KARACAHİSAR KALESİNDE KULLANILAN ÖZGÜN YAPI MALZEMELERİNİN GENEL KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Doktora Tezi

İnci GÜLDOĞAN

Eskişehir 2018

KARACAHİSAR KALESİNDE KULLANILAN ÖZGÜN YAPI MALZEMELERİNİN GENEL KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

İnci GÜLDOĞAN

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yücel GÜNEY

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağustos 2018

Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1306F237 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

İnci GÜLDOĞAN'ın "Karacahisar Kalesinde Kullanılan Özgün Yapı Malzemelerinin Genel Karakteristik Özellikleri" başlıklı tezi 13/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**Unvanı Adı Soyadı**	**İmza**
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Yücel GÜNEY	.....
Üye :	Prof. Dr. M. Erol ALTINSAPAN	.....
Üye :	Prof. Dr. Selahattin KADİR	.....
Üye :	Doç. Dr. Selim Sarp TUNÇOKU	.....
Üye :	Doç. Dr. Cenk KARAKURT	.....

Prof.Dr. Ersin YÜCEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

KARACAHİSAR KALESİNDE
KULLANILAN ÖZGÜN
YAPI MALZEMELERİNİN GENEL
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

İnci GÜLDOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2018

Danışman: Prof. Dr. Yücel GÜNEY

Çalışmanın amacı bir Ortaçağ kalesi olan Karacahisar kalesinin yapı malzemelerinin genel karakteristik özelliklerinin ve üretim teknolojisinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, kalede 2012 ve 2013 yıllarında elde edilen yapı malzemelerinin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, kalede oldukça zengin bir pişmiş kil ürünü envanterinin bulunduğu tespit edilmiştir. İncelenen yığma yapı tuğlalarının otuz iki gruba, zemin tuğlalarının on iki gruba ve kiremitlerin üç gruba ayrıldığı belirlenmiştir. Harç örnekleri incelediğinde, kale giriş sur duvarında dört farklı horasan harcının kullanıldığı, II. bölgede ise kireç ve alçı esaslı harçların kullanıldığı tespit edilmiştir. Kalenin temel yapı malzemesi olan doğal taşların olivinli skorya bazalt türü olduğu ve bunların tuğlalarda ve harç üretiminde de agrega olarak kullanıldığı görülmüştür. Kalenin bulunduğu bölgede zengin bazalt yataklarının bulunması, geçmiş uygarlıkların bu doğal taş yataklar ile ilgili bilgisi olduğunu ve yerel malzeme kullanımına önem verdiğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Tarihi Malzeme, Tarihi Tuğla, Horasan Harcı, Malzeme Karakterizasyonu, Karacahisar Kalesi

ABSTRACT

GENERAL CHARACTERISTICS OF
ORIGINAL CONSTRUCTION MATERIALS
USED IN KARACAHISAR CASTLE

İnci GÜLDOĞAN

Department of Civil Engineering
Program in Construction

Anadolu University, Graduate School of Sciences, August 2018

Supervisor: Prof. Dr. Yücel GÜNEY

The aim of the study is the determine the general characteristics and production technology of construction materials of Karacahisar castle, a medieval castle. For this purpose, physical, mechanical, chemical, mineralogical and petrographical properties of original construction materials, which were obtained in 2012 and 2013, have been examined. At the end of the study, it was determined that there was a very rich fired clay products inventory in the castle. For example, the masonry bricks are divided into thirty two groups, the floor bricks are divided in twelve groups and the roof tiles are classified into three groups. When examine the mortar samples, it was seen that four different khorasan mortar were used in the gate wall of the castle and lime and gypsum based mortars were used in interiour places. It has been determined that, the natural stones, which are the basic building materials of the castle, are olivine scoria basalt type and they were used also in the production of bricks and mortars. The presence of rich basalt deposits in the area, where the castle is located, indicates that the past civilizations had knowledge about these natural stone deposits and they have been given an importance to use of local materials.

Keywords: Historic Material, Historic Brick, Khorasan Mortar, Material Characterisation, Karacahisar Castle

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana her zaman destek olan ve tecrübeleri ile yolumu aydınlatan tez danışmanım Prof. Dr. Yücel Güney'e, yaptıkları değerli öneri, yorum ve eleştirileri için tez izleme jürisi üyeleri Doç. Dr. Selim Sarp Tunçoku ve Doç. Dr. Cenk Karakurt'a, kazıdan elde edilen tarihi yapı malzemelerini paylaşarak, çalışmayı destekleyen Karacahisar Kalesi kazı başkanı Prof. Dr. Mehmet Erol Altınsapan'a, mineralojik analizlerin değerlendirilmesi aşamasındaki katkıları için Osmangazi Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Selahattin Kadir'e, XRD ve XRF laboratuvarlarını kullanmama izin veren dönemin Malzeme Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. Servet Turan'a, XRF ve XRD analizlerinin deneysel yöntemlerini bana gösteren laboratuvar teknisyeni Orhan Çetin'e, özgül ağırlık tayinindeki desteği için Doç. Dr. Murat Erdem'e, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, KUDEB'te bulunmama müsaade eden İstanbul Büyükşehir Belediyesi, KUDEB birimi müdürü Sayın Nimet Alkan ve değerli ekibine, malzeme laboratuvarı kurulmasına vesile olan ve bu süreçte destek aldığım Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü personeline ve laboratuvar teknisyeni Nazım Erduran'a, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi dekanı Prof. Dr. Alper Çabuk'a ve Mimarlık Bölümü başkanı Prof. Dr. Nuray Özaslan'a, destek ve dualarını her zaman yanımda hissettiğim eşim Dr. Murat Güldoğan, oğlum Deniz Güldoğan ve aileme, değerli mesai arkadaşım Araş. Gör. Gülşen Akın Güler'e ve burada sayamadığım; ancak, manevi desteğini hissettiğim herkese çok teşekkür ederim.

İnci GÜLDOĞAN

13.08.2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

İnci GÜLDOĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI i

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii

ÖZET iii

ABSTRACT iv

TEŞEKKÜR v

ÇİZELGELER DİZİNİ xii

ŞEKİLLER DİZİNİ xvii

GÖRSELLER DİZİNİ xxi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxv

1. GİRİŞ 1

1.1. Amaç 1

1.2. Önem 2

1.3. Kapsam ve Yöntem 2

1.4. Sınırlıklar 3

2. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN YAPI MALZEMELERİ VE İLGİLİ ALANYAZIN ÇALIŞMALARI 4

2.1. Doğal Taşlar 4

2.1.1. Oluşumuna göre tarihi yapılarda kullanılan doğal taş türleri 8

2.1.1.1. *Püskürük taşlar* 8

2.1.1.2. *Tortul taşlar* 10

2.1.1.3. *Başkalaşım taşları* 13

2.1.2. Eskişehir'in jeolojik altyapısı ve doğal taş potansiyeli 13

2.1.3. Ülkemizde bazı tarihi yapılarda kullanılan doğal taşlar ile ilgili alanyazın 16

2.2. Tuğla 16
2.2.1. Tuğlanın hammaddeleri 23
2.2.2. Pişmiş kil ürünlerde ısıya bağlı faz değişimleri 26
2.2.3. Pişmiş kil ürünler ile ilgili alanyazın 28
2.2.3.1. *Yurtiçinde yapılan çalışmalar* 28
2.2.3.2. *Yurtdışında yapılan çalışmalar* 31
2.3. Harç 32
2.3.1. Tarihi harçların bileşenleri 34
2.3.1.1. *Alçı* 34
2.3.1.2. *Kireç* 35
2.3.1.3. *Agregalar* 39
2.3.1.4. *Puzolanlar* 40
2.3.1.5. *Organik maddeler* 41
2.3.2. Tarihi yapılarda kullanılan harçlar ile ilgili alanyazın 42
2.3.2.1. *Yurtiçinde yapılan çalışmalar* 42
2.3.2.2. *Yurtdışında yapılan çalışmalar* 45

3. ÇALIŞMA ALANI: KARACAHİSAR KALESİ 48
3.1. Karacahisar Kalesinin Tarihçesi 49
3.2. Malzemelerin Elde Edildiği Bölgeler 52
3.2.1. I. Bölge 53
3.2.2. II. ve III. Bölge 58
3.2.3. IV. Bölge 62

4. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ 63
4.1. Yapı Malzemelerinin Elde Edilmesi 63
4.2. Çalışmanın Metodolojisi 63
4.3. Deneysel Yöntemler 69
4.3.1. Görsel özelliklerin belirlenmesi 69
4.3.2. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi 70
4.3.2.1. *Atmosfer basıncı altında kütlece su emme yüzdesinin belirlenmesi* 70
4.3.2.2. *Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, açık ve toplam gözeneklilik ile doluluk yüzdesinin belirlenmesi* 70
4.3.3. Mekanik özelliklerin belirlenmesi 72

4.3.3.1. *Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi* 72
4.3.3.2. *Nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi* 73
4.3.3.3. *Ultrasonik dalga hızı yöntemi ile Dinamik Elastisite Modülünün tayini* 74
4.3.3.4. *Schmidt çekici ile malzeme sertliğinin belirlenmesi* 74
4.3.4. Kimyasal özelliklerin belirlemesi 75
4.3.4.1. *Suda çözünür tuzlar ve tuzluluk yüzdesinin belirlenmesi* 75
4.3.4.2. *Asit kaybı yüzdesi ve tane boyut dağılımının belirlenmesi* 76
4.3.4.3. *Kızdırma kaybı yüzdesinin belirlenmesi* 79
4.3.4.4. *Hidrolik özelliğin belirlenmesi* 80
4.3.4.5. *Organik madde tayini (HPLC analizi)* 81
4.3.4.6. *Puzolanik aktivitenin belirlenmesi* 81
4.3.4.7. *Kimyasal kompozisyonun belirlenmesi (XRF analizi)* 81
4.3.5. Minerolojik özelliklerin belirlemesi 82
4.3.5.1. *Mineralojik kompozisyonun belirlenmesi (XRD analizi)* 82
4.3.5.2. *Mineralojik ve petrografik tanımlama* 82

5. BULGULAR VE YORUM 83
5.1. Pişmiş Kil Ürünlerin Karakteristik Özellikleri 83
5.1.1. Yığma yapı tuğlaların karakteristik özellikleri 83
5.1.1.1. *Görsel özellikler* 84
5.1.1.2. *Fiziksel özellikler* 98
5.1.1.3. *Mekanik özellikler* 102
5.1.1.4. *Kimyasal özellikler* 105
5.1.1.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analiz sonuçları* 105
5.1.1.4.2. *Kimyasal kompozisyon sonuçları* 107
5.1.1.5. *Mineralojik özellikler* 112
5.1.2. Zemin tuğlaların karakteristik özellikleri 120
5.1.2.1. *Görsel özellikler* 120
5.1.2.2. *Fiziksel özellikler* 129
5.1.2.3. *Mekanik özellikler* 130
5.1.2.4. *Kimyasal özellikler* 131
5.1.2.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları* 131

5.1.2.4.2. *Kimyasal kompozisyon sonuçları*..... 132
5.1.2.5. *Mineralojik özellikler*..... 133
5.1.3. Kiremitlerin karakteristik özellikleri..... 135
5.1.3.1. *Görsel özellikler*..... 136
5.1.3.2. *Fiziksel özellikler*..... 140
5.1.3.3. *Mekanik özellikler*..... 141
5.1.3.4. *Kimyasal özellikler*..... 142
5.1.3.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*..... 142
5.1.3.4.2. *Kimyasal kompozisyon sonuçları*.....142
5.1.3.5. *Mineralojik özellikler*..... 143
5.1.4. Pişmiş kil ürünler ile ilgili değerlendirme..... 144
5.1.4.1. *Fiziksel özellikler ile ilgili değerlendirme*..... 144
5.1.4.2. *Mekanik özellikler ile ilgili değerlendirme*..... 154
5.1.4.3. *Kimyasal özellikler ile ilgili değerlendirme*..... 157
5.1.4.4. *Tartışma*..... 165
5.2. Harçların Karakteristik Özellikleri..... 168
5.2.1. Görsel özellikler..... 168
5.2.2. Fiziksel özellikler..... 177
5.2.3. Mekanik özellikler..... 178
5.2.4. Kimyasal özellikler..... 179
5.2.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*..... 179
5.2.4.2. *Asit kaybı ve elek analizi sonuçları*..... 179
5.2.4.3. *Tuz türleri ve tuzluluk yüzdesi analizi sonuçları*..... 185
5.2.4.4. *Harçların kimyasal kompozisyonu*..... 186
5.2.4.5. *HPLC analizi sonuçları*..... 187
5.2.5. Mineralojik ve petrografik özellikler..... 189
5.2.5.1. *XRD analizi sonuçları*..... 189
5.2.5.2. *İnce kesit analizi sonuçları*..... 190
5.2.6. Harçlar ile ilgili değerlendirme..... 195
5.3. Doğal Taşların Karakteristik Özellikleri..... 196
5.3.1. Görsel özellikler..... 196
5.3.2. Fiziksel ve mekanik özellikler..... 197
5.3.3. Kimyasal özellikler..... 198

5.3.4. Mineralojik ve petrografik özellikler 200

6. GENEL DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER 203

6.1. Pişmiş Kil Ürünlerin Özellikleri 203

6.1.1. Görsel özellikler 203

6.1.2. Fiziksel özellikler 204

6.1.3. Mekanik özellikler 204

6.1.4. Kimyasal özellikler 204

6.1.5. Mineralojik özellikler 204

6.2. Harçların Özellikleri 205

6.2.1. Fiziksel özellikler 205

6.2.2. Mekanik özellikler 206

6.2.3. Kimyasal özellikler 206

6.2.4. Mineralojik özellikler 207

6.3. Doğal Taşların Özellikleri..... 207

6.4. Sonuç 207

6.5. Öneriler 208

KAYNAKÇA 209

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Killerin sınıflandırılması 25

Çizelge 2.2. Kireç tiplerinin kimyasal özellikleri[a] 39

Çizelge 2.3. Katkı maddelerinin harçlara etkisi 42

Çizelge 4.1. Kaledeki bölgelere ve malzeme türüne bağlı olarak isimlendirme yöntemi 64

Çizelge 4.2. Kaledeki pişmiş kil ürün ve harç gruplarının isimlendirmesi yöntemi 69

Çizelge 4.3. Safsızlık taneleri için boyut sınıflaması 69

Çizelge 4.4. Kayaçların gözenekliliğe göre sınıflandırılması..... 72

Çizelge 4.5. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması 73

Çizelge 4.6. Kayaçların Schmidt çekici sertliğe göre sınıflandırılması 75

Çizelge 5.1. Karacahisar kalesinde bölgelere göre incelenen malzeme örneklerinin sayıları 83

Çizelge 5.2. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının kalınlıklarına göre dağılımı 84

Çizelge 5.3. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının fiziksel özellikleri 99

Çizelge 5.4. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının görünür yoğunluğa göre sayıca dağılımı..... 100

Çizelge 5.5. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının gerçek yoğunluğa göre sayıca dağılımı..... 101

Çizelge 5.6. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının su emme yüzdesine göre sayıca dağılımı..... 101

Çizelge 5.7. Yığma yapı tuğlası gruplarının açık gözenekliliğe göre sayıca dağılımı . 101

Çizelge 5.8. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının toplam gözenekliliğe göre sayıca dağılımı 102

Çizelge 5.9. Yığma yapı tuğlalarının mekanik özellikleri 103

Çizelge 5.10. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının basınç dayanımına göre sayıca dağılımı 104

Çizelge 5.11. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının dinamik elastisite modülüne göre sayıca dağılımı 104

Çizelge 5.12. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının yüzey sertliğine göre sayıca dağılımı 105

Çizelge 5.13. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri 106

Çizelge 5.14. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kimyasal kompozisyonları (%ağırlıkça) 109

Çizelge 5.15. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının mineralojik kompozisyonu 113

Çizelge 5.16. Zemin tuğlalarının fiziksel özellikleri 129

Çizelge 5.17. ZT-5 yanık zemin tuğlası grubunun fiziksel özellikleri 129

Çizelge 5.18. Kaledeki zemin tuğlası gruplarının mekanik özellikleri 130

Çizelge 5.19. ZT-5 yanık grubunun mekanik özellikleri..... 130

Çizelge 5.20. Kaledeki zemin tuğlası gruplarının kızdırma kaybı ve iletkenlik farkı değerleri 131

Çizelge 5.21. ZT-5 yanık grubunun kızdırma kaybı ve iletkenlik farkı değerleri..... 132

Çizelge 5.22. Kaledeki zemin tuğlalarının kimyasal kompozisyonları (%ağırlıkça) ... 132

Çizelge 5.23. ZT-5 yanık grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)..... 133

Çizelge 5.24. Kaledeki zemin tuğlalarının tahmini pişme ısısı 133

Çizelge 5.25. Kiremit gruplarının fiziksel özellikleri 140

Çizelge 5.26. KR-3 yanık grubunun fiziksel özellikleri 140

Çizelge 5.27. Kiremit gruplarının mekanik özellikleri 141

Çizelge 5.28. KR-3 yanık grubunun mekanik özellikleri 141

Çizelge 5.29. Kiremit gruplarının kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite değerleri 142

Çizelge 5.30. KR-3 yanık grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite değerleri .. 142

Çizelge 5.31. Kaledeki kiremit gruplarının kimyasal kompozisyonları (% ağırlıkça) . 143

Çizelge 5.32. KR-3 yanık grubun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça) 143

Çizelge 5.33. Kaledeki kiremitlerin mineralojik kompozisyonu 144

Çizelge 5.34. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin fiziksel özelliklerinin sınır değerleri 145

Çizelge 5.35. Yapı malzemelerinin görünür yoğunluğuna göre sınıflandırılması 146

Çizelge 5.36. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin görünür yoğunluğa göre sayıca dağılımı 146

Çizelge 5.37. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin gerçek yoğunluğa göre sayıca dağılımı .. 146

Çizelge 5.38. Pearson (R^2) katsayısının değerlendirmesi 147

Çizelge 5.39. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kütlece su emme yüzdesine göre sayıca dağılımı 150

Çizelge 5.40. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin açık gözenekliliğe göre sayıca dağılımı.. 150

Çizelge 5.41. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin toplam gözeneklilik yüzdesine göre sayıca dağılımı 150

Çizelge 5.42. Kaledeki pişmiş kil ürünlerinin mekanik özelliklerinin sınır değerleri.. 154

Çizelge 5.43. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin basınç dayanımına göre sayıca dağılımı . 154

Çizelge 5.44. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin elastisite modülüne göre sayıca dağılımı 155

Çizelge 5.45. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin yüzey sertliğine göre sayıca dağılımı 155

Çizelge 5.46. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin toplam kızdırma kaybı yüzdesine göre sayıca dağılımı 157

Çizelge 5.47. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin elektriksel iletkenlik farkına göre sayıca dağılımı 157

Çizelge 5.48. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kimyasal kompozisyonları (% ağırlıkça) 159

Çizelge 5.49. İstanbul'da bulunan bazı Bizans dönemi yapılarına ait tuğlaların özellikleri 166

Çizelge 5.50. Serapis tapınağına ait özgün tuğlaların özellikleri 166

Çizelge 5.51. Bazı tarihi kalelere ait tuğlaların fiziksel özellikleri 166

Çizelge 5.52. Tarihi Kütahya kalesine ait bazı tarihi tuğlaların özellikleri (Kurugöl ve Tekin, 2010) 166

Çizelge 5.53. Antik Psidia kentine ait tuğlaların özellikleri 167

Çizelge 5.54. Bazı tarihi yapılara ait tuğlaların kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça) 167

Çizelge 5.55. Bazı tarihi yapılara ait tuğlaların mineralojik kompozisyonu 168

Çizelge 5.56. Kaledeki harçların fiziksel özellikleri 177

Çizelge 5.57. Kaledeki harçların mekanik özellikleri 178

Çizelge 5.58. Kaledeki harç gruplarının kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri 179

Çizelge 5.59. Kaledeki harçlarda bulunan tuz türleri ve tuzluluk yüzdesi 186

Çizelge 5.60. Kaledeki harç gruplarının kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça) 186

Çizelge 5.61. Kale harçlarında tespit edilen organik maddeler 187

Çizelge 5.62. Kaledeki harçların mineralojik kompozisyonu 190

Çizelge 5.63. Karacahisar kalesine ait harçların özellikleri 195

Çizelge 5.64. Yoros kalesinde kullanılan harçların özellikleri 195

Çizelge 5.65. Kaledeki bazaltın fiziksel özellikleri 198

Çizelge 5.66. Kaledeki bazaltın mekanik özellikleri 198

Çizelge 5.67. Kayaçların dayanıklılık kriterleri 198

Çizelge 5.68. Kaledeki bazaltın kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analiz sonuçları 199

Çizelge 5.69. 4T.2 kodlu bazaltın kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça) 199

Çizelge 5.70. SiO_2 yüzdesine göre mağmatik kayaç sınıfları 199

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Eskişehir merkez jeoloji haritasında Karacahisar kalesinin konumu 15

Şekil 2.2. Roma tuğlası çeşitleri ve kullanım alanları 20

Şekil 2.3. Roma tuğlalarının boyutsal oranları 21

Şekil 2.4. Alçı harcının üretimi 35

Şekil 2.5. Kireç tipleri 37

Şekil 3.1. Karacahisar kalesinin konumu.....49

Şekil 3.2. Karacahisar kalesinin 2011-2014 yılları arasında ortaya çıkarılan alanlar 52

Şekil 4.1. Deneysel çalışma öncesi hazırlık süreci.....64

Şekil 4.2. Kalede pişmiş kil ürünlere uygulanan deneysel program 65

Şekil 4.3. Kaledeki harçlara uygulanan deneysel program 66

Şekil 4.4. Kaledeki doğal taşlara uygulanan deneysel program 67

Şekil 4.5. Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kullanım amacına göre gruplanması 68

Şekil 4.6. Agregaların boyutuna göre sınıflandırılması (http-17) 78

Şekil 4.7. Düşük ve yüksek küresellikli taneler için yuvarlaklık kategoriler 79

Şekil 5.1. Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre Al_2O_3 ve SiO_2 ilişkisi.....111

Şekil 5.2. Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre MgO ve CaO ilişkisi 111

Şekil 5.3. Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre TiO_2 ve Fe_2O_3 ilişkisi 112

Şekil 5.4. Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre Na_2O ve K_2O ilişkisi 112

Şekil 5.5. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk ilişkisi 147
Şekil 5.6. Kaledeki zemin tuğlaların görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk ilişkisi .. 148
Şekil 5.7. Kaledeki kiremitlerin görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk ilişkisi..... 148
Şekil 5.8. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının açık gözeneklilik yüzdesi ile kütlece su emme yüzdesi ilişki 151
Şekil 5.9. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının toplam gözeneklilik yüzdesi ile kütlece su emme yüzdesi ilişki 151
Şekil 5.10. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının açık gözeneklilik yüzdesi ile görünür yoğunluk ilişkisi 152
Şekil 5.11. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının toplam gözeneklilik yüzdesi ile görünür yoğunluk ilişkisi 152
Şekil 5.12. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının açık gözeneklilik yüzdesi ile gerçek yoğunluk ilişkisi 153
Şekil 5.13. Kaledeki yığma yapı tuğlalarının gözeneklilik yüzdesi ile gerçek yoğunluk ilişkisi 153
Şekil 5.14. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü ilişkisi 156
Şekil 5.15. Kaledeki zemin tuğlası gruplarının tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü ilişkisi 156
Şekil 5.16. Kaledeki kiremit gruplarının tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü ilişkisi 156
Şekil 5.17. Yığma yapı tuğlalarında kalsiyum karbonat yüzdesi ile puzolanik aktivite ilişkisi 158

Şekil 5.18. Zemin tuğlalarında kalsiyum karbonat yüzdesi ile puzolanik aktivite ilişkisi 158

Şekil 5.19. Kiremitlerde kalsiyum karbonat yüzdesi ile puzolanik aktivite ilişkisi 158

Şekil 5.20. Kaledeki yığma yapı tuğlalarında Al_2O_3-SiO_2 ilişkisi 160

Şekil 5.21. Kaledeki zemin tuğlalarında Al_2O_3-SiO_2 ilişkisi..... 160

Şekil 5.22. Kaledeki kiremitlerde Al_2O_3-SiO_2 ilişkisi..... 160

Şekil 5.23. Kaledeki yığma yapı tuğlalarında CaO-MgO yüzdesi ilişkisi..... 161

Şekil 5.24. Kaledeki zemin tuğlalarında CaO-MgO yüzdesi ilişkisi..... 161

Şekil 5.25. Kaledeki kiremitlerde CaO-MgO yüzdesi ilişkisi..... 161

Şekil 5.26. Kaledeki yığma yapı tuğlalarında Na_2O-K_2O ilişkisi..... 162

Şekil 5.27. Kaledeki zemin tuğlalarında Na_2O-K_2O ilişkisi..... 162

Şekil 5.28. Kaledeki kiremitlerin Na_2O-K_2O ilişkisi..... 162

Şekil 5.29. Kaledeki yığma yapı tuğlalarında Fe_2O_3-TiO_2 ilişkisi 163

Şekil 5.30. Kaledeki zemin tuğlalarında Fe_2O_3-TiO_2 ilişkisi 163

Şekil 5.31. Kaledeki kiremitlerde Fe_2O_3-TiO_2 ilişkisi..... 164

Şekil 5.32. Kaledeki yığma yapı tuğlalarında CaO ve $CaCO_3$ yüzdesi ilişkisi 164

Şekil 5.33. Kaledeki yığma yapı tuğlalarında CaO ile KK_{1050} ilişkisi 165

Şekil 5.34. Kaledeki yığma yapı tuğlalarında MgO ile KK_{550} ilişkisi..... 165

Şekil 5.35. Kaledeki harçların asit kaybı deneyi sonuçları..... 180

Şekil 5.36. Kaledeki H-1 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi 181

Şekil 5.37. Kaledeki H-2 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi 181

Şekil 5.38. Kaledeki H-3 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi 181

Şekil 5.39. Kaledeki H-4 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi 182

Şekil 5.40. Kaledeki H-5 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi 182

Şekil 5.41. Volkanik kayaçların toplam alkali-silis içerikleri temelinde kimyasal sınıflaması 200

Şekil 5.42. Kaledeki 4T.2 örneğinin mineralojik faz kırınımı..... 201

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Göbeklitepe'de ortaya çıkarılan mekânlarda doğal taş kullanımı 5

Görsel 2.2. Çayönünde ortaya çıkarılan taş yapı temelleri 6

Görsel 2.3. Truva-I kentinin duvarlarında doğal taş kullanımı 7

Görsel 2.4. Truva-II kentinin duvarlarında tuğla kullanımı 7

Görsel 2.5. Aşıklıhöyük'te ortaya çıkarılan kerpiç duvarlı antik yerleşim 17

Görsel 2.6. Sümer dönemine ait Büyük Ur Zigguratı 18

Görsel 2.7. Ur zigguratında tuğla kullanımı..... 18

Görsel 3.1. I, II, III ve IV. bölgenin kale içindeki konumu 53

Görsel 3.2. I. Bölgenin vaziyet planı..... 54

Görsel 3.3. I. bölgenin kuzey doğu burcunda aynı kotta farklı iki harç uygulaması 54

Görsel 3.4. I. bölgede kuzey payanda ve duvarda kullanılan devşirme taş bloklar ve elemanlar..... 55

Görsel 3.5. I. bölgede güney payandada kullanılan devşirme taş bloklar ve elemanlar 55

Görsel 3.6. I. bölgenin güney doğu cephesi (2012) 56

Görsel 3.7. I. bölgenin kuzey batı cephesi (2012)..... 56

Görsel 3.8. Kale girişinin kuzey bölümüne bir bakış (2012) 57

Görsel 3.9. Kale girişinin güney bölümüne bir bakış (2012)..... 57

Görsel 3.10. II. ve III. bölgelerin vaziyet planı 59

Görsel 3.11. II. bölgede Y5 açması ile sur duvarı arasında bulunan bölüm 60

Görsel 3.12. III. bölgeye bir bakış..... 61

Görsel 3.13. III. bölgeye ait duvar örgü tipi..... 61

Görsel 3.14. IV. bölgenin vaziyet planı 62

Görsel 3.15. IV. bölgedeki bir ocakta tuğla kullanımı..... 62

Görsel 5.1. Yüzeyinde harç cebi veya harç kanalı bulunan tuğla örnekleri.....85

Görsel 5.2. Bir yüzü pürüzlü olan yığma yapı tuğlası örnekleri 86

Görsel 5.3. II. bölgeye ait olan ve üzerinde harç bulunan bazı yığma yapı tuğlası örnekleri 86

Görsel 5.4. Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarında matris çeşitliliği 87

Görsel 5.5. Kalınlığı 41-50 mm olan yığma yapı tuğlası gruplarının genel matris görünümü 88

Görsel 5.6. Kalınlığı 31-40 mm olan yığma yapı tuğlası gruplarının genel matris görünümü 89

Görsel 5.7. Kalınlığı 20-30 mm olan yığma yapı tuğlası gruplarının genel matris görünümü 90

Görsel 5.8. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılan yığma yapı tuğlası örnekleri 104

Görsel 5.9. Pişmiş kil ürünün bünyesinde bulunan organik maddeler..... 107

Görsel 5.10. II. ve IV. bölgede bulunan zemin tuğlası örnekleri 121

Görsel 5.11. Kaledeki zemin tuğlalarında bulunan harç kanalı ve harç cebi tipleri 122

Görsel 5.12. Yüksek ısıya bağlı olarak şekil değişikliğine uğramış zemin tuğlası örnekleri..... 124

Görsel 5.13. Kaledeki zemin tuğlası grupların stereo mikroskop görünümü 124

Görsel 5.14. KR-1/d:20-30 grubu kiremit örnekleri 136

Görsel 5.15. KR-2/d:20-30 grubu kiremit örnekleri 136

Görsel 5.16. KR-3/d:20-30 grubu kiremit örnekleri 137

Görsel 5.17. KR-3/d:20-30 yanık kiremit örneği 138

Görsel 5.18. Kiremit gruplarının stereo mikroskop görüntüsü 138

Görsel 5.19. Kaledeki gerçek yoğunluğu en düşük olan pişmiş kil ürün grupları 149

Görsel 5.20. Benzer matrise sahip olan yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremit grupları 153

Görsel 5.21. H-1 grubu harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 169

Görsel 5.22. 1H-2 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 169

Görsel 5.23. 1H-6 harcının doku karakteri 170

Görsel 5.24. 1H-1 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 171

Görsel 5.25. 1H-4 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 172

Görsel 5.26. 1H-5 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 172

Görsel 5.27. 1H-7 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 173

Görsel 5.28. 1H-8 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 174

Görsel 5.29. H-4 grubundan 1H-3 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri 174

Görsel 5.30. H-4 grubundan 1H-8 harcının genel doku karakteri 175

Görsel 5.31. H-5 grubu harç örnekleri 176

Görsel 5.32. H-6 grubu harçların doku özellikleri 177

Görsel 5.33. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılan H-2 grubundan bir harç örneği 178

Görsel 5.34. H-1 grubundan 1H-10 harcının elek analizinde gruplanan agregaları 183

Görsel 5.35. H-2 grubundan 1H-2 harcının elek analizinde gruplanan agregaları 183

Görsel 5.36. H-3 grubundan 1H-8 harcının elek analizinde gruplanan agregaları 184

Görsel 5.37. 1H-4 grubu harcın elek analizinde gruplanan agregaları 184

Görsel 5.38. H-5 grubundan 2H-1 harcının elek analizinde gruplanan agregaları 185

Görsel 5.39. H-1 grubu harcın ince kesit fotomikrografları 191

Görsel 5.40. H-2 grubu harçların ince kesit fotomikrografları 191

Görsel 5.41. H-3 grubu harçların ince kesit fotomikrografları 192

Görsel 5.42. H-4 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları (Çift nikol) 193

Görsel 5.43. H-5 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları 193

G**örsel 5.44.** H-6 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları..... 194

Görsel 5.45. İki renkli bir bazalt taşı örneği..... 197

Görsel 5.46. Bazalt taşlarından deney için hazırlanan bazı örnekler 197

Görsel 5.47. Kaledeki bazaltın ince kesit fotomikrografları 201

Not: Çalışmada referansı verilen görseller dışındaki tüm görseller yazara aittir.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A : Basınç yüküne maruz kalan yüzey alanıdır (mm^2)

A_b : Kütlece su emme oranı (%)

c : Doluluk yüzdesi (%)

cm : Santimetre

CEN : European Committee for Standardization

d : Kalınlık (mm)

Emod : Elastisite modülü (GPa)

EC : Elektriksel iletkenlik (µS/cm)

F : Kırılma anındaki yük (kN)

g : Gram

ρ_b: : Görünür yoğunluk (g/cm^3)

ρ_r : Gerçek yoğunluk (g/cm^3)

HPLC : High Performance Liquid Chromatograph-Yüksek Performanslı Sıvı Kromotografisi

kg : Kilogram

KK : Kızdırma kaybı

KK_{105} : 105ºC'deki kızdırma kaybı yüzdesi (%)

KK_{550} : 550ºC'deki kızdırma kaybı yüzdesi (%)

KK_{1050} : 1050ºC'deki kızıdrma kaybı yüzdesi (%)

KR : Kiremit grubu

m : Metre

mm : Milimetre

m_d : Sabit kütle (g)

m_s : Suya doygun örneğin havadaki kütlesi (g)

m_h : Suya doygun örneğin sudaki kütlesi (g)

Ort. : Ortalama

p : Toplam gözeneklilik (%)

p_0 : Açık gözeneklilik (%)

ρ_b : Görünür yoğunluk (g/cm^3)

ρ_r : Gerçek yoğunluk (g/cm^3)

SD (±) : Standard sapma

µ : Mikron

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

UPV : Ultrasonik ses geçiş hızı (km/s)

XRD : X-Işını Difraksiyon (X Ray Diffraction)

XRF : X-Işını Floresans

vb. **:** Ve benzeri

YT : Yığma yapı tuğlası grubu

ZT : Zemin tuğlası grubu

σ : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

1. GİRİŞ

Tarihi yapıların, özgün malzemelerinin esas alınarak korunması gerekliliği, günümüzde tartışmasız olarak kabul edilen koruma yaklaşımıdır. Modern malzemelerle gerçekleştirilen yanlış restorasyon uygulamaları açıkça göstermiştir ki, tarihi yapıların günümüze kadar ulaşması ve geleceğe güvenli bir şekilde aktarılması, birbiri ile uyumlu özelliklere sahip olan geleneksel malzemelerin kullanılmasına bağlıdır (Gürdal, 2011, s. 70). Bunu sağlamanın yolu ise tarihi yapı malzemelerinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinden geçmektedir. Disiplinlerarası çalışma gerektiren karakterizasyon sürecinin hatasız bir biçimde gerçekleşebilmesi için, deneysel çalışmaların deneyimli kişiler tarafından, uluslararası kabul görmüş deneysel yöntem ve standartlar çerçevesinde, amacına uygun, yeterince hassas cihaz ve ekipmanların bulunduğu laboratuvarlarda gerçekleşmesi oldukça önemlidir. Tarihi malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerinin de belirlenmesi, restorasyon sürecindeki yapılar için en uygun yapı malzemelerinin seçimini veya hazırlanmasını, bir başka deyişle koruma sürecinin başarı ile tamamlanmasını sağlayacaktır.

Arkeolojik kazıların 2002 yılında başladığı Karacahisar kalesi, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Dönemlerinde önemli rol oynamış, kültürel mirasımızın çok değerli bir parçasıdır. Kale, arkeoloji ve sanat tarihi açısından önemli olduğu kadar, tarihi yapı malzeme teknolojisi konusuna da ışık tutması bakımından, mimarlık ve inşaat mühendisliği disiplinleri açısından da oldukça önemlidir. Karacahisar kalesinin yapı malzemelerinin günümüze kadar özgünlüğünü korumuş olması, kalenin sadece günümüzde değil, gelecekte de araştırmacıların ilgi odağında olacağını göstermektedir.

1.1. Amaç

Çalışmanın amacı bir Ortaçağ kalesi olan Karacahisar kalesinde kullanılan pişmiş kil ürün, doğal taş ve harçların karakteristik özelliklerinin ve üretim teknolojisinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda çalışmanın süreci, kaleye ait yapı malzemelerinin incelenmesi ve envanterinin çıkarılması, pişmiş kil ürün ve harçların tipolojilerinin belirlenmesi, malzemelerin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin birbiri ile ilişkilerinin irdelenmesi, malzemelerin üretim teknolojisinin belirlenmesi ve bölgelere göre malzemelerin benzerlik ve farklılık durumunun ortaya konulmasını içermektedir.

1.2. Önem

Tarihi yapıların mimarileri, yapım teknikleri ve malzemeleri, araştırmacıların uzun yıllardır dikkatini çeken konular olmuştur ve yazına bakıldığında Eskişehir bölgesinde bulunan tarihi yapılar ve mimarileri ile ilgili birçok yayının bulunduğu (Albek, 1991; Altınsapan, 1999a, 1999b, 2009; Altınsapan ve Parla, 2004, 2010; Altınsapan, Say ve Gerengi, 2012; Altınsapan, Demirel Gökalp, Yılmazyaşar ve Gerengi, 2015); ancak, bu tarihi yapılara ait yapı malzemeleri hakkında bir çalışmanın gerçekleştirilmediği görülür. Benzer şekilde, tarihi kalelere ait yapı malzemelerinin karakteristik özelliklerinin incelendiği çalışma sayısı da oldukça sınırlıdır (Tokmak, 2005; Kurugöl ve Tekin, 2010; Kurugöl, 2010; Altaş, Özgünler ve Gürdal, 2013; Kurugöl ve Güleç, 2012). Bu noktada, Karacahisar kalesine ait yapı malzemelerinin incelendiği bu çalışmanın, Eskişehir'de bulunan tarihi bir savunma yapısına ait farklı dönemlerin yapı malzemesi üretim teknikleri ve karakteristik özelliklerinin belirlenmesine olanak sağlaması açısından, bu noktadaki boşluğu dolduracağı düşünülmüştür. Ayrıca, tarihi pişmiş kil ürünlerin tipolojilerinin[1] belirlenmesi konusunda bir metodun önerildiği bu çalışmanın, gelecekte bu konuda çalışacak araştırmacılara ve kalede gerçekleştirilecek koruma ve onarım çalışmalarına ışık tutacağı öngörülmüştür.

1.3. Kapsam ve Yöntem

Birinci bölümde yer alan tezin amaç, önem, kapsam, yöntem ve sınırlıkların açıklanmasının ardından, ikinci bölümde tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemeleri ve bu malzemeler ile ilgili alanyazına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde Karacahisar kalesi ile incelenen yapı malzemelerin elde edildiği bölgelere değinilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmanın metodolojisi ve uygulanan deneysel yöntemler açıklanmış ve beşinci bölümde elde edilen deneysel bulgular aktarılmıştır. Sonuç bölümünde ise çalışmada elde edilen genel sonuç, değerlendirme ve önerilere yer verilmiştir.

Tarihi yapı malzemelerinin fiziksel, mekanik, kimyasal ve petrografik analizleri Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü Yer Bilimleri Laboratuvarında, XRD ve XRF analizleri Anadolu Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü XRD ve

[1] Tipoloji: Varlıkların tiplerini belirleme ve ayırt etme yöntemidir (http-1'den uyarlanmıştır).

XRF laboratuvarında, gerçek yoğunluğun belirlemesi deneyi de Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesinde gerçekleştirilmiştir.

1.4. Sınırlıklar

-Çalışmada incelenen yapı malzemeleri 2012-2013 yıllarındaki kazı dönemlerinde ele geçen pişmiş kil ürün olan yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremitler, harçlar ve kalede en yoğun olarak kullanılan doğal taş türü olan bazalt taşları ile sınırlıdır.

-Yapı malzemeleri incelenen bölgeler 2012-2013 döneminde kazıları gerçekleşen I., II., III. ve IV. bölgeler ile sınırlıdır.

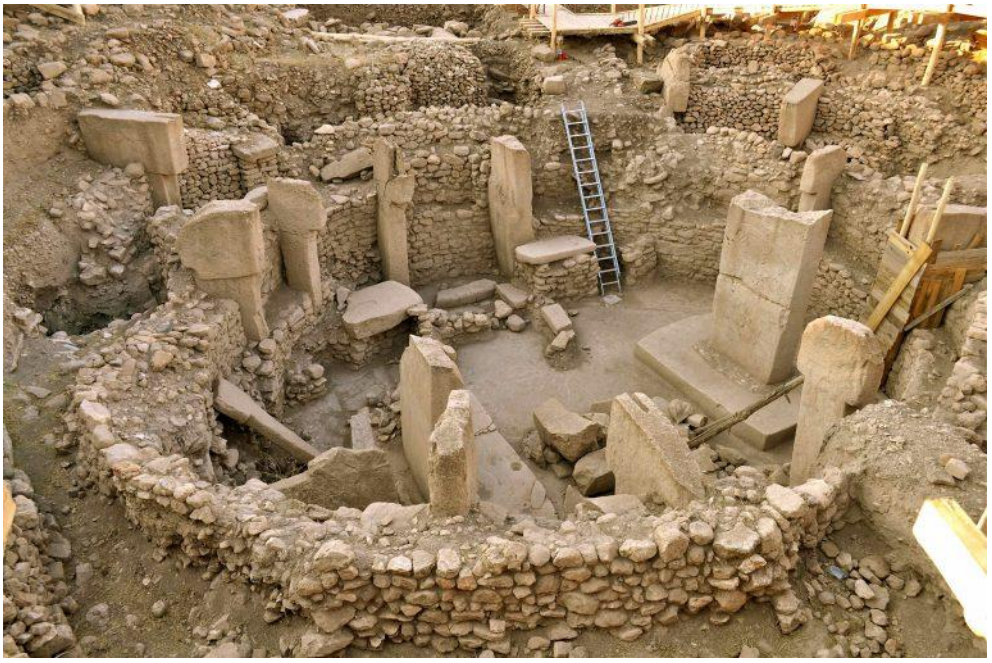
2. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN YAPI MALZEMELERİ VE İLGİLİ ALANYAZIN ÇALIŞMALARI

Geçmişte tarihi yapıların inşasında kullanılan en temel malzemeler doğal taş, tuğla ve harç olmuştur (Akman, 2003). Çağlar öncesinde, moloz taşların kullanımı ile başlayan yapım süreci, öncelikle taşların yontulduğu, sonra da ustalıkla şekillendirildiği bir sanata dönüşmüştür. Benzer durum tuğla için de geçerlidir. Kerpicin keşfi ile başlayan tuğla üretim süreci, günümüzde verimli kil sahalarının yakınında kurulan fabrikalarda, farklı boyut ve şekilde üretilen modern tuğlalar ile devam etmiştir. Ancak, yeni tuğlaların yanı sıra, restorasyon tuğlası üretiminin de günümüzde sürdürüldüğünü unutmamak gerekir (http-2, http-3, http-4, http-5, http-6, http-7). Tarihi yapılar için doğal taş ve tuğla kadar önemli olan bir diğer malzeme harçtır. Tarih boyunca yapılarda çok önemli işlevler üstlenmiş olan harçların, alçı, kireç ve horasan olmak üzere çeşitlendiği bilinmektedir.

Bu bölümde tarihi yapıların temel yapı malzemesi olan doğal taş, tuğla ve harç konuları incelenmiş ve bu malzemeler ile ilgili alanyazına yer verilmiştir.

2.1. Doğal Taşlar

Paleolitik çağda mağarada yaşayan insanoğlu, doğal taşı bir yapı malzemesi olarak değil, daha çok çeşitli el aletleri yapmak amacı ile kullanmıştır. Doğal taşın bir yapı malzemesine dönüşümü tarımsal faaliyetlerin başlamasına, bir diğer ifade ile yaklaşık 12.000 yıl öncesine dayanır (Akman, 2003). Bunun ilk örneği, 1995 yılında keşfedilen ve dünyanın ilk tapınağı olduğu düşünülen Göbeklitepe'dir. Şanlıurfa'nın Örencik köyünün 3 km kuzeydoğusunda yer alan Göbeklitepe'de, Çanak Çömlek öncesi Neolitik A dönemine (M.Ö. 9600–7300) ait ve bir tepe üzerinde bulunan yuvarlak ve spiral biçimli toplam yirmi yapıdan altısı ortaya çıkarılmış ve bu yapıların doğal taştan inşa edildiği görülmüştür. Bu yapılardan her birinin duvar kalınlığı 1,40 m ve çapı yaklaşık 30 metredir. Her bir mekânın merkezinde karşılıklı iki adet T biçimli kireçtaşı sütun yer alırken, iç duvarlarda düşey hatıl şeklinde daha küçük sütunlar kullanılmıştır. Ağırlığı 40-60 ton arasında ve boyu 3-6 m. arasında olan T biçimindeki bu sütunların birer insan tasviri olduğu düşünülmektedir (Bkz. Görsel 2.1). Göbeklitepe'de keşfedilen 12.000 yıllık bu yapıların mimarlık tarihinin başlangıcı olduğu tahmin edilmektedir (http-8; Topal, 2012, ss. 156-157).



Görsel 2.1. *Göbeklitepe'de ortaya çıkarılan mekânlarda doğal taş kullanımı (http-9)*

Göbeklitepe'den sonra doğal taşların yapı malzemesi olarak kullanıldığı en eski yerleşim yeri Hallan Çemi höyüğü ve Çayönü höyüğüdür. Çayönünden önce kurulduğu tahmin edilen Hallan Çemi höyüğü, Batman'ın Kozluk ilçesi yakınında bulunmaktadır. Höyükteki 4-6 m. çapındaki yuvarlak veya oval formlu evlerin, toprağa gömülü olduğu ve duvarlarının alt bölümünün taştan örüldüğü görülmüştür. Benzer şekilde, Diyarbakır'ın Ergani ilçesi yakınında bulunan Çayönünde de günümüzden önce 10200-9200 yıllarına tarihlendirilen en eski yapıların, toprağın içinde bir çukurun içine inşa edildiği, yuvarlak planlı olduğu ve bazılarının da taş temeller üzerine inşa edildiği ortaya çıkarılmıştır. Sonraki evrelerde ise, topraktaki nemden korunmak amacı ile Çayönündeki evlerin taş temellerinin zeminden yükseltildiği ve altından hava akımının sağlandığı görülmüştür. Kerpiç dolgulu ve ahşap çatkı duvarlardan inşa edildiği tahmin edilen bu evlere ait taş temeller Görsel 2.2'de gösterilmiştir (Sevin, 2003, ss. 21-26).

Arkeoljik kazılarda Mezopotamya'nın Hasuna bölgesinde M.Ö. 7000-5000 yıllarına ait olduğu düşünülen, dikdörtgen odalı, taş temeller üzerine inşa edilmiş, kerpiç duvarlı evler bulunmuştur. Benzer şekilde, Anadolu'nun Hacılar köyünde aynı zaman aralığına ait olduğu düşünülen, taş temellerin üzerine inşa edilmiş, kalın kerpiç duvarlı dikdörtgen odalı evler bulunmuştur (Sevin, 2003, s. 67; Naumann, 2007; Akman, 2003, s. 32). Bu durum ilk çağlarda doğal taşların ilk önce temellerde kullanıldığını göstermiştir.



Görsel 2.2. *Çayönünde ortaya çıkarılan taş yapı temelleri (http-10)*

Türkiye'de doğal taşın ustaca kullandığı, Ezine'de Aleksandria Troas, Altınoluk'ta Antadros, Izmir'de Efes, Bergama, Teos ve Metropolis, İzmir-Çanakkale yolu üzerinde Aigai ve Antadros, Manisa'da Sardis, Aydın'da Nysa, İzmir-Denizli yolunda Afrodisyas, Pamukkale'de Hierapolis ve Laodiceia, Söke'de Priene, Didim'de Milet, Bodrum-Söke yolunda Heraklea, Milas'ta Tasos ve Labraunda, Bodrum'da Halikarnas, Datça'da Knidos, Muğla'da Kaunos, Fethiye'de Tlos, Fethiye-Kaş arasında Pınara ve Letoon ve Çanakkale'de Truva, Assos ve Smintheion gibi çok sayıda antik kent bulunmaktadır. Bu kentlerden biri olan Truva kentinin I. ve II. katmanlarına ait duvar kalıntılarında hem doğal taş, hem de tuğla işçiliği Görsel 2.3 ve 2.4'te gösterilmiştir (Akşit, 2015, ss. 22-23).

Doğal taş ilk uygarlıklardan sonra Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde de temel yapı malzemesi olmuş ve her yerde mümkün olduğunca yöreye özgü taşlar kullanılmıştır. Örneğin, İstanbul'daki yapılarda en fazla Marmara mermeri olmak üzere, Küfeki taşı, granit, kumtaşı, serpantin, porfir, beyaz ve siyah mermer, diyabaz, traverten ve andezit tüfü, Ankara'da andezit ve andezit tüfü (Ankara taşı), Diyarbakır'da bazalt, Mardin'de Mardin taşı olarak bilinen kireçtaşı (kalker), Şanlıurfa'da beyaz kireçtaşı, Konya'da sille taşı, Bitlis'te pembe tüf, Kars'ta bazalt ve tüf, Erzurum'da bazalt, tüf, kalker ve andezit ve Sivas'ta beyaz traverten, kireçtaşı ve kalkerin yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir (Topal, 2012, ss. 7-9; 2015).



Görsel 2.3. *Truva-I kentinin duvarlarında doğal taş kullanımı (M.Ö. 2920-2600)*

(Akşit, 2015, s. 23)



Görsel 2.4. *Truva-II kentinin duvarlarında tuğla kullanımı (M.Ö. 2550-2250)*

(Akşit, 2015, s. 22)

2.1.1. Oluşumuna göre tarihi yapılarda kullanılan doğal taş türleri

Yığma yapıların en temel bileşeni olan doğal taşlar, oluşumuna göre püskürük (mağmatik), tortul (sedimanter) ve başkalaşmış (metamorfik) olmak üzere üçe ayrılır. Tarihi yapılarda her üç gruba ait doğal taşların da kullanıldığı bilinmektedir ve bu bölümde tarihi yapılarda kullanılan taş türleri ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

2.1.1.1. *Püskürük taşlar*

Püskürük taşlar, yerkabuğunun derinliklerinde bulunan ve sıcaklığı 600-1300ºC arasında değişen, ucucu bileşenler bakımından doygun bir silikat çözeltisi olan mağmanın katılaşması sonucu oluşur. Yerkabuğunun derinliklerinde katılaşan taşlara iç püskürük (plütonik), yeryüzünde veya yeryüzüne çok yakın yerde katılaşan taşlara dış püskürük (volkanik), bu taşlar arasında katılaşanlara da damar taşları denir (Erkan, 2013b, s. 1). İç püskürük taşlara örnek olarak granit, siyenit, diorit ve gabro verilebilir. Bu grup taşlar tamamen kristalleşmiş olup, yavaş soğuması sonucu kaba tanelidir. Dış püskürük taşlara örnek olarak riyolit, obsidian, trakit, andezit ve bazalt, damar kayaçlara örnek olarak ise, kuvars porfir, siyenit porfir, diorit profir ve dolerit verilebilir. Bu grup taşlar ince taneli ve camsı yapıya sahiptir (Davey, 1961, s. 1). Tarihi yapılarda oldukça fazla kullanım alanı olan püskürük taşlarla ilgili ayrıntılı bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Granit: Granit mağmatik kökenli bir taş olup, kuvars ve alkali feldispat (ortoklaz) minerallerini içeren ve tüm feldispatlar içindeki plajiyoklas miktarı %10-65 arasında olan doğal taştır. Granitlerin bir çoğunda biyotit bulunurken, nadiren muskovit minerali bulunur. Tali mineral olarak ise granitler, korendon, kordiyerit, grena, zirkon, epidot, titanit, manyetit, hematit, limonit, ilmenit, pirit, apatit, ojit ve rutil içerebilir. Granitler açık renkli olup, çoğunlukla pembemsi, beyazımsı ve açık grimsi renge sahiptir. Koyu renkli minerallerin bulunması durumunda, kayacın rengi de koyulaşır, koyu gri, yeşilimsi ve pembemsi gri renkler ortaya çıkar. Granitler tane büyüklüğüne göre ince, orta ve kaba taneli olarak sınıflanır. Granitler çok yoğun taşlardır, su emme yüzdeleri düşüktür (% 0,8), sertlikleri fazladır, işlenmeleri zordur ve çok iyi cila tutarlar. Bu nedenle, granitlerin tarihi eserlerin birçoğunda kullanıldığı görülür. Yunan, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde kullanılan granitlerin bir kısmı dönemin taş ocaklarından çıkarılmış, bir kısmı ise Mısır'dan getirtilmiştir (Erkan, 2013, ss. 87-89; Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 77-78).

Trakit: Trakitler, püskürük taşlardan siyenitin volkanik bir türüdür, bileşimindeki mineraller alkali feldispat (sanidin), plajiyoklas ve koyu renkli mineral (hornblend, biyotit) fenokristalleridir. Bazı trakitlerde sanidinden başka oligoklas da bulunabilir, bunlara traki-andezit denir (Sayar ve Erguvanlı, 1955, s. 91). Trakitler açık renkli kayaçlar olup, beyazımsı, açık gri, pembemsi veya yeşilimsi renge sahiptir. Bozunmuş trakitlerde ikincil mineral olarak klorit, kalsit ve epidot mineralleri bulunur. Kayaç boşluklarında ise bazen tridimit bulunabilir (Erkan, 2013, ss. 125-127).

