 1992; Böke vd., 2004).



Kireçtaşının kalsinasyon (kızdırma) işlemiyle ayrışması, daima dış yüzeyden içeriye doğru olur. Dolayısıyla kireçtaşının boyutu büyüdükçe, iç kısımlarda da ayrışmanın olabilmesi için kalsinasyon sıcaklığı artırılmalıdır. Kalsinasyon sırasında dış kabuk ile çekirdek arasında 150-350°C'lik bir sıcaklık farkı oluşabilir (Çiçek, 1999).

Kireçtaşları gereğinden daha yüksek sıcaklıklarda muamele edilirse, sönmemiş kirecin ( $\text{CaO}$ ) suyla söndürülme reaksiyonu düzenli şekilde gerçekleşmez ve kireç pastasının içerisinde reaksiyona girmemiş olan kalsit kütleleri kalabilir. Kaliteli ürün elde edebilmek için sönmemiş kirecin hazırlanması ve söndürülmesi işlemi son derece dikkatle yapılmalıdır (Güleç, 1992).

Kireçtaşlarının kalsinasyonu ile elde edilen sönmemiş kireç ( $\text{CaO}$ ), ilave edilen su veya havada bulunan nem ile reaksiyona girerek kalsiyum hidroksite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dönüşür. Sönmemiş kirecin, sönmemiş kirece  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dönüşebilmesi için, havada bulunan bağıl nemin %15 oranında olması yeterlidir (Böke vd., 2004; Boynton, 1980).

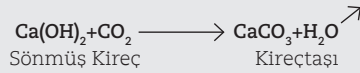


Suyla kirecin söndürülmesi olarak adlandırılan bu reaksiyon, ekzotermik olduğu için işlem sırasında ısı açığa çıkmakta ve karışımın sıcaklığı 300°C'ye kadar yükselebilmektedir. Kirecin söndürülme işlemi sırasında doğru miktarda su kullanılmasıyla toz halinde, fazla miktarda su katılması durumunda ise pasta halinde sönmemiş (kaymak) kireç elde edilir. Bu şekilde elde edilen ürün, havadaki

$\text{CO}_2$  ile reaksiyona girerek sertleştiği için; hava kireci (non-hidrolik), kaymak kireç veya yağlı kireç olarak adlandırılmaktadır. Pasta halinde söndürülmüş olan kirecin birkaç ay, hatta birkaç sene bekletilmesi sonucunda, plakalar halinde oluşan kalsiyum hidroksit (portlandit) kristalleri, kirecin plastik özelliğini ve işlenebilirliğini arttırmaktadır (Güleç, 1992).

Söndürülmüş kirecin, uzun yıllar hava ile temas etmeden bekletildikten sonra kullanılması gerektiği, Roma Dönemi'nden beri bilinmektedir. Yine aynı dönemde, kirecin en az üç yıl bekletildikten sonra kullanılması gerektiği kaynaklarda belirtilmiştir (Böke vd., 2004).

Sönmemiş kirecin prizlenmesi (kalsiyum karbonat haline dönüşerek sertleşmesi), kirecin içeriğinde bulunan suyun uzaklaşırken havada (veya çevresinde) bulunan karbondioksit ile reaksiyonu sonucu gerçekleşir ve bu suretle tekrar kireç taşı oluşur.



Sönmemiş kirecin karbonatlaşması gaz-sıvı-katı reaksiyonu ile açıklanmaktadır. Gaz halindeki karbondioksitin kirecin yüzeyinde veya gözeneklerindeki yoğunlaşmış su içerisinde çözünmesi sonucunda; hidrojen ( $\text{H}^+$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) ve karbonat ( $\text{CO}_3^{=}$ ) iyonları oluşur ve su asidik hale gelir. Asidik suda sönmüş kirecin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  çözünmesiyle, kalsiyum ( $\text{Ca}^{=}$ ) iyonları oluşur. Kalsiyum iyonları ile karbonat iyonları birleşerek kalsiyum karbonatı ( $\text{CaCO}_3$ ) meydana getirir (Böke vd., 2004).

Sönmemiş kirecin karbonatlaşmasına etki eden faktörlerin en önemlileri; su miktarı, karbondioksit gazının konsantrasyonu ve kirecin gaz geçirgenliğidir. Karbondioksit konsantrasyonunun artması ile karbonatlaşma da artmakta, suyun olmaması veya aşırı miktarda olması durumunda ise karbonatlaşma çok yavaş seyretmektedir. Ayrıca bağıl nem karbonatlaşmayı etkileyen diğer bir etken olup ortamın

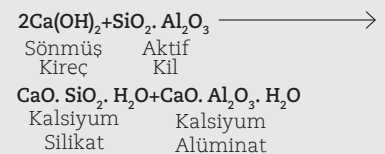
bağıl nemi arttıkça karbonatlaşma da artmaktadır. Sönmemiş kirecin karbonatlaşması, kirecin dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru olmaktadır. Buna bağlı olarak kireç harçlarının ve sıvalarının kalınlığı, kireç ve agrega oranları, agrega dağılımları, karıştırma işlemi ve bunların sonucunda oluşan gözenekli yapı, karbonatlaşmaya etki etmektedir (Böke vd., 2004).

### 1.1.3.3. Hidrolik Kireç (Su Kireci) Harcı

Su kireci, bileşiminde %10'dan fazla kil bulunan killi kalkerlerin (marnlı kireçtaşları) sinterleşme sınırının altında kızdırılmasıyla elde edilir. Öğütme yoluyla toz haline getirilen su kireci, su ile karıştırıldıktan sonra belirli bir süre zarfında, havada veya su altında herhangi ek bir maddeye ( $\text{CO}_2$  gibi) ihtiyaç duymadan reaksiyona girerek prizlenen (sertleşen), bağlayıcı bir malzemedir (Torraca, 1982; TS 30, 1993; Akbulut, 2006).

