

ALMANYA, FRANKFURT YUNUS EMRE ENSTİTÜSÜ BİNALARI YAPI MALZEME ANALİZİ RAPORU

Prof. Dr. Ali Akın AKYOL

26 Şubat 2024

Kod No: RDV-MA-2024-93



Gazi Üniversitesi Teknokent
REDEVIO AR-GE Bilgi ve Operasyon Teknolojileri Ltd. Şti.



Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri
Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)



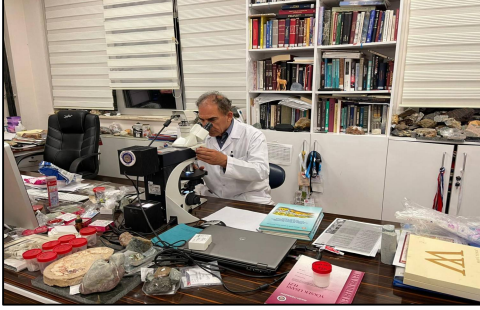
Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi,
Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü
Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB)

*Bu rapor, ilgili kişi/kurum/kuruluş/firmaya özeldir,
izin alınmadan hiçbir şekilde alıntı yapılamaz, çoğaltılamaz, yayımlanamaz.*

ARAŞTIRMA LABORATUVARLARI



Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB)



Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)

TARİHİ MALZEME ANALİZİ AR-GE PROJESİ ARAŞTIRMA / DANIŞMA GRUBU

Prof. Dr. Ali Akın AKYOL (Fiziksel Testler, Kimyasal Analizler)
Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fak., Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB)

Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU (Petrografi)
*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh. Bölümü
Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)*

Doç. Dr. Kıymet DENİZ YAĞCIOĞLU
*Ankara Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü
Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)*

M.A. Gülşen ALBUZ (MAKLAB Proje Asistanı)
Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fak., Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB)

RAPORUN İÇERİĞİ

ARAŞTIRMA LABORATUVARLARI	2
ARAŞTIRMA GRUBU	2
RAPORUN İÇERİĞİ	3
ÖZET	4
GİRİŞ	4
YÖNTEM VE DENEYLER	5
ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	9
Taş Örnekler	10
Tuğla Örnekler	11
Harç ve Sıva Örnekler	12
Taban Karosu Örneği	14
Toprak Örnek	14
Metal Örnekler	15
Tekstil Örnekler	15
YAPISAL MALZEMELERDE ONARIM ÖNERİLERİ	16
KAYNAKLAR	19
ANALİZLERE AİT TABLO VE ŞEKİLLER	20-35

ALMANYA, FRANKFURT YUNUS EMRE ENSTİTÜSÜ BİNALARI YAPI MALZEME ANALİZİ RAPORU

Prof. Dr. Ali Akın AKYOL (Raportör)

ÖZET

Zaman içinde yapısal bütünlüğü bozulan ya da zayıflayan tarihi yapıların restorasyon ve konservasyon uygulamaları öncesinde yapıların mimari, tarihi, sanatsal ve estetik özelliklerinin araştırılmasının yanı sıra arkeometrik incelemelerinin de yapılması, seçilecek onarım malzemelerinin özgün yapıya uygun olarak belirlenebilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Yunus Emre Enstitüsü'nün Almanya'nın Frankfurt şehrinde bulunan binalarına (17 ve 19 Nolu binalar) ait yapısal ve dekoratif malzemelerden (taş, tuğla, harç, sıva, taban kaplama, toprak, metal, tekstil ve ahşap) oluşan örnekler çeşitli analitik metotlar kullanılarak arkeometrik yönden incelenmiştir.

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait yapısal malzeme örnekleri öncelikle görsel olarak değerlendirildikten sonra fotoğraflanarak belgelenmiş ve kodlanmıştır. Arkeometrik çalışmalar kapsamında taş ve tuğla örneklerin fiziksel özellikleri standart olmayan temel fiziksel testlerle (birim hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi ve gözeneklilikleri), taş, tuğla ve toprak örneklerin pH'ları, suda çözünen toplam tuz miktarları ile tuz (anyon) türleri de kondaktometrik analiz ile belirlenmiştir. Harç ve sıva örneklerine asidik agrega/bağlayıcı ve agregada tane boyutu dağılımı (granülometrik) analizleri uygulanmıştır. Yapısal örneklerin petrografik özellikleri, ince kesitleri üzerinden optik mikroskop analizi ile, kimyasal özellikleri de X-ışını floresan (PED-XRF) analizi ile belirlenmiştir. Metal örneklerin kimyasal bileşimleri noktasal Mikro-XRF analizi ile belgelenmiştir. Binaya ait ahşap örneklerin tür tayinleri için de ksilolojik analiz uygulanmıştır (Ayrıca raporlanmıştır; Bkz: Almanya, Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binası'na Ait Ahşap Örneklerin Ksilolojik Tür Tayini Analiz Raporu).

GİRİŞ

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'nın (raporda yapı bu adla anılmaktadır) malzeme açısından belgelenmesi ve araştırılmasına yönelik çalışmalar; Yunus Emre

Enstitüsü'nün sorumluluğunda “**Almanya-Frankfurt, Irak-Bağdat, Polonya-Varşova ve Macaristan-Budapeşte Yunus Emre Enstitüsü Binalarının Rölöve Restitüsyon ve Restorasyon Projelerinin Hazırlanması ve Restorasyon (Uygulama) İşi**” kapsamında müellif firma **Oraybir İnşaat ve Restorasyon San. Tic. Ltd. Şti.**'nin Gazi Üniversitesi Teknopark, **REDEVIO AR-GE Bilgi ve Operasyon Teknolojileri Ltd. Şti.**'ne **27.11.2023** tarihinde yaptığı resmi başvuru ile başlatılmıştır.

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'nda **09-10.12.2023** tarihlerinde yerinde gerçekleştirilen yapısal malzeme incelemeleri, belgeleme ve örnekleme sonucunda elde edilen yapısal (taş, tuğla, harç, sıva, taban kaplama, toprak ve metal) ve dekoratif (tekstil) üzerinde gerçekleştirilen arkeometrik çalışmaların sonuçları ve değerlendirmeleri bu raporun konusunu oluşturmaktadır.

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait malzeme grubu; Gazi Üniversitesi, Teknopark, **REDEVIO AR-GE Bilgi ve Operasyon Teknolojileri Ltd. Şti.** bünyesinde Prof. Dr. Ali Akın AKYOL tarafından yürütülen “**Kültürel Mirasın Arkeometrik Yöntemlerle Araştırılması ve Belgelenmesi AR-GE Projesi**” kapsamında “**Almanya, Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları Yapı Malzeme Analizi**” adı altında Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, Tarihi Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı (MAKLAB) ile Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Laboratuvarları'nda incelenmiştir.

YÖNTEM VE DENEYLER

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na (Şekil 1) ait yapısal (taş, tuğla, harç, sıva, taban kaplama, toprak ve metal) ve dekoratif (tekstil) ve bozulma ürünü (siyah tabaka malzemelerden oluşan örnekler önce görsel olarak değerlendirilmiş, fotoğraflanarak belgelenmiş, gruplandırılmış ve analiz edilmek üzere kodlanmıştır (Tablo 1,2a,2b ve Şekil 2a-2c).

Fiziksel özellikler, yapı malzemelerinin (özellikle taş ve tuğlaların) belirlenmiş standart sınırlar içinde tanımlanabilen özelliklerinin teknik yönden ifadesidir. Malzemelerin dayanımlarının belirlenmesi için temel fiziksel testler (birim hacim ağırlığı, su emme kapasitesi ve gözeneklilik) uygulanmıştır. Örneklerin doğrudan alınan kuru ağırlıkları, arşimet (su içerisinde) ve doygun ağırlıkları (saf su içerisinde 50 torr basınç altında gözeneklere ulaşması

sağlanan sulu ağırlık) yardımıyla birim hacim ağırlıkları (doğru-kuru BHA, g/cm³), su emme kapasitesi (%SEK) ve gözeneklilik (%P) değerleri belirlenmiştir (RILEM, 1980). Standart fiziksel testleri yapabilmek için gereken örnek miktarı standart uygulamalar (5-10 cm³'lük küp veya silindirik standart karot örnekler) açısından mümkün olmadığı için test uygulamaları, örnekleme ile alınan amorf taş ve tuğla parçaları üzerinde gerçekleştirilmiştir (Tablo 3a,3b).

Farklı yapı malzemelerinin içeriğinde doğal olarak bulunan veya suda çözünerek sonradan malzemelerin yüzeyine veya gözeneklerine kılcal etki sonucu su ile taşınan tuzlar, malzemenin hem kendi bünyesinde, hem de ilişkide buldukları diğer malzemelerin yapılarında gerçekleşebilecek kimyasal değişimler hakkında bilgi vermektedir. Tarihi binanın duvarlarına ait taş ve tuğla örneklerin bünyesinde bulunan suda çözünen tuz miktarı (toplam) ve türleri ile pH değerleri belirlenmiştir (Tablo 4a,4b). Örneklerde toplam tuz ölçümü tayini için; 25 ml su içerisine alınan 5 gram örnek, 1 saat santrifüjlenip süzildikten sonra üzerine standart sodyum heksametafosfat eklenmiştir. Analiz için hazırlanan örneklerin toplam tuz içerikleri iletkenlik ölçer (Neukum Seri 3001 marka pH-sıcaklık-iletkenlik ölçer) ile kaydedilmiş, sonuçlar ilgili eşitlikler kullanılarak toplam tuz miktarlarına ağırlıkça yüzde olarak (%^{w/w}) ulaşılmıştır (Black vd., 1965; Brady ve Weil, 2004; Means ve Parcher, 1963).

Standart spot tuz testleri, alanda örnekleme sırasında veya laboratuvar ortamında analizler öncesinde uygulanan ön testler veya süreçsel anyon/kasyon testleridir. Tarihi yapılarda malzemelerin doğal içeriğini oluşturan ya da dış/çevresel etkilerle (yağmur, kar, gece-gündüz sıcaklık farkları, hava kirliliği, trafik vb.) sonradan kazandıkları özellikleri belirlemek amacı ile uygulanmaktadır. Suda çözünerek malzemeye taşınan bu tuzlar; sodyum, potasyum ve magnezyum tuzları olan sülfat, fosfat, nitrat, nitrit, klorür ve karbonat vb. gibi gruplardır (Feigl, 1966). Taş ve tuğla örneklerde tuz (kasyon/anyon) türünün belirlenmesi için spot tuz testleri uygulanmış, örneklerin pH dağılımları belirlenmiştir (Tablo 4a,4b). Çözeltilerde spot test türüne göre ya reaktifler eklenerek ya da şerit kullanılarak testler yapılmıştır. Anyon analizlerinde; standart Merck nitrit (NO₂⁻; 108025), Merck nitrat (NO₃⁻; 111170) ve Merck fosfat (PO₄³⁻; 114846) test kitleri kullanılmıştır. Yapı malzemelerinde çoğunlukla bulunan tuzlardan;

Nitrit (NO₂⁻) ve Nitrat Testi (NO₃⁻) : NO_x içerik; kent merkezlerinde doğrudan maruz kalınan eksoz gazlarının yanı sıra hava kirliliğinin yoğun olduğu endüstri bölgelerinde atmosferik etki ile yapısal malzemeye taşınabilme yüzeylerinde siyah tabakalanmaya yolaçabilmektedir.

Fosfat Testi (PO_4^{3-}) : Tarımsal etkinlikler (fosfat içerikli gübreleme), hayvansal (dışkılama) veya bitkisel kalıntılar, kanalizasyon veya evsel atıkların etkisi, atık veya piknik alanlarına yakınlıkta gıda birikintilerinin doğrudan veya dolaylı olarak toprak rezervuarından nemlenme ile malzemeye taşınmasından kaynaklanabilmektedir.

Klorür Testi (Cl) : Kanalizasyon ve atık alanlarına yakınlık (klorlu temizlik malzemeleri), çimento içerikli harçların nemle etkileşimine açık yerler ile denize yakın yapısal malzemelerde tespit edilebilmektedir.