Andezit ve dasit: Andezitler diyoritin volkanik tipidir. Bu nedenle, diyorit tamamen kristallerden oluştuğu halde, andezitin bileşimindeki feldispat (plajiyoklas, andezin), hornblend, biyotit ve ojit mineralleri mikrolitik veya tamamen şekilsiz (camsı) bir hamur içindedir. Benzer şekilde, mikrolitik bir hamur içinde dağılmış olarak plajiyoklas (oligoklaz ve andezin), hornblend, biyotit, ojit ve yer yer kuvarstan oluşan taşa dasit adı verilir. Andezit ve dasitler, ocaklarda işlenmelerinin ve kesme taş şeklinde kesilmelerinin kolaylığı nedeni ile tarihi yapılarda sıkça kullanılmıştır (Sayar ve Erguvanlı, 1955, s. 96).

Bazalt: Bazaltlar en yaygın volkanik taş grubunu oluşturur. Yarı billursal, mikrolitik veya camsı dokulu olan taşlar, siyah renkli, homojen yapılı ve oldukça ağırdır. Bileşiminde şekilsiz bir hamur içerisinde dağılmış halde bazik feldispatlardan labrador ve anortit, ojit mikrolitleri, manyetit ve olivin tanecikleri bulunur. Bazaltlarda nadir görülen mineraller hornblend, kahverengi biyotit ve apatittir. Bazaltlarda ikincil mineral olarak serpantin, talk, iddingsit, limonit ve karbonat bulunur. Bazen de piroksenlerin kalsit, epidot ve klorite dönüştüğü, plajiyoklasların serisitleştiği veya sosuritleştiği gözlenirken, gaz boşluklarının kalsedon, klorit, kalsit ve özellikle natrolit, fillipsit, höylandit, analsim gibi zeolit mineralleri ile dolu olduğu görülür. Taşın siyah rengi ve ağır oluşu, manyetit mineralinden kaynaklanır. Bazaltlar, yoğun, sert ve dayanıklı olması nedeni ile yapı, dış zemin kaplaması ve köprü gibi çeşitli inşaat işlerinde kullanılır. Basınç mukavemetinin yüksek olmasına bağlı olarak, bazalt taşları yüzyıllar boyunca çok sayıdaki yapı ve kalede kullanılmıştır (Erkan, 2013, ss. 130-134; Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 109-110).

Bazaltlar mineralojik bileşimine göre, olivin içeren ve içermeyen olarak ayrılmaktadır. Bu ayırım, mağmatik farklılaşmadan etkinlenen silis ve Fe-Mg içeriğine bağlı olarak ortaya çıkar ve bu gruplar "silisçe doygun" ve "silisçe doygun olmayan" olarak da adlandırılır. Silisçe doygun olan bazaltlara toleyit veya toleyitik bazalt denir ve

bunlar olivin içermeyen, bileşimlerinde genellikle kuvars ve hipersten bulunan kayaçlardır. Bileşimlerinde plajiyoklas ve piroksen türleri (ojit, pijeyonit ve/veya ortopiroksen) bulunur. Silisçe doygun olmayan bazaltlar ise olivin içerir ve bu tür kayaçlara "alkali bazalt" denir. Bu kayaçlar fenokristal olarak çoğunlukla titanojit ve/veya barkevitik amfibol içerir. Bazaltlarda değişen boyutlarda gaz boşluklarına-veziküler dokuya-sıkça rastlanır. Bu boşluklar küresel, oval, lavın akma yönüne paralel uzamış veya düzensiz şekillerde olabilir (Erkan, 2013, ss. 130-134).

Lav, tüf ve aglomeralar: Volkan kraterinden çıkarak kızgın bir sıvı halinde akan maddelere veya kızgın mağmanın soğuması ile katılaşan formasyona lav denir. Lavlar bileşimleri itibari ile ait oldukları mağmatik taşa göre isim alır; örneğin, trakit lavı, andezit lavı ve bazalt lavı gibi. Lavlar boşluklu bir yapıya sahip olup, dokusu camsı, akışkan, mikrolitik ve süngersel olabilir. Gaz boşlukları lavın soğuma ve katılaşma esnasındaki gaz çıkışından kaynaklanmaktadır. Volkanik tüfler ise volkanik püskürme esnasında lavlarlara birlikte çıkan volkanik küllerin birikmesi sonucu oluşur. Volkanik küller ile birlikte çıkan daha büyük parçaların çimentolaşması sonucu oluşan taşlara ise aglomera denir. Tüfler boşluklu yapısı nedeni ile oldukça hafiftir, aglomeralar ise tüflere göre biraz daha yoğundur. Ayrıca, tüflerin içinde fosil bulunabilir ve bu fosillerin sayesinde, tüflerin deniz veya gölsel kökenli olduğunu anlamak mümkün olabilir. Lav, tüf ve aglomeralar Roma ve Osmanlı dönemlerinde Anadolu'daki tarihi yapılarda çokça kullanılmıştır. Tüf ve aglomeralar, kolay işlenebilirliği, ocaklardan büyük bloklar halinde çıkarılabilmesi, farklı renklere sahip olması ve hafifliği nedeni ile cami ve anıt gibi yapılarda sıklıkla tercih edilmiştir. Köprülü taşı (Afyon), Od taşı (Karamürsel-Goncaeli), Sille taşı (Konya), Kütahya, Niğde ve Samsun tüfleri bu taşlara örnek gösterilebilir (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 115-124). Kapadokya bölgesi ve Frig vadisi, ülkemizdeki önemli tüf yerleşim örnekleridir (Daloğlu ve Demir, 2010, s. 92).

2.1.1.2. *Tortul taşlar*

Tortul (sedimanter) taşlar, fiziksel ve kimyasal koşullar altında kayaçların bozunması ve parçalanması sonucu oluşan ve sediman adı verilen parçaların akarsu ve rüzgar gibi etkenlerle taşınarak, başka bir yerde birikmesi veya çökelmesi ile oluşur. Bu taşlara örnek olarak kumtaşı ve kireçtaşı verilebilir (Punmia vd, 2004, s. 7; Erkan, 2013b, ss. 1-2). Yapıda kullanılan tortul taş çeşitleri ile ilgili ayrıntılı bilgi aşağıda aktarılmıştır.

Kalker: Kalkerler kalsiyum karbonat bileşimine sahip olan taşlardır ve kristalize olanları, kalsit ve aragonit minerallerini meydana getirir. Magnezyum karbonat ($MgCO_3$) oranı %10'un üzerinde olan kalkerlere dolomitik kalker, %45 ve üzerinde olanlara ise dolomit denir. Kalkerler köken bakımından kalkerli organik bakiyeler veya kimyasal çökelme ile meydana gelir ve çok saf olduklarında, bileşimlerinde %56 CaO ve %44 CO_2 bulunur. Kalkerler bazen de magnezyum, manganez, demir, kil, bitüm içerebilir ve buna göre isimlendirilebilir. Kalkerlerin ortalama yoğunluğu 2,3 g/cm^3 olup, yarı saydam ve iyi cila kabul edenlerine "albatr" denir. Kalker HCl çözeltisinde köpürerek erirken, dolomit sadece sıcak asitte erir. Kalkerlere örnek olarak tebeşir, traverten, kalker tüfü ve küfeki taşı verilebilir.

Kalker inşaat alanında yaygın kullanıma sahiptir; örneğin, kesme taş olarak kullanılabildiği gibi, yakılarak kireç elde etmek veya iç ve dış kaplama amacı ile de kullanılabilir. Kalkerler, yumuşak ve heterojen yapısı ve atmosfer etkilerine karşı dayanıksızlığı nedeni ile ince işlerde kullanılmamaktadır. İstanbul'da bulunan Bizans ve Osmanlı yapılarının çoğunda masif olarak kalker taşı ve Küfeki taşı kullanılmıştır. Küfeki taşı, Arapçada "delikli- süngerimsi doku" anlamına gelen, Bakırköy kalkeri ve Maktralı kalker olarak da bilinen bir kireçtaşı türü olup, bünyesinde bol miktarda makro fosil içerir (Sayar ve Erguvanlı, 1955; Öngen, 2012, s. 38). %93-100 arasında kalsiyum karbonat içeren Küfeki taşının en önemli özelliği rastgele kavkılı, yani damarsız olması ve bu özelliği sayesinde statik ve dinamik yükler altında homojen davranış göstermesidir. Küfeki taşı özellikle Osmanlı döneminde, Mimar Sinan tarafından oldukça fazla kullanılan bir yapı malzemesi olmuştur (Arıoğlu, Tuğrul, Zarif, Girgin ve Arıoğlu, 1999a, 1999b).

Marnlı kalker: Bileşiminde kalsiyum karbonatın yanısıra, %10-20 arasında kil içeren taşlara, marnlı kalker adı verilir. Kalker miktarı ne kadar fazla olur ise, taş o oranda sert ve açık renklidir. Marnlı kalkerler asitte köpürerek eridikten sonra, geriye kil, bazen de içinde bulunması durumunda ince kum taneleri kalır. Ocaktan çıkarılmasının ve işlenmesinin kolaylığı nedeni ile marnlı kalker, kaplama işlerinde oldukça tercih edilen bir taştır. Ayrıca, marnlı kalker çimentonun temel hammaddesi olduğu için kıymetli bir malzemedir (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 30-31).

Traverten: Travertenler kalsiyum bikarbonatlı suların bıraktığı çökeltilerden oluşur ve sünger gibi delikli yani hafif taşlardır. Bu taşların çok delikli ve hafif olanlarına

ve fazla miktarda bitki sapı ve yaprağı içerenlerine kalker tüfü, az boşluklu ve yoğunluğu yüksek olanlarına da traverten denir. Travertenler az boşluklu yapısına rağmen, dayanıklı ve serttir; bu nedenle de Roma, Viyana, Napoli gibi Avrupa'nın birçok kentinde kullanılmıştır (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 33-36).

Serpantin: Açık veya koyu yeşil renkli olan serpantin taşı, yılan derisi gibi beneklidir. Serpantinler amfibol, piroksen, peridot vb. gruplara ait minerallerin hidratasyonu ile ayrışmaya ve değişime uğraması sonucu oluşur. Serpantinler bünyesine su aldığı zaman hacmi artar ve çatlaklar meydana gelir. Serpantin sert, yoğun ve çatlaksız olduğunda, iyi cila kabul eder ve yapıda kaplama taşı olarak kullanılabilir (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 51-52).

Kumtaşı: Çapları 0,1-2 mm arasında olan kum tanelerinin doğal bir çimento ile birleşmesinden meydana gelen taşlara, kumtaşı veya gre adı verilir. Tanecikleri birleştiren çimento, silisli, kalkerli, dolomitli, killi veya marnlı, demir oksitli veya jipsli olabilir ve az miktarda organik madde ve glokoni içerebilir. Asıl kumtaşları, çimentosu ve taneleri silisli olan taşlardır ve bunlar çok sert ve dayanıklı olup, yapıda kaplama işlerinde tercih edilir (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 53-54).

Konglomera: Kum, çakıl vb. irili ufaklı taş parçaların doğal bir çimento ile birleşmesi sonucu meydana gelen kütlelere konglomera adı verilir. Elemanları aynı olanlara monojenik konglomera, farklı olanlara ise polijenik konglomera denir. Konglomera çakıllarının çapı, bileşimi ve sertliği farklı olabildiği gibi, çimentosu silisli, kalkerli, killi veya demirli olabilir. Çakılları yuvarlak olan konglomeralara puding, köşeli olanlarına da breş adı verilir. Konglomeranın içindeki çakılların çapları gözle görülemeyecek kadar küçük olduğunda, taşa mikro puding veya mikro breş denir (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 58-59).

Konglomera sınıfından Hereke pudingi ilk kez II. Beyazıt zamanında (M.S. 1501'de) inşa edilen Beyazıt camisinin avlu kemerlerinde mermer ve serpantinlerle birlikte kullanılmış ve bundan sonra beş yüz yıldan fazla Osmanlı eserlerinde kullanılmaya devam etmiştir. Hereke pudinginin bu kadar çok tercih edilmesinin nedeni, renginin güzelliği, dış etkilere karşı dayanıklılığı ve ocaklarının denize yakın olması sonucu tren ve deniz yolu ile nakliyesinin kolaylığı olmuştur (Sayar ve Erguvanlı, 1955, s. 66).

2.1.1.3. *Başkalaşım taşları*

Başkalaşım taşları metamorfizma sonucu oluşur. Metamorfizma taşların farklı fiziksel ve kimyasal koşullar altında, katı durumlarını koruyarak, yapısal, dokusal ve/ veya mineralojik yönden değişikliğe uğramasıdır. Metamorfik taşlara örnek olarak arduvaz, şist, gnays, amfibolit, serpantinit, yeşil kayaçlar, kuvarsit, mermer ve kayrak taşı verilebilir (Punmia vd. 2044, ss. 7-8; Erkan, 2013b, ss. 1-2).

Tarihi yapılarda en çok kullanılan metamorfik taş mermerdir. Kalsit minerallerinden oluşan mermer, kalker ve bazen dolomitlerin sıcaklık ve basınç etkisi ile değişikliğe uğraması sonucu oluşur. Mermerlerin bileşimleri kalsiyum karbonat ve nadiren kalsiyum ve magnezyum karbonattır. Kalsiyum karbonat kristallerinden oluşan mermerler, genellikle %95 kalsit içerir. Ayrıca, mermerlerin bünyesinde silis, silikat, demir oksit, mangan oksit, pirit, mika, flüorin ve organik madde bulunabilir. Mermer, homojen ve boşluksuz yapısı ve fazla sert olmaması nedeni ile iyi cila kabul eden ve işlenmesi kolay taşların başında gelir ve özellikle yapıda kaplama ve döşeme işlerinde tercih edilir. Dolomitik mermerler diğer mermerlerden daha sert olup, işlenmesi daha zordur. Mermer Yunan, Roma, Bizans ve Osmanlı dönemindeki çoğu yapıda kullanılmıştır, özellikle Roma döneminde Afyon'da çıkarılan mermerlerin Avrupa'ya gönderildiği ve sütun olarak kullanıldığı bilinmektedir. Yunan ve Romalılar Marmara adasının çeşitli yerlerinden çıkardıkları mermerleri sütun ve kaplama malzemesi olarak kullanmıştır. Bizanslılar da, benzer şekilde mermeri anıt ve dini yapılarda çokça kullanmıştır (Mango, 2006, s. 19). Osmanlı döneminde ise mermer saray, cami, çeşme, hamam ve kışla gibi yapılarda kullanılmış ve bu dönemde Afyon, Marmara adası, Ankara'nın Ayaş Kazası civarı, Muğla, Bandırma, Yalova, Akhisar, Kütahya, İzmit, Çamlık (Denizli), Araç-Tosya (Kastamonu) ve Kırşehir'de bulunan mermer ocakları kullanılmıştır (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 1-13).

2.1.2. Eskişehir'in jeolojik altyapısı ve doğal taş potansiyeli

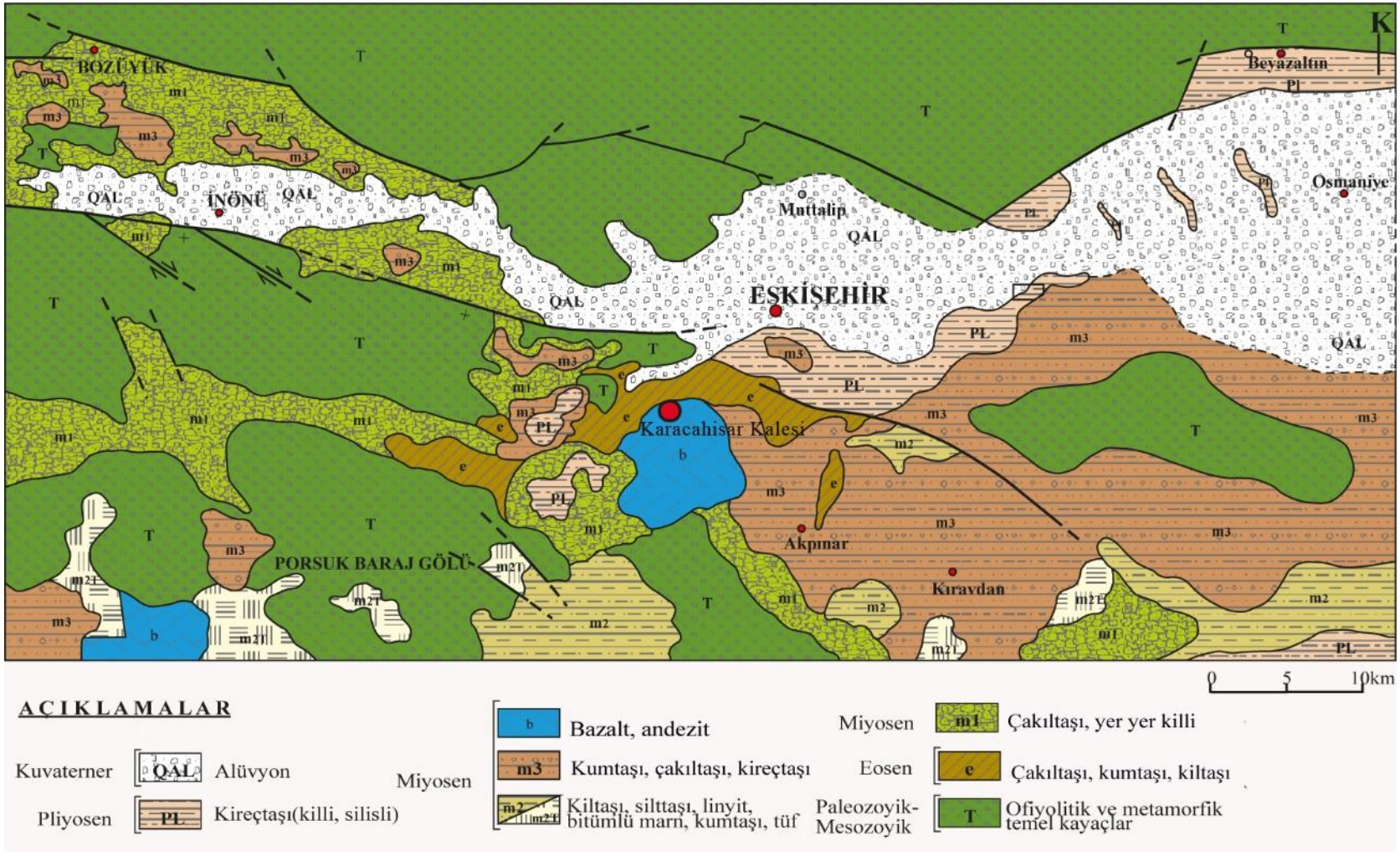
Doğal taş rezervleri bakımından, Eskişehir Türkiye'nin önemli kentlerinden biridir. Örneğin, 960.000.000 m^3 işletilebilir mermer rezervi ile Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin ilk sırasında yer almaktadır. Sivrihisar'da önemli mermer ocakları bulunmaktadır ve bölgede ayrıca Süpren mermeri, Leopar (Salome) ve Yunusemre Oniksi olarak bilinen mermer türleri çıkarılmaktadır. Eskişehir, 475.000.000 m^3 rezervi ile kalker

üretimi bakımından Bartın ve Bilecik'ten sonra üçüncü sırada yer almaktadır ve kalker yataklarının %17.4'üne sahiptir (MTA; Taşlıgil ve Şahin, 2016).

Eskişehir'in güney doğusunda yer alan Sivrihisar ilçesinin civarı granit yataklarından, 10-15 km. güneyindeki volkanik arazinin tamamı da bazalt yataklarından oluşmuştur (Bkz. Şekil 2.1). Eskişehir graniti kaba taneli feldispat, amfibol ve gözle görülmeyecek kadar az miktarda kuvars minerali içerir ve bu nedenle taşa kuvarslı siyenit de denir. Bazaltların rengi ise çoğunlukla siyah, bazen de koyu yeşil, kahverengi veya kırmızı olabilmektedir ve hamur maddesi plajiyoklas ve piroksen yada olivin mikrolitlerinden oluşur. Fenokristal olarak izlenen ve tamamen değişime uğramış (iddingsitleşmiş) bu olivinler, bazalt dokusu içinde gelişigüzel yer almaktadır. Bazaltlar Eskişehir'de Karacaşehir köyü ve Kızılinler çevresinde geniş yayılım göstermektedir (Gözler, Cevher ve Küçükayman, 1985, ss. 46-47). Geçmişte, Seyitgazi ilçesinin batısındaki Kayapınar, Aşağıçağlan, Yukarıçağlan ve Gümele köylerinde bazalt ocaklarının bulunduğu ve bunlardan büyük kütleler halinde taş çıkarıldığı bilinmektedir. Kayapınar bazaltı çok siyah renkte olmayan ve yoğun (boşluksuz), Gümele bazaltı ise boşluklu ve daha az mukavemetli bir yapıya sahiptir (Sayar ve Erguvanlı, 1955, ss. 88-89, 112).

Eskişehir doğal taş rezervinde olduğu gibi, endüstriyel hammadde açısından da önemli maden yataklarına sahiptir. Örneğin, Türkiye'nin önemli bor yataklarından Kırka bor sahası Eskişehir'de bulunmaktadır. Diğer maden yatakları ise manyezit, sepiyolit, mermer, kaolen, perlit, mika ve kum-çakıl yataklarıdır (http-11).

Eskişehir ve Karacaşehir köyünün jeolojik altyapısı ile ilgili yapılan araştırma sonunda, kalenin bulunduğu bölgede zengin bazalt yataklarının bulunduğu görülmüştür. Bu durum, kalede kullanılan bazaltların bu bölgeye ait olduğunu ve eski çağlarda bu bazalt ocaklarının kullanıldığını göstermiştir (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. *Eskişehir merkez jeoloji haritasında Karacahisar kalesinin konumu*

(Şengüler ve Izladı, 2013, s. 107)

2.1.3. Ülkemizde bazı tarihi yapılarda kullanılan doğal taşlar ile ilgili alanyazın

Talu, Kadıkalesi'ne (Kuşadası) ait doğal taşlarda meydana gelen bozulma türü ve derecesini incelemiştir. Ayrıca, çalışmada bazı harç örnekleri ve doğal taşların karakteristik özellikleri araştırılmıştır. Araştırmanın sonunda, kale taşlarında çatlamaya ve kütle kaybına neden olan en önemli etkenin, biyolojik oluşumlar olduğu tespit edilmiş ve bunu önlemenin yolu olarak, taş yüzeylerindeki tuz birikintilerinin temizlenmesi, çatlak ve oyukların onarılması veya kapatılması ve otların temizlenmesi gerektiği ifade edilmiştir (Talu, 2005).

Tokmak, Ankara kalesinin bir bölümünde kullanılan Ankara andezitlerinin karakteristik özelliklerini ve bozulma biçimini incelemiştir. Araştırmanın sonunda, andezitlerin yapılan yanlış uygulamalar sonucunda olumsuz yönde etkilendiği ve oldukça fazla hasara uğradığı belirlenmiştir (Tokmak, 2005).

Acun Özgünler, tarihi yapılarda kullanılan od taşının ozelliklerini ve bozulma morfolojisini araştırmış ve volkanik tüf türü taşların konservasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmiş ve üç tarihi yapıdan alınan od taşında bulunan feldispat minerallerinin hava kirliliği, yağışlar ve yanlış restorasyon uygulaması sonucu bozunarak, smektit türü kil mineraline dönüştüğü ve bu durumun da taş yüzeylerine yansıdığı belirlenmiştir. Araştırmacı, tarihi yapılardan aldığı hasarlı taşlara çeşitli sağlamlaştırıcı ve su itici malzemeler uygulamış, taş ocağından aldığı yeni od taşı örneklerine de su itici uygulayarak, bu malzemelerin doğal taşların durabilitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır (Acun Özgünler, 2007).

Kaplan ve arkadaşları, arkeolojik alanlardaki andezit anıtların bozulma biçimlerini incelediği çalışmada, doğal taşlarda donma-çözünme döngüsü ve kil minerallerinin etkisi ile çeşitli fiziksel ve kimyasal bozulmaların meydana geldiğini belirlemiştir (Kaplan vd. 2013).

2.2. Tuğla

Tuğla, "Kil veya diğer killi topraktan, kum vb. maddeler katılarak veya katılmadan, seramik bağ elde etmeye yeterli yüksek sıcaklıkta pişirilmek sureti ile elde edilen kâgir birim"dir (TSE, 2012a, s. 3). Tuğlalar tarih boyunca mimaride doğal taşlar kadar önemli bir rol oynamıştır. Tuğlanın üretim süreci daha önce de bahsedildiği gibi kerpicin keşfi ile başlamıştır. Yerleşim bölgesinde kullanmak için yeterince doğal taş bulamayan

insanoğlu, kili elle şekillendirerek, güneşte kurutmuş ve ilk yapay yapı malzemesini elde etmiştir (Akman, 2003, s 32).

Kerpiç kullanımının en güzel örneğini Aşıklıhöyük'te (Aksaray) görmek mümkündür. M.Ö. 9000'li yıllara ait olduğu düşünülen Aşıklıhöyük'teki yerleşim alanının tüm duvarları kerpiç tuğladan inşa edilmiştir (Bkz. Görsel 2.5). Benzer şekilde, Eskişehir'de bulunan Dorylaion ismi ile bilinen Şarhöyük'teki yapı duvarlarının da kerpiçten inşa edildiği ortaya çıkarılmıştır. Höyüğün kuzey ve batı kesiminde yürütülen kazılarda ortaya çıkarılan Frig, Hellenistik ve Roma dönemlerine ait açık avlulu evlerin taş temeller üzerine inşa edildiği, kerpiç duvarlı olduğu ve çatılarının ahşap dikmelerle taşındığı aktarılmıştır (Sivas ve Sivas, 2009, s. 831).

Kerpiç, sıcak ve soğuğa karşı iyi yalıtım özelliği olan, mekân içindeki nemi dengeleyen, yangına dayanıklı, her yerde bulunabilen, işçiliği ucuz, ekolojik ve suya karşı önlem alındığında uzun ömürlü bir malzemedir (Bektaş, 2018, s. 49).



Görsel 2.5. *Aşıklıhöyük'te ortaya çıkarılan kerpiç duvarlı antik yerleşim (Aksaray İl Kültür Turizm Müdürlüğü Arşivi, http-12)*

Kerpiç üretiminden tuğla üretimine geçiş süreci arasında uzun bir zaman geçmiştir. Pişmiş tuğla çok gelişmiş bir uygarlık olan Sümerler döneminde, yaklaşık M.Ö. 3500'de üretilmiştir. Sümerler, Babil'de Etemenanki (Babil Kulesi olduğu tahmin edilen)

zigguratında[2] ve konutlarının temellerinde pişmiş tuğla, duvarlarında çiğ tuğla, çatı örtüsünde de ince kiremitler kullanmıştır (Akman, 2003, s. 32). Görsel 2.6'da Sümer dönemine ait olan ve tümüyle pişmiş tuğladan inşa edilen Büyük Ur Zigguratı (M.Ö. 21) ve Görsel 2.7'de zigguratın çıkış merdivenlerindeki tuğlalar görülmektedir. Tapınağın sadece zemin katında her birinin ağırlığı 15 kg'a kadar çıkan ve Ur-Nammu adına mühürlenmiş yedi milyona yakın tuğla kullanılmıştır (Kelly, 2018, s. 22).



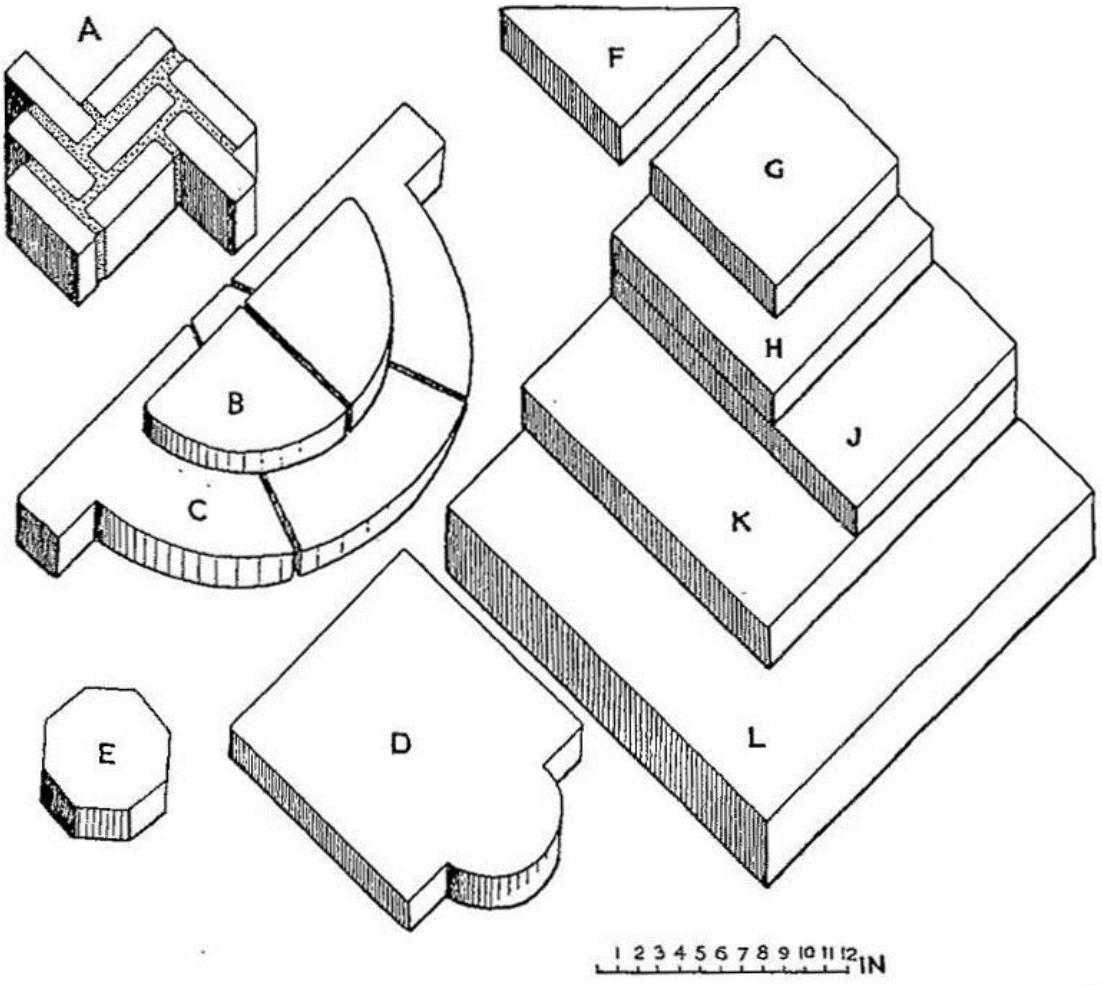
Görsel 2.6. *Sümer dönemine ait Büyük Ur Zigguratı (http-13)*



Görsel 2.7. *Ur zigguratında tuğla kullanımı (http-13)*

[2] Ziggurat, eski Mezopotamya'da Sümer, Babil ve Asur dönemlerinde kullanılan piramitlere benzeyen tapınaktır.

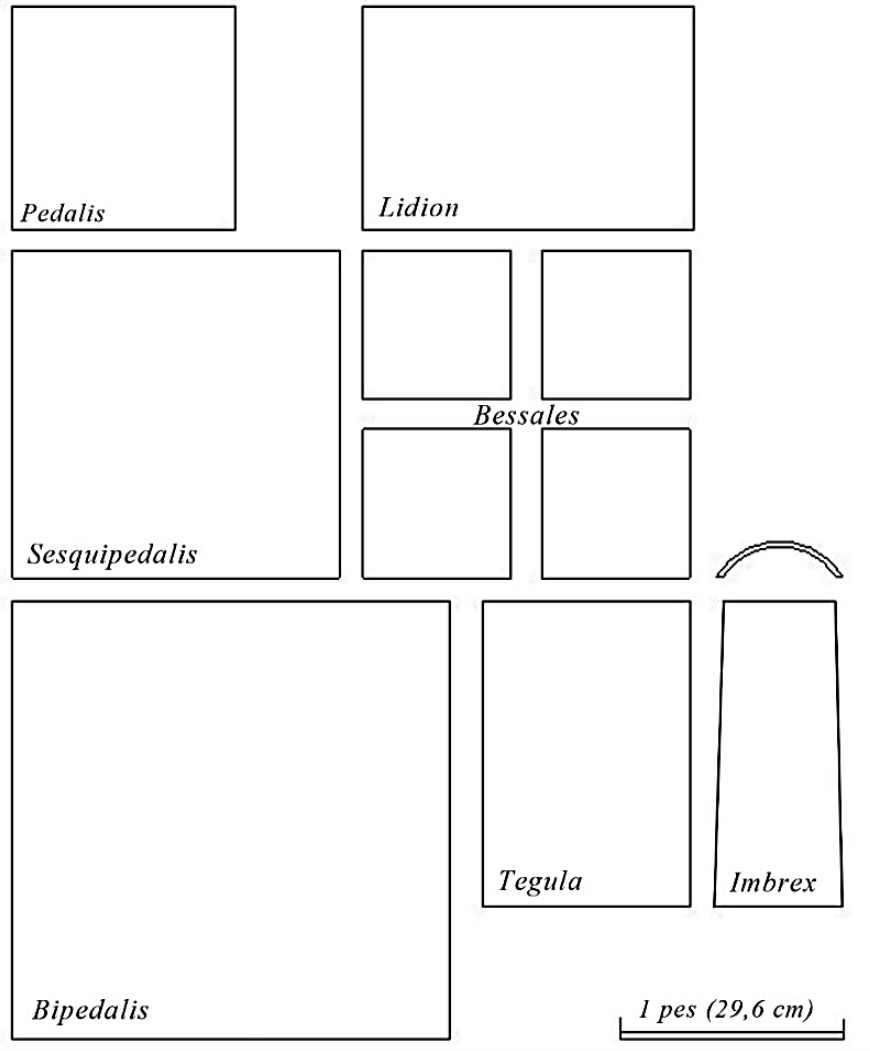
Roma döneminde tuğla boyutlarında standartlaşma sağlanmış ve özel amaçlara yönelik çok çeşitli tuğla tipleri üretilmiştir. Şekil 2.2'de Roma tuğlalarının boyutsal oranları ve bu tuğlaların kullanım amacı verilmiştir. Bu dönemde tuğla boyutları Roma ayağının (29,6 cm) katları veya bölümlerine göre belirlenmiş ve tuğlalar yüzey alanına göre isimlendirilmiştir (Ward-Perkins and Bryan, 1994). Vitrivius (2005, s. 30), Roma döneminde üç tuğla tipinin yaygın olarak kullanıldığını aktarmıştır (Bkz. Şekil 2.3). *Lidia (Lydion)* olarak bilinen birinci tuğla tipi, yaklaşık olarak 1x1,5 Roma ayağı (29,6x44,4 cm) uzunluğa ve 2,5 cm kalınlığa sahiptir. Diğer bir görüşe göre de bu tuğlanın asıl boyutları 1x1,3 Roma ayağıdır (29,6x38,5 cm). Diğer tuğla tipleri ise beş karış ölçüsündeki *pentadoron* ve dört karış ölçüsündeki *tetradoron*'dur. Yunanlılar kamusal yapılarda büyük olan pentadoron tipini, özel yapılarda ise tetradoron tipini kullanmıştır. Bu tuğlaların dışında Roma döneminde *pedalis* adı verilen ve 28x28 cm ölçülerinde ve 4,5 cm kalınlığında tuğlalar ile bu ölçülerden daha küçük olan ve kalınlığı genelde 2,5 cm olan *bessalis* isimli tuğlalar üretilmiştir. Dönemin en büyük tuğla tipi ise *bi-pedalis* adı verilen ve genelde 2 Roma ayağı uzunluğa (≈58 cm) ve 5 cm kalınlığa sahip olan tuğla tipidir. Hatta, bu tuğlanın boyutlarının zaman zaman 60x60x8 cm'e kadar çıktığı da olmuştur (Davey, 1961).



Kod	Açıklama
A	Zeminde kullanılan küçük boyutlu tuğla tipidir
B	İnce sütun inşa etmek için kullanılan tuğla tipidir
C	Kalın sütun inşa etmek için kullanılan tuğla tipidir
D	Özel şekilli sütun inşa etmek için kullanılan tuğla tipidir
E	Küçük sekizgen sütün-dikme inşa etmek için kullanılan tuğla tipidir
F	Roma duvarlarının yüzey örgüsünde kullanılmış üçgen karolardır (laterx trigones)
G	Bina direği inşa etmek için kullanılan, 8 inç^2 (52 cm^2) kesitli küçük tuğla (laterculi bessales)
H	Dört avuç içi kare tuğlası tipidir (tetradoron)
J	Batı İmparatorluğunda çok yaygın olan dikdörtgen tuğla tipidir (lidion)
K	1,5 ayak kare büyüklüğüne sahip kare tuğla tipidir (sequipedales)
L	2 ayak kare büyüklüğüne sahip kare tuğla tipidir (bipedalis)

Şekil 2.2. *Roma tuğlası çeşitleri ve kullanım alanları*

(Davey, 1961, ss. 71-72)



Şekil 2.3. *Roma tuğlalarının boyutsal oranları (Warren, 1998, s. 74)*

Roma tuğlasının kaliteli olmasının tuğla hamurunun çok iyi hazırlanmış olması ve plastik killerin kullanılmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Kaliteyi etkileyen önemli diğer bir etken ise, kalıplamanın ardından, fırına yerleştirilinceye kadar tuğlaların yeterince sertleşmesinin sağlanmış olmasıdır (Davey, 1961, s. 74).

Bizans döneminde tuğlalar kare şeklinde, boyutları 14-15 inç (35-38 cm), kalınlıkları da 1,5-2,5 inç (4-6 cm) arasında olmak üzere, Roma tuğlalarından biraz daha büyük boyutlarda üretilmiştir. Bu durumun Bizans ayağının (31,2 cm), Roma ayağından (29,6 cm) daha büyük olmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Erken Bizans döneminde (M.S. 395-842) üretilen tuğlaların büyük boyutlu olması, bu dönem için karakteristik bir özellik olup, bu dönemde tuğlaların kenar uzunluğu genellikle 37-39 cm arasında ve sınır değerleri 35-40 cm arasındadır. Orta Bizans döneminde (M.S. 842-1204) tuğlaların kenar

uzunlukları ortalama 33-36 cm arasında ve sınır değerleri 30-38 cm'dir. Geç Bizans döneminde (M.S. 1204-1453) tuğla boyutları biraz daha küçülerek, 30-34 cm arasında ve sınır değerleri 28-37 cm'dir. Buna göre, Bizans döneminde tuğla boyutlarının zamana bağlı olarak küçüldüğü görülmektedir. Ayrıca, bu dönemde kemer, tonoz ve kubbeler tamamen tuğla ile örülmüş, geniş açıklıkları geçen kemerlerde bazen iki kat büyük, Romalıların *bipedales* tuğlasına benzer tuğlalar kullanılmıştır (Mango, 2006, ss. 10-11; Kahya, 1992, s. 23).

Kalınlıkları göz önüne alındığında, Bizans dönemi tuğlalarının (kalınlığı 3,5-4 cm), Roma dönemi tuğlalarından (kalınlığı 3-3,5 cm) daha kalın olduğu görülür. Kalın tuğlaların üretimi, kuruma ve pişme sırasında daha az fire verildiği için, ince tuğlaların üretiminden daha kolaydır ve bu tuğlalar duvarda malzemelerin eğrilik ve çarpıklığını ince tuğlaya göre daha iyi gizleyebilmektedir (Kahya, 1992, s. 24). Bizans döneminin temel yapı malzemesi olan tuğla, bu dönemde çok fazla uygulanan almaşık teknik için önemli bir rol oynamıştır. Bu teknikte önce duvarın iki yüzü kesme taş ile sıra sıra örülür, sonra arasındaki boşluk harç ve moloz taş ile doldurulmuştur. Duvar örgüsü birkaç ayak yüksekliğine ulaştığında, duvarın bir yüzünden diğer yüzüne kadar, tüm duvar boyunca, genellikle beş sıradan oluşan bir tuğla hatıl örülür ve bu işlem duvar boyunca tekrarlanmıştır. Bu yapım tekniğinde tuğlalar, duvarın iki yüzünü birbirine bağlamanın ötesinde, duvar kalınlığını belirleyen bir tür ölçü işlevine sahipti. Almaşık tekniği çok sayıdaki tarihi yapıda görmek mümkündür, örneğin; 6. yüzyılda inşa edilen İstanbul surları ve Kariye müzesi (Kilisesi) veya M.S. 450'lerde inşa edilen Ioannes Studios bazilikası. Diğer taraftan tamamen tuğladan inşa edilen örnekler de vardır, örneğin; İstanbul'da bulunan, M.S. 450 yılına ait Theodokos Khalkoprateia bazilikası ve 10. yüzyıla ait Bodrum camisi vb. Almaşık teknik, 14. yüzyıla kadar Bizans yapılarının tamamında kullanılmıştır. Ancak, daha sonra tuğla yetersizliği nedeni ile yapılar sadece moloz taştan inşa edilmiştir. Bizans döneminde tuğlalar özellik açısından değişmemiş olsa da, 11. ve 12. yüzyılda "gizli tuğla örgüsü" için normal tuğlalardan daha küçük ve ince (2,5-3 cm kalınlığında) tuğlalar üretilmiştir. Bu teknikte, her iki sırada bir tuğla sırası hafif içe kaydırılıp, yüzeyi harç ile kaplanarak, cephede daha geniş derzler elde edilmiştir. Bu yapım tekniği 11 ve 12. yüzyılda tüm Bizans yapılarında uygulanmıştır (Mango, 2006, ss. 10-11).

Tarihi yapılarda tuğlalar sadece düşey taşıyıcı olarak değil, kemer ve tonoz gibi açıklıklıkları geçmek için de kullanılmıştır. Buna örnek olarak, Bizans İmparatoru I. Justinianus (M.S. 527-565) tarafından 532'de inşa edilen ve İstanbul'un en büyük kapalı su deposu olan Bazilika sarnıcı veya bilinen adıyla Yerebatan sarnıcı verilebilir (http-14). 70x140 m boyutlarında ve 8 m derinlikteki yapı, toplam 336 sütündan oluşmuştur. Sarnıcın çapraz tonozlu üst örtüsü ve 4,80 metre genişliğindeki duvarları tuğladan örülmüş olup, duvarların su geçirimsizliği kalın tabakalar halinde uygulanan horasan harcı ile sağlanmıştır (Topal, 2012, s. 20).

Tarih içinde kiremit kullanımına bakıldığında, Yunanistan'ın Lerna kentinde yapılan arkeolojik kazılarda M.Ö. 1800'lü yıllara ait olduğu düşünülen, uzunluğu 23 cm ve genişliği 19 cm olan kiremitler elde edilmiştir. Vitrivius (2005) de Roma dönemindeki tapınakların çatılarında düz ve alaturka kiremitlerin kullanıldığından bahsetmiş ve bu düz kiremitlerin uzunluğunun 120 cm ve genişliğinin 85 cm olduğunu aktarmıştır (Warren, 1998, ss. 2-3).

2.2.1. Tuğlanın hammaddeleri

Tuğla seramik bir malzemedir. Seramik kelimesi, toprak, su, ateş ve havadan oluşmuş malzemeleri tanımlamak için kullanılan ve kökeni eski Yunanda "pişmiş madde" anlamına gelen *keramos* kelimesinden gelmektedir. Tuğla üretiminde kil, kuvars ve ergitici (Mg-Ca ve Na-K silikatlar) olmak üzere üç temel hammadde kullanılmaktadır. Bu hammadeler yaş olarak değirmenlerde birlikte öğütülerek karıştırıldıktan sonra, şekillendirilerek pişirilir (Aras, 2009, s. 222).

Kil terimi, konuyla ilgilenen bilim dallarına göre farklı anlamlar taşımaktadır. Jeolojide kil terimi, 2 μ'dan küçük tane boyutlarını ifade etmek için kullanılırken; killer, malzeme mühendisliğinde ısı etkisi sonucu sertleşme özelliğine göre, mühendislikte ise plastisite özelliğine göre tanımlanmaktadır (Saka, 1997, s. 89). Killerin birçoğu su ile karıştırıldığında plastisite özelliği kazanır ve buna bağlı olarak yüksek plastisiteli (yağlı) ve düşük plastisiteli (yağsız) olarak sınıflanır. Kilin plastisitesini etkileyen faktörler tane boyut ve dağılımı, tane şekli, kil mineralinin türü, çözünür tuzlar, organik maddeler ve kil olmayan minerallerin türü ve miktarıdır (Murray, 2007, s. 75).

Volkanik kayaçların veya şeyllerin doğal bozunması veya parçalanmasının ürünü olan, tamamen saf ve plastik killere birincil killer, belli miktarda kum ve silt içeren,

alüvyonlu ve rüzgarla taşınan killere ise ikincil killer denir. Killerin çoğu kristal yapıya sahiptir ve killer bu yapı ve katmanlara göre de sınıflanır. Kil çeşitlerinin her birinin yapısı ve kompozisyonu birbirinden farklı olup, fiziksel ve kimyasal özellikleri de farklıdır (Kuşçu, 2001, s. 123; Murray, 2007, ss. 1-2). Killer ile ilgili herhangi bir kimyasal özellik belirtilmese de, killerin çoğunluğu diğer kayaç bileşenlerinden daha yüksek alüminyum içerikleri ile ayırd edilir (Saka, 1997, s. 89). Killer aynı zamanda CaO miktarına göre de gruplanabilmektedir; %5 ve üzerinde CaO içeren killer kalkerli kil, %5'in altında CaO içeren killer de kalkersiz olarak tanımlanır. Ancak, kilin bünyesindeki CaO fazlalığının, kalkerli bileşenlerin (özellikle deniz killerinde) veya safsızlık[3] olarak bulunan kireçtaşından kaynaklanabileceği unutulmamalıdır (Montana, 2017).

İyi bir tuğla toprağı, kum veya kayaç şeklinde yaklaşık %60 silika, %20 alümina, ve %20 kireç, sodyum, magnezyum ve demir bileşenlerinden oluşur. Silika, kilin pişmesi esnasındaki büzülme ve küçülme miktarının kontrol altında tutulmasını sağlar, çünkü, kuvars yüksek ısı altında bile yapısını koruyabilmektedir. Silika bileşeni aynı zamanda malzemeye sertlik, durabilite ve yangına karşı dayanım sağlar; ancak, gereğinden fazla kullanımı malzemenin kırılganlığını arttırır. Alümina ise tuğla toprağının plastisitesinde önemli rol oynar (Stock, 2008, ss. 46-47).

Tuğlalar genellikle illit, montmorillonit, kaolinit, klorit, kuvars, kalker ve demir oksit mineralleri içeren killerden üretilir ve kullanılan kilin kalitesi, sonuç ürünün karakteristik özelliğini doğrudan etkiler. İllit grubu killer bir miktar kaolin, klorit ve mika içermekle birlikte, genelde "tuğla-kiremit toprağı" olarak bilinmektedir. Esas bileşeni kaolinit minerali olan kaolinitik killer ise, yer ve duvar seramik üretiminde, smektitik killer de genelde seramik ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Tuğla üretiminde alkali ve toprak alkaliler eritici olarak önemli rol oynamakta ve en fazla kullanılanlar Na-K feldispatlardır. Pişme sürecinde bünye içinde oluşan cam fazın vizkositesi Na-feldispatlarda düşük, K-feldispatlarda ise yüksektir. Toprak alkali eriticiler (anortit, kalsiyumlu) kullanıldığında daha düşük sıcaklıkta, katı halde yeni minerallerin oluştuğu daha dayanıklı seramikler üretilmektedir. Killer ile ilgili detaylı bir sınıflandırma Çizelge 2.1'de verilmiştir (Aras, 2009, s. 223).

[3] Safsızlık terimi, miktarına bağlı olarak içinde olduğu maddenin özelliklerini değiştiren, doğal olarak bulunabileceği gibi, sonradan da ilave edilen maddeleri tanımlamaktadır (http-18'den uyarlanmıştır).

Çizelge 2.1. *Killerin sınıflandırılması (Grim, 1968; Murray, 2007, s. 8)*

I. Amorf Killer	: Allofan Grubu
II. Kristal Yapılı Killer	
1. İki katmanlı killer:	
a) Eş boyutlu tip	: Kaolin grubu, kaolinit, dikit, nakrit
b) Uzamış boyutlu	: Halloysit
2. Üç katmanlı killer:	
a) Genleşebilir killer:	
A1) Eş boyutlu tip	: Smektit grubu, sodyum montmorillonit, Kalsiyum montmorillonit, vermikülit
A2) Uzamış boyutlu	: Smektit, nontronit, saponit, hektorit
b) Genleşmeyen killer	: İllit
3. Düzenli Karışık Katmanlı Killer	: Klorit grubu
4. Zincir Yapılı Killer	: Sepiyolit, paligorskit (attapuljit)

Saf bir kilin (kaolin) rengi beyazdır, diğer killer ise pişmeden önce kirli sarı, pembe, kırmızımsı, kestane rengi, mavimsi, yeşil ve siyahımsı renktedir. Kile kırmızı rengini veren hematit ve limonit mineralleridir. Renksiz olan titanyum oksit minerali de ayrıca renklenmede rol oynamaktadır. Demir oksit bileşikleri tuğlanın renginin yanı sıra, sertliğini, su emme yüzdesini, küçülme miktarını, yoğunluğunu ve dona dayanımını etkilemektedir. Örneğin, demir oksit yüzdesinin artması, malzeme sertliğinin artmasına ve su emme yüzdesinin azalmasına neden olmaktadır. Demir oksit yüzdesinin, demir sülfat ve karbonların pişme sırasında malzemede çatlama, parçalanma ve çiçeklenmeye neden olduğundan, ağırlıkça miktarının %8-10'u geçmemesi önemlidir. Yüksek ısıda pişirilen tuğlaların bünyesinde kireçtaşı veya dolomit bulunması da kimyasal bozulmaya neden olabilir. Çünkü, pişme sırasında kil hamuru içindeki $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ ayrışarak, CaO ve MgO'e dönüşür. Tuğlalar tekrar bünyesine su aldığında da CaO ve MgO su ile birleşerek, $Ca(OH)_2$ ve $Mg(OH)_2$'e dönüşür ve tuğlanın hacminde önemli miktarda artışa neden olur. Bunun sonucunda, malzeme kireç krateri oluşturarak, kabuk atar veya parçalanır. Bu kusur, özellikle suya fazla maruz kalan tuğlalarda önemli hasarlara neden olur. Bu durumu önlemek için, kil hamurunun içine ilave edilen kireçtaşının mümkün olduğu kadar az miktarda bulunması veya çok ince öğütülmesi önerilmektedir (Toydemir vd., 2004, Karaman, 2006, s. 127).

Tuğla kalitesini etkileyen etkenler, malzemenin hazırlama yöntemi, kalıplama şekli ve pişme derecesidir (Stock, 2008, ss. 46-47). Örneğin, tarihi kaynaklara göre tuğlalar tamamen kurumasını ve dayanıklı olmasını sağlamak amacı ile ilkbahar veya sonbaharda hazırlanırdı. Çünkü, yaz mevsiminde hazırlanan tuğlaların dış yüzleri yakıcı güneş altında hızlı bir şekilde kurusa da, içi nemli kalır ve kusurlu olurdu. Tuğlaların tamamen kuruması ise en az iki yıl sürdüğü için, üretilen tuğlaların yapıda kullanmadan önce 2-5 yıl arasında beklendiği olurdu. Hatta, geçmişte tuğlalar önce çatıda kullanılarak test edilir, sonra da aralarından açık hava koşullarına dayanıklı olanlar seçilerek yapıda kullanılırdı (Vitrivius, 2005, ss. 32, 42).

2.2.2. Pişmiş kil ürünlerde ısıya bağlı faz değişimleri

Pişmiş kil ürünlerin kompozisyonunda bulunan mineraller genellikle 700ºC'nin üzerinde ısının etkisi ile metamorfizmaya uğrayarak dönüşmeye başlar. Pişme esnasında önce mineral tabakaları arasında tutulan serbest su, ardından ≈400ºC'den önce organik maddeler gaz halinde bünyeden uzaklaşır. Bu durum tuğlaların görünümünü bozduğu ve dayanımının zayıflamasına neden olduğu için, tuğla hamurunda olabildiğince az miktarda organik madde bulunması önemlidir. 450-650ºC arasında, kil minerallerinin bağları arasında tutulan su molekülleri uzaklaşır ve sıcaklığın artması ile birlikte, kilin kristal yapısı bozunarak, $2Al_2O_3.4SiO_2$ halinde sinterleşmesi ve demirli bileşiklerin hematite (Fe_2O_3) dönüşmesi sonucu tuğla adı verilen malzeme ortaya çıkar (Karaman, 2006, s. 126).

