

İSTANBUL'DAKİ ROMA DÖNEMİ SARAY YAPILARINDAKİ HORASAN HARÇLARININ İNCELENMESİ

*Khorasan Mortar Investigation
In The Roman Palace Structures In Istanbul*

Gülçin Kahraman Altaş | İ.T.Ü.
Dr. Seden Acun Özgünler | İ.T.Ü.
Prof. Dr. Erol Güldal | İ.T.Ü.



Tarihi yapıların restorasyonunda doğru malzemelerin seçimi, yapıda kullanılan özgün malzemelerin bilimsel analiz sonuçlarına bağlı olarak yapılmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmada, İstanbul'da yer alan Erken Bizans Dönemi (Roma) saray yapılarında kullanılan tarihi harçlar; fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik özellikleri yanında agrega boyut dağılımlarını gösteren elek analizi ve suda çözünen tuz analizleriyle birlikte incelenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre, bu harçların iyi basınç dayanımına sahip kalsiyum silikatlı bileşikler içeren, Roma harçlarının bir karakteri olan puzolanik özellikli, sağlam bağlayıcı kompozisyonlu, iyi bağlayıcı-agrega ara yüzeyine sahip horasan harçları olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Horasan harcı, Roma dönemi, harç karakterizasyonu, mikro yapı analizleri

The choice of appropriate materials for restoration of historical buildings depends on scientific data obtained from the analyses of materials used for the original construction. In this study, historical mortars taken from palace buildings of Early Byzantine Period (Roman) in Istanbul, were studied with physico-chemical property tests, mineralogical composition, grain size distribution analyses, compression strength and water soluble salt analysis. Analyses showed that these are khorasan mortars and they have good compression strengths. In the chemical analyses, calcium silicate hydrate (CSH) compounds have been seen. Also, they have pozzolanic characteristics like Roman mortars and they have strong binder cohesion, perfect binder-aggregate bond.

Keywords: Khorasan mortar, Roman period, mortar characterization, microstructural analyses.

1. GİRİŞ

İstanbul'da bulunan Erken Bizans (Roma) dönemi sarayları olarak; Büyük Saray, Bukoleon Sarayı ve Lausos Sarayları incelenmiştir. Öncelikle, bu saraylar ile ilgili ayrıntılı bir tarih araştırması yapılmış, daha sonra temsili örneklerin alınacağı yerler belirlenmiş ve deneyler yapılmıştır.

Tarihi yarımada şehrin merkezine yerleşmiş konumdaki imparatorluk sarayları Bizans için önem taşımaktaydı. Büyük Saray'ın Hippodrom'a açılan kapıları, büyük pavyonları; Bukoleon Sarayı, imparatorların İstanbul'un en güzel yeri seçtiği sahilde yer alması ve Lausos Sarayı'nın ise Mese'nin devamında aynı bölgede yer alması dikkat çekmektedir. Bu yapılardan günümüze ancak kalıntıları ulaşabilmiştir (Şekil 1).

