

Romanmix I10



VAKIF KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA
UYGULAMA ve ARAşTIRMA MERKEZİ

KURAM

**TETRAGLOBE ROMANMIX I10 08.01.2025 ÜRETİM TARİHLİ
HİDROLİK KİREÇ ESASLI ENJEKSİYON HARCİ
MALZEME ANALİZ RAPORU**



RAPOR NO: 890



**FATİH
SULTAN
MEHMET**
VAKIF ÜNİVERSİTESİ

MART 2025

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	2
2. ÖRNEK TANIMI.....	2
3. ANALİZLER.....	3
3.1. Tuz, Protein ve Yağ Analizi.....	3
3.2. Serbest Su Muhtevası, Kızdırma Kaybı ve Asitte Kayıp	3
3.3. SEM-EDX Analizi	4
3.4. X-Işını Floresans (XRF) Analizi	5
3.5. X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi.....	6
3.6. Elek Analizi	7
3.7. Eğilme Dayanımı	8
3.8. Tek Eksenli Basınç Dayanımı	8
4. DEĞERLENDİRME	9
5. NOTLAR	10

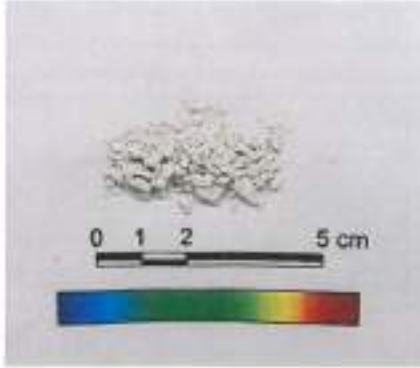
1. GİRİŞ

Köprücü Mimarlık Restorasyon Ltd. Şti. firması tarafından İzmir-Karaburun Mordoğan Çatalkaya Camii'nde kullanılması düşünülen, 08.01.2025 üretim tarihli Tetraglobe Romanmix I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı isimli ürünün malzeme analiz raporu için, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma, Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne (KURAM) 12.02.2025 tarihli dilekçe ile başvuruda bulunmuştur.

Üretici firma tarafından ticari olarak sunulduğu ambalajında gönderilmiş olan malzeme KURAM bünyesinde bulunan **Prof. Dr. Ahmet Refik Ersen Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarı**'nda incelenmiştir. Bu kapsamda laboratuvarda fiziksel, kimyasal ve aletli analizler ile malzemenin içeriği ve özellikleri standartlara göre incelenmiştir.

2. ÖRNEK TANIMI

Başvuru sahibi firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilmiş olan örneğin tanımı aşağıda verilmiştir.

		08.01.2025 üretim tarihli Tetraglobe Romanmix I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı isimli ürün, beyaz renkli, ticari olarak sunulduğu kraft torba içinde imzalı olarak teslim edilen, toz boyutlu malzemedir.
---	--	---

Şekil 1. İnceleme Konusu Tetraglobe Romanmix I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcının Görüntüsü ve Tanımı

3. ANALİZLER

Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma, Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne (KURAM) ilgilisi tarafından getirilen toz malzemede; tuz, protein ve yağ analizi, serbest su muhtevası, kızdırma kaybı ve asitle muamele, SEM-EDX analizi, XRF analizi, X-ışını difraktometresi (XRD) analizi, toz numunede elek analizi, enjeksiyon harcında eğilme deneyi ve tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır.

3.1. Tuz, Protein ve Yağ Analizi

Yukarıda tanımı yapılmış olan numunede bulunabilecek suda çözünebilir tuzların niteliklerinin (klorür, sülfat, karbonat ve nitrat tuzları) belirlenebilmesi; yağ, protein gibi katkı maddelerinin varlığının araştırılması amacı ile laboratuvarında basit spot testler yapılmış, sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca TS EN 459-2'de belirtilen analiz yöntemi ile sülfat (SO₃ cinsinden gösterilen) miktarı belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Suda Çözünebilir Tuzlar ve Organik Madde Analizi [- : Yok; + : Az var; ++ : Var; +++ : Fazla var; ++++ : Çok Fazla var]								
ÖRNEK NO	SUDA ÇÖZÜNEBİLİR TUZLAR						ORGANİK MADDE	
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	İLETKENLİK (µS)	pH (22,6 °C)	PROTEİN	YAĞ
1	-	-	-	-	6820	12,22	-	-

Tablo 2. Sülfat (SO₃) Tayini	
Deney No	TS EN 459-2' ye Göre Sülfat (SO ₃ Cinsinden Gösterilen) (%)
1	0,64
2	0,48
3	0,99
Ortalama	0,70
Standart Sapma	0,21
Varyasyon Katsayısı	0,30

3.2. Serbest Su Muhtevası, Kızdırma Kaybı ve Asitte Kayıp

Anılan firma tarafından teslim edilmiş numune üzerinde kalsinasyon (kızdırma kaybı) ve serbest su muhtevası analizleri TS EN 459-2 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu deneylere ek olarak asitte kayıp analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Serbest Su Muhtevası, Kızdırma Kaybı ve Asitte Kayıp

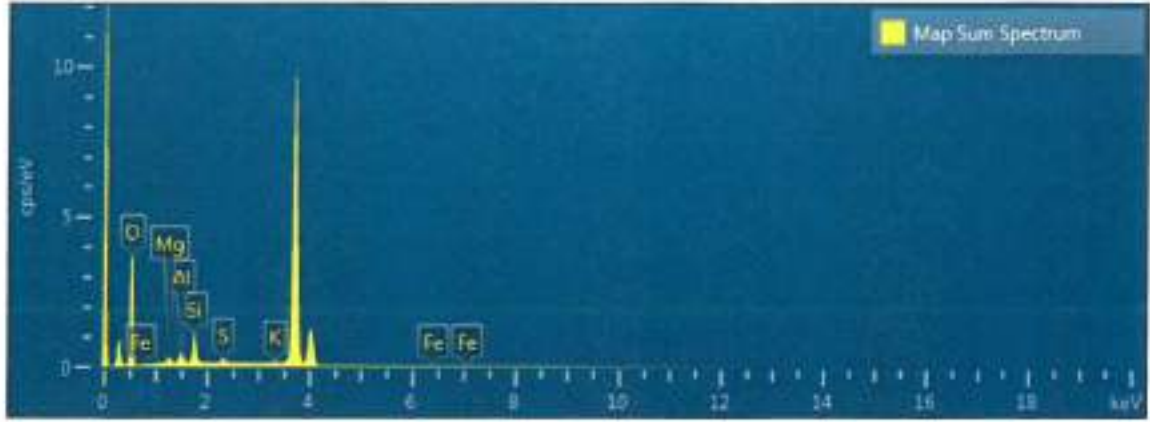
Örnek No	Serbest Su Muhtevası (%)	Kızdırma Kaybı (%)	Asitte Kayıp (%)
1	0,01	32,15	90,23
2	0,01	32,43	89,02
3	0,01	32,01	89,27
<i>Ortalama</i>	<i>0,01</i>	<i>32,20</i>	<i>89,51</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>0,00</i>	<i>0,21</i>	<i>0,64</i>
<i>Varyasyon Katsayısı</i>	<i>0,00</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>

3.3. SEM-EDX Analizi

Enjeksiyon harcı örneğine ait EDX analizinin gerçekleştirildiği bölgenin SEM görüntüsü Şekil 2’de, EDX spektrumu Şekil 3’te, tespit edilen elementler ve bunlara ait oksitlerin yüzde dağılımları ise Tablo 4’te verilmiştir.