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'ndan örneklenen harç ve sıva örneklerin agrega ve bağlayıcı oranlarının belirlenmesi için öncelikle kuru tartıma alınan örnekler daha sonra bağlayıcı (toplam karbonat içerik; CO_3^{2-}) içeriklerinden arındırılmak üzere seyreltik asitle (%5'lik HCl) muamele edilmiştir. Süzme, yıkama ve kurutma işlemleri ile (Şekil 4a-4c) kireç ve tüm karbonat içeriklerinden (bağlayıcısından) ayrılan ve agrega kısmı elde edilen harç ve sıva örnekler, oda sıcaklığında kurutulduktan sonra tekrar tartıma alınarak ağırlıkça toplam bağlayıcı ve agrega (%^w/w) miktarlarına ulaşılmıştır (Tablo 5a,5b ve Şekil 5). Örneklerin karbonat içerikli olmayan agregalarına sistematik eleme işlemi (TSE, 2012) uygulanarak (63-1000 μ m arasındaki eleklerle) agrega tanecik dağılımları (granülometrik analiz) belirlenmiştir (Tablo 5a,5b ve Şekil 6,7).

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait yapısal örneklerin (taş, tuğla, harç, sıva, taban karosu ve toprak) ince kesitleri hazırlanmış ve optik mikroskopta incelenmiştir. İnce kesitler örneklerde sertleştirme yapılarak hazırlanmıştır (Kerr 1977; Rapp, 2002). İncelemelerde LEICA Research Polarizan DMLP Model alt ve üstten aydınlatmalı optik mikroskop kullanılmıştır. Fotoğraflamalar mikroskoba bağlı Leica DFC280 dijital kamerayla, değerlendirmeler de Leica Qwin Digital Imaging Programı kullanılarak yapılmıştır. Agregayı oluşturan kayaç ve mineraller Point Counting Programı ile tanımlanmışlardır (Tablo 6a-6g ve Şekil 8).

Eğer herhangi bir atom, X-Işınları gibi yüksek enerjili bir radyasyonla uyarılırsa bu yüksek enerji girişi, yakın yörüngelerdeki elektronları daha yüksek enerji düzeyine çıkarır, uyarılan elektronlar ilk enerji düzeyine geri döndüklerinde kazanmış oldukları fazla enerjiyi X-Işınları şeklinde geri verirler. Bu ikincil X-ışınları yayılımına “fluoresan ışımaya” adı verilir. Bir elementin verdiği bu ışımaların dalga boyu o element için ayırdedicidir. Işımanın dalga boyunun

saptanmasıyla elementin cinsi, saptanan bu ışının yoğunluğunun ölçülmesiyle elementin o madde içerisindeki derişimi belirlenebilmektedir (Shackley, 2011). Tarihi binalara ait taş, tuğla, harç, sıva ve toprak örneklerin kimyasal bileşimleri X-Işınları Floresan Analizi Yöntemi (PED-XRF) kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 7a,7b). Analiz için seçilen örnekler agat havanda toz haline getirildikten sonra 32 mm'lik diskler oluşturulmuş her bir disk XRF analizinde kullanılan bir kimyasal ile (wacks) karıştırılarak aletin örnek bölgesine yerleştirilmiş ve analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, X-LAB 2000 model PED-XRF (Polarized Energy Dispersive-XRF) spektrometresi kullanılmıştır. X-Lab 2000 PED-XRF spektrometresi atom numarası 11 olan sodyumdan (Na), 92 olan uranyuma (U) kadar olan elementleri analiz edebilme özelliğine sahiptir. Cihazın duyarlık sınırı, ağır elementlerde 0,5 ppm ve hafif elementlerde ise 10 ppm kadardır. Analizde temel ve az elementler oksit yüzdeleri (%) halinde, iz elementler ise milyonda bir (ppm) derişimle verilmiştir. Analizde USGS (Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma) standartları ve referans olarak GEOL, GBW-7109, ve GBW-7309 kullanılmıştır.

Harç ve sıva örneklerin bağlayıcı kategorisi (hidroliklik özelliği) ve dayanım özellikleri, örneklerin kimyasal bileşim özellikleri ile elde edilen Cementation Index (CI) verileri yardımı ile değerlendirilmiştir (Boynton, 1980). Cementation Index; asitte çözünen kısmın bazlarda çözünen kısma oranıdır. Kireç içerikli harç ve sıvaların agrega içeriği ve türüne bağlı olarak yağlı harç (YK), hidrolik (ZHK, OHK ve HK) ve doğal çimento içeriği yüksek (DÇ ve DÇ/Ç) harçlar olarak ayrımlandırılmaktadır (Tablo 8).

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'ndan örneklenen metal örneklerin kimyasal bileşimleri noktasal Mikro-XRF analizi ile belgelenmiştir (Tablo 9). Analizlerde SPECTRO marka MIDEX-M model Mikro-XRF cihazı kullanılmıştır. Cihaz; mineral, kayaç veya herhangi bir katı, sıvı, toz, film numunelerde kimyasal analizlerin yapılmasında kullanılmaktadır. Mikroprosesör kontrollü olup, aynı anda çoklu element analizini birbiri ardına bir program süresince yapabilmektedir.

ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Tarih içinde çeşitli dönemlerde geçirdiği değişiklikler ve uğradığı tahribat ile Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'nın (Şekil 1) korunmasına yönelik olarak arkeometrik yapı malzeme analizleri, alanda gerçekleştirilen örnekleme çalışmaları sonrasında başlatılmıştır (Tablo 1,2a,2b ve Şekil 2,3).

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait yapısal ve dekoratif malzemelerin arkeometrik incelemeleri; binaların duvarlarını oluşturan taş ve tuğlaların (taban kaplama, ara duvar ve baca örgüsüne ait), duvar örgülerin taş/tuğla derz ve moloz dolgularını oluşturan harçların, duvar örgülerin yüzeylerini örten sıvaların, ahşap elemanların (çatı konstrüksiyonu, kapı, pencere aksamı, bağdadi duvar çıtaları, taban parkesi, merdiven basamağı, kat arası hatıl ve hasırından), metal unsurların (rabitz teli, çivi/mih ve balkon korkuluğundan), kat arası dolgu toprağının, taban karosunun, taban kaplaması halılar ile bina içi borulara ait izolasyon malzemesinin analizlerini içermektedir.

Çalışmaya konu olan yapısal ve dekoratif malzeme örnekleri; alanda ve laboratuvar ortamında görsel olarak değerlendirilmiş, malzeme türlerine göre gruplandırılmış, fotoğraflanarak belgelenmiş ve kodlanmıştır (Tablo 1,2a,2b ve Şekil 2a,2b).

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait taş ve tuğla örneklerin birim hacim ağırlığı (doygun-kuru), gözeneklilik ve su emme oranlarını saptayabilmek için temel standart olmayan fiziksel testler (Tablo 3a,3b), aynı örneklerin pH'ları, suda çözünen toplam tuz içerikleri ile türlerinin belirlenmesi için de spot tuz testler ile kondaktometrik analizler uygulanmıştır (Tablo 4a,4b). Harç ve sıvalarda toplam agrega ve bağlayıcı oranları ile agregada tane boyutu dağılımlarının belirlenmesi için asidik agrega/bağlayıcı analizi ve granülometrik analizler uygulanmıştır (Tablo 5a,5b ve Şekil 4-7). Yapısal örneklerin petrografik özellikleri ve tanımlamaları ince kesit optik mikroskop analizi ile (Tablo 6a-6g ve Şekil 8), kimyasal bileşimlerine de PED-XRF analizi (Cementation Index verileri ile beraber) ile ulaşılmıştır (Tablo 7a,7b). Metal örneklerin kimyasal bileşimleri de noktasal Mikro-XRF analizi ile (Tablo 9) belgelenmiştir.

Bu incelemeler doğrultusunda, Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait yapısal ve dekoratif örneklerinin özelliklerini fiziksel, kimyasal ve petrografik analizlerle aşağıdaki şekilde değerlendirmek mümkün olabilmektedir.

Taş Örnekler

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait taş örneklerin fiziksel özellikleri temel (standart olmayan) fiziksel testler uygulanarak (doygun/kuru birim hacim ağırlıkları, su emme kapasitesi ve gözeneklilik) değerlendirilmiştir (Tablo 3a). Temel fiziksel testlerin uygulandığı yapısal ve dekoratif taşlarının (farklı türlerde) doygun/kuru birim hacim ağırlıkları, su emme kapasiteleri ve toplam boşluk/gözeneklilik oranları Tablo 3a'da belirtilmiştir. Yapısal özellikleri ile yüksek birim hacim ağırlığına ve düşük gözenekli yapıya sahip olan taşlar daha yüksek dayanım verileri sunmaktadır. Örnek seti içinde mermer örnek (AFB-T10) dayanımı en yüksek, fillit (AFB-T2; schiefer platen) örneği de en düşük örnektir (Tablo 3a).

Taş örneklerin suda çözünen toplam tuz miktarları, içerdiği tuz (anyon) türleri ile pH değerleri belirlenmiştir. Örneklerin (taş türünden bağımsız olarak) pH'ları 6,05 ile 7,65 arasında (ort. 6,91), içerdikleri toplam tuz miktarları da %0,23 ile %1,02 arasında (%0,63) değişmektedir (Tablo 4a). Taş örnekler içinde pH'ı en düşük örnek AFB-T2 (fillit), en yüksek örnek de AFB-T4 (kumtaşı) örneği, toplam tuz içeriği en düşük örnek AFB-T8 (kireçtaşı), en yüksek örnek de AFB-T5 (kumtaşı) örneğidir (Tablo 4a). İletkenlik analizleri ile taş örneklerin zayıf bazik ortam şartlarında; düşük (AFB-T8 gibi), ortalama (AFB-T7 gibi) ve yüksek (AFB-T5 gibi) düzeylerde tuzlanmaya uğradıkları anlaşılmıştır.

Taş örnekler içerdikleri tuz türleri açısından değerlendirildiğinde; örneklerin değişen miktarlarda nitrit (0,25 ile 0,75 mg/L arasında), nitrat (10 ile 50 mg/L arasında), fosfat (1,00 ile 2,00 mg/L arasında) ve klorür (3 ile 30 mg/L) türü tuzlar içerdikleri belirlenmiştir (Tablo 4a). Kaynağını çevresel (eksoz gazları vb.) ve özellikle de yapısal etkilerden (kılcallık ile gözenekli yapıdaki taşlara taşınan ve ayrışan taş ve kireç/çimento içeren harç ve sıvalardan kaynaklanan) alan taşların tuzlanması bünyesel/yaygın niteliklidir. Bununla beraber çevresel etkiler de düşünüldüğünde, tuzlanmalar mevsimsel etkilerle (yağışlı dönemler) artan veya azalan oranda yıl içinde değişimler gösterebilmektedir.

İnce kesit optik mikroskop analizi ile petrografik yönden incelenen taş örnekler; kumtaşı, fillit (arduvaz), mermer, kireçtaşı (mikritik), kuvarsit (sedimanter) ve granit (mika ve alkali feldispat) olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 6a ve Şekil 8). AFB-T2 (arduvaz fillit) örneği Almanya'da yaygın bir şekilde kullanılan bir kaplama (schiefer platten) taşıdır. Taşların jeolojik köken analizleri ise uzun erimli akademik bir başka çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Yapısal taş örneklerden kumtaşı (AFB-T1, AFB-T4 ve AFB-T5) ve fillit (AFB-T2 ve AFB-T3) örneklerin kimyasal bileşimleri PED-XRF analizi ile belirlenmiştir (Tablo 7a). Kumtaşı örneklerden AFB-T1 ve AFB-T5'in kimyasal bileşimlerini (azalan oranda); SiO₂, Al₂O₃, MgO, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃ ve CaO, kumtaşı örneklerden AFB-T4'ün ise SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve SO₃ oluşturmaktadır (Tablo 7a). Fillit taş türünde olan örneklerin kimyasal bileşimlerini de (azalan oranda); SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O ve MgO (AFB-T3'de SO₃ içerik de bulunmakta) oluşturmaktadır (Tablo 7a). Taşların petrografik kayaç yapıları kimyasal yapılarından da izlenebilmektedir.

Tuğla Örnekler

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait taban kaplama (AFB-B4) ve duvar örgüleri (oda ve baca) oluşturan tuğla örneklerine (AFB-B1, AFB-B2, AFB-B3 ve AFB-B5) standart olmayan temel fiziksel testler uygulanmıştır. Tuğla örneklerinin fiziksel test verileri değerlendirildiğinde; doymun/kuru birim hacim ağırlıkları (sırasıyla) ort. 2,42 g/cm³ / ort. 1,62 g/cm³, toplam su emme kapasiteleri ort. %20,97 ve toplam gözeneklilikleri de ort. %33,04 oranındadır (Tablo 3b). Güncel tuğla verileri ile karşılaştırıldığında; yüksek birim hacim ağırlığı (>1,80 g/cm³) ve düşük gözeneklilik (<%30) verileri tuğlalar için en genel anlamda yüksek fiziksel dayanıma işaret etmektedir. Söz konusu veriler dikkate alınarak tuğla örneklerin düşük (AFB-B2, AFB-B3, AFB-B5) ve standart (AFB-B1 ve AFB-B4) fiziksel dayanım verileri sunduğu anlaşılmaktadır (Özışık, 2000).