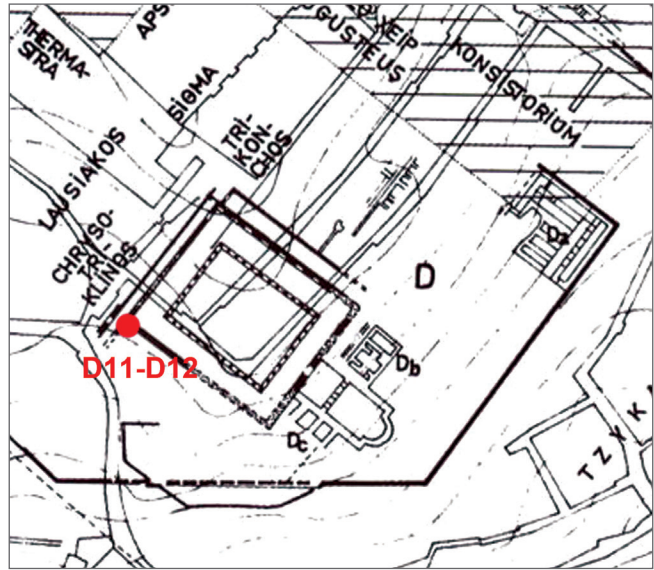
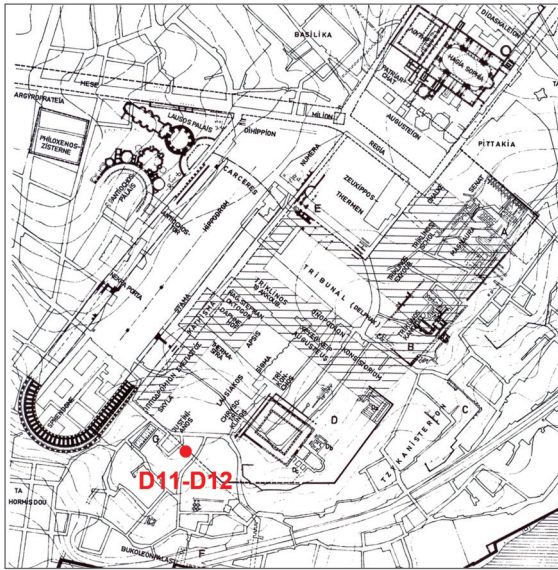
İmparatorluk sarayı olan Büyük Saray; Hipodrom'dan başlayıp Marmara Denizi'ne kadar uzanan geniş bir alanda, birçok pavyon, memurlar ve muhafızlar için bölmeler, bahçeler ve oyun alanlarından oluşuyordu. Ana hatları Costantinus tarafından belirlenen saray, 4.-5. yy'da genişletilmiş, 11. yy'a kadar imparatorluk burada ikamet etmiştir. Saray'ın ana kapısı "Khalke" Ayasofya yakınındadır ve saray; Magnaura, Porphyra, Trikonkhos, Komilas, Sigma,

Daphne, Musikos, Kenurgion, Khrysotriklinos, Mahturas vs. gibi büyük pavyonlardan oluşmaktaydı. Daphne Sarayı, Büyük Saray'ın çekirdeği konumundaydı. Sarayın diğer bölümleri eğlenceler, gösteriler, hükümdarlık işleri, toplantılar ve çalışanlar için, Daphne Sarayı hükümdarların ikamet ettikleri yerd. Hükümdar, halka açık olan alanları geçtikten sonra (Golden Hand) Altın El olarak adlandırılan dar bir koridordan Daphne Sarayı'na geçirdi. Büyük salonlar Daphne Sarayı'nın bir avlu etrafındaki odalarıyla bağlantılıydılar.

532 yılındaki Nika İsyanı'ndan zarar görünce 6. yy'da onarım geçiren saray 9. yy'da genişletilir. 11. yy'da saray, kullanılmayacak durumda olunca yapı malzemeleri başka binaların yapımında kullanılır. Sultan I. Ahmed 17. yy'da saraydan pavyonlar satın alıp bunun üzerine Sultan Ahmed Camii'ni yaptırır. Saraydan günümüze kalan kısımlar evlerin altındaki mahzen kalıntıları, iki katı birbirine bağlayan Akbiyık caddesindeki merdiven kulesi, Ayasofya'nın apsis tarafının karşısında kalan kalıntılar ve Sultan Ahmed Camii arastasındaki mozaik döşemelerdir. Son yıllarda bu bölgede yapılan arkeolojik kazılarda III. Ahmet Çeşmesi'nin yer aldığı meydana sarayın büyük bir bölümü kalıntılar şeklinde ortaya çıkmıştır (Şekil 2-3).



Şekil 1: 5.yy, tarihi yarımada rekonstrüksiyon çizimi

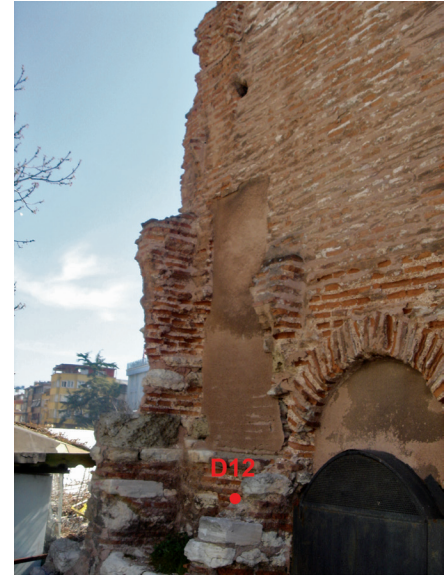


Şekil 2: Planda D11 (Büyük Saray derz harcı) ve D12 (Büyük Saray örgü harcı) numaralı örneklerin alındığı yerler, (Plan, Müller-Wiener 1977).

