

Antalya Yivli Minare Arkeometri Çalışmaları

Ali Akın AKYOL – Yusuf Kağan KADIOĞLU – Şahinde DEMİRÇİ*

Giriş

Antalya'nın kent kimliğine malolmuş 13. yy. Selçuklu Dönemi yapısı Yivli Minare, Kaleiçi'nde kendi adıyla anılan caminin doğusunda bağımsız olarak yer almaktadır¹. Tuğla örgülü sekiz yivden oluşan minarenin gövdesi kare prizma taş kaide üzerinde yükselmektedir. 38 metrelük tek şerefeli minareye 90 basamaklı merdivenle çıkmaktadır. Geçirdiği onarımlarla bu güne ulaşan minare, petek kısmı hariç özgün bütünlüğünü büyük ölçüde korumaktadır². Yivli Minare'nin korumasına hizmet etmek üzere başlatılan "Yivli Minare Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projesi"³ kapsamında minareye ait yapı malzemeleri arkeometrik yönden de incelenmiştir.

Yivli Minare arkeometrik incelemeleri kapsamında yapısal (taş, tuğla, harç ve sıvalan) ve dekoratif malzemelerin (çini ve üzerindeki sır tabakası) temel fiziksel özelliklerini, kimyasal malzeme karakteristikleri ile mineralojik/petrografik yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Temel fiziksel özellikler ile yapı malzemelerinin, belirlenmiş standart sınırlar içinde dayanım durumları belirlenebilmektedir. Bu kapsamında yapısal özelige sahip taş ve tuğla örneklerin birim hacim ağırlığı, sertlik ve gözenekliliği belirlenmiştir. Örneklerin kimyasal analizleri ile element içeriği ve bileşimi, mineralojik/petrografik analizler ile de kristal yapısı, türü ve hammadde kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca örneklerin renk, elektriksel iletkenlik, suda çözünen tuz miktarı ve tuz türü ile hammadde bileşimleri de belirlenmeye çalışılmıştır.

* Dr. Ali Akın Akyol, Ankara Üniversitesi, Başkent Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Eser Koruma Programı / Malzeme Koruma ve Araştırma Laboratuvarı, Gümüşdere Yerleşkesi, Gümüşdere Mah. No: 33/A 06110 Dışkapı, Ankara. E-posta: akyol@ankara.edu.tr

Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadioğlu, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Tandoğan Yerleşkesi 06100 Tandoğan, Ankara. E-posta: kadi@eng.ankara.edu.tr

Prof. Dr. Şahinde Demirci, ODTÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü / ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Arkeometri Anabilim Dalı 06531 Ankara. E-posta: sahinde@metu.edu.tr

¹ Yılmaz 2002, 82.

² Eskici 2007. İlgili proje kapsamında yer alan Yivli Minare Malzeme Koruma Raporu.

³ Antalya Yivli Minare Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projesi çalışmaları, T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü, Antalya Bölge Müdürlüğü adına Yüksek Mimar Seyda Güvenç Duran - BİZ Mimarlık Mühendislik Hizmet İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından yürütülmüştür.

Yöntem ve Deneyler

Çalışmaya konu olan yapı malzemeleri 2 Haziran 2006 tarihinde Antalya Yivli Minare'de gerçekleştirilen örneklemeye ile elde edilmiştir. Örneklemeye olabildiğince az, yapıya zarar vermeyecek nitelikte malzeme alımına özen gösterilmiştir. Örnek seti özgün ve onarım niteliğinde taş, tuğla, çini, harç ve siva örnekleri içermektedir. Analizler Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Eser Koruma Programı Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı ile Yer Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi çatısı altında çalışmalarını sürdürden Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Petrografi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.

Yivli Minare'ye ait örnekler hem alanda örneklemeye sırasında hem de çalışma örnekleri olarak gruplanıp değerlendirildikten sonra fotoğraflanarak belgelenmiştir (Res. 1-2 ve 10-14). Daha sonra örnekler üzerinde temel fiziksel testler, kimyasal ve mineralojik/petrografik analizler ile renk, elektriksel iletkenlik, suda çözünen tuz miktarı ve tuz türü ile hamadden bileşimlerini belirlemeye yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.

Yivli Minare taş ve tuğla örnekleri üzerinde gerçekleştirilen fiziksel testler ile malzemelerin fiziksel durumları belirlenmiştir (Res. 3). Deneyde 40 °C'de kurutulup tartıma alınan (M_i) örnekler 50 torr basınç altında bir gece suda bekletilip ıslak ağırlık tartımları alınmış (M_w) daha sonra da Arşimet teraziyle su içindeki ağırlığı (M_a) belirlenmiştir. Elde edilen değerler uygun eşitlikler kullanılarak örneklerin birim hacim ağırlığı ve gözeneklilik değerleri bulunmuştur⁴.

Yapıları oluşturan malzemelerin tuz içerikleri onların bozulma durumu açısından oldukça önemli bir belirteçdir. Farklı yapı malzemelerinin içerisinde bulunan ve/veya suda çözünerek sonradan malzemelerin yüzeyinde çökelen veya gözeneklerine kapiler etki sonucu su ile taşınan tuzlar, malzemenin hem kendi bünyesinde hem de ilişkide bulundukları diğer malzemelerin yapılarında oluşabilecek kimyasal değişimler hakkında bilgi vermektedir. Antalya Yivli Minare taş ve tuğla örneklerinin bünyesinde (gözeneklerinde) bulunan suda çözünen tuz miktarı (toplam) Res. 4'de verilmiştir. Örneklerde toplam tuz ölçümü için; 25 ml damıtık su içinde dağıtılan 5 gram örnek santrifüjenerek çökeltilmiştir. Üstte kalan çözelti alınmış ve üzerine %0,1'lik sodyum hekzametafosfat çözeltisi eklenerek iletkenlik ölçümü yapılmıştır⁵. Ölçümde Neukum Seri 3001 marka iletkenlik/pH/sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Aynı çözelti kullanılarak anyon analizleri de yapılmıştır (Res. 4). Analizde anyon türlerine göre ya uygun reaktifler (klorür (Cl^-), fosfat (PO_4^{3-}), nitrit (NO_2^-) ve nitrat (NO_3^-) iyonları için) kullanılmıştır⁶.

Harç ve siva örneklerinin hamadden bileşimlerinin belirlenmesi kapsamında bağlayıcı/agrega oranları ve agregada tane dağılımı (sistematik eleme ile granülometrik analiz) analizleri yapılmıştır (Res. 5). Bunun için çalışılan örnekten yaklaşık 5 gram alınarak üzerine %5'lik hidroklorik asit eklenmiş ve böylece bağlayıcının çözülmesi sağlanmıştır. Çözelti süzülerek, asitte çözünmeyen madde olan aggregalar ayrılmış ve oda sıcaklığında kurutularak tariştir. Agregada tane dağılımı için de elde edilen aggregalar sistematik eleme işlemine

⁴ Ulusay v.d. 2005; RILEM 1980.