Tuğla örneklerinin suda çözünen tuz içeriklerini; düşük miktarlarda nitrit (0,05 ile 0,50 mg/L arasında), nitrat (10 ile 30 mg/L arasında), fosfat (0,50 ile 3,50 mg/L arasında) ve klorür (3 ile 24 mg/L) türlerinde tuzlar oluşturmaktadır (Tablo 4b). Tuğla örneklerinin pH'ları ort. 6,59, toplam tuz içerikleri de ort. %1,19 oranındadır (Tablo 4b). Zayıf asidik ortam şartlarındaki gözenekli yapıdaki tuğla örneklerde yüksek düzeyde tuzlanmalar belirlenmiştir. Pişmiş toprak yapısal malzemeler (tuğla ve kiremit gibi), nemli ortam şartlarında tuzlanmanın tahripkar etkisini taşlara oranla daha yüksek oranda taşıyan malzemelerdendir.

Tuğla örneklerin petrografik özellikleri ince kesit optik mikroskop analizi ile belirlenmiştir. Pişmiş toprak örneklerin boşluklu yapısı (gözenekliliği), karbonat içeriği ve kil yapısı göz önüne alınarak 850 ile 950°C arasında pişirim uygulanarak üretilmiş olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 6b ve Şekil 8). Tuğla örneklerinin matriks boşluk oranları %5 ve %10,

matriks toplam agrega oranları da %65 ve %75 oranlarındadır (Tablo 6b ve Şekil 8). Optik mikroskop analizleri ile tuğla örneklerinin agrega içeriğini ince (<0,5 mm) ve iri (>1,0 mm) boyutlu heterojen dağılımlı ve kırıklı/köşeli agregaların oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 8). Tuğla örneklerin petrografik yapısını oluşturan agregalar, buldukları/üretildikleri yörenin kayaç formasyonunu yansıtan bileşenleri ile üretildikleri hammadde (kil) kökenleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Mekanların duvar örgüleri ile tabanlarını oluşturan tuğla örnekler fillit, silttaşı ve killeşmiş kumtaşı türü kayaçların ayrışmasını yansıtan agregalar içermektedir (Tablo 6b ve Şekil 8). Ayrıca tuğla örneklerden AFB-B1 ve AFB-B4 örneklerinin agrega içeriğinde tuğla kırığı parçalarına da (toplam agreganın %5'i ve %10'u oranlarında) rastlanmıştır. Buradan hareketle tuğla örneklerinin bölgenin yerel formasyonuna ait kayaçlara ait hammadde içeriğini yansıttığı söylenebilir.

Örnek seti içinden seçilen AFB-B1 tuğla örneğinin kimyasal bileşimi PED-XRF analizi ile belirlenmiştir. Örneğin kimyasal içeriğini (azalan oranda); SiO₂ (%63,31), CaO (%9,66), LOI (toplam karbonat, %8,63), Al₂O₃ (%8,01), Fe₂O₃ (%3,16), MgO (%2,85), K₂O (%1,85) ve SO₃ (%1,25) oluşturmaktadır (Tablo 7b). Örneğin dayanım özellikleri PED-XRF analizi ile belirlenen kimyasal içeriği ile birlikte değerlendirilebilmektedir. Dayanımı yüksek tuğlalar yapılarında %30'un üzerindeki oranda SiO₂, %10'dan düşük oranda CaO ve %8'in altındaki oranda Fe₂O₃ içermelidir (Özışık, 2000). İncelenen tuğla örneğinin SiO₂, CaO ve Fe₂O₃ içerikleri anılan oranlarla uyumluluk göstermektedir (Tablo 7b). Güncel standart tuğla üretimine ait bu veriler ışığında; tuğla örneğinin standart kalitede bir üretimi yansıtır nitelikte olduğunu söylemek mümkündür.

Harç ve Sıva Örnekler

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları taş/tuğla duvar örgüleri derzleri ile yüzeylerinden örneklenen harç ve sıva örneklerin asidik agrega/bağlayıcı analizi ile toplam bağlayıcı/agrega oranları belirlenmiştir. Harç örneklerin toplam agrega (karbonat içermeyen) içerikleri %63,61 ile %93,01 (ort. %83,74) arasında, sıva örneklerinde ise %76,54 ile %89,47 (ort. %84,43) arasında değişim göstermektedir (Tablo 5a,5b ve Şekil 5a,5b). Sadece toplam agrega/bağlayıcı oranları açısından yapılacak bir değerlendirme ile özgün/onarım nitelikleri taşıyan harç ve sıva örneklerin hem birbirleri ile hem de kendi örnek setleri içinde oldukça benzer oranlarda toplam agrega içeriklerinin bulunduğu belirlenmiştir (Tablo 5a,5b ve Şekil 5a,5b). Harç

ve sıva örneklerin toplam agrega oranları (karbonat içerikli olmayan) en genel anlamda geleneksel/standart uygulamalarda görülen 2:1 (agrega:bağlayıcı) karışım oranıyla uyum göstermektedir (Tablo 5a,5b ve Şekil 5a,5b). İnce kesit optik mikroskop analizi ile toplam agrega oranı, karbonat içerikli agregaların da bu orana katılması ile revize edilmiştir.

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'nın taş/tuğla derz ve moloz dolgularından örneklenerek agrega/bağlayıcı analizine tabi tutulan harçlar ile taş/tuğla yüzeyleri örten sıvaların asidik işlem sonrası elde edilen agregaları, sistematik elemelerden geçirilerek granülometrik ayrımları $<63 \mu\text{m} - 1000 < \mu\text{m}$ elek aralığında 6 farklı bölümlere ile yapılmıştır (Tablo 5a,5b). Harç örneklerin kil/silt ($<63 \mu\text{m} \text{Ø}$) boyutlu agrega oranı %1,97 ile %4,60 (ort. %3,37) arasında, sıvaların ise %1,58 ile %6,07 (ort. %3,02) arasında değişim göstermektedir (Tablo 5a,5b ve Şekil 6a,6b). Harçların çok iri kum boyutlu ($>1000 \mu\text{m} \text{Ø}$) agrega içerikleri %11,24 ile %70,68 (ort. %23,73) arasında, sıvalarda ise %5,61 ile %22,97 (ort. %13,17) arasında değişim göstermektedir (Tablo 5a,5b ve Şekil 6a,6b). Analiz edilen örneklerin silt/kum boyutlu agrega içeriğini de toplam kil/silt ve çok iri kum dışındaki agregalar (%100'e tamamlanan oranda) oluşturmaktadır (Tablo 5a,5b ve Şekil 6a,6b). Harç örneklerin ana agrega içeriğini ortalama, iri ve çok iri kum boyutlarındaki ($250-1000 \mu\text{m}$ ve $>1000 \mu\text{m} \text{Ø}$), sıva örneklerin ise ortalama ve iri kum ($125-1000 \mu\text{m} \text{Ø}$) boyutlarındaki agregalar birlikte oluşturmaktadır (Wentworth, 1922) (Tablo 5a,5b ve Şekil 6a,6b).

Harç ve sıva örnekler asidik agrega/bağlayıcı analizinden geçirildikten sonra elde edilen agregalarının içeriği ve tane türleri binoküler mikroskop altında incelenmiştir. Özgün/onarım harç ve sıvaların içeriğine ait agregaların fiziksel yapılarının yoğunlukla kırıklı/köşeli ve iri boyutlarda (AFB-H1 örneğinde çok iri boyutlu) taneli bir yapı sergilediği anlaşılmıştır (Şekil 7).

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait harç ve sıva örnekler ince kesit optik mikroskop analizi ile petrografik yönden detaylı olarak incelenmiştir. Agregabağlayıcı bileşimleri incelenen 6 harç örneği 3, 8 sıva örneği ise 4 grup altında sınıflandırılmıştır (Tablo 6c,6d ve Şekil 8). Harç ve sıva örneklerin bağlayıcı içeriğini çimento, çimento/kireç ve kireç/alçı karışımı bağlayıcıların oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 6c,6d ve Şekil 8). Özgün/onarım niteliğinden bağımsız olarak harç örneklerin toplam agrega içeriği %45 ile %90 arasındaki, sıva örneklerin ise %15 ile %85 arasındaki oranlardadır (Tablo 6c,6d). Harç örneklerden AFB-H1 örneğinin agrega yapısında tuğla kırığı parçalarının (toplam agreganın %3'ü oranında) bulunduğu

da belirlenmiştir (Tablo 6c ve Şekil 8). Binalara ait harç ve sıvaların agrega içeriklerinde belirlenen bu farklılıklar örneklerin hem fonksiyonundan (derz, dolgu ve yatak harcına ait) ve dönem farklılıklarından kaynaklanıyor olmalıdır.

Harç ve sıva örneklerin içerisinde seçilen AFB-H1 harç ile AFB-S1 ve AFB-S2 sıva örneklerinin kimyasal yapıları PED-XRF analizi ile incelenmiştir. Harç örneğinin kimyasal bileşimini (azalan oranda); SiO₂ (%41,51), LOI (toplam karbonat, %19,74), CaO (%14,43), Al₂O₃ (%13,52), K₂O (%3,79), Na₂O (%3,69) ve Fe₂O₃ (%1,97) oluşturmaktadır (Tablo 7b). Sıva örneklerin kimyasal bileşimlerini de (azalan oranda); SiO₂, CaO, LOI, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO ve K₂O (AFB-S2 örneğinde %3,75 SO₃) oluşturmaktadır (Tablo 7b). AFB-S2 örneğinde belirlenen yüksek SO₃'ün nedeni çimento içerikli derz harcından kaynaklanıyor olmalıdır.

Harç ve sıva örneklerin PED-XRF analizi ile elde edilen kimyasal içerikleri üzerinden Cementation Index (CI) verilerine ulaşılmıştır (Tablo 8). Harç ve sıva örneklerin dayanım özellikleri ve kireç türleri hakkında fikir veren bu veriler, örneklerin benzer kireç türünde hidrolizlik özellikte (DÇ/Ç) olduğunu göstermiştir (Tablo 8). Harç örneğinin CI değeri 8,96, sıva örneklerinin ise 4,53 ve 3,01 değerlerindedir (Tablo 8). Harç ve sıva örnekler oldukça yüksek CI verilerine sahiptirler (Tablo 8). Kireç türlerinin yanı sıra yüksek CI verileri harç ve sıvaların dayanımları hakkında da fikir vermektedir. Doğru orantılı olarak yüksek CI verileri yüksek dayanıma da işaret etmektedir.

Taban Karosu Örneği

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü 19 nolu bina girişine ait taban karosu örneği (AFB-K1) ince kesit optik mikroskop analizi ile petrografik yönden detaylı olarak incelenmiştir. Agrega/bağlayıcı bileşimi incelenen iki tabakalı taban karosu örneğinin bağlayıcı içeriğini çimentonun oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 6e ve Şekil 8). Taban karosu örneğinin toplam agrega içeriği üst katmanında %20, alt katmanında da %65'dir (Tablo 6e). Alt katmana ait çeşitli türlerdeki iri boyuttaki agregalar volkanik bir kayaç formasyonuna ait olmalıdır (Şekil 8).

Toprak Örneği

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü 19 nolu bina çatı katı tabanına ait hatıl arası dolgu toprağı örneğinin (AFB-D1) suda çözünen toplam tuz miktarı, tuz (anyon) türleri ile pH değerleri belirlenmiştir. Örneğin pH'ı 7,25, içerdiği toplam tuz miktarı da %0,95 oranındadır (Tablo 4a).

İletkenlik analizleri ile toprak örneğinin zayıf bazik ortam şartlarında yüksek düzeyde tuzlanmaya uğradığı anlaşılmıştır (toprakta $>0,15$ yüksek miktarda tuzlanmayı işaret etmektedir; Dursun, 2008).

Toprak örneği içerdiği tuz türleri açısından değerlendirildiğinde; düşük miktarlarda nitrit (0,05 mg/L), nitrat (10 mg/L), fosfat (2,50 mg/L) ve klorür (3 mg/L) türü tuzlar içerdiği belirlenmiştir (Tablo 4a). Çevresel etkiler de düşünüldüğünde, tuzlanmalar mevsimsel etkilerle (yağışlı dönemler) artan veya azalan oranlarda yıl içinde değişimler gösterebilmektedir.