Şekil 2. Enjeksiyon Harcı Örneğinin SEM Görüntüsü



Şekil 3. Enjeksiyon Harcı Örneğinin EDX Spektrumu

Tablo 4. EDX Analizinde Tespit Edilen Element ve Oksitlerinin Yüzde Dağılımları

Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	K series	30.79	0.10	51.96			
Si	K series	2.88	0.03	2.77	SiO ₂	6.16	0.07
Ca	K series	63.44	0.11	42.74	CaO	88.77	0.15
Mg	K series	0.61	0.03	0.68	MgO	1.01	0.04
Al	K series	0.97	0.03	0.97	Al ₂ O ₃	1.83	0.05
S	K series	0.47	0.02	0.40	SO ₃	1.18	0.06
Fe	K series	0.50	0.07	0.24	FeO	0.64	0.09
K	K series	0.35	0.03	0.24	K ₂ O	0.42	0.03
Total		100.00		100.00		100.00	

3.4. X-Işını Floresans (XRF) Analizi

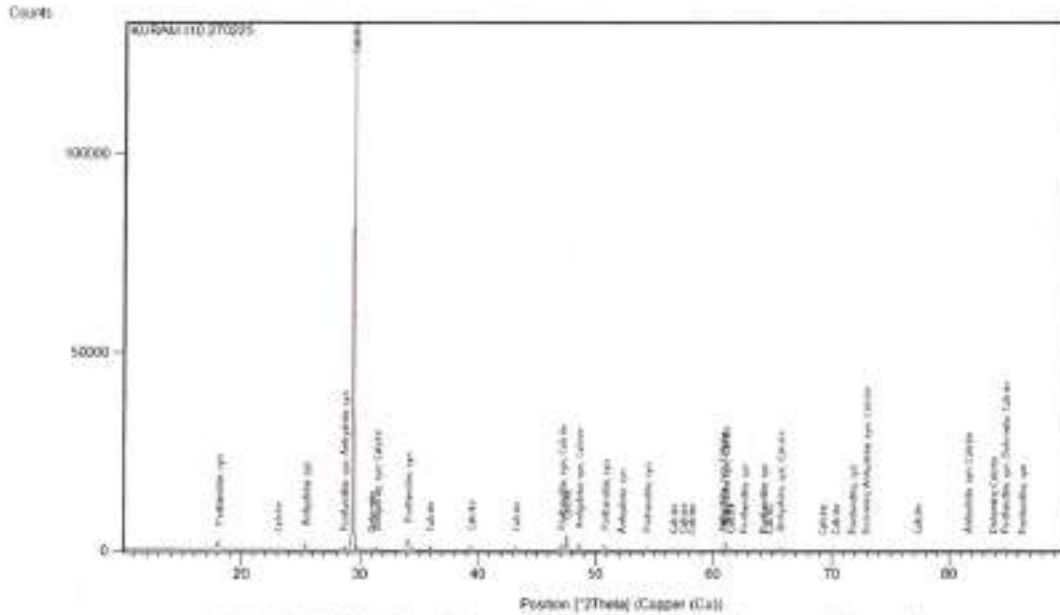
Tetraglobe Romanmix 110 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı isimli malzemenin XRF analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Enjeksiyon Harcı Örneğinin XRF Analizi Sonuçları

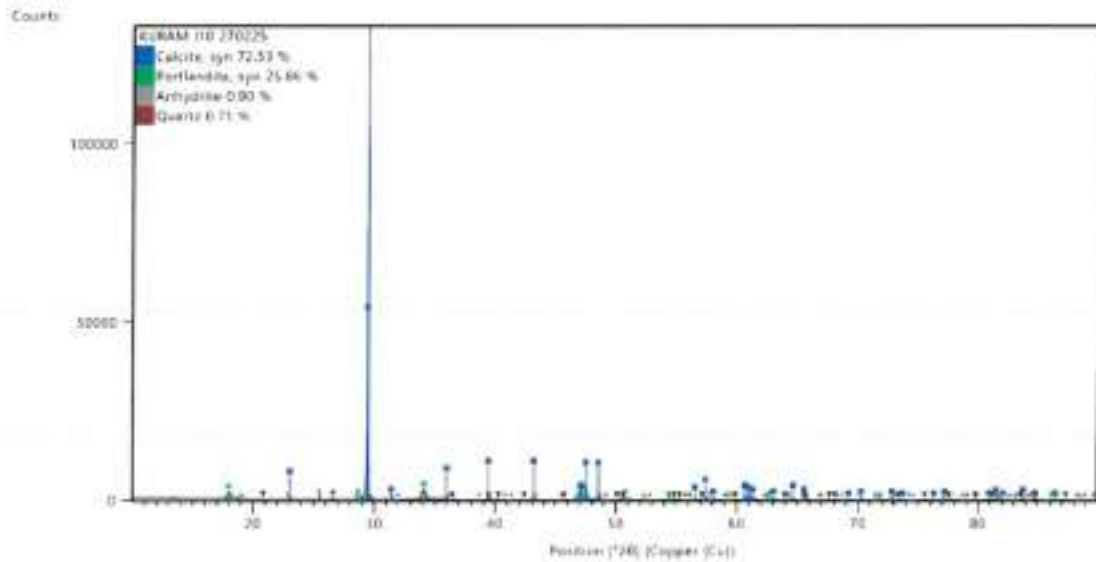
No.	Component	Result	Unit
1	Al ₂ O ₃	2.81	mass%
2	SiO ₂	6.92	mass%
3	SO ₃	1.23	mass%
4	K ₂ O	0.115	mass%
5	CaO	55.6	mass%
6	TiO ₂	0.0963	mass%
7	MnO	0.0117	mass%
8	Fe ₂ O ₃	0.935	mass%
9	NiO	0.0332	mass%
10	CuO	0.0161	mass%
11	ZnO	0.0109	mass%
12	S-BLEND	0.100	
13	CO ₂	32.2	mass%