⁵ Black v.d. 1965; Means - Parcher 1963.

⁶ Feigl 1966.

tabi tutulmuştur. Sistematik elek düzeneğinde üstten alta doğru azalan ve 1000 μm ile 63 μm arasında değişen gözeneye sahip beş elek kullanılmıştır⁷.

Örneklerin mineralojik ve petrografik analizlerinde X-Işınları Difraksiyon (XRD), analizi ile ince kesit optik mikroskop analizleri gerçekleştirilmiştir. X-Işını difraksiyon analizi (XRD), örneklerin mineral fazlarının belirlenmesi için uygulanmaktadır. Bu yöntemle, toz haline getirilmiş (kil/silt boyutu; 63 μm), oda sıcaklığında kurutulmuş harç örnekleri analiz edilmiştir. Analiz Philips PW 1353/20 model XRD spektrometre ile yapılmıştır. Analizde Cu K α X-işını ve nikel (Ni) filtre kullanılarak 1-75 derece (2θ) arasında tarama yapılmıştır⁸.

İnce kesit analizleri, arkeometrik incelemelerde ana çalışmayı oluşturan, doğrudan örneği incelemeye imkân veren, kimyasal ve petrografik bilgiler sağlayan analiz niteliğindedir. Tüm örneklerden ince kesitler hazırlanmış ve optik mikroskopta petrografik incelemeleri yapılmıştır (Res. 6). İnce kesitler her örneğin farklı bölgelerini gösterecek şekilde uygun bir kesici ile kesilip inceltilerek hazırlanmıştır. İnce kesitler; taş ve tuğla örneklerinde dıştan içe doğru tüm tabakaları gösterecek şekilde doğrudan, harç ve siva örneklerinde ise sertleştirme yapılarak hazırlanmıştır⁹. Optik incelemede Leica Research Polarizan Mikroskobu kullanılmış, mikroskoba bağlı DFC280 dijital kamera ile tek/cift nikolde fotoğrafları alınmıştır (Res. 17-19).

Çini örneklerindeki sıır tabakası X-işını Fluoresans yöntemiyle (Noktasal Mikro-XRF) analiz edilip örneklerin kimyasal bileşimleri belirlenmiştir¹⁰. XRF analizi incelemelerinde çoklu element analizini birbiri ardına bir program sürecince yapabilen Spectro Xlab 2000 Model XRF cihazı kullanılmıştır. Tahribatsız özelliği ile örnekte herhangi bir işleme gerek duyulmadan doğrudan örnek üzerinde gerçekleştirilen Mikro-XRF analizi, sıır bileşiminin belirlenmesi amacıyla çinlere uygulanmıştır (Res. 7, 12).

Yivli Minare iç ve dış cephe taş ve tuğla yüzeylerinde bağıl nem ve sıcaklık gibi dış etkenlerin bozucu etkilerinin belirlenmesi amacıyla küçük boyutlu bir mikroklima çalışması gerçekleştirilmiştir. Yivli Minare dış cephe taş örgü yüzeylerinde 1,8 metre seviyesinde, 20 cm aralıklarla yatayda, minare içi tuğla yüzeylerde de (duvar örgü ve çekirdekte) zeminden 2 metre yüksekliğe kadar dikeyde sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmıştır (Res. 8). Nem ölçümünde Extech MO300 Model portatif dijital nem ölçer, sıcaklık ölçümelerinde ise Extech IR Lazer portatif dijital sıcaklık ölçer kullanılmıştır.

Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Yivli Minare yapısal malzemelerinin (taş ve tuğla) temel fiziksel özelliklerini uygulanan fiziksel testler ile belirlenmiştir. İnce kesit analizleri ile minare tabanına ait özgün yapıtaşlarının traverten olduğu anlaşılmıştır. Özgün taşlardan AYM-T2'de birim hacim ağırlığı 1,81 g/cm^3 , AYM-T4'de ise 2,32 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Minarede yakın döneme ait onarım örneğinin (AYM-T1; mermer) birim hacim ağırlığı ise 2,51 g/cm^3 'dür. İleri derecede bozulmaya uğramış olan AYM-T2 örneği, bu durumu destekler nitelikte, oldukça yüksek oranda

⁷ TS 3530 EN 933-1/Nisan 1999; Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini – Eleme Metodu.

⁸ Brindley - Brown 1980; Hurlbut 1971.

⁹ Kerr 1977; Rapp 2002.

¹⁰ Pollard - Heron 1996.

gözenekliliğe (%18,81) sahiptir (Res. 3). İncelenen tuyla örneklerin 3'ü özgün biri ise (AYM-B3) onarım tuğlası niteliğindedir. Tuylaların hammadde ve üretim teknolojisi fiziksel özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Özgün örneklerin birim hacim ağırlıkları 1,63-1,75 g/cm³ arasında, gözeneklilikleri de %22,12 - 25,67 arasında değişim göstermektedir. Özellikleri özgün örneklerden farklılaşan onarım tuğlası örneği ise daha düşük birim hacim ağırlığına (1,60 g/cm³) ve daha yüksek gözenekliliğe (%29,17) sahiptir (Res. 3).

Yapıya ait iki özgün taş örneklerin (AYM-T2 ve AYM-T4) suda çözünen toplam tuz içeriğleri %0,43 ve %3,77, onarım taşı örneğinin (AYM-T1) ise %0,33'dür. Özgün AYM-T4 örneğinin yüksek tuz içeriği, yapıda uygun olmayan çimento içerikli onarım derz harçlarının kullanımından kaynaklanmış olmalıdır (Res. 10). Minareye ait özgün (AYM-B1, AYM-B4 ve AYM-B5) ve onarım tuyla (AYM-B3) örneklerinin toplam tuz içerikleri farklı değerlerde olup %1,14 - 2,20 arasında değişim göstermektedir. Minare iç kısmında yer alan özgün tuyla örneği (AYM-B5) dışındaki özgün örneklerle oranla daha düşük tuzluluk (%1,42) göstermektedir. Diğer taraftan dış yüzü oluşturan dolayısıyla çevresel etkilere açık ve çimentolu sıvama ve derzleme ile onarıma uğrayan bölgede (Res. 11) yer alan özgün tuyla örneklerinde ise daha yüksek tuzluluk oranı görülmektedir (AYM-B1; %2,20). Onarım tuyla örneği özgün örneklerden fiziksel özelliklerinin yanında çözünen tuz içeriği bakımından da farklılık göstermektedir (Res. 4).