İnce kesit optik mikroskop analizi ile petrografik yönden incelenen toprak örneğinin petrografik yapısını kuvars, çört, pilajiyoklas, piroksen, şist, grafit, serpantin, fillit ve opak türü kayak ve mineraller oluşturmaktadır (Tablo 6f ve Şekil 8). Toprak örneğinin yapısında bitkisel parçaların da (toplam agreganın %3'ü oranında) bulunduğu anlaşılmıştır (Şekil 8).

Toprak örneğinin kimyasal bileşimini (azalan oranda); SiO₂ (%54,74), LOI (toplam karbonat, %31,49), CaO (%4,15), Al₂O₃ (%3,25), SO₃ (%1,92), K₂O (%1,89) ve Fe₂O₃ (%1,79) oluşturmaktadır (Tablo 7b). Yüksek sülfat (SO₃) içerik tuf/pomza (bims) kaynaklı olmalıdır.

Metal Örnekler

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'nın yapısal metal unsurlarına ait örneklerin (17 nolu binanın çatı katından rabbitz teli ve çivi/mıh ile balkon korkuluğuna ait) kimyasal içeriği noktasal Mikro-XRF analizi ile belirlenmiştir (Tablo 9). Metal örneklerin (AFB-M1: %97,06, AFB-M2: %98,03 ve AFB-M3: %98,14) tümünün ana bileşimini demir (Fe) oluşturmaktadır (Tablo 9). Tüm örneklerde mangan (Mn) yüksek oranlardadır. Bununla beraber AFB-M1 örneğinin yapısında diğer örneklerden farklı olarak belirgin oranlarda krom (Cr), kobalt (Co); AFB-M2 örneği ile beraber nikel (Ni), bakır (Cu) ve kurşun (Pb); AFB-M3 örneğinde de titanium (Ti) ve çinko (Zn) diğer örneklerden daha yüksek oranlarda belirlenmiştir (Tablo 9).

Tekstil Örnekler

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'nın tabanlarını kaplayan halılar (AFB-F1, AFB-F2 ve AFB-F3) ile boruların çevresine sarılmış izolasyon sargılarına (AFB-F4) ait örnekler analiz edilmiştir. Bu örneklerde yapıştırıcı veya içeriklerinde asbest bulunma ihtimaline göre incelenmiştir.

Asbest, lifli yapıda bir silikat mineralidir. Silisyumun sodyum, demir, magnezyum ve kalsiyumla oluşturduğu ısıya, aşınmaya ve kimyasal maddelere çok dayanıklı, lifsel mineral yapısında hidrate silikatlardandır. Doğal bir silikat minerali olan asbest maddesinin, ısıyı iletmemesi yani iyi bir izolasyon maddesi (ısı, ses, ışık, kaplama vb. malzemesi olarak) olması nedeniyle kullanımı çok eski çağlardan itibaren yaygınlaşmıştır (Yeşilyurt, 2016).

Mikroskop altı incelemelerine göre halı örneklerinde asbest türü yapıştırıcı unsurlara rastlanmamıştır. Buna karşın boruların izolasyonuna ait AFB-F4 örneğinde ise krizotil türü asbeste rastlanmıştır.

Dünyada en yaygın olarak kullanılan asbest türüdür. Dünya’da üretilen asbestin %95’i krizotil asbesttir. Bugün hala ev ve işyerlerinin çatılarında, tavanlarında, duvarlarında bulunmaktadır. Krizotil asbest, ısıya karşı dayanıklılığından dolayı boru izolasyonunda, kazanlarda kullanılmaktadır. Krizotil asbestin lifleri diğer asbest türlerinden daha uzun, daha dalgalı ve esnek bir yapısı olmasından dolayı kolayca örülebilme, dokunabilme özelliklerine sahiptir. Bu yüzden tekstil sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Asbest son derece kanserojenik bir maddedir. Solunum yoluyla vücuda girdiğinde başta kanser olmak üzere çeşitli ölümcül hastalıklara yol açmaktadır (Yeşilyurt, 2016).

Optik mikroskop analizi ile incelenen AFB-F4 örneğinin agrega içeriğinde asbest/krizotile (toplam agreganın %20’si oranında) rastlanmıştır (Tablo 6g ve Şekil 8).

YAPISAL MALZEMELERDE ONARIM ÖNERİLERİ

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları’na ait yapısal ve dekoratif malzemelerden oluşan (taş, tuğla, harç, sıva, taban karosu, toprak, tekstil ve metal) örnekler çeşitli analitik metotlar kullanılarak arkeometrik yönden incelenmiş, tanımlanmış, sınıflandırılmış ve malzeme açısından belgelenmiştir. Malzeme analizi çalışmaları ile tarihi binaların hem yapısal yönden tanımlanması ve belgelenmesi, hem de restorasyon uygulamalarında seçilecek eşdeğer malzeme seçimi açısından da önemli bir altlık oluşturulması hedeflenmiştir. Binalara ait özgün/yapısal malzemeler uygun yaklaşımlarla korunmalıdır. Bu uygulamalarda koruma uzmanlarından hizmet alınmalıdır.

Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları’nın inşasında ve dekoratif olarak kullanılmış olan yapısal taşlar; kumtaşı, fillit (arduvaz), mermer, kireçtaşı (mikritik), kuvarsit (sedimanter) ve

granit (mika ve alkali feldispat)'tir. Tarihi binaların taş onarımlarında özgün yerlerine göre kullanılacak taşların özgün taşlarla uyumlu kayaç yapısını yansıtacak şekilde temin edilmelidir. Restorasyon uygulamaları öncesinde ve sırasında kullanılacak taşların onarım için uygun olup olmadıklarının da petrografik yönden incelenmesi önerilmektedir.

Tarihi binaların duvar/baca örgüsü ve taban kaplamalarında kullanılmış olan tuğlalar farklı arkeometrik yöntemlerle analiz edilmiştir. Eksik bölgelerdeki tuğlalar özgün örneklerin fiziksel, kimyasal ve petrografik özelliklerine uygun özel üretim ile tamamlanabilir.

Enstitü binalarından 17 Nolu Bina'nın çatı katı kat arasına ait dolgu toprak ile 19 Nolu Bina'nın girişinin tabanına ait karo da çeşitli yöntemlerle incelenip belgelenmiştir.

17 Nolu binadan örneklenen metal (demir) unsurlara ait örnekler (binanın çatı katından rabitz teli ve çivi/mıh ile balkon korkuluk parçası) de farklı arkeometrik analizlerle incelenip belgelenmiştir.

Enstitü binalarına ait tekstil örnekler (halı ve boru izolasyon sargısı) de incelenmiştir. Bu örneklerden AFB-F4 (alçılı boru sargısı) örneğinde krizotil (asbest) maddesine rastlanmıştır. Bu malzeme yapıdan itinalı bir şekilde arındırılmalıdır.

Tarihi binaların taş/tuğla duvar örgülerine ve yüzeylerine ait özgün harç ve sıvalar çimento, çimento/kireç ve kireç/alçı karışımli bağlayıcı içeriklerine sahiptirler. Onarım/restorasyon uygulamalarında öncelikle özgün harç ve sıvalarla uyumlu, tercihen doğal/hidrolik kireç içeren harçların tercih edilmesi önerilmektedir. Binaların koruma/onarım uygulamalarında harç onarımları için (ağırlıkça);

- %20 oranında tercihen kireç içeren homojen olarak karıştırılacak bağlayıcının içerisinde,
- %50 oranında dişli/kırıklı, elenmiş, yıkanmış, dağılımı analiz edilen harçlarla uyumlu, (karbonat içeriğe sahip olmayan) akarsu yatağı malzemeli (ortalama %55 oranında iri/çok iri kum boylu, %42 oranında çok ince/ince/ortalama kum ile %3 oranında da <63 µm kil/silt karışımından oluşan) agrega,
- %18 oranında öğütülmüş, elenmiş kireçtaşı tozu/kırığı,
- %10 oranında volkanik kil/tüf tozu (pozolonik özellikte) ve
- %2 oranında tercihen tuğla kırığı parçaları içeren harcın kullanılması önerilmektedir.

Binaların duvar yüzeyini kaplayan sıvaların koruma/onarım uygulamaları için (ağırlıkça);

- %25 oranında kireç/çimento (beyaz) içeren homojen olarak karıştırılacak bağlayıcının içerisinde,

- %40 oranında dişli/kırıklı, elenmiş, yıkanmış, dağılımı analiz edilen harçlarla uyumlu, (karbonat içeriğe sahip olmayan) akarsu yatağı malzemeli (ortalama %40 oranında iri/çok iri kum boylu, %57 oranında çok ince/ince/ortalama kum ile %3 oranında da <63 µm kil/silt karışımından oluşan) agrega,

- %20 oranında öğütülmüş, elenmiş kireçtaşı tozu/kırığı,

- %14 oranında volkanik kil/tüf tozu (pozolonik özellikte) ve

- %1 oranında tuğla kırığı parçaları içeren harcın kullanılması önerilmektedir.

Harç ve sıva içeriklerine katılacak olan pozolonik özellikteki kil/tüf ve tuğla kırığı parçalarının kullanımı harcın mukavemetini artırıcı ve ayrışmayı önleyici ve nemlenmenin etkisini azaltmak için büyük önem taşımaktadır.

Önerilen kireçli harç ve sıvalar, söndürülmüş ve dinlendirilmiş kireçten oluşan (doğal) onarım harçlarıdır. Bu tür harç ve sıvalar mukavemet açısından orta ve uzun vadede yapılar için daha başarılı dayanım özelliğine sahiptirler. Onarımlarda bu amaç için özel olarak üretilmiş hidrolik kireç veya beyaz çimento kullanımı da önerilmektedir. Onarım aşamasında, önerilen harç ve sıva içeriklerinin özgün malzeme ile uyumlu olup olmadığının anlaşılması için de öncelikle deneme uygulamalarının yapılması ve izlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Black, C.A., Evans, D.D., Ensminger, L.E., White, J.L., Clark, F.E., 1965, Methods of Soil Analysis No. 9 in the Series Agronomy, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Boynton, R.S., 1980, Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York, 578 p
- Brady, N.C., Weil, R.R., 2004, Elements of the Nature and Properties of Soils, 2nd ed., Pearson and Prentice Hall, New Jersey, 96.
- Dursun, H., Dizdar, M.Y., Kırıştıoğlu, ř., Özcan, İ., Hamurkar, Y., 2008, Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat, Tarım ve Köyiřleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliřtirme Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, s. 70.
- Feigl, F., 1966, Spot Test in Organic Analysis, Elsevier Publication Company, Amsterdam.
- Kadıoğlu, Y.K., 2001, “Mafik ve Ultramafik Magmatik Kayaçların Ana-Eser REE Jeokimyasal Karakteristikleri ve Jeofiziksel Açıdan İncelenmeleri”, Magmatik Petrojenez Lisans Üstü Yaz Okulu, Akçakoca-Düzce, TMMOB Yayınları No:61, s. 159-195.
- Kerr, P.F., 1977, Optical Mineralogy, McGraw-Hill Co. First Ed'n., New York.
- Means, R.E., Parcher, J.V., 1963, Physical Properties of Soils, Charles E. Merrill Publishing Co., Columbus, Ohio, USA.
- Özışık, G., 2000, Yapı Mühendisliğinde Tuğla Elemanlar ve Yapı Sistemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- RILEM, 1980, Research and Testing, Materials and Construction 13, Chapman and Hall, Paris, p. 73.
- Rapp, G., 2002, Archaeomineralogy, Springer-Verlag, Berlin.
- Shackley, M.S. (Ed.), 2011, X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology, DOI 10.1007/978-1-4419-6886-9-2, Springer Publication.
- TSE / Türk Standartları Enstitüsü, 2012, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu. (TS 3530 EN 933-1/ Nisan 1999 / şubat 2007 / 12.04.2012). Ankara.
- Wentworth, C.K., 1922, A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, Journal of Geology, Vol. 30, s. 377-392.
- Yeşilyurt, D. 2016, “Binalarda Yapılacak Asbest Söküm Çalışmalarının İş Sağlığı ve Güvenliđi Yönünden Deđerlendirilmesi”, İş Sağlığı ve Güvenliđi Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliđi Genel Müdürlüğü, s. 5-6.