3.5. X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi

Laboratuvarımıza teslim edilmiş toz boyutlu malzemenin içeriğindeki minerallere karşılık gelen kristal fazlarının tespit edilmesi amacıyla X-Işını Kırınımı (XRD) yöntemi kullanılmış ve XRD kırınım deseni Şekil 4'te, Rietveld Analizi Şekil 5'te verilmiştir. XRD analizi sonucuna göre enjeksiyon harcı numunesi içerisindeki fazların miktarlarını tespit etmek için yapılan Rietveld kantitatif analizi sonucu Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 4. Enjeksiyon Harcı Örneğinin XRD Kırınım Deseni



Şekil 5. Enjeksiyon Harcı Örneğinin Rietveld Analizi

Analiz sonucu X'pert HighScore Plus yazılımı ve ICDD PDF-4 kütüphanesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Tetraglobe Romanmix I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcının; **Kalsit** (kalsiyum karbonat- CaCO_3), **Portlandit** (kalsiyum hidroksit- Ca(OH)_2), **Anhidrit** (kalsiyum sülfat- CaSO_4) ve **Kuvars** (silisyum dioksit- SiO_2) içerdiği tespit edilmiştir.

İnceleme konusu enjeksiyon harcı numunesinin içeriğinde %72,5 Kalsit, %25,9 Portlandit, %0,9 Anhidrit ve %0,7 Kuvars bulunduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. Üründe Tespit Edilen Fazlar ve Oranları

Bileşen Adı	Kimyasal Formülü	Mineral Adı	Oranı	Oluşum Sıcaklığı (°C)	Açıklama
Kalsiyum Karbonat	CaCO_3	Kalsit	%72,4	Doğal oluşum sıcaklığı	Genellikle bağlayıcı olarak değil, agrega olarak tercih edilir (hammadenin tam pişirilmediği durumlarda da görülebilir)
Kalsiyum Hidroksit	Ca(OH)_2	Portlandit	%25,8	950-1450	Hem hidrolik kireç hem de çimento üretim sürecinde oluşabilir
Kalsiyum Sülfat	$\text{Ca(SO}_4\text{)}$	Anhidrit	%0,9	≥ 900	Hammadenin pişirildiği (kömür vb.) yakıtlardan ve/veya alçıdan kaynaklanabilir.
Silisyum Dioksit	SiO_2	Kuvars	%0,7	-	Genellikle agrega olarak tercih edilir.

3.6. Elek Analizi

Anılan firma tarafından teslim edilmiş malzemenin dane boyu dağılımını belirlemek için elek analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7’te verilmiştir.

Tablo 7. Enjeksiyon Harcı Örneğinin Elek Analizi Sonuçları

Elek Üzerinde Kalan (%)						
No	> 1.0 mm	> 500 μ	> 250 μ	> 125 μ	> 63 μ	< 63 μ
1	0,00	0,00	0,44	47,00	47,20	4,92
2	0,00	0,00	0,44	43,92	47,36	7,84
3	0,00	0,00	0,76	47,74	46,94	3,88
Ortalama	0,00	0,00	0,55	46,22	47,17	5,55

3.7. Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı deneyi numuneleri, TS EN 1015-11 *Kagır harcı-Deney metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini* standardına göre; ürünün teknik dokümanındaki %35 oranında su miktarına uygun olarak hazırlanmış, kalıplara dökülmüş ve ilk 7 gün (20±2) °C, %95 nem, sonraki 21 gün (20±2) °C, %65 nem koşullarında kür edilmiştir. Eğilme dayanımı deneyinde elde edilen sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Enjeksiyon Harcı Örneğinin Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Deney No	Numune Boyutları (mm)			[20 (±1) °C, %95 Nem]	[20 (±1) °C, %65 Nem]
	En	Boy	Uzunluk	7 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)
1	40,00	40,00	160,00	1,91	1,21
2	40,00	40,00	160,00	1,94	1,27
3	40,00	40,00	160,00	1,97	1,39
Ortalama				1,94	1,29
Standart Sapma				0,03	0,09
Varyasyon Katsayısı				0,01	0,07

3.8. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi numuneleri, TS EN 1015-11 *Kagır harcı-Deney metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini* standardına göre; eğilme dayanımı deneyinde iki parçaya ayrılmış olan numunelerde yapılmış, elde edilen sonuçlar Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Enjeksiyon Harcı Örneğinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Deney No	Numune Boyutları (mm)			[20 (±1) °C, %95 Nem]	[20 (±1) °C, %65 Nem]
	En	Boy	Yükseklik	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
1	40,00	40,00	40,00	5,44	12,46
2	40,00	40,00	40,00	5,61	11,58
3	40,00	40,00	40,00	5,34	12,68
4	40,00	40,00	40,00	5,54	10,46
5	40,00	40,00	40,00	4,76	12,09
6	40,00	40,00	40,00	5,41	11,02
Ortalama				5,35	11,71
Standart Sapma				0,31	0,86
Varyasyon Katsayısı				0,06	0,07



4. DEĞERLENDİRME

Köprücü Mimarlık Restorasyon Ltd. Şti. firması tarafından İzmir-Karaburun Mordoğan Çatalkaya Camii'nde kullanılması düşünülen, 08.01.2025 üretim tarihli Tetraglobe Romanmix 110 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı isimli üründe Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma, Uygulama ve Araştırma Merkezi (KURAM), Prof. Dr. Ahmet Refik Ersen Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarı'nda yapılan fiziksel, kimyasal ve aletli analizlerden elde edilen ve sonuçlara göre;

- İnceleme konusu ürünün XRD analizinde **Kalsit, Portlandit, Anhidrit ve Kuvars** mineralleri tespit edilmiş, **Belit ve/veya Larnit (β -Belit)** (di-kalsiyum silikat $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$) fazı tespit edilmemiştir (Tablo 9).
- Özellikle çimento katkısı varlığının araştırılması amacı ile Tablo 10'da verilen çimento fazları ile deneysel çalışmadan elde edilen ve Tablo 9'da tanımlanmış olan fazlar karşılaştırılmış, inceleme konusu ürünün di-kalsiyum silikat $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (**Belit-Larnit**), $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ tri-kalsiyum silikat (**Alit-Hatrurit**), $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ tri-kalsiyum alüminat (**Mayenit**) $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$, tetra-kalsiyum alüminoferrit (**Brownmillerit**) içermediği dolayısı ile çimento katkısı içermediği tespit edilmiştir.
- Sülfat (SO_3) içeriğinin normal sınırların ($\leq 2\%$) içerisinde olduğu tespit edilmiştir.
- Enjeksiyon harcının tek eksenli basınç deneyinden 28. gündeki ortalama basınç dayanımının **11,71 MPa** olduğu tespit edilmiş, **TS EN 998-2 (Kâgir harcı - Özellikler - Bölüm 2: Kâgir harcı)** standardına göre **M10** sınıfını sağladığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 10. Çimento Katkısı Tespiti için Araştırılan Fazlar