Yivli Minare taş ve tuyla örneklerinin tuz türü ve pH değerleri yönünden incelenmelerini içeren sonuçlar da şöyledir: İncelemelerde AYM-T1 onarım ve AYM-T2 özgün taş örneğinin bünyesinde yer alan tuz türlerinin benzer ve zayıf bazik karakterde, buna karşın özgün AYM-T4'ün ise diğer örneklerden farklı türde tuz içerdiği ve zayıf asidik karakterde olduğu dikkat çekmektedir. Bu örnekte fosfat ve klorür içerik yüksek değerdedir. Asidik etki fosfat türünün asidik fosfat şeklinde olduğunu düşündürmektedir (Res. 4). Tuyla örneklerde özgün örneklerle onarım örneği arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Örneklerin tümünün pH değerleri nötral bölgeye (pH 7) yakındır. Taş ve tuyla örneklerde nitrat ve nitrit türü tuzlar kaynağını genel olarak doğal olmayan yanı kent merkezinde yer alan konumu ile yoğun eksoz gazı salınımından almış olmalıdır (Res. 4). Genel olarak taş ve tuyla örneklerde onarım etkisi taşıyan örnekler dışında düşük değerlerde tuzlanmalar olduğu belirlenmiştir.

Yivli Minare harç örneklerinde bağlayıcı değeri ortalama %94,23 olarak belirlenmiştir (Res. 5). İncelenen özgün nitelikteki tuyla ve taş derzi harç örneklerinin agrega tanecik dağılımına genel olarak bakıldığından örnekler arasında oldukça heterojen bir agrega dağılımı dikkati çekmektedir (Res. 5). Harçlarda agrega içerikte yapıyı %8,5-30 arasında değişen oranda taş parçaları (1 mm'den büyük en fazla 3-4 mm boyutunda) oluşturmaktadır. Silt/kum (63-1000 µm) boyutlu tanecikler de ana yapıyı tamamlamaktadırlar. Kil/silt (<63 µm) boyutlu taneler ortalama %9 seviyesindedir. AYM-H2 tuyla derzi harç örneği yüksek kil/silt içeriği ile (%13,47) diğerlerinden ayrılmaktadır. Agregada tanecik dağılımı açısından örnekler; iri (500-1000 µm) ve çok iri (1000 µm <) tanecik grubuna girmektedir¹¹.

XRD analizi harç örneklerin bağlayıcı türünün belirlenmesi için uygulanmıştır. Özgün nitelikteki harç örnekleri kireç harcı niteliğindedir. Harç örneklerinde temel mineral kalsittır, ayrıca kuvars, feldispat ve kil türü olarak da illit belirlenmiştir (Res. 15; AYM-H6).

¹¹ Wentwort 1922, Grain size classification schema.

Düşük büyütülmeli bir mikroskop ile yapılan incelemelerin sonucunda özgün örneklerin tümünde tuğla kırığı parçalarının bulunduğu ve tanelerin çoğulukla köşeli/kırıklı olduğu anlaşılmıştır (Res. 16; AYM-H3). Çimento içerikli onarım harcı örneklerinin ise çoğulukla yuvarlanmış taneciklerden oluştuğu ve fosil içermediği anlaşılmıştır. Bu durum agrega kaynağının denizel olmayıp çok çeşitli türde agrega içeren dere yatağı malzemesi olduğunu işaret etmektedir.

İnce kesitlerin petrografik optik mikroskop analizi ile de örnekler dokusal, mineral türü, durumu, dağılımı, tanecik boyutu açısından detaylı şekilde incelenmiştir. Minarede kullanılmış olan yapıtaşları yerel formasyonu yansitan soğuk ve sıcak su çökelimi ile oluşmuş olan travertendir (Res. 17). Bunun yanında onarım taşı niteliğinde kullanılmış olan taşın da (AYM-T1) kayaç türünün mermer olduğu belirlenmiştir.

Harç ve sivaların agrega ve bağlayıcıdan oluşan matriksleri ayrı ayrı incelenmiştir. Örneklerde bağlayıcı ya kireç ya da kirecin yanında alçı veya cimentodan oluşmaktadır. Özgün nitelikteki harçlarda bağlayıcının kireç ile kirecin yanında alçı da içerdigi söylenebilir. Onarım harç ve sivalarında ise bağlayıcıda çimento görülmektedir (Res. 6). Harç ve siva örneklerin agrega yapısında mineral ve kayaçların çoğunu kuvars ve kireçtaşları oluşturmaktadır. Bunun yanında çört, granit, bazalt, kuvarsit, plajiyoklas, serpantinit ve opak mineraler de gözlemlenmiştir (Res. 18). Harç örneklerin bazılarında (AYM-H9 ve AYM-H10) agrega içerisinde %1 oranında kitik (bitki, saman vb. parçaları) bulunmaktadır. Tuğla kırığı katmasına örneklerin çoğunda %3-80 arasında değişen oranlarda rastlanmıştır. Agrega içerisinde bağlayıcılığı artırın kireçtaşı/mermer tozu katmasına da bir siva örneğinde (AYM-S1 alt tabakasında) toplam aggreganın %10'u oranında rastlanılmıştır (Res. 6). İnce kesit analizinde incelenen tuğla örneklerinden ikisi (AYM-B3 ve AYM-B6) onarım, diğerleri özgün örneklerdir.

Çalışılan iki çini örneğinin (AYM-C1 ve AYM-C2) ince kesit analizi, birbirinden farklı hamur yapısında olduğunu göstermiştir. AYM-C1 çini örneği (AYM-B7 ile benzer nitelikte) 900-950°C sıcaklıkta pişirim görmüş ve %1,5 oranında gözenekli bir yapı vermektedir, AYM-C2 örneği ise oldukça gözenekli (%15) yapısı ile daha düşük sıcaklıkta (900°C civarında) pişirime uğramıştır. Çini örneklerde sıır tabakasının kalınlığı 300-700 µm arasında değişim göstermektedir. AYM-C1 hamuru kırıklı/köşeli yapıda, 0,1-500 µm tane boyuttunda ve oldukça heterojen bir dağılım gösteren agregalar/minerallerden oluşmaktadır. AYM-C2 hamuru daha kaba taneli fakat daha az agrega içermektedir. AYM-C1 örneğinde hamurun %77'si aggregalardan oluşurken AYM-C2'de bu oran %53'dür. Çini örneklerin agrega içeriğini AYM-C1'de %45 kuvars, %25,5 plajiyoklas, %5 çört ve %1,5 opak mineraller, AYM-C2'de de %41 kuvars, %5 plajiyoklas, %3 çört ve %4 opak mineralleri oluşturmaktadır (Res. 19, 20).