Kaolinit kili ≈500-650ºC'de Reaksiyon (2.1) sonucunda metakaoline ve ≈925ºC'de Reaksiyon (2.2) ile metakaolin Si-Al spinel fazı ve silikaya, ≈980-1200ºC civarında, Reaksiyon (2.3) ile spinel, mullit ve kristobalit fazına dönüşür (Murad and Wagner, 1998, s. 340). Mullit oluşumu, silikat seramikleri için son derece önemlidir. Genelde, kaolinit ve feldispat miktarı ve cinsine göre 980ºC'de birincil mullit ve 1200ºC'de ikincil mullit fazı oluşur. İkincil mullit oluşumundan kalan silika ise ≈1470^{0}C'de kristobalite dönüşür.

$$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 \longrightarrow \underset{\text{(Metakaolin)}}{Al_4Si_4O_{14}} + 4H_2O \qquad (2.1)$$

$$Al_4Si_4O_{14} \longrightarrow Al_4Si_3O_{12} + SiO_2 \qquad (2.2)$$

$$1.5\ Al_4Si_3O_{12} \longrightarrow 3\ Al_2O_3 + 5\ SiO_2 \qquad (2.3)$$

Isı artışı ile birlikte faz değiştiren diğer önemli mineraller kalsit ($CaCO_3$), magnezit ($MgCO_3$) ve dolomittir ($CaMg(CO_3)_2$). Bu mineraller 700ºC'den önce bozunmaya başlayarak, kalsit yaklaşık 830-870ºC arasında, dolomit ise 780-860ºC arasında, magnezit ise 450-520ºC arasında faz değiştirir. Dolomit, ısının etkisi ile Reaksiyon 2.4'te görüldüğü gibi kalsiyum oksit ve periklasa ayrışır. Periklas suyun varlığında Reaksiyon (2.5) ile brusit mineraline, brusit minerali Reaksiyon (2.6) ile havadaki CO_2'in etkisi ile hidromagnezite dönüşür. Kalsitin dönüşümü Reaksiyon (2.7)'de gösterilmiştir. Artan ısı ile birlikte kalsit önce bünyesindeki CO_2'i kaybederek, sönmemiş kirece dönüşür ve ortamda su bulunması durumunda su ile reaksiyona girerek, Reaksiyon (2.7)'de görüldüğü gibi, sonunda portlandit (kalsiyum hidroksit) mineraline dönüşür (Boynton, 1980; Cultrone vd., 2004, s. 550).

$$\underset{\text{(dolomit)}}{CaMg(CO_3)_2} \longrightarrow \underset{\textit{(sönmemiş kireç)}}{CaO} + \underset{\textit{(periklas)}}{MgO} + 2CO_2 \quad (700ºC) \qquad (2.4)$$

$$\underset{\textit{(periklas)}}{MgO} + H_2O \longrightarrow \underset{\textit{(brusit)}}{Mg(OH)_2} \qquad (2.5)$$

$$5\,\underset{\textit{(brusit)}}{Mg(OH)_2} + 4CO_2 \longrightarrow \underset{\textit{(hidromagnezit)}}{Mg_5(CO_3)_4(OH)_2} + 4H_2O \qquad (2.6)$$

$$\underset{\textit{(kalsit)}}{CaCO_3} \xrightarrow{CO_2 \uparrow,\ \Delta T} \underset{\textit{(sönmemiş kireç)}}{CaO} + H_2O \longrightarrow \underset{\textit{(portlandit)}}{Ca(OH)_2} \quad (830\text{-}870ºC) \qquad (2.7)$$

İllit mineralinin davranışı ısı altında kaolinit mineralinin davranışından farklıdır. İllit yaklaşık 100ºC'de dehidrasyona[4] uğrarken, dehidroksilasyonu[5] ise en fazla 400-550ºC arasında ve kısmen tersinir olmaktadır. İllitin bozunması 700°C'nin üstünde başlar ve piki de 900-1000ºC arasında kaybolur. İllit ve kalsitin 800ºC'nin üzerindeki reaksiyonlarında gehlenit minerali oluşmaya başlar ve gehlenitin en şiddetli piki 900ºC'de görüldükten sonra, artan ısı ile birlikte azalır (Bkz. Reaksiyon (2.8)). İllit ve kalsit minerallerinin 900ºC'nin üzerinde ise hem alkali, hem de plajiyoklas feldispatların

[4] Sıcaklık artışına bağlı olarak, bir mineralin bünyesinde emilen suyu (H_2O) kaybolmasıdır.

[5] Sıcaklık artışına bağlı olarak bir mineralin kristal yapısında bulunan suyun (OH) kaybolmasıdır.

oluştuğu Reakisyon (2.9)'da görülmektedir. Benzer şekilde dolomit ve silikanın 900ºC'nin üzerindeki reaksiyonlarında diyopsit minerali meydana gelmektedir (Bkz. Reaksiyon (2.10)). Mikroklin minerali 1000ºC'nin üzerinde kaybolurken, sanidin minerali oluşmaya başlar. Vollastonit minerali de CaO ve SiO_2 reaksiyonu sonucunda ~800ºC' nin üzerinde ortaya çıkar (Bkz. Reaksiyon (2.11)). Mullit minerali yaklaşık 800ºC'de ortaya çıkmaya başlar ve en şiddetli piki 3.39 Å'da görülür (Bkz. Reaksiyon (2.13)) (Saka, 1997, s. 116; Murad and Wagner, 1998; Cultrone vd., 2001, s. 624).

$$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2+6CaCO_3=3Ca_2Al_2SiO_7+6CO_2+2H_2O+K_2O+3SiO_2\ (800^{\circ}C) \quad (2.8)$$
(illit) (kalsit) (gehlenit)

$$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2+2CaCO_3+4SiO_2=2KAlSi_3O_8+2Ca_2Al_2SiO_8+2CO_2+H_2O\ (900^{\circ}C) \quad (2.9)$$
(illit) (kalsit) (K-feldispat) (anortit)

$$SiO_2+CaMg(CO_3)_2=CaMgSi_2O_6+2CO_2\ (900^{\circ}C) \quad (2.10)$$
(dolomit) (diyopsit)

$$CaO + SiO_2 = CaSiO_3\ (800^{\circ}C) \quad (2.11)$$
(sönmemiş kireç) (vollastonit)

$$3Ca_2Al_2SiO_7+2SiO_2 = CaSiO_3 + 2Ca_2Al_2SiO_8\ (T>950^{\circ}C) \quad (2.12)$$
(gehlenit) (vollastonit) (anortit)

$$3KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2+2SiO_2 = 3KAlSi_3O_8+Al_6Si_2O_{13}+3H_2O+\text{eriyik} \quad (2.13)$$
illit (muskovit) (sanidin) (mullit)

2.2.3. Pişmiş kil ürünler ile ilgili alanyazın

2.2.3.1. *Yurtiçinde yapılan çalışmalar*

Kahya, İstanbul'da bulunan bazı Bizans dönemi yapılarında kullanılan tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikler açısından oldukça iyi özellikler taşıdığını belirlemiştir. Çalışmada, dönemi ve boyutlarına göre sınıflandırılan Bizans tuğlalarının yassı ve kare şekilli olduğu ve zamana bağlı olarak boyutlarının küçüldüğü tespit edilmiştir. Tuğla boyutlarının Bizans ayağı ve parmağı ile tayin edildiği ve en sık kullanılan tuğla kenar boyutunun 19-20 parmak olduğu belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre en düşük birim hacim ağırlık değerine en erken yüzyılda (4. yy), en yüksek olanı ise 14. yy yapılarında tespit edilmiş ve Bizans tuğlalarının yoğunluğunun zamana bağlı olarak arttığı tespit

edilmiştir. Tuğlaların kütlece su emme değerleri de buna paralel bir gelişme göstermiştir. Ayrıca, çalışmada tuğla hamurunun kaba safsızlık içermediği, homojen olarak hazırlandığı ve sıkıştırılarak kalıplandığı aktarılmıştır (Kahya, 1992).

Aslan Özkaya, Bergama'da bulunan Serapis tapığına ait özgün ve restorasyon tuğlaları ile sıva ve harçların karakteristik özelliklerini incelemiştir. Yapıda kullanılan Roma dönemi tuğlalarının kaba taneli kayaç ve kırık tuğla parçaları içerdiği ve tuğlaların düşük yoğunluklu ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, tarihi tuğlaların düşük miktarda kalsiyum içeren killerden üretildiği ve pişme sıcaklığının 900ºC'yi geçmediği tespit edilmiştir. Roma ve Bizans dönemlerine ait özgün harçlarda düşük miktarda kireç kullanıldığı (%20-25) ve bu nedenle de harçların çalışılabilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Bizans sıvalarında da düşük miktarda (%30) kireç kullanıldığı görülmüştür. Çalışmada, harçlara ilave edilen kırık pişmiş kil ürünlerin puzolanik özellik taşıdığı; ancak, yığma yapı tuğlalarının puzolanik özellik taşımadığı belirlenmiş, bu nedenle de hidrolik harç elde etmek için bilinçli olarak düşük ısıda (≈600-900º) pişirilen tuğlaların kullanıldığı tespit edilmiştir. Yapıda uygulanan restorasyon harçlarının ise kireç ve çimento ile hazırlandığı ve bu nedenle harçların mekanik özelliklerini yitirdiği görülmüştür (Aslan Özkaya, 2005).

Karaman, Erşahin ve Günal, pişme derecesi ve süresinin tuğlaların özellikleri üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmada, artan ısıya bağlı olarak, tuğla yoğunluğunun ve mukavemetinin arttığı, pişme süresinin uzamasının ise bir farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir (Karaman, Erşahin ve Günal, 2006).

Gültekin ve Albayrak, serpantin minerallerinden antigorit mineralinin ısıl faz dönüşümünü araştırdığı çalışmada, atmosfer basıncı altında ısıl işleme tabi tutulan antigoritin yaklaşık 650-690°C sıcaklık seviyesine kadar duraylı kaldığını, dehidroksilasyon sırasında yaklaşık 550°C'den sonra antigorit ve forsterit birlikteliği görüldüğünü, 650°C'den sonra ise forsteritin yanında enstatit oluşmaya başladığını, 690°C'den itibaren ise forsterit ve enstatit birlikteliği görüldüğünü belirlemiştir (Gürtekin ve Albayrak, 2006).

Oğuz, İstanbul'da bulunan Bizans dönemi yapıları ile Erken Osmanlı dönemi yapılarında uygulanan yapım tekniklerini incelediği ve her iki dönemin tuğla ve harçlarının karakteristik özelliklerini karşılaştırdığı çalışmasında, Bizans dönemi yapılarında derzlerin daha kalın olduğunu, Bizans yapılarında kullanılan taş boyutlarının,

Erken Osmanlı dönemi yapılarına göre daha küçük boyutlarda olduğu aktarılmıştır. Çalışmada Bizans tuğlalarının gözenekliliğinin zamanla azaldığı; ancak, harçların gözenekliliğinin arttığı tespit edilmiştir (Oğuz, 2009).

Bağbancı, Özcan ve Köprülü Bağbancı, Bursa'da bulunan 14. yy'a ait Ördekli hamamında kullanılan özgün malzemelerin karakteristik özelliklerini incelemiştir. Çalışmanın sonunda, hamamda kullanılan yapı malzemelerinin durabilitelerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Harçların bağlayıcı:agrega oranı temellerde 2:3, duvar ve kubbede 1:2 olduğu ve harçların hidrolik özellik taşıdığı belirlenmiştir. Analizlerin sonucunda harçların aynı zamanda puzolanik özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Harçların ve tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin benzer olduğu, arasında güçlü bir adhezyon oluştuğu görülmüştür. Duvar ve temellerde temel yapı malzemesi olarak granit, duvar ve kapı açıklıklarında ise kaplama olarak kireçtaşı kullanıldığı tespit edilmiştir. 600 yılı aşkın süredir hasarsız bir şekilde dayanan Ördekli hamamının ayakta kalmasının temel nedeninin, horasan harcının kullanılmış olmasına bağlı olduğu vurgulanmıştır (Bağbancı, Özcan ve Köprülü Bağbancı, 2010).

Kurugöl ve Tekin, Bizans dönemine ait çeşitli kalelere ait tarihi tuğlaların karakteristik özelliklerini incelemiştir. Tuğlaları incelenen kaleler Kütahya kalesi, Yoros kalesi, Amasra kalesi ve Trabzon kalesidir. Mineralojik kompozisyonları incelendiğinde, tuğlarda yüksek ısı minerallerinin bulunmaması, tuğlaların 950ºC'nin altında pişirildiğini göstermiştir. İncelenen tüm tuğlaların puzolanik özellik taşıdığı belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek görünür yoğunluğa sahip tuğlalar Trabzon kalesinde bulunduğu ve tuğlaların aynı zamanda en yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür (Kurugol ve Tekin, 2010; Tekin ve Kurugöl, 2011).

Uğurlu Sağın ve Böke, 15. yüzyıla ait İzmir'de bulunan bazı tarihi hamamların kubbelerine ait tuğlaların karakteristik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada tuğlaların görünür yoğunluğu 1,7-1,8 g/cm^3, gözenekliliğinin %33-38 arasında olduğu belirlenmiştir. Mineralojik kompozisyonları incelendiğinde, tuğlaların kuvars, albit, alkali feldispat, muskovit içerdiği ve tuğlaların puzolanik özellik taşımadığı tespit edilmiştir. Tuğlalarda mullit ve kristobalit gibi yüksek ısı minerallerinin bulunmaması sonucu, pişme derecesinin 900ºC'nin altında olduğu tahmin edilmiştir (Uğurlu-Sağın ve Böke, 2013).

Oğuz, Turker ve Koçkal, Roma dönemine ait Mira'da bulunan tarihi bir hamamın tuğla ve harçlarının karakteristik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, tuğla ve harçların puzolanik aktivite özelliği taşımadığı, harçların tuğlalardan daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu, tuğlaların kütlece su emme yüzdesinin harçlardan daha düşük oranda olduğu belirlenmiştir. Tarihi harçların bağlayıcı:agrega oranı 1:6 ve 1:8 olması nedeni ile yüksek oranda agrega içerdiği belirlenmiştir (Oğuz, Türker ve Koçkal, 2014, ss. 1-9).

2.2.3.2. *Yurtdışında yapılan çalışmalar*

Baranio ve Binda, tarihi ve günümüz tuğlalar ile bazı killerin puzolanik özellikleri ile ilgili yaptığı araştırmada, 900ºC'nin üzerinde pişirilen malzemelerde puzolanik özelliğinin kaybolduğu, dolayısı ile modern tuğlaların puzolanik özelliğe sahip olmadığı, diğer taraftan düşük ısıda pişirilen her kilde de puzolanik özelliğin bulunmayabileceği aktarılmıştır. Çalışmada, puzolanik malzeme elde etmek için, pişme ısısı ve süresi dışında, kilin mineralojik kompozisyonunun da dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Baronio and Binda, 1997, s. 46).

Cultrone ve arkadaşları, killerin mineralojik kompozisyonu ve pişme ısısının, tuğla gözenekliliği üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmada, karbonatlı ve karbonatsız iki tip kil kullanarak, 700-1100ºC arasındaki sıcaklıklarda pişirdikleri malzemelerin fiziksel ve mineralojik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, kildeki kalker miktarının tuğla porozitesini doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Üretim maliyeti ve özellikleri kıyaslandığında, en kaliteli tuğlaların 1000ºC civarında ve kalkersiz killerden üretildiği, diğer taraftan, yaklaşık %20 karbonat içeren killerden üretilen tuğlaların kalitesini arttırmak için, daha yüksek ısıda pişirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, yazında malzemelerin fiziksel özellikleri konusunda çok sayıda çalışma bulunduğunu, ancak tuğlaların pişme dereceleri ve dokusal özellikleri arasındaki ilişkinin incelendiği çalışma sayısının yetersizliği konusuna dikkat çekmiştir (Cultrone vd., 2004).

Lourenço ve arkadaşları, farklı dönemlere ait yaklaşık 150 adet tarihi tuğlanın karakteristik özelliğini incelediği çalışmada, tuğla gözenekliliğin %26-33, görünür yoğunluğun 1,65-1,80 g/cm^3, su emme değerinin %15-21 arasında ve basınç dayanımının 6-21 MPa arasında olduğunu belirlemişlerdir (Lourenco, Fernandes and Castro, 2010).

Oscar Mauricio Castellanos ve arkadaşları, killerin ısı altındaki davranışlarını inceledikleri çalışmada, kil yatağından elde ettikleri killeri kullanarak tuğla üretmişler ve

bu tuğlaları farklı derecelerde (800, 900, 1000, 1100 ve 1200ºC) pişirerek, özelliklerinde meydana gelen değişimleri değerlendirmiştir (Castellanos vd., 2012).

El-Midany ve Mahmoud, Mısır'da bulunan ve M.S. 4. yüzyıla ait bir yapının tuğlalarının karakteristik özelliklerini inceledikleri çalışmada, tuğlaların ortalama görünür yoğunluğunu 1,54 g/cm^3, su emme yüzdelerini %20,4 ve gözeneklilik yüzdesinin %31,5 olduğu belirlenmiştir. XRD analizi sonucunda tuğlalarda tespit edilen mineraller plajiyoklas ve alkali feldispat, hematit ve magnezittir. İncelenen tuğlaların 850-900 derece arasında pişirildiği tahmin edilmiştir (El-Midany and Mahmoud, 2015).

2.3. Harç

Yapılarda düzeltme, derz veya sıva amacı ile kullanılan, kireç, alçı ve çimento gibi bağlayıcı malzeme esaslı, içerisine çeşitli madde (doğal ve yapay puzolanlar ile pişmiş kil) veya agreganın katılarak veya katılmadan hazırlanan malzemelere harç denir (Davey, 1961, s. 120). Harçların görevi, doğal taş veya tuğla gibi birimsel yapı bileşenlerini bağlamanın ötesinde, yapıya etkiyen yüklerin eşit bir şekilde yayılmasını sağlamak amacı ile malzemelerin arasında tampon veya yastık gibi davranmak ve monolitik bir yapı oluşturulmasına katkı sağlamaktır. Ayrıca, harçlar ortamdaki nem ve buhar gibi zararlı etkileri yapıdan uzaklaştırarak, yapının nefes almasında önemli rol oynamaktadır (Holmes and Wingate, 1997; Papayianni and Pachta, 2012).

Bilinen en eski harç türü çamur harcıdır. Babil ve Asurluların ürettiği killi veya çamurlu, bazen de içine saman kattıkları çamur harcı, çok eski zamanlardan beri bilinmekte ve günümüzde Orta Doğu'da kullanılmaya devam etmektedir. Çamur harcının yanı sıra Babil'de en erken M.Ö. 3000' li yıllarda, yanmış tuğlaların tesviyesinde bitümlü harç kullanılmıştır. Nebuchadnezzar zamanında Babil'deki bitümlü karışımların yerini hidrolik kireç esaslı, içine kil, bitüm, kül gibi maddeler katılan bir harç almıştır. Mezopotamya'da kirecin pişirilmesi en erken M.Ö. 2450 yıllardan bu yana bilinirken, alçı harcının geçmişi ise 4500 veya daha fazla yıl öncesine dayanır. Mezopotamya bölgesi ve Antik Mısır gibi sıcak ve yağışın çok az olduğu bölgelerde hem çamur, hem de alçı harcı kullanılmıştır, örneğin; tuğla ile inşa edilen yapılarda çamur harcı kullanılırken, anıtsal yapılarda alçı harcı kullanılmıştır. Örnek olarak M.Ö. 1400'lere ait Karnak tapınağı, Keops piramidi ve Sakkara mezarları gösterilebilir (Davey, 1961, s. 118, 120; Cowper, 1998, s. 3; Middendorf, 2002, s. 165; Akman, 2003).

Geçmişte 900ºC gibi yüksek ısının elde edilememesi sonucunda kireç harcının alçı harcından daha geç bulunduğu tahmin edilirken (Akman, 2003), M.Ö. 7000-12000 yıllarına ait, İsrail, Ürdün ve Türkiye'de bulunan bazı yapı ve döşeme kalıntılarında kireç harcı tespit edilmesi, bilinenin aksine kireç harcının tarihinin, alçıdan daha eskiye dayandığını göstermiştir (Gourdin and Kingery, 1975; Miller, Sakulich, MacKenzie and Barsoum, 2010, s. 3406). Türkiye'de Çayönü, İsrail'de Yiftah-El ve Ürdün'de Jerico'da bulunan ve çok yüksek dayanımlı, parlak ve çok iyi sıkıştırılmış, kireç esaslı yer döşemelerinin günümüzden 9000 yıl öncesine dayandığı düşünülmektedir. Bu döşemelerin kireç, puzolanik katkı, pişmiş kil ve kum-çakıl vb. agregalardan oluştuğu belirlenmiştir. Yiftah-El bölgesi Finikelilerin yaşadığı bölge olup, Finike kolonisi olan Girit, Rodos ve Kıbrıs adalarında da benzer harçlar bulunmuş ve günümüzün betonu kadar sağlam, puzolan katkılı kireç harcının Finikeliler tarafından keşfedildiği tahmin edilmektedir (Akman, 2003, s. 33).

Roma döneminde kireç harcı ve doğal veya yapay puzolan katkılı kireç harcı olmak üzere iki tür harç uygulanmıştır. Harç üretmek amacı ile kireçtaşları önce yaklaşık olarak 900ºC'de pişirilerek sönmemiş kireç elde edilmiştir. Ardından, sönmemiş kirece yavaş yavaş su eklenerek kirecin sönmesi sağlanmıştır. Daha sonra sönmüş kirece kum ilave edilerek kireç harcı elde edilmiş; ancak, bu harcın mukavemetinin oldukça düşük olması, daha yüksek mukavemetli bir malzeme arayışına neden olmuş ve puzolanik malzemelerin kullanıldığı yüksek dayanımlı harçlar elde edilmiştir (Davey, 1974, s. 193).

Bizans harcı kireç, kum ve kırık tuğla ya da bazen çakıllardan oluşan bir atıl madde karışımı idi. Yapım tekniği açısından Bizans yapıları, Roma yapılarına benzese de, malzeme tekniği açısından farklıdır. Roma eserlerinde kullanılan harçlara puzolan eklenmesi ile birlikte, harç homojen ve yekpare bir yapıya sahip olurdu. Oysa, Bizans yapım tekniğinde dolgu malzemesi olan harç, homojen bir yapıdan uzak, dağılma eğilimine sahipti. Bir başka deyişle Bizanslı mimarlar, Roma mimarisini sadece şekil açısından sürdürmüş, ancak teknik açıdan sürdürememiştir. Bu nedenle Bizans yapılarında tuğla hatıllara çok önemli işlevler düşmüştür. Roma İmparatorluğu döneminde derz kalınlıkları, tuğla kalınlığından daha ince iken, Bizans döneminde derz kalınlıkları, tuğla kalınlığından daha fazla olmuştur. Tuğla kalınlığı:derz kalınlığı oranı 4. yüzyılda yaklaşık 1:1 iken, 6. yüzyılda yaklaşık olarak 2:3 olmuştur. Bu durumun tuğla yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak, harçların çok bol kullanılması

Bizans yapılarını olumsuz etkilemiş, yapılarda düzensizliğe ve bozulmaya neden olmuştur (Mango, 2006, s. 14).

2.3.1. Tarihi harçların bileşenleri

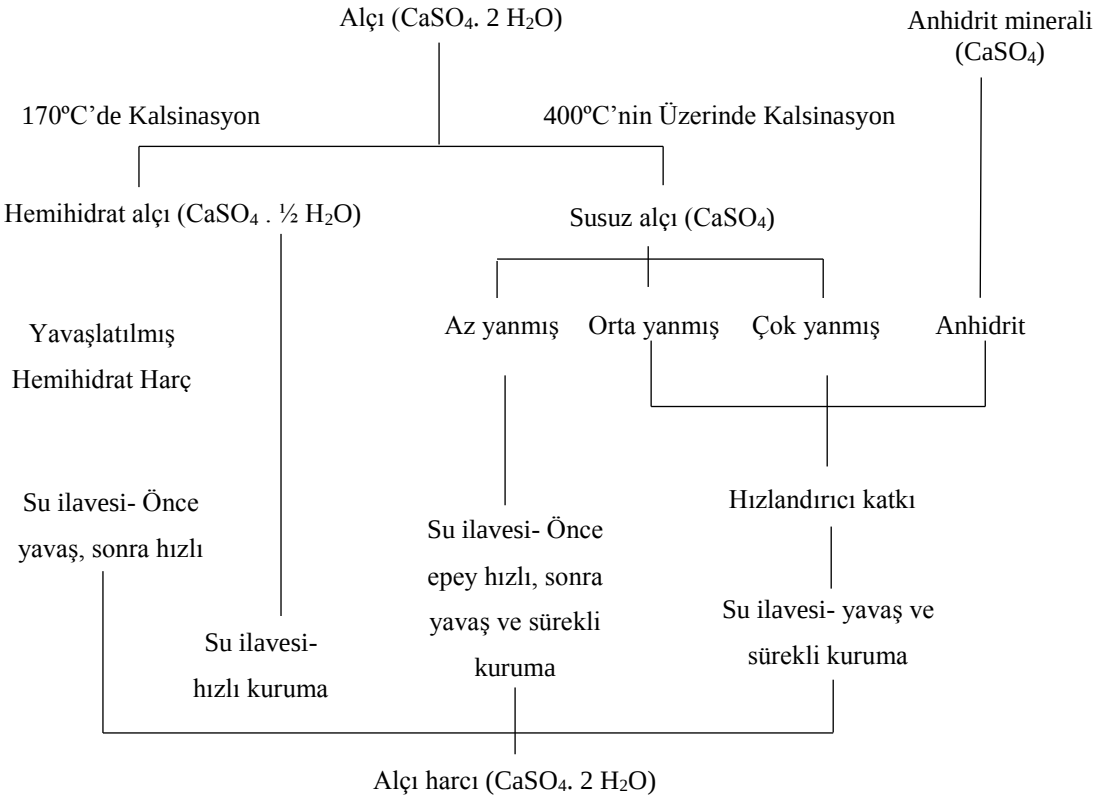
2.3.1.1. *Alçı*

Alçı, topaklar halinde kırılan alçı taşının fırınlarda istiflenmesi ve ahşap veya kömür ile yakılması sonucu elde edilir. Alçı harcı, alçı ($CaSO_4$. $2H_2O$) veya anhidrit ($CaSO_4$) mineralinden üretilmektedir. Alçının yaklaşık 3 saat süre ile 130-170ºC gibi düşük ısıda kalsinasyonu sonucunda kimyasal bağlarındaki su uzaklaşırarak alçı veya hemihidrat alçı (Bkz. Reaksiyon (2.14)) elde edilir (Tsakiridis and Toumbakari, 2010, s. 374).

$$CaSO_4 .2H_2O \rightarrow (CaSO_4). ½ H_2O+1.5H_2O \quad (2.14)$$

Hemihidrat alçı ($CaSO_4$. 1/2 H_2O) su ile karıştırıldığında çok hızlı bir şekilde sertleşir. Harcın içine az miktarda keratin (kostik soda çözeltisinde hayvan tüyü, boynuz ve at tırnağının pişirilmesi ile hazırlanmış) veya tutkal benzeri malzeme katılarak kuruması yavaşlatılabilir. Alçının 400ºC'nin üzerinde ısıtılması ile bünyesindeki su tamamen kaybolur ve alçı, susuz (anhidrit) alçıya dönüşür ($CaSO_4$). Susuz alçı, aynı zamanda anhidrit mineralinin öğütülmesi ile de elde edilebilir. Susuz alçının kuruyup sertleşmesi uzun sürer, bu nedenle hemihidrat alçının tersine, içine hızlandırıcı katılması gerekir. Alçıtaşından alçı harcı elde edilmesi süreci Şekil 2.4'te gösterilmiştir. 400ºC'nin üzerinde pişirilen alçı, düşük, orta ve yüksek ısıda tekrar pişirilmesi ve içerisine alümina, boraks veya bir miktar sönmemiş kireç eklenmesi ile kuruması hızlandırılabilir (Davey, 1961, ss. 118-124).

Alçı harcının en önemli avantajı daha önce de bahsedildiği gibi, hızlı kuruması ve başlangıç ve son basınç dayanımının yüksek olmasıdır. Bu durum, çoğu tarihi yapının kemer ve tonozunda alçı harcının kullanılmış olmasını açıklamaktadır (Middendorf, 2002, s. 166).



Şekil 2.4. *Alçı harcının üretimi (Davey, 1961, s. 123)*

2.3.1.2. *Kireç*

Kalsiyum ve/veya magnezyum oksitin (CaO ve MgO) ve/veya kalsiyum ve/veya magnezyum hidroksitin ($Ca(OH)_2$ ve $Mg(OH)_2$) oluşturduğu malzemeye, kireç adı verilir (T.S.E, 2005, s. 2). Kireç, kireçtaşının ($CaCO_3$) 900ºC'nin üzerinde, kireç ocaklarında pişirilmesi ile elde edilir (Cowper, 1998). Kireçtaşının kalsinasyonunun sonunda, CO_2 gazının uzaklaşması ile kireç, kalsiyum oksite (CaO) yani sönmemiş kirece dönüşür (Bkz. Reaksiyon (2.15)). Sönmemiş kireç su ile etkileştiğinde kalsiyum hidroksite dönüşür ve Reaksiyon (2.16)'da verilen ekzotermik tepkime meydana gelir. Bu ürüne aynı zamanda sönmüş kireç adı verilir. Sönmemiş kireç sönmüş kirece dönüşürken hacmi 2-2,5 kat artar ve söndürme işlemi yavaş gerçekleşmezse kirecin bir bölümü sönmeden kalabilir. Tamamen sönmemiş kireç yapıda kullanıldığı zaman su ile temas ettiğinde ise sönmeye ve hacmi artmaya devam ederek, bulunduğu yerde kabarma ve çatlamaya neden olur. Bu nedenle söndürme işlemi sırasında suyun kontrollü bir şekilde ilave edilmesi ve bir süre soğuyup kabarma sağlandıktan sonra ilave edilmesi çok önemlidir. Su miktarı kadar söndürme sırasında kullanılan suyun sıcaklığı ve saflığı da oldukça önemlidir (Vitrivius,

2005, ss. 152-153). Su sıcaklığının çok yüksek olması, topaklanmaya neden olur ve kirecin plastisitesini zayıflatır. Diğer taraftan, sönmüş kirecin hava ile temas ettirilmeden uzun bir süre bekletilmesi, kirecin plastik özelliğini ve su tutma kapasitesini olumlu etkilemektedir. Çünkü, bekletme süresi boyunca, kireç kristallerinin boyutu küçülmekte ve CO_2 ile reaksiyona girecek yüzey alanı artmakta ve böylece karbonatlaşma daha hızlı gerçekleşmektedir. Örneğin, Roma döneminde, sönmüş kireç kullanılmadan önce en az 3 yıl bekletilirdi. Kuvvetli bir alkali ve yakıcı olan kalsiyum hidroksit, havadaki karbondioksit (CO_2) ile birleşmesi sonucu çözünmeyen bir bileşik olan kalsiyum karbonat ve su meydana gelir (Bkz. Reaksiyon (2.17)) ve karbonatlaşmanın sonucu olarak kireç harcı sertleşmeye başlar. Karbonatlaşmayı etkileyen etkenler, CO_2 gazının derişimi, kirecin gaz geçirgenliği ve ortamdaki nem miktarıdır. Kirecin gaz geçirgenliği, ortamdaki bağıl nemin ve CO_2 gazının derişiminin fazlalığı karbonatlaşmayı hızlandırır (Davey, 1961).

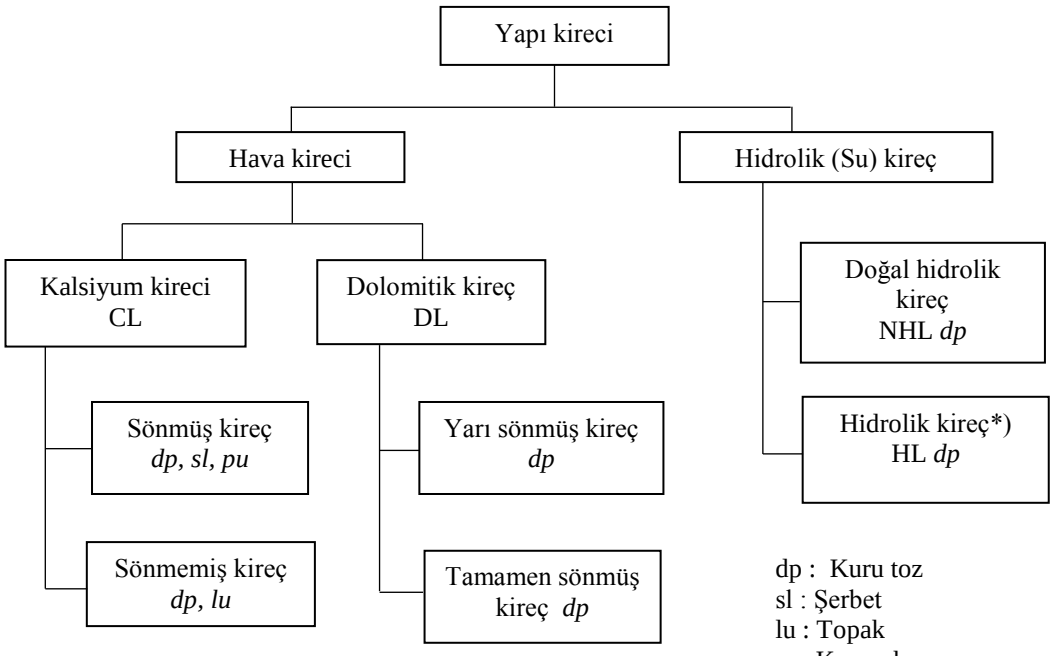
$$CaO+CO_2 \xrightarrow{900°C} CaCO_3 \qquad (2.15)$$

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH) + 15.900\ cal \quad (120ºC'\ de) \qquad (2.16)$$

$$Ca(OH)_2+CO_2 \longrightarrow CaCO_3+H_2O \qquad (2.17)$$

Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından kireçlerle ilgili yapılan sınıflandırma (2001) Şekil 2.5'te verilmiştir. Yapıda kullanılan kireçlere yapı kireci denir ve bu kireçler hidrate kireç (hava) ve hidrolik kireç olmak üzere ayrılır. Hidrate kireç, su altında sertleşme özelliğine sahip olmadığı için, bu kirece hidrolik olmayan kireç de denilir. Bunun dışında bu kireç saf, yağlı veya yüksek kalsiyum kireci olarak, havadaki CO_2 ile birlikte yavaş bir biçimde dayanım kazanarak kalsiyum karbonata dönüştüğü için hava kireci de denilir. Hava kireci yapının her yerinde kullanılamasa da (örneğin yapı temeli), tarihi yapıların konservasyonu için en uygun malzemedir, çünkü bu kireç türü en fazla nefes alabilen ve çalışılabilen malzemedir (Young, 2008, s. 59; TSE, 2005, ss. 2-3). Hava kireci kalsiyum kireç ve dolomitik kireç olarak ikiye ayrılır. Kalsiyum kireci kalsiyum oksit veya kalsiyum hidroksitten (<%5 MgO), dolomitik kireçler ise kalsiyum

oksit ve magnezyum oksit veya kalsiyum hidroksit ve magnezyum hidroksitten meydana gelir (Bkz. Çizelge 2.2). Kalsiyum kireci, sönmüş ve sönmemiş kireç, dolomitik kireç te yarı sönmüş ve tamamen sönmüş kireç olarak ayrılır. Sönmüş kireç kuru toz, kaymak kireç veya şerbet halinde bulunabilir. Sönmemiş kireç ise kireçtaşı ve/veya dolomitik kayaçların kalsinasyonu ile üretilen ve esas olarak kalsiyum oksit ve magnezyum oksitten meydana gelir. Yarı sönmüş dolomitik kireç esas olarak kalsiyum hidroksit ve magnezyum oksitten, tamamen sönmüş dolomitik kireç ise kalsiyum hidroksit ve magnezyum hidroksitten oluşur. Bu kireçten üretilen harçlar oldukça düşük dayanımlı olup, hidrolik olmayan harç olarak tanımlanmaktadır (Davey, 1961, s. 97; TSE, 2005, ss. 2-3).



Şekil 2.5. *Kireç tipleri (TSE, 2005, s. 10)*

Hidrolik kireç doğal ve yapay hidrolik kireç olarak ayrılır. Doğal hidrolik kireç az veya çok miktarda kil veya silis içeren kireç taşının yakılması ve öğütülerek veya öğütülmeden söndürülmesi ile toz halinde üretilir. Yarı veya orta derece hidrolik kireç, gri tebeşir, silisli kireçtaşı veya killi kireçtaşından üretilirken, hidrolik kireç Lias kireçtaşından ve tebeşir marnından üretilir. Hidrolik kireçten üretilen harçlara, hidrolik harç adı verilir ve bu harçlar önemli ölçüde dayanıklı olup, su altında sertleşme özelliğine

sahiptir. Kirece su ilave edildiğinde, su silika ve alümina ile birleşerek, kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat gibi çimentolaşmış özelliğe sahip, çözünmez bileşikler meydana gelir. Hidrolik harçların kalitesi hammaddedeki kalsiyum karbonat, silika ve alümina oranlarına ve kirecin pişirildiği ısıya bağlıdır. Hidrolik özelliğe sahip harçlar Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde sarnıç, su kemeri, su kuyusu ve hamam gibi yapılarda kullanılmıştır. Bu harçlar, Osmanlı döneminde Horasan harcı, Roma döneminde "coc-ciopesto", Hindistan'da "surkhi" ve Arap ülkelerinde "homra" ismi ile bilinmektedir. Horasan harcının özelliği agrega olarak, öğütülmüş pişmiş kil ve/veya pişmiş kil kırıkları içermesidir. Bu harçlar, içerdiği kil malzemenin yoğunluğunun, doğal taş agrega yoğunluğundan daha düşük olması nedeni ile diğer harçlardan daha hafif olup, daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Horasan harcının hidrolik özelliğe sahip olmasında, içerisine puzolanik madde olarak ilave edilen pişmiş kil kırıklarının düşük ısıda pişmiş olması önemli rol oynamaktadır. Çünkü, düşük ısıda (≈550-600ºC) pişen killerin kristal yapısı bozunarak, amorf yapıya dönüşür ve yüzey aktif alanları artar (Akman vd., 1986; Livingstone, 1993; Moropoulou vd. 2002; Gürdal, 2011, ss. 71-72). Yapay hidrolik kireç ise esas olarak kalsiyum hidroksit, kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminatlardan oluşan malzeme ile üretilmektedir (TSE, 2005, ss. 2-3).

Hava kireci CaO ve MgO muhtevasına göre, hidrolik kireç ise basınç dayanımına göre sınıflandırılır. Buna göre, hava kireci ile ilgili sınıflandırma Çizelge 2.2'de verilmiştir ve buradan kalsiyum kireç türlerinin %5'in altında MgO içerdiği ve %2'nin altında SO_3 içerdiği görülmektedir. %5 ve üzerinde MgO içeren kireçlere ise Dolomitik kireç adı verilir. Çizelgeden hidrolik ve doğal hidrolik kireç türlerinin belirli oranlarda serbest kireç ve %3 ve altında SO_3 içerdiği görülmektedir. Serbest kireç, kirecin konsantrasyonunu değerlendirmede kullanılan, sönmüş veya sönmemiş kireç içinde bulunan aktif kireç bileşenini ifade etmektedir (TSE, 2005, s. 3).

Çizelge 2.2. *Kireç tiplerinin kimyasal özellikleri[a] (TSE, 2005, ss. 3-4)*

	Yapı Kireci Tipi	Yapı Kireci Tanımı	CaO+MgO (%)	MgO (%)	CO_2 (%)	SO_3 (%)	Serbest Kireç (%)
1	CL 90	Kalsiyum kireci 90	≥ 90	≤ 5[c]	≤ 4	≤ 2	-
2	CL 80	Kalsiyum kireci 80	≥ 80	≤ 5[c]	≤ 7	≤ 2	-
3	CL 70	Kalsiyum kireci 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
4	DL 85	Dolomitik kireç 85	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	-
5	DL 80	Dolomitik kireç 80	≥ 80	≥ 5	≤7	≤ 2	-
6	HL 2	Hidrolik kireç 2	-	-	-	≤ 3[b]	≥ 8
7	HL 3,5	Hidrolik kireç 3,5	-	-	-	≤ 3[b]	≥ 6
8	HL 5	Hidrolik kireç 5	-	-	-	≤ 3[b]	≥ 3
9	NHL 2	Doğal hidrolik kireç 2	-	-	-	≤ 3[b]	≥ 15
10	NHL 3,5	Doğal hidrolik kireç	-	-	-	≤ 3[b]	≥ 9
11	NHL 5	Doğal hidrolik kireç 5	-	-	-	≤ 3[b]	≥ 3

Not- Değerler tüm kireç tiplerine uygulanabilir. Sönmemiş kireçler için bu değerler, imalâtı tamamlanmış mamul değerlerine karşılık gelir; diğer kireç tipleri (sönmüş kireç, kaymak kireç ve hidrolik kireç) için bu değerler, mamulün serbest su ve bağ suyu muhtevası çıkarıldıktan sonraki değerine karşılık gelir.

[a] Değerler kütlece (%) olarak verilmiştir.

[b] EN 196-2'de verilen deney kullanılarak, 28 günlük su kürü uygulandığında hacim değişmezliği ispatlanırsa, 3'den fazla ve % 7'den az SO_3 muhtevasına müsaade edilir.

[c] EN 459-2:2001 Madde 5.3'de verilen hacim değişmezliği deneyinden olumlu sonuç alınırsa, % 7'ye kadar MgO muhtevasına müsaade edilir.

2.3.1.3. *Agregalar*

Harçlarda kullanılacak agregalar için öncelikle ocak kumu esaslı olanlar tercih edilir. Ancak, ocak kumunun bulunmaması durumunda agregalar dere yatağı, nehir veya denizden temin edilebilir. Deniz agregaları kullanılmadan önce mutlaka yıkanmalıdır; çünkü deniz kumunda bulunan tuzların higroskopik etkisi, harcın kuruması zorlaştırmakta ve bu durum inşaat sürecini yavaşlattığı gibi, yapının strüktürel durumunu da olumsuz etkilemektedir. Ocak kumunun ise yıkanmasına gerek yoktur, bu kumla üretilen harçlar hızlı kuruduğu gibi, kullanıldığı yapılar sağlam ve uzun ömürlü olur. Bu durumda, ocak kumunun duvar harçlarında, dere kumunun ise sıvalarda kullanılması önerilmektedir. Harçta kullanılacak agreganın temiz olması, bünyesinde toz, toprak veya kil bulundurmaması, elle ovulduğunda ses çıkarması, yani keskin köşelere sahip olması istenir. Tarihi kaynaklarda agregaların kaynağına göre en uygun harç karışım oranı ocak

kumu ile hazırlanan harçlar için 3 ölçek kum:1 ölçek kireç; nehir kumu ile hazırlanan harçlar için 2 ölçek kum:1 ölçek kireç olarak önerilmiştir. Dere veya deniz kumunun kullanıldığı durumlarda ayrıca harcın içine 1:3 oranında öğütülmüş pişmiş kil katılması, harcın özelliklerini iyileştireceği belirtilmiştir (Davey, 1961, 1974; Vitrivius, 2005, s. 31).

2.3.1.4. *Puzolanlar*

Puzolanlar gerçekte hidrolik özelliğe sahip olmayan, ancak çok ince öğütüldüklerinde, normal ortam sıcaklığında suda çözünmüş kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) ile reaksiyona girerek, kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturan ve hidrolik özellik kazanan maddelerdir (Baronio and Binda, 1997, s. 41). Puzolan ismi İtalya'da bulunan ve aynı zamanda puzolanların doğal kaynağı olan Puzzuoli volkanik yanardağından gelmektedir. Osmanlılar puzolanlara "puçina" adını vermiştir (Akman, 2003, s. 34).

Puzolanlar oluşum şekline göre doğal ve yapay olarak ayrılır (Baronio and Binda, 1997; Davey, 1961, s. 103; Moropoulou, Bakolas and Aggelakopoulou, 2004). Silisli veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan volkanik ve sedimenter kayaçlara, doğal puzolan adı verilir. Doğal puzolanlar, esasen kütlece %25'ten fazla reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3), geri kalan kısmı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer oksitlerden oluşur (TSE, 2008a, ss. 1-2). Doğal puzolanlara örnek olarak İtalya puzolanları, Santorin toprağı, pomza taneli tras ve volkanik kül yer alırken, yapay puzolan olarak pişmiş şeyl, diatomit veya ponza, pişmiş kil, öğütülmüş kiremit veya çömlek parçaları, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü verilebilir (Baronio and Binda, 1997, s. 41). Özellikle horasan harçlarına puzolanik özellik kazandırmak amacı ile ilave edilen kırık pişmiş kil parçaları ve tozları, önemli puzolanik maddelerdir. Pişmiş kil ürünlerindeki kil mineralleri 600-900ºC arasında pişirildikten sonra öğütüldüğünde, yüksek puzolanik aktiviteye sahip olur, çünkü, pişme esnasında killerin kristal yapısı bozunarak, amorf hale dönüşür ve kimyasal açıdan tepkimeye hazır hale gelirler (Baronio and Binda, 1997, s. 41).

Eski uygarlıklar hidrolik olmayan kirece puzolanik madde katarak, tamamen veya kısmen hidrolik harç üretmeyi başarmıştır. Bu bilgi önce Antik Yunan, ardından da Roma'ya yayılmıştır. Romalılar puzolanik harcı, özellikle su ve nem sorunu olan yapılarda; örneğin, kanal, boru, depo ve su kemerlerinde kullanmıştır. Pişmiş seramik

parçalarının bulunduğu ilk harç örneği Roma yakınındaki Aqua Marcia su kemerinde kullanılmıştır (M.Ö. 144). Kireç harcından daha güçlü olan bu harcın sayesinde, yapının duvarları daha ince, kemer ve kubbeler daha hızlı bir şekilde inşa edilmiştir. Bu harç aynı zamanda deniz suyuna karşı oldukça dayanıklı olduğundan, deniz yapılarında da kullanılmıştır; Napoli yakınındaki Roma dalgakıranı bunun bir örneğidir. Günümüzde dalgakıranın tüf blokları aşınmış olmasına rağmen, derzlerindeki puzolanik harç bozulmadan durmaktadır (Davey, 1974, ss. 194-195).

2.3.1.5. *Organik maddeler*

Tarih boyunca harçların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, karbonatlaşmanın kontrol altında tutulması (hızlandırma veya yavaşlatma) ve harcın işlenebilirliğinin arttırılması amacı ile çeşitli organik maddeler kullanılmıştır. Bu katkı maddelerinden bazıları incir ve benzeri meyve suları, demlenmiş karaağaç kabuğu suyu, arpa suyu, boğa kanı, inek gübresi, sıcak ağda, yumurta akı, ceviz, bira, zift, gluten, yağlı süt, peynir, sabunlaştırımış balmumu, arap zamkı, hayvansal tutkal ve şekerdir (Cowper, 1998, s. 7; Sickels, 1981, ss. 27, 37).

Katkı maddeleri üç grupta toplanabilir: yağlar, karbonhidratlar ve proteinler. Basit veya kompleks karbonhidratlar en çok stüko veya dekoratif harçlara ilave edilmiş ve genellikle polisakkaritler, disakkaritler, basit şekerler, bitki özsuyu ve nişasta şeklinde dolaylı olarak kullanılmıştır. Proteinler ise, killer ile kimyasal reaksiyona girebilen maddelerdir. Bu durum killerin inorganik katyonların organik katyonlarla yer değiştirmesi veya diğer bir görüşe göre, amino asitlerin killerin flokülasyonunu hızlandırması ile açıklanmaktadır. Yumurta akında bulunan aminoasitler, harca yapışkanlık ve adhezyon sağlarken, plastik ve likit limitini, tek eksenli basınç dayanımını ve kopma katsayısını arttırır (Griffin, 1999, ss. 21-69). Çinliler ise puzolanik katkı olarak harcın içine yapışkan pirinç suyu, meyve suyu, yumurta akı, balık yağı ve kan ilave etmiş ve pirinçte bulunan amilopektin bileşeninin, harçların performansını olumlu etkilediğini tespit etmiştir. Katkı maddelerinin harçlara kazandırdığı özellikler Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. *Katkı maddelerinin harçlara etkisi (Medici vd, 2000'den uyarlanmıştır)*

Katkı maddesi	Katkı Maddesinin Harca Olan Etkileri
Arap zamkı Hayvansal tutkal İncir sütü	Harca yapışkanlık kazandırır Harcın çabuk kurumasını engeller Harca su geçirimsizlik özelliği sağlar
Çavdar hamuru Domuz yağı Kazein (kesik süt) Kan Yumurta akı	Harcın priz süresini kısaltır
Arpa suyu Hayvan tüyleri	Harcın dayanımını arttırır
Şeker	Donma-çözünme döngüsünde meydana gelen bozulmaları yavaşlatır Yapışkanlık sağlar
Balmumu	Harçtaki büzülmeyi önler.
Yumurta akı Hayvansal tutkal Şeker Süt Keten tohumu vb. yağlar	Kirecin plastik özelliğini artırır, kırılganlığını azaltır, harcın çalışılabilirliğini arttırır.
Tanen	Harca su geçirimsizlik sağlar.
Bitkisel yağ Hayvansal yağ	Harca su iticilik ve plastisite özelliği kazandırır. Harcın işlenebilirliğini arttırır.
Yapışkan pirinç suyu	Harçtaki kalsiyum karbonat büyümesini kontrol eder ve daha kompakt bir mikro yapının oluşmasını sağlar.

2.3.2. Tarihi yapılarda kullanılan harçlar ile ilgili alanyazın

2.3.2.1. *Yurtiçinde yapılan çalışmalar*

Güleç, Roma Hamamı, Tahtakale Hamamı, Esekapı Medresesinde kullanılan tarihi harçların karakteristik özelliklerini incelemiştir. Çalışmasında Tahtakale hamamı ve Esekapı Medresesinin harçlarının içerik olarak benzer olduğu, Roma hamamının harç ve sıvalarının ise orijinal harçlar olmadığı, restorasyon harcı olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, tarihi harç ve sıvalarda keten liflerinin bulunduğu görülmüştür (Güleç, 1992).

Akman, tarih öncesi ve günümüzün yapı malzemelerinin üretim süreçlerini araştırdığı ve kronolojik olarak aktardığı çalışmasında, yapı örnekleri üzerinden oldukça yararlı bilgiler aktarmıştır. Doğal taş, kerpiç, tuğla ve bağlayıcı malzemelerinin geniş bir

tarih perspektifinde ele alındığı çalışmada, tarih öncesindeki yapı malzemesi teknolojilerinin günümüz teknolojisinden geri olmadığını, hatta o dönemlerin imkânları ile nasıl üretildikleri konusunda hala soru işaretlerinin bulunduğunu aktarmıştır (Akman, 2003).

Caner, Selçuklu dönemine ait sıvaların karakteristik özelliklerini incelediği araştırmada, sıvaların kireç esaslı olduğunu ve %54-97 arasında $CaCO_3$ içerdiğini belirlemiştir. Bazı kırmızı renkli sıvalara renk vermesi amacı ile hematit kullanıldığı, bazı yeşil renkli sıvalarda ise celadonit minerali bulunduğu tespit edilmiştir. Sıvalarda yer alan temel minerallerin kalsit, kuvars, dolomit ve opal-A olduğu belirlenmiştir. Sıvaların sağlam ve günümüze kadar ulaşmış olmasında opal-A ve dolomit minerallerinin etkili olduğu düşünülmüştür (Caner, 2003).

Böke ve Akkurt, Edirne'de bulunan tarihi Saray hamamına ait horasan sıvalarının özelliklerini ve bozulma biçimlerini incelediği çalışmada, harçlarda meydana gelen bozulmanın etringit mineralinden kaynaklandığı belirlenmiştir. XRD analizinde sıvalarda etringit mineralinin bulunması, sıvaların kireç ve alçı karışımından oluştuğu tespit edilmiştir. Sıvaların kullanıldığı yapının hamam olması, kireç ve alçı karışımı olan sıvada, etringit mineralinin ortaya çıkmasına neden olduğu ve bu tür sıvaların su etkisine maruz kalan yapılar için uygun olmadığı aktarılmıştır (Böke ve Akkurt, 2003).

Tunçoku, bazı Selçuklu yapılarında kullanılan harçların karakteristik özelliklerini incelemiş ve harç kompozisyonlarının %50-71 oranda kireç ve %29-50 oranında agregadan oluştuğu belirlemiştir. Çalışmada agregaları oluşturan temel minerallerin kuvars, feldispat ve mika olduğu, ek olarak 45μ'nun altındaki agrega tozlarında da opal-A minerali bulunduğu tespit edilmiştir. Opal-A mineralinin harçların puzolanik özellikleri ve diğer karakteristik özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, Tunçoku çalışmasında tarihi yapılarda tuğla-tuğla arası derzlerde kullanılan harçların, taş-taş arası derzlerde kullanılan harçlardan nispeten daha düşük yoğunluklu ve daha gözenekli olduğunu ve harçların birlikte kullanıldığı tuğlalarla benzer özelliklere sahip olduğunu belirlemiştir (Tunçoku, 2001; Tunçoku ve Caner-Saltık, 2006).

Çizer, Seferihisar-Urla'da bulunan tarihi hamamlara ait harçların karakteristik özelliklerini incelemiştir. Çalışmanın sonunda, kireç harçlarının hamamlarda kullanıldığı yerin özellikleri dikkate alınarak bilinçli bir şekilde üretildiği belirlenmiştir (Çizer, 2004).

Uğurlu, İmir'de bulunan bazı Osmanlı dönemi hamamlarında kullanılan sıvaların karakteristik özelliklerini incelemiş ve hamamlarda iki farklı sıva türünün kullanıldığını belirlemiştir; hamam duvarları yerden 1,5 m yüksekliğe kadar bir, iki veya üç katmanlı horasan sıva ile sıvanmış ve üzeri çok ince bir katmanla son bulmuştur; diğer taraftan duvarların üst bölümleri ise tek bir horasan sıva ve üzerine ince kireç katman ile sıvanmıştır. Yapılan bu uygulama ile duvarların suya daha fazla maruz kalan bölümlerinin korunmak istendiği anlaşılmıştır. Çalışmada harç ve sıvalarda kullanılan tuğlaların iyi puzolan olduğu, diğer taraftan kubbe yapımında kullanılan tuğlaların puzolanik özelliklerinin zayıf olduğu ve tüm tuğlaların 900ºC'nin altında pişirildiği belirlenmiştir. Yapısal tuğlalar ile agrega olarak kullanılan tuğlaların kimyasal analiz sonuçları kıyaslandığında, agrega olarak kullanılan tuğlaların $Al_2O_3.SiO_2$ değerinin daha yüksek, Fe_2O_3 değerlerinin daha düşük, $Na_2O.K_2O$ değerlerinin benzer olduğu görülmüştür. Bu durum ise, Osmanlı döneminde harç ve sıvalarda agrega olarak kullanılan tuğlalar ile yapısal tuğlaların farklı özelliklere sahip olduğunu, bu durum da Osmanlı döneminde bilinçli bir sıva hazırlama yönteminin bulunduğunu göstermiştir (Uğurlu, 2005; Böke, Akkurt, İpekoğlu ve Ugurlu, 2006).