Bileşen Adı	Kimyasal Formülü ve Adı	Mineral Adı	Oluşum Sıcaklığı (°C)	Açıklama
Kalsiyum Silikatlar	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ tri-kalsiyum silikat	Alit Hatrurit	1250-1450	Portland çimentosu mineralidir.
	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ di-kalsiyum silikat	Belit Larnit (β -Belit)	900-1250	Portland çimentosu ve hidrolik kireç mineralidir.
Kalsiyum Alüminatlar	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ tri-kalsiyum alüminat	Mayenit	1250-1450	Portland çimentosu mineralidir.
Kalsiyum Alüminoferritler	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ tetra-kalsiyum alüminoferrit	Brownmillerit	1250-1450	Portland çimentosu mineralidir.

5. NOTLAR

“Tetraglobe Romanmix 110 08.01.2025 Üretim Tarihli Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı Malzeme Analiz Raporu” kapsamında yapılan analiz, tespit ve değerlendirmeler sadece bahsi geçen bu ürüne mahsustur. Onaylı rapor üzerinde yapılacak tahrifat ve değişikliklere telif hakları kanuna göre hukuki sonuçlar terettüp eder.


Dr. Öğr. Üyesi İrem CERAN

Restorasyon Uzm.
(Merkez Müdürü)


Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÖZBAŞ

Kimyager


Prof. Dr. Fevziye AKÖZ

Y. Mimar / Yapı Malzemesi Uzmanı
(Danışman)



Mesut İŞ
Jeoloji Müh.



Ersin KAYGISIZ
Astronom - Y. Fizikçi



Kerem ABUHAN
Konservatör-Restoratör



Hamza TERZİ
İnşaat Müh.



Kemal PAMPAL
Restoratör



Oğuzhan ALPTEKİN
Restoratör



VAKIF KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA
UYGULAMA ve ARAŞTIRMA MERKEZİ

KURAM

FSMVÜ Topkapı Yerleşkesi
Merkezefendi Mah. Mevlevihane Cad.
No:27 Zeytinburnu/İstanbul, Türkiye
T: 0212 369 81 62 – 2081

kuram.fsm.edu.tr – kuram@fsm.edu.tr



**FATİH
SULTAN
MEHMET**
VAKIF ÜNİVERSİTESİ

ÜNİVERSİTE RAPORLARI

İstanbul Teknik
Üniversitesi



İ.T.Ü.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MİMARLIK FAKÜLTESİ – YAPI MALZEMESİ LABORATUVARI

34437 TAKSİM/İSTANBUL

TEL:0(212) 293 13 00 (60 Hat) (2310)

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MİMARLIK FAKÜLTESİ

YAPI MALZEMESİ LABORATUVARI

TETRAGLOBE MARKA

HİDROLİK KİREÇ ESASLI ENJEKSİYON HARCI- ROMANMIX I10

EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI TAYİNİ

MALZEME RAPORU

HAZIRLAYAN: PROF. DR. SEDEN ACUN ÖZGÜNLER

KASIM 2022



İ.T.Ü.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MİMARLIK FAKÜLTESİ – YAPI MALZEMESİ LABORATUVARI

34437 TAKSİM/İSTANBUL

TEL:0(212) 293 13 00 (60 Hat) (2310)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. GİRİŞ	3
2. YAPILAN DENEYLER	3
2.1 Numunelerin Hazırlanması.....	4
2.2 Kür Koşulları.....	4
2.3 Mekanik Özellik Deneyleri ve Sonuçları	4
3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	6



İ.T.Ü.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MİMARLIK FAKÜLTESİ – YAPI MALZEMESİ LABORATUVARI

34437 TAKSİM/İSTANBUL

TEL:0(212) 293 13 00 (60 Hat) (2310)

1. GİRİŞ

Bu rapor, TETRAGLOBE YAPI MALZEMELERİ PAZARLAMA A.Ş.’nin İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dekanlığı’na yapmış olduğu başvuru kapsamında İTÜ Mimarlık Fakültesi Yönetim Kurulu’nun 07.11.2022 Gün ve E-36096393-650-1142440 sayılı toplantısında alınan karar doğrultusunda, TETRAGLOBE marka Romanmix I10 Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ürününün eğilme ve basınç dayanımı deneylerinin yapılması ve sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır.

TETRAGLOBE firması tarafından Laboratuvarımıza gönderilen torbalanmış toz halindeki üründen eğilme ve basınç dayanımı için numuneler hazırlanmış, 28 gün kürlenme sonucunda deneyler yapılmıştır.

Deneyler, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı’nda yürütülmüştür.

2. YAPILAN DENEYLER

TETRAGLOBE firması tarafından, Laboratuvarımıza torbalanmış toz halindeki ürün olarak; Romanmix I10 Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı gönderilmiştir. Bu üründen hazırlanan numunelerde 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılması istenmiştir. Bu amaçla, gönderilen üründen 40x40x160mm boyutlu prizmatik çelik kalıplara, hazırlama talimatlarına uygun olarak numuneler dökülmüştür. Hazırlanan numuneler 28. Gün boyunca, TS EN 1015 adlı standarda uygun olarak kürlenmiş ve belirtilen günlerde kırılmaları gerçekleştirilmiştir.



İ.T.Ü.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MİMARLIK FAKÜLTESİ – YAPI MALZEMESİ LABORATUVARI

34437 TAKSİM/İSTANBUL

TEL:0(212) 293 13 00 (60 Hat) (2310)

2.1. Numunelerin Hazırlanması

Toz halinde torbalanmış Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemesi firma tarafından temin edilip firmanın verdiği reçeteye uygun olarak hazırlanmıştır. Firma tarafından verilen reçeteye göre;

- Ortam sıcaklığı-Nem: +5°C - +35°C, %40±5 Bağıl nem.
- Su/ Bağlayıcı Miktarı: 1 paket (15 kg) için toplamda 4,4 – 4,6 lt karışım suyu.
- Karıştırma Hızı: -
- Karıştırma Süresi: -
- Karıştırma Aleti: Mekanik karıştırıcı
- Karıştırma Prosedürü: Karıştırma el ile değil, mekanik karıştırıcılar ile yapılmalıdır. Homojen bir karışım elde edildikten sonra uygulamaya hazır hale gelir.

Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcının üretimi için reçetede yer alan karıştırma prosedürü uygulanmıştır. Topaklanmanın oluşmaması için 1-2 dakika kuru karıştırma işlemi yapılmıştır. Taze enjeksiyon malzemesi 40x40x160 mm ölçülerinde önceden makine yağı ile yağlanmış çelik kalıplara içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde yavaşça dökülmüştür.

2.2. Kür Koşulları

Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin kür koşulları için belirli bir standart bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalar incelenerek kireç esaslı harçlar için TS EN 1015-11’de belirtilen kür koşulları referans alınmıştır. Buna göre; Hazırlanan numuneler ilk 5 gün kalıp içerisinde son iki gün kalıptan çıkarılacak şekilde 20±2 °C’de ve %95±5 bağıl nemde tutulmuştur. 7. günden deney gününe kadar 20±2 °C’de ve %65±5 bağıl nemde muhafaza edilmiştir.

2.3. Mekanik Özellik Deneyleri ve Sonuçları

Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik numunelere eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Enjeksiyon malzemelerinin basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı TS EN 1015-11’e göre belirlenmiştir. Deneyler yapı malzemesi laboratuvarında bulunan MFL marka 100 kN kapasiteli kontrollü yükleme cihazında gerçekleştirilmiştir.



İ.T.Ü.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MİMARLIK FAKÜLTESİ – YAPI MALZEMESİ LABORATUVARI

34437 TAKSİM/İSTANBUL

TEL:0(212) 293 13 00 (60 Hat) (2310)

Numuneler deney gününe kadar kür koşullarına uygun olarak muhafaza edilmiş, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan Universal pres cihazında gerçekleştirilmiştir. 28. günde enjeksiyon malzemesinin standartta belirtilen veriler kullanılarak basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı hesaplanmış ve deney sonuçları aşağıda yer alan tablolarda verilmiştir.

Tablo 1: Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin-28 Günlük eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Numune Adı	a (mm)	b=h (mm)	L (mm)	Mesnet Açıklığı (mm)	Eğilme Kuvveti(N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Ortalama (MPa)
RMI10-1	40,10	39,76	159,34	150	410	1,455	1,454
RMI10-2	39,77	40,06	160,09	150	380	1,340	
RMI10-3	40,06	40,17	160,01	150	450	1,566	

Tablo 2: Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin-28 Günlük basınç dayanımı sonuçları

Numune Adı	a (mm)	b=h (mm)	L (mm)	Basınç Kuvveti-1(N)	Basınç Kuvveti-2(N)	Ortalama (N)	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama (MPa)
RMI10-1	40,10	39,76	159,34	19200	18100	18650	11,70	11,36
RMI10-2	39,77	40,06	160,09	16875	19800	18338	11,51	
RMI10-3	40,06	40,17	160,01	17850	17150	17500	10,87	



İ.T.Ü.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MİMARLIK FAKÜLTESİ – YAPI MALZEMESİ LABORATUVARI

34437 TAKSİM/İSTANBUL

TEL:0(212) 293 13 00 (60 Hat) (2310)

3.DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

TETRAGLOBE Yapı Malzemeleri tarafından gönderilen Romanmix I10 marka Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcının, 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Laboratuvarımızda yapılan deney sonuçlarına göre, Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin 28 günlük eğilme dayanımı 1,4 MPa, basınç dayanımı 11,4 MPa olarak bulunmuştur.

Prof. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
Yapı Malzemesi Birimi Öğretim Üyesi
Yapı Malzemesi Laboratuvar Sorumlusu

ÜNİVERSİTE RAPORLARI

Ege Üniversitesi



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Mühendislik Fakültesi Dekanlığı
Yazı İşleri Birimi



Sayı :E-38391723-650-1574057
Konu :Teknik Rapor

21.11.2023

TETRAGLOBE YAPI MALZEMELERİ PAZARLAMA A.Ş.

Fakültemiz İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Şemsi YAZICI ve Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU tarafından hazırlanan teknik rapor ekte iletilmiş olup bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Muhammed Bahattin TANYOLAÇ
Dekan

Ek:1 Adet Teknik Rapor

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BSF3DS8NTEP

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/ege-universitesi-ebys>

Adres:Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı E.Ü.Kampusü 35100 Bornova /İzmir
Telefon:0232 - 388 00 16 Faks:0232 - 374 14 01
e-Posta:dekansek@mail.ege.edu.tr Web:www.muhsak.ege.edu.tr
Kep Adresi:egeuniversitesi@egeuniversitesi.hs03.kep.tr

Bilgi için: Sait Kaya (Gülcan
MÜLAYİM Vekaletiyle)
Unvanı: Şef V. V.





T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Mühendislik Fakültesi Dekanlığı
İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı



Sayı :E-48186131-650-1573434
Konu :Teknik Rapor (Tetraglobe Yapı
Malzemeleri Pazarlama A.Ş.
Değerlendirme Raporu)

21.11.2023

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA

Tetraglobe Yapı Malzemeleri Pazarlama A.Ş. olarak üretimini ve tedarikliğini yaptıkları ürünlerden Tetraglobe Romanmix I10 markalı "Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı" ürününün "Basınç ve Eğilme Dayanımı" testlerinin yapılması ile ilgili bölümümüz öğretim üyeleri Prof. Dr. Şemsi YAZICI ve Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU tarafından hazırlanan teknik rapor ekte sunulmuştur.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Prof. Dr. Şemsi YAZICI
Bölüm Başkanı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BSR3DS5L5ZP

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/ege-universitesi-ebys>

Adres:Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı E.Ü.Kampüsü 35100 Bornova /İzmir
Telefon:0232 - 388 00 16 Faks:0232 - 374 14 01
e-Posta:dekansek@mail.ege.edu.tr Web:www.muhsak.ege.edu.tr
Kep Adresi:egeuniversitesi@egeuniversitesi.hs03.kep.tr

Bilgi için: Dilek Didem UYAN
Unvanı: Birim Evrak Sorumlusu



TEKNİK DEĞERLENDİRME RAPORU

İlgili: Tetraglobe Yapı Malzemeleri Pazarlama A.Ş. firmasının 14.10.2023 tarihli dilekçe

İlgili dilekçe ile İzmir ili Selçuk İlçesi İsabey Mah. 266 ada 1 parselde yer alan İsabey Camiinin restorasyon işi kapsamında dilekçe ekinde gönderilen örneğin (Tetraglobe Romanmix markalı I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcının) eğilme ve basınç dayanımı sonucunun değerlendirilerek bir teknik rapor halinde taraflarına bildirilmesi bölümümüzden talep edilmiştir. Bölümümüze gönderilen 2 adet kapalı torba içerisindeki "Tetraglobe Romanmix markalı I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı" ndan hazırlanan karışımlar üzerinde yapılan basınç ve eğilme deneyi sonuçlarının teknik olarak değerlendirildiği bu rapor Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Döner Sermaye kapsamında hazırlanmıştır.