Çini örneklerin noktasal Mikro-XRF analizi ile temel (miktari %1'den fazla), az (miktari %1 civarında) ve iz elementler (miktari %1'den az) belirlenmiştir (Res. 7). Çini örneklerin temel element içerikleri birbirine benzer niteliktedir. Temel elementlerin ortalama değerleri azalan değerlerle Si (%63,73 SiO₂), Mg (%5,34 MgO), Ca (%5,12 CaO), Na (%3,17 Na₂O), Pb (%2,36 PbO), K (%1,69 K₂O) ve Fe (%1,68 Fe₂O₃). Bu element içeriği sıır oluşumunda kuvars ve silikatlar (piroksen ve feldispatlar gibi) kullanıldığını düşündürmektedir. Kurşun (Pb) miktarı oldukça yüksek değerdedir. Kurşun bileşikleri genelde ergitici olarak yanı erime noktasını düşürücü olarak sıır bileşimine eklenmektedir. İncelenen örneklerde sıır mavi ve koyu mavi renklidir. Renk veren elementler olarak Fe, Cu ve Co düşünülebilir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde Fe, (%1,68 Fe₂O₃), Cu (%0,56 CuO) ve Co'nun (%0,09 Co₃O₄) oldukça fazla miktarda bulunduğu anlaşılmaktadır. Mavi rengin demir ve bakır silikatlar ile kobalt oksitten geldiği söylenebilir. Koyu renkli AYM-C2 örneğinin koyu rengi, kobalt miktarının diğer örneğe göre daha fazla oluşuya ilgili olmalıdır. Örneklerde görülen kalay (SnO₂) opaklık yaratan bir maddedir. SnO₂'nin AYM-C2'de daha fazla oluşunun mavi rengin koyulaşmasında etkili olduğu söylenebilir. Üretim teknolojisi ve hammaddelerin özellikleri açısından Yivli Minare çinilerinin aynı döneme ait Kubadabad Küçük Sarayı, Sivas Gök Medrese, Tokat Gök Medrese çinileri ile benzer karakterde olduğu anlaşılmıştır¹². Bu durum Selçuklu Dönemi yapılarında belli bir çini üretim teknolojisinin tüm Anadolu'da yaygın olduğu düşüncesini desteklemektedir.

Yivli Minare iç ve dış yüzeylerinde sıcaklık ve bağıl nem (%RH) değerlerine de mikroklima çalışmaları ile ulaşılmıştır. Onarım malzemelerinin seçiminde yapının bulunduğu ortamda mikroklima durumunun belirlenmesi ve dikkate alınması gereklidir.

Tüm cephelerde köşelere yaklaşıldıkça daha düşük sıcaklıklara ulaşılmıştır. Ölçümün yapıldığı gün itibarı ile (2 Haziran 2007, 11:00-12:00) güneybatı cephe köşesine doğru gelenme artmaktadır. Minare çevresinde yerden 1,8 metre seviyesinde 20 cm aralıklarla kuzeybatı köşeden saat yönünün tersi yönde alınmış ölçümler değerlendirildiğinde kuzey, batı, güney ve doğu cephelerde sıcaklık salınımı sırasıyla (26-29 °C), (21-27 °C), (23-25 °C) ve (27-32 °C)'dir. Ölçümlerde güney cephe sıcaklık salınıminin en az, doğu cephe ise salınımin en fazla olduğu cephedir.

İç ve dış cephelerde nem ölçümlünde kullanılan portatif dijital nem ölçerin nem skala-sına göre nem değerleri 0-2 arasında ise yüzey kuru, 2-4 arasında ise nemli, 4'den büyük ise oldukça nemli ve ıslak olarak tanımlanmaktadır. Minare çevresinde yerden 1,8 metre seviyesinde 20 cm aralıklarla kuzeybatı köşeden saat yönünün tersi yönde alınmış ölçümler değerlendirildiğinde kuzey, batı, güney ve doğu cephelerde bağıl nem salınımı sırasıyla (3,3-9,6), (2,8-6,4), (2,3-5,9) ve (3,3-5,4)'dir. Ortalama değerler ise aynı sırayla (4,9), (4,1), (3,7) ve (4,3)'dir. Beklenildiği gibi güney cephede ortalama bağıl nem salınımı diğer cephelerden daha düşüktür. Bu durum sıcaklık salınım değerleri ile de örtüşmektedir. Güney cephe en düşük sıcaklık salınımına ve en düşük bağıl nem salınımına sahiptir.

Minare içinde zeminden yukarıya doğru 20 cm aralıklarla 2 m.'ye kadar doğu yüz, batı yüz ve çekirdekten bağıl nem verileri toplanmıştır. İç yüzeylerde bağıl nem verileri oldukça heterojen bir dağılım vermiştir. Çekirdekte, doğu ve batı yüzlerde bağıl nem salınımı sırasıyla (4,4 - 11), (4,5-14,1) ve (3,4-8,3)'tür. Ortalama bağıl nem değerleri ise aynı sırayla (7,8), (7,8) ve (6,1)'dir. İç yüzlerdeki nem değerleri dış cephelerden oldukça yüksek değerlerdedir. 0,5, 1 ve 1,5 m seviyelerinde nemde ani artışlar görülmüştür. Tuğla örgüde derz seviyelerine denk gelen bu durum uygun olmayan cimento içerikli derz harçlarında biriken nemliliğin de göstergesidir. Mikroklima çalışmalarının sonuçları birlikte değerlendirildiğinde minarede bir nem sorunu bulunduğu anlaşılmaktadır (bağıl nem değerleri çoğunlukla >4 bulunmuştur).

Bu çalışmada Yivli Minare'nin yapı ve dekoratif malzemeleri temel fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerini yönünden incelenerek özgün ve onarım nitelikleri, farklı analizler ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla beraber mikroklimatik ölçümlerle de

¹² Özçilingir-Akgün 1997.

malzemeye bağlı olarak nem ve sıcaklık dağılımı günün kısa bir süresi içerisinde belirlenmeye çalışılmıştır.

İncelemelerde minarenin taş/tuğla örgü derzleri ve üzerlerinde uygun olmayan çimento içerikli bağlayıcı içeren derz harcı ve siva onarımları belirlenmiştir.

Selçuklu Dönemi yapılarında belli bir çini üretim teknolojisinin tüm Anadolu'da yaygın olduğu düşüncesi incelenen iki çini örneği ile desteklenmiştir.

Ayrıca mikroklima çalışmaları ile de minare zemininden kaynaklanan bir nem sorunu olduğu anlaşılmıştır.

Gerçekleştirilen arkeometrik incelemelerin sonucunda Antalya'nın kimliğine malolmuş bu eserin gelecek nesillere en iyi şekilde devredilmesi için gerçekleştirilecek onarım çalışmalarına hizmet edeceği düşünülen veriler elde edilmiştir. Bu veriler ışığında özgün yapı malzemelerine uyumlu malzemelerin -gerekliyorsa- kullanılması esas olmalıdır.