Tablo 1. Almanya, Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait yapısal malzeme grupları

Grup Kodu	Yapısal Malzeme Grubu	Örnek Sayısı
AFB-T*	Taş Örnekler	10
AFB-B	Tuğla Örneği	5
AFB-H	Harç Örnekler	6
AFB-S	Sıva Örnekler	8
AFB-K	Taban Karosu Örneği	1
AFB-D	Toprak Örnek	1
AFB-M	Metal Örnekler	3
AFB-F	Tekstil Örnekleri	4
AFB-A**	Ahşap Örnekler	14

(*) Kodlama : **AFB** = Almanya, Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları

(**) Ayrıca raporlanmıştır

Tablo 2a. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları örnekleme: taş, tuğla, harç ve sıva örnekleri

Örnekler	Açıklamalar	Malzeme Türü
AFB-T1	Dış cephe söveden*	Taş
AFB-T2	Binaların çatı kaplaması özgün taş (schiefer platten)	
AFB-T3	Arka cephe duvar çatı kaplamasından	
AFB-T4	17 nolu kapı giriş sol parapetten	
AFB-T5	17 nolu bahçe kapısı girişi sağ duvardan	
AFB-T6	17 Nolu bina 3. kat doğudaki balkondan (9)	
AFB-T7	19 Nolu bina bahçeye giriş merdivenden (3)	
AFB-T8	19 Nolu bina arka cephe su basman üzerindeki taş sırasından (4)	
AFB-T9	19 Nolu bina giriş kapısına giden merdiven basamağından (7)	
AFB-T10	19 Nolu bina giriş kapısı zemin kata çıkan merdivenden (9)	
AFB-B1	17 nolu bina çatı katı duvarından	Tuğla
AFB-B2	17-19 Nolu binayı bağlayan ara duvardan (1)	
AFB-B3	19 Nolu bina arka cepheden (6)	
AFB-B4	19 Nolu bina çatı katı taban kaplama tuğlası (11)	
AFB-B5	19 nolu bina çatı katı bacadan (14)	
AFB-H1	Duvar bölmeden (özgün bims malzeme)	Harç
AFB-H2	17-19 Nolu binayı bağlayan ara duvardan tuğla derzi (2)	
AFB-H3	19 Nolu bina arka cepheden tuğla derzi (5)	
AFB-H4	19 Nolu bina girişi zemin karosu yatak harcı (8)	
AFB-H5	19 Nolu bina çatı katı taban kaplama tuğla yatak harcı (11)	
AFB-H6	19 nolu bina çatı katı bacadan tuğla derzi (14)	
AFB-S1	19 Nolu binadan iç sıva	Sıva
AFB-S2	17 nolu kapı girişinden	
AFB-S3	17 Nolu bina sahanlığın altındaki oda/koridor güney duvardan (3)	
AFB-S4	17 Nolu bina çatı tavandan (6)	
AFB-S5	17 Nolu bina 3. kat balkona açılan odadan (11)	
AFB-S6a	19 Nolu bina dış cepheden üst kat (1)	
AFB-S6b	19 Nolu bina dış cepheden alt kat (1)	
AFB-S7	19 nolu bina çatı katı bacadan (14)	

(*) Belirtilen rakamlar örnekleme sırasını ifade etmektedir.

Tablo 2b. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları örnekleme: Taban karosu, toprak, metal, tekstil ve ahşap örnekleri

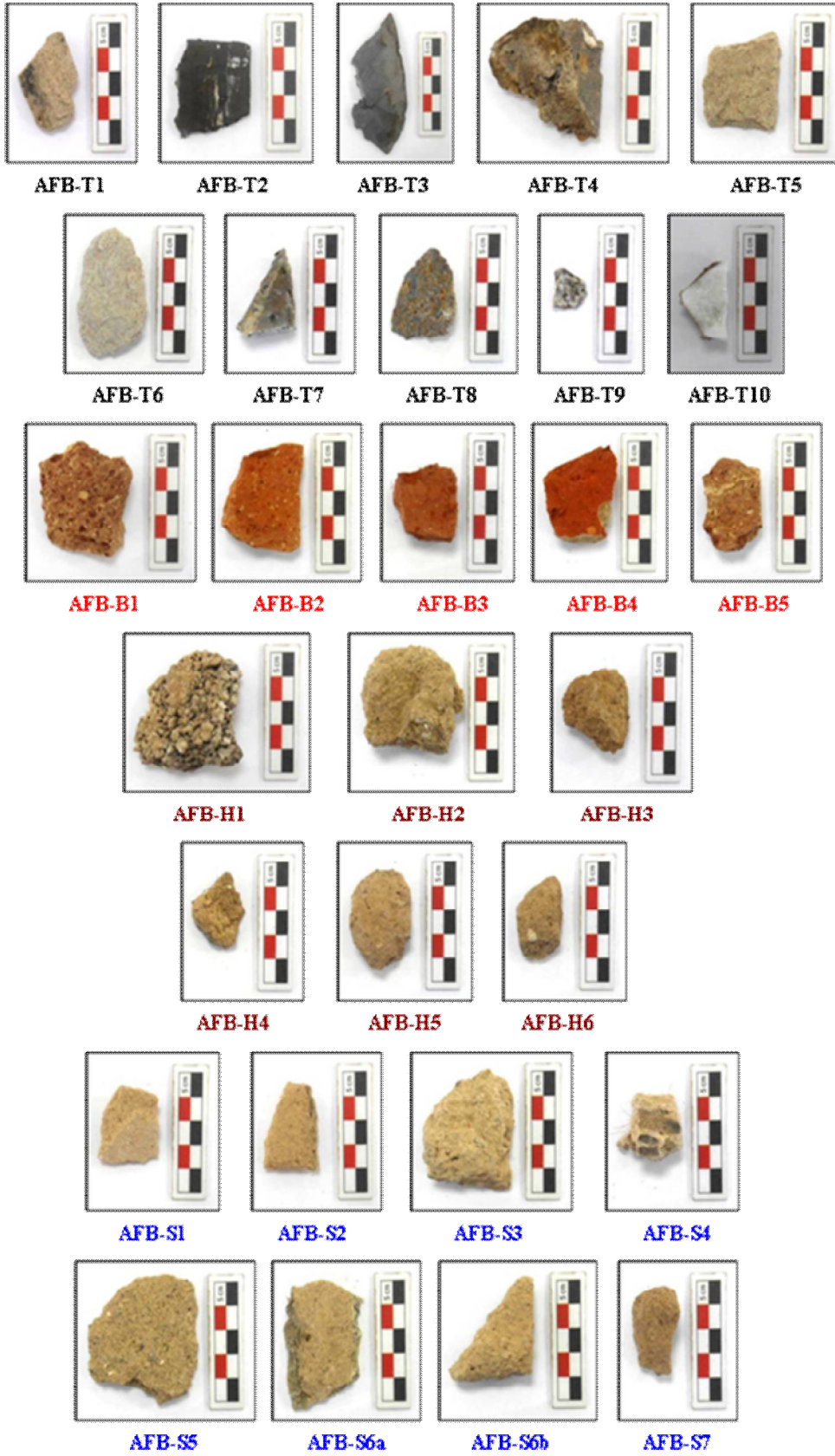
Örnekler	Açıklamalar	Malzeme Türü
AFB-K1	19 Nolu bina giriş merdiven ile kapı arasından zemin karosu (8)*	Taban Karosu
AFB-D1	17 Nolu bina çatı (kat arası) tavan/tabana hatıl arası dolgu kumu	Toprak
AFB-M1	17 Nolu bina çatı çıkışı merdiven üzeri sıva içinden rabbitz teli	Metal
AFB-M2	17 Nolu bina çatıdan mih/çivi (8)	
AFB-M3	17 Nolu bina 3. kat doğudaki balkon (3. kattan) korkuluğundan (10)	
AFB-F1	19 Nolu binanın taban kaplaması halı (2. kattan)	Tekstil
AFB-F2	19 Nolu binanın taban kaplaması halı (merdivenlerden)	
AFB-F3	19 Nolu binanın taban kaplaması halı (merdivenlerden)	
AFB-F4	Boruların izolasyon sıvalarına ait sargı (alçılı) tekstili	
AFB-A1	Çatı katından	Ahşap**
AFB-A2	19 Nolu binanın Özgün zemin parke	
AFB-A3	19 Nolu binanın kapı pervazından	
AFB-A4	19 Nolu bina merdiven bordüründen	
AFB-A5	17 Nolu bina çatı özgün hatıl üzeri tavan/tabana (kat arası) hasırı	
AFB-A6	17 Nolu bina çatı taşıyıcı konstrüksiyondan (5)	
AFB-A7	17 Nolu bina çatıdan ara ızgaradan (bağdadi) çıta (8)	
AFB-A8	17 Nolu binaşöminenin olduğu salon taban parkesinden (12)	
AFB-A9	19 Nolu bina giriş kapısından (2)	
AFB-A10	19 Nolu bina 2. kata çıkan dar merdiven basamağından (10)	
AFB-A11	19 Nolu bina çatı katı taban kaplama zeminden hatıl (13)	
AFB-A12	19 Nolu bina çatı yapısal ahşap ayaktan (15)	
AFB-A13	19 Nolu bina trabzan altından (15)	
AFB-A14	19 Nolu bina merdiven basamağından (19)	

(*) Belirtilen rakamlar örnekleme sırasını ifade etmektedir.

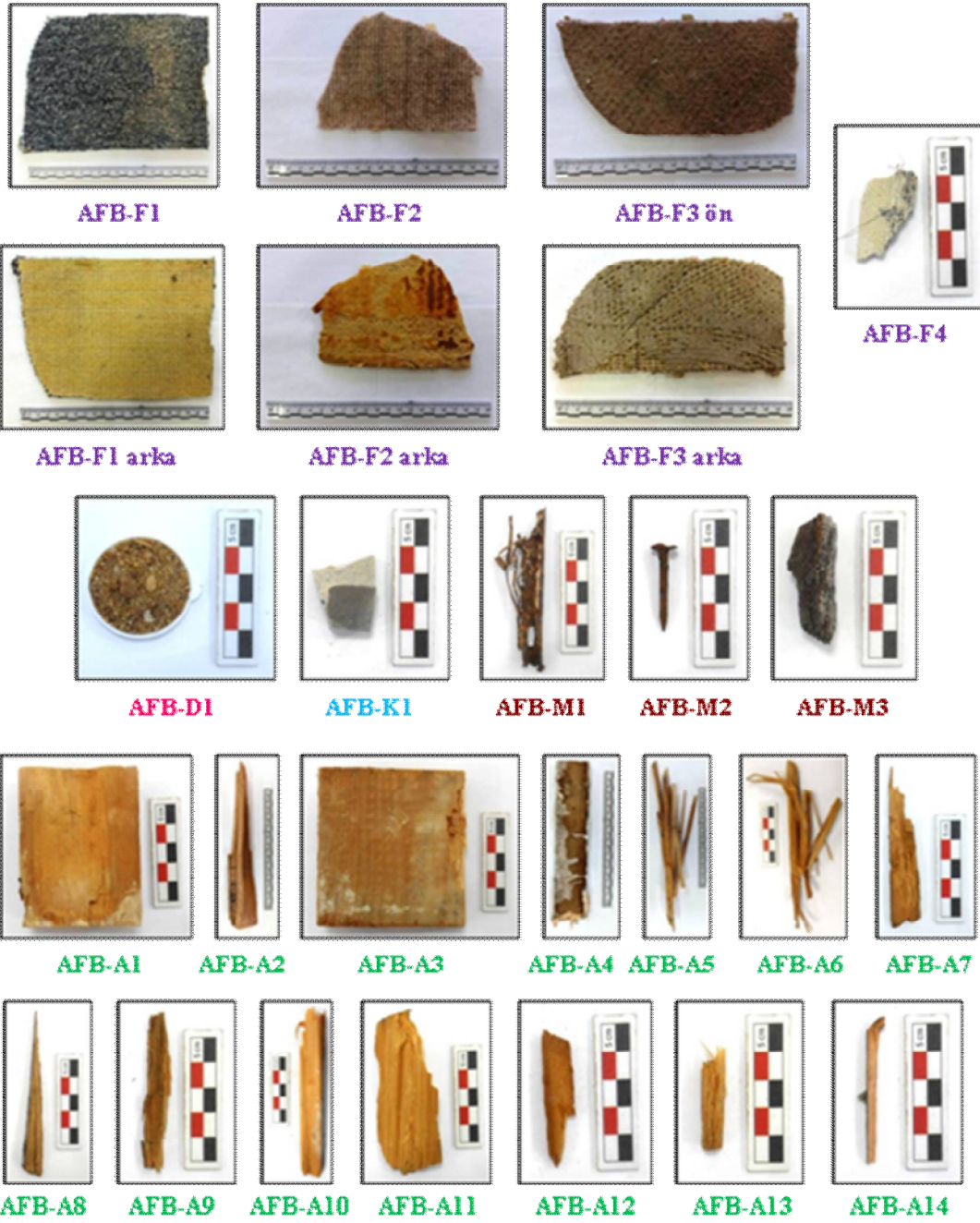
(**) Ayrıca raporlanmıştır



Şekil 1. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları (altta 30.10.2023 ve üstte 09.12.2023)