Resim 1. Değerlendirme yapılan ürünün paket halindeki görüntüsü

Tetraglobe Romanmix markalı I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harç ürününden ürünün teknik föyüne uygun olarak 4.5 lt su + 15 kg (1 torba) toz ürün mekanik karıştırıcı ile karıştırılarak hazırlanan enjeksiyon harç örneklerin eğilme ve basınç deneyi sonuçları ayrı bir deney raporu olarak talep eden firmaya sunulmuştur. İlgili firmaya sunulan deney raporunda test edilen ürünün ortadan tekil yüklemeli eğilme ve eğilme sonrası tek eksenli basınç deneyi sonuçlarının aşağıdaki gibi olduğu görülmektedir.

1. Al.

Tablo 1. Tetraglobe Romanmix markalı I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harç örneklerin eğilme dayanımı sonuçları

Deney adı	Eğilme dayanımı, MPa	Ortalama eğilme dayanımı	Standart sapma,	Değişkenlik kat sayısı, (%)
7 günlük ortalama Eğilme Dayanımı, MPa	1,20	1,07 MPa	0,10 MPa	10
	1,01			
	1,01			
14 günlük ortalama Eğilme Dayanımı, MPa	3,89	2,93 MPa	0,83 MPa	28
	2,46			
	2,44			
21 günlük ortalama Eğilme Dayanımı, MPa	3,91	3,40 MPa	0,45 MPa	13
	3,23			
	3,05			
28 günlük ortalama Eğilme Dayanımı, MPa	3,84	4,10 MPa	0,28 MPa	7
	4,52			
	3,77			
	4,08			
	4,34			
	4,07			

* 40/40/160 mm ayrıtlı örnekler üzerinde mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde ortadan yükleneli eğilme deneyinden elde edilen dayanım değerleri

Tablo 1 'deki eğilme deneyi sonuçları incelendiğinde; söz konusu ürünün uygulanan kür sonrasındaki 7 günlük ortalama eğilme dayanımının 1.07 MP, 14 günlük ortalama eğilme dayanımının 2.93 MPa, 21 günlük ortalama eğilme dayanımının 3.40 MP, 28 günlük ortalama eğilme dayanımının ise 4.10 seviyesinde olduğu görülmektedir. Yine 7, 14, 21 günlük eğilme deneyi sonuçlarının standart sapma değerlerinin 0.10-0.83 MPa arasında, değişkenlik kat sayılarının da %10 ile %28 arasında olduğu, 28 günlük eğilme dayanımlarının standart sapma değerinin 0.28 MPa, 28 günlük değişkenlik kat sayısının da %7 seviyesinde olduğu hesaplanmaktadır.

Tablo 2. Tetraglobe Romanmix markalı I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harç örneklerin tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

Deney adı	Tek eksenli basınç dayanımı, MPa	Ortalama basınç dayanımı	Standart sapma,	Değişkenlik kat sayısı, (%)
7 günlük basınç dayanımı	2,87	2,74 MPa	0,08 MPa	2,88
	2,73			
	2,80			
	2,65			
	2,73			
	2,69			

Al.

14 günlük basınç dayanımı	6,06	6,02 MPa	0,16 MPa	2,70
	6,06			
	6,23			
	5,86			
	5,79			
	6,13			
21 günlük basınç dayanımı	8,95	8,91 MPa	0,766418 MPa	8,60
	8,54			
	8,37			
	8,01			
	9,51			
	10,07			
28 günlük basınç dayanımı	11,01	10,84 MPa	0,293931 Pa	2,71
	11,38			
	11,09			
	11,14			
	10,87			
	10,61			
	10,48			
	10,63			
	10,97			
	10,41			
	10,61			
	10,89			

* Eğilme sonrası kırılan örneklerde 40/40 yüzeyde yapılan basınç deneyi sonucunda elde edilen dayanım değerleri.

Tablo 2 'deki tek eksenli basınç deneyi sonuçları incelendiğinde; söz konusu ürünün uygulanan kür sonrasındaki 7 günlük ortalama basınç dayanımının 2.74 MP, 14 günlük ortalama basınç dayanımının 6.02 MPa, 21 günlük ortalama basınç dayanımının 8.91 MP, 28 günlük ortalama basınç dayanımının ise 10.84 seviyesinde olduğu görülmektedir. Yine 7, 14, 21 günlük basınç deneyi sonuçlarının standart sapma değerlerinin 0.08-0.76 MPa arasında, değişkenlik kat sayılarının da % 2.88 ile % 8.6 arasında olduğu, 28 günlük eğilme dayanımlarının standart sapma değerinin 0.29 MPa, 28 günlük değişkenlik kat sayısının da %2.71 seviyesinde olduğu hesaplanmaktadır.

Söz konusu ürünün teknik föyünde bu üründen üretilecek enjeksiyon harcının 28 günlük basınç dayanımının 10 MPa üzerinde dayanıma sahip olması gerektiğinin ifade edildiği görülmektedir. Test edilen "Tetraglobe Romanmix markalı I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harç" örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımının 10.84

L Al.

MPa seviyesinde olmasıyla ürün için taahhüt edilen basınç dayanımının sağlandığı görülmektedir.

Yine ürünün teknik föyünde eğilme dayanımı için her hangi bir taahhütte bulunulmadığı görülmekte olup testler sonucunda elde edilen 28 günlük ortalama eğilme dayanımı değeri olan 4.10 MPa değerinin de bu tür harçlar için oldukça yüksek bir değer olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç: Laboratuvarımıza elden teslim edilen "Tetraglobe Romanmix markalı I10 Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcından" dökülen örneklerinin eğilme ve tek eksenli basınç deneyi sonuçları değerlendirildiğinde; TS EN 1015-11 'e göre söz konusu ürünün 28. günlük ortalama basınç dayanımının 10.84 MPa seviyesinde olduğu, belirlenen bu değer söz konusu ürünün teknik föyünde taahhüt edilen 28 günlük basınç dayanımı değeri olan 10 MPa lık dayanım değerinden büyük olduğu, söz konusu ürünün eğilme ve basınç dayanımlarının kireç esaslı enjeksiyon harçları için uygun değerlerde kabul edilebileceği görüş ve kanaatine varılmıştır. Saygılarımızla. 16.11.2023