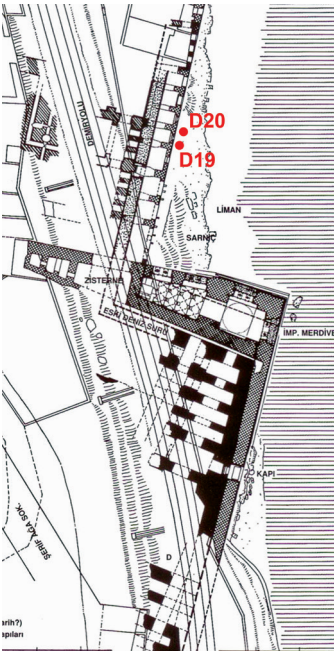
Bukoleon Sarayı; Büyük Saray'ın üçüncü terasında, deniz kenarında yer almaktaydı. Adını, Büyük Saray'ın doğusunda bir boğanın aslanı parçaladığı heykelden alır; aynı zamanda Hormisdas Sarayı olarak anılır. Bukoleon Sarayı, ikili bir saraydı; merdivenlerle çıkılan Faros terası, Altın Salon önünde, deniz feneri de bugünkü Çatladı Kapı civarında sarayın güneydoğu ucundaydı. Yapı, kemerli ve tonozlu mekânlardan oluşmaktaydı. Mermer pencere söveli olan bu yapının kalıntıları bugün deniz kenarında, Marmara Surları üzerindedir. Latin işgalinden sonra, Latinler burayı konut olarak kullandılar. Palailogos'lar döneminde burası da terk edilir, 1453 yılında yerleşim alanı olur. 1870'deki demiryolu yapımında

zarar görür, 1912 yılında güçlendirme çalışmaları başlar fakat henüz bir onarım yapılmamış haldedir (Şekil 4).

Lausus Sarayı ise; Hipodrom ve Euphemia Kilisesi'nin yakınında yer alır. Yapı, o dönemde dairesel formlara olan düşkünlükle yarım daire formunda kolonadlı bir giriş ve yarım daire nişleri olan uzun bir koridor şeklinde inşa edilmiştir (Şekil 5). On köşeli, nişli büyük salon daha sonra eklenmiştir. Yapım tekniği kesme taş ve beş sıralı tuğla bantlardan oluşmaktadır. İkinci yapım aşamasında apsisler, tuğla ve kesme taşlardan oluşmuştur. 5. yy'da çıkan yangından zarar görüp, 476 yılında yıkılıp yeniden inşaa edilir ve konut olarak kullanılır. 7. yy'da zarar gören yuvarlak yapı-



Şekil 3: D11 (Büyük Saray derz harcı) ve D12 (Büyük Saray çekirdek harcı) numaralı harç örneği alınan yerler



Şekil 4: D19 (Bukoleon Sarayı derz harcı) ve D20 (Bukoleon Sarayı örgü harcı) numaralı harç örneği alınan yerler (Plan, Müller-Wiener 1977).

nın kalıntıları sağlam tuğla duvarlarla sarnıca çevrilir ve 18. yy'a kadar kullanılır (Müller-Wiener 1977).

Antiochus ve Lausos Sarayı kalıntıları, 1952 Adliye Sarayı yapımı ve 1963 yılındaki yol çalışmalarıyla ortaya çıkarılır (Eyice, 2006).