Böke ve arkadaşları, horasan harç ve sıvalarında kullanılan pişmiş kil ürünlerin karakteristik özelliklerini araştırdığı çalışmada, Edirne ve Bursa'da bulunan Osmanlı dönemi hamamların kubbelerine ait harç ve tuğla örneklerini incelemiştir. Çalışmanın sonunda, horasan harcında kullanılan pişmiş kil ürünlerin puzolanik aktiviteye sahip olduğu; ancak, hamamların kubbesinde kullanılan tuğlaların puzolanik özellik taşımadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, harçların hidrolik özellik taşıdığı ve basınç dayanımının 10 MPa olduğu ve tarihi harçlarda kullanılan pişmiş kil kırığı ve tozların bilinçli bir şekilde yüksek oranda kil içeren, düşük ısıda pişmiş ve puzolanik aktiviteye sahip olan tuğlalardan hazırlandığı belirlenmiştir (Böke ve ark., 2006, ss. 1115-1122).

Kahraman, İstanbul'da bulunan bazı Erken Bizans dönemi yapılarında kullanılan horasan harçlarının karakteristik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada, harçların kırık agrega olarak pişmiş kil içerdiği, sarnıçlara ait harçların diğer harçlara göre daha az pişmiş kil kırığı ve tozu ve daha fazla dere çakılı içerdiği belirlenmiştir. Harçlar düşük yoğunluğa ve yüksek gözenekliliğe sahip olmakla birlikte, genel olarak porozitelerinin %26-50 arasında olduğu belirlenmiştir. Harçların bağlayıcı-agrega oranlarının 1:2 ve 1:4 arasında değiştiği, puzolanik ve hidrolik özellik taşıdığı görülmüştür. Mekanik analizlere göre ise

harçların, basınç dayanımlarının 3-8 MPa arasında olduğu ve saray yapılarında kullanılan harçların daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir (Kahraman, 2008).

Mavioğlu, koruma amaçlı üretilecek horasan harçlarının özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile farklı katkı maddeleri içeren horasan harcı örnekleri hazırlamıştır. Hazılanan harçların bağlayıcı:agrega oranları 1:2–1:4 arasında olup, birinci seride bağlayıcı olarak saf kireç, tuğla kırığı ve dere kumu kullanılmıştır. İkinci ve üçüncü serilerde ise önceki karışıma ilave olarak iki tip ince öğütülmüş puzolanik katkı ilave edilmiştir. Mavioğlu, puzolanik malzeme ilave edilen harçların mukavemetin daha hızlı arttığını ve bazı yapısal özelliklerin iyileştiğini belirlemiştir (Mavioğlu, 2011).

Kurugöl ve Güleç, Yoros kalesine ait harçların karakteristik özelliklerini incelediği çalışmada, harçlarda protein, klor tuzu ve nitrat bulunduğunu belirlemiştir. HPLC analizi ile protein türünün yumurta akından (albümin) kaynaklandığı tespit edilmiştir. Petrografik analizlere göre tarihi harçların bağlayıcı oranının %30-35 olduğu, agrega oranının da %65-70 olduğu belirlenmiştir. Harçların düşük yoğunluklu olmasına rağmen, yüksek basınç dayanımına sahip olduğu ve bu nedenle harçların düşük yoğunluklu beton olarak nitelenebileceği aktarılmıştır (Kurugöl ve Güleç, 2012).

2.3.2.2. *Yurtdışında yapılan çalışmalar*

Papayianni ve Karaveziroğlu, 4-17. yüzyılları arasına ait tarihi harçların granülometrik dağılımının, mukavemet ve poroziteleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, incelenen harçların puzolan katkılı kireç harcı değil, puzolan katkılı kireç betonu olduğu ve günümüz modern betonun granülometrik dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada kireç esaslı, yüksek porozite oranına ve en fazla ince taneli agrega oranına sahip harçların, daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu, bu durumda porozite ile basınç dayanımı arasında ters yönlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir (Papayianni and Karaveziroğlu, 1993, ss. 493-499).

Schäfer ve Hilsdorf, modern ve tarihi harçların özelliklerini karşılaştırdığı çalışmada son on yüzyıla ait yaklaşık 140 adet harç örneği incelemiştir. Çalışmada tarihi harçların, modern harçlara göre daha yüksek bağlayıcı oranına sahip olduğu, ortalama bağlayıcı oranının kütlece %25-35 arasında ve kireç:agrega oranının 1:4 ile 1:3 arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada aynı zamanda tarihi harçların büyük bir bölümünün hidrolik özelliğe sahip olmadığı ve küçük bir bölümünün yarı-hidrolik özellik gösterdiği

belirlenmiştir. Elek analizi sonuçlarına göre ise tarihi harçların günümüz standartlarına uymadığı ve çoğunlukla 4 mm üzerindeki agregalardan oluştuğu belirlenmiştir. En büyük agrega boyutu 16-32 mm arasında olduğu tespit edilmiştir. Tarihi harçların açık gözenekliliği %30-45 arasında ve basınç dayanımının da 0,5-5,0 MPa arasında olduğu görülmüştür (Schäfer ve Hilsdorf, 1993, ss. 605-612).

Elert ve arkadaşları, tarihi yapılara yönelik hazırlanacak kireç harçları için öneriler geliştirdiği çalışmada, kirecin söndürülmesi ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Koruma amacı ile hazırlanan kireç harçlarının tamamen söndürülmüş, yumuşak, gözenekli ve yüksek saflıktaki kireçten üretilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca, çalışmada harçlarda kullanılacak agregaların özellikleri konusuna dikkat çekilmiştir (Elert vd, 2002).

Middendorf, alçı harçları ile ilgili yaptığı araştırmada, Almanya'daki tarihi eserlerde kullanılan alçı harçlar ile laboratuvar ortamında üretilen alçı harçlarının karakteristik özelliklerini karşılaştırmıştır (Middendorf, 2002, ss. 165-176).

Moropoulou ve arkadaşları, tarihi harçların karakterizasyonunda termal analiz yöntemleri olan DTA ve TG-DTG analizlerinin önemi üzerinde durmuş ve tarihi harçların hidrolik özelliğinin, kızdırma kaybı analizi sonucu elde edilen CO_2/H_2O orana göre belirlenebileceği, bu oranın hidrolik harçlar için 0-10 arasında, hidrolik olmayan harçlar için ise bu oranın 10'un üzerinde olduğu aktarmıştır (Moropoulou, Bakolas and Bisbikou, 1995). Moropoulou vd. tarihi yapılarda kullanılan harçların, geçmişte hazırlanan birer kompozit malzeme olduğunu ve bu nedenle o dönemde ekoloji ve ekonominin göz önüne alındığını tespit etmiştir. Çalışmada tarih boyunca düşük performans özelliklerine sahip olsa bile, hiçbir malzemenin israf edilmediği ve insanların bu malzemeleri en iyi şekilde, nasıl değerlendirebileceklerini keşfettiği aktarılmıştır. Yeni üretilecek harçların tasarımına ışık tutması açısından, çalışmanın sonunda tarihi malzemelerin karakterize edilmesinin önemine değinilmiştir (Moropoulou, Bakolas and Anagnostopoulou, 2005).

Pavia ve Caro, Roma harçlarının üretim teknolojisini araştırdıkları çalışmada, petrografik analizlerin harç karakterizasyonu için önemine değinmiştir. Araştırmacılar ince kesitlerden yararlanarak, harçların homojen yapıya sahip olduğunu, bileşiminde pişmiş kil kırıkları içerdiğini, bu tuğlaların olağan ısıda pişmiş örnekler olduğunu bildirmiştir. Harçların ait oldukları yapılara bağlı olarak, kaliteleri arasında hiçbir fark

olmadığı, tüm harçların iyi durumda ve nitelikli özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir (Pavia and Caro, 2008).

Tsakiridis ve Toumbakari, Kıbrıs'ta Afrodit tapınağının temellerinde ve Amathus arkeolojik sitesinde yer alan Hristiyan bazilikasının duvarlarında kullanılan alçı harçlarının %68,5'inin $CaSO_4.2H_2O$'dan oluştuğunu belirlemiştir. İnce kesitler ve XRD analizlerine göre, harçlarda az miktarda kalsit ve kuvars bulunduğu ve harçların açık gözenekliliğinin %25,3 olduğu belirlenmiştir (Tsakiridis and Toumbakari, 2010).

Miriello ve arkadaşları, tarihi Kyme'ye (İzmir-Aliağa) ait harç ve sıvaları incelemiş ve harçların bir bölümünün horasan harcı kırıkları içerdiği ve bu kırıkların pembe renkli olduğu (Roma harçları), bir grup harcın ise pişmiş kil içermediği ve grimsi renkte olduğu (Bizans Dönemi) belirlemiştir. Karışım oranlarına göre harçların üç gruba ayrıldığı görülmüş ve bu oranların 1:2, 1:3 ve 1:7 olduğu tespit edilmiştir. İnce kesit analizlerinden ise harçların mermer, trakiandezit ve kuvarsit parçaları ile yeniden kullanılan harç parçaları içerdiği görülmüştür. İncelenen sıvalarda ise, mermer tozunun katıldığının belirlenmesi, Roma geleneklerinden gelen, mermer gibi parlak sıvalar elde etmek isteğinden kaynaklandığı düşünülmüştür (Miriello, Bloise, Crisci, Apollaro and La Marca, 2011).

Centaro ve arkadaşları, çeşitli organik katkıların tarihi harç özelliklerinin üzerindeki etkisini incelediği çalışmada, söndürülmüş kireç ve hidrolik kireç esaslı harç örnekleri hazırlayarak, içine katkı olarak farklı oranlarda yağ, süt ve kahverengi şeker eklemiş ve bir yıl süre ile harçların özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Çalışmanın sonunda, yağ ve süt ilave edilen örneklerin su itici özellik kazandığı, diğer tarafta da basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, şeker katılan örneklerin basınç dayanımının arttığı ve karbonatlaşma hızının yavaşladığı tespit edilmiştir. Katkılı veya katkısız kireç harçlarında, hidrolik kireç harçlarına göre daha geniş boşlukların oluştuğu gözlenmiştir (Centaro ve ark., 2017).

3. ÇALIŞMA ALANI: KARACAHİSAR KALESİ

Türkiye'nin sahip olduğu kültürel miras içinde büyük önemi olan; ancak, az tanınan ve korunamayan anıtların başında kaleler gelmektedir. Anadolu'nun hemen hemen her yerinde bulunan kalelerin kesin sayısı bilinmemekle birlikte, çok sayıda olduğu tahmin edilmektedir. Bazı kaleler sınır boylarının kontrolü ve yerleşim yerlerinin savunulması, bazıları kervan yollarının, bazıları da büyük şehirlerin etrafının koruması amacı ile inşa edilmiştir. Bu nedenle de tarihi kalelerin büyüklükleri birbirinden farklı olup, günümüzde çoğu harap haldedir. Kalelerin içinde genellikle cami, hamam, zindan, sarnıç, kuyu, kale dizdarının evi ve çeşitli yapılar yer almıştır. Ancak, ulaşım zorluğu, su, gıda ve mühimmatın taşınması ve benzer konularda zorluk yaşanması ve güvenlik gereksinimin ortadan kalkması ile birlikte kaleler zamanla terk edilmiştir. Türkçede kale, hisar, sur, burç, burgaz, kule gibi isimler, insanlığın en önemli ihtiyaçlarından biri olan savunma ihtiyacını karşılayan yapılara verilmiştir. İngilizcede "fortress", Fransızcada "fort" veya "chateau", Almancada "burg" olarak adlandırılan kale, Arapça' da "kal'a" dağ yada yüksek bir tepe üstündeki müstahkem yapı anlamına gelmektedir. Kale kelimesi, İran'da "kelat", İran etkisindeki Babürlüler dönemi Hindistanında "kila" şeklinde ifade edilmektedir (Pekin ve Yılmaz, 2008, s. 7).

Bizans dönemi ve öncesinde inşa edilen kaleler, Osmanlı döneminde onarılarak, çeşitli eklemeler yapılmış ve kullanılmaya devam etmiştir. Bu süreçte, Osmanlı savunma mimarisinin özellikleri de kalelere aktarılmıştır. Bu nedenle, kaleler geçmiş dönemlerin savunma konusundaki zengin kültürel birikimini yansıtan yapıların başında gelmektedir (Sönmez, 1999, s. 3).

Karacahisar kalesi Frigya bölgesinin önemli savunma kalelerinden biri olup, Eskişehir merkezinin 7 km güneybatısında, Odunpazarı İlçesi, Karacaşehir Mahallesinde, Porsuk Çayının kenarında yükselen ve rakımı 1010 m'ye ulaşan bir platonun üzerinde bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.1). Kale, Eskişehir kentini ve ovasını, Porsuk vadisini, İstanbul ve Marmara bölgesine giden yollar ile Ankara-Konya yönüne devam eden yolların gözetlenebildiği stratejik bir konumda yer almaktadır. 200x300 m boyutlarında olan kale, yaklaşık 60 dönüm yüzölçümüne sahiptir. Kalenin inşa edildiği tarih ve ilk ismi ise günümüzde bilinmemektedir (Doğru, 2001, s. 107). Karacahisar kalesi konumu ve mimari özellikleri itibari ile "Kastron" yada "Kale kent" olarak adlandırılan yerleşim özelliklerini yansıtmaktadır. Anadolu'da 7. ve 8. yy'da oluşmaya başlayan kale kentler,

Orta Bizans döneminin askeri şehirleri olarak tanımlanmaktadır (Haldon, 1999, ss. 10-16; Altınsapan vd. 2010, s. 5).



Şekil 3.1. *Karacahisar kalesinin konumu (http-15)*

3.1. Karacahisar Kalesinin Tarihçesi

Anadolu Selçuklu Devleti 1075 yılında Kutalmışoğlu Süleyman tarafından İznik'te kurulmuş ve doğudan gelen göçmenlerle güçlenmiştir. XI. yüzyılın ikinci yarısından itibaren Türkler sürekli Karacahisar kalesinin önünden geçip batıya doğru ilerlemiş olsa da, XI. yüzyılın sonunda I. Haçlı Seferinin yıkıcı etkisi ile karşı karşıya gelmiştir. İstanbul'dan İznik'e gelen Haçlı Ordusu İznik'i alıp, Bizans İmparatoru Alexsi Komnen'e teslim etmiştir (26 Haziran 1097). Sultan I. Kılıç Aslan ise Dorylaion'a (Eskişehir) kadar geri çekilmiş ve Temmuz 1097'de Dorylaion ovasında yapılan meydan savaşında yenilmiştir (Doğru, 2001, s. 108).

II. Kılıç Arslan (1155-1192), Selçuklu tahtına geçtikten kısa bir süre sonra İmparatorla bir saldırmazlık anlaşması imzalamıştır. Anlaşmaya göre Sultan, Türkmenlerin Bizans topraklarına yerleşmesine engel olacak, buna karşılık İmparator ise Dorylaion'dan Seyitgazi'ye doğru mevcut kale, burç ve surları onarmayacak ve yenilerini yaptırmayacaktır. Ancak, anlaşmadan sonraki on yıl zarfında Eskişehir bölgesine yığılan ve Bizans topraklarına geçip yerleşmek isteyen göçmenler denetlenemeyecek hale

gelmiştir. Aynı zamanda İmparator da sözünde durmamış, 1175 yılında hızlı bir imar faaliyetine başlamış, kale ve surları onardığı gibi yenilerini de inşa ettirmiştir. Tarihi kaynaklara göre Karacahisar kalesi de bu dönemde güçlendirilerek, Manuel Komnen'in savunma kaleleri arasındaki yerini almıştır. Ancak, II. Kılıç Arslan, Manuel Komnen'in imar faaliyetlerini savaş nedeni saymış ve iki ordu 1176 yılında Miryakefalon'da karşı karşıya gelmiştir. İmparator Manuel Komnen yenilerek, kısa bir süre sonra Orta Anadolu'yu Türklere terk etmek zorunda kalmıştır. İmparator, Sultan II. Kılıç Arslan'la yaptığı anlaşma gereğince Dorylaion ve diğer kaleleri de yıktırmıştır (Doğru, 2001, ss. 108-109).

IV. Haçlı seferinden sonra (1204) İstanbul'da kurulmuş olan Latin Devleti, Anadolu ile ilgilenmemiş, Bizans hanedanı yükselme dönemi yaşayan Anadolu Selçuklu devleti karşısında ciddi bir varlık gösterememiştir. Bu sırada feodalleşen Bizans tekfurları da hızlı bir atılım sergilemiştir. Bitinya ile Orta Anadolu'da yer alan ve güçlenen tekfurlar, imparatorluğun siyasetine yön vermeye başlamış, yıktırılmış olan kaleleri onararak, buralara yerleşmiş ve uçta Selçuklu sultanına vergi vermek şartı ile bağımsızlıklarını sürdürmeye devam etmiştir. Bu arada Karacahisar kalesinin coğrafi ve stratejik konumu gereği ve çevrede Türk nüfusunun kalabalık olması itibarı ile Karacahisar tekfuru diğer tekfurlar arasında ön plana geçmiştir (Doğru, 2001, s. 111).

13. yüzyılın ilk yarısı sona ererken kendisine bağlı Türkmenlerle birlikte Anadolu'ya gelen Ertuğrul Gazi, Selçuklu Sultanının emri ile Sultanönü (Eskişehir) sancağına yerleştirilmiştir. Bu yerleştirme sırasında bölge, Karacahisar ve diğer kalelerin tekfurlarının denetiminde bulunuyordu. Tekfurlar uçta Türklerin sayısının hızla artmasından memnun olmadığı için, Karacahisar tekfuru Ertuğrul Gazi'yi akınları ile taciz etmeye başlamıştır. Tekfurun saldırılarından kurtulmak isteyen Ertuğrul Gazi Sultan'ın desteği ile Karacahisar kalesini fethetmiş ve tekfuru esir alarak, kalenin gazileri tarafından yağma edilmesine izin vermiştir. Daha sonraki yıllarda Ertuğrul Gazi'nin uçta yeterince faal olmaması nedeni ile Karacahisar kalesi Bizanslıların eline geri geçmiş ve tekfurlar yeniden güçlenmiştir (Doğru, 2001, ss. 111-112).

Ertuğrul Gazi'nin ölümünden sonra başa geçen Osman Bey (1281), uçta iktidarını güçlendirmek için Karacahisar tekfuruna karşı gücünü ispatlaması gerektiğini düşünmüştür. Osman Bey, kendisini bölgeden uzaklaştırmak amacı ile birleşen Bizans tekfurlarının ittifakını bozmak için, ordusu ile birlikte 1288'de Karacahisar kalesini en

zayıf noktasından, yani platoya açılan ve kale girişinin bulunduğu doğu yönden kuşatmıştır. Çok geniş bir alan kaplayan kalenin fethedilmesi kolay olmasa da, Türkler kaleyi fethetmeyi başarmış ve kaleye Karacahisar, kale dışındaki yerleşim alanına da Karacaşehir adını vermiştir. Karacahisar isminin kalenin yapımında kullanılan siyah renkli taşlardan geldiği düşünülmektedir (Doğru, 2001, ss. 107, 111-112).

Karacahisar kalesinin fethi Osman Gazi'nin Selçuklu Sultanı ile olan ilişkisinde bir dönüm noktası olmuş ve Sultan alem; tuğ[6] ve tabl (davul) göndererek Osman Bey'in uç beyliğini onaylamıştır. Böylece, Osman Bey Karacahisar kalesi ile birlikte Eskişehir'in de sahibi olmuştur. Osman Bey vefat ettiğinde (1324) Osmanlı beyliği; öteki Türkmen beylikleri gibi oldukça geniş bir bölgeyi egemenliği altına almış, şehirleri, ordusu ve bir bürokrasisi olan küçük bir devlet haline gelmişti. Bu şekilde Karacahisar kalesi Osmanlı devletinin kuruluş yeri olarak tarihteki yerini almıştır (İnalcık, 1999).

Kale ve Karacaşehir köyü 15. yüzyılda Fatih Sultan Mehmet'in fermanı ile aşağıya taşınmıştır. Burada iki faktör rol oynamıştır; birincisi, II. Murad zamanında Germiyan ülkesinin Osmanlı sınırlarına dâhil edilerek bir sancak haline gelmesi sonucu Porsuk vadisi boyunca gelecek tehlikenin ortadan kalkması, ikincisi de kalede su sıkıntısının bulunmasıdır. Kalenin bulunduğu dağın eteklerinde akan ve bol miktardaki içilebilir su kaynağı yaşanan su sıkıntının çözümü olmuştur (Doğru, 2001, s. 114).

Günümüze kadar gerçekleştirilen yüzey araştırmaları ve kazılardan elde edilen verilere göre, kalenin sadece Geç Bizans ve Erken Osmanlı dönemlerinde değil, bulunan Bizans sikkelerine istinaden 7-11. yüzyıllar arasında ve bulunan Osmanlı dönemi sikke, metal ve seramik buluntulara istinaden, 14. ve 18. yüzyılları arasında da yerleşim alanı olarak kullanılmış olabileceği tahmin edilmektedir (Altınsapan, Demirel Gökalp, Yılmazyaşar ve Gerengi, 2015, s. 628).

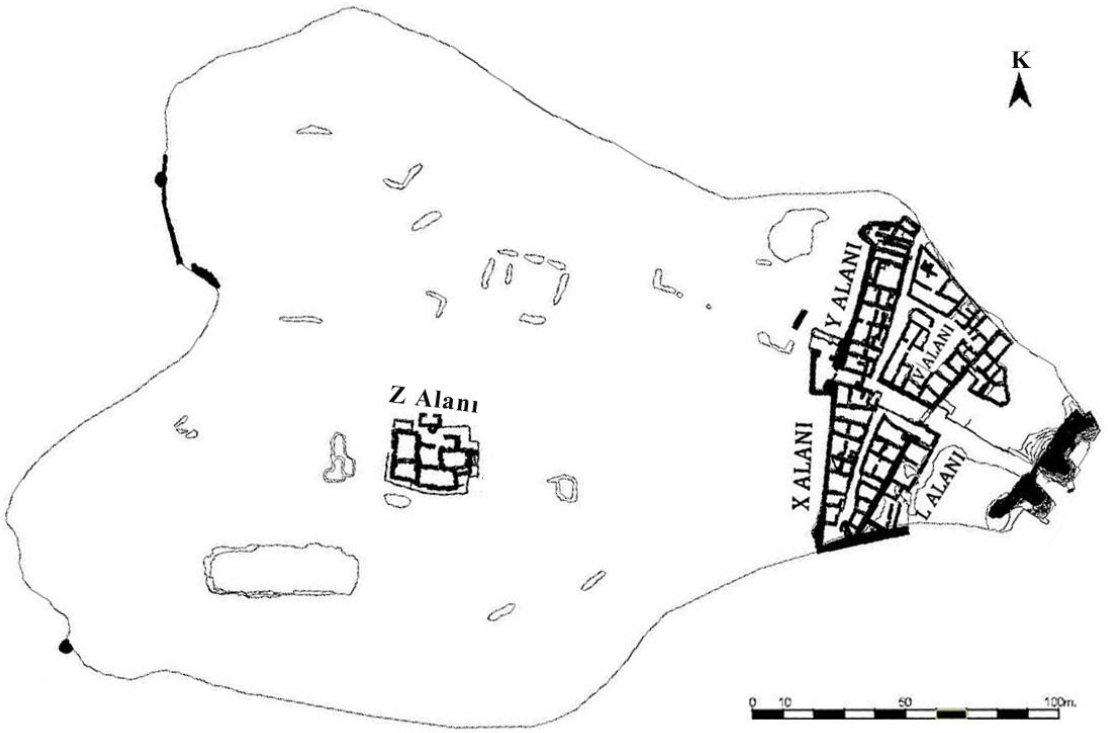
---

[6] Tuğ: Türk tarihinde tuğ, hükümranlık ve bağımsızlık anlamları taşıyan, bayrak, sancak ve alem gibi askerî ve siyasî bir güç ve yetki işaretidir. Osmanlı döneminde tuğ, daima at kuyruğundan yapılmış ve hanlık alâmeti şeklinde kabul görmüştür (Çoruhlu, 2012, ss. 330-332).

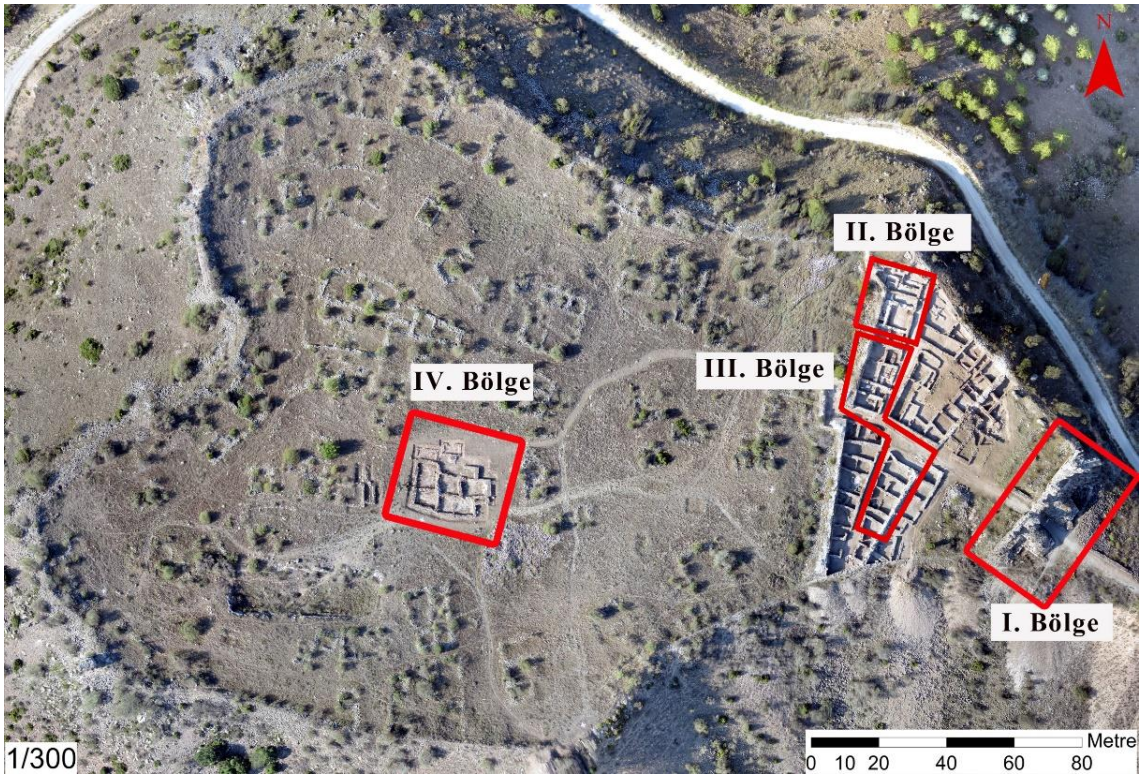
.

3.2. Malzemelerin Elde Edildiği Bölgeler

Çalışmada incelenen yapı malzemeleri X, Y ve Z alanlarının 2012 ve 2013 yılında ortaya çıkarılan mekânlarına (Bkz. Şekil 3.2 ve Görsel 3.1) ve kale girişinin bulunduğu sur duvarı, burç ve payandalara aittir. Çalışmada kale giriş sur duvarının yapım yöntemi kale içindeki yapılardan farklı olduğu için burası I. Bölge olarak, Y alanındaki Y5 ve Y6 açmalarının, X ve Y alanındaki diğer mekânlardan farklı mimari karaktere sahip olması nedeni ile II. Bölge olarak, konumu ve mimari özellikleri açısından benzerlik gösteren Y alanındaki Y1, Y2, Y3 ve Y4 mekânı ile X alanından Görsel 3.1'de gösterilen mekânlar III. bölge olarak isimlendirilmiştir. Z alanı, yapım tekniği açısından III. Bölgeye benzer olsa da, ayrık konumu nedeni ile IV. Bölge olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.2. *Karacahisar kalesinin 2011-2014 yılları arasında ortaya çıkarılan alanlar (Altınsapan vd., 2015, s. 630)*



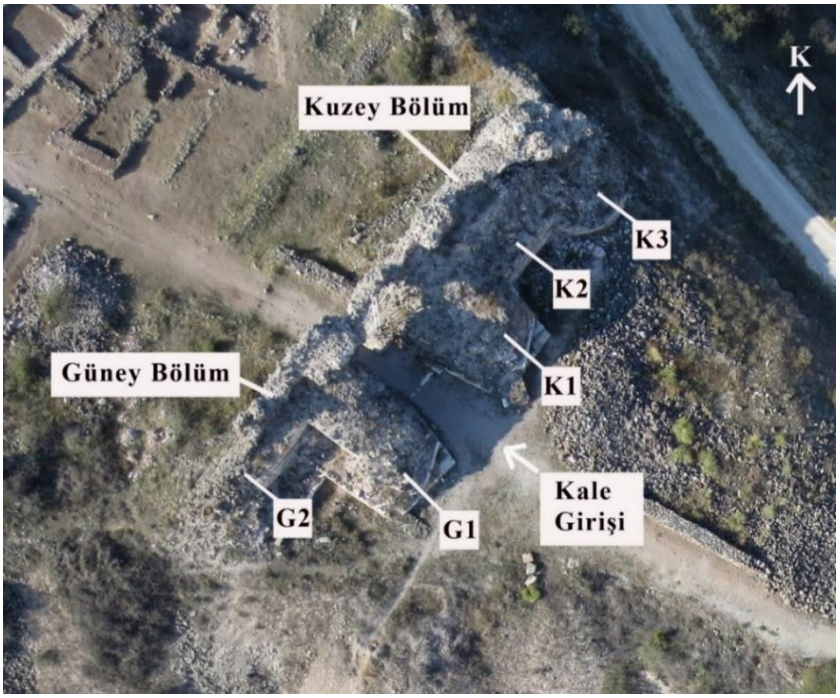
Görsel 3.1. *I, II, III ve IV. bölgenin kale içindeki konumu*[7]

3.2.1. I. Bölge

I. Bölge Karacahisar kalesinin doğu yönünde, kale girişinin bulunduğu ve günümüze ulaşabilmiş olan sur duvarı kalıntısını kapsamaktadır (Bkz. Görsel 3.1). Bu bölge, kuzey yönde büyük bir bölümü yıkılmış olan sur duvarı parçası, bir payanda ve bir burç; güney yönde de büyük bir bölümü yıkılmış olan sur duvarı parçası ile bir payandadan oluşmaktadır (Bkz. Görsel 3.2). Yapılan görsel inceleme sonucunda yapım tekniği açısından, I. bölgenin kuzey ve güney bölümleri arasında bazı benzerlik ve farklılıkların bulunduğu görülmüştür. Örneğin, Görsel 3.2'den her iki taraftaki sur duvarı ve payanda temellerinin, şekil ve boyut açısından birbirine benzediği; ancak, kuzey bölümdeki sur duvarının, güney bölümdeki sur duvarından daha kalın inşa edildiği görülmektedir. Bunun nedeninin, kalenin Kuzey doğu yönünden gelebilecek saldırılara karşı daha açık olması olduğu düşünülmüştür. Bu durumu Görsel 3.3'te de görmek

[7] Kalenin hava görüntüleri, 2014 yılında Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü'ne ait insansız hava aracı ile elde edilmiştir.

mümkündür, çünkü görselden Kuzey doğu yönündeki burcun daha önce hasar gördüğü ve onarıldığı anlaşılmaktadır.

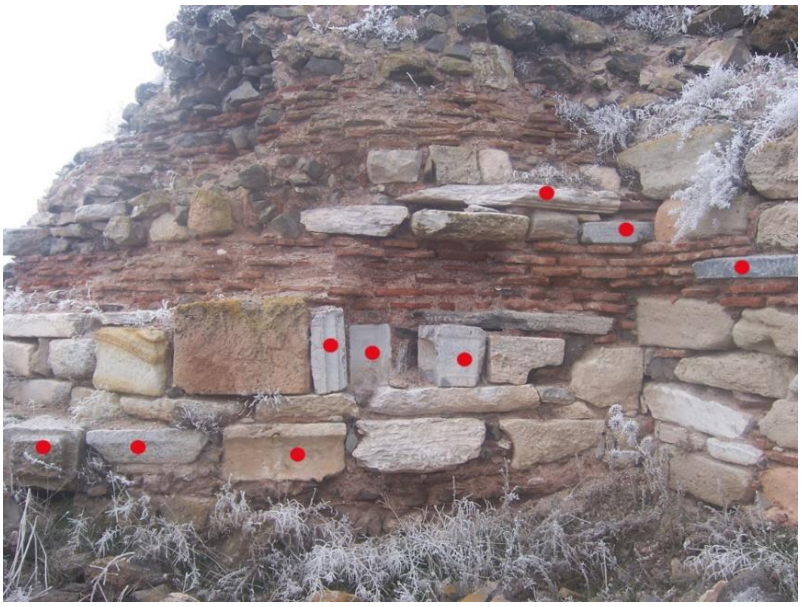


Görsel 3.2. *I. Bölgenin vaziyet planı. K1 kuzey payanda, K2 kuzey sur duvarı, K3 kuzey burç; G1 güney payanda, G2 güney sur duvarını göstermektedir*



Görsel 3.3. *I. bölgenin kuzey doğu burcunda aynı kotta farklı iki harç uygulaması*

Bir diğer benzerlik her iki yöndeki duvarların ön yüzünde ve temellerinde devşirme taş bloklar ile çeşitli elemanların (Bkz. Görsel 3.4 ve Görsel 3.5) kullanılması, her iki bölümün güney doğu (ön) cephesinde almaşık tekniğin uygulanması (Bkz. Görsel 3.6, 3.8 ve 3.9) ve kuzey batı (arka) cephesinin sadece moloz taş ile örülmesidir (Görsel 3.7). Diğer bir benzerlik de her iki yöndeki duvar cidarları arasında kalan boşluğun, moloz taş ve dolgu harcı ile doldurulmuş olmasıdır.



Görsel 3.4. *I. bölgede kuzey payanda ve duvarda kullanılan devşirme taş bloklar ve elemanlar*



Görsel 3.5. *I. bölgede güney payandada kullanılan devşirme taş bloklar ve elemanlar*



Görsel 3.6. *I. bölgenin güney doğu cephesi (2012)*



Görsel 3.7. *I. bölgenin kuzey batı cephesi (2012)*



Görsel 3.8. *Kale girişinin kuzey bölümüne bir bakış (2012)*



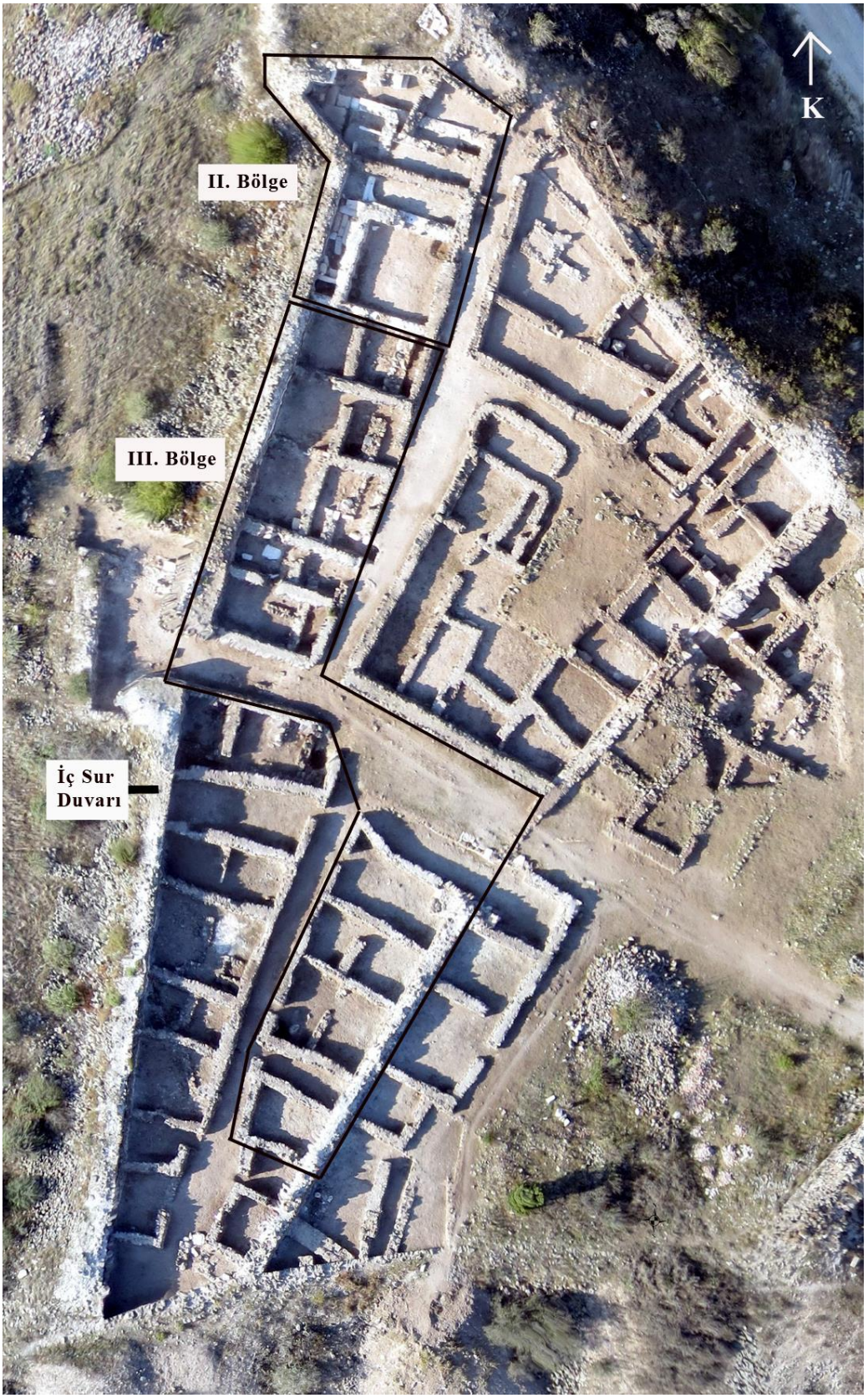
Görsel 3.9. *Kale girişinin güney bölümüne bir bakış (2012)*

Yerinde yapılan ölçümler sonucunda kuzey bölümde, güney bölümden daha büyük tuğlaların kullanıldığı tespit edilmiş. Kuzey bölümdeki yığma yapı tuğlalarının uzunluğu için sınır değerler 28-41 cm, kalınlığı için sınır değerler 5-7 cm arasındadır. Ayrıca, Kuzey bölümde tam tuğlaların yanısıra, yarım tuğlaların da kullanıldığı ve bu yarım tuğlaların uzunluğunun 15-20 cm, kalınlığının da 4,5-5,5 cm arasında olduğu tespit edilmiştir. Güney burçta kullanılan tuğlaların yerinde yapılan ölçümlere göre uzunluğu ortalama 31 cm ve kalınlığı ortalama 4,2 cm'dir. Bizans döneminde, tuğla ölçülerinin zamanla birlikte küçüldüğü (Kahya, 1992) göz önüne alındığında, kalenin kuzey bölümünün, güney bölümden önce inşa edildiği tahmin edilmiştir.

3.2.2. II. ve III. Bölge

Kale girişi ve iç sur arasında bulunan II. ve III. bölgeleri bitişik nizamlı taş duvarlarla tanımlanmış, dikdörtgen formlu mekânlardan oluşmuştur (Bkz. Görsel 3.10). II. bölge iç sur ve kuzey dış sur duvarları arasında, III. bölge ise iç sur ile güney dış sur duvarı arasında yer almaktadır. Varlığı ilk kez 2009 yılında ortaya çıkarılan iç sur II. ve III. bölgeleri kale içindeki yapılaşmalardan ayırmaktadır. Geçmişte bu surun merkez aksında 4,50 m genişliğinde çift kanatlı bir kapının bulunduğu düşünülen bir geçişin bulunduğu tahmin edilmektedir (Altınsapan vd., 2015, s. 625).

II. bölge Eskişehir ovası ve ana güzergâhların izlenebildiği oldukça stratejik bir konumda yer almaktadır. Bölge 7.00x7.00 m ölçülerinde kare biçimli, özgünlüğü korunmuş bir mekân (Y5 açması) ile yine yaklaşık kare formlu, ancak sonraki evrelerde bölümlenmiş bir diğer mekân (Y6 açması) ile büyük bir bölümü yıkılmış bir burçtan oluşmaktadır. Bu bölgedeki duvarlar kesme taş, tuğla ve harç kullanılarak inşa edilmiş olup, eşik veya duvar öğesi olarak yer yer devşirme elemanlar kullanılmıştır. Bu devşirme elemanlar çifte sütun, baluster, sütun başlığı, lento, söve gibi Bizans mimarisinde kullanılan parçalardan oluşmuştur (Altınsapan vd., 2015, s. 627).



Görsel 3.10. *II. ve III. bölgelerin vaziyet planı*

2012 yılındaki kazılarda II. bölgedeki kare mekân ile iç sur arasında bulunan, 1,78x8,00 metre ölçülerinde bir mekân ortaya çıkarılmıştır (Bkz. Görsel 3.11). Bu mekânın zemininde Roma Dönemine ait devşirme mermer blokların bulunması oldukça önemli bir bulgu olmuştur, çünkü bu mekânın döşemesinde kullanılan mermer blokların iç surun altına doğru devam etmesi, iç surun bu bölümün üzerine sonradan inşa edildiğini ve II. Bölgenin daha önceki evreye ait olduğunu göstermiştir (Altınsapan vd., 2015, ss. 625-627).



Görsel 3.11. *II. bölgede Y5 açması ile sur duvarı arasında bulunan bölüm*

III. Bölgedeki mekânlar iç içe iki oda şeklinde kurgulanmış, bitişik nizamlı mekânlardan oluşmuştur. Bu mekânları birbirinden ayıran duvarlar çift cidarlı olup, bazalt taşları ile kuru yöntemle örülmüş, cidarların arası ise toprak ve daha küçük kayaçlardan

oluşan dolgu ile doldurulmuştur (Bkz. Görsel 3.12). Bu bölgedeki mekânların sırtını yasladığı iç sur duvarı bazalt taş ile yer yer kesme taş, tuğla ve harç kullanılarak inşa edilmiştir (Bkz. Görsel 3.13). Surun duvar örgüsü, almaşık teknikten uzak, düzensiz bir yapıya sahiptir. İç sur ve III. bölgedeki duvarların arasındaki yapım tekniği ve malzeme farklı olması nedeni ile III. bölgenin sonraki evrelerde iç sur duvarına eklemlenmiş olduğunu tahmin edilmektedir (Altınsapan vd, 2015, s. 625).



Görsel 3.12. *III. bölgeye bir bakış*



Görsel 3.13. *III. bölgeye ait duvar örgü tipi*

3.2.3. IV. Bölge

IV. bölge kalenin merkezi konumunda yer alan ters T planlı bir yapıyı kapsamaktadır (Bkz. Görsel 3.14). Boyutları yaklaşık olarak 26,33x16,66 m olan yapının, yapım tekniği açısından III. bölge ile benzer olduğu ve her odasında bir ocak nişinin bulunduğu tespit edilmiştir (Bkz. Görsel 3.15). Yapı duvarlarının cidarları moloz taşlarla örülmüş, araları da çamur harcı ile doldurulmuştur. Yapının hangi amaçla kullanıldığı kesin olarak bilinmemektedir (Altınsapan vd., 2015, s. 626).



Görsel 3.14. *IV. bölgenin vaziyet planı*



Görsel 3.15. *IV. bölgedeki bir ocakta tuğla kullanımı*

4. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

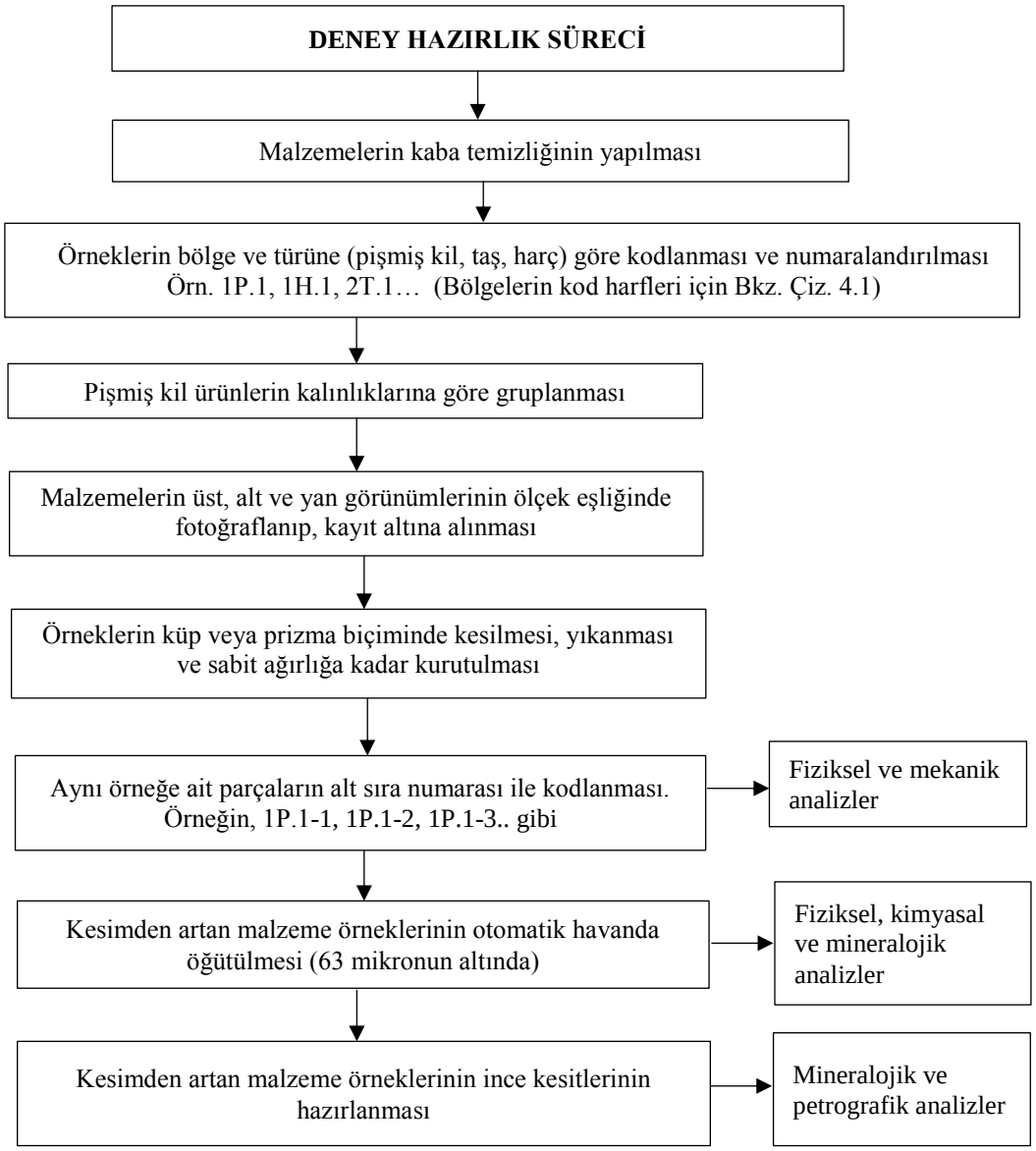
4.1. Yapı Malzemelerinin Elde Edilmesi

I. bölgeye ait tarihi yapı malzemeleri doğrudan yapı üzerinden alınmıştır. Bu süreçte tarihi yapıya zarar vermemek için oldukça dikkatli davranılmıştır. Diğer bölgelerden alınan pişmiş kil ürünler ve doğal taşların büyük bir bölümü arkeolojik kazıların sonucunda elde edilmiştir. Bu aşamada benzer özelliklere sahip olanların yanı sıra farklı kalınlık ve dış görünüşe sahip olan ürünlerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Harçlar ve bazı zemin tuğlası örnekleri doğrudan yapı üzerinden alınmış ve bu yerler fotoğraflanarak kroki üzerinde işaretlenmiştir. Çalışma için I. bölgeden 32, II. bölgeden 31, III. bölgeden 69 ve IV. bölgeden 60 adet olmak üzere toplam 192 adet pişmiş kil örnek; I. bölgeden 10 ve II. bölgeden 8 olmak üzere, toplam 18 harç örneği ve dört bölgeden 2'şer olmak üzere, toplam 8 adet taş örneği alınmıştır. Tüm malzemeler kilitlenebilir poşetlere konularak laboratuvara taşınmıştır.

4.2. Çalışmanın Metodolojisi

Tez çalışması deney hazırlık süreci; deneysel çalışma süreci, deney sonuçlarının analizi ve yorumlanması ile malzeme tipolojilerin belirlenmesi olarak dört aşamada gerçekleşmiştir. Şekil 4.1'de deneysel çalışma öncesine ait sürecin aşamaları gösterilmiştir. Buna göre, kaleden laboratuvara taşınan malzemeler, çok uzun bir süre toprak tabakası altında bulunduğu için üzerindeki toz ve toprak kalıntıları yarı sert bir fırça ile temizlenmiştir. Ardından, yapı malzemeleri alınmış olduğu bölge ve türüne göre kodlanmıştır. Malzemelerin türüne ve bölgelere göre isimlendirmede kullanılan kodlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Pişmiş kil ürün tanımlaması yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremit türü malzemeleri ifade etmek için kullanılmıştır. Pişmiş kil ürünler 2, 3, 4 ve 5 cm kalınlıklarında gruplanmış ve her bir örneğe yeni bir sıra numarası verilmiştir. Ardından tüm malzeme örneklerinin üst, alt ve yan görünüşleri kayıt altına alınmıştır. Bu aşamadan sonra yapı malzemeleri hassas kesme cihazında ıslak yöntemle küp veya dikdörtgen prizması şeklinde kesilmiştir. Sonra, tüm örnekler basınçlı su altında yarı sert fırça ile yıkanmış ve ardından etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Kesme işleminde aynı örnekten elde edilen örnekler kendi grup numarasının alt sıra numarası ile numaralandırılmıştır. Malzemelerin kesme işleminden artan parçalar mineralojik analizde

kullanılmıştır. Her örneğe ait bir parça otomatik havanda öğütülerek, 63 μ altında toz örnek elde edilmiş, diğer bir parçasından da ince kesit hazırlanmıştır.