Prof. Dr. Şemsi YAZICI



Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU

Ege Üni. Müh. Fak. İnş. Müh. Böl. Öğretim Üyeleri

ÜNİVERSİTE RAPORLARI

Gazi Üniversitesi

TETRAGLOBE FİRMASI'NIN ENJEKSİYON HARÇ ÜRÜNÜ TOZ ÖRNEKLERİNİN ANALİZ RAPORU

Prof. Dr. Ali Akın AKYOL

8 Mart 2024

Kod No: RDV-MA-2024-113



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, yayınlanamaz.*

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 (Jeokimya ve Petrografi)
*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh. Bölümü
Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)*

Doç. Dr. Kıymet DENİZ (YEBİM Müdürü)
*Araş. Gör., 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)

TETRAGLOBE FİRMASI'NIN ENJEKSİYON HARÇ ÜRÜNÜ TOZ ÖRNEKLERİNİN ANALİZ RAPORU

Prof. Dr. Ali Akın AKYOL

Tarihi yapıların uzun süre yaşayabilmesi, hem amaca uygun (ihtiyaca, çevre ve iklim şartlarına, fonksiyonuna vb. uygun) malzemelerin seçilmesine, hem de yapıyı oluşturan malzemelerin sahip oldukları özelliklerin birbirleriyle uyum ve bütünlük gösterecek ortak bir form (malzeme bütünlüğü) oluşturmalarına bağlıdır. Zaman içinde yapısal bütünlüğü bozulan ya da zayıflayan yapıların restorasyon ve konservasyonsırasında kullanılacak onarım malzemelerinin türü ve içeriği oldukça önemlidir. Bu konuda güvenilir, amaca uygun ve geri dönüşümü mümkün olabilen, özgün malzemeye zarar vermeyecek türde onarım malzemelerinin kullanımı esas olmalıdır.

Tetraglobe Firması'nın Tetraglobe Romanmix I10 Kodlu (Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı) şahit toz örneklerinin analizine yönelik çalışmalar; **Tetraglobe Yapı Malzemeleri Pazarlama A.Ş.**'nin Gazi Üniversitesi Teknopark, **REDEVIO AR-GE Bilgi ve Operasyon Teknolojileri Ltd. Şti.**'ne **15.02.2024** tarihinde yaptığı resmi başvuru ile başlatılmıştır.

Toz örnekler; 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 **“Tetraglobe Firması'nın Enjeksiyon Harç Ürünü Toz Örneklerinin 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.

Analiz çalışması kapsamında toz örneklerin kimyasal içerikleri de X-ışını floresan analizi (PED-XRF) ile belirlenmiş ve raporlanmıştır.

YÖNTEM VE DENEYLER

Tetraglobe Firması'nın Tetraglobe Romanmix I10 Kodlu (Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı) şahit toz örnekleri analiz edilmek üzere kodlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Toz harç örneği açıklamaları

Grup Kodu	Açıklamalar	Örnek Sayısı
LAB-H	Tetraglobe Romanmix I10 Kodlu Toz Örnekleri	2

X-Işını Floresans (XRF) analizinin prensipleri optik yayılım spektrofotografisi prensipleriyle ilişkilidir. Ancak X-ışınları floresans yönteminde atomun uyarılması (yüksek ısı yerine) X-ışınları yoluyla olmaktadır. Eğer herhangi bir atom, X-ışınları 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 “fluoresans ışıma” 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).

Söz konusu toz örneklerin kimyasal yapısı X-Işınları Floresan Analizi Yöntemi (PED-XRF) kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 2). Örnekler agat havanda uygun büyüklükte 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.

Toz örneklerin kireç türü (hidroliklik özelliği), 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 harçlar agrega içeriği ve türüne bağlı olarak yağlı harç (YK) ve hidrolik harç olarak (ZHK, OHK ve HK) ayrılandırılmaktadır. Harçlarda toplam agrega içeriği %5'in altında olan yağlı harçlar kireç oranı, yani CaO oranı yüksek harçlardır. Harçlarda toplam agrega oranı %5'in üzerinde olan harçlar, CaO oranı düşük hidroliklik özelliği olan harçlardır. Bu tür harçların bileşiminde silisyum (SiO_2), alüminyum (Al_2O_3) ve demir (Fe_2O_3) oranı yüksektir (Tablo 3).

ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Tetraglobe Firması'nın Tetraglobe Romanmix I10 Kodlu (Hidrolik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı) şahit toz örneklerinin kimyasal bileşimlerine PED-XRF analizi ile ulaşılmıştır (Tablo 2). Örneklerin ana (>%1) element içeriğini azalan oranda CaO (ort. %51,92), SiO_2 (ort. %15,48), Al_2O_3 (ort. %5,09) ve MgO (ort. %1,96) oluşturmaktadır (Tablo 2). Toz örneklerin PED-XRF analizi ile elde edilen verileri üzerinden Cementation Index (CI) değerlerine ulaşılmıştır (Tablo 3). Cementation index verileri örneklerin kireç türleri ve dolaylı olarak da dayanımları hakkında fikir vermektedir. Örnekler hidrolik kireç (HK) kategorisinde (ort. 0,90) Cementation Index verisine sahiptir.

Toz örneklerin kireç veya çimento esaslı olması kimyasal içeriği ile ilgilidir. Çimentonun ana bileşenleri: kalsiyum silikatlar, kalsiyum alüminatlar ve kalsiyum sülfatlar'dır (Mehta ve Monteiro, 2006). Çimentolu harçlar (beton) bileşenleri karıştırıldıktan birkaç saat sonra plastik özelliği kaybolmuş katı bir yapı oluştururlar. Buna neden olan ve çimento ile suyun tepkimesi sonucu oluşan kimyasal reaksiyona "hidratasyon" denir. Hidratasyon süreci çimento ve suyun biraraya gelmesiyle başlar. Çimento tanecikleri kısmi olarak su içerisinde çözünürler. Çözünen bileşenler değişik hızlarda ve oranlarda reaksiyona girer. Reaksiyonlar sırasında ısı açığa çıkar ve yeni ürünler meydana gelir. Oluşan yeni ürünler çimento hamurunun sertleşmesine ve agregaların çimento hamuru ile bağlanmasına neden olurlar. Ticari adıyla "Portland Çimento", kireçtaşı ve kilin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ve bu işlem sonucu oluşan klinkerin alçıtaşıyla birlikte öğütülmesiyle meydana gelir. Pişirme sonucu klinker yapısında oluşan iki ana bileşen grubu (silikatlar-alüminatlar) ile sonradan ilave edilen alçı (sülfat) hidratasyon reaksiyonu sürecini doğrudan etkilemektedir.