2. ÖRNEK ALMA ÇALIŞMALARI

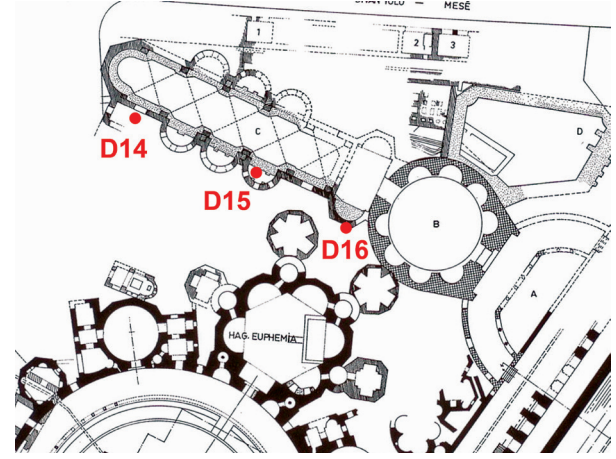
İncelenen yapılar tarihsel süreç içinde çeşitli onarımlar geçirmiştir. Bu nedenle bu yapılar hakkında yapım dönemine ait özgün yerleri bulabilmek, doğru yerlerden temsili örnekler alabilmek için detaylı bir literatür çalışması yapılmıştır. Alınan örneklerde fiziksel, kimyasal, petrografik özellikleri ile hammadde kompozisyonları minarolojik özellikleri ve suda çözünen tuz anazileriyle birlikte incelenmiştir.

3. YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI

Harçların morfolojik özellikleri, fiziksel özellikleri, hammadde kompozisyonları, kimyasal özellikleri, mineralojik karakterleri deneysel sonuçlara göre belirlenmiştir. Morfolojik analizlerde tüm harç örneklerinin tuğla tozu ve tuğla kırıklı agrega içeren horasan harçları olduğu sonucuna varılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.1. Fiziksel Özellik Deney Sonuçları

Yapılardan alınan horasan harcı örneklerinde yapılan fiziksel özellik deney sonuçlarına göre; görünen porozite değerleri %37 ile %48 arasındadır; horasan harçlarının boş-



Şekil 5: D14 (Lausus S. derz harcı), D15 (derz harcı) ve D16 (Lausus S. örgü harcı) numaralı harç örneği alınan yerler (Plan, Müller-Wiener 1977).

luklarındaki su ve buzun büyümesi nedeniyle oluşacak röt-re ve çatlaklara karşı dayanıklıdır. Atmosfer basıncında su emme deney sonuçlarında örneklerin kütlece su emme yüzdesi % 23 ile 33 arasında iken, birim hacim kütlesi 1,32 ile 1,61 g/cm³ arasındadır ve bu değerler tarihi yapılardaki horasan harçlarında görülen değerlere eş değerdedir.

3.2. Kimyasal Özellik Deney Sonuçları

Asit Kaybı Analizi:

Asit kaybı deneyi için örneklerden gerekli miktarlar seçilip kurutularak, 1/3 oranında seyreltilmiş HCl asit çözeltisiyle reaksiyona sokulmuştur. Asitte çözünmeyen kısım filtre kâğıdından yıkanarak ve süzülerek silikatlı agrega kısmı elde edilmiş, toplam malzeme miktarından bağlayıcı kısmı hesaplanmıştır.

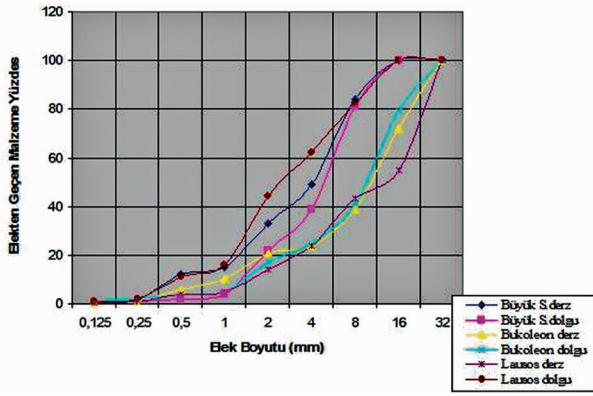
Asit kaybı deney sonuçlarında 1/3 ve 1/4 bağlayıcı/agrega oranları bulunmuştur. Bu harçların çok sert yapıda olmaları asitte çözümlenmesini zorlaştırmıştır. Bu örneklerin asit kaybı analizinden sonra kalan agregaları incelendiğinde; bağlayıcı olan kirecin tuğla agrega ile iyi bağ kurduğu,

agreganın üzerinde çözünmeden kaldığı ve silikatlaşmış bir ara yüzey oluşturduğu görülmektedir. Harçta, hidrolik reaksiyon oluştuğu sonucunu da bize göstermektedir. Bu nedenle 1/3,5 - 1/4 arasında çıkan oranlarda silikatlaşma nedeniyle bu oranın 1/3 arasında olabileceği düşünülmektedir.