Kısaltmalar ve Kaynakça

- | | |
|-----------------------|---|
| Black v.d. 1965 | C. A. Black – D. D. Evans – L. E. Ensminger – J. L. White – F. E. Clark, Methods of Soil Analysis No. 9 in the Series Agronomy, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA (1965). |
| Brindley – Brown 1980 | G. W. Brindley – G. Brown, Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identifications, Mineral Society (1980). |
| Feigl 1966 | F. Feigl, Spot Test in Organic Analysis, Elsevier Publication Company (1966). |
| Hurlbut 1971 | C. S. Hurlbut, Dana's Manual of Mineralogy (1971). |
| Kerr 1977 | P. F. Kerr, Optical Mineralogy (1977). |
| Means – Parcher 1963 | R. E. Means – J. V. Parcher, Physical Properties of Soils (1963). |
| Özçilingir-Akgün 1997 | S. Özçilingir-Akgün, Study of the Glazed Building Materials on Some Seljuk Period Buildings (ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Arkeometri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara 1997). |
| Pollard – Heron 1996 | A. M. Pollard – C. Heron, "Archaeological Chemistry", The Royal Society of Chemistry (1996). |
| Rapp 2002 | G. Rapp, "Archaeomineralogy" (2002). |
| RILEM 1980 | RILEM, "Research and Testing", Materials and Construction 13 (1980) 73. |
| Ulusay v.d. 2005 | R. Ulusay – C. Gökçeoylu – A. Binal, "Kaya Mekanığı Laboratuar Deneyleri", TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayınları 58 (2005). |
| Wentworth 1922 | C. K. Wentworth, A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, Journal of Geology 30, 1922, 377-392. |
| Yılmaz 2002 | L. Yılmaz, Antalya (16. Yüzyılın Sonuna Kadar) (2002). |

Abstract

Archaeometric Studies at Yivli Minare in Antalya

The 13th century Seljuk construction Yivli Minare, or the Fluted Minaret, located in the city identity of Antalya, stands independently to the east of a mosque of the same name. For the conservation of the Yivli Minare, the Yivli Minare Relevé, Restitution and Restoration Project was initiated. The monument was analysed for archaeometrical purposes as well.

Within these studies the structural materials (stone, brick, mortar and plaster) and decorative materials (tiles and their glaze) were examined for their basic physical properties and chemical characteristics, as well as their mineralogical/petrographic structures. Colors, electrical conductivity, amount of water soluble salt, salt types and raw material contents were also examined.

The building stones used for the construction of the minaret were travertine that was formed with cold and hot water sedimentation reflecting local formation. In addition, types of rocks (AYM-T1) used for repairs were also identified (as marble).

Mortar and plaster matrices comprising aggregates and binders were examined separately. The binders found in the samples were either lime or lime with gypsum or cement. Evidence seems to indicate that in mortars with original properties, the binder contained lime and gypsum together, while in the repair mortars and plasters, binders also contained cement. Some of the mortar samples, namely AYM-H9 and AYM-H10, contained about 1% tow of such as plants, hays etc. in the aggregate. Brick crumbs were found about 3% to 80% in most of the samples.

Two tile samples (AYM-C1 and AYM-C2) were examined for their thin section analysis and it was seen that their fabrics were different. Tile sample AYM-C1, similar to AYM-B7, was fired at 900-950°C and contained 1.5% porosity, while tile sample AYM-C2 was fired at a lower temperature (900°C) as suggested from its highly porous (15%) structure. The glaze of the tile samples has a thickness varying from 300 to 700 µm. The matrix of AYM-C1 has a broken, angular texture, with grains of 0.1 - 500 µm. It is composed of aggregates and minerals with substantial heterogeneous distribution. The matrix of AYM-C2 has coarser grains but fewer aggregates. The basic elementary contents of the glaze samples are similar to each other.

In the petrographical thin section analysis, unsuitable mortar and plaster repairs containing cement as binder were identified.

The two tile samples examined were found to be similar in character to other building tiles of the same period. It showed that a certain tile production technology in building Seljuk monuments might be employed all over Anatolia.

Micro-climatic examination revealed a problem with dampness in the ground beneath the minaret.

The Yivli Minare is an indispensable part of Antalya's identity. The archaeometrical data from the study are necessary for appropriate repair work enabling the Yivli Minare to be passed to next generations. According to data resulting from this study, materials to be used – if necessary – must be compatible with original construction materials.

Örnek Kodu	Örnek Türü	Örnek Sayısı
AYM-T	Taş Örnekler	5
AYM-B	Tuğla Örnekler	7
AYM-C	Çini Örnekleri	2
AYM-H	Harç Örnekler	10
AYM-S	Sıva Örnekler	3

Res. 1 Antalya Yivli Minare'den elde edilen örnek grupları

Örnekler	Açıklamalar
AYM-T1	Taş, Minare güneydoğu köşeden onarım taşı
AYM-T2	Taş, Minare kuzeybatı köşeden
AYM-T3	Taş, Minare kuzey cephe kapının sağ tarafında oyuk kısımdan
AYM-T4	Taş, Minare içten şerefe seviyesi taş örgüden
AYM-T5	Taş, Minare şerefe korkuluğundan
AYM-B1	Seramik, Minare taban seviyesi çinili pencere nişi solundan tuğla
AYM-B2	Seramik, Minare taban üst silmeden tuğla
AYM-B3	Seramik, Minare şerefe seviyesi onarım tuğlası
AYM-B4	Seramik, Minare taban alt silmeden tuğla
AYM-B5	Seramik, Minare 70. basamak seviyesi çekirdek kolonundan tuğla
AYM-B6	Seramik, Minare şerefe petekten onarım tuğası
AYM-B7	Çini, Minare taban seviyesi pencere nişinden çini hamuru
AYM-C1	Çini/Sır, Minare taban seviyesi pencere nişinden çini (mavi/turkuaz)
AYM-C2	Çini/Sır, Minare taban seviyesi pencere nişinden çini (koyu mavi)
AYM-H1	Harç, Minare şerefe seviyesi tuğla arası onarım derzi (AYM-B3 derzi)
AYM-H2	Harç, Minare çekirdekten (70. basamak seviyesi) tuğla derzi (AYM-B5 derzi)
AYM-H3	Harç, Minare çekirdek kolonu (61. basamak seviyesi) tuğla örgü derzi
AYM-H4	Harç, Minare tabanı kuzey cephe kapının sağı 3. taş sırası onarım derzi
AYM-H5	Harç, Minare taban seviyesi pencere nişi onarım sıvası altı tuğla derzi
AYM-H6	Harç, Minare taban seviyesi alt silme onarım sıvası altından derzden
AYM-H7	Harç, Minare taban seviyesi pencere nişi çini arası derzi
AYM-H8	Harç, Minare taban seviyesi pencere nişi kemeri köşesi tuğla derzi
AYM-H9	Harç, Minare güney cephe güneydoğu köşe taş arası derz
AYM-H10	Harç, Minare kuzey cephe kapının sağ içi taş arası derzi
AYM-S1	Sıva, Minare şerefe petekten derz üzeri kabarık sıva
AYM-S2	Sıva, Minare taban seviyesi pencere nişinden onarım sıvası
AYM-S3	Sıva, Minare taban alt silmeden onarım sıvası

Res. 2 Antalya Yivli Minare'den elde edilen örnekler ve alındığı yerler

Örnekler	AYM-T1	AYM-T2	AYM-T4	AYM-B1	AYM-B3	AYM-B4	AYM-B5
d (g/cm ³)	2,51	2,32	1,81	1,63	1,60	1,75	1,66
P (%)	4,88	10,22	18,81	25,67	29,17	22,12	24,28
Tür	Mermer	Traverten	Traverten	Tuğla	Tuğla	Tuğla	Tuğla

Res. 3 Antalya Yivli Minare taş ve tuğla örneklerinin fiziksel özellikleri

Örnekler	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Fosfat (PO ₄ ³⁻)	Klor (Cl ⁻)	pH	S (%)
AYM-T1	0,075*	10*	0,200*	3*	8,20	0,33
AYM-T2	0,075	10	0,200	3	8,02	0,43
AYM-T4	0,075	10	0,400	60	6,80	3,77
AYM-B1	0,075	10	0,400	3	6,99	2,20
AYM-B3	0,050	25	0,200	3	7,04	1,14
AYM-B4	0,050	50	0,200	10	6,96	1,50
AYM-B5	0,050	50	0,200	3	6,90	1,42

(*) Değerler mg/L'dir.