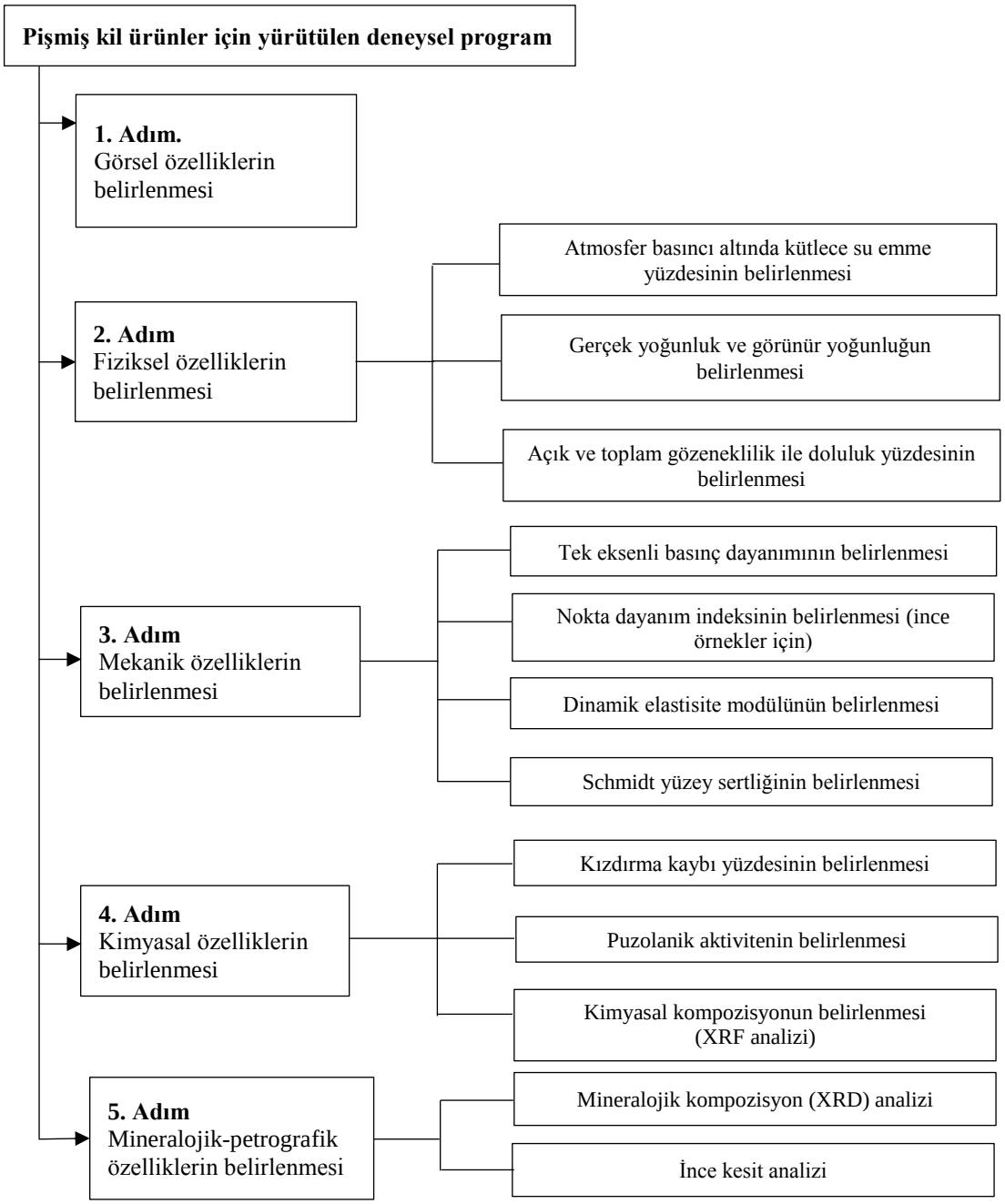
Şekil 4.1. *Deneysel çalışma öncesi hazırlık süreci*

Çizelge 4.1. *Kaledeki bölgelere ve malzeme türüne bağlı olarak isimlendirme yöntemi*

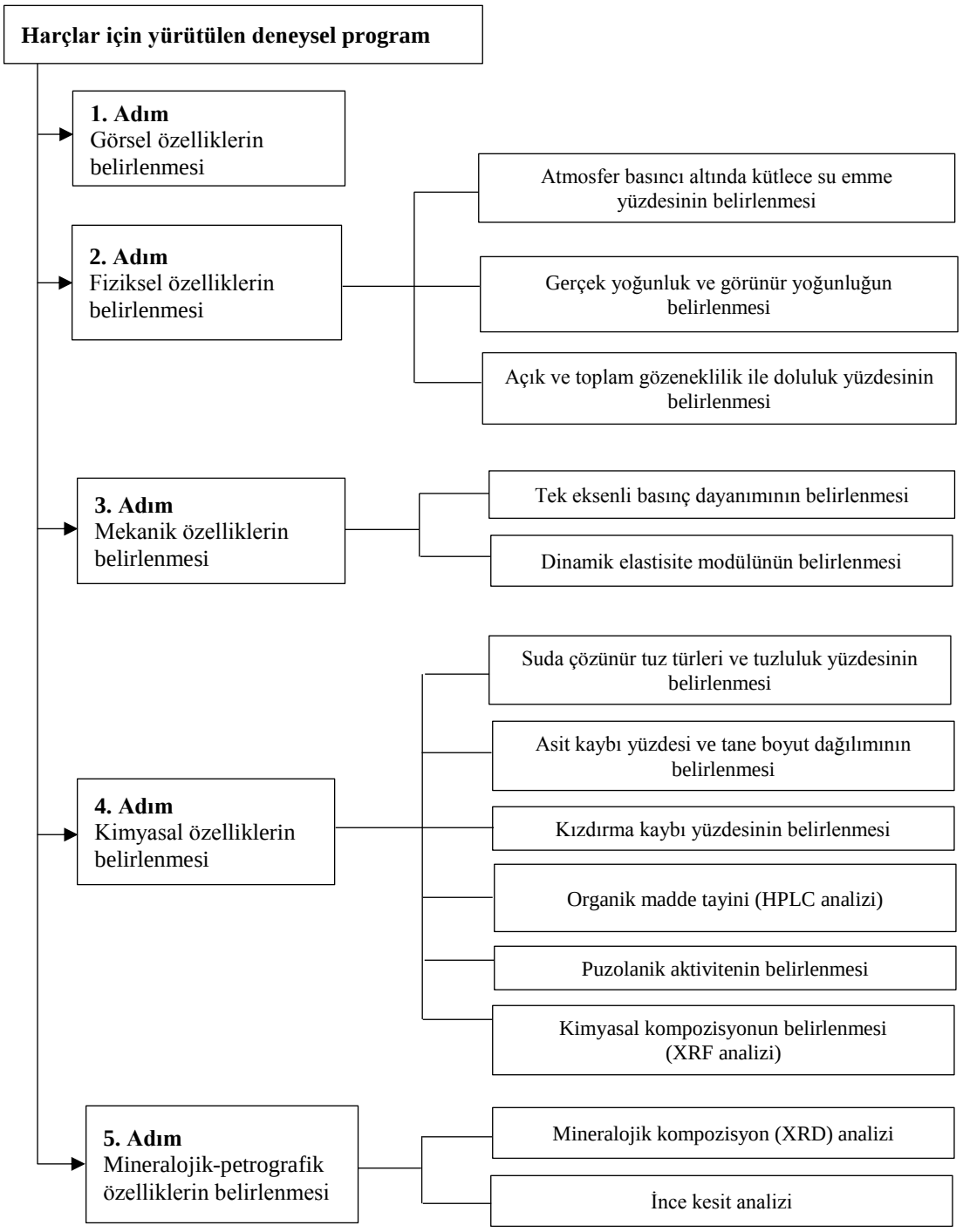
Bölge Adı	**Yapı Malzemesi Türü**		
	Pişmiş kil ürünü	**Doğal taş**	**Harç**
I. Bölge	1P. Örnek No	1T. Örnek No	1H. Örnek No
II. Bölge	2P. Örnek No	2T. Örnek No	2H. Örnek No
III. Bölge	3P. Örnek No	3T. Örnek No	--
IV. Bölge	4P. Örnek No	4T. Örnek No	--

-- İşareti malzemenin o bölgede bulunmadığını ifade etmektedir.

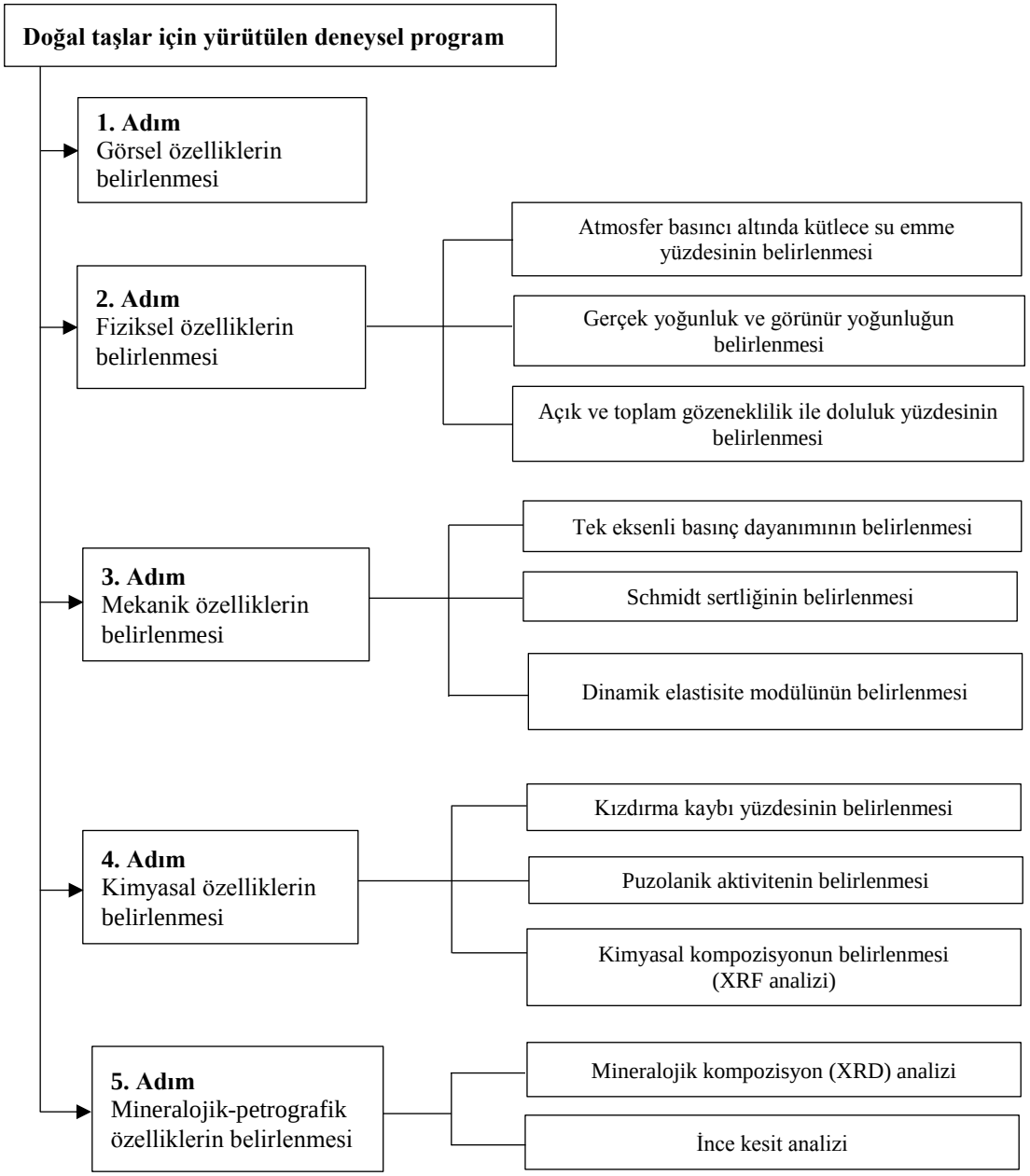
Laboratuvarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sırası ile pişmiş kil ürünlere, harçlara ve en son doğal taşlara uygulanmıştır ve her sürecin kapsamındaki deney programı akışı Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'te ise pişmiş kil ürünlerin görsel özelliklerine göre kullanım amacının belirlenmesine yönelik önerilen metodun adımları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. *Kalede pişmiş kil ürünlere uygulanan deneysel program*

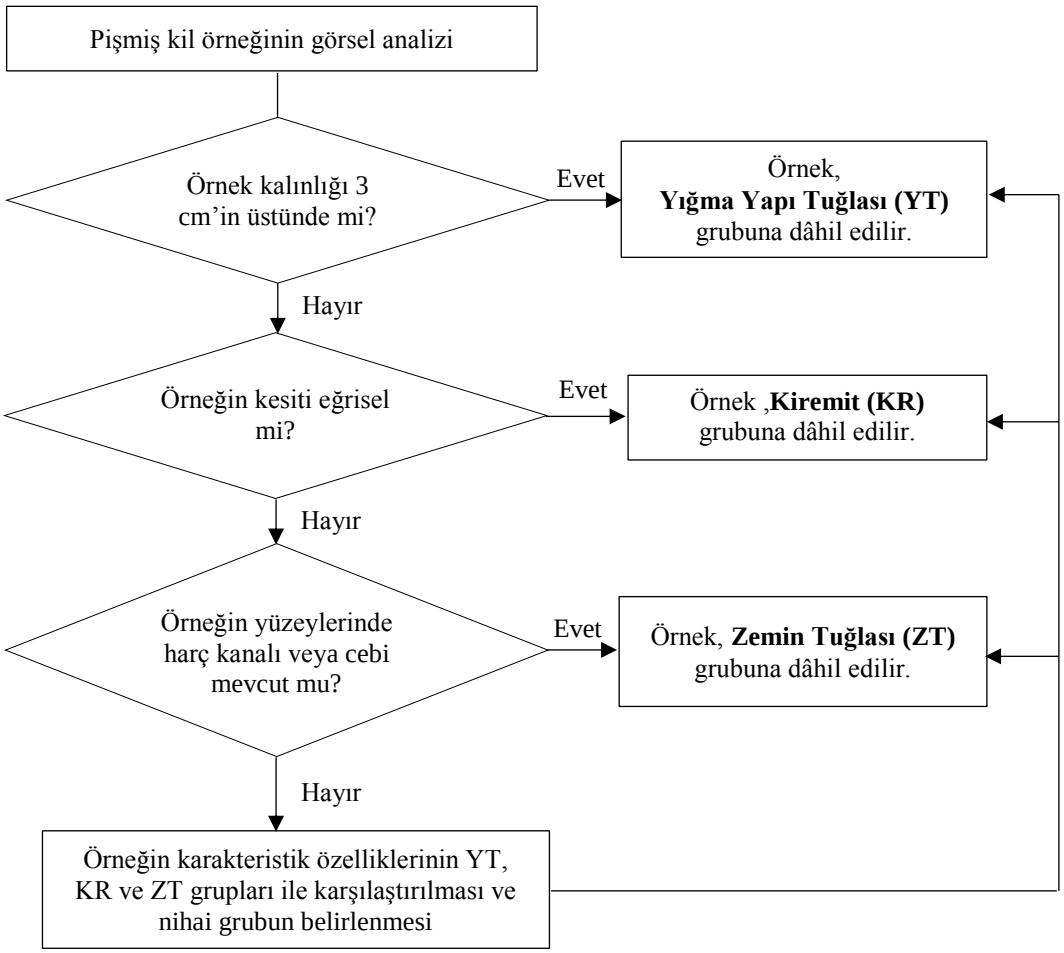


Şekil 4.3. *Kaledeki harçlara uygulanan deneysel program*



Şekil 4.4. *Kaledeki doğal taşlara uygulanan deneysel program*

Şekil 4.5'te pişmiş kil ürünlerin dış görünüşüne bağlı olarak yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası veya kiremit gruplarından ait olduğu grubu belirlemek için uygulanan yöntem verilmiştir. Buna göre, kalınlığı 3 cm ve daha ince ve kesiti eğrisel olan örnekler kiremit grubuna, kalınlığı 3 cm ve daha ince ve yüzeyinde harç kanalı veya harç cebi olan örnekler zemin tuğlası grubuna ve kalınlığı 3 cm'in üstünde olan örnekler ise yığma yapı tuğlası grubuna dahil edilmiştir.



Şekil 4.5. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kullanım amacına göre gruplanması*

Deneysel süreçte sıra ile her bölgeki yapı malzemeleri analiz edildikten sonra, farklı bölgelerdeki bazı malzemelerin aynı karakteristik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda, örneğin farklı bölgelerdeki benzer pişmiş kil ürünler bir arada gruplandırılarak karakteristik özellikleri aynı grup adı altında değerlendirilmiştir. Pişmiş kil ürün gruplarının kullanım amacı ve kalınlığına göre isimlendirmesi yöntemi Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlası grupları YT, zemin tuğlası grupları ZT ve kiremit grupları da KR kodu ile kodlanmıştır. Bu grupların isimlendirilmesinde kullanılan Tip Numarası ise, aynı kalınlık grubu içinde görünür yoğunluğu en yüksek olan gruptan, en düşük olana doğru verilmiştir. Tarihi harçlarda da pişmiş kil örneklerdeki gibi benzerlik durumu olduğu için, analiz sonunda aynı özelliklere sahip olan harçlar gruplanarak karakteristik özellikleri grup içinde değerlendirilmiştir. Harç grupları da H kodu ile kodlanmıştır.

Çizelge 4.2. *Kaledeki pişmiş kil ürün ve harç gruplarının isimlendirmesi yöntemi*

d (mm)	Yığma yapı tuğlası	Zemin tuğlası	Kiremit	Harç
41-50	YT-Tip No/d:41-50	-	-	-
31-40	YT-Tip No/d:31-40	-	-	-
21-30	YT-Tip No/d:21-30	ZT-Tip No	KR-Tip No	-
kalınlık yok				H

"-" işareti, ilgili bölgede ilgili malzemenin bulunmadığını göstermektedir.

4.3. Deneysel Yöntemler

Bu bölümde deneysel program kapsamındaki fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik analizlerde uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

4.3.1. Görsel özelliklerin belirlenmesi

Görsel özelliklerin belirlenmesi kapsamında malzemelerin kalınlığı, rengi, dokusu, içeriyor ise safsızlık boyutu ve türü, dış görünümü ile agrega boyut ve dağılımı incelenmiştir. Görsel analiz önce çıplak gözle, ardından da Carl Zeiss marka Axiocam ERC 5s model kamera ataçmanlı Carl Zeiss marka Stemi 2000C model stereo mikroskop ile yapılmış ve her iki aşamada da malzemeler fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır. Renk tayininde Munsell renk kataloğundan (1994) yararlanılmış ve malzeme yüzeylerinde bulunan her tür ayırt edici özellik kayıt altına alınmıştır. Malzemelerin bünyesinde bulunan farklı boyuttaki doğal taş, pişmiş kil veya kil topaklarının tane boyutu tayininde Çizelge 4.3'ten yararlanılmıştır.

Çizelge 4.3. *Safsızlık taneleri için boyut sınıflaması (Munsell, 1994, s. 5)*

Boyut	Tane boyutu
< 1 mm	Çok ince
1-2 mm	İnce
2-5 mm	Orta
5-10 mm	Kaba
> 10 mm	Çok kaba

4.3.2. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Fiziksel özellik kapsamında tarihi yapı malzemelerin atmosfer basıncında kütlece su emme yüzdesi, gerçek ve görünür yoğunluk değerleri, açık gözeneklilik (hacimce su emme yüzdesi), toplam gözeneklilik ve doluluk yüzdesi değerleri belirlenmiştir.

4.3.2.1. *Atmosfer basıncı altında kütlece su emme yüzdesinin belirlenmesi*

Kütlece su emme yüzdesinin tayini, malzeme yapısının bozulmasını hızlandıran ve mekanik dayanımı zayıflatan, malzeme bünyesinde depolanabilir ve dolaşabilir sıvı kapasitesinin belirlenmesi açısından önemlidir. Dahası malzemenin bünyesinde çözünür tuzların bulunması durumunda, su bu tuzlar ile reaksiyona girerek çiçeklenmeye neden olur. Her ne kadar çiçeklenme sorunu malzeme yüzeyi ile ilgili bir bozulma gibi görünse de, tuzların kristalleşmesi sonucunda meydana gelen hacim artışı ciddi hasarlara yol açabilmektedir (Fernandes, Lourenço and Castro, 2010, s. 5).

Kaledeki tarihi yapı malzemelerin atmosfer basıncı altındaki kütlece su emme yüzdesi TS EN 13755 (2008b) standardına ve Teutonico'nun (1988, ss. 35-37) önerdiği yönteme göre, Besmak marka özgül ağırlık test seti kullanılarak belirlenmiştir. Sabit ağırlığa erişinceye kadar doğal taşlar 70°C, tuğlalar 105°C ve harçlar ise 40°C'de MM Medcenter marka Ecocell model etüvde kurutulmuştur. Sabit kütleye ulaştıktan sonra AND marka GF-6100 model hassas terazi üzerinde tartılan örnekler suya doygun hale gelinceye kadar su içinde bekletilmiş ve tartılan son kütleleri suya doygun kütle değeri olarak kaydedilmiştir. Atmosfer basıncı altında kütlece su emme oranı Denklem (4.1) ile hesaplanmıştır.

$$A_b = \frac{m_{s-}m_d}{m_d}\ x\ 100 \tag{4.1}$$

Burada; A_b atmosfer basıncı altındaki kütlece su emme oranı (%), m_d örneğin sabit kütlesi (g), m_s suya doygun haldeki örneğin havadaki kütlesidir (g).

4.3.2.2. *Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, açık ve toplam gözeneklilik ile doluluk yüzdesinin belirlenmesi*

Gözeneklilik yapı malzemelerinin durabilitesini etkileyen önemli bir parametredir. Özellikle tarihi yapılarda olduğu gibi açık hava koşullarına maruz kalan malzemeler için,

gözeneklilik faktörü daha da önem kazanır. Deneysel çalışmalar daha gözenekli malzemelerin bozulmaya daha açık olduğunu göstermiştir (Cultrone vd., 2004, s. 547).

Malzemelerin gerçek yoğunluğu ASTM D-5550-06 standardına göre belirlenmiştir. Bu deney Arşimed'in akışkan taşması prensibi ve Boyle kanunu ile gaz yer değişimi metoduna bağlı olarak (M., J.E., J. and C.J.W.P., 2004) Micromeritics marka, AccuPyc II 1340 tam otomatik gaz piknometresi ile gerçekleştirilmiştir. Görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik yüzdesi ise TS EN 1936 (2010) Standardına göre belirlenmiştir. Görünür yoğunluk Denklem (4.2) ve (4.3) yardımı ile hesaplanmıştır. Malzemelerin açık gözeneklilik yüzdesi Denklem (4.4), toplam gözeneklilik yüzdesi Denklem (4.5) ve doluluk yüzdesi de Denklem (4.6) ile hesaplanmıştır. Malzemelerin gözeneklilik yüzdesine göre tanımlamasında Çizelge 4.4'te verilen sınıflamadan yararlanılmıştır.

$$V_b = m_s - m_h \tag{4.2}$$

$$\rho_b = \frac{m_d}{V_b} = \frac{m_d}{m_s - m_h} \tag{4.3}$$

Burada; V_b görünür hacim (cm^3), ρ_b görünür yoğunluk (g/cm^3), m_d örneğin sabit kütlesi (g), m_s suya doygun haldeki örneğin havadaki kütlesi (g) ve m_h suya doygun haldeki örneğin su içinde tartılan kütlesidir (g).

$$p_0 = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} x100 \tag{4.4}$$

Burada; p_0 açık gözeneklilik yüzdesi (%), m_d örneğin sabit kütlesi (g), m_s suya doygun haldeki örneğin havadaki kütlesi (g) ve m_h suya doygun haldeki örneğin sudaki kütlesidir (g).

$$p = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) x100 \tag{4.5}$$

$$c=100-p \tag{4.6}$$

Burada; p toplam gözeneklilik (%), ρ_b görünür yoğunluk (g/cm^3), ρ_r gerçek yoğunluk (g/cm^3) ve c doluluk yüzdesidir (%).

Çizelge 4.4. *Kayaçların gözenekliliğe göre sınıflandırılması (Tarhan, 1989)*

Gözeneklilik (%)	Tanım
<1	Çok kompakt
1-2,5	Az boşluklu
2,5-5	Orta boşluklu
5-10	Oldukça boşluklu
10-15	Çok boşluklu
>20	Çok fazla boşluklu

4.3.3.Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Bu bölümde mekanik özellik kapsamında, kaledeki yapı malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımı (küp şekilli örnekler için), nokta yükleme dayanım indeksi (şekilsiz veya dikdörtgen prizması şekilli örnekler), ultrasonik dalga hız yöntemi ile Elastisite modülü ve yüzey sertliği belirlenmiştir.

4.3.3.1. *Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi*

Küp prizma biçiminde (5x5x5 cm, 4,5x4,5x4,5 cm, 4x4x4 cm ve 3,5x3,5x3,5 cm) Mikro Test marka Microcut-300M model hassas kesme cihazında ıslak yöntem ile kesilen yapı malzemeleri TS EN 1926 (2007) ve TS EN 772-1 (2012a) standardına bağlı olarak Besmak marka BCE 31274 model servo-kontrollü hidrolik çimento test presinde 0,05 (N/mm^2)/s yükleme hızı altında basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı Denklem (4.7) ile hesaplanmış ve Çizelge 4.5'te tek eksenli basınç dayanımı için bir sınıflandırma verilmiştir.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{4.7}$$

Burada; σ tek eksenli basınç dayanımı (MPa); F kırılma anındaki yük (kN), A basınç yüküne maruz kalan yüzey alanıdır (mm^2).

Çizelge 4.5. *Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması (Deere and Miller, 1966)*

σ (MPa)	Tanım
>200	Çok yüksek dayanımlı
100-200	Yüksek dayanımlı
50-100	Orta dayanımlı
25-50	Düşük dayanımlı
1-25	Çok düşük dayanımlı

4.3.3.2. *Nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi*

Nokta yükü dayanım indeksi tek eksenli basınç ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılır. Taban tuğlaları ve kiremitlerin kalınlıkları 3 cm'den daha ince olduğu için basınç dayanımı tayininde nokta yükü dayanım indeksinden yararlanılmıştır. Bu deney Utest marka dijital nokta yükleme cihazı ile TSE 699 (2009) Standardına göre yapılmış ve nokta yükü dayanım indeksi Denklem (4.8) ve blok ve düzensiz numuneler için eşdeğer çap Denklem (4.9) ile hesaplanmıştır. Deneyde I_s değerinin standart bir karot çapına (D=50 mm) göre düzeltilmesi gerekir. Buna göre, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi $Is_{(50)}$, Denklem (4.10**)** ile hesaplanmıştır. Boyut düzeltme faktörü (F) ise Denklem (4.11) ile hesaplanmıştır.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \tag{4.8}$$

Burada; *Is* düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa), *P* kırılma yükü (kN), D_e eşdeğer karot çapıdır (mm).

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} \tag{4.9}$$

Burada; D_e eşdeğer karot çapı, *A* konik başlıkların temas noktalarından geçen numunenin en küçük kesit alanıdır (mm^2).

$$Is_{(50)} = F\ x\ I_s \tag{4.10}$$

Burada; $I_{s(50)}$ düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa), *F* boyut düzeltme faktörü, I_s düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksidir (kPa).

$$F = (D_e / 50)^{0,45} \quad (4.11)$$

Burada; F boyut düzeltme faktörü, D_e eşdeğer karot çapıdır (mm).

Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi için $Is_{(50)}$ değeri korelasyon faktörü '*k'* ile çarpılmaktadır ve bu faktör kaya mekaniği literatüründe 8 ile 55 arasındadır. Örneğin, zayıf kayaların '*k'* faktörü, güçlü kayalara göre daha küçüktür. Örneklerin tek eksenli basınç dayanımı Denklem (4.12) ile belirlenmiştir (Topal, 1999, 2000).

$$UCS_{eşdeğer}\,(MPa) = 10,6471 \times Is_{(50)} + 2,4736 \quad (4.12)$$

Burada; $UCS_{eşdeğer}$ eşdeğer tek eksenli basınç dayanım değeridir (MPa).

4.3.3.3. *Ultrasonik dalga hızı yöntemi ile Dinamik Elastisite Modülünün tayini*

Bu deney sadece sıkışma dalgasının yayılma hızından faydalanarak, Proceq marka Tico model ultrasonik ses hızı ölçüm cihazı ile ISRM 1981'de belirtilen standarda göre gerçekleştirilmiş ve dinamik elastisite modülü Denklem (4.13) ile hesaplanmıştır.

$$E_{mod} = D * V^2 (1+\nu_{dyn}) (1-2\nu_{dyn}) (1-\nu_{dyn}) \quad (4.13)$$

Burada; E_{mod} dinamik elastisite modülü (N/mm^2), D görünür yoğunluk (kg/m^3), V dalga hızı (m/sn) ve ν_{dyn} poisson oranıdır. Tuğlanın poisson oranı değeri 0,18-0,25 arasında olup (Bayülke, 1980), hesaplamada 0,18 olarak kabul edilmiştir.

4.3.3.4. *Schmidt çekici ile malzeme sertliğinin belirlenmesi*

Ucuz, kolay, hızlı ve hasarsız bir deney olan Schmidt çekici ile sertlik tayini, malzemelerin sertlik dayanımının yerinde belirlenmesinde ve tek eksenli basınç dayanımının dolaylı yoldan tahmin edilmesinde kullanılmaktadır (Katz, Reches, and Roegiers, 2000, s. 723). Malzeme sertliğinin belirlenmesinde darbe enerjisi düşük olan (0,196 J) Bursam NDT marka CT-140 model harç test çekici kullanılmıştır. Bu deneyde örnek boyutlarının küçük olması nedeni ile küp şeklinde kesilen örneğin üç yüzeyinin merkez noktasına, düşey yönde birer kez vuruş yapılmış ve bu üç değerin ortalaması alınarak yüzey sertliği belirlenmiştir. Çizelge 4.6'da Schmidt çekici ile yüzey sertliği tayini için bir sınıflandırma verilmiştir.

Çizelge 4.6. *Kayaçların Schmidt çekici sertliğe göre sınıflandırılması (De Beer, 1967)*

Schmidt çekici sertlik değeri	Tanım
60 <	Fevkalade sert
45-59	Çok sert
30-44	Sert
25-29	Yumuşak
20-24	Çok yumuşak
16-19	Fevkalade yumuşak

4.3.4. Kimyasal özelliklerin belirlemesi

Kimyasal özellik kapsamında başta tarihi harçların bünyesinde bulunan suda çözünür tuz türleri ve tuzluluk yüzdesi, asit kaybı yüzdesi, tane boyut dağılımı, hidrolik özellik ile tüm yapı malzemelerinin kızdırma kaybı yüzdesi, organik madde türü ve puzolanik aktivite özelliği ile kimyasal kompozisyonu belirlenmiştir.

4.3.4.1. *Suda çözünür tuzlar ve tuzluluk yüzdesinin belirlenmesi*

Çözünür tuzlar ve diğer safsızlıklar malzeme bozulmasında önemli rol oynamaktadır (Baronio vd. 1985; Brocken ve Nijland, 2004). Çiçeklenmeye neden olan suda çözünür tuzlar Na_2SO_4 (glamber tuzu) ve $CaSO_4$ (alçı taşı) gibi sülfatlar, $NaCl_2$, $CaCl_2$, $MgCl_2$ gibi klörürler, $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ gibi karbonatlar, KNO_3 gibi nitratlar ile vanadyum, manganez, demir, molibden ve krom tuzlarıdır (Toydemir, Gürdal ve Tanaçan, 2004, s. 30).

Tarihi harçların içinde zararlı tuz bulunup bulunmadığının belirlenmesi amacı ile spot tuz analizleri ile tuzların cinsi ve iletkenlik ölçümü ile tuzluluk yüzdesi belirlenmiştir. Deneyde öncelikle 63 μ'nun altında öğütülen malzemeden 1 g toz örnek ve 100 ml saf su ile karışım hazırlanmıştır. Tuzların çözünmesini sağlamak amacı ile bu çözelti cam bagetle karıştırılmış ve 48 saat süresince örneklerin dibe çökmesi beklenmiştir. Sürenin sonunda, iki adet cam tüpe hazırlanan çözeltiden yaklaşık 5'er ml örnek alınmış ve bir tüpün içine 2-3 damla gümüş nitrat ($AgNO_3$) çözeltisi ilave edilmiş ve cam tüp Reaksiyon (4.14)'ün gerçekleşmesini sağlamak amacı ile çalkalanmıştır. Şahit numune ile karşılaştırıldığında, gümüş nitrat damlatılan çözeltinin renginin beyaza dönüşmesi veya bir çökelme meydana gelmesi örnekte klörür tuzu bulunduğu anlamına gelmiştir. Yapı malzemelerinde klörür tuzunun varlığı, toprak, deniz suyu veya yeterince

temizlenmeyen deniz kumu gibi malzemelerden kaynaklanabilmektedir (Teutenico, 1988).

$$Cl^- + AgNO_3 \longrightarrow AgCl + NO_3^- \qquad K_{cc} = 1{,}8x10^{-10} \qquad (4.14)$$

Klörür Gümüş nitrat Gümüş klörür (beyaz renkli)

İletkenlik çözeltilerin elektrik akımını iletme yeteneğidir. Tuz analizinin ardından çözeltilerin elektriksel iletkenliği Thermo Scientific Orion Star marka A215 model iletkenlik ölçer ile ölçülmüş ve örneklerin tuzluluk yüzdesi Denklem (4.15) ile belirlenmiştir (Black, 1965).

$$\text{Çözünür tuz miktarı (kütlece \%)} = [(A x V_{çöz})/1000] \times [100/m_{ör}] \qquad (4.15)$$

Burada; *A* tuz konsantrasyonu (mg/lt)=640xEC; *EC* elektriksel iletkenlik (µS/cm); $V_{çöz}$ çözelti hacmi (ml), $M_{ör}$ örnek ağırlığıdır.

4.3.4.2. *Asit kaybı yüzdesi ve tane boyut dağılımının belirlenmesi*

Asit kaybı analizinin amacı tarihi harçlarda bulunan bağlayıcı kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) miktarı ile bağlayıcı (±karbonatlı agrega) ve silisli agrega oranının belirlenmesidir (Teutenico, 1988, ss. 113-115). Bu deneyde göz önüne alınan en temel varsayım kalkerli bağlayıcı ve varsa kalkerli agreganın asidik çözeltinin içinde tamamen çözündüğü, silisli agreganın ise etkilenmediği ve çözünmediğidir (Middendorf vd, 2002).

Asit kaybı analizinde öncelikle sabit ağırlığa kadar kurutulan beherin darası kaydedilmiş (W_0) ve içine yapı malzemesi örnekleri konularak tartılmış (W_1) ve 60°C deki etüvde sabit ağırlığa kadar kurutularak yeniden tartılmıştır (W_2). Ardından Hedlab marka 120 model çekerocağın içinde, her behere yaklaşık olarak 500 ml. %10 derişimli hidroklorik asit çözeltisi ilave edilmiş ve ara sıra cam bagetle karıştırılan örneklerin tamamen çözünmesi sağlanmıştır. S, malzemelerin çözünmeyen kısımları beherin dibine çöktürülerek suyunu günlük olarak değiştirme sureti ile çözeltinin tamamen asitten arındırılması sağlanmıştır. Deney sonunda çözünmeyen agregaların bulunduğu beherler 105°C'de sabit ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş ve yeniden tartılmıştır (W_3).

Malzemelerin nem ve asit kaybı Denklem (4.16) ve (4.17) kullanılarak hesaplanmıştır. Harçlarda bulunan asitte çözünmeyen agrega yüzdesi Denklem (4.18) ile belirlenmiştir.

$$Nem\ (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} x100 \tag{4.16}$$

$$Asit\ kaybı\ (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_0} x100 \tag{4.17}$$

Asitte çözünmeyen agrega (%)=100 (%)-*Asit kaybı (%)* (4.18)

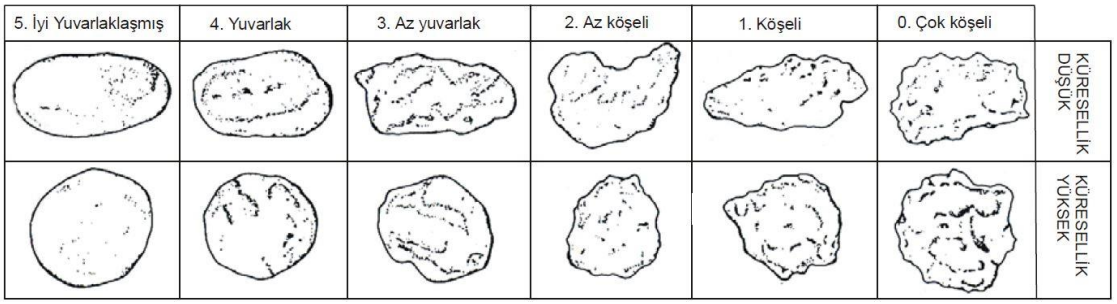
Burada; W_0 beherin sabit ağırlığı (g); W_1 beherin sabit ağırlığı ile örnek ağırlığının toplamı (g); W_2 beherin sabit ağırlığı ile kuru örnek ağırlığının toplamı (g); W_3 beherin sabit ağırlığı ile asit kaybı sonrası kalan kuru örnek ağırlığının toplamıdır (g).

Agregaların tane boyut dağılımı TS EN 933-1 (2012) standardına göre belirlenmiştir. Asit kaybı sonrasında beherde kalan agregalar asitli çözeltiden tamamen arındırıldıktan sonra 70ºC'de sabit ağırlığa kadar kurutulmuş ve ardından 63 µ, 125 µ, 250 µ, 500 µ, 1 mm, 2 mm ve 4 mm göz açıklığına sahip eleklerin üstüste konulduğu Utest marka otomatik sarsma cihazında elenmiştir. Eleme sonrasında her eleğin üzerinde kalan malzeme miktarı Shimatzu marka TX4202L model hassas terazide tartılmış ve her bir elekten geçen yığışımlı malzeme miktarı yüzdesi hesaplanmıştır. Agregaların boyut tayininde Şekil 4.6'da verilen sınıflandırma göz önüne alınmıştır. Burada dört farklı görüş yer almaktadır. Friedman ve Sanders'in (1978) yaptığı sınıflandırma en ayrıntılı olduğu için agregaların boyut tayininde kullanılması tercih edilmiştir.

<table>
<tr><th>Mm</th><th>µm</th><th>phi</th><th>Wentworth (1922)</th><th>Friedman & Sanders (1978)</th><th>Connor & Hiscock (1996)</th><th>Folk (1954)</th></tr>
<tr><td>2048</td><td></td><td>-11</td><td rowspan="4">Kayaç</td><td>Çok geniş kayaç</td><td rowspan="2">Çok geniş kayaç</td><td rowspan="11">Çakıl</td></tr>
<tr><td>1024</td><td>-10</td><td>Geniş kayaç</td></tr>
<tr><td>512</td><td>-9</td><td>Orta kayaç</td><td>Geniş kayaç</td></tr>
<tr><td>256</td><td>-8</td><td>Küçük kayaç</td><td>Küçük kayaç</td></tr>
<tr><td>128</td><td>-7</td><td rowspan="2">Yuvarlak kayaç</td><td>Geniş yuvarlak kayaç</td><td rowspan="2">Yuvarlak kayaç</td></tr>
<tr><td>64</td><td>-6</td><td>Küçük yuvarlak kayaç</td></tr>
<tr><td>32</td><td>-5</td><td rowspan="3">Çakıl</td><td>Çok kaba çakıl</td><td rowspan="2">Çakıl</td></tr>
<tr><td>16</td><td>-4</td><td>Kaba çakıl</td></tr>
<tr><td>8</td><td>-3</td><td>Orta çakıl</td><td rowspan="2">Çakılcık</td></tr>
<tr><td>4</td><td>-2</td><td>İnce çakıl</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2000</td><td>-1</td><td>Granül Çakıl</td><td>Çok ince çakıltaşı</td><td rowspan="2">Kaba kum</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1000</td><td>0</td><td>Çok kaba kum</td><td>Çok kaba kum</td><td rowspan="5">Kum</td></tr>
<tr><td>0.5</td><td>500</td><td>1</td><td>Kaba kum</td><td>Kaba kum</td><td rowspan="2">Orta kum</td></tr>
<tr><td>0.25</td><td>250</td><td>2</td><td>Orta kum</td><td>Orta kum</td></tr>
<tr><td>0.125</td><td>125</td><td>3</td><td>İnce kum</td><td>İnce kum</td><td rowspan="2">İnce kum</td></tr>
<tr><td>0.063</td><td>63</td><td>4</td><td>Çok ince kum</td><td>Çok ince kum</td></tr>
<tr><td>0.031</td><td>31</td><td>5</td><td rowspan="4">Silt</td><td>Çok kaba silt</td><td rowspan="5">Çamur</td><td rowspan="5">Çamur</td></tr>
<tr><td>0.016</td><td>16</td><td>6</td><td>Kaba silt</td></tr>
<tr><td>0.008</td><td>8</td><td>7</td><td>Orta silt</td></tr>
<tr><td>0.004</td><td>4</td><td>8</td><td>İnce silt</td></tr>
<tr><td>0.002</td><td>21</td><td>9</td><td>Kil</td><td>Çok ince silt
Kil</td></tr>
</table>

Şekil 4.6. *Agregaların boyutuna göre sınıflandırılması (http-17)*

Harçlarda kullanılan agregaların şekil tayininde Şekil 4.7 göz önüne alınmıştır. Buna göre, agregalar öncelikle küreselliği düşük ve yüksek olarak, sonra ocak veya dere/nehirden elde edilme durumuna göre iyi yuvarlaklaşmış, yuvarlak, az yuvarlak, az köşeli, köşeli ve çok köşeli olmak üzere sınıflanmaktadır (Pettijohn, Potter and Siever, 1973).



Şekil 4.7. *Düşük ve yüksek küresellikli taneler için yuvarlaklık kategoriler (Pettijohn, Potter and Siever, 1973)*

4.3.4.3. *Kızdırma kaybı yüzdesinin belirlenmesi*

Artan sıcaklığa bağlı ağırlık değişiminden yararlanarak toz halindeki örnekler ile yapılan kızdırma kaybı analizi ile malzemelerdeki nem, molekül suyu, organik madde ve kalsiyum karbonatın yüzdece miktarı belirlenebilmektedir (Moropoulou vd., 1995). Bu deneyde Protherm marka PLF 120/7 model kül fırını ve AND marka HR-250 AZ model analitik terazi kullanılmıştır. Öncelikle, 63 μ altındaki toz örnekten ≈1 g krozeye konularak, etüvde 15 saat 105°C'de, kül fırınında 1 saat 550°C'de, sonra da yarım saat 1050°C'de kızdırılmıştır. Her kızdırmanın ardından örnekler desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra analitik terazide tartılmıştır. 105°C'de meydana gelen kütle kaybı malzemenin içerdiği nemden kaynaklanmış ve bu nem miktarı Denklem (4.19) ile hesaplanmıştır. Organik madde ve moleküller arasındaki suyun bünyeden uzaklaşması sonucu meydana gelen 550°C'deki kütle kaybı Denklem (4.20) ile hesaplanmıştır. 1050°C'deki ağırlık kaybı, örneğin içerdiği kalsiyum karbonatın ($CaCO_3$) yapısındaki karbondioksitin (CO_2) gaz halinde ayrılmasından kaynaklanmış ve CO_2 yüzdesi Denklem (4.21) ile hesaplanmıştır. Toplam kızdırma kaybı yüzdesi ise Denklem (4.22) ve bileşiklerin mol ağırlıklarından yararlanarak örneklerdeki $CaCO_3$ miktarı Denklem (4.23) ile belirlenmiştir.

$$KK_{105}\ (\%) = \frac{W_0 - W_1}{W_1 - W_d} x100 \tag{4.19}$$

$$KK_{550}\ (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_d} x100 \tag{4.20}$$

$$KK_{1050}\ (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_1 - W_d} x100 \tag{4.21}$$

$$\Sigma KK\ (\%) = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_d} x100 \tag{4.22}$$

Burada; KK_{105} nem yüzdesi (%), KK_{550} organik madde veya bağlar arası su yüzdesi (%), KK_{1050} CO_2 kaybı yüzdesi (%), ΣKK toplam kızdırma kaybı yüzdesi (%), W_d kuru krozenin ağırlığı (g), W_0 kuru krozenin ağırlığı ve kuru örnek ağırlığının toplamı (g), W_1 105°C'de kızdırılmış örnek ağırlığı (g), W_2 550°C'de kızdırılmış örnek ağırlığı (g), W_3 1050°C'de kızdırılmış örnek ağırlığıdır (g).

$CaCO_3$ mol ağırlığı : 100 g/mol

CO_2 mol ağırlığı : 44 g/mol olduğu bilgisinden yola çıkarak;

$$CaCO_3 \xrightarrow{1050°C} CaO+CO_2$$

44 g CO_2 100 g $CaCO_3$ içinde bulunuyorsa

%$(W_2- W_3)/(W_1-W_d)$ CO_2 %x $CaCO_3$ içinde bulunur?

$$CaCO_3\ (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_1 - W_d} x\ \frac{100}{44} x100 \tag{4.23}$$

Burada; W_d kuru krozenin ağırlığı (g), W_1 105°C'de kurutulmuş örnek ağırlığı (g), W_2 550°C'de kurutulmuş örnek ağırlığı (g), W_3 1050°C'de kurutulmuş örnek ağırlığıdır (g).

4.3.4.4. *Hidrolik özelliğin belirlenmesi*

Kızdırma kaybı analizi harçların hidrolik özelliğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Hidrolisite, bağlayıcı bir malzemenin su ile temas etmesi durumunda sertleşmesi özelliğine sahip olmasıdır. Harçların hidrolik özelliği, kızdırma kaybı deneyinde elde edilen CO_2/H_2O (KK_{1050}/KK_{550}) oranına göre belirlenmektedir. CO_2/H_2O oranı 1-10 arasında olan harçlar hidrolik özelliğe sahip iken, 10-35 arasında olanlar ise hidrolik özelliğe sahip değildir (Moropoulou vd., 1995).

4.3.4.5. *Organik madde tayini (HPLC analizi)*

Tarihi harçların içinde renklendirici madde, bağlayıcı ve sağlamlaştırıcı ürün, protein, yağ asidi gibi katkı, yüzey aktif ajan ve organik maddelerin varlığını tespit etmek ve varsa türünü belirlemek amacı ile HPLC analizi gerçekleştirilmiştir. Az miktardaki malzeme örneğinin yeterli olması bu analizin en önemli avantajlarından biridir (İBB-Kudeb, 2009, ss. 47-52).

4.3.4.6. *Puzolanik aktivitenin belirlenmesi*

Puzolanik aktivite analizi Luxán ve arkadaşlarının agregaların puzolanik karakterinin tayini için önerdiği yönteme göre yapılmıştır. Önce Thermo Scientific Orion Star marka A215 model pH ve iletkenlik ölçüm cihazı ile 50 ml'lik doygun kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) çözeltisinin elektriksel iletkenliği ölçülmüştür. Ardından, çözeltinin içine 63 μ altındaki malzeme örneğinden (pişmiş kil ürün ve doğal taş örneklerin analizinde, bu malzemelerin 63 μ'un altında öğütülmüş toz örnekleri kullanılırken, harçların analizinde, harçların elek analizi sonucunda elde edilen 63 μ altındaki toz agrega kullanılmıştır) 1 g ilave edilerek, iki dakika boyunca çözelti cam bagetle karıştırılmıştır. Ardından da yeni çözeltinin elektriksel iletkenliği ölçülmüştür. Kalsiyum hidroksit ile örnek arasında oluşan reaksiyon sonucunda, çözeltilerin arasındaki elektriksel iletkenlik farkın 1,20 μS/cm ve üzerinde olması, malzemenin güçlü puzolan olduğunu, farkın 0,4-1,2 μS/cm arasında olması, malzemenin puzolan olduğunu ve farkın 0,4 μS/cm'in altında olması malzemenin puzolan olmadığını göstermiştir (Luxan vd., 1989, ss. 63-68).

4.3.4.7. *Kimyasal kompozisyonun belirlenmesi (XRF analizi)*

XRF analizi ile malzeme bünyesindeki oksit türleri ve kütlece yüzde miktarı tespit edilebilmektedir. XRF analizi Rigaku marka ZSX Primus model, dalga boyu saçınımlı X-ışını floresans (WDXRF) cihazında tabletler halinde hazırlanan numunelerin, yarı kantitatif yüzde ağırlıkça kimyasal analiz sonuçları elde edilmiştir. Tabletler, ağırlıkça 1/10 oranda 63 μ altı örnek ile $Li_2B_4O_7$ (Lityum tetra borat) karışımı halinde ergitici cihazda platin krozeler içerisinde ergitilerek hazırlanmıştır.

4.3.5. Minerolojik özelliklerin belirlemesi

Mineralojik kompozisyon, pişmiş kil ürün ve harç üretiminde kullanılan hammadde ve safsızlıkların belirlenmesinin yanı sıra, pişmiş kil ürünlerin pişme derecesi ve vitrifikasyonu hakkında önemli bilgiler içermektedir (Cultrone vd. 2000; Fernandes, 2009). Mineralojik kompozisyonun belirlenmesi amacı ile XRD analizi ve ince kesitler hazırlanarak mineralojik-petrografik analizler uygulanmıştır.

4.3.5.1. *Mineralojik kompozisyonun belirlenmesi (XRD analizi)*

XRD analizi, tarihi yapı malzemesi karakterizasyonu konusundaki en önemli analizlerden biridir (Adler vd. 1982, s. 163). Bu analiz ile elde edilen toz kırınım bantları, malzemelerin mineralojik kompozisyonunda bulunan kristal yapılı bileşenlerin karakteristik özelliklerini yansıtır. Analiz süresinin kısa olması ve az miktarda malzeme örneğinin yeterli olması bu tekniğin önemli avantajlarıdır (Saka, 1997, s. 4). XRD analizi için daha önce kesilen malzeme örneklerinden artan parçalar Fritsch marka Pulverisette 2 model otomatik havanda öğütülerek 63 μ'un altında toz haline getirilmiştir. Mineralojik faz çekimleri Rigaku marka Rint 2200 model X-ışını difraksiyon cihazında 5-70º arasında, 2º/dk hızla, 40 kV ve 30 mA'de Cu Kα X-ışını kaynağı ile gerçekleşmiştir. Mineralojik fazların tanımlanmasında Match!3[8] yazılımı ve Mincryst mineral veri tabanından (Chichagov vd., 2001) yararlanılmıştır. Mineralojik kompozisyonda bulunan minerallerin belirlenmesinde minerallerin bilinen d(Å) mesafelerinden yararlanılmış ve mineral isimlerinin kısaltmaları faz kırınım grafiklerine işlenmiştir. Minerallerin kendine özgü d(Å) mesafesi (Saka, 1997) ve isim kısaltmaları (Siivola and Schmid, 2007) EK-1'de derlenmiştir.

4.3.5.2. *Mineralojik ve petrografik tanımlama*

Tarihi harç ve doğal taş örneklerinden 30 μ kalınlığında hazırlanan ince kesitler Carl Zeiss marka Axio Lab1 model polarizan mikroskopta tek ve çift nikol altında incelenmiştir. Böylece tarihi malzemelerde bulunan mineraller tanımlanarak, kayaçların petrografik özellikleri belirlenebilmiştir.

---

[8] Match!3 - Phase Identification from Powder Diffraction - Version 3, Crystal Impact - Dr. H. Putz & Dr. K. Brandenburg GbR, Kreuzherrenstr. 102, 53227 Bonn, Germany, http://www.crystalimpact.com/match

5. BULGULAR VE YORUM

Bu bölümde Karacahisar kalesine ait pişmiş kil ürünler, harçlar ve doğal taşlarla ilgili elde edilen deneysel bulgulara yer verilmiştir. İncelenen yapı malzemelerinin kaledeki bölgelere göre çeşitliliği ve sayısı Çizelge 5.1'de verilmiştir. Kaledeki pişmiş kil ürünler çalışmanın 4. bölümünde önerilen kullanım amacının belirlenmesi metoduna göre gruplandırıldığında 103 adet örneğin yığma yapı tuğlası, 60 adet örneğin zemin tuğlası ve 29 adet örneğin de kiremit olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada toplam 18 adet harç örneğinin ve 8 adet doğal taşın incelendiği de görülmektedir.

Çizelge 5.1. *Karacahisar kalesinde bölgelere göre incelenen malzeme örneklerinin sayıları*

Malzeme türü	**Bölge Adı**				
	I. Bölge	**II. Bölge**	**III. Bölge**	**IV. Bölge**	**Toplam (ad)**
Yığma yapı tuğlası	32	20	28	23	**103**
Zemin tuğlası	-	11	33	16	**60**
Kiremit	-	-	8	21	**29**
Harç	10	8	-	-	**18**
Doğal taş	2	2	2	2	**8**

- işareti, ilgili bölgede malzemenin bulunmadığını göstermektedir.

5.1. Pişmiş Kil Ürünlerin Karakteristik Özellikleri

5.1.1. Yığma yapı tuğlaların karakteristik özellikleri

Bu bölümde kaledeki yığma yapı tuğlalarının fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik özellikleri açıklanmış ve bu özellikler yazında yer alan tarihi tuğlaların karakteristik özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Yığma yapı tuğlalarının karakteristik özellikleri ile ayrıntılı bilgiler EK-2 ve EK-5'te verilmiştir.

Kaledeki yığma yapı tuğlalarının kalınlığa ve bölgelere göre dağılımı Çizelge 5.2'de verilmiştir. Buna göre, çalışmada yığma yapı tuğlalarından 73 adetinin kalınlığı 41-50 mm, 22 adetinin kalınlığı 31-40 mm ve 8 adetinin de kalınlığı 20-30 mm arasındadır. Görsel ve karakteristik özelliklere göre bu yığma yapı tuğlaları toplam 32 gruba ayrılmaktadır; kalınlığı 41-50 mm arasında olan örnekler 18 gruba, kalınlığı 31-40 mm arasında olan örnekler 11 gruba ve kalınlığı 20-30 mm arasında olan örnekler de 3 gruba ayrılmaktadır.

Çizelge 5.2. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının kalınlıklarına göre dağılımı*

d (mm)	I. Bölge (ad)	II. Bölge (ad)	III. Bölge (ad)	IV. Bölge (ad)	Toplam (ad)	Grup sayısı
41-50	21	12	22	18	**73**	**18**
31-40	11	-	6	5	**22**	**11**
20-30	-	8	-	-	**8**	**3**
Toplam	32	20	28	23	**103**	**32**

- işareti, ilgili bölgede malzemenin bulunmadığını göstermektedir.

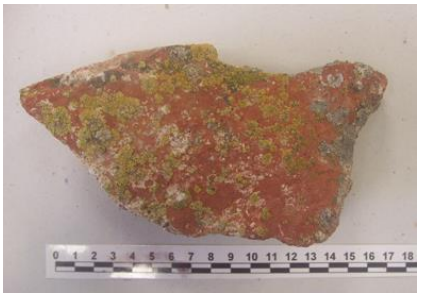
5.1.1.1. *Görsel özellikler*

Kaledeki yığma yapı tuğlalarının çok büyük bir bölümü kırık olduğu için, kalınlık dışında, tuğlaların uzunluk ve genişlik ölçüleri belirlenememiş, sadece bir adet yığma yapı tuğlasının ölçüleri tespit edilebilmiştir. Bu tuğla I. bölgenin Güney burcundan elde edilen 1P.22 örneği olup, boyutları 34x42x5 cm olarak ölçülmüştür (Bkz. Görsel 5.1'de 1P.22 örneği).