Hidrolik harçlar, doğal hidrolik kireç kullanılarak veya hava kireci (kaymak kireç) ile doğal ya da yapay puzzolanların karıştırılması sonucu elde edilir. Hidrolik kireç kullanılarak elde edilen harçlar, kirecin kalsiyum karbonata dönüşmesiyle ve içinde bulundurduğu kalsiyum alüminat silikatların su ile girdiği reaksiyon sonucunda, kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminat hidratları oluşturulmasıyla sertleşir. Hidrolik harçların mukavemetleri, kimyasal reaksiyon sonucu oluşan bu ürünlerden dolayı non-hidrolik harçlardan daha fazladır (Böke vd., 2004).

Hidrolik kireç veya hidrolik harçların tarihsel gelişimine bakıldığında, MÖ 4. yüzyılda bazı volkanik kökenli aktif silikat ve alüminat içeren malzemelerin (tüf, puzzolana, tras, vs.) kireçle olan karışımlarının, havaya ve su kaybına ihtiyaç duymadan sertleştiği görülmektedir.





Killi kireç taşlarının kızdırılması sırasında, 400-600°C’de ayrışan killer, 950-1250°C’de karışıma ilave edilen veya bu kızdırma esnasında oluşan kireç ile birleşerek, kalsiyumlu silikat ve alüminatları, özellikle de trikalsiyum silikat ve dikalsiyum alüminatları oluşturur (Ashurst, 1997). Havaya ve su kaybına ihtiyaç duymadığı ve su ile reaksiyona girerek prizlendiği için hidrolik kireç olarak adlandırılan bu tür malzemelerle hazırlanan harç ve sıvalar, su içerisinde katılaştıkları gibi, suya, özellikle de deniz suyuna karşı olan dirençlerinden dolayı Klasik Çağ’da nemli bölgelerle deniz kıyısında kurulmuş olan şehirlerde “Roman harcı” adı altında yaygın olarak kullanılmıştır.

Ortaçağ, bağlayıcı malzemelerin teknolojisinin gelişmesi açısından karanlık bir dönemdir. On sekizinci yüzyılda bağlayıcı malzemeler konusunda yapılan çalışmalar artmıştır; 18. yüzyıl sonu ve 19. yüzyıl başlarında, bağlayıcı üretim teknolojisinde büyük gelişmeler olmuştur. J. Smeaton, 1756 yılında kireçtaşının ve kilin birlikte kızdırılmasıyla elde edilen ürünün hidrolik özelliğini keşfetmiştir. Elde ettiği su kireci hakkında “en iyi Portland taşına denk” (İngiltere’ye bağlı Portland adasında bulunan doğal bir taş) ifadesini kullanmıştır. J. Parker’in 1796 yılında killi kalker taşı kızdırarak elde ettiği bağlayıcıdan çok iyi bir sonuç alması ve Romalıların kullandığı hidrolik kirece izafeten, bu malzemeye “Roma Çimentosu” adını vermesi ile çimento üretiminde ilk adımlar atılmıştır. Roma Çimentosu (*Roman Cement*) adı verilen ve hidrolik özellik taşıyan bu malzemenin Roma Dönemi çimentosu ile bir ilgisi bulunmamaktadır (Postacıoğlu, 1986; Akman, 2003; Eriç, 2010) (Şekil 5).

Vicat, bu harçların hidrolik özelliği üzerine detaylı araştırmalar yapmıştır. Vicat’ın yapmış olduğu çalışmaların sonucunda, hidrolik kireç, kireçtaşlarının içerdiği kil oranına göre şu şekilde



Şekil 5. Hidrolik kireç bağlayıcı ile tuğla kırığı agrega ve sıva olarak kullanımı (İstanbul Atik Valide Camii Külliyesi)

gruplandırılmıştır:

- Zayıf hidrolik kireç (NHL 2,5): %12’nin altında kil içeren kireçtaşlarının kızdırılmasıyla,
- Normal hidrolik kireç (NHL 3,5): %12- %18 arasında kil içeren kireçtaşlarının kızdırılmasıyla,
- Güçlü hidrolik kireç (NHL 5): %18- %25 arasında kil içeren kireçtaşlarının kızdırılmasıyla elde edilmektedir (Borrelli, 1999).

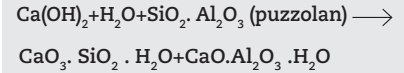
#### 1.1.3.4. Puzzolanik Kireç Harcı

##### a. Puzzolan

Puzzolanlar kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, öğütülüp toz haline getirildiği ve sulu ortamda ve oda sıcaklığında kireç ya da çimento gibi bağlayıcı malzemelerle karıştırıldığında, bu malzemelerin içerisinde bulunan kalsiyum hidroksitle Ca(OH)<sub>2</sub> reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan; aktif silisli veya silis ve alüminalı doğal veya yapay malzemelerdir (Eckel, 1922; Artel, 1969; Postacıoğlu, 1986; Ashurst and Ashurst, 1990).