Res. 4 Antalya Yivli Minare taş ve tuğla örneklerinde toplam tuz miktarı (%S), pH değerleri ve anyon türleri

Örnekler	Çözünen (%)	Kalan (%)	Elekte Kalan (%)					
			1000 µm	500 µm	250 µm	125 µm	63 µm	<63 µm
AYM-H2	93,89	6,11	25,35	29,57	13,81	8,82	8,97	13,47
AYM-H3	95,02	4,98	8,56	38,92	17,87	15,13	10,48	9,04
AYM-H10	93,78	6,22	29,79	33,46	15,48	12,35	4,64	4,27

Res. 5 Antalya Yivli Minare harç örneklerinde agrega / bağlayıcı (asitte çözünen) miktarları ve agregada tane dağılımı

Örnekler	Ba (%)	Ag (%)	Bağlayıcı Bileşimi (%)				Agrega Bileşimi (%)		
			K	KT/M	Çm	G	Kayaç ve Mineral*	TK	Org
AYM-H1	55	45	80	-	20	-	95 (Q, K, Pl, S, Ç)	5	-
AYM-H2	85	15	100	-	-	-	95 (Q, K, Ç)	5	-
AYM-H3	85	15	100	-	-	-	95 (Q, K, Ç)	5	-
AYM-H4	55	45	80	-	20	-	95 (Q, K, Pl, S, Ç)	5	-
AYM-H5	85	15	100	-	-	-	95 (Q, K, Ç)	5	-
AYM-H6	55	45	100	-	-	-	90 (Q, Qs, S, B, G, Ç)	10	-
AYM-H7	85	15	100	-	-	-	97 (K, B)	3	-
AYM-H8	55	45	100	-	-	-	90 (Q, Qs, S, B, G, Ç)	10	-
AYM-H9	90	10	75	-	-	25	94 (Q, Ç)	5	1
AYM-H10	90	10	75	-	-	25	94 (Q, Ç)	5	1
AYM-S1**	45	55	90	10	-	-	20 (Q, K, Ç)	80	-
AYM-S2	20	80	80	-	20	-	95 (Q, K, S, Pl)	5	-
AYM-S3	55	45	80	-	20	-	95 (Q, K, S, Pl, Ç)	5	-

* Ag: Agrega, Ç: Çört, Çm: Çimento, B: Bazalt, Ba: Bağlayıcı, G: Granit, K: Kireçtaşı, KT/M: Kireçtaşı/mermer Tozu, Org: Organik (kitik: bitki, saman vb parçaları), Q: Kuvars, Qs: Kuvarsit, Op: Opak Mineral, Pl: Plajiyoklas, S: Serpentinit, TK: Tuğla Kırığı Parçaları

** Burada üst kısmı çimentolu olan örneğin alt katmanı olan kireç harçlı katı belirtilmektedir.

Res. 6 Antalya Yivli Minare harç ve siva örneklerinde bağlayıcı/agrega dağılımı, oranı, türü ve bileşimi

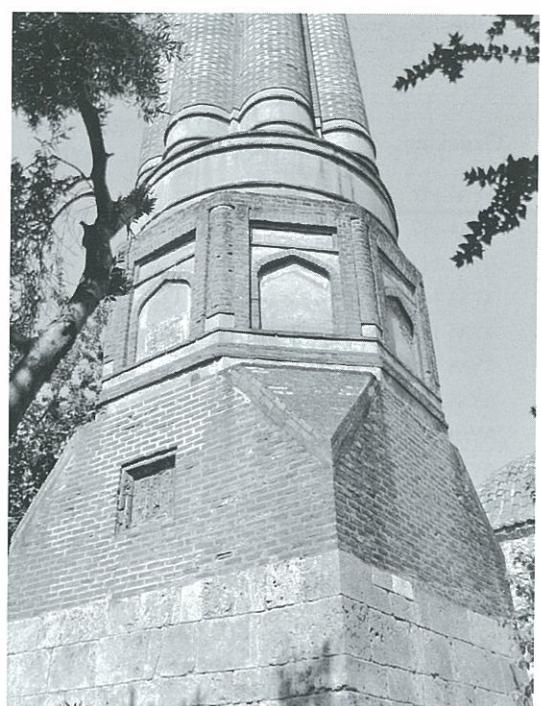
Element	Bileşim	AYM-C1	AYM-C2
SiO ₂	%	64,56*	62,90
CaO	%	5,04	5,19
MgO	%	4,76	5,92
Na ₂ O	%	3,98	2,36
PbO	%	2,02	2,69
K ₂ O	%	1,63	1,75
Fe ₂ O ₃	%	1,48	1,88
CuO	%	0,492	0,631
SO ₃	%	0,204	0,029
Al ₂ O ₃	%	0,016	1,732
P ₂ O ₅	%	0,042	0,516
MnO	%	0,021	0,029
Ca ₃ O ₄	%	0,087	0,103
As ₂ O ₃	%	0,097	0,122
SnO ₂	%	0,004	0,016
Ag	ppm	0,0001	0,0001
Sb	ppm	0,0013	0,0039
Au	ppm	0,0007	0,0008

* Değerlerde anlamlı rakam sayısı 3 ve 4'dür.