Şekil 2a. Frankfurt Y.E.E. Binaları analiz örnekleri: taş, tuğla, harç ve sıva örnekler



Şekil 2b. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları analiz örnekleri: taban kaplama, toprak, metal, tekstil ve ahşap örnekler

Tablo 3a. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları taş örneklerinde temel (standart olmayan) fiziksel testler

Örnekler	BHA-Doygun (g/cm ³)	BHA-Kuru (g/cm ³)	SEK (%)	P (%)	Tür
AFB-T1	2,49	2,30	3,29	7,57	Kumtaşı
AFB-T2	2,43	2,21	4,04	8,92	A. Fillit
AFB-T3	2,70	2,43	4,12	10,01	Fillit
AFB-T4	2,52	2,26	4,52	10,22	Kumtaşı
AFB-T5	2,66	2,26	6,68	15,09	Kumtaşı
AFB-T6	2,70	2,45	3,86	9,45	S. Kuvarsit
AFB-T7	2,62	2,52	1,48	3,74	A.F. Granit
AFB-T8	2,60	2,42	2,85	6,90	M. Kireçtaşı
AFB-T9	2,56	2,45	1,73	4,23	M. Granit
AFB-T10	2,69	2,59	1,36	3,53	Mermer

Tablo 3b. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları tuğla örneklerinde temel (standart olmayan) fiziksel testler

Örnekler	BHA-Doygun (g/cm ³)	BHA-Kuru (g/cm ³)	SEK (%)	P (%)
AFB-B1	2,37	1,67	17,52	29,31
AFB-B2	2,52	1,46	28,64	41,95
AFB-B3	2,38	1,53	23,38	35,75
AFB-B4	2,42	1,88	11,72	22,09
AFB-B5	2,40	1,53	23,57	36,10
Tuğla Ort.	2,42	1,62	20,97	33,04

Tablo 4a. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları taş örneklerinde tuz türü, pH ve toplam tuz/iletkenlik (SS) testleri

Örnekler	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Fosfat (PO ₄ ³⁻)	Klorür (Cl)	pH	SS (%)
AFB-T1	0,50*	30*	1,00*	3*	7,12**	0,69**
AFB-T2	0,50	20	1,50	12	6,05	0,77
AFB-T3	0,25	30	1,50	12	6,96	1,00
AFB-T4	0,75	40	1,50	6	7,65	0,83
AFB-T5	0,75	50	2,00	6	7,53	1,02
AFB-T6	0,25	10	1,00	30	6,19	0,39
AFB-T7	0,25	10	1,00	15	7,16	0,65
AFB-T8	0,75	30	2,00	24	7,14	0,23
AFB-T9	0,25	10	1,00	6	6,14	0,36
AFB-T10	0,10	10	0,50	6	7,15	0,37
Taş Ort.					6,91	0,63

(*) Testlerin Hassasiyeti; Nitrit (NO₂⁻): 0,05 mg/L, Nitrat (NO₃⁻): 10 mg/L, Fosfat (PO₄³⁻): 0,50 mg/L, (Cl): 3 mg/L

(**) 100 mL suda

Tablo 4b. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları tuğla ve toprak örneklerinde tuz türü, pH ve toplam tuz/iletkenlik (SS) testleri

Örnekler	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Fosfat (PO ₄ ³⁻)	Klorür (Cl)	pH	SS (%)
AFB-B1	0,10*	10*	1,50*	12**	6,40**	1,44**
AFB-B2	0,05	10	0,50	3	7,12	1,61
AFB-B3	0,50	30	2,00	24	7,15	0,73
AFB-B4	0,20	10	3,50	12	6,14	0,73
AFB-B5	0,30	10	1,50	3	6,14	1,46
AFB-D1	0,05	10	2,50	3	7,25	0,95
Tuğla Ort.					6,59	1,19

(*) Testlerin Hassasiyeti; Nitrit (NO₂⁻): 0,05 mg/L, Nitrat (NO₃⁻): 10 mg/L, Fosfat (PO₄³⁻): 0,50 mg/L, (Cl): 3 mg/L

(**) 100 mL suda



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Asidik agrega & bağlayıcı analizi; (a) Asidik işlem (%5 HCl), (b) Süzme / yıkama ve (c) Kurutma işlemleri (MAKLAB)

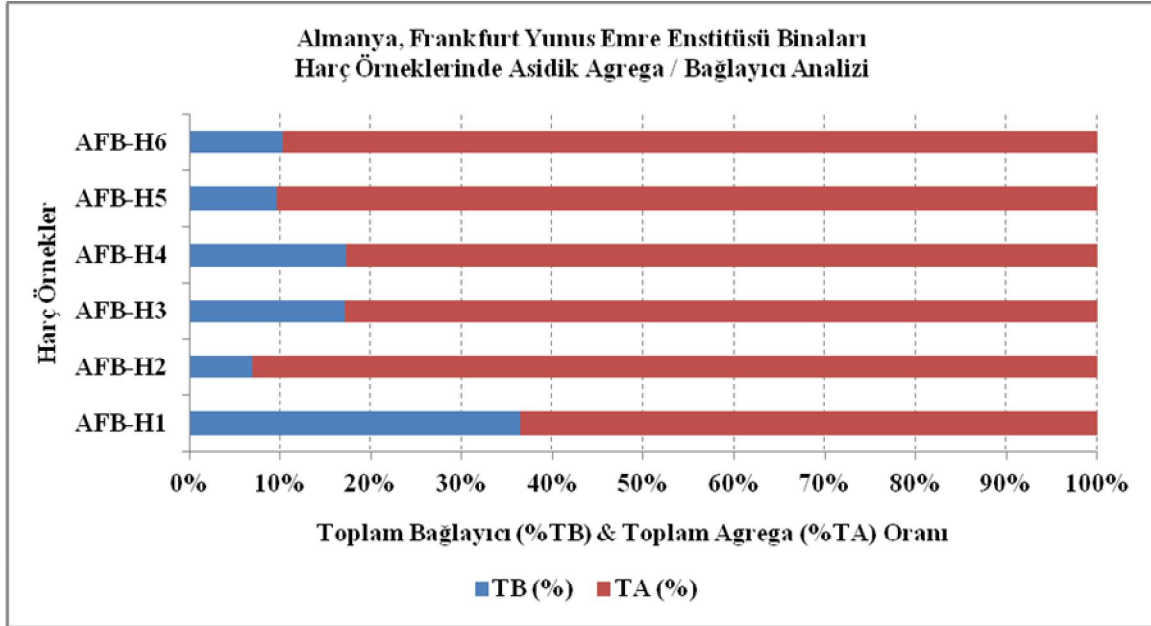
Tablo 5a. Frankfurt Y.E.E. Binaları harçları asidik agrega/bağlayıcı ve granülometrik analizler

Örnekler	TB (%)*	TA (%)*	<63 µm	>63 µm	>125 µm	>250 µm	>500 µm	>1000 µm
AFB-H1	36,39	63,61	2,49	1,70	2,96	6,21	15,97	70,68
AFB-H2	6,99	93,01	3,16	4,23	11,41	30,70	34,41	16,08
AFB-H3	17,08	82,92	4,35	5,27	11,87	30,20	36,82	11,49
AFB-H4	17,25	82,75	1,97	0,97	5,90	34,82	36,20	20,15
AFB-H5	9,58	90,42	3,64	3,63	14,18	37,13	30,18	11,24
AFB-H6	10,25	89,75	4,60	4,97	13,61	33,44	30,67	12,72
Harç Ort.	16,26	83,74	3,37	3,46	9,99	28,75	30,71	23,73

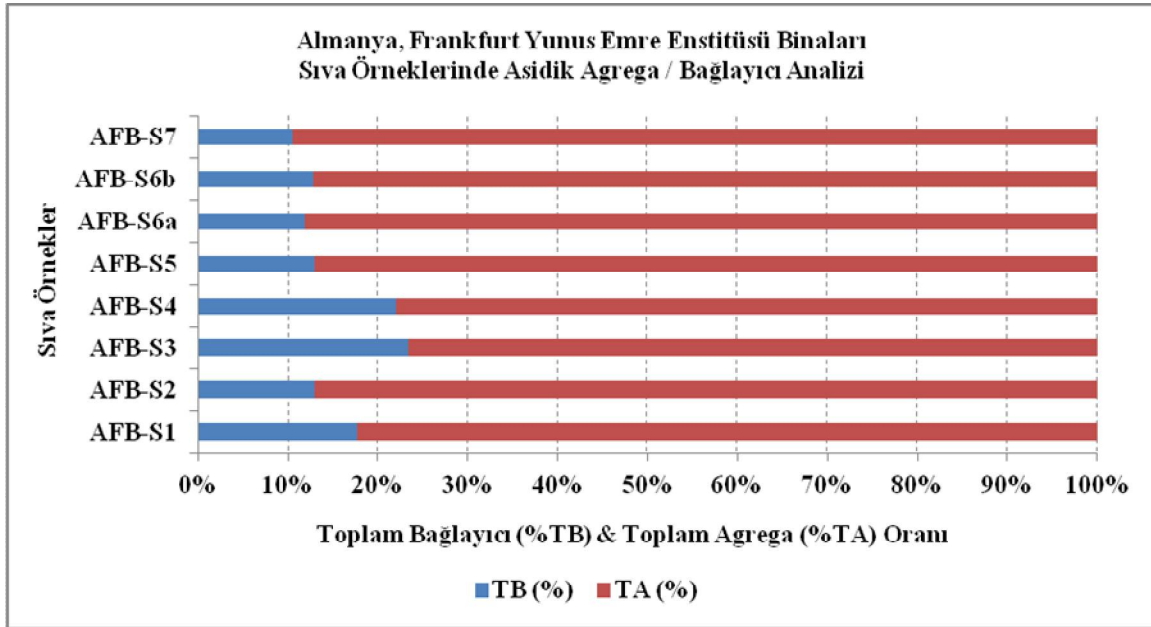
Tablo 5b. Frankfurt Y.E.E. Binaları sıvaları asidik agrega/bağlayıcı ve granülometrik analizler

Örnekler	TB (%)*	TA (%)*	<63 µm	>63 µm	>125 µm	>250 µm	>500 µm	>1000 µm
AFB-S1	17,74	82,26	1,58	2,37	23,41	45,73	21,30	5,61
AFB-S2	13,00	87,00	2,77	1,55	16,24	37,94	28,64	12,86
AFB-S3	23,46	76,54	2,41	3,08	13,46	29,73	28,35	22,97
AFB-S4	22,05	77,95	3,56	6,28	15,67	36,23	32,25	6,01
AFB-S5	13,03	86,97	3,82	2,96	11,00	30,55	29,34	22,34
AFB-S6a	11,91	88,09	2,35	1,68	14,27	38,41	29,47	13,82
AFB-S6b	12,80	87,20	1,61	2,00	15,43	39,15	30,52	11,28
AFB-S7	10,53	89,47	6,07	4,08	13,72	33,96	31,67	10,49
Sıva Ort.	15,57	84,43	3,02	3,00	15,40	36,46	28,94	13,17