Kızdırma Kaybı Analizi:

Belirlenen yapılardan alınan harç örneklerinde bağlayıcı kompozisyonları, harçların nem ve karbonat miktarları, hidrolik özellikleri, kızdırma kaybı değerleri belirlenmiştir.

Horasan harçlarında 200–600 °C arasında kireç ve tuğla ara yüzeylerinde bulunan hidrolik ürünlerin dekompozisyonunda kimyasal su kaybına ve 900 °C'den sonraki sıcaklıklarda ise karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu ile karbondioksit (CO₂) kaybına bağlı olarak ağırlık azalmaları meydana gelmektedir. Bu sonuçtan hareketle CO₂ / kimyasal su oranı 1–10 oranındaysa harç hidrolik, 10'dan fazla ise hidrolik olmadığı sonucuna varıldığı ileri sürülmektedir (Palomo et al., Özkaya ve diğerleri 2006). Buna göre örnekler 1,1-3,7 oranında değerlere sahip olup, bunların hidrolik özellik taşıdığı sonucuna varılmıştır. Harcın hidrolikliği,



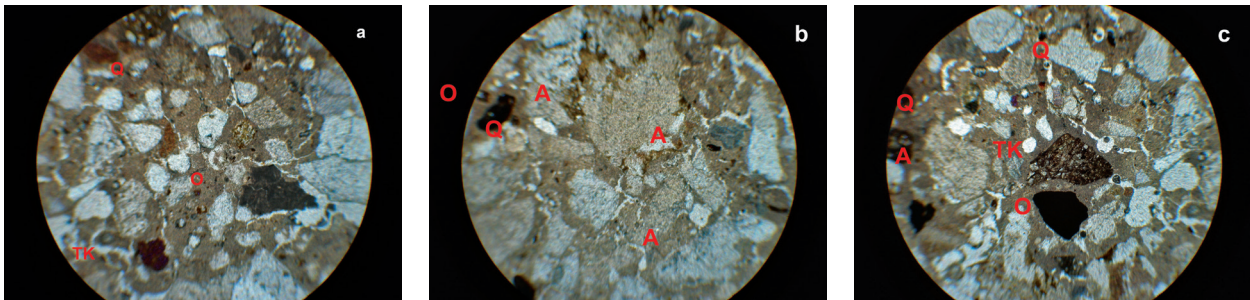
Şekil 6: Saray yapıları derz ve örgü harcı agrega granülometri eğrisi

puzolanlık özellik taşıdığını ve yüksek mekanik dayanıma sahip olduğunu da göstermektedir. Puzolanik özellik ya agrega olarak kullanılan tuğla kırığı ve tuğla tozundan ya da puzolanik katkılardan gelmektedir. Bu analizlerin sonuçları diğer bölümlerde verilen mikro yapı ve puzolanik aktivite analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Elek Analizi:

Asit kaybı analizi yapılan örneklerde çözünmeden kalan kısımdan agrega granülometrisi ve agrega tipini belirlemek için 16 mm. ile 125 µm.'lik ISO 565 serisi elekler kullanılarak elekten geçen malzeme yüzdesi hesaplanmış ve Şekil 6'da elek analizine göre yapılan agrega granülometri eğrisi gösterilmiştir.

Tuğla kırığı harçtaki mekanik dayanımı ve puzolanik hidrolitik reaksiyonları artırmaktadır. Kırılmış tuğla kırığı varlığı Roma ve Bizans dönemi yapılarının bir özelliğidir. Bu yapılardan alınan örneklerde yüksek miktarda tuğla kırığı ve harca kırmızı rengini veren tuğla tozu görülmüştür; agregalar homojen olarak dağılmıştır. Bazı örneklerde dere kumundan ileri gelen mika, kuvars ve çakıl taneleri tespit edilmiştir. Agregalar köşeli tuğla kırıkları ve dere çakılından oluşmaktadır. Bu tuğla agregaların koyu renkte ve boşluksuz olması dikkat çekmektedir. Ayrıca, agrega yoğunluğu harçların kullanıldıkları amaçlara göre de değişmektedir. Örgü harçlarında daha iri agregalar mekanik dayanımı sağladıkları için daha fazladır. Bu yapılarda 16 mm. ve 8 mm.deki agregalar görülürken, en çok agrega boyutu 4 mm.de yoğunlaşmıştır.