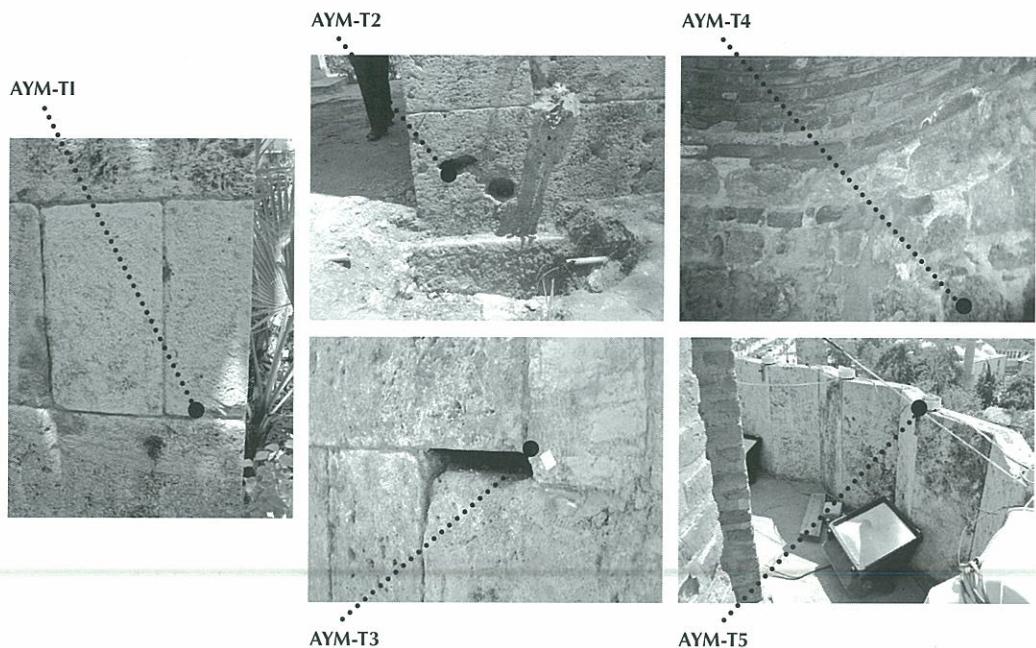
Res. 7 Antalya Yivli Minare çini sıri örneklerinin Mikro-XRF analizi sonuçları



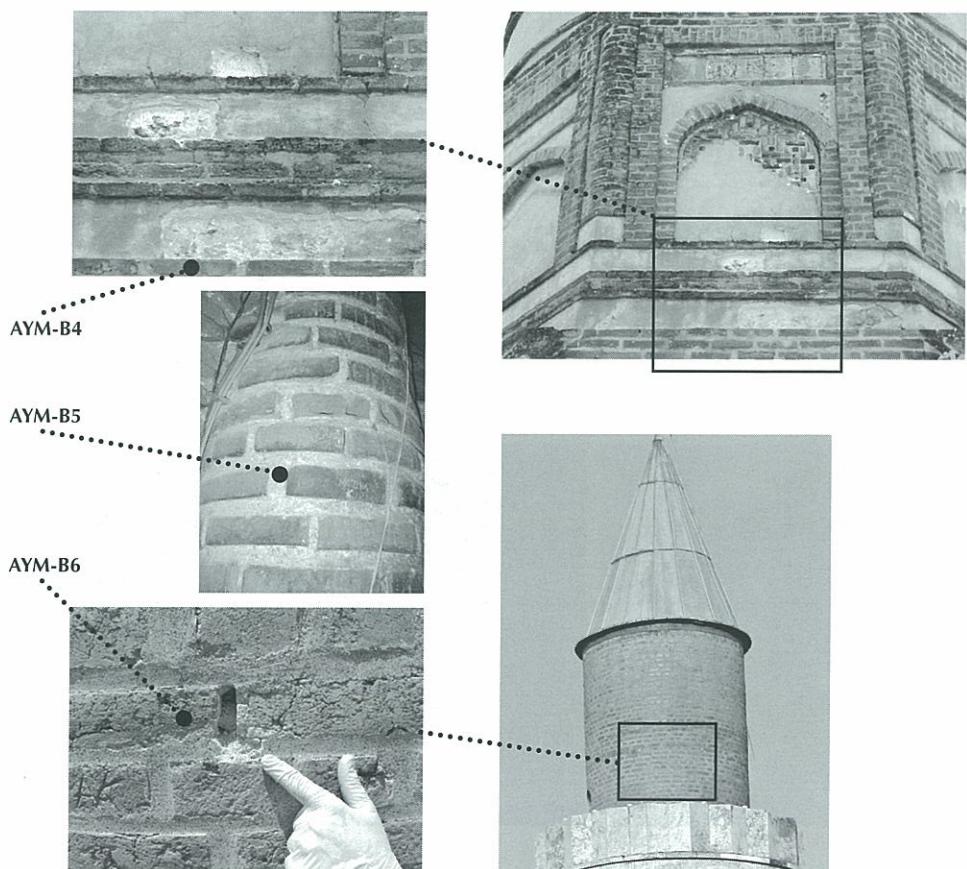
Res. 8 Antalya Yivli Minare'nin genel görünümü