(*) TA: Toplam agrega oranı, TB: Toplam bağlayıcı oranı

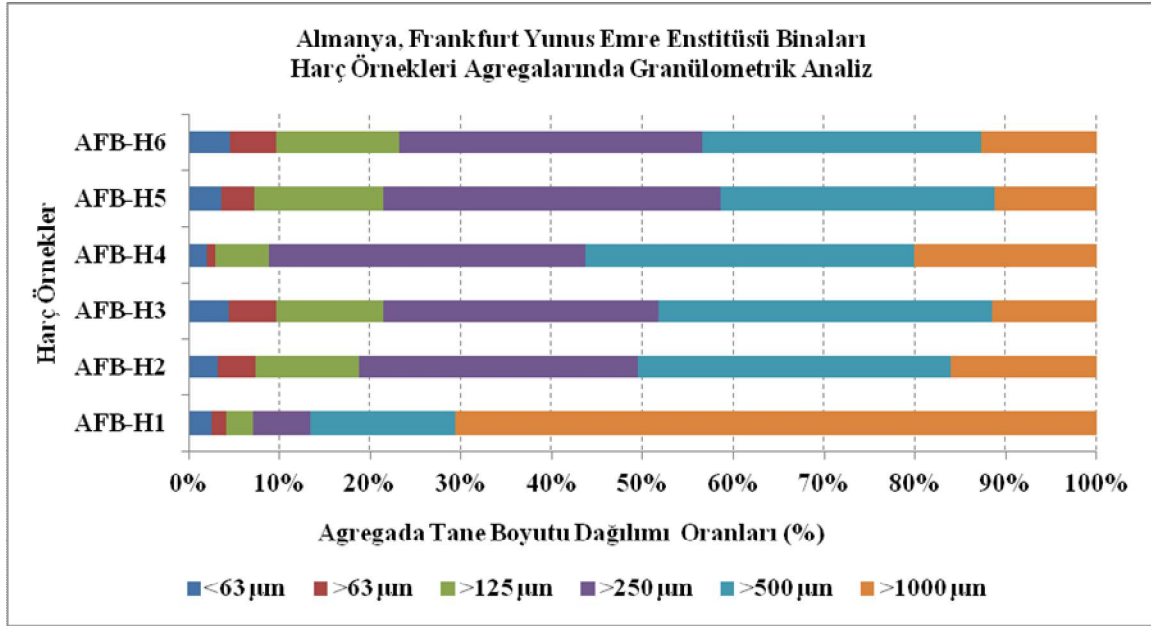


(a)

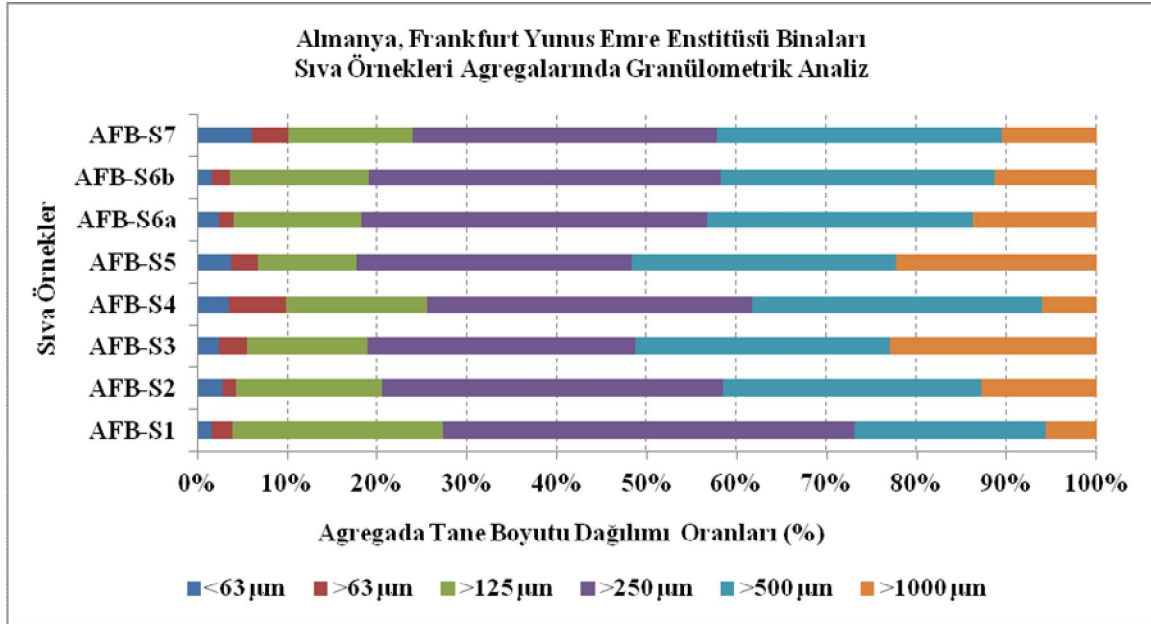


(b)

Şekil 5. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait (a) harç ve (b) sıva örneklerinde toplam agrega/bağlayıcı oranları dağılımı

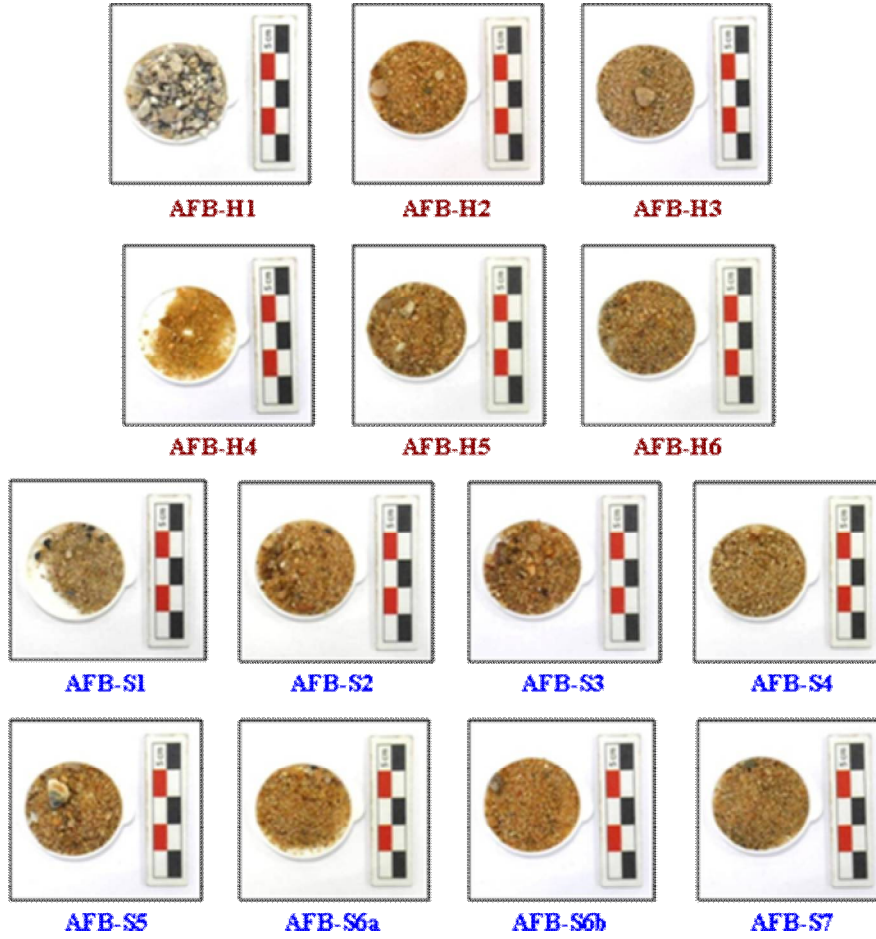


(a)



(b)

Şekil 6. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait (a) harç ve (b) sıva örnekleri agregalarında tane boyutu (Granülometrik Analiz) dağılımı



Şekil 7. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait harç ve sıva örneklerinde agregalar (asidik agrega/bağlayıcı analizi sonrasında elde edilen karbonat içermeyen agregalar)

Tablo 6a. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait taş örneklerin petrografik özellikleri

Taş Örnekler	Kayaç Türü	Doku	Sertlik (Mohs)	Kayaç ve Mineraller*
AFB-T1	Kumtaşı	Tane Destekli	3 – 4	Q,Pl,Ms,Am,Op
AFB-T2	Arduvaz Fillit	Lepidoblastik	3 – 4	Q,Gr,Sr,Op
AFB-T3	Fillit	Lepidoblastik	3 – 4	Q,Ç,Gr,Sr,Op
AFB-T4	Kumtaşı	Killi	3 – 4	Q,Ç,By,Sr,Ms,Qs,Op
AFB-T5	Kumtaşı	Detritik	3 – 4	Q,C,Ç,Pl,Sr,Qs
AFB-T6	Sedimanter Kuvarsit	Dentritik	4 – 5	Q,Pl,Sr,Ms
AFB-T7	Alkali Feldispat Granit	Holokristalin	5 – 6	Pl,By,Ms,Ort,Mk
AFB-T8	Mikritik Kireçtaşı	Sparitik	~ 3	C,Lm,As
AFB-T9	Mika Granit	Holokristalin	5 – 6	Q,Pl,By,Ms,Ort,G,Op
AFB-T10	Mermer	Granoblastik	~ 3	C (>0,3 mm)

Tablo 6b. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait tuğla örneklerin petrografik özellikleri

Örnek	T (°C)	P (%)	MTA (%)	Kayaç ve Mineraller*	Agrega Boyutu	Kayaç Kökeni
AFB-B1	850-900	5	65	Q,Ç,Gr,Pl,Op,TK(%5)	İri**	Fillit
AFB-B2 AFB-B3 AFB-B5	850-900	5	75	Q,Ç,Pl,Ort,Ms,Sr,Op	İnce	Silttaşı
AFB-B4	900-950	10	65	Q,Ç,Pl,Ort,Op,TK(%10)	İri	Killeşmiş Kumtaşı

(**) İnce / Ortalama / İri Boyutlu Agregada (mm) : <0,5 / 0,5-1,0 / >1,0

Tablo 6c. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait harç örneklerin petrografik özellikleri

Harç Örnekler	MTB (%)	MTA (%)	Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100)				Matriks Agregada İçeriği (%100)		
			Kireç	Kil	Çm	Alçı	Kayaç & Mineraller*	TK	Org
AFB-H1	55	45	100	-	-	-	97 (Q,Ç,Gr,Fl,Op)	3	-
AFB-H2, AFB-H3	10	90	-	-	100	-	100 (Q,K,Ç,Pl,By,Ort,Mk,Op)	-	-
AFB-H4, AFB-H5 AFB-H6	15	85	10	-	90	-	100 (Q,Ç,Pl,By,Ş,Op)	-	-

Tablo 6d. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait sıva örneklerin petrografik özellikleri

Sıva Örnekler	MTB (%)	MTA (%)	Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100)				Matriks Agregada İçeriği (%100)		
			Kireç	Kil	Çm	Alçı	Kayaç & Mineraller*	TK	Org
AFB-S1	15	85	20	-	80	-	100 (Q,Pl,Py,Sr,Ms,Op)	-	-
AFB-S2/Üst	75	25	20	-	-	80	100 (Q,Ç,Op)	-	-
Alt Kat	15	85	20	-	80	-	100 (Q,C,Ç,Py,Op)	-	-
AFB-S3, AFB-S4 AFB-S6b, AFB-S7	15	85	-	-	100	-	100 (Q,Ç,Pl,By,Qs,Ort,Op)	-	-
AFB-S5,AFB-S6a									
Üst Kat	85	15	20	-	80	-	100 (Q,Ç,Sr,Ms,Op)	-	-
Alt Kat	20	80	-	-	100	-	100 (Q,Ç,Pl,By,Op)	-	-

Tablo 6e. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları taban karosu örneğinin petrografik özellikleri

Taban Karosu Örneği	MTB (%)	MTA (%)	Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100)				Matriks Agregada İçeriği (%100)		
			Kireç	Kil	Çm	Alçı	Kayaç & Mineraller*	TK	Org
AFB-K1/Üst	80	20	-	-	100	-	100 (Q,Ç,Op)	-	-
Alt Kat	35	65	-	-	100	-	100 (Q,Ç,Pl,By,Op)	-	-