Başlıca bileşenleri; belirli miktarda aktif silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) ve alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) olmak üzere, çok daha az miktarda demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnezyum oksit (MgO) ve diğer oksitlerden oluşan puzzolanın esas maddesi silis olup oranı %40 ilâ %90’dır

(Massazza, 1989; Borelli, 1999). Puzzolanik maddeler içeriklerinde yüksek oranda aktif durumda SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulundurduğundan, nemli ortamda kalsiyum hidroksitle Ca(OH)<sub>2</sub> tepkimeye girmesi kolaydır. Bu yüzden kireçle karıştırıldıklarında bağlayıcı özelliği kazanarak, suda çözünmeyen bileşikler (kalsiyum silikat hidrat (CSH) ve kalsiyum alümina hidrat (CAH) oluşturur (Borelli, 1999).



Puzzolanik maddeler; doğal (tüf, puzzolan, Santorin toprağı, Ren trası, beyaz İtalyan toprağı, silisli topraklar, killi-aktif maddeler, doğal ortamda pişmiş killer) ve yapay (pişmiş şistler, pişmiş killer, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü) puzzolanlar olarak iki grupta toplanır (Kozlu, 2010).

Puzzolanların aktiviteleri, partiküllerin her birinin yüzeyinde açığa çıkan hidroksil gruplarının sayısına ve düzenlenme şekline bağlıdır. Doğal puzzolanların puzzolanik aktifliği, parçacık boyutları (inceliği) ile orantılı olup boyut küçüldükçe aktiflik özelliği de artar. Puzzolanın inceliğinin ortalama 3000 cm<sup>2</sup>/g ile 7200 cm<sup>2</sup>/g arasında olması önerilmektedir (Koçu, 1997; Kozlu, 2010). Mevcut standartlara göre puzzolanların özgül yüzeyinin en az 4000 cm<sup>2</sup>/g (maksimum 100µ) olması (TS 25, 2008), İBB-KUDEB tarafından yapılmış olan çalışmalara göre de, 67,5µ’dan dan ince bir oranda öğütülmesi gerektiği belirtilmiştir (KUDEB, 2013).

Doğal puzzolanların kireçle karışımından hazırlanan harçlar “Doğal Puzzolanik Katkılı Harç”, yapay puzzolanların kireçle karışımından hazırlanan harçlar ise “Yapay Puzzolanik Katkılı Harç” olarak tanımlanmaktadır.

##### b. Kireç+Puzzolan

Kireçle karıştırıldıklarında harçlara hidrolik özellik kazandıran doğal ve yapay maddelerden oluşan puzzolanların, çok eski dönemlerden beri

suyun içinde ve nemli bölgelerde suya dayanıklı yapıların inşasında kullanıldığı bilinmektedir.

Dünya uygarlık tarihinde çimento ve betonun mucitleri Romalılar ve kısmen Yunanlılar kabul edilse de; Yunanlılardan önce de pişirilmiş kilin (kiremit, tuğla, çanak-çömlek vb.) kirece katılması ile puzzolanik özellikli bağlayıcılar elde edildiği belirlenmiştir. Romalılar kirecin içerisine Puzoli toprağını, Yunanlılar Thera toprağını (Santorine toprağı) katarak kullanmışlardır. Günümüzden 8900 yıl önce, İsrail, Yifta-El'de bu tip kireç harcının kullanıldığı belirlenmiş ve yapılan mineralojik analizler sonucunda bunların kireç, puzzolanik toprak ve pişmiş kil ile kum-çakıl içerdikleri saptanmıştır (Akman, 2003).

Sertleşmesi için sürekli havayla temas halinde olması gereken ve suya olan direncinin azlığı gibi dezavantajları bulunan hava kireci harçlarının bu zorluklarını ortadan kaldırmak için, kirece çeşitli puzzolanik maddeler katılmıştır. Bu şekilde elde edilen hidrolik özellikli bağlayıcılar havaya ihtiyaç duymadan sertleştikleri, suya ve özellikle deniz suyuna karşı dirençli oldukları için, nemli bölgeler ile suya maruz kalan alanlarda kullanılmıştır. Su altı yapılarının inşasında çok büyük kolaylıklar sağlayan Roma betonu, tuğla veya taş duvarlarda da kullanılmış, bu suretle kalın, sağlam ve suya dayanıklı duvarlar yapılabilmektedir (Davey, 1961; Kozlu, 2010).

Betonun Roma döneminden önce bilindiğini ifade eden Vitruvius'a göre, Romalılar pişirilmiş kilin veya öğütülmüş tuğla, kiremit veya seramiğin de puzzolanik özellik gösterdiğini biliyorlardı. Romalılar volkanik külü, volkanik küllü toprağı veya pişirilmiş kili, söndürülmüş kireç ve suyla karıştırarak hidrolik özellikte bir bağlayıcı elde etmişler ve bu hidrolik bağlayıcıların içine taş parçaları gömerek bugünkü betona benzer nitelikte bir beton geliştirmişlerdir (Akman, 2003; Vitruvius, 2005).

Romalılar, kireç ve puzzolan karışımından elde ettikleri hidrolik özellikteki harçların, hava kireci (non-hidrolik) harçlarına üstün-

lüğünü keşfetmiş ve kullanımını yaygınlaştırmışlardı. Roma çimentosu (*opus-caementicum* veya *opus-cementitious*) olarak adlandırılan bu harç, Ortadoğu ve Avrupa'da yaygın biçimde kullanılmıştır. Modern beton teknolojisinin prototipi olan bu harçlar, özellikle yapay hidrolik çimentoların üretimi konusunda çok sayıda araştırmaya konu olmuştur (Moropoulou vd., 2005; Gülmez, 200; Baturayoglu-Yöney, 2008).