Silikatlar: Çimentonun yaklaşık % 20'si silisyum dioksit (SiO_2) ve %60-65'i kalsiyum oksitten (CaO) oluşur. Bu iki oksitin birleşmesiyle silikatlar oluşur. Silikatlar klinkerin yaklaşık %75'ini oluştururlar.

Alüminatlar: Alümina, kalsiyum oksitle birleşerek trikalsiyum alüminat ve demir oksitle birleşerek tetrakalsiyum aluminoferrite oluşturur. Alüminatlar yaklaşık olarak çimentonun %20'sini oluştururlar. Hidratasyon sırasında trikalsiyum alüminat çok hızlı tepkimeye girer ve bu durum alçı ile kontrol edilir.

Diğer Bileşenler: Çimento içeriğinde silikatlar ve alüminatlar dışında onlarca bileşen vardır. Ancak, bu bileşenlerin hidratasyon sürecine etkileri önemli düzeyde değildir. Bunlardan en önemlileri: alkaliler (K_2O , Na_2O), kükürt (SO_3) MgO , Cl , MnO ve TiO_2 'dir.

Alçıtaşı: Klinkere değirmende öğütülme işlemi esnasında çimentonun yaklaşık %3-5 hacmini oluşturacak miktarda alçıtaşı eklenir. Alçıtaşının eklenmesi ile trikalsiyum alüminat tepkimesinin kontrolü için gerekli olan sülfat temin edilmiş olur.

Çimentonun içeriğindeki sülfat oranı üretici tarafından çok hassas bir şekilde optimize edilir. Aksi takdirde prizlenme (donma/katılaşma) olayında sorunlar yaşanabilir. Sülfat ve alüminat içeriği mutlaka bir denge içerisinde olmalıdır. Harç örneklerin yapısında bulunan sülfat (SO_3) çimentolu bağlayıcıdan (üretim aşamasında yapısına eklenen alçıtaşından) kaynaklanmaktadır. Çimentoda ve ya çimento içerikli harçlarda sülfat içeriğinin oranı belirleyici (marker) bir rol oynamaktadır.

İncelenen toz örneklerin magnezyum (ort. %1,96) ve alüminum içeriği yüksek (ort. %5,09), sülfat (SO_3) içeriği (ort. %0,578) oldukça düşüktür. Örneklerde kireç (CaO ort. %51,92) ve kil grubu içerik de (MgO , K_2O , SiO_2 , MnO , Fe_2O_3 ve Al_2O_3) oldukça uygun oranlardadır. Örneklerin eser element içerikleri ayrı bir çalışmanın konusu olarak burada değerlendirilmemiştir.

Yukarıda anılan tanımlamaların ışığında ve PED-XRF analizi ile toz örneklerin yapısında çimento teknolojisini yansıtan içeriğe rastlanmamıştır. Toz örneklerin hidrolik özellik taşıyan, kil katkılı kireç içeriğine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 2. Tetraglobe enjeksiyon harç ürünü toz örneklerinin PED-XRF analizi sonuçları

Element	Birim	LAB-H1	LAB-H2	Ortalama
Na ₂ O	%	0,054	0,053	0,054
MgO		1,92	2,00	1,96
Al ₂ O ₃		5,04	5,13	5,09
SiO ₂		15,52	15,43	15,48
P ₂ O ₅		0,008	0,017	0,013
SO ₃		0,572	0,584	0,578
Cl		0,051	0,052	0,051
K ₂ O		0,300	0,307	0,303
CaO		52,97	50,87	51,92
TiO ₂		0,507	0,504	0,506
V ₂ O ₅		0,019	0,017	0,018
Cr ₂ O ₃		0,007	0,006	0,006
MnO		0,363	0,355	0,359
Fe ₂ O ₃		0,349	0,351	0,350
LOI*		22,64	24,74	23,69
Co	ppm	10,4	20	15,2
Ni		1,7	2	1,9
Cu		1,5	3,7	2,6
Zn		4,2	5,9	5,1
Ga		3,2	3,3	3,3
Ge		0,4	0,4	0,4
As		0,4	0,4	0,4
Se		0,9	0,8	0,9
Br		0,6	0,3	0,5
Rb		11,3	11,9	11,6
Sr		316,5	307,9	312,2
Y		19,9	19,3	19,6
Zr		74,9	75,7	75,3
Nb		4,3	4,6	4,5
Mo		3,7	4,2	4,0
Cd		0,6	1	0,8
In		1,7	1,5	1,6
Sn		1,1	1,7	1,4
Sb		1	1,1	1,1
Te		1,2	1,3	1,3
I		2,2	2,2	2,2
Cs		3,6	3,6	3,6
Ba		430,8	447,6	439,2
La		27,5	22,2	24,9
Ce		18	36,3	27,2
Hf		2,7	2,8	2,8
Ta		2,6	2,5	2,6
W		2,2	2,3	2,3
Hg		0,8	0,8	0,8
Tl		0,8	0,8	0,8
Pb		4,4	3,6	4,0
Bi		0,6	0,6	0,6
Th		10,7	9,9	10,3
U		34,1	30,6	32,4

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

Tablo 3. Tetraglobe enjeksiyon harç ürünü toz örneklerinin Cementation Index verileri

Örnekler	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	CI	Kireç Türü
LAB-H1	1,92	5,04	15,52	52,97	0,349	0,89	HK
LAB-H2	2,00	5,13	15,43	50,87	0,351	0,92	HK
Ortalama	1,96	5,09	15,48	51,92	0,350	0,90	HK

(*) 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<

$$CI = \frac{[2,8 (\%SiO_2) + 1,1 (\%Al_2O_3) + 0,7 (\%Fe_2O_3)]}{[(\%CaO) + 1,4 (\%MgO)]}$$

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tetraglobe enjeksiyon harç ürünü toz örnekler PED-XRF analizi ile incelenmiş ve malzeme açısından belgelenmiştir. **Toz örnekler, çimento içeren bağlayıcı yapısına ait kimyasal bir içerik sergilememektedir.**

Tarihi yapıların koruma/onarım uygulamalarında kireç esaslı bağlayıcıların tercih edilmesi önerilmektedir. Onarım harç ve sıva içeriklerinin hiçbir aşamasında çimento içerikli malzeme kullanılması önerilmemektedir.

KAYNAKLAR

Boynton, R.S., 1980, Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York, 578 p.

Mehta, P.K. ve Monteiro, P.J.M., 2006, “Concrete: Microstructure, Properties and Materials”, McGraw-Hill.

Shackley, M.S. (Ed.), 2011, X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology, DOI 10.1007/978-1-4419-6886-9-2, Springer Publication.