Kaledeki yığma yapı tuğlaların hiçbirinin yüzeyinde üretildiği dönem, yer veya üreten kişi ile ilgili herhangi bir iz veya işaret bulunmamaktadır. Sadece bazı tarihi tuğlaların alt yüzünde harç cebi veya harç kanallarının bulunduğu ve bu kanalların da S şeklinde veya düz çizgiler şeklinde yapıldığı görülmüştür. Yüzünde harç kanalı bulunan 1P.2, 1P.22, 1P.17, 1P.10, 3P.17 ve 3P.29 kodlu örnekler ve harç cebine sahip olan 1P.12, 1P.21 ve 1P.26 kodlu örnekler Görsel 5.1'de verilmiştir. Tuğlalarda harç cebinin genişliği ≈4 cm ve cep derinliği ≈1-2 mm olarak ölçülmüştür. Görsel 5.1'de ayrıca, atmosfer koşullarına maruz kalan tarihi tuğlaların yüzlerinde çeşitli bozulmaların meydana geldiği görülmektedir. Örneğin, 1P.10, 1P.12, 1P.21 ve 1P.26 örneklerinde küflenme ve 1P.4 ve 3P.26 örneklerinde de likenlerin oluştuğu izlenmektedir. Bu durum ise tarihi yapı malzemelerinin açık hava koşullarına karşı gerekli önlemlerin alınması gerektiğini göstermiştir.



3P.17 örneği (YT-7/d:41-50)



1P.4 örneği (YT-11/d:41-50)



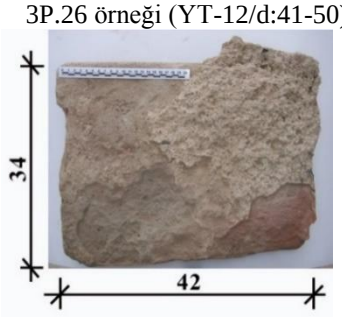
3P.26 örneği (YT-12/d:41-50)



1P.10 örneği (YT-9/d:41-50)



1P.22 örneğinin alt yüzü (YT-9/d:41-50)



1P.22 örneğinin üst yüzü (YT-9/d:41-50)



3P.29 örneği (YT-20/d:31-40)



1P.17 örneği (YT-28/d:31-40)



1P.2 örneği (YT-15/d:41-50)



1P.12 örneğinin alt yüzü



1P.21örneğinin alt yüzü



1P.26 örneğinin alt yüzü



1P.12 örneğinin üst yüzü (YT-27/d:31-40)



1P.21 örneğinin üst yüzü (YT-27/d:31-40)



1P.26 örneğinin üst yüzü (YT-27/d:31-40)

Görsel 5.1. *Yüzeyinde harç cebi veya harç kanalı bulunan tuğla örnekleri*

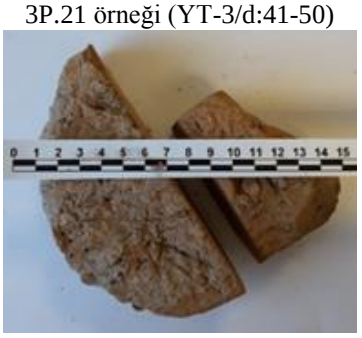
Kaledeki bazı yığma yapı tuğlaların bir yüzünün düz, diğer yüzünün ise pürüzlü olduğu görülmüştür ve bu örnekler Görsel 5.2'de verilmiştir. Bu pürüzlerin bilinçli bir tuğla işçiliğinin parçası olup olmadığı soru işaretidir. Bu durumun iki açıklaması olabilir: birincisi, üretim aşamasında tuğlaların her iki yüzünün de düzlemek için zaman kalmadığı ve malzemelerin bu şekilde pişirildiği, ikincisi ise harç ve tuğla yüzleri arasındaki aderansı güçlendirmek için bilinçli bir şekilde pürüzlü bırakılmış olduğudur.


2P.4 örneği (YT-2/d:41-50)


3P.21 örneği (YT-3/d:41-50)


1P.3 örneği (YT-8/d:41-50)


3P.14 örneği (YT-6/d:41-50)


2P.8 örneği (YT-6/d:41-50)


3P.31 örneği (YT-22/d:31-40)

Görsel 5.2. *Bir yüzü pürüzlü olan yığma yapı tuğlası örnekleri*

Kaledeki en ince (d:20-30) yığma yapı tuğlalarından olan ve II. bölgeden elde edilen YT-31/d:20-30 grubuna ait 2P.17, 2P.18 ve 2P.21 kodlu örneklerde, diğer örneklerden farklı olarak yüzeylerinde kalın harç tabakası bulunmaktadır ve bu örnekler Görsel 5.3'te verilmiştir.

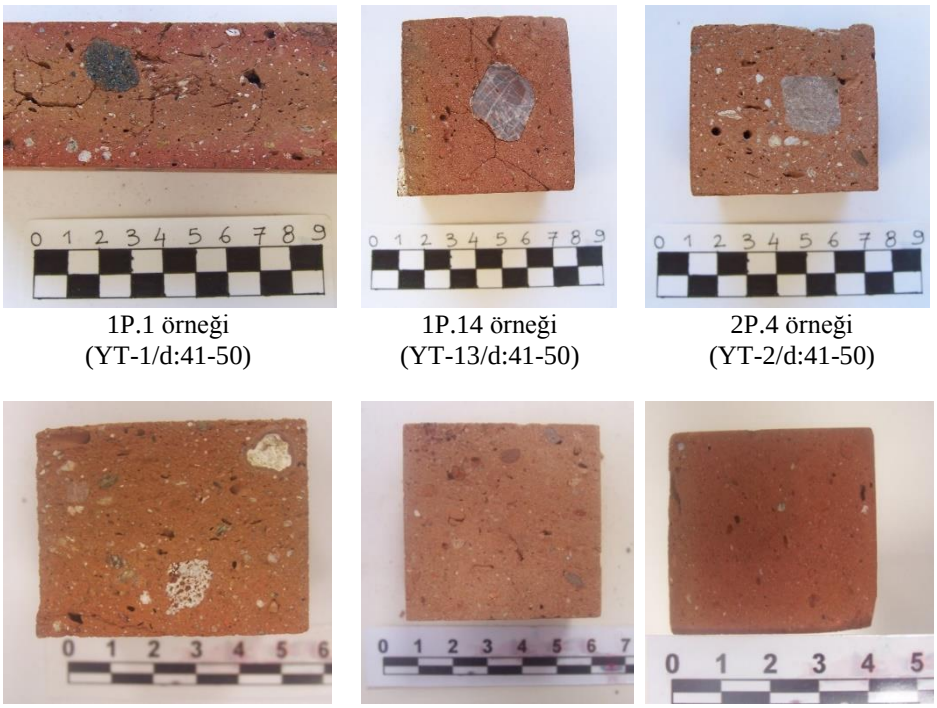

2P.17 örneği (YT-31/d:20-30)


2P.18 örneği (YT-31/d:20-30)


2P.21 örneği (YT-31/d:20-30)

Görsel 5.3. *II. bölgeye ait olan ve üzerinde harç bulunan bazı yığma yapı tuğlası örnekleri*

Görsel 5.4'te matrisinde doğal taş ve pişmiş kil safsızlık ile kil topağı içeren tuğla örnekleri verilmiştir. Görselden 1P.1, 1P.14, 2P.4, 3P.21, 1P.5 ve 1P.16 kodlu örneklerin çok kaba, kaba ve orta boyutlu doğal taş parçaları, 1P.12 kodlu örneğin pişmiş kil parçaları ve 1P.22 kodlu örneğin bol miktarda kil topağı içerdiği görülmektedir. 1P.1 örneğinde çok kaba bazalt parçasının ve sürekli çatlakların bulunduğu görülmektedir. Benzer durum 1P.14 örneğinde de görülmektedir, bu örnekte de çok kaba boyutlu doğal taş parçasının etrafında çatlaklar meydana gelmiştir. İnce boyutlu doğal taş safsızlık içeren 1P.22 örneğinde ise bu tür çatlakların bulunmadığı, ancak yer yer küçük gözeneklerin bulunduğu gözlenmiştir.

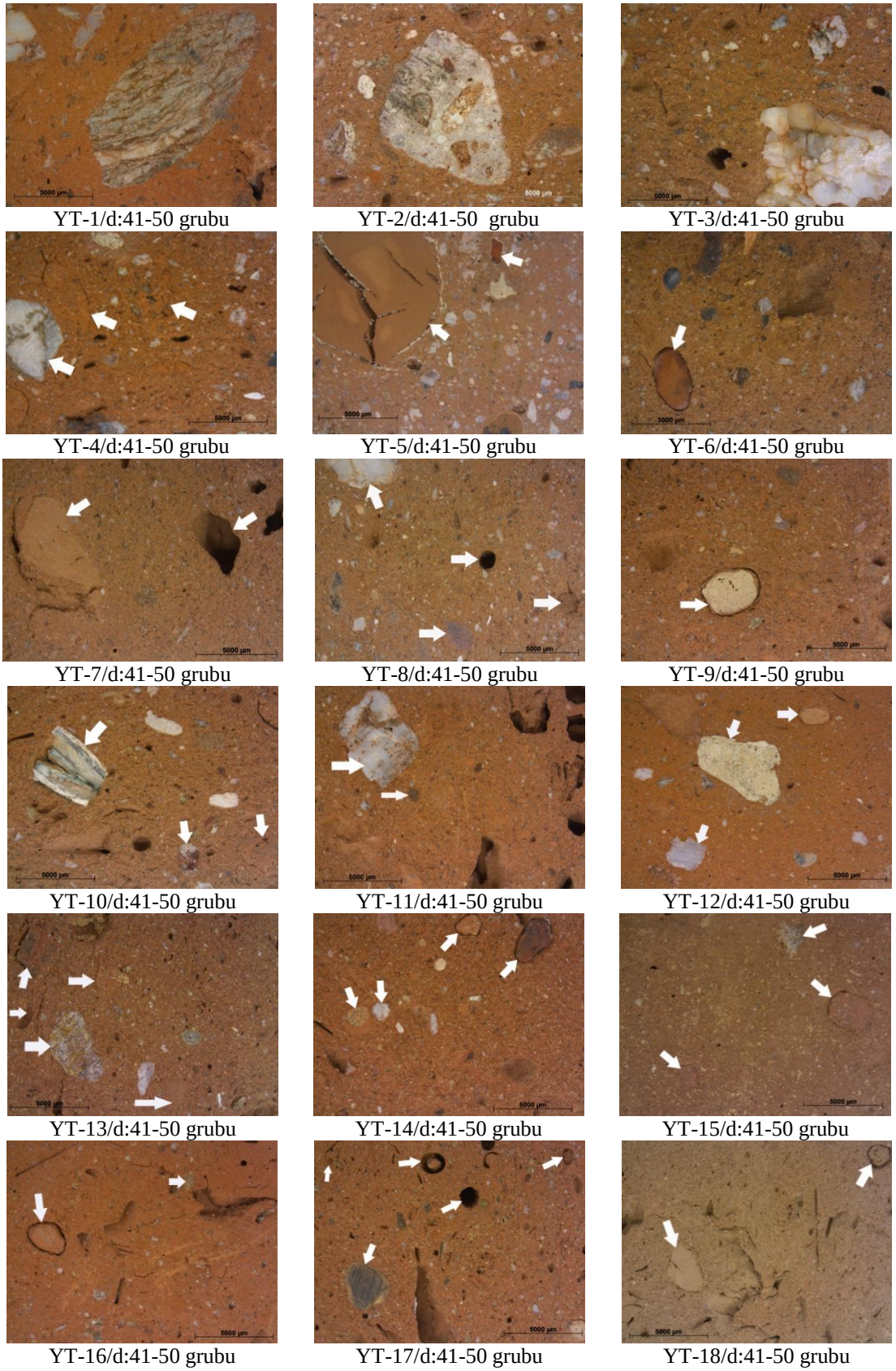


1P.1 örneği (YT-1/d:41-50) | 1P.14 örneği (YT-13/d:41-50) | 2P.4 örneği (YT-2/d:41-50)

3P.21 örneği (YT-3/d:41-50) | 1P.12 örneği (YT-27/d:31-40) | 1P.22 örneği (YT-9/d:41-50)

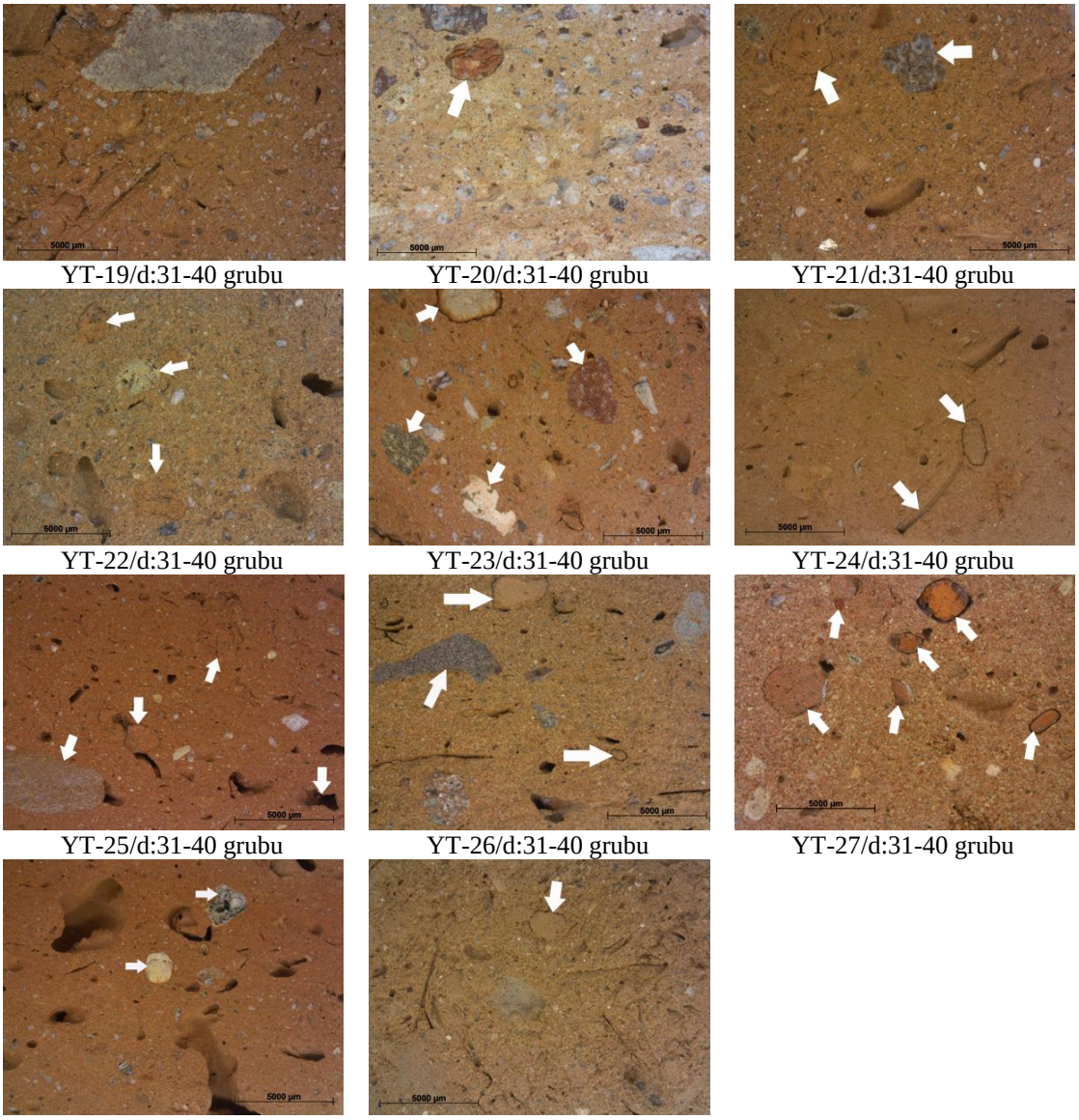
Görsel 5.4. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarında matris çeşitliliği*

Kalınlığı 41-50 mm arası olan tuğla gruplarının stereo mikroskop görünümleri Görsel 5.5'te verilmiştir. Bu gruplardan YT-1, YT-2 ve YT-3 grupları çok kaba boyutlu doğal taş safsızlık, YT-5, YT-6 ve YT-14 grupları pişmiş kil safsızlık, YT-4, YT-7, YT-9, YT-12, YT-15, YT-16 ve YT-18 grupları da orta ve kaba boyutlu doğal taş safsızlık ve kil topakları içermektedir. Bunların dışında, YT-16 grubunda çizgisel izlerin ve YT-17 grubunda da ortası dolu, halka şeklinde boşlukların bulunduğu gözlenmiştir.



Görsel 5.5. *Kalınlığı 41-50 mm olan yığma yapı tuğlası gruplarının genel matris görünümü*

Kalınlığı 31-40 mm arasında olan tuğla gruplarının stereo mikroskop görünümleri Görsel 5.6'da verilmiştir. Buna göre, YT-19, YT-20 ve YT-23 grupları çok yüksek oranda orta boyutlu doğal taş safsızlık içerdiği, YT-19'da çok kaba boyutlu doğal taş, YT-20, YT-23, YT-27'de de pişmiş kil safsızlık bulunduğu, YT-24 ve YT-29'da da kil topakları bulunduğu görülmektedir. Kalınlığı 20-30 mm arasında olan tuğla grupları Görsel 5.7'de verilmiştir. YT-30 grubunun diğer iki gruptan daha fazla miktarda orta boyutlu doğal taş safsızlık içerdiği görülmektedir.



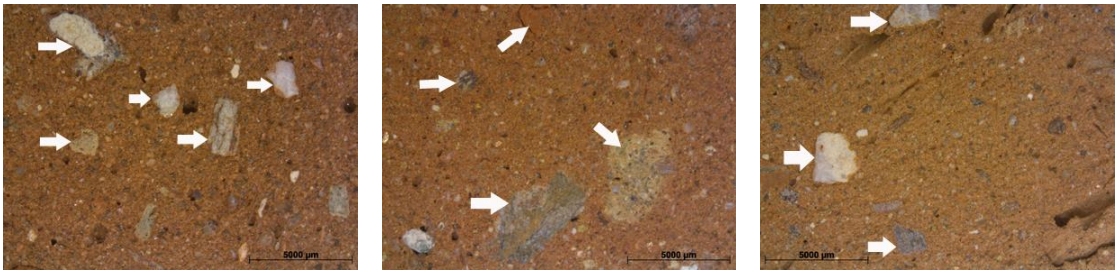
YT-19/d:31-40 grubu YT-20/d:31-40 grubu YT-21/d:31-40 grubu

YT-22/d:31-40 grubu YT-23/d:31-40 grubu YT-24/d:31-40 grubu

YT-25/d:31-40 grubu YT-26/d:31-40 grubu YT-27/d:31-40 grubu

YT-28/d:31-40 grubu YT-29/d:31-40 grubu

Görsel 5.6. *Kalınlığı 31-40 mm olan yığma yapı tuğlası gruplarının genel matris görünümü*



YT-30/d:20-30 grubu YT-31/d:20-30 grubu YT-32/d:20-30 grubu

Görsel 5.7. *Kalınlığı 20-30 mm olan yığma yapı tuğlası gruplarının genel matris görünümü*

Karacahisar kalesinde incelenen tarihi tuğlalardan oluşturulan gruplar hakkında daha ayrıntılı bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

Grup adı : YT-1/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 1P.1, 1P.5, 2P.1, 2P.2, 3P.1, 3P.2, 3P.3, 3P.4, 4P.1

Ait olduğu bölge(ler) : I, II, III ve IV.

Renk ve doku : 10R 5/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 9 örnek vardır. Gruptaki tuğlaların rengi, malzemelerin pişme derecesine bağlı olarak açık kahverengi, turuncu, koyu turuncu ve kırmızı arasında değişmektedir. Tuğla hamurunda bazalt taşı ve kaba metamorfik kayaç olmak üzere, bol miktarda kaba ve orta boyutlu doğal taş safsızlık kullanılmıştır. Bu tuğlalarda pişmiş kil safsızlık bulunmamaktadır.



4P.1 örneği

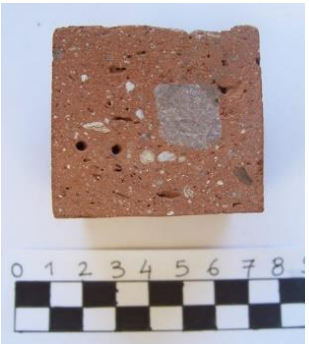
Grup adı : YT-2/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 2P.3, 2P.4, 2P.6, 2P.9, 2P.11, 2P.10

Ait olduğu bölge(ler) : II.

Renk ve doku : 10R 6/6 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 6 örnek vardır. Bu tuğlalarda bol miktarda volkanik, metamorfik ve sedimanter olmak üzere, kaba doğal taş safsızlık ve az miktarda pişmiş kil safsızlık bulunmaktadır.



2P.4 örneği

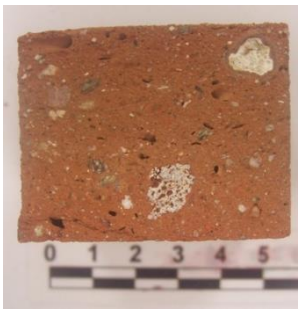
Grup adı : YT-3/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 3P.5, 3P.21, 4P.10, 4P.11

Ait olduğu bölge(ler) : III ve IV.

Renk ve doku : 10R 5/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 4 örnek vardır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince ve orta boyutlu doğal taş, az miktarda kaba doğal taş ve az miktarda pişmiş kil safsızlık kullanılmıştır.



3P.21 örneği

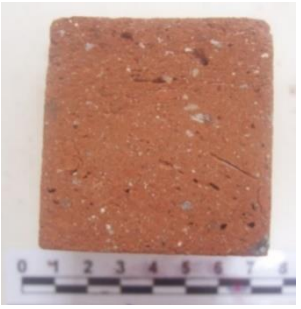
Grup adı : YT-4/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 3P.18, 3P.12, 2P.7

Ait olduğu bölge(ler) : II ve III.

Renk ve doku : 2,5YR 6/8 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 3 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda çoğunlukla ince, az miktarda orta boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topakları bulunmaktadır.



3P.12 örneği

Grup adı : YT-5/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 3P.7

Ait olduğu bölge(ler) : II. ve III.

Renk ve doku : 5YR 6/8 Sarımsı kırmızı

Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğla bol miktarda ince, az miktarda kaba doğal taş ve az miktarda kil topakları ile pişmiş kil parçası içermektedir.



3P.7 örneği

Grup adı : YT-6/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 1P.29, 2P.8, 3P.14, 3P.22

Ait olduğu bölge(ler) : I, II ve III

Renk ve doku : 7,5YR 5/6 Koyu kahve

Bu grupta toplam 4 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda ince boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda pişmiş kil safsızlık bulunmaktadır.



3P.14 örneği

Grup adı : YT-7/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 1P.25, 2P.13, 3P.17, 3P.19, 3P.20

Ait olduğu bölge(ler) : I, II. ve III

Renk ve doku : 5YR 5/6 Sarımsı kırmızı

Bu grupta toplam 5 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda ince boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topakları bulunmaktadır.



3P.17 örneği

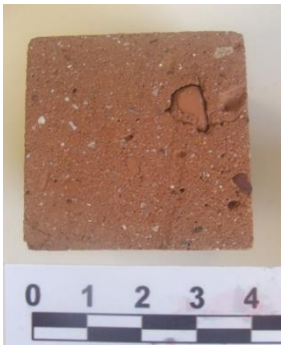
Grup adı : YT-8/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 1P.3, 2P.5, 3P.11

Ait olduğu bölge(ler) : I, II ve III.

Renk ve doku : 10R 5/6 Kırmızı

Bu grupta toplam 3 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince ve orta boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



3P.11 örneği

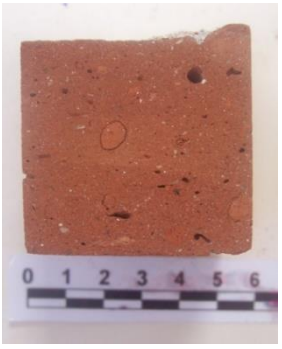
Grup adı : YT-9/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 1P.6, 1P.8, 1P.9, 1P.10, 1P.11, 1P.22, 1P.32, 3P.6, 3P.23, 3P.9, 3P.10, 4P.14, 4P.20

Ait olduğu bölge(ler) : I., II. ve IV.

Renk ve doku : 10R 5/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 13 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda kil topağı ve az sayıda orta boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



1P.11 örneği

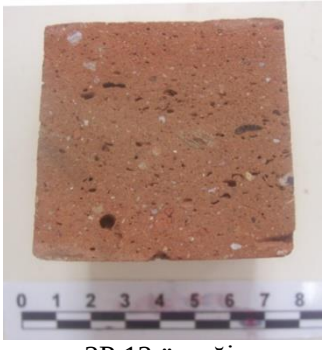
Grup adı : YT-10/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 2P.12, 3P.8

Ait olduğu bölge(ler) : II. ve III.

Renk ve doku : 10R 6/6 Açık kırmızı

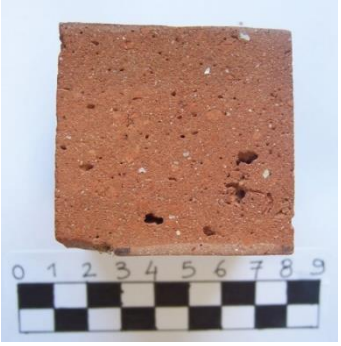
Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda az miktarda kaba doğal taş safsızlık ve kil topağı bulunmaktadır.



2P.12 örneği

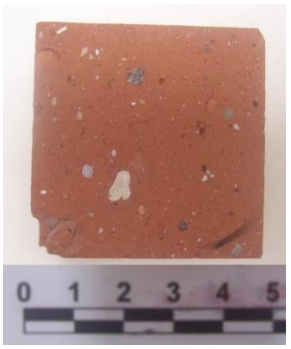
Grup adı : YT-11/d:41-50
İçerdiği örnek(ler) : 1P.7, 4P.15, 4P.17, 4P.18
Ait olduğu bölge(ler) : I. ve IV.
Renk ve doku : 2,5YR 6/8 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 4 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda orta ve ince boyutlu doğal taş safsızlık kullanılmış olup, bünyesinde az miktarda kil topağı bulunmaktadır.


1P.7 örneği

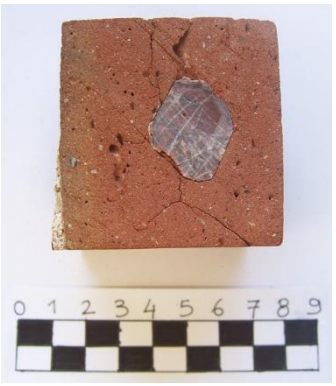
Grup adı : YT-12/d:41-50
İçerdiği örnek(ler) : 1P.4, 4P.13, 4P.16
Ait olduğu bölge(ler) : I. ve IV.
Renk ve doku : 2,5YR 5/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 3 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda orta boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda pişmiş kil safsızlık kullanılmıştır.


1P.4 örneği

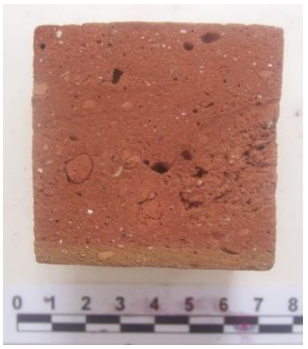
Grup adı : YT-13/d:41-50
İçerdiği örnek(ler) : 1P.14, 3P.26
Ait olduğu bölge(ler) : I. ve III.
Renk ve doku : 10R 4/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince doğal taş, az miktarda orta ve kaba doğal taş safsızlık ve pişmiş kil safsızlık kullanılmıştır.


1P.14 örneği

Grup adı : YT-14/d:41-50
İçerdiği örnek(ler) : 4P.4, 4P.19, 4P.6, 4P.5
Ait olduğu bölge(ler) : IV.
Renk ve doku : 10R 4/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 4 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda az miktarda kaba doğal taş ve kil topağı bulunmaktadır.


4P.4 örneği

Grup adı : YT-15/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) :1P.2, 1P.23, 1P.28, 1P.30, 3P.25

Ait olduğu bölge(ler) : I. ve III.

Renk ve doku : 10R 6/8 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 5 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



1P.2 örneği

Grup adı : YT-16/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 1P.19, 1P.31

Ait olduğu bölge(ler) : I.

Renk ve doku : 10R 5/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda orta boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



1P.31 örneği

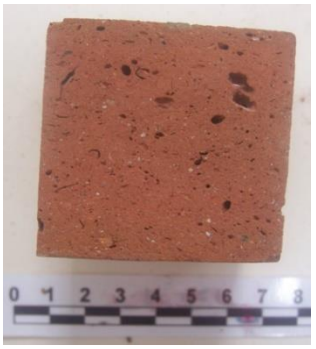
Grup adı : YT-17/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 4P.9, 4P.7

Ait olduğu bölge(ler) : IV.

Renk ve doku : 10R 5/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalar bol miktarda orta boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı içermektedir. Ayrıca, bitkisel kaynaklı olabileceği düşünülen dairesel boşlukların yer aldığı da görülmüştür.



4P.9 örneği

Grup adı : YT-18/d:41-50

İçerdiği örnek(ler) : 4P.3, 4P.2

Ait olduğu bölge(ler) : IV.

Renk ve doku : 7,5 R 7/6 Sarı

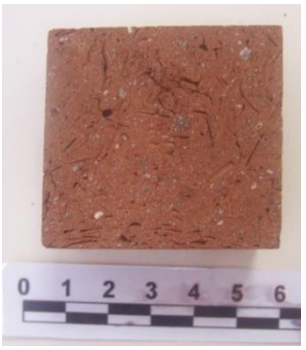
Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda çok ince doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



4P.2 örneği

Grup adı : YT-19/d:31-40
İçerdiği örnek(ler) : 1P.13, 4P.21
Ait olduğu bölge(ler) : I. ve IV.
Renk ve doku : 2,5YT 4/4 Kırmızımsı kahve

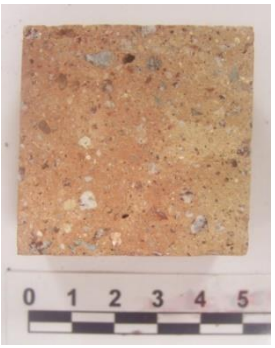
Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda orta ve kaba boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



1P.13 örneği

Grup adı : YT-20/d:31-40
İçerdiği örnek(ler) : 3P.29
Ait olduğu bölge(ler) : III.
Renk ve doku : 5YR 7/6 Kırmızımsı sarı

Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda kaba doğal taş safsızlık ve az miktarda pişmiş kil safsızlık kullanılmıştır



3P.29 örneği

Grup adı : YT-21/d:31-40
İçerdiği örnek(ler) : 3P.30
Ait olduğu bölge(ler) : III.
Renk ve doku : 2,5YR 5/6 Kırmızı

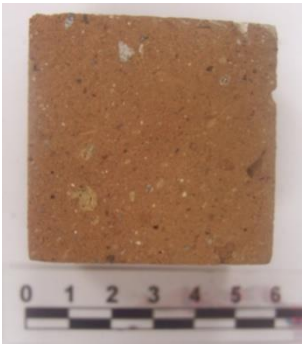
Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda az miktarda ince doğal taş safsızlık ve kil topağı bulunmaktadır.



3P.30 örneği

Grup adı : YT-22/d:31-40
İçerdiği örnek(ler) : 3P.31, 3P.27
Ait olduğu bölge(ler) : III.
Renk ve doku : 5YT 5/6 Sarımsı kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince ve az miktarda kaba doğal taş safsızlık ile az miktarda pişmiş kil safsızlık kullanılmıştır.



3P.31 örneği

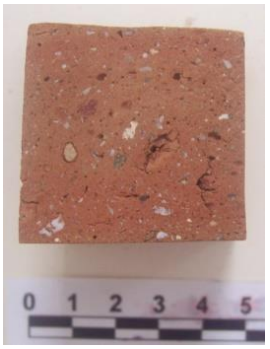
Grup adı : YT-23/d:31-40

İçerdiği örnek(ler) : 4P.8

Ait olduğu bölge(ler) : IV.

Renk ve doku : 2,5YR 6/6 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda kaba ve orta boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda pişmiş kil safsızlık bulunmaktadır.



4P.8 örneği

Grup adı : YT-24/d:31-40

İçerdiği örnek(ler) : 1P.18, 1P.27

Ait olduğu bölge(ler) : I.

Renk ve doku : 5YR 7/6 Kırmızımsı sarı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda az miktarda doğal taş safsızlık ve kil topağı bulunmaktadır.



1P.18 örneği

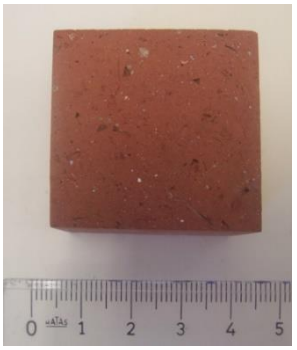
Grup adı : YT-25/d:31-40

İçerdiği örnek(ler) : 1P.20, 4P.36

Ait olduğu bölge(ler) : I.ve IV.

Renk ve doku : 10R 3/6 Koyu kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş, az miktarda kaba ve orta boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



1P.20 örneği

Grup adı : YT-26/d:31-40

İçerdiği örnek(ler) : 3P.28, 4P.22

Ait olduğu bölge(ler) : III. ve IV.

Renk ve doku : 2,5 YR 6/8 Açık kırmızı

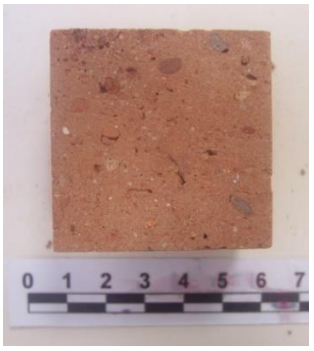
Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş, az miktarda kaba doğal taş, pişmiş kil safsızlık ve kil topağı bulunmaktadır.



3P.28 örneği

Grup adı : YT-27/d:31-40
İçerdiği örnek(ler) : 1P.12, 1P.21, 1P.26, 3P.24
Ait olduğu bölge(ler) : I ve III.
Renk ve doku : 2,5YR 6/8 Açık kırmızı

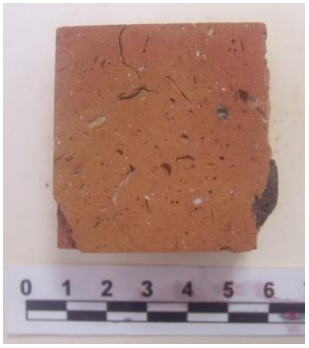
Bu grupta toplam 4 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda kaba doğal taş safsızlık ve az miktarda pişmiş kil safsızlık kullanılmıştır.



1P.12 örneği

Grup adı : YT-28/d:31-40
İçerdiği örnek(ler) : 1P.15, 1P.16, 1P.17, 1P.24
Ait olduğu bölge(ler) : I.
Renk ve doku : 2,5YR 6/8 Açık kırmızı

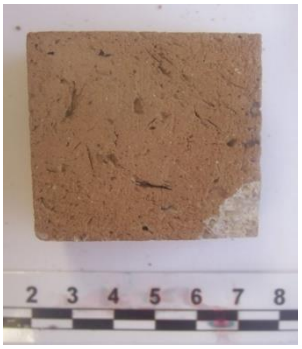
Bu grupta toplam 4 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda az miktarda kaba doğal taş safsızlık ve pişmiş kil safsızlık bulunmaktadır. Bu örnekler I. bölgenin Güney burcun boşalan tuğla hatıla aittir. Görselde tuğlada kaba bir bazalt parçası bulunduğu görülmektedir.



1P.16 örneği

Grup adı : YT-29/d:31-40
İçerdiği örnek(ler) : 4P.28
Ait olduğu bölge(ler) : IV.
Renk ve doku : 7,5YR 6/6 Kırmızımsı sarı

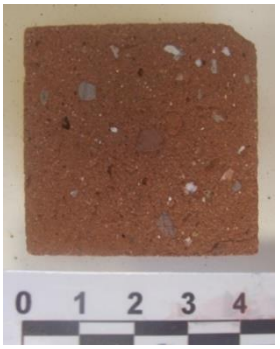
Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



4P.28 örneği

Grup adı : YT-30/d:20-30
İçerdiği örnek(ler) : 2P.15
Ait olduğu bölge(ler) : II.
Renk ve doku : 2,5YR 3/6 Koyu kırmızı

Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Bu tuğlada çok miktarda orta ve kaba boyutlu doğal taş safsızlık ve kil topağı bulunmaktadır.



2P.15 örneği

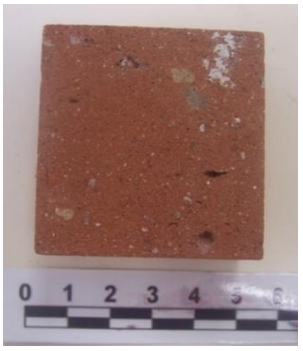
Grup adı : YT-31/d:20-30

İçerdiği örnek(ler) :2P.17, 2P.18, 2P.19, 2P.20, 2P.21, 2P.22

Ait olduğu bölge(ler) : II.

Renk ve doku : 10R 4/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 6 örnek bulunmaktadır. Bu tuğlada çok miktarda ince boyutlu ve az miktarda kaba doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



2P.18 örneği

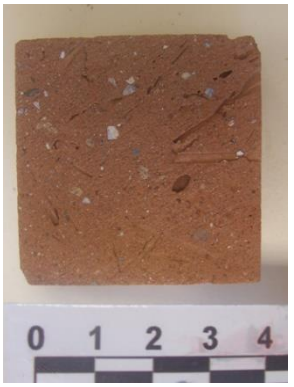
Grup adı : YT-32/d:20-30

İçerdiği örnek(ler) : 2P.23

Ait olduğu bölge(ler) : II.

Renk ve doku : 2,5 YR 4/4 Kırmızımsı kahve

Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Bu tuğlalarda çok miktarda kaba ve orta boyutlu doğal taş safsızlık ve çizgisel izler bulunmaktadır.



2P.23 örneği

Görsel analize göre kaledeki yığma yapı tuğlaların büyük bir bölümü (25 grup) ince boyutlu doğal taş ve geriye kalan 7 grup yüksek oranda kaba doğal taş safsızlık içermektedir. Ayrıca, örneklerde doğal taş safsızlıkların yanı sıra çeşitli pişmiş kil kırıkları ve/veya kil topağı da bulunduğu, tuğla renklerinin ise kırmızı, açık ve koyu kırmızı, kırmızımsı sarı, sarımsı kırmızı, kırmızımsı kahve, açık ve koyu kahve ve sarı olarak çeşitlendiği görülmüştür.

5.1.1.2. *Fiziksel özellikler*

Kaleye ait yığma yapı tuğlalarının fiziksel özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlaların görünür yoğunluğu kalınlığı 41-50 mm arasında olan gruplarda 1,44-1,84 g/cm^3 arasında ve ortalama 1,66 g/cm^3, kalınlığı 31-40 mm arasında olan gruplarda 1,39-1,86 g/cm^3 arasında ve ortalama 1,60 g/cm^3, kalınlığı 20-30 mm arasında olan gruplarda 1,69-1,76 g/cm^3 arasında ve ortalama 1,73 g/cm^3'tür.Gerçek yoğunluk değeri ise kalınlığı 41-50 mm arasındaki gruplarda 2,62-2,88 g/cm^3 arasında ve ortalama 2,84 g/cm^3, kalınlığı 31-40 mm arasındaki gruplarda 2,61-2,89 g/cm^3 arasında

ve ortalama 2,80 g/cm^3, kalınlığı 20-30 mm olan gruplarda 2,87-2,94 g/cm^3 arasında ve ortalama 2,90 g/cm^3'tür (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-2a ve EK-5a).

Çizelge 5.3. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının fiziksel özellikleri*

Grup Adı	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**p (%)**	**c (%)**
YT-1/d:41-50	1,84	2,85	14,8	27,2	35,4	64,6
YT-2/d:41-50	1,76	2,87	17,7	31,0	38,8	61,2
YT-3/d:41-50	1,74	2,86	18,0	31,3	39,2	60,8
YT-4/d:41-50	1,73	2,87	19,0	32,8	39,8	60,2
YT-5/d:41-50	1,73	2,81	18,9	32,8	38,7	61,3
YT-6/d:41-50	1,72	2,85	17,8	30,4	39,7	60,3
YT-7/d:41-50	1,72	2,81	18,0	30,8	38,9	61,1
YT-8/d:41-50	1,69	2,87	18,8	31,9	41,0	59,0
YT-9/d:41-50	1,67	2,86	20,1	33,5	41,7	58,3
YT-10/d:41-50	1,66	2,87	20,7	34,5	42,0	58,0
YT-11/d:41-50	1,65	2,87	19,7	32,6	42,5	57,5
YT-12/d:41-50	1,63	2,85	22,6	36,8	43,0	57,0
YT-13/d:41-50	1,61	2,85	22,2	35,7	43,4	56,6
YT-14/d:41-50	1,58	2,87	22,8	36,1	44,9	55,1
YT-15/d:41-50	1,56	2,88	23,9	37,3	45,5	54,5
YT-16/d:41-50	1,56	2,81	25,3	39,6	44,5	55,5
YT-17/d:41-50	1,52	2,86	24,9	37,9	46,9	53,1
YT-18/d:41-50	1,44	2,62	25,1	36,2	45,2	54,8
Ort.	**1,66**	**2,84**	**20,6**	**33,8**	**41,7**	**58,3**
SD (±)	**0,1**	**0,1**	**3,0**	**3,1**	**2,9**	**2,9**
YT-19/d:31-40	1,86	2,89	16,2	30,3	35,5	64,5
YT-20/d:31-40	1,77	2,64	16,1	28,3	33,1	66,9
YT-21/d:31-40	1,71	2,88	19,5	33,2	40,6	59,4
YT-22/d:31-40	1,63	2,89	22,1	35,8	43,7	56,3
YT-23/d:31-40	1,63	2,84	22,3	36,3	42,8	57,2
YT-24/d:31-40	1,56	2,79	25,0	38,7	44,2	55,8
YT-25/d:31-40	1,55	2,89	26,6	41,2	46,3	53,7
YT-26/d:31-40	1,50	2,73	25,1	37,7	44,9	55,1
YT-27/d:31-40	1,50	2,72	25,4	38,0	45,1	54,9
YT-28/d:31-40	1,48	2,89	28,1	41,6	48,7	51,3
YT-29/d:31-40	1,39	2,61	29,2	40,6	46,6	53,4
Ort.	**1,60**	**2,80**	**23,2**	**36,5**	**42,9**	**57,1**
SD (±)	**0,1**	**0,1**	**4,2**	**4,2**	**4,5**	**4,5**
YT-30/d:20-30	1,76	2,94	19,3	33,9	40,3	59,7
YT-31/d:20-30	1,74	2,87	18,9	32,7	39,6	60,4
YT-32/d:20-30	1,69	2,89	20,8	35,2	41,5	58,5
Ort.	**1,73**	**2,90**	**19,7**	**33,9**	**40,4**	**59,6**
SD (±)	**0,03**	**0,03**	**0,8**	**1,0**	**0,8**	**0,8**

Kaledeki yığma yapı tuğlaların atmosfer basıncı altında kütlece su emme değeri kalınlığı 41-50 mm arasında olan gruplarda %14,8-25,3 arasında ve ortalama %20,6, kalınlığı 31-40 mm arasında olan gruplarda %16,1-29,2 arasında ve ortalama %23,2 ve kalınlığı 20-30 mm olan gruplarda %18-20 arasında ve ortalama %19,7'dir. Açık gözeneklilik değeri kalınlığı 41-50 mm arası gruplarda %27,2-39,6 arasında ve ortalama %33,8, kalınlığı 31-40 mm arasındaki gruplarda %28,3-41,6 arasında ve ortalama %36,5 ve kalınlığı 20-30 mm olan gruplarda ise %32,7-35,2 arasında ve ortalama %34'tür. Tuğlaların toplam gözeneklilik değeri kalınlığı 41-50 mm arasındaki gruplarda %35,4-46,9 arasında ve ortalama %41,7, kalınlığı 31-40 mm arasındaki gruplarda %33,1-48,7 arasında ve ortalama %48,7'dir ve kalınlığı 20-30 mm arasındaki gruplarda %39,6- 41,5 arasında ve ortalama %40,4'tür. Doluluk yüzdesi, kalınlığı 41-50 mm arası olan örneklerde %53,1-64,6 arasında ve ortalama %58,3, kalınlığı 31-40 mm arası olan örneklerde %51,3-66,9 arasında ve ortalama %51,3 ve kalınlığı 20-30 mm arasındaki örneklerde ise %58,5-60,4 arasında ve ortalama %59,6'dır.

Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının yoğunluk değerlerine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.4'te verilmiştir. Buna göre, kalınlığı 41-50 mm olan grupların büyük bir bölümü 1,60-1,79 g/cm^3, kalınlığı 31-40 mm olan grupların büyük bir bölümü 1,50-1,59 g/cm^3, kalınlığı 20-30 mm olan grupların da 1,60-1,79 g/cm^3 arasında görünür yoğunluğa sahiptir. Bu durumda en kalın ve en ince yığma yapı tuğlası gruplarının görünür yoğunluğunun benzer olduğu ve orta kalınlıktaki tuğla gruplarının büyük bir bölümünün bu tuğla gruplarından daha düşük yoğunluğa sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının görünür yoğunluğa göre sayıca dağılımı*

Görünür Yoğunluk (g/cm^3)	**d:41-50 mm olan grup sayısı**	**d:31-40 mm olan grup sayısı**	**d:20-30 mm olan grup sayısı**
1,30-1,39	-	1	-
1,40-1,49	1	1	-
1,50-1,59	4	**4**	**-**
1,60-1,69	**6**	2	1
1,70-1,79	**6**	2	**2**
1,80-1,89	1	1	-

Yığma yapı tuğla gruplarının gerçek yoğunluğa göre sayıca dağılımı Çizelge 5.5'te verilmiştir. Buna göre, tuğlaların büyük bir bölümünün gerçek yoğunluk değerlerinin 2,80-2,89 g/cm^3 arasında olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.5. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının gerçek yoğunluğa göre sayıca dağılımı*

Gerçek Yoğunluk (g/cm^3)	d:41-50 mm olan grup sayısı	d:31-40 mm olan grup sayısı	d:20-30 mm olan grup sayısı
2,60-2,69	1	2	-
2,70-2,79	-	3	-
2,80-2,89	**17**	**6**	**2**
2,90-2,95	-	-	1

Çizelge 5.6'da kalınlığı 41-50 mm olan tuğlaların genel olarak su emme yüzdesinin %15-24,9, kalınlığı 31-40 mm olan tuğlaların genel olarak %25,0-29,9 arasında olduğu görülmektedir. Buna göre, 31-40 mm kalınlığındaki yığma yapı tuğlalarının, daha kalın tuğlalardan daha fazla su emme kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bünyesinde kaba boyutlu ve bol miktarda doğal taş safsızlık içeren örneklerin ait olduğu kalınlık grubundaki diğer örneklerden daha düşük su emme ve gözeneklilik yüzdesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının su emme yüzdesine göre sayıca dağılımı*

Kütlece su emme yüzdesi (%)	d:41-50 mm olan grup sayısı	d:31-40 mm olan grup sayısı	d:20-30 mm olan grup sayısı
0-14,9	1	-	-
15,0-19,9	**8**	3	**2**
20,0-24,9	**7**	2	1
25,0-29,9	2	**6**	-
30,0-34,9	-	-	-

Çizelge 5.7'de kalınlığı 41-50 mm ve 20-30 mm arasında olan tuğla gruplarının büyük bir bölümünün açık gözenekliliğinin %30,0-34,9, kalınlığı 31-40 mm arasında olan örneklerin büyük bir bölümünün açık gözenekliliğinin %35,0-39,9 arasında olduğu görülmektedir. Dolayısı ile bu örneklerin yığma yapı tuğlası grupları içinde açık gözeneklilik değeri en yüksek olan grup olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.7. *Yığma yapı tuğlası gruplarının açık gözenekliliğe göre sayıca dağılımı*

Açık gözeneklilik (%)	d:41-50 mm olan grup sayısı	d:31-40 mm olan grup sayısı	d:20-30 mm olan grup sayısı
25,0-29,9	1	1	-
30,0-34,9	**10**	2	**2**
35,0-39,9	**7**	**8**	1

Çizelge 5.8'de ise yığma yapı tuğlaların büyük bir bölümünün toplam gözeneklilik yüzdesinin %40-50 arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.8. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının toplam gözenekliliğe göre sayıca dağılımı*

Toplam gözeneklilik (%)	d:41-50 mm olan grup sayısı	d:31-40 mm olan grup sayısı	d:20-30 mm olan grup sayısı
0-39,9	7	2	1
40,0-50,0	**11**	**9**	**2**

5.1.1.3. *Mekanik özellikler*

Kaledeki yığma yapı tuğlaların mekanik özellikleri Çizelge 5.9'da verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlalarının tek eksenli basınç dayanım değeri kalınlığı 41-50 mm arasında olan gruplarda 8,2-24,6 MPa arasında ve ortalama 15,1 MPa, kalınlığı 31-40 mm arasındaki gruplarda 4,0-16,7 MPa arasında ve ortalama 11,6 MPa ve kalınlığı 20-30 mm arasında olan gruplarda 7,8-12,8 MPa arasında ve ortalama 9,7 MPa'dır. Çizelgeden en kalın yığma yapı tuğlası gruplarının en yüksek tek eksenli basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıntılı deney sonuçları EK-5c'de verilmiştir.

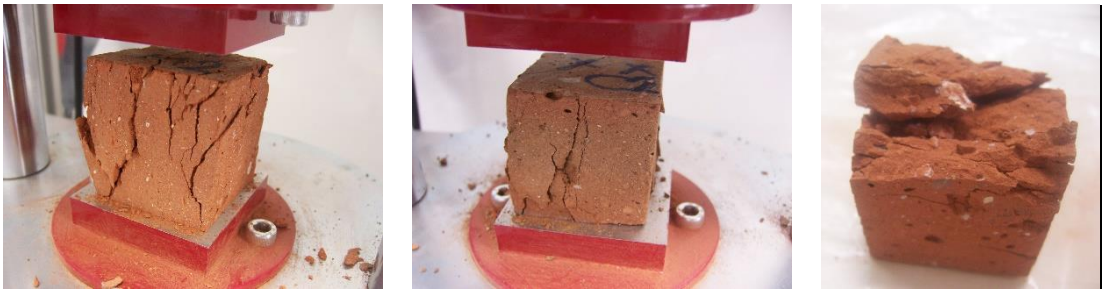
Yığma yapı tuğlaların Elastisite modülü değeri kalınlığı 41-50 mm arasında olan gruplarda 3,3-10,0 GPa arasında ve ortalama 5,4 GPa, kalınlığı 31-40 mm arasında olan gruplarda 3,3-7,9 GPa arasında ve ortalama 5,1 GPa, kalınlığı 20-30 mm arasında olan gruplarda ise 3,4-6,1 GPa arasında ve ortalama 4,5 GPa'dır. En kalın yığma yapı tuğlası gruplarının en yüksek dinamik elastisite modülüne sahip olduğu görülmüştür.

Yığma yapı tuğlaların Schmidt sertliği değeri kalınlığı 41-50 mm arasında olan gruplarda 23-37 arasında ve ortalama 28'dir, kalınlığı 31-40 mm arası olan gruplarda 21-33 arasında ve ortalama 27, kalınlığı 20-30 mm arasında olan grupların sertliği 15-21 arasında ve ortalama 18'dir. Buna göre, kalınlığı 41-50 mm olan grupların sert ve yumuşak arası yapıya, kalınlığı 20-30 ve 31-40 mm arasında olan grupların çoğunun da yumuşak ve çok yumuşak arası yapıya sahip olduğu belirlenmiştir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-2b ve EK-5b).

Çizelge 5.9. *Yığma yapı tuğlalarının mekanik özellikleri*

Grup Adı	UCS (MPa)	Emod (GPa)	Schmidt sertliği
YT-1/d:41-50	24,6	5,5	35
YT-2/d:41-50	13,5	5,4	26
YT-3/d:41-50	10,4	3,7	24
YT-4/d:41-50	14,8	4,5	25
YT-5/d:41-50	16,9	6,7	37
YT-6/d:41-50	23,3	10,0	30
YT-7/d:41-50	12,6	5,2	23
YT-8/d:41-50	13,7	5,7	26
YT-9/d:41-50	16,2	6,0	30
YT-10/d:41-50	10,8	3,9	23
YT-11/d:41-50	14,6	5,2	30
YT-12/d:41-50	18,4	5,7	32
YT-13/d:41-50	11,2	3,3	25
YT-14/d:41-50	8,2	3,6	26
YT-15/d:41-50	20,3	6,1	31
YT-16/d:41-50	19,2	8,0	27
YT-17/d:41-50	14,4	4,7	31
YT-18/d:41-50	8,7	3,6	26
Ort.	**15,1**	**5,4**	**28**
SD (±)	**4,5**	**1,6**	**3,9**
YT-19/d:31-40	12,2	5,2	33
YT-20/d:31-40	10,8	5,3	29
YT-21/d:31-40	16,7	4,1	26
YT-22/d:31-40	9,3	3,3	21
YT-23/d:31-40	13,8	5,6	24
YT-24/d:31-40	14,6	7,9	32
YT-25/d:31-40	12,0	6,0	33
YT-26/d:31-40	7,9	3,3	23
YT-27/d:31-40	12,4	4,7	26
YT-28/d:31-40	14,3	6,0	27
YT-29/d:31-40	4,0	1,7	19
Ort.	**11,6**	**4,8**	**27**
SD (±)	**3,4**	**1,6**	**4**
YT-30/d:20-30	7,8	3,4	15
YT-31/d:20-30	12,8	6,1	21
YT-32/d:20-30	8,6	4,1	19
Ort.	**9,7**	**4,5**	**18**
SD (±)	**2,2**	**1,2**	**2,5**

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonunda kırılan bazı yığma yapı tuğlası örnekleri Görsel 5.8'de verilmiştir. Bu görselden kırılma çizgilerinin düşey yönde olduğu ve bu kırıkların arasında bir doğal taş safsızlığın bulunduğu görülmektedir.