Tuğla, kiremit ve benzeri malzemelerin kireçle karışımıyla hazırlanan bu harçlar, hidrolik özelliğe sahip olup ülkemizde horasan harcı ve sıvaları olarak bilinmektedir. Bu harçlar, Roma İmparatorluğu'nda *Cocciopesto*, Hindistan'da *Surkhi*, Arap ülkelerinde *Homra* ola-

### Ana bileşenleri bağlayıcı ve agrega olan harç ve sıvalar, gerektiğinde doğal ve sentetik katkı maddeleri içerebilen karışımlardır.

rak adlandırılmıştır. Osmanlı Dönemi'nde de yaygın biçimde kullanılmış olan ve "Horasani Harç" olarak adlandırılan benzer özellikli ürün, kireç bağlayıcıyla tuğla-kiremit kırığı ve diğer dolgu ve katkı maddelerinin karışımıdır (Güleç, 1992; Böke vd., 2004).

Tuğla, kiremit ve benzeri pişmiş malzemelerin hammaddesi olan killer, 600-900°C'de kızdırıldığı takdirde sıcaklık derecelerine ve mineralojik yapılarına bağlı olarak farklı puzzolan özellikleri kazanır. Kızdırma sonucunda mineral yapıları değişen ve içeriğinde aktif ve amorf alüminatlar ile silikatlar oluşan killer, puzzolanik özellik kazanmaktadır. Ancak kızdırma sıcaklıklarının 900°C'nin üzerinde olması halinde, mullit, kristobalit vb. gibi kararlı mineraller oluşmakta ve killer puzzolanik özelliği yitirmektedir. Kaolinin kızdırılması ile elde edilen puzzolanik aktivite, montmorillonit ve illit mineralleri içeren

killerden daha fazladır. Mineralojik yapılarına bağlı olarak farklı puzzolanik özellik gösteren feldspatlar, hava kireci ile reaksiyona girerek tetrakalsiyum alümina hidratları oluşturur. Kuvars minerallerinin ise puzzolanik aktivitesi bulunmamaktadır (Böke vd., 2004).

#### 1.1.4. Portland Çimentosu

Havada (açık ortamda) ve suda prizlenme özelliğine sahip olan Portland çimentosu, gri veya beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı çeşididir (Eriç, 2010).

Portland çimentosu adını, renginin İngiltere'ye bağlı Portland adasında çıkarılan kireçtaşına benzemesinden dolayı almıştır. Gösterdiği özellikler nedeniyle J. Parker gibi üreticiler ve kullanıcıların killi kireç taşından elde edilen bağlayıcı ürüne, "Roma Çimentosu" adını vermesiyle çimento üretiminde ilk adımlar atılmıştır (Güleç, 1992; Akman, 2003; Baturayoglu-Yöney, 2008; Eriç, 2010).

On dokuzuncu yüzyılda, bağlayıcı olarak çoğunlukla Portland çimentosunun habercisi olan doğal hidrolik kireç kullanılmıştır. Vicat, 1818 yılında killi taşlarla kalkerli taşları kontrollü olarak karıştırıp kızdırarak ilk "hidroliklik oranı" fikrini öne sürmüş, 1824'de Joseph Aspdin, kil ve kireç karışımını 1000-1200°C'de kızdırarak su kirecinden daha üstün nitelikte bir bağlayıcı elde etmiş ve bugünkü anlamda ilk çimento üretimini gerçekleştirmiştir. Isaac Charles Johnson, 1835 yılında kil ve kireç karışımının kızdırma sıcaklıklarını arttırarak bugünkü Portland çimentosunu üretmiş, 1850'lerin sonlarından itibaren de modern çimento üretim yöntemlerine en yakın olanlar kullanılmaya başlanmıştır (Postacıoğlu, 1986; Akman, 2003; Eriç, 2010).

Portland çimentosu, belli oranlardaki kil ve kalker karışımının 1250-1450°C arasında değişen sıcaklıklarda kızdırılması ve toz haline getirilmesi sonucu üretilir. Karışımın içine erimeyi kolaylaştırmak amacıyla demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bileşikleri katılır (Eriç, 2010; Artel, 1969). Kızdırma sonrasında karışı-



mın aniden soğutulmasıyla “klinker” denilen ceviz büyüklüğünde camsı granüller oluşur. Bu granüller; dikalsiyum silikat veya orto silikat (belit:  $C_2S=2CaO.SiO_2$ ), trikalsiyum silikat (alit:  $C_3S=3CaO.SiO_2$ ), tri kalsiyum alüminat (celit:  $C_3A=3CaO.Al_2O_3$ ) ve tetrakalsiyum alümino ferrit ( $C_4AF=4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ ) bileşenlerinden oluşan karma oksitlerdir. Klinkerin bağlayıcı özellik kazanması için çok ince öğütülmesi gerekir. Öğütmede karışıma belli oranda alçıtaşı katılarak sertleşme esnasında çimentonun priz süresinin ayarlanması sağlanır. Karma oksitler suyla karıştırıldıkları zaman hemen hidrate olmaya ve kristal yapıya dönüşmeye hazır hale gelir. Ekzotermik olan bu reaksiyon sonucunda oluşan hidrate ürünler ve hidratasyon hızları, her karma oksitte farklıdır (Akman, 1990).

Farklı hammadde ve katkı maddeleri kullanılarak üretilen Portland çimentosu değişik isimler altında kullanılmaktadır. Örneğin, daha az demir oksitli, saf kil ve kül karışımını önlemek için fuel oil kullanılarak üretilen çimento “Beyaz Portland çimentosu”; gözenekli taşlara etkisi olmayan dolgu maddeleri ve plastikleştirici maddeler katılarak çoğunlukla düzeltmelerde kullanılan, daha plastik ve daha fazla su tutma özelliğine sahip çimento, “Duvarcı çimentosu”; kireçtaşının boksit  $AlO(OH)$  minerali ile kalsinasyonu sonucu üretilen ve çevreden gelen sülfat korozyonuna karşı direnç gösterdiği için endüstri yapılarında kullanılan çimento, “İndirgenmiş trikalsiyum alüminatlı çimento” veya “Sülfata dayanıklı çimento”, olarak adlandırılmaktadır (Güleç, 1992).