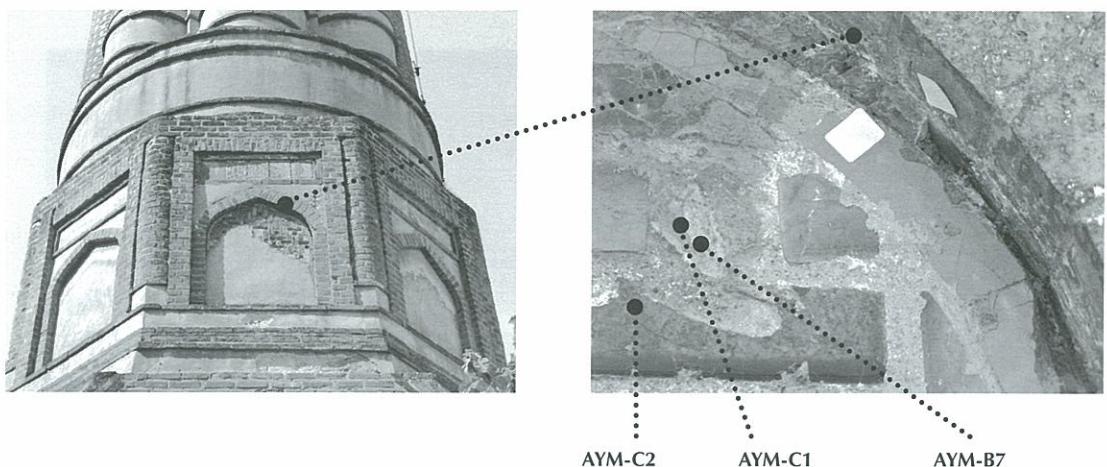
Res. 9 Antalya Yivli Minare'nin tabanı



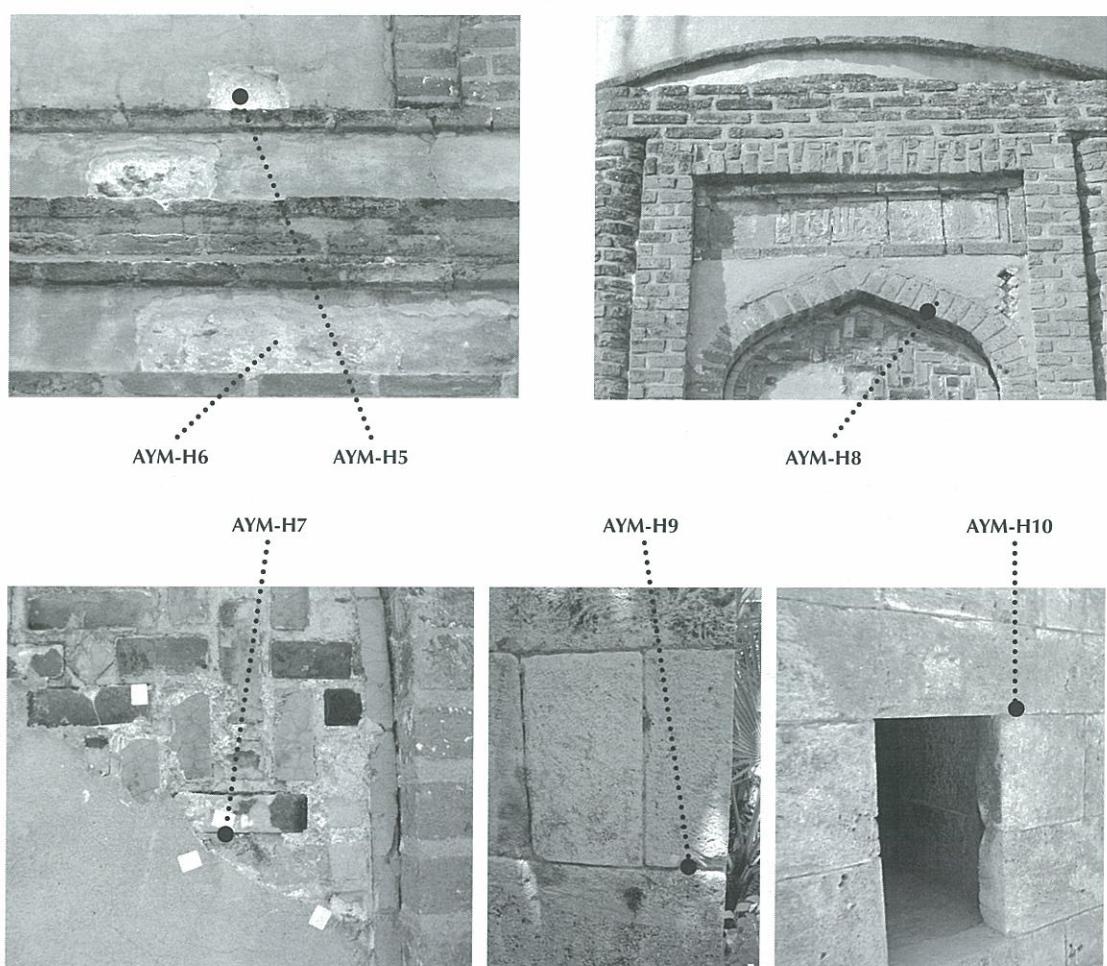
Res. 10 Antalya Yivli Minare taş örneklemeleri



Res. 11 Antalya Yivli Minare tuğla örneklemeleri



Res. 12 Antalya Yivli Minare çini örneklemeleri

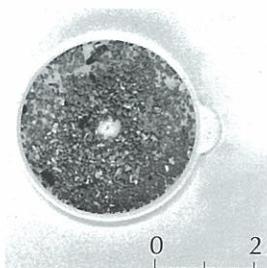
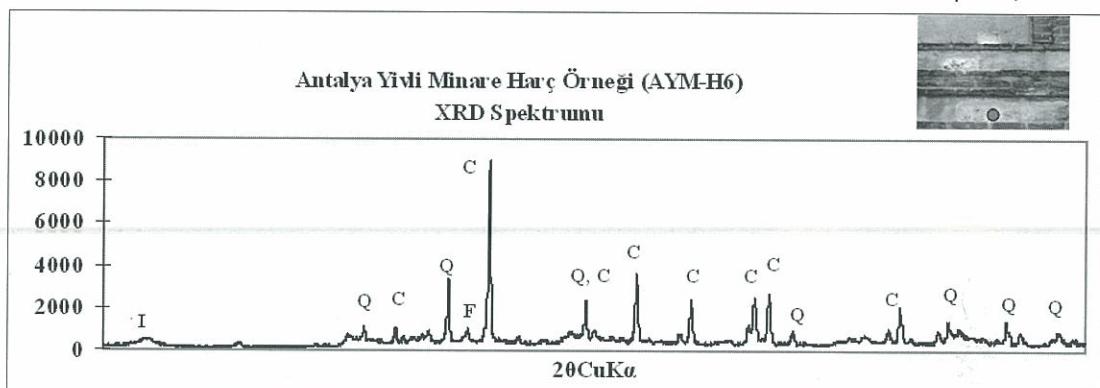


Res. 13 Antalya Yivli Minare harç örneklemeleri

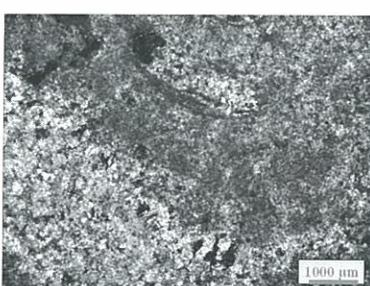


Res. 14
Minare tuğla örgüsünde
uygun olmayan
onarımlar; çimento
içerikli harç ve sıvalar

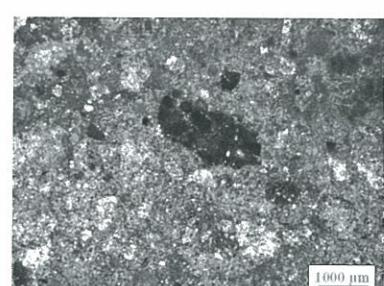
Res. 15
AYM-H6 harç örneğinin
XRD spektrumu
(I: İllit, C: Kalsit,
F: Feldispat, Q: Kuvars)



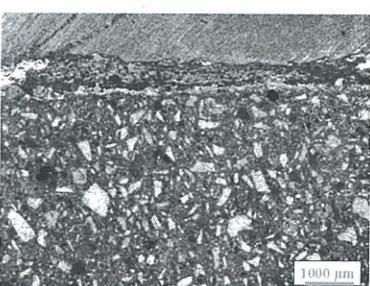
Res. 16
AYM-H3 harç örneğinin
(asitte çözünmeden kalan)
agrega yapısı



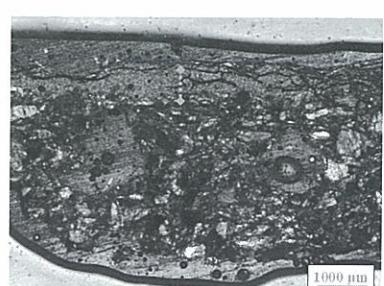
Res. 17
AYM-T2 taş
(traverten yapitaşı)
örneğinin ince kesit
mikrofotoğrafı



Res. 18
AYM-H3 harç (özgün)
örneğinin ince kesit
mikrofotoğrafı



Res. 19
AYM-C1 çini
örneğinin ince kesit
mikrofotoğrafı



Res. 20
AYM-C2 çini örneğinin
ince kesit mikrofotoğrafı