Görsel 5.8. *Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılan yığma yapı tuğlası örnekleri*

Yığma yapı tuğlası gruplarının basınç dayanımına göre sayıca dağılımı Çizelge 5.10'da verilmiştir. Buna göre, tarihi tuğla grupların büyük bir bölümünün basınç dayanımının 10,0-14,9 MPa arasında olduğu, en ince tuğla grubunun büyük bir bölümünün ise 5,0-10,0 MPa arasında olduğu belirlenmiştir. Buna göre, tüm tarihi tuğlaların tek eksenli basınç dayanım değerinin 25 MPa'nın altında olduğu için, kaledeki tarihi tuğlaların çok düşük dirençli olarak nitelenebileceği belirlenmiştir (Deere and Miller, 1966).

Çizelge 5.10. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının basınç dayanımına göre sayıca dağılımı*

Basınç dayanımı (MPa)	**d:41-50 mm olan grup sayısı**	**d:31-40 mm olan grup sayısı**	**d:20-30 mm olan grup sayısı**
5,0-9,9	2	2	**2**
10,0-14,9	**9**	**4**	1
15,0-19,9	4	1	-
20,0-24,9	3	-	-

Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların dinamik elastisite modülü değerine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.11'de verilmiştir. Buna göre kalınlığı 31-40 ve 41-50 mm olan grupların büyük bölümü 5,0-10,0 GPa arasında, kalınlığı 20-30 mm olan grupların ise büyük bölümü 0-4,9 GPa arasında dinamik elastisite modülüne sahiptir.

Çizelge 5.11. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının dinamik elastisite modülüne göre sayıca dağılımı*

E_{mod} (GPa)	**d:41-50 mm olan grup sayısı**	**d:31-40 mm olan grup sayısı**	**d:20-30 mm olan grup sayısı**
0,0- 4,9	7	5	**2**
5,0-10,0	**11**	**6**	1

Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının yüzey sertliğine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.12'de verilmiştir. Buna göre yığma yapı tuğlalarından kalınlığı 41-50 mm olan

grupların çoğunun yüzeyinin sert, kalınlığı 31-40 mm olan grupların çoğunun yüzeyinin yumuşak ve en ince tuğlaların çoğunun yüzeyinin de oldukça yumuşak bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.12. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının yüzey sertliğine göre sayıca dağılımı*

Schmidt sertliği değeri	d:41-50 mm olan grup sayısı	d:31-40 mm olan grup sayısı	d:20-30 mm olan grup sayısı
45-49- çok sert	-	-	-
30-44-sert	**8**	3	-
25-29-yumuşak	**7**	**4**	-
20-24-çok yumuşak	3	3	1
16-19 oldukça yumuşak	-	-	**2**

5.1.1.4. *Kimyasal özellikler*

5.1.1.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analiz sonuçları*

Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kızdırma kaybı analizi sonuçları Çizelge 5.13'te verilmiştir. Buna göre, nem yüzdesi kalın yığma yapı tuğla gruplarında %1, orta kalınlıktaki tuğlalarda %1,2 ve en ince tuğlalarda da %0,3'ün altındadır. Bu durum yığma yapı tuğlalarının nem içeriğinin oldukça düşük seviyede olduğunu göstermiştir.

Organik madde ve molekül bağları arasındaki su kaybından kaynaklanan 550ºC'deki kızdırma kaybı değeri en kalın tuğla gruplarında en fazla %2,1, orta kalınlıktaki tuğla gruplarında en fazla %2,6 ve en ince tuğla tuğlalarda ise en fazla %1,3'tür. Kalsiyum karbonat yüzdesine bağlı olarak meydana gelen 1050ºC'deki kızdırma kaybı değeri en kalın tuğla gruplarında %0,8-3,9, orta kalınlıktaki tuğla gruplarında %0,5-8,5 ve en ince tuğla gruplarında %1,1-3,0 arasındadır. Toplam kızdırma kaybı değeri en kalın yığma yapı tuğlası gruplarında %1,4-5,7 arasında ve ortalama 3,3, orta kalınlıktaki tuğla gruplarında %1,3-11,1 arasında ve ortalama 4,8 ve en ince tuğla gruplarında %1,6-4,3 arasında ve ortalama 2,8'dir. Tespit edilen kalsiyum karbonat yüzdesi en kalın tuğla gruplarında %1,7-8,9 arasında ve ortalama 4,9, orta kalınlıktaki tuğla gruplarında %1,1-19,4 arasında ve ortalama %7,6 ve en ince tuğla gruplarında ise %2,4-6,9 arasında ve ortalama %4,5'tir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-2c, EK-5c ve EK-5d).

Çizelge 5.13. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Grup Adı	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
YT-1/d:41-50	0,2	0,7	0,8	1,4	1,7	0,35
YT-2/d:41-50	0,5	1,1	2,8	3,9	6,4	0,60
YT-3/d:41-50	0,2	0,8	1,6	2,5	3,7	0,42
YT-4/d:41-50	0,3	0,9	1,8	2,7	4,2	0,48
YT-5/d:41-50	0,3	0,9	2,1	3,0	4,8	0,52
YT-6/d:41-50	0,3	0,9	2,1	3,0	4,9	0,41
YT-7/d:41-50	0,9	1,8	3,9	5,7	8,9	0,90
YT-8/d:41-50	0,3	1,1	2,5	3,6	5,7	0,58
YT-9/d:41-50	0,2	1,1	2,3	3,3	5,1	0,39
YT-10/d:41-50	0,4	0,7	2,8	3,5	6,4	0,54
YT-11/d:41-50	0,2	1,1	2,2	3,3	4,7	0,27
YT-12/d:41-50	0,2	1,3	1,7	3,1	3,6	0,45
YT-13/d:41-50	0,2	0,9	1,2	2,1	2,7	0,32
YT-14/d:41-50	0,1	0,8	1,3	2,1	2,9	0,29
YT-15/d:41-50	0,1	0,7	1,3	2,0	3,0	0,29
YT-16/d:41-50	0,7	2,1	3,4	5,5	7,8	0,69
YT-17/d:41-50	0,2	1,0	1,5	2,5	3,3	0,30
YT-18/d:41-50	0,6	1,9	3,5	5,4	8,0	0,29
Ort.	**0,3**	**1,1**	**2,2**	**3,3**	**4,9**	**0,45**
SD (±)	**0,2**	**0,4**	**0,8**	**1,2**	**1,9**	**0,16**
YT-19/d:31-40	0,3	1,0	2,0	3,0	4,5	0,43
YT-20/d:31-40	0,7	2,6	8,5	11,1	19,4	0,61
YT-21/d:31-40	0,4	1,1	2,7	3,9	6,2	0,52
YT-22/d:31-40	0,2	0,8	1,7	2,5	3,8	0,39
YT-23/d:31-40	0,1	1,2	1,2	2,4	2,7	0,30
YT-24/d:31-40	0,9	2,5	4,4	6,9	9,9	0,71
YT-25/d:31-40	0,1	0,8	0,5	1,3	1,1	0,34
YT-26/d:31-40	0,3	1,4	3,2	4,6	7,2	0,59
YT-27/d:31-40	0,5	1,6	4,0	5,6	9,0	0,65
YT-28/d:31-40	0,2	1,1	1,0	2,1	2,4	0,34
YT-29/d:31-40	1,2	2,3	7,7	10,0	17,5	0,41
Ort.	**0,4**	**1,5**	**3,4**	**4,8**	**7,6**	**0,48**
SD (±)	**0,3**	**0,6**	**2,5**	**3,1**	**5,8**	**0,13**
YT-30/d:20-30	0,1	0,7	1,9	2,6	4,2	0,28
YT-31/d:20-30	0,3	1,3	3,0	4,3	6,9	0,71
YT-32/d:20-30	0,1	0,6	1,1	1,6	2,4	0,17
Ort.	**0,2**	**0,8**	**2,0**	**2,8**	**4,5**	**0,39**
SD (±)	**0,1**	**0,3**	**0,8**	**1,1**	**1,8**	**0,23**

Kaledeki tuğlaların bünyesinde bulunan organik maddeler için bir örnek Görsel 5.9'da verilmiştir. Burada basınç dayanım analizinde kırılan örneğin içinde bitkisel liflerin bulunduğu görülmüştür.



Görsel 5.9. *Pişmiş kil ürünün bünyesinde bulunan organik maddeler*

Kızdırma kaybı analizi sonunda, kaledeki orta kalınlıktaki tuğla gruplarından iki grubun (YT-20 ve YT-29) oldukça yüksek kalsiyum karbonat yüzdesine sahip olduğu ve en kalın ve en ince tuğla gruplarının karbonat içeriğinin ise daha az olduğu görülmüştür. Puzolanik aktivite özelliklerine bakıldığında, kalın tuğla gruplarından 10, orta kalınlıktaki tuğla gruplarından 7 ve en ince tuğla gruplarından 1 grubun puzolanik aktivite özelliğine sahip olduğu; ancak hiçbir grubun puzolanik özelliğinin güçlü olmadığı görülmüştür.

5.1.1.4.2. *Kimyasal kompozisyon sonuçları*

Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kimyasal kompozisyonları Çizelge 5.14'te verilmiştir. Buna göre yığma yapı tuğlalarında bulunan majör oksitler Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O, CaO, MgO ve TiO_2, minör oksitler ise BaO, MnO, Cr_2O_3 ve P_2O_5'tir.

Kalınlığı 41-50 mm olan yığma yapı tuğlaların Al_2O_3 yüzdesi genelde %14-15 arasında iken, farklı olarak YT-1 grubunda %17,5 ve YT-18 grubunda %11,6'dır. Bu tuğlaların SiO_2 yüzdesi %44,9-60,9 ve Fe_2O_3 yüzdesi %10-12 arasındadır. Farklı olarak tuğla gruplarından YT-18'de demir oksit oranı yaklaşık %7'dir. Tuğlaların CaO yüzdesi

%6-9 arasında ve MgO yüzdesi ise genelde %6-7 arasındadır. Örneklerin Na_2O yüzdesi ortalama %2,2, K_2O yüzdesi %1,6 ve TiO_2 yüzdesi ise %1,7'dir.

Kalınlığı 31-40 mm olan yığma yapı tuğlaların Al_2O_3 yüzdesi %14-16 arasında iken, YT-26 grubunda %12,5 ve YT-29 ve YT-31 gruplarında %11-12 arasındadır. Tuğlaların SiO_2 yüzdesi %44,9-55,0 arasında ve Fe_2O_3 yüzdesi %11-12 arasındadır. Farklı olarak YT-21, YT-26, YT-29 ve YT-31'de demir oksit oranı yaklaşık %6-7'dir. Tuğlaların CaO yüzdesi %6-10 arasındadır, ancak YT-21 grubunda bu oran daha yüksektir (%13,4). MgO yüzdesi ise genel olarak %5-7 iken, YT-21 grubunda %2,4'tür. Na_2O yüzdesi ortalama %1,7, K_2O yüzdesi %1,8 ve TiO_2 yüzdesi %1,5'tir. En ince tuğlaların ortalama Al_2O_3 yüzdesi %15,0, SiO_2 yüzdesi %48,2, Fe_2O_3 yüzdesi %11,8, CaO yüzdesi %8,5, MgO yüzdesi %7, Na_2O yüzdesi %2,7, K_2O yüzdesi %1,2 ve TiO_2 yüzdesi %1,9'dur. En ince tuğla grupları ayrıca eser miktarda BaO, MnO, Cr_2O_3, P_2O_5 ve SO_3 içermektedir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-2d).

Çizelge 5.14. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kimyasal kompozisyonları (%ağırlıkça)*

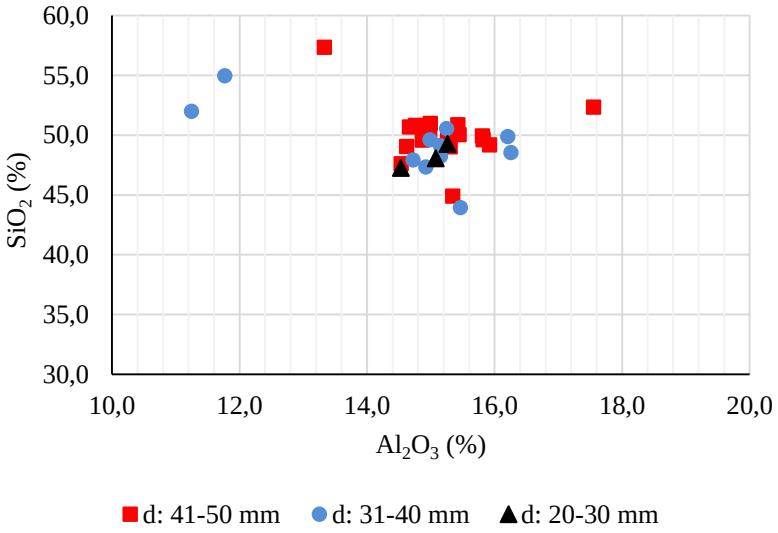
Grup Adı	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
YT-1/d:41-50	17,5	52,3	11,8	6,0	4,2	2,5	1,6	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	98,6	1,4
YT-2/d:41-50	14,6	49,1	11,3	8,3	6,7	2,3	1,3	1,9	0,4	0,2	0,1	0,2	96,1	3,9
YT-3/d:41-50	14,8	50,8	10,9	8,1	6,5	2,6	1,2	1,8	0,3	0,2	0,2	0,2	97,5	2,5
YT-4/d:41-50	15,3	50,2	11,5	7,8	6,6	2,3	1,3	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2	97,3	2,7
YT-5/d:41-50	15,0	51,0	10,9	7,4	6,4	2,2	1,6	1,6	0,3	0,2	0,1	0,2	97,0	3,0
YT-6/d:41-50	14,7	50,7	10,9	8,3	6,6	2,3	1,4	1,7	-	0,2	0,1	0,2	97,0	3,0
YT-7/d:41-50	14,5	47,6	11,2	8,6	6,4	2,1	1,4	1,8	0,2	0,2	0,1	0,2	94,3	5,7
YT-8/d:41-50	14,9	49,6	11,2	8,2	6,6	2,3	1,3	1,8	-	0,2	0,1	0,2	96,4	3,6
YT-9/d:41-50	15,2	49,1	11,4	8,1	6,6	2,1	1,5	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2	96,5	3,5
YT-10/d:41-50	15,3	49,0	11,5	8,0	6,7	2,2	1,5	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2	96,6	3,4
YT-11/d:41-50	15,0	49,9	11,2	7,8	6,6	2,3	1,5	1,7	-	0,2	0,1	0,2	96,5	3,5
YT-12/d:41-50	15,8	49,6	11,9	6,7	7,0	1,9	1,7	1,7	0,3	0,2	0,1	0,3	97,0	3,1
YT-13/d:41-50	15,4	50,9	11,5	7,1	6,8	2,2	1,6	1,8	-	0,3	0,1	0,3	97,9	2,1
YT-14/d:41-50	15,8	49,9	11,6	7,4	6,7	2,4	1,6	1,8	0,3	0,2	0,1	0,3	97,9	2,1
YT-15/d:41-50	15,4	50,0	11,2	8,2	6,8	2,3	1,6	1,8	-	0,2	0,1	0,2	98,0	2,0
YT-16/d:41-50	15,3	44,9	12,4	8,5	7,4	1,5	2,0	1,7	0,4	0,2	0,1	0,2	94,5	5,5
YT-17/d:41-50	15,9	49,2	11,8	7,2	7,2	2,1	1,8	1,8	-	0,2	0,1	0,3	97,5	2,5
YT-18/d:41-50	13,3	57,3	6,8	7,1	4,4	1,8	2,5	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	94,6	5,4
Ort.	15,2	50,1	11,2	7,7	6,4	2,2	1,6	1,7	0,3	0,2	0,1	0,2	96,7	3,3
SD (±)	0,8	2,3	1,1	0,7	0,8	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,2

Çizelge 5.14. (Devam) *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kimyasal kompozisyonları (% ağırlıkça)*

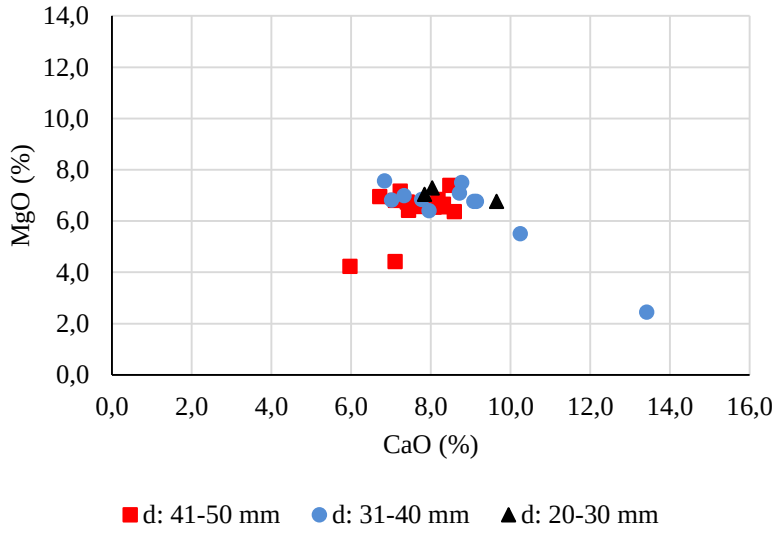
Grup Adı	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO)	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
YT-19/d:31-40	15,1	49,1	12,6	7,3	7,0	1,9	1,2	2,2	-	0,3	0,1	0,2	97,0	3,0
YT-20/d:31-40	14,7	47,9	5,7	13,4	2,4	0,9	2,8	0,6	-	0,2	0,1	0,1	88,9	11,1
YT-21/d:31-40	14,9	47,4	11,7	9,1	6,8	2,3	1,3	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	96,2	3,8
YT-22/d:31-40	15,2	48,2	11,7	9,1	6,8	2,6	1,2	1,9	0,2	0,3	0,1	0,3	97,5	2,5
YT-23/d:31-40	15,2	50,6	11,7	7,8	6,8	1,7	1,6	1,6	-	0,2	0,1	0,3	97,6	2,4
YT-24/d:31-40	15,5	44,0	12,0	8,7	7,1	1,3	2,3	1,5	-	0,2	0,1	0,3	93,0	7,0
YT-25/d:31-40	16,2	49,9	12,1	7,0	6,8	1,9	1,9	1,9	0,3	0,2	0,1	0,4	98,7	1,3
YT-26/d:31-40	15,0	49,6	11,0	8,0	6,4	2,2	1,2	1,3	-	0,3	0,2	0,3	95,4	4,6
YT-27/d:31-40	11,8	55,0	7,0	8,8	7,5	1,0	2,2	0,6	-	0,2	0,2	0,2	94,4	5,6
YT-28/d:31-40	16,3	48,5	12,5	6,8	7,6	1,8	1,9	1,9	0,2	0,2	0,1	0,2	97,9	2,1
YT-29/d:31-40	11,2	52,0	6,4	10,2	5,5	0,9	2,5	0,7	-	0,1	0,1	0,3	90,0	10,0
Ort.	14,6	49,3	10,4	8,7	6,4	1,7	1,8	1,5	0,2	0,2	0,1	0,3	95,1	4,9
SD (±)	1,6	2,7	2,5	1,8	1,4	0,6	0,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	3,1	3,1

Grup Adı	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	SO_3	Σ Oksit	Σ KK
YT-30/d:20-30	15,1	48,1	12,3	7,8	7,0	3,1	1,2	2,0	-	0,2	0,1	0,2	0,2	97,4	2,6
YT-31/d:20-30	14,5	47,3	11,4	9,6	6,8	2,3	1,2	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	-	95,7	4,3
YT-32/d:20-30	15,3	49,3	11,5	8,0	7,3	2,7	1,3	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	98,4	1,6
Ort.	15,0	48,2	11,8	8,5	7,0	2,7	1,2	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	97,2	2,8
SD (±)	0,3	0,8	0,4	0,8	0,2	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1

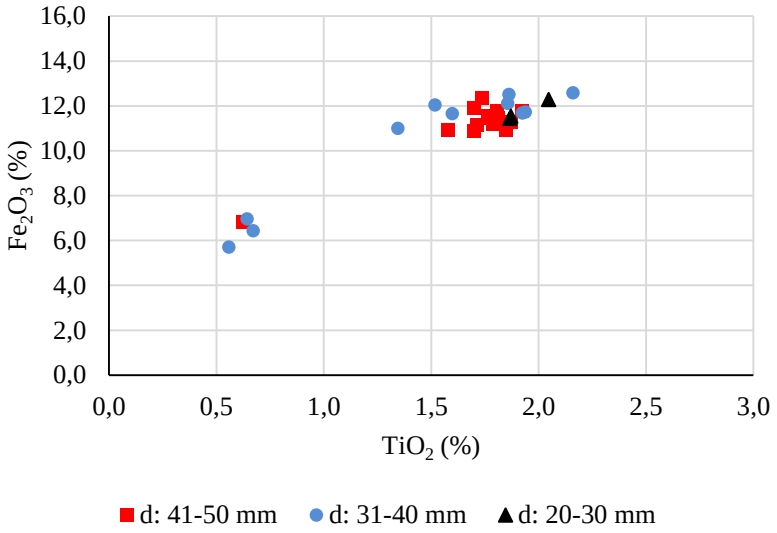
Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının kalınlıklarına bağlı olarak kimyasal kompozisyonları Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te karşılaştırılmıştır. Buna göre, yığma yapı tuğlalarının büyük bir bölümü %14-16 arasında Al_2O_3, %45-51 arasında SiO_2, %6-10 arasında CaO, %6-8 arasında MgO, %1,5-2,0 arasında TiO_2 ve %10-13 arasında Fe_2O_3 içermektedir. Na_2O ve K_2O elementlerinin birbiri ile negatif ilişkili olduğu, kalınlığı 31-40 mm olan örneklerin daha yüksek K_2O, kalınlığı 41-50 mm olan örneklerin ise daha yüksek Na_2O yüzdesine sahip olduğu görülmüştür.



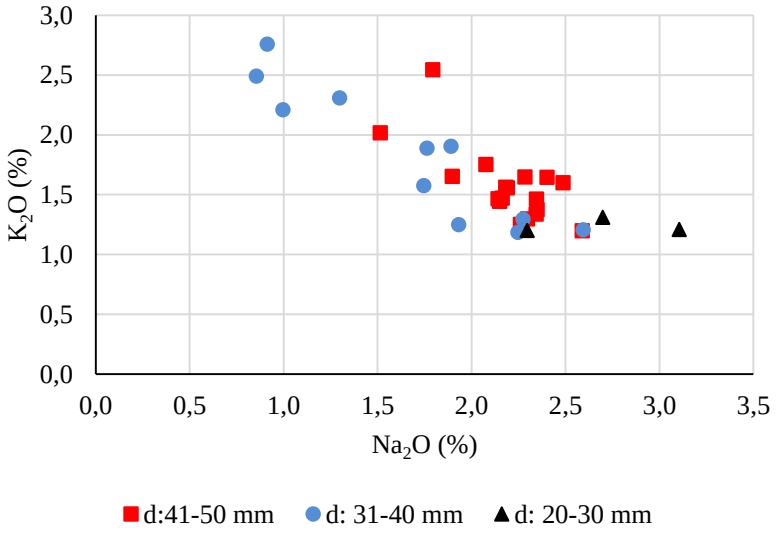
Şekil 5.1. *Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre Al_2O_3 ve SiO_2 ilişkisi*



Şekil 5.2. *Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre MgO ve CaO ilişkisi*



Şekil 5.3. *Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre TiO_2 ve Fe_2O_3 ilişkisi*



Şekil 5.4. *Kaledeki yığma yapı tuğlası grupların kalınlıklarına göre Na_2O ve K_2O ilişkisi*

5.1.1.5. *Mineralojik özellikler*

Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının ayrıntılı XRD kırınım grafikleri EK-2e'de, mineralojik kompozisyonu ise Çizelge 5.15'te verilmiştir. XRD kırınım grafiklerinde görüleceği üzere, aynı grup içindeki örnekler aşağıdan yukarıya doğru illit/mika mineralinin pik şiddeti en güçlü olandan, zayıf olana doğru sıralanmıştır. Bu şekilde, örneklerin pişme ısısına bağlı mineralojik faz dönüşümlerini XRD grafiklerinden izlemek mümkün olmuştur.

Çizelge 5.15. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının mineralojik kompozisyonu*

Grup Adı	zeo	smc	ill/mca	tlc	am	srp	qtz	fs	px	cal	ep	ol	ilm	hem	mag/ mgh	her	spl	mel	Tahmini pişme ısısı (ºC)
YT-1/d:41-50		-	++	-	++	-	++++	+++	+++	-		-		+++	+++	-	++	+++	700-1050
YT-2/d:41-50		+	+++	-	+++	-	++++	++++	+++	++		-	+	++	++	-	-	++	500-900
YT-3/d:41-50		-	-	-	+	-	++++	++++	++	-		-		++	+++	-	-	++	800-950
YT-4/d:41-50		-	+	-	+++	-	++++	++++	++	++		+		+++	+	-	-	++	800-950
YT-5/d:41-50		-	-	-	-	-	++++	++++	++	-		-		++	+++	-	-	-	800-950
YT-6/d:41-50		-	++	-	++	-	++++	+++	++	+		-		++	+++	-	-	-	700-900
YT-7/d:41-50	++	+++	+++	++	+++	+	++++	+++	-	+++	++	-	-	++	-	-	-	-	<550
YT-8/d:41-50		-	+++	+	+++	-	++++	++++	++	++				++	-	-	-	-	600-700
YT-9/d:41-50		-	++	-	+++	-	++++	++++	++	+++			+	+++	+++	-	-	-	700-900
YT-10/d:41-50		-	+	-	++	-	++++	++++	++	+		-	-	++	+++	+	-	+	800-1050
YT-11/d:41-50	+	-	++	-	+++	+	++++	++++	++	++	-	+	-	++	++	-	-	++	550-900
YT-12/d:41-50		-	++	-	+++	-	++++	+++	++	+++		-	-	+++	+	-	-	++	700-900
YT-13/d:41-50		-	-	-	-	-	++++	++++	++	-		-	-	+++	+++	-	-	++	900-1000
YT-14/d:41-50		-	-	-	++	-	++++	++++	++	-		-	-	+++	+++	-	-	++	900-950
YT-15/d:41-50		-	+	-	+	-	++++	++++	++	-		-	-	+++	+++	-	-	++	850-900
YT-16/d:41-50		-	-	-	+	-	++++	++++	+++	-		-	-	+++	+++	-	++	++	1000-1050
YT-17/d:41-50		-	+	-	++	-	++++	++++	+++	-		-	-	+++	+++	-	++	++	900-1000
YT-18/d:41-50		-	+	-	+	-	++++	++	+	++		-	-	+	++	-	-	-	700-900

Mineral ismi kısaltmaları için Bkz. EK-1. + : Minerallerin göreceli bolluğu, -: mineral yoktur.

Çizelge 5.15. (Devam) *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının mineralojik kompozisyonu*

Grup Adı	smc	ill/mca	tlc	am	srp	qtz	fs	px	cal	ol	ilm	hem	mag	her	spl	mel	Tahmini pişme ısısı (°C)
YT-19/d:31-40	+	++	-	++++	-	++++	++++	-	++	-	++	+++	-	-	-	-	<550
YT-20/d:31-40	-	+++	-	-	-	++++	+	-	+++	-	-	+	-	-	-	-	600-700
YT-21/d:31-40	-	++	-	+++	-	++++	+++	-	+++	+	-	+	+	-	-	-	600-700
YT-22/d:31-40	-	-	-	-	-	++++	++++	++	-	-	+	+	+++	-	-	+	850-900
YT-23/d:31-40	-	-	-	-	-	++++	+++	++	-	-	-	++	+++	-	-	++	850-900
YT-24/d:31-40	++	+++	+	+++	-	++++	+++	-	+++	-	+	++	-	-	-	-	<550
YT-25/d:31-40	-	-	-	-	-	++++	+++	++	-	-	-	+++	+	-	-	++	700-900
YT-26/d:31-40	-	+	-	+	-	++++	++++	++	+	-	-	++	+++	-	-	++	900-950
YT-27/d:31-40	-	+	-	+	-	++++	+++	++	++	+	-	++	+++	-	-	-	700-900
YT-28/d:31-40	-	-	-	++	-	++++	+++	++	++	-	-	++	++	-	-	++	850-900
YT-29/d:31-40	+	++	-	+	-	++++	+	-	+++	-	-	+	+	-	-	-	850-900

Grup Adı	smc	ill/mca	tlc	am	srp	qtz	fs	px	cal	ol	ilm	hem	mag	her	spl	mel	Tahmini pişme ısısı (°C)
YT-30/d:20-30	-	++	-	+++	-	++++	++++	++	++	-	+	++	+	-	-	-	600-850
YT-31/d:20-30	-	+	-	++	-	++++	++++	++	+	-	-	++	+++	-	-	-	800-950
YT-32/d:20-30	-	-	-	-	-	++++	++++	++	-	-	-	++	+++	+	-	++	900-950

Mineral ismi kısaltmaları için Bkz. EK-1. + : Minerallerin göreceli bolluğu, -: mineral yoktur.

XRD diyagramlarındaki 3.34-3.35 ve 4.25-4.27 Å'dan kuvars, 3.19-3.20 ve 4.03-4.05 Å'dan plajiyoklas feldispat, 3.24 Å'dan alkali feldispat, 2.70, 2.51 ve 3.68 Å'dan hematit, 2.99 ve 3.00 Å'dan piroksen (diyopsit/ojit), 3.03 ve 2.28 Å'dan kalsit, 2.88-2.89 ve 2.19 Å'dan dolomit, 8.37-8.43 ve 3.10 Å'dan amfibol, 10.00-10.10 ve 5.00-5.04 Å'dan illit/ mika, 2.51 ve 2.95 Å'dan magnetit/maghemit, 9.25-9.30 Å'dan talk, 2.78 Å'dan ilmenit, 2.44-2.46 ve 2.88 Å'dan hersinit, 2.84 ve 2.87 Å'dan melilit, 2.45 ve 2.77 Å'dan olivin, 7.32 Å'dan serpantin ve 2.90 Å'dan epidot minerali tanımlanmıştır. Ayrıca, yazından illit/mika mineralinin 700ºC'nin üzerinde bozunmaya ve pik şiddetinin küçülmeye başladığı ve 800-1000ºC arasında da kaybolduğu, ısı artışı ile birlikte diyopsit, vollastonit, gehlenit, akermanit, hersinit, spinel ve kristobalit gibi yüksek ısı minerallerinin oluştuğu bilinmektedir (Cultrone vd., 2001).

YT-1/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, plajiyoklas, k-feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, illit/ mika, amfibol, epidot, spinel, piroksen ve melilittir. 2P.1, 2P.2, 3P.2, 4P.1, 1P.5 ve 3P.3 örneklerinde illit/mika ve amfibol minerali, 3P.4 tuğlası amfibol minerali, 2P.2 örneğinde ise ayrıca kalsit minerali bulunmaktadır. 3P.1 ve 1P.1 örneklerinde illit/mika pikinin kaybolduğu ve yerine yeni bir faz olan piroksen sınıfından diyopsit ile yüksek ısı minerali olan spinelin oluştuğu, ayrıca magnetit/maghemit mineralinin pik şiddetinin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda, ısının artmasına bağlı olarak albit mineralinin anortite dönüştüğü görülmüştür. Bu gruptaki tuğlaların bazılarında illit/mika minerali bulunurken, bazılarında yüksek ısı mineralleri bulunduğu için, tuğlaların 700-1050ºC arasında homojen bir ısı dağılımının bulunmadığı bir ortamda pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-2/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, illit/mika, amfibol, ilmenit, kalsit, piroksen, melilit (akermanit) ve smektittir. Gruptaki 2P.10 tuğlasında bulunan smektit minerali ve illit/mika mineralinin pik şiddetinin diğer örneklerden daha güçlü olması, bu tuğlanın 550ºC'nin altında piştiğini göstermiştir. Bu örnekte ayrıca dolomit mineralinin bulunması bu gruptaki tuğlaların hammadde kaynakları arasında dolomit de bulunduğunu göstermiştir. 2P.9 örneğinde illit/mika mineralinin pikinin kaybolması ve diyopsit ile akermanit minerallerinin oluşması, bu gruptaki tuğlanın ≈900ºC'de piştiğini göstermiştir. Gruptaki örneklerin 500-900ºC'de olmak üzere homojen olmayan bir ortamda pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-3/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, amfibol, rutil, piroksen ve melilittir. Ayrıca, 4P.11 tuğlasında amfibol minerali tespit edilmiştir. Bu grupta illit/mika mineralini yokluğu, anortit fazının varlığı, ancak hersinit mineralinin bulunmaması nedeni ile örneklerin 900-1000ºC'de pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-4/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, illit/mika, amfibol, kalsit, piroksen, melilit ve olivindir. 3P.18 örneğinde illit/mika fazının kaybolduğu ve anortit fazının oluştuğu görülmüştür. Diğer taraftan, tüm örneklerde kalsit mineralinin varlığı nedeni ile grubun pişme ısısının 800-900ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

YT-5/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, piroksen ve kalsittir. Yüksek ısı minerallerinin varlığı nedeni ile bu grubun 850-1000ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-6/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, kalsit, amfibol ve piroksendir. 2P.8 örneğinde illit/mika ve kalsit mineralinin varlığı nedeni ile 700-900ºC'de piştiği tahmin edilmiştir.

YT-7/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, illit/mika, talk, amfibol, kalsit, smektit, zeolit ve epidottur. Ayrıca, 3P.19 ve 3P.20 örneklerinde serpantin minerali bulunmaktadır. Smektit mineralinin varlığı ve illit/ mika ve kalsit mineralinin pik şiddetinin güçlü olması sonucu bu gruptaki tuğlaların 550ºC'nin altında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-8/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, illit/mika, talk, amfibol, kalsit ve piroksendir. Bu gruptaki örneklerdeki illit/mika pik şiddetinin güçlü olması nedeni ile tuğlaların 600-700ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-9/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, illit/mika, amfibol, kalsit, dolomit, piroksen, gehlenit ve anortittir. Gruptaki örneklerin büyük bir çoğunluğunda illit/mika fazının kaybolduğu ve diyopsit ile gehlenit fazının ortaya çıktığı, 1P.6, 1P.8, 1P.9, 3P.23 ve 4P.14 tuğlalarında ise illit-mika ve dolomit minerallerinin bulunduğu görülmüştür. Bu nedenle bu örneklerin 700ºC'nin altında, gruptaki diğer örneklerin ise 800ºC'nin üstünde pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-10/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, illit/mika, amfibol, kalsit, piroksen, hersinit, gehlenit ve anortittir. 2P.12

örneğinin çok az miktarda illit/mika ve 3P.8 örneğinin de gehlenit minerali bulunduğu görülmüştür. Kalsit mineralinin varlığı, illit/mika mineralinin pik şiddetinin kaybolmaya başlaması ve hersinit mineralinin oluşması nedeni ile örneklerin pişme ısısının 800-1050ºC olduğu tahmin edilmiştir.

YT-11/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, illit/mika, talk, amfibol, zeolit, kalsit, dolomit, piroksen, olivin ve melilittir. 1P.7 örneğinde illit/mika fazının kaybolduğu, akermanit fazının oluştuğu görülmüştür. Gruptaki tuğlalardan 4P.18 örneğinde zeolit ve dolomit mineralinin varlığı ve illit-mika mineralinin pik şiddetinin güçlü olması nedeni ile bu örneğin 550ºC'nin altında, diğer örneklerdeki illit/mika mineralin pik şiddeti azaldığı için bu grubun 550-900ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-12/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, maghemit/magnetit, illit/mika, amfibol, kalsit, piroksen ve melilittir. 4P.14 örneğinde illit/mika pikinin güçlü olması, bu tuğlanın diğerlerinden daha düşük ısıda piştiğini göstermiştir. Diğer iki örnekte ise illit-mika pikinin yok olmaya başlamış olması, ama yine de kalsit mineralinin varlığı nedeniyle grubun 700-900ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-13/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, piroksen ve akermanittir. İllit/mika ve kalsit mineralinin yokluğu ve hersinit mineralinin varlığı nedeni ile grubun pişme derecesinin 900-1000ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

YT-14/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, piroksen ve akermanittir. Ayrıca, 4P.6 örneğinde amfibol bulunduğu da görülmüştür. 4P.4 örneği kalsit içermemesi nedeni ile bu örneğin 900-950ºC'de pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-15/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, piroksen, melilit ve amfiboldür. Bu grupta melilit mineralinin bulunması nedeni ile bu gruptaki tuğlaların ≈850-900ºC'de pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-16/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, piroksen, spinel ve melilittir. İllit/mika fazının yokluğu ve spinel fazının varlığı nedeni ile bu gruptaki örneklerin ≈1000-1050ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-17/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, piroksen, spinel, akermanit, illit/mika ve amfiboldür. Kalsit mineralinin yokluğu ve spinel fazının oluşması ile örneklerin ≈900-1000ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-18/d:41-50 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, piroksen, kalsit, illit/mika ve amfiboldür. Kalsit mineralinin varlığı ve illit/mika pikinin küçülmesi nedeni ile örneklerin pişme ısısının 700-900ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

YT-19/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, feldispat, hematit, ilmenit, illit/mika, smektit, talk, amfibol, kalsit, klinopiroksen (ojit) ve epidottur. Dolomit piki ve smektit pikinin varlığı nedeni ile örneklerin pişme derecesinin ≈550ºC olduğu tahmin edilmiştir.

YT-20/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, illit/mika ve kalsittir. İllit/mika pikinin güçlü olması, özellikle kalsit mineralinin pik şiddetinin çok güçlü olması nedeni ile örneğin 600-700ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-21/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, kalsit, dolomit, epidot, hematit, illit/mika, amfibol, olivin ve ilmenittir. Kalsit ve dolomit minerallerinin varlığı nedeni ile örneğin pişme derecesinin 600-700ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

YT-22/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, ilmenit, piroksen ve melilittir. Örneklerde illit/mika ve amfibol mineralleri bulunmaması, gehlenit ve diyopsit fazlarının oluşması sonucu, örneklerin 850-900ºC arasında piştiği tahmin edilmiştir.

YT-23/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, piroksen ve melilittir. Örneklerde illit/mika ve amfibol mineralleri bulunmamaktadır. Melilit mineralinin varlığı nedeni ile örneğin pişme derecesinin 850-900ºC olduğu tahmin edilmiştir.

YT-24/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, ilmenit, illit/mika, smektit, amfibol ve kalsittir. Bu tuğla grubunun ≈550ºC altındaki ısıda pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-25/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, illit/mika, amfibol ve kalsittir. Tuğlaların pişme derecesi 850-900ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

YT-26/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, piroksen ve melilittir. Kalsit mineralinin bulunmaması ve yüksek ısı minerallerinin varlığı nedeni ile grubun 900-950ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-27/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/maghemit, piroksen, melilit, illit/mika, amfibol ve kalsittir. 3P.28 örneğinde illit/mika ve amfibol fazının bulunmadığı, piroksen ve melilit fazının oluştuğu görülmüştür. Ancak, her iki örnekte kalsit fazının varlığı nedeni ile tuğlaların 700-900ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-28/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, magnetit/ maghemit, piroksen, melilit ve amfiboldür. Bu gruptaki örneklerde kalsit mineralinin kaybolmaya başlaması nedeni ile örneklerin 850-900ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-29/d:31-40 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, illit/mika, amfibol, kalsit ve smektittir. Smektit mineralinin bulunması ve kalsit mineralinin pikinin oldukça güçlü olması nedeni ile bu örneğin 550ºC'nin altında pişirildiği tahmin edilmiştir.

YT-30/20-30 grubunun içerdiği mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, plajiyoklas, alkali feldispat, kalsit, piroksen, hematit, ilmenit ve olivindir. İllit-mika ve kalsit mineralinin varlığı nedeni ile örneklerin 600-850 ºC arasında piştiği tahmin edilmiştir.

YT-31/d:20-30 grubunun içerdiği mineraller kuvars, plajiyoklas, hematit, magnetit/ maghemit, piroksen, melilit, illit/mika, amfibol ve kalsittir. 2P.17, 2P.21 ve 2P.18 örneklerinde illit-mikanın bulunmadığı ve gehlenit fazının oluştuştuğu görülmektedir. Tüm örneklerde kalsit mineralinin ve yüksek ısı minerallerinin bir arada varlığı nedeni ile bu grubun pişme derecesinin 800-950ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

YT-32/d:20-30 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, hematit, piroksen, melilit ve hersinittir. Kalsit, illit/mika ve amfibol gibi minerallerin bulunmaması sonucu, bu örneğin 900-950ºC gibi yüksek ısıda piştiği tahmin edilmiştir.

Buna göre, kalınlığı 41-50 mm arasındaki tuğla gruplarından sadece bir grup düşük ısıda (<550ºC), sekiz grup 550-700ºC arasında ve dokuz grup 800-900ºC arasındaki ısıda pişmiştir. Tuğlaların piştiği en yüksek ısının ise 900-1000ºC'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Çizelge 5.15'te görülen YT-2 ve YT-11 gruplarındaki ısı aralığının 400ºC'ye çıkması, pişme ortamının homojen olmadığını göstermiştir.

Kalınlığı 31-40 mm olan yığma yapı tuğlası gruplarından 2 grubun düşük ısıda (<550ºC), 2 grubun 600-700ºC arasında, 2 grubun 700-900ºC arasında ve 5 grubun da 850-900ºC arasında pişirildiği tahmin edilmiştir. Genel olarak bakıldığında bu gruptaki tuğlaların pişme ısısının 950ºC'yi geçmediği görülmüştür.

XRD analizlerinden düşük ısıda pişirilen yığma yapı tuğlalarının hammaddesinin kuvars, illit/mika, amfibol, smektit, piroksen, ilmenit, kalsit, dolomit, olivin, hematit, plajiyoklas ve alkali feldispat mineralleri içerdiği belirlenmiştir. Isı artışına bağlı olarak ise, illit/mika, kalsit, dolomit, amfibol, olivin ve ilmenit fazlarının kaybolduğu, magnetit/maghemit, spinel, anortit, diyopsit ve melilit fazlarının ortaya çıktığı görülmüştür.

5.1.2.Zemin tuğlaların karakteristik özellikleri

Bu bölümde kaledeki zemin tuğlalarının fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik özellikleri ile ilgili elde edilen sonuçlar aktarılmıştır. İncelenen zemin tuğlaları II, III ve IV. bölgelerden elde edilmiş ve benzer özelliklere sahip olan örnekler gruplanarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kaledeki zemin tuğlalarının 12 gruba ayrıldığı tespit edilmiş ve bu grupların karakteristik özellikleri ile ayrıntılı bilgiler EK-3 ve EK-5'te verilmiştir.

5.1.2.1. *Görsel özellikler*

II. ve IV. bölgedeki kazılarda ortaya çıkarılan ve yerinde korunan zemin tuğlası örnekleri Görsel 5.10'da gösterilmiştir. Yerinde yapılan ölçümlerde II. bölgedeki zemin tuğlasının boyutu 33x32,5x2,5 cm (Görsel 5.10a ve 5.10b), IV. bölgedeki zemin tuğlasının (Görsel 5.10c) boyutu ise 34x53x2,5 cm olarak ölçülmüştür. Buna göre, her iki zemin tuğlasının aynı kalınlığa sahip olduğu; ancak, IV. bölgedeki zemin tuğlasının daha büyük boyutta üretildiği görülmüştür. II. bölgedeki zemin tuğlasının alt yüzü incelendiğinde (Bkz. Görsel 5.10b), sol yarısında harç cebinde 1 cm genişliğinde harç kanalları bulunurken, diğer tarafında dört-beş kanalın bulunduğu görülmektedir. Bu uygulama aynı zemin tuğlasında hem harç kanalı, hem de harç cebinin bulunabileceğini göstermiştir.

Boyut farkının dışında, II. bölgedeki zemin tuğlası, zemine harç kullanılarak uygulanmasına rağmen, IV. bölgedeki zemin tuğlasının altında harç kullanılmadığı

görülmüştür. Görsel 5.10d'de IV. bölgedeki bir ocağın zemininde kullanılan zemin tuğlası örnekleri gösterilmiştir. Zemin tuğlalarının boyutları Roma dönemine ait tuğla boyutları ile karşılaştırıldığında II. bölgedeki zemin tuğlasının dört avuç içi kare tuğlası olan tetradoron veya pedalis tuğlasına, IV. bölgedeki tuğlanın da 1x1,5 ayak ölçülerindeki lidion tuğlasına benzer olduğu görülmüştür. Ancak, Bizans ayağının, Roma ayağından daha büyük olması nedeni ile ölçüleri de 2-3 cm daha büyüktür (Bkz. Şekil 2.2. ve 2.3).



a) II. bölgeye ait zemin tuğlaları



b) II. bölgeye ait zemin tuğlalarının alt yüzü



c) IV. bölgedeki zemin tuğlaları



d) IV. bölgedeki ocakta kullanılan zemin tuğlaları

Görsel 5.10. *II. ve IV. bölgede bulunan zemin tuğlası örnekleri*

Zemin tuğlaların en önemli özelliği üst yüzlerinin düz olması ve alt yüzlerinde kenarlara paralel harç cebi ve/veya harç kanallarına sahip olmasıdır. Harç kanallarının genişliği 2-3 mm ve 1 cm olarak iki farklı ölçüye sahiptir ve kanal sayısı da 4-13 arasında değişmektedir. Bazı zemin tuğlası örnekleri sadece harç cebine, bazıları sadece harç kanalına, bazıları da harç cebinde bulunan kanallara sahiptir. Örneğin, 3P.71 örneği 6 adet harç kanalına sahip iken, 2P.26 örneği hem harç cebine, hem de 4 kanala sahiptir. 3P.50, 3P.58 ve 3P.59 örnekleri sadece harç cebine sahip olan örnekler iken, 3P.62 ile 3P.61

örnekleri her iki yönde hem harç cebi, hem de 13 kanala sahip örneklerdir (Bkz. Görsel 5.11).



3P.47 örneği (ZT-1 grubu) 3P.55 örneği (ZT-2 grubu) 2P.26 örneği (ZT-2 grubu)

2P.27 örneği (ZT-2 grubu) 2P.16 örneği (ZT-3 grubu) 3P.56 örneği (ZT-4 grubu)

3P.63 örneği (ZT-4 grubu) 3P.58 örneği (ZT-5 grubu) 3P.71 örneği (ZT-5 grubu)

3P.59 örneği (ZT-5 grubu) 3P.52 örneği (ZT-5 grubu) 4P.39 örneği (ZT-5 grubu)

Görsel 5.11. *Kaledeki zemin tuğlalarında bulunan harç kanalı ve harç cebi tipleri*



2P.29 örneği (ZT-5 grubu)



3P.66 örneği
(ZT-5 yanık grubu)



4P.41 örneği
(ZT-5 yanık grubu)



3P.51 örneği (ZT-6 grubu)



3P.57 örneği (ZT-6 grubu)



3P.62 örneği (ZT-6 grubu)



3P.65 örneği (ZT-6 grubu)



3P.69 örneği (ZT-7 grubu)



3P.61 örneği (ZT-7 grubu)



2P.28 örneği (ZT-8 grubu)



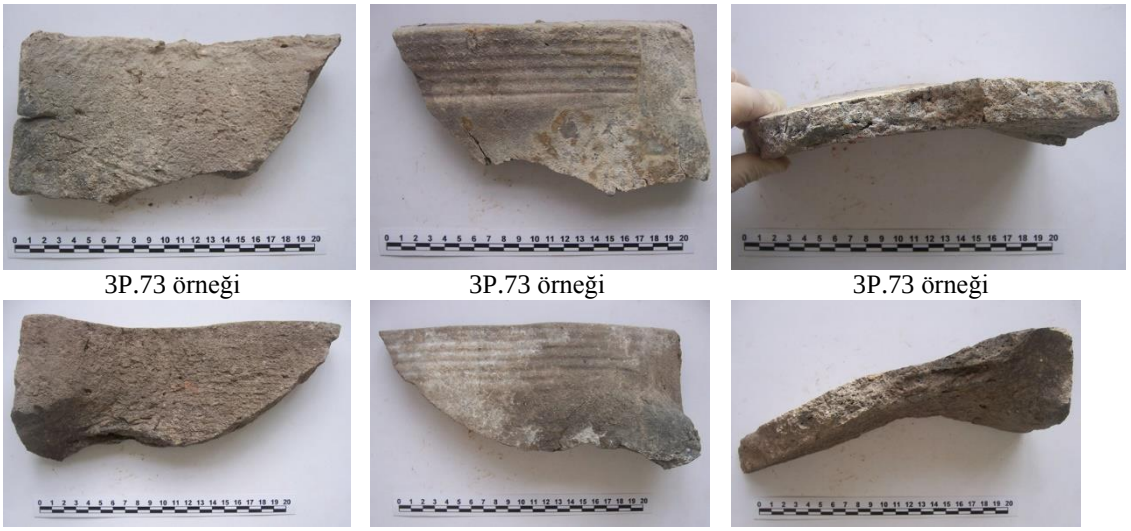
3P.33 örneği (ZT-9 grubu)



3P.32 örneği (ZT-12 grubu)

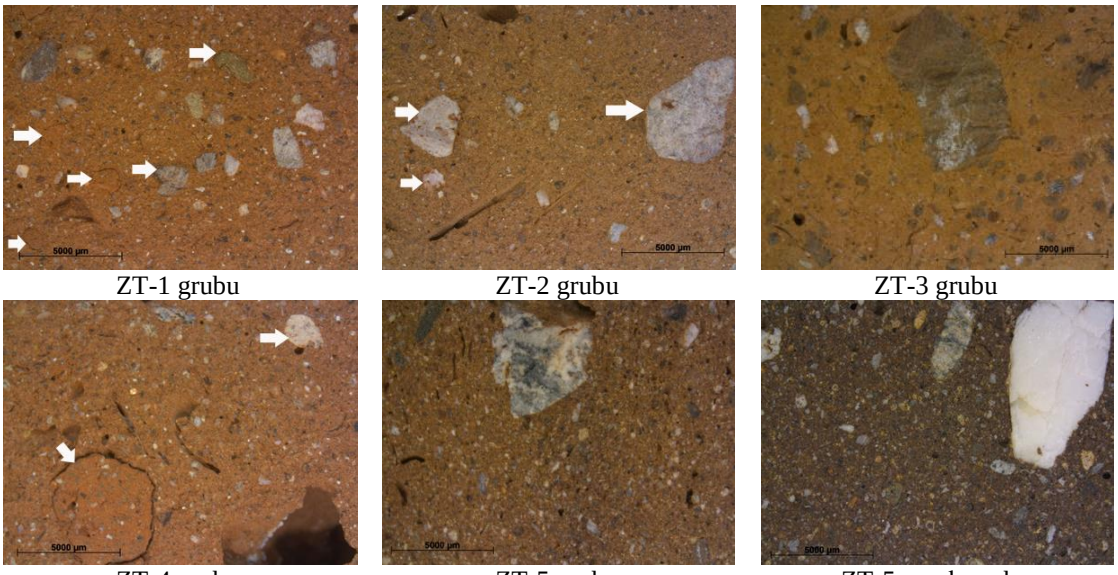
Görsel 5.11. (Devam) *Kaledeki zemin tuğlalarındaki harç kanalı veya harç cebi tipleri*

Görsel 5.12'de çok pişmiş olan ve bu nedenle şekil değişikliğine uğramış olan iki zemin tuğlası gösterilmiştir. Bu tuğlaların kalınlığının 2 cm ve beş kanallı olduğu ve 3P.71 örneğine benzer olduğu görülmüştür. Bu aşırı yanmış örnekler deney dışı tutulmuştur.