## 1.2. Dolgu Maddeleri

“Kaymak kireç, hidrolik kireç ve Portland çimento bağlayıcılı harç ve sıvaların yapımında dolgu malzemesi olarak çakıllar ve agregalar kullanılmaktadır. Dolgu maddeleri, doğal veya yapay kaynaklardan elde edilen silikat ve karbonat temel bileşenlerini içeren, çeşitli boyutlardaki malzemelerdir. Kum, puzzolana, tras, taş ve tuğla kırıkları harç ve sıvalarda agrega olarak kullanılan genel dolgu



Şekil 6. Kireç harcında kullanılan kara kumu.

maddeleridir (Güleç, 1992).

Dolgu maddelerinden bazıları bağlayıcılarla reaksiyon vermezken, diğer bir kısmı doğal (volkanik kül, tuf, tras, santorin, vb.) ve yapay (tuğla, kiremit ve keramik kırığı/tozu, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü, puzzolanlar) reaksiyon verebilir. Bağlayıcı ile reaksiyona girmeyen agregalar; karadan (kum ocağı), dere yatakları ve denizlerden elde edilen kumlar ile taş kırıklarıdır. Deniz kumları yüksek oranda tuz içerdikleri için kullanılmaları sakıncalıdır. Ocak, dere ve göllerden elde edilen kumların ise, doğrudan veya varsa içeriklerinde bulunan kil, toprak vb. kirliliklerin yikanarak uzaklaştırıldıktan sonra kullanılması önerilmektedir. Sülfat ve klorür içeren ocak kumları ile kükürtlü fabrika dumanına maruz kalan yerlerde kalker kumları kullanılmamalıdır. Kırma taş pirinci olarak adlandırılan yapay agregalar yumuşak kalkerden üretilmemeli, yüksek fırın cürufu camlaşmış ve gevşek yapıda olmamalıdır. Dolgu olarak kullanılan agregalarda kömür artığı %25'i geçmemelidir (Güleç, 1992; Kozlu, 2010; Eriç, 2010).

Harç ve sıvaların dayanıklılığı; dolgu maddelerinin boyutları, durumu ve kalitesiyle yakından ilgilidir. Dolgu maddelerinin içeriğinde kimyasal ayrışmaya uğramış ve zayıfla-

mış kayaç parçacıkları, çözünebilir veya az çözünebilir tuzlar ile kil ve organik maddeler gibi safsızlıklar olmamalıdır (Güleç, 1992).

Kullanılan agregaların köşeli olması, agregalar arası sürtünmeyi arttıracığından harç ve sıvaların daha sağlam olmasını sağlayacaktır. Harç ve sıvalarda istenilen özellikleri (dayanım, gözeneklilik vb.) elde etmede kullanılacak bağlayıcı miktarı kadar, agrega boyutları da önemlidir. Boyutları iyi ayarlanmış karışımlarda iri boyutlu agregaların arasını küçük boyutlu olanlar doldurduğundan, agrega yüzeylerini saracak bağlayıcının miktarı da azalmaktadır. Buna bağlı olarak, sertleşen karışım daha dayanıklı olurken, sertleşme sürecinde oluşan hacim küçülmesi de en aza indirgenir (Güleç, 1992; Kozlu, 2010) (Şekil 6).

## 1.3. Katkı Maddeleri

Çağdaş harç ve sıvalarda olduğu gibi, eski harç ve sıvalarda da mukavemeti arttırmak, harcın fiziksel özelliklerini geliştirmek ve karbonatlaşmayı hızlandırmak amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik katkı maddelerinin eklendiği bilinmektedir. Yüzyıllar öncesinde ustalar harç ve sıvaların özelliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanmışlardır. Bilinen bu katkı maddelerinden bazıları; puzzolanik maddeler, kıtık, kan,



yumurta akı, peynir, hayvan gübresi, Arap zamkı, hayvan tutkalı, bitki suları, kazein, şeker vb.'dir (Güleç, 1992; Böke vd., 2004).

Romalılar kireçle beraber katkı maddesi olarak puzzolanik maddeleri, İngiliz, Alman ve Hollandalılar da buna eşdeğer malzemeleri kullanmasını biliyorlardı. Fakat bu malzemeler pahalı ve zor bulunduğu için yaygın değildi. Bu nedenle zayıf kireç harçlarının özelliklerini geliştirmek için ustalar; kan, yumurta akı, şeker, tutkal vb. gibi organik katkı maddeleri ekleyerek daha dayanıklı harç ve sıvalar üretmişlerdir (Sickels, 1981; Güleç, 1992).