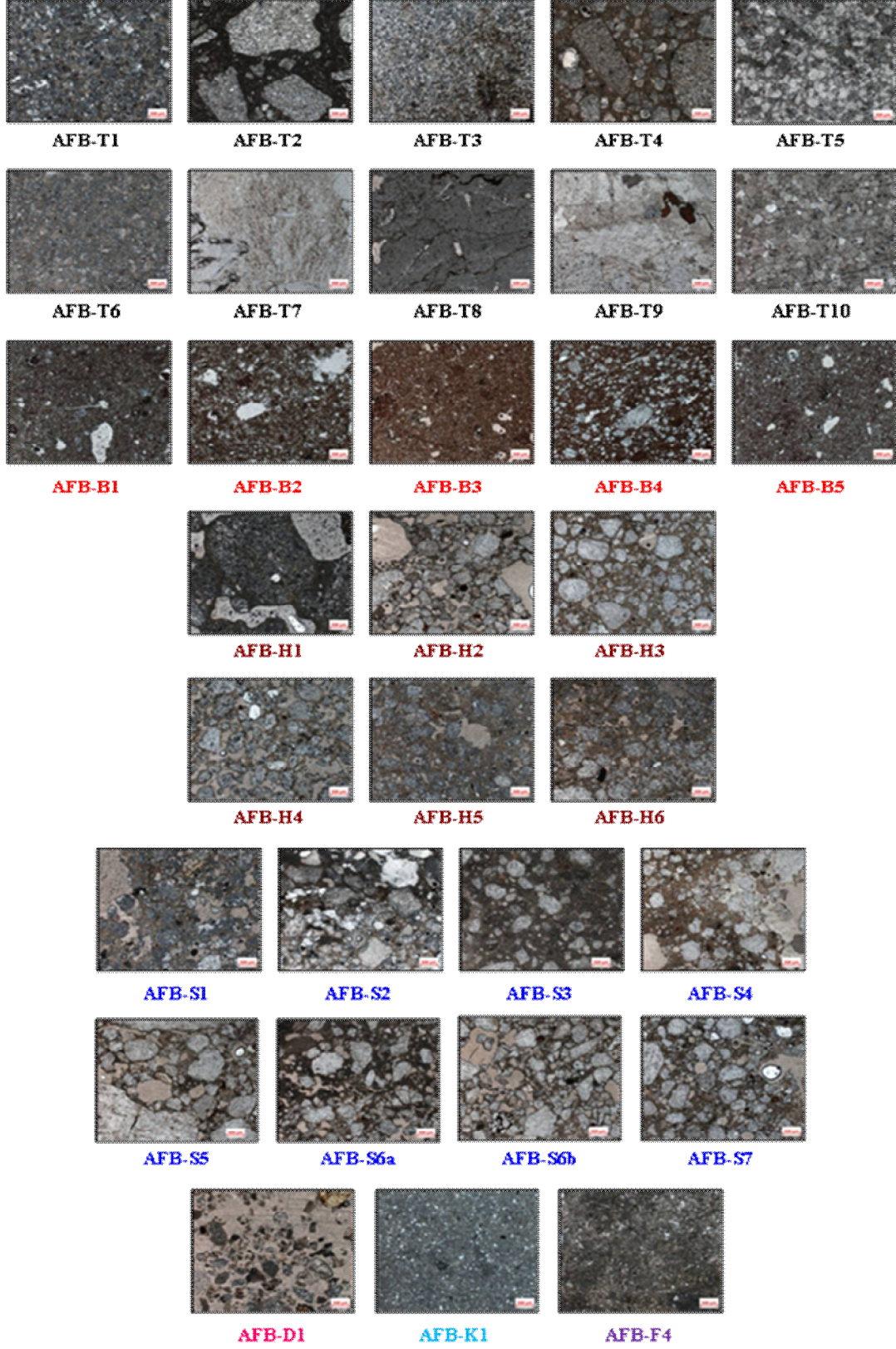
Tablo 6f. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları toprak örneğinin petrografik özellikleri

Toprak Örneği	Matriks Agregası İçeriği (%100)		
	Kayaç & Mineraller*	TK	Org
AFB-D1	97 (Q,Ç,Pl,Py,Ş,Gr,S,Fl,Op)	-	3

Tablo 6g. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları tekstil örneğinin petrografik özellikleri

Sıva Örnekler	MTB (%)	MTA (%)	Matriks Bağlayıcı İçeriği (%100)				Matriks Agregası İçeriği (%100)		
			Kireç	Kil	Çm	Alçı	Kayaç & Mineraller*	TK	Org
MBB-F4	75	25	55	-	-	45	100 (Q,K,Ç,Kr(%20),Ks,S,Op)	-	-

(*) Am: Amfibol, Ar: Aragonit, As: Amorf Silika, By: Biyotit, C: Kalsit, Ç: Çört, Çm: Çimento, D: Dolomit, Fl: Fillit, G: Granit, Gr: Grafit, K: Kireçtaşı, **Kr: Krizotil (Asbest)**, Ks: Kalsedon, Kt: Kumtaşı, Lm: Limonit, Mk: Mikroklin, Ms: Muskovit, MTA: Matriks Toplam Agregası Oranı, MTB: Matriks Toplam Bağlayıcı Oranı, Op: Opak Mineraller, Org: Organik İçerik, Ort: Ortoklas, Pl: Plajiyoklas, Py: Piroksen, Q: Kuvars, Qs: Kuvarsit, R: Radyolarit, S: Serpantinit, Sr: Serizit, Ş: Şist, TK: Tuğla Kırığı Parçaları



Şekil 8. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait taş, tuğla, harç, sıva, taban karosu, toprak ve tekstil örneklerinin ince kesit optik mikroskop fotoğrafları

Tablo 7a. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları'na ait taş örneklerin PED-XRF analizi

Element	Bileşim	AFB-T1	AFB-T2	AFB-T3	AFB-T4	AFB-T5	
Na ₂ O	%	1,37	0,046	0,320	0,050	1,10	
MgO		3,46	1,23	2,66	0,547	3,42	
Al ₂ O ₃		14,56	9,70	14,37	2,68	13,11	
SiO ₂		59,51	50,78	58,14	32,01	62,56	
P ₂ O ₅		0,403	0,072	0,104	0,053	0,043	
SO ₃		0,155	0,291	1,19	1,31	0,141	
Cl		0,067	0,057	0,060	0,067	0,063	
K ₂ O		2,85	2,37	2,95	0,716	2,71	
CaO		1,04	7,73	1,60	30,12	0,493	
TiO ₂		0,218	0,663	0,812	0,131	0,221	
V ₂ O ₅		0,005	0,015	0,019	0,010	0,008	
Cr ₂ O ₃		0,115	0,014	0,021	0,008	0,051	
MnO		0,007	0,077	0,120	0,036	0,004	
Fe ₂ O ₃		1,50	6,38	6,76	1,67	1,04	
LOI*		14,35	20,74	10,63	30,84	15,53	
Co		ppm	19,3	44,5	37	21,2	12,2
Ni			8,6	47,2	71,5	13,6	10,4
Cu	4,4		24,7	26,9	10,4	48,8	
Zn	414,3		828,6	474,1	344,1	214,9	
Ga	12,1		14,6	20,6	4,7	12	
Ge	0,3		1,9	2,4	0,4	1	
As	0,7		7,5	8,3	7	0,7	
Se	0,2		0,3	0,3	0,3	0,2	
Br	0,8		0,7	0,3	1,8	0,9	
Rb	102,5		112,7	130,8	28	95,4	
Sr	121		174,7	70,8	1075	125,7	
Y	27,3		19,1	28,8	4	14,4	
Zr	216,2		119,9	210,9	89,3	362,5	
Nb	6		10,9	23	8,4	7,6	
Mo	7		3	6,5	3,3	7,6	
Cd	0,8		0,9	0,9	0,4	0,7	
In	0,7		0,7	0,8	0,9	0,7	
Sn	3,2		3,5	4,4	2	4,5	
Sb	0,9		1	0,9	1,2	0,9	
Te	1,3		1,3	1,2	1,4	1,2	
I	2,4		2,4	2,2	2,5	2,2	
Cs	3,9		5,8	3,8	4,5	3,8	
Ba	1239		398,4	399,3	246,9	672,4	
La	30,1		38	39	9,7	48,8	
Ce	67,6		76,6	85,5	13	102,3	
Hf	5,1		6,7	6,1	5,5	6,7	
Ta	5		3,1	3,4	2,7	3,2	
W	3,7		5,3	4,3	3,9	2,6	
Hg	0,5		0,8	0,7	0,8	0,5	
Tl	0,6		1	0,9	1,1	1,3	
Pb	36,8	122,7	47	34,3	39		
Th	3,5	3,3	9	1,8	7,5		
U	6,8	5,8	8	13,7	6,3		
Tür		Kumtaşı	A. Fillit	Fillit	Kumtaşı	Kumtaşı	

(*) LOI: 950°C'de Kızdırma ile Ağırlık Kaybı (Loss on Ignition)

Tablo 7b. Frankfurt Y.E.E. Binaları tuğla, toprak, harç ve sıva örneklerinin PED-XRF analizi

Element	Bileşim	AFB-B1	AFB-D1	AFB-H1	AFB-S1	AFB-S2
Na ₂ O	%	0,300	0,049	3,69	0,043	0,059
MgO		2,85	0,521	0,301	1,05	1,85
Al ₂ O ₃		8,01	3,25	13,52	4,15	1,95
SiO ₂		63,31	54,74	41,51	43,86	31,42
P ₂ O ₅		0,144	0,093	0,100	0,120	0,064
SO ₃		1,25	1,92	0,547	0,666	3,75
Cl		0,056	0,117	0,216	0,056	0,336
K ₂ O		1,85	1,89	3,79	1,44	1,03
CaO		9,66	4,15	14,43	26,96	27,69
TiO ₂		0,566	0,136	0,210	0,214	0,134
V ₂ O ₅		0,014	0,010	0,010	0,010	0,007
Cr ₂ O ₃		0,011	0,043	0,002	0,051	0,017
MnO		0,086	0,094	0,236	0,038	0,049
Fe ₂ O ₃		3,16	1,79	1,97	1,48	1,03
LOI*		8,63	31,49	19,74	19,44	30,77
Co		ppm	16,8	15,7	12,6	17,6
Ni	25		12,8	13,5	10,2	7,7
Cu	14,9		40	5,2	8,9	13,9
Zn	45,2		354,2	120,9	37,5	72,8
Ga	11,3		3,3	26,2	7,1	4,2
Ge	1,1		0,4	1,8	0,4	0,4
As	18		6,8	5,4	3,5	3,8
Se	0,3		0,2	0,3	0,3	0,3
Br	0,2		2	3,8	1,8	4,7
Rb	81,9		65,9	230	69	49,3
Sr	182		134,5	205,5	348,7	156,5
Y	27,8		7,8	18,7	5,7	12,9
Zr	443,1		107,3	710	113,5	143,3
Nb	15,5		7,7	115,8	11,2	9
Mo	7,7		3	17,9	3,7	3,6
Cd	0,8		0,9	0,8	0,9	0,8
In	0,8		0,8	0,8	0,9	0,8
Sn	3,6		8,4	1	0,9	1,7
Sb	0,8		1	0,9	1	1
Te	1,2		1,4	1,2	0,8	1,3
I	2,1		2,6	2,2	2,1	2,4
Cs	3,6		4,5	4	3,7	4,1
Ba	368,2		842,6	97	404,4	523,4
La	35,4		11,1	106,1	17,2	15,8
Ce	72,7		22,5	112,2	22,7	39,4
Hf	11,5		5,4	17,4	4,3	4,1
Ta	2,6		2,5	7,2	2	2,4
W	2,2		3,9	2,6	2,1	2,3
Hg	0,7	5,5	0,8	0,7	0,6	
Tl	0,7	0,7	0,5	0,8	0,7	
Pb	23	87	31,8	19,7	34,8	
Bi	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Th	12,1	1,7	35	5,7	4,7	
U	7,8	6,7	8,7	8,4	6,5	

(*) LOI: 950°C'de Kızdırma ile Ağırlık Kaybı (Loss on Ignition)

Tablo 8. Frankfurt Y.E:E. Binaları harç ve siva örneklerinde Cementation Index verileri

Örnekler	Cementation Index	Kireç Türü
AFB-H1	8,96	DÇ/Ç
AFB-S1	4,53	DÇ/Ç
AFB-S2	3,01	DÇ/Ç

(*) Yağlı Kireç (YK) : <0,30
Zayıf Hidrolik Kireç (ZHK) : 0,30 - 0,50
Ortalama Hidrolik Kireç (OHK) : 0,51 - 0,70
Hidrolik Kireç (HK) : 0,71 - 1,10
Doğal Çimento (DÇ) : 1,11-1,70
Doğal Çimento & Çimento (DÇ/Ç) : 1,70<

Tablo 9. Frankfurt Yunus Emre Enstitüsü Binaları metal örneklerinin Mikro-XRF analizi (%)

Element	AFB-M1	AFB-M2	AFB-M3
Ti	0,011	0,010	0,042
V	0,032	0,013	0,028
Cr	0,056	0,020	0,020
Mn	0,329	0,458	0,508
Fe	97,06	98,03	98,14
Co	0,136	0,046	0,076
Ni	0,053	0,058	0,025
Cu	0,113	0,129	0,002
Zn	1,11	0,003	0,057
Ga	0,001	0,002	0,001
Zr	0,050	0,050	0,050
Nb	0,020	0,061	0,048
Mo	0,050	0,050	0,050
Rh	0,002	0,002	0,002
Pd	0,005	0,010	0,006
Ag	0,009	0,006	0,009
Cd	0,010	0,007	0,008
In	0,008	0,009	0,009
Sn	0,008	0,034	0,010
Sb	0,011	0,011	0,013
W	0,007	0,004	0,004
Ir	0,001	0,001	0,001
Pt	0,020	0,020	0,020
Au	0,020	0,020	0,020
Pb	0,071	0,099	0,023