Şekil 7: D19 no.lu Bukoleon Sarayı derz harcı a) Genel doku görüntüsü, b) Bağlayıcı matrisinin görüntüsü, c) Bağlayıcı-agrega ilişkisinin görüntüsü (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, A: Farklı renkteki agregalar, O: Opak taş kırığı)

pH, Puzolanik Aktivite ve Tuz Analizleri:

pH değerlerine bakılarak da kirecin kuvvetli baz olmasından dolayı harçların zayıf baz özellik taşıdığı görülmektedir. Harçlarda pH, Orion marka pH metre ve pH bant ile test edilmiştir.

Harçlarda puzolanik aktivite deneyi elektrik iletkenliklerinin ölçülmesiyle tespit edilmiştir, (Palomo et al., Böke ve diğerleri 2004). Buna göre, doymun $Ca(OH)_2$ 'nin elektrik iletkenliği ölçülüp, elek analizi sonrasında horasan harcının tuğla agregasının 125 µm. altında kalan ince kısmı çözeltiliye karıştırılıp sonra elektrik iletkenliği ölçülmüştür. Elektrik iletkenlik değerleri arasındaki farkın 0,4 mS/cm'den büyük olması harçların puzolanik özelliği taşıdığını 1,2 mS/cm'den büyük olması ise iyi puzolan olduğunu göstermektedir. Saray yapılarından alınan harç örneklerinin 1,45 mS/cm ve üstü değerler taşıması bu harçların puzolanik karakterli agregalardan oluştuğunu göstermektedir.

Çözünen tuzların miktarı iletkenlik ölçümü ile bulunmuş, spot analizlerle de tuzların cinsi (klorür, sülfat, nitrat, karbonat) tespit edilmiştir. Örneklerden hazırlanmış toz haline getirilmiş 1g. harç ile 100 ml. distile su solüsyonu hazırlanmıştır. Çözünebilir tuz iletkenliğinin belirlenmesi için elektriksel geçirgenlik kondaktometre ile ölçülmüştür.

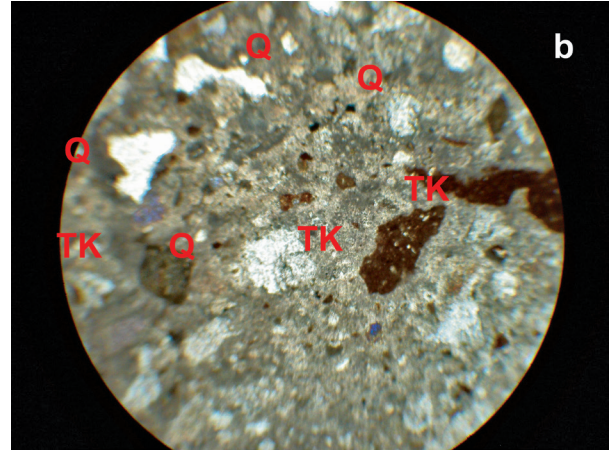
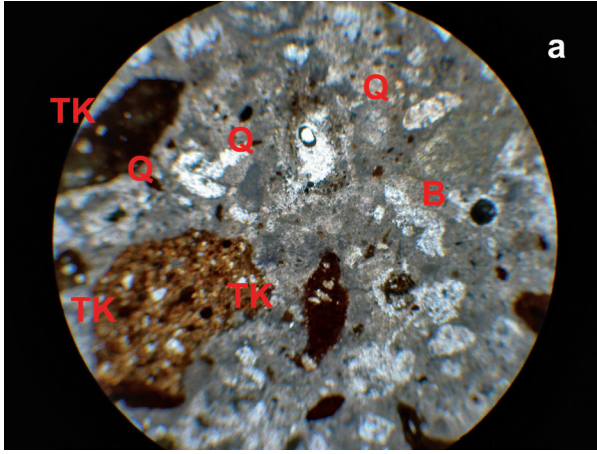
Tuz analizlerindeki sonuçlara bakıldığında deniz kenarına yakın olan Bukoleon Sarayı'nda klor miktarı, trafiğe maruz kalan bölgelerden alınan örneklerde ise sülfat miktarı daha fazla çıkmıştır ve iç bölgelerdeki yapılarda bu tuzların oranı azalmaktadır.