Eski çağlarda harç ve sıvalarda katkı olarak kullanılmış olan Arap zamkı, kemik tutkalı ve incir sütü gibi pek çok madde aynı zamanda yapıştırıcı olarak da kullanılmıştır. Çavdar hamuru, domuz yağı, kesik süt, kan ve yumurta akı kirecin prizlenme süresini kısaltmak; arpa suyu, idrar, bitki lifleri ve hayvan kılları dayanıklılığını arttırmak amacıyla eklenmiştir. Katkı maddelerinden şeker, suyun donma erime döngüsünde harçta meydana gelen bozulmaları yavaşlatmakta, balmumu ise harçtaki büzülme (rötre) önlemektedir. Yumurta akı, hayvan tutkalı, şeker, süt, mineral ve keten tohumu (bezir yağı) gibi yağlar ise, kirecin plastiklik özelliğini artırıp kırılabilirliğini azaltmakta ve harcın çalışılabilirliğini fazlalaştırmaktadır. Katkı olarak kullanılmış olan bu organik



Şekil 7. Horasan harcında, keten kıtık katkı yerine günümüzde kullanılan polipropilen (PP) lifsel katkı.

malzemelerin niteliği ve kullanılmış olduğu dönemlerle ilgili çalışmalar günümüzde halen devam etmektedir (Güleç, 1992; Böke vd., 2004).

Vitruvius; kan, incir sütü, çavdar hamuru, domuz yağı ve kesilmiş sütün, harç ve sıvaların sertleşmesini sağlamak üzere; yumurta akı ve kanın, harç ve sıvalarda sertleşmeyi geciktirmek ve sertleşme süresinin düzgün yürümesi için; malt ve ürünün de, hava sürükleyici olarak sertleşmeden sonra harç ve sıvaların dayanımını arttırmak amacıyla kullanıldığından bahsetmiştir.

Bu katkı maddeleri dışında bazı yerlerde keten, saman, hatta çimen gibi bitki lifleri ve hayvan kılları özellikle sıvalara katılarak dayanıklılık kazandırılmaya çalışılmıştır. Kireç ve alçı sıvalar için katkı maddesi ve ek bağlayıcı olarak; sağlam, yağ ve kirlerden arınmış öküz, at ve keçi kılları, hatta nadir olmakla birlikte insan saçı katılmıştır (Güleç, 1992) (Şekil 7). Günümüz malzemelerinden olan polyaminophenoller kirecin karbonatlaşmasını hızlandırarak daha çabuk sertleşmesini sağlamak (Böke vd., 2004).

## 2. Sonuçlar ve Değerlendirme

Harç, sıva, derz, dolgu vb. kompozit yapı malzemeleri, çağdaş yapılarda olduğu gibi, eski eser niteliğindeki yapılarda da önemli elemanlardır. Bu malzemelerin kendilerine özgü nitelikleri ve sorunları nedeniyle, tarihi eserlerde yapılacak koruma ve onarım çalışmalarında oldukça dikkat ve titizlikle hareket edilmesi gerekmektedir.

Öncelikle, tarihi yapıların ve anıtların sağlıklı onarılabilmesi ve yaşatılabilmesi için konservasyon ve restorasyon uygulamalarında kullanılacak yeni harç, sıva, taş,

tuğla vb. malzemelerin, yapıdaki orijinal malzemelerle kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından uyumlu olması gerekmektedir. Bu uyumun sağlanabilmesi için esere ait özgün malzemelerin niteliklerinin araştırılıp açığa çıkarılması kadar, kullanılacak yeni onarım malzemelerinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi de bir zorunluluktur.

Yapılarda kullanılan taş, tuğla gibi malzemeler ile duvar örgü teknikleri, yapı dönemi ve teknoloji hakkında; harç ve sıvalar da,

yapıların inşa edildiği tarih ve onarım dönemleri ile bunlara ait yapı teknolojileri hakkında bilgi vermektedir. Görsel olarak genellikle çok fark edilemeyen harç ve sıvalar, taş, tuğla ve örgü teknikleri gibi yerinde yapılan tespitlerle belirlenebilen malzemelerden farklı olarak, bir laboratuvar gerektirdiğinden pek ilgi çekmemiştir. Bunun sonucunda, harç ve sıvalar dönemlerinin yapı teknolojileri hakkında bilgi veren, ancak çok az ilgilenilmiş belgesel kaynaklar olarak kalmıştır. Hatta geçmiş dönemlerde gerçekleştirilen



Şekil 8a-b. Beyaz çimento kullanılarak üretilmiş imitasyon malzemenin orijinal küfeki taşında neden olduğu erozyon, genel görünüm ve detay (İstanbul Çorlulu Ali Paşa Medresesi).

onarımlarda, bu malzemeler üzerinde yapılması gereken çalışmalar göz ardı edildiği ve orijinal malzemeler çağdaşları ile değiştirildiği için, eski eser niteliğindeki yapıların belgesel özellikleri yok edilmiştir.

Pek çok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de, orijinal malzemelere uygun olmayan harç ve sıvaların kullanılmasına bağlı olarak eserlerde restorasyon sonrasında sorunlar yaşanmıştır. Örneğin, 1930’lu yıllardan günümüze gelinceye kadar, Portland çimentosu eski eser onarımlarında kullanım kolaylığı, bulunabilirliği ve güvenilirliğinden dolayı genel bağlayıcı olarak yoğun bir biçimde kullanılmıştır. Bu avantajlarına rağmen Portland çimentosunun bağlayıcı olarak kullanıldığı harç, sıva, derz, dolgu vb. onarım malzemelerinin gözeneklerinin küçük ve geleneksel bağlayıcılı harçlara göre çok daha az olması, sağlamlığı ve yoğunluğunun fazlalığı ve bazı bazik tuzlar yanında belli oranda katkı olarak ilave edilmiş alçı içermesi, istenmeyen özelliklerdir. Bu özelliklere sahip onarım malzemelerinin orijinal malzemelere aşağıda özetlenen zararları vermesi kaçınılmazdır (Şekil 8a-b).

■ Çimentolu harç ve sıvaların yoğunluğu ve ısıl iletkenlik katsayısı yüksek olduğu için yoğunlaşmaya,

dolayısı ile yapıda nemlenmeye neden olur.

■ Yapı malzemelerine suda çözünebilir tuzları yüklediği için orijinal komşu malzemelerde çiçeklenmelere neden olur. Dolayısı ile yapının özgün malzemelerinin hasara uğraması kaçınılmazdır.

■ Çimentolu harç ve sıvaların gözenekleri çok küçük olduğu için eserin içerdiği veya herhangi bir yolla eser içerisine katılan suyun buharlaşarak uzaklaşması zordur. Bu nedenle düşük (donma) ve yüksek (buharlaşma) sıcaklıklarda gerilim olacağından, onarım sıvaları orijinal malzemedan kolayca ayrılır.

Ayrıca çimento bağlayıcı kullanılarak hazırlanmış olan harç, sıva ve betonlarda, prizlenme reaksiyonu tamamlandıktan sonra “dekarbonizasyon” olarak isimlendirilen ayrışma reaksiyonu başlamaktadır. Bu ayrışma reaksiyonu çevresel koşullara ve hava kirliliğine bağlı olarak 30 yıl ila 100 yıl arasında olmakta; günümüzde, ömrünü doldurmuş çimento bağlayıcı kullanılmış olan yapılar güvenlik nedeniyle yıkılmaktadır. Hâlbuki kireç bağlayıcı harç ve sıvaların, havadaki karbon dioksitle reaksiyona girerek uzun sürede kalker oluşturduğu, dolayısı ile gittikçe kuvvetlendiği bilinmektedir. Bu nedenle, öngörülen veya öngörülmeyen mekanik etkiler

hariç, hava kireci ve/veya su kireci bağlayıcı kullanarak hazırlanan harç ile üretilmiş yapılar ve yapı elemanları yüzlerce yıl sağlıklı olarak yaşamını devam ettirmektedir.

Eserin orijinal malzemelerine benzer veya uygun harç ve sıvalar üretebilmek için geçmişte kullanılan bağlayıcı, dolgu ve katkı maddeleri hakkında bilgi edinilmesi gereklidir. Bu malzemelerin özelliklerinin, nasıl hazırlanacağını, dönemlerinin, uygulama tekniklerinin neler olduğunu ve yanı sıra; zamanla uğradıkları değişimin mekanizmasının ve bunun nedenlerinin iyi bilinmesi veya öğrenilmesi gereklidir. Dolayısıyla eski harç ve sıvaların, kil, alçı, hava kireci, su kireci ve erken çimento bağlayıcılarının özelliklerinin araştırılması, restoratörler kadar teknik elemanların da ilgi alanıdır (Jung, 1953; Massazza ve Pezzuoli, 1981).

Ayrıca onarımlarda kullanılacak harç ve sıvaların orijinalleri ile benzer nitelikte olması, belgesel niteliklerden malzeme özgünlük değerini muhafaza etmesinin yanı sıra; mekanik dayanımının ve renk, doku, gözeneklilik vb. fiziksel özelliklerinin de özgün harç ve sıvalarla eşdeğer olmasını, dolayısıyla bunlar üzerinde baskı yapmamasını, yani kültür varlığının özgün malzemesinin korunmasını sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

- 1- Akbulut E. D., 2006, *Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- 2- Akman, M. S., 2003, "Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi", *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, sayı 426, s. 30-36, İstanbul.
- 3- Akman, M. S., 1990, *Yapı Malzemeleri*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- 4- Artel, T., 1969, *Yapı Malzemesi*, Haz. Gündüz Dibağ, Osman Yalçın Matbaası, s. 139-240, ilaveli 2. Baskı, İstanbul.
- 5- Ashurst J., 1984, *Mortars, Plasters and Renders in Conservation*, Ecclesiastical Architects and Surveyors Association, Londra.
- 6- Ashurst, J. and Ashurst, N., 1990, "Mortars, Plaster and Renders, Practical Building Conservation", *English Heritage Technical Handbook*, vol. 3, Gowwer Technical Press, s. 1-15, 27-28.
- 7- Ashurst, J., 1997, "The Technology and Use of Hydraulic Lime", *The Building Conservation Directory*.
- 8- Balksten, K., 2007, *Traditional Lime Mortar and Plaster Reconstruction with Emphasis on Durability*, Thesis for Degree of Doctor of Technology, Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, İsveç.
- 9- Baturayoğlu-Yöney, N., 2008, *19. Yüzyıl Sonu ve 20. Yüzyıl Başı Yapı Cephelerinde Kullanılan Yapay Taşların Mimarlık ve Koruma Bilimi Açısından Değerlendirilmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- 10- Borelli, E., 1999, "Binders, Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials: porosity", *ARC Laboratory Handbook*, vol. 4, ICCROM, S.p.A., Roma.
- 11- Boynton, R. S., 1980, *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 12- Böke, H., Akkurt, S. İpekoğlu, B., 2004, "Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri", *Yapı Dergisi*, sayı 269, s. 90-94.
- 13- Çiçek, T., 1999, "Kireç ve Kullanımı", 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- 14- Davey, N., 1961, *A History of Building Materials*, Phoenix House, Londra, s. 97-127.
- 15- Davey, N., 1961, "Gypsum plaster-limes and cements-stucco mortar and concrete", *A History of Building Materials*, s. 86-128, Ed. Davey, N., PhoenixHouse, Londra.
- 16- Eckel, E. C., 1922, *Cements, Limes and Plasters Their Materials, Manufacture and Properties Affiliate*, Amer. Soc. Civil Engineers: Fellow, Geological Society of America; formerly Major, Engineers, U.S.A, second edition, revised and partly rewritten, New York, John Wiley & Sons, Inc. London: Chapman & Hall, Limited, s. 8-10; 73-74; 575.
- 17- Eric, M., 2010, *Yapı Fiziki ve Malzemesi*, 3. Basım, Literatür Yayınları, 02, İstanbul.
- 18- Ersen, A, Gürdal, E., Güleç, A., Alkan, N., vd. (Haz.), 2013, "Geleneksel Harçlar ve Koruma Harçları, Bağlayıcı Olarak Kullanılacak Kireç ve Hidrolik Kireçli, Puzzolanlı, Tuğla Tozlu ve Tuğla Kırıklı Harçlardaki Malzeme Oranlarının Belirlenmesi Çalışması Raporu", *KUDEB Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, sayı 16, s. 36-50.
- 19- Frangipane, M., 1997, "Arslantepe-Malatya, External Factors and Local Components in the Development of an Early State Society", *Fundamental Issues in Archaeology, Emergence and Change in Early Urban Societies*, Linda Manzanilla (ed.), New York, Plenum Press, s. 43-57.
- 20- Güleç, A., 1992, *Bazı Tarihi Anıt Harç ve Sıvalarının İncelenmesi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- 21- Gülmez, S., 2005, *Antik Yapılarda Kullanılan İnşaat Malzemeleri ve Bu Malzemelerin Özelliklerinin Mineralojik Petrografik, Kimyasal, Fiziksel, Mekanik ve Tahribatsız Deney Yöntemleri Kullanılarak Saptanması*, S. Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- 22- İpekçi, A. C. ve Aköz, F., 2010, "Ceramic and Mould Gypsum Properties Used for Forming Ceramics", PhD Review Paper, Sigma 28, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, s. 249-258.
- 23- Jung, W. N., 1953, *Technology of Mortars*, Osnowy Technologii Wiazuchych, Moskova.