3.3. Mikro Yapı Analizlerinin Sonuçları

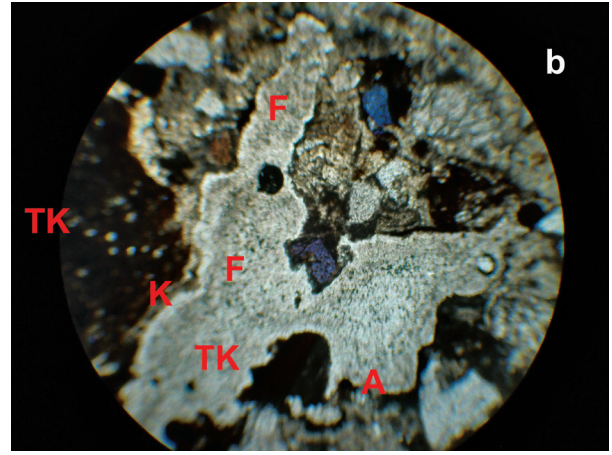
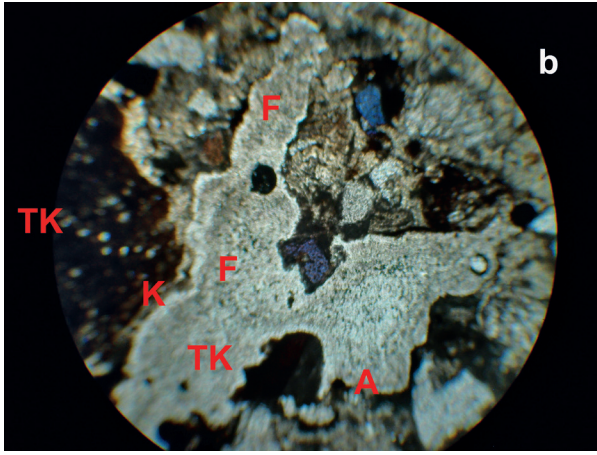
Petrografik Analiz:

Harç örnekleri öncelikle kesilip lam'a yapıştırıldıktan sonra taş kesme ince kesit makinesi (Logitech) ile 1 mm'e kadar inceltirilip daha sonra, 30 µm'e kadar inceltirilmiştir. Örneklerden elde edilen ince kesit fotoğrafları, çift nikol olarak SOIF marka polarize mikroskopta 4X büyütmede çekilmiştir (Şekil 7,8,9).

Bukoleon Sarayı'ndan alınan derz harcı örneğinin hamur kısmı, kuvars ile gösterilen silis kumu yoğun olan bir



Şekil 8: D20 Bukoleon Sarayı çekerdek harcı, a) Genel doku görüntüsü, b) Bağlayıcı matrisinin görüntüsü, (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, B: Boşluk)



Şekil 9: D16 Lausos Sarayı derz harcı, a) Genel doku görüntüsü, b) Tuğla kırığı çevresindeki karbonatlaşmış matrisin görüntüsü, (TK: Tuğla kırığı, Q: Kuvars, F: Feldspat, A: Farklı renkteki agrega, K: Karbonatlaşmış matris)

harçtır, tuğla kırığının yanında farklı kayalar ve opak taş kırıkları da agrega olarak yer almaktadır. Tuğla kırığı ile bağlayıcının birbirine iyi bağlandığı görülmektedir. Harcın bağlayıcısında kuvars görülmesi, puzolanik katkı taşıyabildiğini göstermektedir. Bu sonuç XRD analizinde de CSH pikinin görülmesi ile hidrolik karakterli bir harç olduğunu göstermektedir.

Büyük Saray'dan alınan harç örneğinde bulunan tuğlaların içinde görülen kuvars mineralleri, tuğlanın yapımında kullanılan malzemelerden ileri gelmektedir. Kuvars minerali bağlayıcı matrisinde bulunmuştur ve bu harcın asit kaybı analizinde filtre kâğıdında kalan malzemeleri incelendiğinde tüfsü malzemeler görülmüştür. Bu sonuçlar harçlarda volkanik asıllı puzolan kullanıldığını göstermektedir. Kireç matrisinde karbonatlaşmış yığınlar görülmektedir.

Lausos Sarayı derz harcında, bağlayıcı matrisinde kuvars ve feldspat görülmektedir. Feldspat farklı agrega veya taşlardan veya puzolanik özelliğe sahip volkanik tüflerden gelmiş olabilir. Matriste karbonatlaşma görülmesi tuğla çevresinde kireç-agrega ara yüzeyinde karbonat topraklarını yansıtmaktadır. Bu bölgede kireç ara yüzeyinde kimyasal reaksiyon olduğunu da göstermektedir.