- 24- Koçu, N., 1997, *Konya Çevresindeki Volkanik Tüflerin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- 25- Koçu, N., Korkmaz, S. Z., 2004, "Kerpiç Malzeme İle Üretilen Yapılarda Deprem Etkilerinin Tespiti", 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, TMMOB. Mimarlar Odası İstanbul Büyükşehir Şubesi, İstanbul, s. 52-62.
- 26- Kozlu, H. H., 2010, *Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, s. 11-27.
- 27- Malayoğlu U., Akar, A., 1995, "Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi", 1. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s. 125-133, İzmir.
- 28- Massazza, F., Pezzuoli, M., 1981, "Some Teachings of Roman Concrete", *Symposium on Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings*, s. 219-245, Roma.
- 29- Massazza, F., 1989, "Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları" *Seminer, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara, s. 154-160.
- 30- Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S., 2005, "Composite Materials in Ancient Structures", *Cement and Concrete Composites*, c. 27, no. 2, s. 295-300.
- 31- Mellaart, J., 2003, *Çatalhöyük-Anadolu'da Bir Neolitik Kent*, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
- 32- Naumann, R., 1975, *Eski Anadolu Mimarlığı*, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.
- 33- Oates, J. A. H., 1998, *Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses*, Wiley-VCH Publishers, Weinheim, New York, s. 3-4.
- 34- Ousterhout, R., 1999, *Master Builders of Byzantium*, Princeton University Press, Princeton New Jersey, s. 133-139.
- 35- Postacıoğlu, B., 1986, *Beton Bağlayıcı Maddeler*, c. 1, İTÜ Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- 36- Rezaei, D., 2007, *Büyük Selçuklu'dan Günümüze İntikal Eden Mimari Gelenek ve Bunların Günümüz Restorasyonlarında Kullanımı*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, s. 38-39, Ankara.
- 37- Roy, R., 1954, "The Application of Phase Equilibrium Data to Certain Aspects of Clay Minerology", *Second National Conference on Clay and Clay Minerals*, The Pennsylvania State University State College, Pennsylvania, s. 124-140.
- 38- Sazcı, H., 2001, "Seramikte Kullanılan Killerin Tanımı", 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s. 28-42
- 39- Sharpe, R. and Cork, G., 2006, *Industrial Minerals&Rocks: Commodities, Markets and Uses*, ed. J. E. Kogel, N. C. Trivedi, J. M. Barker, S. T. Krukowski, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc. (SME), 7th ed, Littleton, Colorado, ABD, s. 519-540.
- 40- Sickels, L. B., 1981, "Organic vs. Synthetics: Their Use as Additives in Mortars", *Symposium on Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings*, s. 25-52, Roma.
- 41- Swallow, P. and Carrington, D., 1995, "Limes and Lime Mortars-part one", *Journal of Architectural Conservation*, c. 1, no. 3, s. 7-25.
- 42- Tankut, G., 2005, "Doğal ve Tarihi Çevrenin Korunması: Sorunlar ve Olası Çözümler", *Planlama*, TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayını, sayı 31, s. 9-12.
- 43- Torraca, G., 1982, *Porous Building Materials Materials Science for Architectural Conservation*, ICCROM, Roma.
- 44- Totten, J. G., 1838, *Essays on Hydraulic and Common Mortars and on Lime-Burning*, Translated from the French by Treussart, M. Petot and M. Courtois, Lt. Col. of Engineers and Brevet Col. U. S. Army, Philadelphia.
- 45- T.S. 25: *Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü Yayını, Ankara, 2008.
- 46- TS 30: *Kireçler-Söndürülmemiş-Yapılarda Kullanılan*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1993.
- 47- Vitruvius, 2005, *Mimarlık Üzerine On Kitap*, Çev. Suna Güven, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, 4. baskı, İstanbul.