X- Işını Analizi:

XRD analizlerinde kalsit, kuvars piklerinin belirgin olması, çok miktarda olduğunu göstermemektedir. Bu minerallerin kristal şeklinin düzgün olmasından dolayı X-ışınlarını daha iyi yansıtmaları nedeni ile pik şiddetinin fazla çıkması olağan bir durum olarak yorumlanmaktadır. Kalsit minerali bağlayıcı olan kireçten, kuvars minerali ise tuğla kırığı agregadan ileri gelmektedir. Bununla birlikte incelenen örneklerde, Bukoleon Sarayı derz harcında CSH piki (kalsiyum silikat hidrat) bulunmuştur. Bu sonuç harçların hidrolik karakterli puzolanik malzemeler katılarak hazırlanmış sağlam harçlar olduklarını göstermektedir. XRD analizi sonuçlarında kalsiyum silikat hidratlı bileşikler ve SEM analizlerinde jelsi yapılar bu harçların hidrolik karakterli harçlar olduklarını göstermektedir.

SEM-EDS Analizi:

Harçların kimyasal kompozisyonları EDS Üniteli Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılarak JEOL JSM-7000 F marka Scanning Elektron Microscope (SEM) cihazı ile yapılmıştır.

Bukoleon Sarayı derz harcı örneğinin agrega kısmının SEM-EDS analizi sonucunda, harcın silikatlı agregalardan

- Hughes J.J., Leslie A. and Callebaut, K. (2001).
The petrography of lime inclusions in historic lime based mortars. *Proceedings of the 8th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*, Athens, Greece, p.359-364.
- Kahraman, G. (2008). *Erken Bizans Dönemi Horasan Harçlarının İncelenmesi*, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Livingstone, R.A. (1993). Materials analysis of the masonry of the Hagia Sophia Basilica, İstanbul. *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings 111*, s. 15-31, Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston.
- Mango, C., 1976. Byzantine Architecture, New York.
- Moropoulou, A., Bakolas, A. and Bisbikou, K. (2000).
Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1, 45-58.
- Millingen, A.V., 1899. Byzantine Constantinople, The Walls of the City and Adjoining Historical Sites, Londra.
- Müller-Wiener W., 1977. İstanbul'un Tarihsel Topografyası, Wasmuth Verlag, Tübingen, yeni basım, Yapı Kredi Yayınları, 1998, İstanbul.
- Özkaya Ö., A., Böke, H. ve İpekoğlu, B. (2006).
Roma dönemi tuğla ve harçların özellikleri: Bergama Serapis Tapınağı örneği. *3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İTÜ, İstanbul, 15-17 Kasım, s. 616-627.
- Palomo A., Blanco-Varela, M. T., Martinez-Ramirez, S., Puertas, F. and Fortes, C.
Historic mortars: characterization and durability, new tendencies for research, www.arcchip.cz/w09/w09_palomo.pdf.
- Pavía, S. and Caro, S. (2008). An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material. *Construction and Building Materials*, 22, 1807-1811.
- Rampazzi, L. and Bugini, R. (2006).
St. Lorenzo Basilica in Milan: integral approach to characterization of historical mortars. *Morana RTD d.o.o. Yayını*, 21-26.
- RILEM, 2005. Investigative methods for the characterisation of historic mortars, in *Materials and Structures* 38, Part 1 and Part 2, s.761-769, 771-780.
- Silva, A.S., Ricardo, J.M., Salta, M., Adriano, P., Mirao, J., Candeias, A. E. and Macias, S. (2004).
Characterization of Roman mortars for the historical town of Mertola. *Eduardo Tooroja Institute (CSIC)*, Madrid, Spain, www.conservarcal.lnec.pt
- TS-699/T1. (2000). Tabii yapı taşları, muayene ve deney metotları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- Teutonico, J. M., 1988. A Laboratory Manual for Architectural Conservators, ICCROM, Rome.
- Velosa, A.L., Coroado, J., Veiga, M.R. and Rocha, F. (2007).
Characterisation of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair. *Materials Characterization*, 58, 1208-1216.