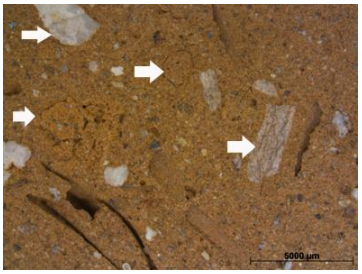


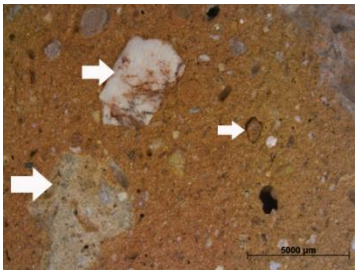
Görsel 5.12. *Yüksek ısıya bağlı olarak şekil değişikliğine uğramış zemin tuğlası örnekleri*

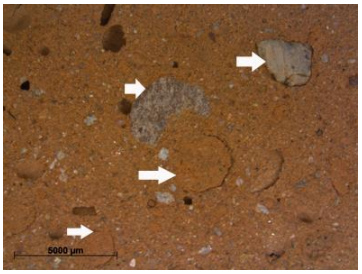
Zemin tuğlası gruplarının stereo mikroskop görünümü Görsel 5.13'te verilmiştir. Buna göre görselde, ZT-1 ve ZT-3 grubunda bol miktarda orta boyutlu doğal taş safsızlık bulunduğu, hatta ZT-2, ZT-3, ZT-5, ZT-5 yanık ve ZT-7 gruplarında çok kaba boyutlu doğal taş kullanıldığı görülmektedir. ZT-4, ZT-8 ve ZT-11 grupları ise kil topakları içermektedir. Ayrıca, ZT-3 grubunun yığma yapı tuğlalarından YT-1 grubuna benzediği ve ZT-12 grubunun da oldukça gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

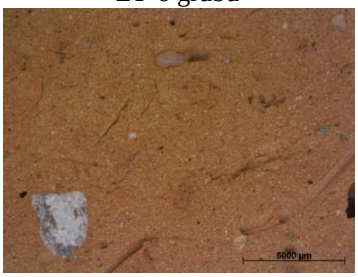


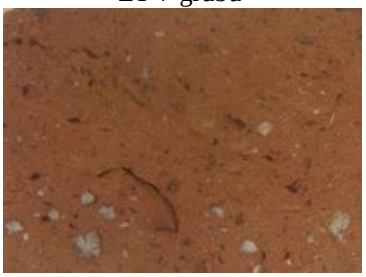
Görsel 5.13. *Kaledeki zemin tuğlası grupların stereo mikroskop görünümü*

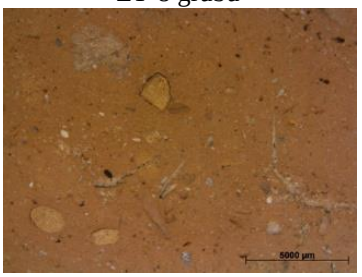

ZT-6 grubu

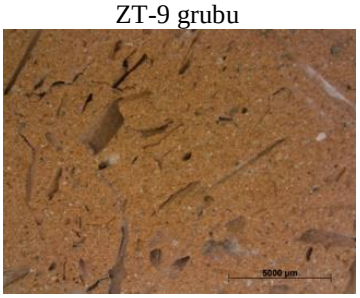

ZT-7 grubu


ZT-8 grubu


ZT-9 grubu


ZT-10 grubu


ZT-11 grubu


ZT-12 grubu

Görsel 5.13. (Devam) *Kaledeki zemin tuğlası grupların stereo mikroskop görünümü*

Kaledeki zemin tuğlası gruplarının özellikleri ile ayrıntılı bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

Grup adı : ZT-1

İçerdiği örnek(ler) : 3P.67, 3P.48, 3P.49, 3P.47, 4P.37

Ait olduğu bölge(ler) : II, III ve IV.

Renk ve doku : 10R 3/6 Koyu kırmızı

Bu grupta toplam 5 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda kaba, orta ve ince boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



4P.37 örneği

Grup adı : ZT-2

İçerdiği örnek(ler) : 2P.26, 2P.27, 3P.54, 3P.55, 4P.34

Ait olduğu bölge(ler) : II, III ve IV.

Renk ve doku : 2,5YR 4/4 Kırmızımsı kahve

Bu grupta toplam 5 örnek bulunmaktadır. Örnek matrisinde yüksek oranda orta boyutlu ve az miktarda iri doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



3P.54 örneği

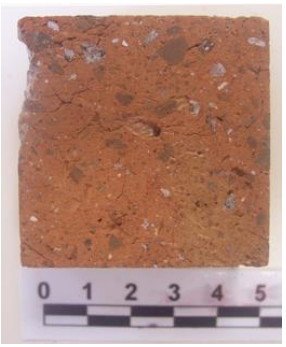
Grup adı : ZT-3

İçerdiği örnek(ler) : 3P.42, 2P.16, 4P.25, 4P.23, 4P.24

Ait olduğu bölge(ler) : II, III ve IV.

Renk ve doku : 10R 6/8 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 5 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda kaba ve orta boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



2P.16 örneği

Grup adı : ZT-4

İçerdiği örnek(ler) : 3P.72, 3P.53, 3P.60, 3P.63, 3P.56, 3P.64

Ait olduğu bölge(ler) : III.

Renk ve doku : 2,5YR 5/6 Kırmızı

Bu grupta toplam 6 örnek bulunmaktadır. Örnek matrisinde bol miktarda ince ve orta boyutlu doğal taş safsızlık kullanılmıştır.



3P.60 örneği

Grup adı : ZT-5

İçerdiği örnek(ler) : 3P.58, 3P.59, 3P.52, 3P.71, 2P.29, 2P.31, 2P.32, 2P.14, Z 3, Z 6, 4P.27, 4P.61, 4P.40

Ait olduğu bölge(ler) : II, III ve IV.

Renk ve doku : 2,5YR 4/4 Kırmızımsı kahve

Bu grupta toplam 13 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu ve az miktarda orta boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



2P.32 örneği

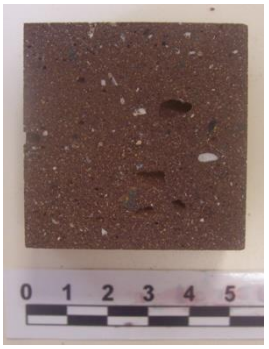
Grup adı : ZT-5 yanık

İçerdiği örnek(ler) : 3P.66, 2P.30, 4P.41

Ait olduğu bölge(ler) : II, III ve IV.

Renk ve doku : 7,5YR 3/4 Koyu kahve

Bu grupta toplam 3 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



2P.30 örneği

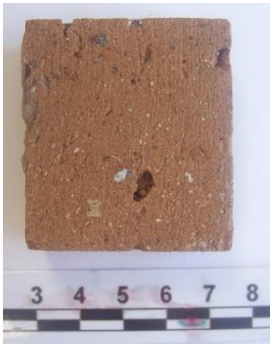
Grup adı : ZT-6

İçerdiği örnek(ler) : 3P.68, 3P.57, 3P.50, 62, 3P.51, 3P.65

Ait olduğu bölge(ler) : III.

Renk ve doku : 5YR 5/6 Sarımsı kırmızı

Bu grupta toplam 6 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu ve az miktarda orta boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



3P.57 örneği

Grup adı : ZT-7

İçerdiği örnek(ler) : 3P.69, 3P.61, 4P.42

Ait olduğu bölge(ler) : III ve IV.

Renk ve doku : 10R 4/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 3 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince ve orta boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



3P.61 örneği

Grup adı : ZT-8

İçerdiği örnek(ler) : 3P.70, 2P.28, 4P.35, 4P.43, 4P.38

Ait olduğu bölge(ler) : II, III ve IV.

Renk ve doku : 10R 4/6 Kırmızı

Bu grupta toplam 5 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş safsızlık ve kil topağı bulunmaktadır.



2P.28 örneği

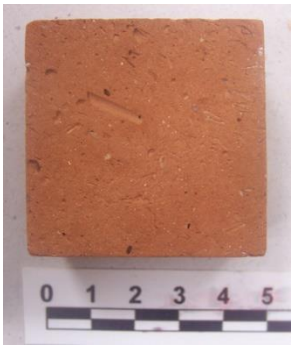
Grup adı : ZT-9

İçerdiği örnek(ler) : 3P.38, 3P.33, 4P.33

Ait olduğu bölge(ler) : III. ve IV.

Renk ve doku : 2,5YR 6/8 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 3 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır. Örneklerin bünyesinde çizgisel izler dikkat çekmektedir.



3P.33 örneği

Grup adı : ZT-10

İçerdiği örnek(ler) : 2P.25, 3P.43

Ait olduğu bölge(ler) : II. ve III.

Renk ve doku : 2,5YR 6/8 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince ve orta boyutlu doğal taş safsızlık bulunmaktadır.



2P.25 örneği

Grup adı : ZT-11

İçerdiği örnek(ler) : 2P.24, 3P.39

Ait olduğu bölge(ler) : II. ve III.

Renk ve doku : 2,5YR 6/8 Açık kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Örnekler bol miktarda ince safsızlık içermektedir ve örneklerin bünyesinde gözenekler bulunmaktadır.



2P.24 örneği

Grup adı : ZT-12

İçerdiği örnek(ler) : 3P.46, 3P.32

Ait olduğu bölge(ler) : III.

Renk ve doku : 5YR 6/8 Sarımsı kırmızı

Bu grupta toplam 2 örnek bulunmaktadır. Bu gruptaki tuğlalarda bol miktarda ince boyutlu doğal taş safsızlık ve az miktarda kil topağı bulunmaktadır.



3P.46 örneği

5.1.2.2. *Fiziksel özellikler*

Kaledeki zemin tuğlalarının fiziksel özellikleri Çizelge 5.16'da verilmiştir. Buna göre, zemin tuğlalarının görünür yoğunluk değeri 1,50-1,78 g/cm^3 arasında ve ortalama 1,69 g/cm^3, gerçek yoğunluk değeri 2,65-2,91 g/cm^3 arasında ve ortalama 2,85 g/cm^3'tür. Zemin tuğlalarının kütlece su emme yüzdesi %10,0-25,7 arasında ve ortalama %20,6, açık gözeneklilik yüzdesi %19,7-38,2 arasında ve ortalama %33,5'tir. Zemin tuğlalarının toplam gözeneklilik ve doluluk yüzdesi %29,2-44,5 arasında ve ortalama %40,8, doluluk yüzdesi ise %55,5-70,8 arasında ve ortalama %59,2'dir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-3a ve EK-5a).

Çizelge 5.16. *Zemin tuğlalarının fiziksel özellikleri*

Grup Adı	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	A_b (%)	p_0 (%)	p (%)	c (%)
ZT-1	1,78	2,91	19,0	33,8	38,8	61,2
ZT-2	1,77	2,87	17,7	31,3	38,2	61,8
ZT-3	1,76	2,81	18,3	32,1	38,0	62,0
ZT-4	1,74	2,90	19,3	33,4	40,1	59,9
ZT-5	1,74	2,87	17,9	31,2	39,4	60,6
ZT-6	1,73	2,89	19,5	33,6	40,1	59,9
ZT-7	1,73	2,89	19,1	33,0	40,3	59,7
ZT-8	1,70	2,86	20,5	34,8	40,6	59,4
ZT-9	1,63	2,89	22,7	37,0	43,6	56,4
ZT-10	1,63	2,85	23,3	38,0	42,6	57,4
ZT-11	1,58	2,85	23,9	37,9	44,5	55,5
ZT-12	1,50	2,65	25,7	38,2	43,5	56,5
Ort.	**1,69**	**2,85**	**20,6**	**34,5**	**40,8**	**59,2**
SD (±)	**0,08**	**0,07**	**2,5**	**2,5**	**2,1**	**2,1**

ZT-5 grubunun aşırı pişmiş örneklerinden oluşan ZT-5 yanık grubunun fiziksel özellikleri Çizelge 5.17'de verilmiştir. Bu grubun görünür yoğunluğunun 0,26 g/cm^3 arttığı, gerçek yoğunluğunun az da olsa azaldığı, kütlece su emme yüzdesinin %7,9, açık gözenekliliğinin %11,5 ve toplam gözenekliliğin %10 azaldığı ve dolululuk yüzdesinin aynı oranda arttığı görülmüştür.

Çizelge 5.17. *ZT-5 yanık zemin tuğlası grubunun fiziksel özellikleri*

Grup Adı	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	A_b (%)	p_0 (%)	p (%)	c (%)
ZT-5 yanık	2,00	2,82	10,0	19,7	29,2	70,8

5.1.2.3. *Mekanik özellikler*

Kaledeki zemin tuğlası gruplarının mekanik özellikleri Çizelge 5.18'de verilmiştir. Buna göre, zemin tuğlalarının nokta yükleme deney indeksi 0,2-2,3 arasında ve ortalama 0,8, eşdeğer basınç dayanımı 4,5-26,8 MPa arasında ve ortalama 11,3 MPa, Elastisite modülü 3,0-10,6 GPa arasında ve ortalama 5,7 GPa, Schmidt sertlik değeri de 20-45 arasında ve ortalama 27 olduğu belirlenmiştir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-3b, EK-5b, EK-5c ve EK-5d).

Çizelge 5.18. *Kaledeki zemin tuğlası gruplarının mekanik özellikleri*

Grup Adı	**$I_{s(50)}$**	**UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)**	**Emod (GPa)**	**Schmidt sertliği**
ZT-1	0,5	7,7	5,6	23
ZT-2	0,5	8,0	4,7	20
ZT-3	0,8	11,2	5,1	32
ZT-4	0,7	10,2	5,1	23
ZT-5	1,3	16,1	6,9	27
ZT-6	0,7	9,6	5,0	25
ZT-7	0,8	11,0	5,0	23
ZT-8	0,6	7,3	5,4	27
ZT-9	1,1	14,4	6,8	31
ZT-10	0,2	4,5	3,0	23
ZT-11	2,3	26,8	10,6	45
ZT-12	0,5	8,2	5,2	26
Ort.	**0,8**	**11,3**	**5,7**	**27**
SD (±)	**0,5**	**5,6**	**1,7**	**6**

ZT-5 grubunun yanık olan örneklerinin mekanik analiz sonuçları Çizelge 5.19'te verilmiştir. Buna göre, yanık olan örneklerin nokta yükleme deney indeksinin, eşdeğer basınç dayanımının, ultrasonik ses geçiş hızının, Elastisite modülü ve sertlik değerinde artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.19. *ZT-5 yanık grubunun mekanik özellikleri*

Grup Adı	**$I_{s(50)}$**	**UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)**	**Emod (GPa)**	**Schmidt sertliği**
ZT-5 yanık	5,0	56,1	13,4	46

5.1.2.4. *Kimyasal özellikler*

5.1.2.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Kaledeki zemin tuğlalarının kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analiz sonuçları Çizelge 5.20'de verilmiştir. Buna göre, zemin tuğlalarının nem içeriği %0,1-0,6 arasında ve ortalama %0,3'tür. En düşük nem içeriğine sahip grupların ZT-6, 7 ve 9 grupları, en yüksek nem içeriğine sahip olan örneklerin ZT-12 grubu olduğu görülmüştür. Zemin tuğlalarının organik madde yüzdesi değerleri %0,6-2,2 arasında ve ortalama %1,2'dir. Buna göre, ZT-7 grubu en düşük ve ZT-12 grubu da en yüksek organik madde yüzdesine sahip olan gruplar olduğu görülmüştür. Zemin tuğlalarının 1050ºC'deki kızdırma kaybı değeri %0,7-4,4 arasında ve ortalama %2,1'dir. Zemin tuğlalarının toplam kızdırma kaybı değerleri ise %1,3-6,6 arasında ve ortalama %3,3'tür. Zemin tuğlalarının kalsiyum karbonat yüzdesi %2,2-9,9 arasında ve ortalama %4,9'dur. Kalsiyum karbonat yüzdesi en düşük olan grup ZT-5 yanık grubu iken, en yüksek olan grup ise ZT-12 grubudur.

Kaledeki zemin tuğlalarının elektriksel iletkenlik farkı değerleri 0,24-0,60 µS/cm arasında ve ortalama 0,41'dir. Gruplardan sekizi puzolanik özelliğe sahip değil iken, beş grubun puzolanik aktivite özellik taşıdığı görülmüştür. Ancak, zemin tuğlası gruplarından hiçbirinin iletkenlik farkı 1,20 µS/cm ve üzerinde olmadığı için, zemin tuğlalarının iyi puzolan olmadığı belirlenmiştir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-3c ve EK-5e).

Çizelge 5.20. *Kaledeki zemin tuğlası gruplarının kızdırma kaybı ve iletkenlik farkı değerleri*

Grup Adı	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Δ EC (µS/cm)
ZT-1	0,2	0,9	2,1	3,0	4,7	0,30
ZT-2	0,4	1,4	2,8	4,2	6,4	0,60
ZT-3	0,4	1,6	2,6	4,2	5,9	0,64
ZT-4	0,3	0,9	2,0	2,9	4,6	0,34
ZT-5	0,2	0,8	1,1	1,9	2,5	0,24
ZT-6	0,1	0,8	1,7	2,5	3,9	0,35
ZT-7	0,1	0,6	1,4	2,0	3,1	0,29
ZT-8	0,2	1,2	2,1	3,3	4,8	0,35
ZT-9	0,1	0,7	1,0	1,7	2,2	0,27
ZT-10	0,3	1,4	2,6	4,1	6,0	0,50
ZT-11	0,3	1,2	1,9	3,0	4,2	0,47
ZT-12	0,6	2,2	4,4	6,6	9,9	0,56
Ort.	**0,3**	**1,2**	**2,1**	**3,3**	**4,9**	**0,41**
SD (±)	**0,2**	**0,4**	**0,9**	**1,3**	**2,0**	**0,13**

ZT-5 yanık grubunun Çizelge 5.21'de verilen kızdırma kaybı değerleri, ZT-5 grubunun değerleri ile karşılaştırıldığında, azaldığı görülmüştür.

Çizelge 5.21. *ZT-5 yanık grubunun kızdırma kaybı ve iletkenlik farkı değerleri*

Grup Adı	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**Δ EC (µS/cm)**
ZT-5 yanık	0,1	0,6	0,7	1,3	1,6	0,25

5.1.2.4.2. *Kimyasal kompozisyon sonuçları*

Kaledeki zemin tuğlalarının kimyasal kompozisyonları Çizelge 5.22'de verilmiştir. Zemin tuğlalarının içerdiği majör oksitler Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O ve TiO_2, minör oksitler ise BaO, MnO, Cr_2O_3 ve P_2O_5'tir. Buna göre zemin tuğlalarında Al_2O_3 değeri %12,5-16,7 arasında ve ortalama %14,9, SiO_2 değeri %47,3-55,7 arasında ve ortalama %50,1, Fe_2O_3 değeri %6,7-12,6 arasında ve ortalama %11,2, CaO değeri %5,3-8,9 arasında ve ortalama %7,8, MgO değeri %5,5-7,7 arasında ve ortalama %6,8, Na_2O değeri %1,1-3,1 arasında ve ortalama %2,2, K_2O değeri %1,1-2,2 arasında ve ortalama %1,7'dir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-3d).

Çizelge 5.22. *Kaledeki zemin tuğlalarının kimyasal kompozisyonları (%ağırlıkça)*

Grup Adı	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
ZT-1	15,2	48,5	11,7	8,5	6,9	2,3	1,3	1,9	0,5	0,2	0,1	0,3	97,0	3,0
ZT-2	15,0	47,3	11,9	8,4	6,9	2,2	1,4	2,0	0,3	0,2	0,1	0,3	95,8	4,2
ZT-3	14,1	53,4	10,4	5,3	7,6	1,9	1,7	1,2	0,3	0,2	0,1	0,2	96,3	3,7
ZT-4	15,1	48,6	11,8	8,5	6,9	2,5	1,2	2,0	0,3	0,2	0,1	0,3	97,1	2,9
ZT-5	14,8	50,3	11,3	7,9	7,0	3,1	1,2	1,8	0,2	0,2	0,1	0,3	98,1	1,9
ZT-6	15,0	48,7	11,5	8,9	7,0	2,6	1,2	1,9	0,2	0,2	0,1	0,3	97,5	2,5
ZT-7	15,2	49,4	11,6	8,4	7,0	2,6	1,2	1,9	0,2	0,2	0,1	0,3	98,0	2,0
ZT-8	15,7	48,9	11,5	8,1	6,3	2,0	1,6	1,8	0,3	0,2	0,1	0,3	96,7	3,3
ZT-9	16,1	49,1	12,6	7,0	7,4	1,9	1,5	2,0	0,2	0,3	0,1	0,3	98,3	1,7
ZT-10	14,7	49,0	11,8	8,3	6,1	2,0	1,4	1,8	-	0,2	0,1	0,3	95,9	4,1
ZT-11	16,7	47,5	12,6	6,7	7,7	1,1	2,2	1,6	0,3	0,2	0,1	0,3	97,0	3,0
ZT-12	12,5	55,7	6,7	8,5	5,6	1,1	2,1	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	93,4	6,6
Ort.	15,0	49,7	11,3	7,9	6,9	2,1	1,5	1,7	0,3	0,2	0,1	0,3	96,7	3,3
SD (±)	1,0	2,3	1,5	1,0	0,6	0,6	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	1,3

ZT-5 yanık grubunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.23'te verilmiştir. Buna göre, bu değerler ZT-5 grubunun değerleri ile karşılaştırıldığında, SiO_2 yüzdesinin arttığı, MgO yüzdesinin azaldığı görülür.

Çizelge 5.23. *ZT-5 yanık grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Grup Adı	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
ZT-5 yanık	14,2	54,8	10,0	7,4	5,5	3,1	1,1	1,7	0,3	0,2	0,1	0,3	98,7	1,3

5.1.2.5. *Mineralojik özellikler*

Kaledeki zemin tuğlalarının mineralojik faz diyagramları EK-3e'de verilmiş ve Çizelge 5.24'te özetlenmiştir. Buna göre, ZT-1 grubunda bulunan mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, feldispat, kalsit, hematit, maghemit, melilit, ilmenit ve piroksendir (diyopsit). İllit/mika mineralinin pik şiddetinde düşüş olması örneklerin 700ºC'nin üzerinde piştiği, 3P.67 örneğinde gehlenit ve anortit fazlarının bulunması nedeni ile pişme ısısının 950ºC'ye kadar çıktığı tahmin edilmiştir.

Çizelge 5.24. *Kaledeki zemin tuğlalarının tahmini pişme ısısı*

Grup Adı	**smc**	**ill/mca**	**tlc**	**am**	**qtz**	**fs**	**px**	**cal**	**ol**	**ilm**	**hem**	**mag**	**mel**	**Tahmini pişme derecesi (ºC)**
ZT-1	-	+	-	++	+++	++++	+++	+++	-	+	++	+++	+	700-950
ZT-2	+++	+++	++	+++	++++	++++	++	++	+	+	++	-	-	550-700
ZT-3	+	++	+	+++	++++	++++	++	+++	-	++	+++	-	-	550-700
ZT-4	-	+	-	++	+++	++++	+	+	-	-	++	+	+	700-950
ZT-5	-	-	-	-	+++	++++	++	-	-	-	+	+++	+	>900
ZT-5 yanık	-	-	-	-	+++	++++	+++	-	-	-	++	+++	++	>950
ZT-6	-	-	-	-	+++	++++	++	-	-	-	++	+++	+	900-950
ZT-7	-	-	-	-	+++	++++	++	-	-	-	++	+++	+	>900
ZT-8		++	-	++	+++	++++	++	++	-	-	++	++	+	600-900
ZT-9	-	++	-	++	++++	++++	++	-	-	-	++	+++	-	700-900
ZT-10	-	++	-	++	++++	+++	++	++	-	+	++	-	-	550-700
ZT-11	-	-	-	+	++++	+++	++	++	-	-	++	+++	++	900-950
ZT-12	-	++	-	+	++++	+	+	++	-	-	+	++	-	700-800

Mineral ismi kısaltmaları için Bkz. EK-1. + : Minerallerin göreceli bolluğu, -: mineral yoktur.

ZT-2 grubunun içerdiği mineraller smektit, illit/mika, amfibol, kuvars, feldispat, kalsit, piroksen, hematit, ilmenit, talk ve olivindir. Gruptaki üç örnekte smektit ve talk minerali bulunması nedeni ile pişme ısısının 550ºC'nin altında olduğu, diğer taraftan 2P.27 örneğinde illit/mika pik şiddetinin küçülmeye başlamış olması nedeni ile de ısının bazen 700ºC'nin üzerine çıktığı tahmin edilmiştir.

ZT-3 grubunun içerdiği mineraller smektit, illit/mika, talk, amfibol, kuvars, feldispat, kalsit, piroksen, hematit ve ilmenittir. 4P.23 örneğinde smektit mineralinin varlığı nedeni ile bu örneğin 550ºC'nin altında piştiği tahmin edilmiştir. Örneklerdeki kalsit mineralinin pikinin varlığı nedeni ile bu örneklerin pişme ısısının 900ºC'yi geçmediği tahmin edilmiştir.

ZT-4 grubunun içerdiği mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, feldispat, hematit, maghemit, kalsit ve melilittir (akermanit). İllit/mika ve kalsit fazlarının küçülmüş olması nedeni ile gruptaki örneklerin 700-950ºC arasında piştiği tahmin edilmiştir.

ZT-5 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, piroksen, maghemit, hematit ve melilittir (gehlenit). İllit/mika ve kalsit mineralinin bulunmaması ve gehlenit fazının varlığı nedeni ile bu gruptaki örneklerin 900ºC'nin üstünde piştiği tahmin edilmiştir. ZT-5 yanık tuğla grubunda bulunan mineraller kuvars, plajiyoklas, piroksen, maghemit/magnetit ve hematittir. ZT-5 grubuna benzer olarak, örneklerde illit/mika ve kalsit mineralinin bulunmaması nedeni ile bu gruptaki örneklerin 950ºC'nin üstünde piştiği tahmin edilmiştir.

ZT-6 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, melilit (gehlenit), piroksen, hematit ve maghemittir. Örneklerde illit/mika ve kalsit fazının bulunmaması ve maghemit, diyopsit ve gehlenit fazlarının oluşması nedeni ile örneklerin pişme ısısının 900-950ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

ZT-7 grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, piroksen, maghemit ve hematittir. Örneklerde illit/mika fazının bulunmaması ve maghemit fazının varlığı nedeni ile bu grubun yüksek ısıda, yani 900ºC'nin üstünde piştiği tahmin edilmiştir.

ZT-8 grubunun içerdiği mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, feldispat, kalsit, melilit (gehlenit), hematit ve maghemittir. Örneklerdeki illit/mika fazının pik şiddetine göre gruptaki örneklerin 600-900ºC arasında homojen olmayan bir ısı ortamında piştiği tahmin edilmiştir.

ZT-9 grubunun içerdiği mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, feldispat, piroksen, maghemit ve hematittir. 3P.38 ve 4P.33 örneklerinde illit/mika fazının bulunmaması ve maghemit fazının varlığı neticesinde, bu örneğin 900ºC'nin üstünde piştiği tahmin edilirken, 3P.33 örneğinde illit/mika mineralinin bulunması nedeni ile bu örneğin 700ºC'nin altında piştiği tahmin edilmiştir.

ZT-10 grubunun içerdiği mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, feldispat, kalsit, ilmenit, hematit ve piroksendir. İllit/mikanın pik şiddetininin güçlü olması nedeni ile grubun pişme derecesinin 700ºC'yi geçmediği tahmin edilmiştir.

ZT-11 grubunun içerdiği mineraller amfibol, kuvars, feldispat, kalsit, piroksen, melilit (gehlenit), hematit ve maghemittir. Örneklerde illit/mika mineralinin mevcut olmaması ve maghemit ve gehlenit fazlarının oluşması nedeni ile örneklerin yaklaşık 900-950ºC de piştiği tahmin edilmiştir.

ZT-12 grubunun içerdiği mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, feldispat, kalsit, piroksen, hematit ve maghemittir. 3P.32 örneğinde illit/mika fazının bulunması, bu örneğin 700ºC civarında, 3P.46 öreğinin ise bu fazın kaybolması ve maghemit ve klinopiroksen fazlarının ortaya çıkması nedeni ile daha yüksek bir ısıda piştiği tahmin edilmiştir.

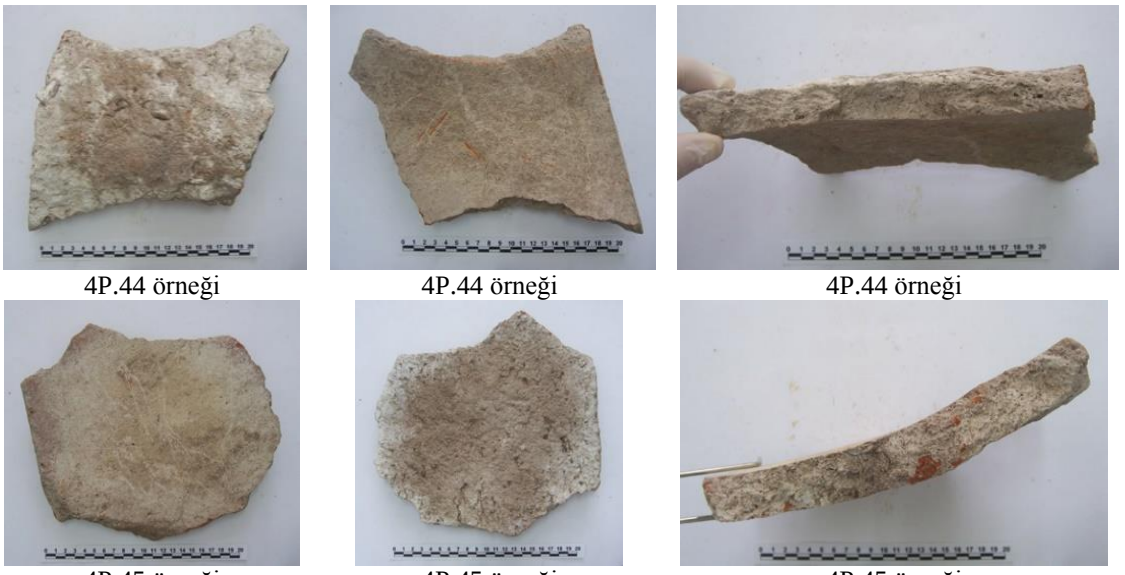
XRD analizine göre, zemin tuğlalarının esas mineralleri kuvars, feldispat, kalsit, illit/mika, amfibol, hematit, maghemit, piroksen ve ilmenittir. Yüksek ısıda pişen örneklerde gehlenit, akermanit ve diyopsit mineralleri, düşük ısıda pişen örneklerde ise smektit ve talk mineralleri bulunmaktadır. Zemin tuğlalarından 8 grupta illit/mika minerali, 9 grupta amfibol minerali, 2 grupta da smektit ve talk minerali bulunmaktadır. Buna göre, ZT-2, ZT-3 ve ZT-10 gruplarının en düşük ısıda, ZT-5, ZT-6 ve ZT-11 gruplarının da en yüksek ısıda pişen gruplar olduğu belirlenmiştir.

5.1.3. Kiremitlerin karakteristik özellikleri

Bu bölümde Karacahisar kalesinin III. ve IV. bölgesinde elde edilen kiremit örneklerinin karakteristik özellikleri ile ilgili sonuçlar aktarılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre tarihi kiremitlerin 3 gruba ayrıldığı belirlenmiştir. Kiremitlerin karakteristik özellikler ile ayrıntılı bilgiler EK-4 ve EK-5'te verilmiştir.

5.1.3.1. *Görsel özellikler*

Kaledeki kiremit örnekleri iç bükey bir yapıya sahip olup, üzerinde su kanalları bulunmaktadır. Bazı kiremit örneklerinin kalınlığı sabit iken, bazı örneklerin kalınlığı ise kenarlara doğru incelmektedir. Örneğin, KR-1 ve KR-2 grubu kiremit örneklerinin kalınlığı sabit iken, KR-3 grubu kiremit örneklerinin kalınlığı kenarlarda ince, orta bölümünde ise kalındır (Bkz. Görsel 5.14, Görsel 5.15, Görsel 5.16 ve Görsel 5.17).



4P.44 örneği | 4P.44 örneği | 4P.44 örneği

4P.45 örneği | 4P.45 örneği | 4P.45 örneği

Görsel 5.14. *KR-1/d:20-30 grubu kiremit örnekleri*



3P.34 örneği | 4P.47 örneği | 3P.36 örneği

3P.41 örneği | 4P.31 örneği | 4P.32 örneği

Görsel 5.15. *KR-2/d:20-30 grubu kiremit örnekleri*

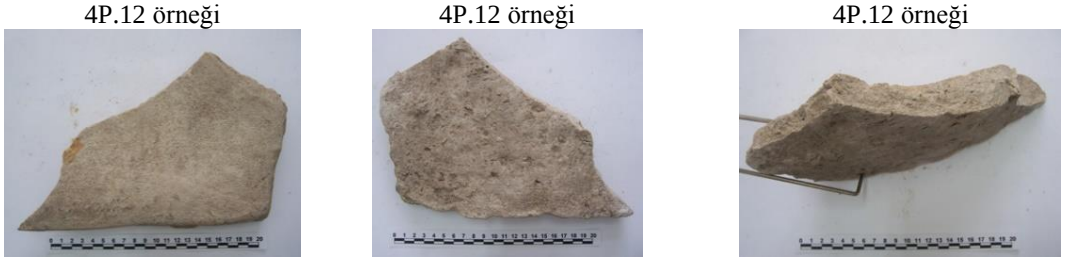


4P.47 örneği 4P.47 örneği 3P.35 örneği

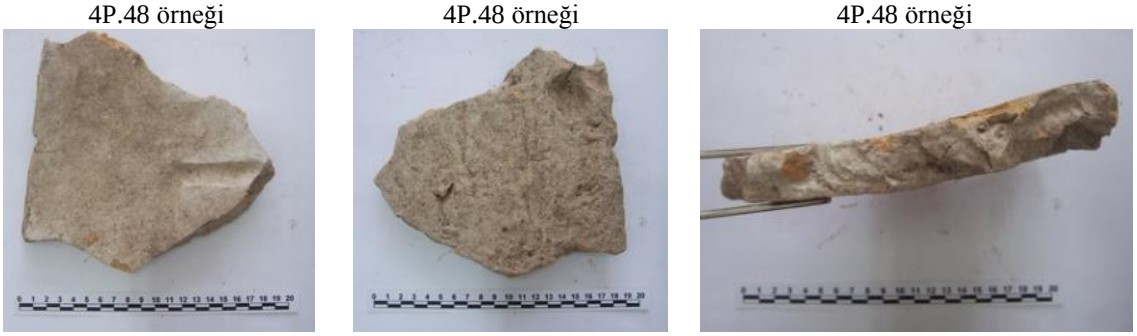
Görsel 5.15. (Devam) *KR-2/d:20-30 grubu kiremit örnekleri*



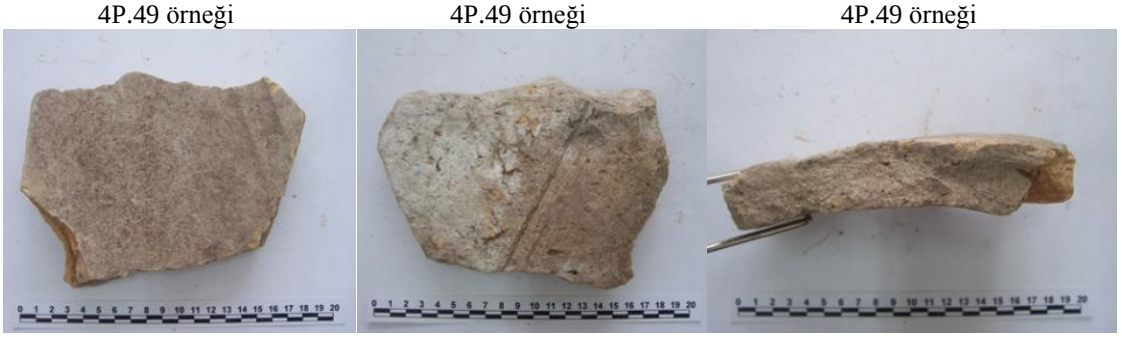
4P.12 örneği 4P.12 örneği 4P.12 örneği



4P.48 örneği 4P.48 örneği 4P.48 örneği



4P.49 örneği 4P.49 örneği 4P.49 örneği



4P.56 örneği 4P.56 örneği 4P.56 örneği

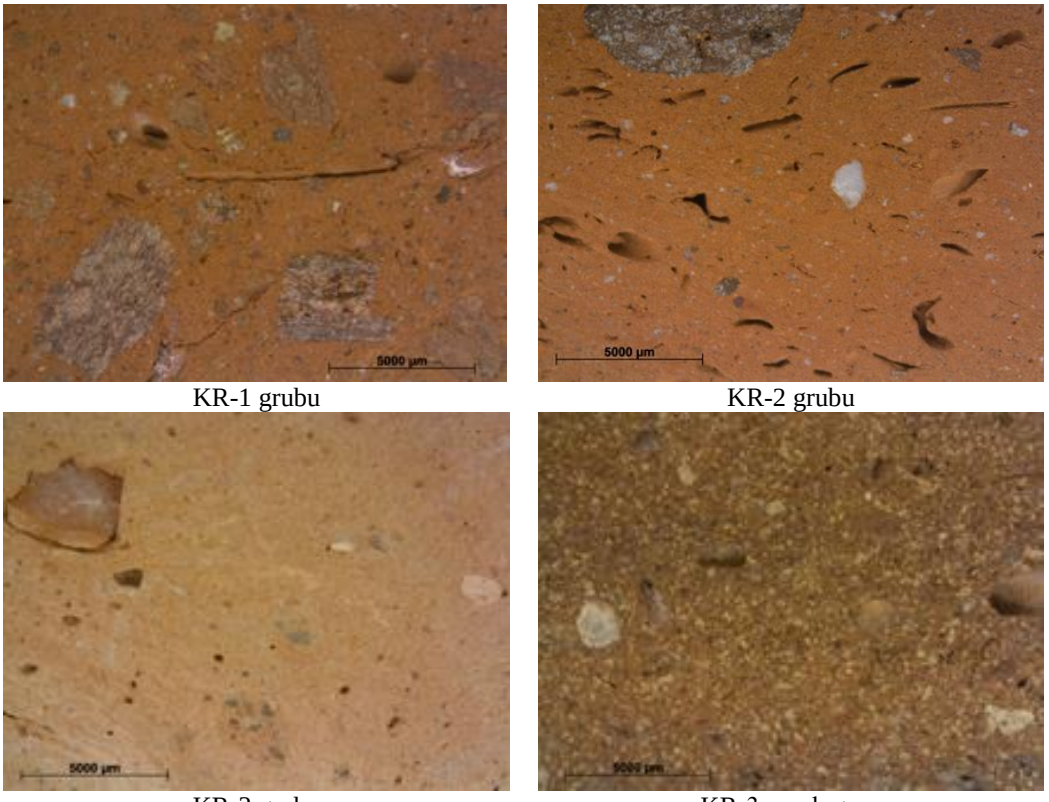
Görsel 5.16. *KR-3/d:20-30 grubu kiremit örnekleri*



4P.60 örneği 4P.60 örneği 4P.60 örneği

Görsel 5.17. *KR-3/d:20-30 yanık kiremit örneği*

Kalede kiremit gruplarının stereo mikroskop görüntüleri Görsel 5.18'de verilmiştir. Buna göre, KR-1 grubunda bol miktarda çok kaba ve kaba boyutlu doğal taş safsızlık, KR-2 grubunda ise az miktarda çok kaba ve çok miktarda orta boyutlu doğal taş safsızlık ve KR-3 grubunda ise kil topakları ile az miktarda kırık pişmiş kil parçaları ve ince boyutlu safsızlık bulunmaktadır. Ayrıca, KR-2 grubunun oldukça gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.



KR-1 grubu KR-2 grubu

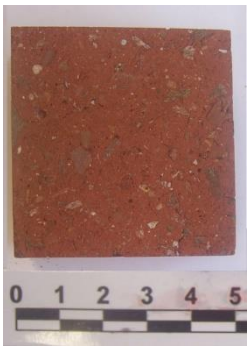
KR-3 grubu KR-3 yanık grup

Görsel 5.18. *Kiremit gruplarının stereo mikroskop görüntüsü*

Kaledeki kiremit grupları ile ayrıntılı bilgilere aşağıda yer verilmiştir. Bu gruplardan KR-1 grubunun YT-1 ve ZT-3 gruplarının dokusuna benzerliği dikkat çekmiştir.

Grup Adı : KR-1
İçerdiği örnek(ler) : 4P.44, 4P.45, 4P.46
Ait olduğu bölge(ler) : IV.
Renk ve doku : 2,5YT 4/8 Kırmızı

Bu grupta toplam 3 örnek bulunmaktadır. Bu grupta yüksek oranda orta ve kaba boyutlu doğal taş safsızlık kullanılmıştır.



4P.45 örneği

Grup Adı : KR-2
İçerdiği örnek(ler) : 3P.37, 3P.40, 3P.44, 3P.41, 3P.35, 3P.36, 3P.34, 3P.45, 4P.30, 4P.31, 4P.47, 4P.47, 4P.32
Ait olduğu bölge(ler) : II. ve IV.
Renk ve doku : 2,5 YR 6/8 Açık kırmızı

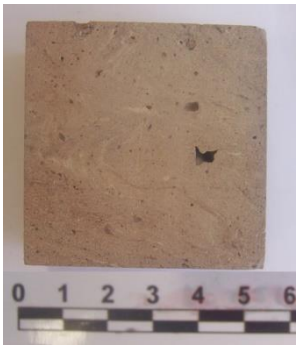
Bu grupta toplam 13 örnek bulunmaktadır. Bu grupta az miktarda orta ve kaba boyutlu safsızlık kullanılmıştır. Örneklerin matrisinde bol miktarda çizgisel izler ve orta çaplı dairesel gözenekler bulunmaktadır.



3P.35 örneği

Grup Adı : KR-3
İçerdiği örnek(ler) : 4P.12, 4P.48, 4P.49, 4P.50, 4P.51, 4P.52, 4P.53, 4P.54, 4P.55, 4P.56, 4P.57, 4P.58, 4P.59
Ait olduğu bölge(ler) : IV.
Renk ve doku : 10YR 7/4 Çok açık kahve

Bu grupta toplam 13 örnek bulunmaktadır. Örneklerin matrisi akma dokusuna sahiptir ve bünyesinde çok ince boyutlu safsızlık yer almaktadır. Yapılarında yer yer iri boşluklar bulunmaktadır.



4P.55 örneği

Grup Adı : KR-3 yanık

İçerdiği örnek(ler) : 4P.60

Ait olduğu bölge(ler) : IV.

Renk ve doku : 2,5YR 3/6 Koyu kırmızı

Bu grupta toplam 1 örnek bulunmaktadır. Matrisinde çok ince boyutlu safsızlık kullanılmıştır.



4P.60 örneği

5.1.3.2. *Fiziksel özellikler*

Kaledeki kiremit gruplarının fiziksel özellikleri Çizelge 5.25 ve 5.26'da verilmiştir. Buna göre, kiremitlerin görünür yoğunluğu 1,35-1,89 g/cm^3 arasında ve ortalama 1,60 g/cm^3, gerçek yoğunluğu 2,72-2,92 g/cm^3 arasında ve ortalama 2,83 g/cm^3'tür. KR-3 yanık grubunun görünür ve gerçek yoğunluğu, KR-3 grubuna göre az da olsa artmıştır.

Kaledeki kiremitlerin su emme yüzdesi %16,2-32,9 arasında ve ortalama %24,7, açık gözeneklilik değeri %30,7-44,3 arasında ve ortalama %38,0'dir. KR-3 yanık grubunun KR-3 grubuna göre, su emme yüzdesinin %11,1 ve açık gözenekliliğinin %9,1 azaldığı görülmüştür. Kiremitlerin toplam gözenekliliği %35,1-50,2 arasında ve ortalama %43,6, doluluk değeri %49,8-64,9 arasında ve ortalama %56,4'tür. KR-3 yanık grubunun toplam gözenekliliğinin, KR-3 grubuna göre %5,6 azaldığı ve doluluk yüzdesinin aynı değerde arttığı görülmüştür (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-4a ve EK-5a).

Çizelge 5.25. *Kiremit gruplarının fiziksel özellikleri*

Grup Adı	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
KR-1	16,2	30,7	1,89	2,92	35,1	64,9
KR-2	25,1	39,1	1,56	2,87	45,4	54,6
KR-3	32,9	44,3	1,35	2,72	50,2	49,8
Ort.	24,7	38,0	1,60	2,83	43,6	56,4
SD (±)	6,8	5,6	0,22	0,09	6,3	6,3

Çizelge 5.26. *KR-3 yanık grubunun fiziksel özellikleri*

Grup Adı	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
KR-3 yanık	21,8	35,2	1,62	2,92	44,6	55,4

Yığma yapı tuğlalarında olduğu gibi, en yüksek oranda iri doğal taş safsızlık içeren kiremit grubun, en yüksek görünür yoğunluk ve doluluk yüzdesi ile en düşük açık gözeneklilik, toplam gözeneklilik ve kütlece su emme yüzdesine sahip olduğu görülmüştür. Doğal taş safsızlık oranının en az olduğu KR-3 grubunun ise, en düşük görünür ve gerçek yoğunluk değeri ile en yüksek kütlece su emme yüzdesi, açık gözeneklilik ve toplam gözeneklilik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

5.1.3.3. *Mekanik özellikler*

Kaledeki kiremitlerin mekanik özellikleri Çizelge 5.27'de verilmiştir. Buna göre, kiremitlerin nokta yükleme indeksi 1,0-1,4 arasında ve ortalama 1,1, eşdeğer tek eksenli basınç dayanımı 1,6-16,8 MPa arasında ve ortalama 14,2 MPa, Elastisite modülü 5,8-7,0 GPa arasında ve ortalama 6,5 GPa, Schmidt sertlik değeri de 28-36 arasında ve ortalama 32'dir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-4b, EK-5b, EK-5c ve Ek-5d).

Çizelge 5.27. *Kiremit gruplarının mekanik özellikleri*

Grup Adı	$I_{s(50)}$	UCS (MPa)	Emod (GPa)	Schmidt sertliği
KR-1	1,0	12,6	7,0	36
KR-2	1,4	16,8	6,7	31
KR-3	1,0	13,2	5,8	28
Ort.	**1,1**	**14,2**	**6,5**	**32**
SD (±)	**0,2**	**1,9**	**0,5**	**3**

KR-3 yanık gruba ait Çizelge 5.28'de verilen değerlere bakıldığında, nokta yükleme deney indeksi, tek eksenli basınç dayanım değeri ve Elastisite modülünün arttığı, sertliğin ise azaldığı görülmüştür.

Çizelge 5.28. *KR-3 yanık grubunun mekanik özellikleri*

Grup Adı	$I_{s(50)}$	UCS (MPa)	Emod (GPa)	Schmidt sertliği
KR-3 yanık	2,5	28,9	11,0	19

5.1.3.4. *Kimyasal özellikler*

5.1.3.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Kaledeki kiremit gruplarının kızdırma kaybı analizi sonuçları Çizelge 5.29 ve 5.30'da verilmiştir. Buna göre tarihi kiremitlerin nem yüzdesinin oldukça düşük oranda olduğu, sadece KR-3 grubunun en yüksek nem yüzdesine sahip olduğu görülmüştür. Kiremitlerin 550ºC'deki kızdırma kaybı değeri %0,6-2,0 arasında ve ortalama %1,2'dir. 1050ºC'deki kızdırma kaybı değeri %0,8-3,4 arasında ve ortalama %1,7'dir. Kiremitlerin toplam kızdırma kaybı değeri %1,4-5,4 arasında ve ortalama %2,9'dur.

Kızdırma kaybı analizi sonunda, kiremitlerin içerdiği $CaCO_3$ yüzdesi değerinin %1,8-7,6 arasında ve ortalama %3,9 olduğu belirlenmiştir. Kiremit gruplarından en yüksek kalsiyum karbonat içeriğine sahip grubun, KR-3 grubu olduğu; KR-3 yanık grubundaki kalsiyum $CaCO_3$ yüzdesinin, KR-3 grubuna göre azaldığı görülmüştür.

Kiremitlerin iletkenlik farkı değerlerine göre, kiremit gruplarından sadece KR-3 grubu, puzolanik aktivite özelliğine sahiptir; ancak güçlü değildir. KR-3 yanık grubu, puzolanik özellik açısından KR-3 grubu ile karşılaştırıldığında, puzolanik aktivite özelliğinin kaybolduğu görülmüştür. Bu durum, pişme ısısındaki artışın, pişmiş kil ürünlerin puzolanik aktivite özelliğini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-4c ve EK-5e).

Çizelge 5.29. *Kiremit gruplarının kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite değerleri*

Grup Adı	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
KR-1	0,1	0,6	0,8	1,4	1,8	0,15
KR-2	0,2	1,0	1,0	2,0	2,3	0,30
KR-3	0,6	2,0	3,4	5,4	7,6	0,58
Ort.	**0,3**	**1,2**	**1,7**	**2,9**	**3,9**	**0,35**
SD (±)	**0,2**	**0,6**	**1,2**	**1,8**	**2,6**	**0,18**

Çizelge 5.30. *KR-3 yanık grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite değerleri*

Grup Adı	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
KR-3 yanık	0,1	1,0	0,5	1,5	1,2	0,16

5.1.3.4.2. *Kimyasal kompozisyon sonuçları*

Kaledeki kiremit gruplarının kimyasal kompozisyonları Çizelge 5.31 ve Çizelge 5.32'de verilmiştir. Buna göre kiremitlerin majör oksit türleri Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, CaO,

MgO, Na_2O, K_2O ve TiO_2, minör oksit türleri ise Cr_2O_3, BaO, MnO ve P_2O_5'tir. Bu gruptaki elementel bileşiminde Al_2O_3 oranı ortalama %15,2-19,6, SiO_2 oranı %45,5-51,2, Fe_2O_3 oranı %6,7-13,3, CaO oranı %6,2-10,7, MgO oranı %4,9-8,3, Na_2O oranı %0,8-2,6, K_2O oranı %0,8-3,5 ve TiO_2 oranı %0,8-2,4 arasında değerlere sahiptir. XRF analizine göre, KR-3 grubu diğer gruplardan daha fazla oranda Al_2O_3 ve K_2O ile daha az oranda Fe_2O_3, MgO, Na_2O ve TiO_2 içermektedir. Diğer taraftan KR-3 grubuna göre, KR-3 yanık grubundaki Al_2O_3, SiO_2 ve K_2O yüzdesinin azaldığı, diğer taraftan Fe_2O_3, CaO, MgO ve Na_2O yüzdesinin ise arttığı görülmüştür (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-4d).

Çizelge 5.31. *Kaledeki kiremit gruplarının kimyasal kompozisyonları (% ağırlıkça)*

Örnek Kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
KR-1	15,2	51,2	13,3	6,9	5,6	2,6	0,8	2,4	0,3	0,2	-	0,2	98,6	1,4
KR-2	16,3	48,9	12,8	6,2	7,7	1,6	1,8	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	98,0	2,0
KR-3	19,0	49,1	6,8	9,1	5,2	0,8	3,3	0,8	0,3	0,1	0,1585	94,6	5,4	5,0
Ort.	16,8	49,7	11,0	7,4	6,2	1,7	2,0	1,7	0,3	0,2	0,2	31,7	67,3	2,8
SD (±)	1,6	1,1	3,0	1,2	1,1	0,7	1,0	0,6	0,0	0,0	0,0	44,5	43,8	1,5

Çizelge 5.32. *KR-3 yanık grubun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek Kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
KR-3 yanık	15,8	45,5	11,2	10,7	8,3	2,1	2,5	1,8	0,2	0,4	98,5	1,5

5.1.3.5. *Mineralojik özellikler*

Kaledeki kiremitlerin mineralojik faz kırınımları EK-4e'de ve özet olarak Çizelge 5.33'te verilmiştir. Buna göre, KR-1 grubu örneklerinde pişme derecesine bağlı olarak çeşitli faz dönüşümlerinin yaşandığı belirlenmiştir. Örneğin, 4P.44 örneğinde illit/mika, amfibol, feldispat, kuvars, hematit, olivin, piroksen bulunurken, 4P.45 ve 4P.46 örneklerinde illit-mika ve amfibol mineralleri bulunmamaktadır. Bunun yerine bu örneklerde gehlenit minerali ve magnetit/maghemit fazının oluştuğu görülmektedir. 4P.44 örneğinde illit/mika pik şiddetinin güçlü olması, bu örneğin 700ºC civarında, 4P.45 ve 4P.46 örneklerinde ise illit/mika fazının kaybolması ve magnetit/maghemit, piroksen sınıfından diyopsit fazı ve melilit sınıfından akermanit fazının oluşması sonucu bu grubun 900ºC civarında piştiği tahmin edilmiştir. Bu örneklerde pişmenin etkisi ile plajiyoklas minerali olan anortitin oluştuğu ve pik şiddetinin arttığı görülmektedir. Her iki durum, KR-1 grubunun homojen olmayan bir ısı ortamında pişirildiğini göstermiştir.

KR-2 grubunun içerdiği mineraller illit/mika, amfibol, kuvars, feldsipat, kalsit, piroksen, ilmenit, melilit (akermanit, gehlenit), hematit, magnetit/maghemit ve hersinittir. Gruptaki bazı örneklerin illit/mika içermesi nedeni ile grubun pişme derecesinin 700-950ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir.

KR-3 grubundan bulunan 4P.48, 4P.49, 4P.50, 4P.51, 4P.52, 4P.53 ve 4P.54 kodlu örnekler illit/ mika, kuvars, feldispat, kalsit, magnetit/maghemit ve piroksen mineralleri içermektedir. 4P.55, 4P.56, 4P.57, 4P.58 ve 4P.59 kodlu örneklerde ise illit/mika fazı yoktur, bunun yerine melilit (gehlenit) ve hematit fazlarının oluştuğu görülmüştür. Bu grupta bulunan diğer mineraller kuvars, plajiyoklas, olivin, magnetit/maghemit, piroksen ve hersinittir. Bu grupta illit mineralinin kaybolması ve hersinit fazının varlığı nedeni ile grubun pişme ısısının 700-950ºC arasında olduğu tahmin edilmiştir. Bu grup mineralojik olarak diğer gruplardan farkı, daha düşük oranda feldispat ve daha yüksek oranda kalsit içermesidir. KR-3 yanık grubunun içerdiği mineraller kuvars, feldispat, piroksen (diyopsit), melilit (akermanit), ilmenit, hematit, maghemit ve hersinittir. Özellikle bu grupta piroksen ve maghemit mineralinin oldukça şiddetli bir pike sahip olduğu görülmektedir. Bu durum 4P.60 örneğinin 950ºC'nin üzerinde pişirildiğini göstermektedir.

Çizelge 5.33. *Kaledeki kiremitlerin mineralojik kompozisyonu*

Grup Adı	smc	ill/mca	tlc	am	qtz	fs	px	cal	ol	ilm	hem	mag	her	mel	Tahmini pişme derecesi (ºC)
KR-1	-	++	-	+++	++++	+++	+++	-	+	-	+	+	-	+	900,0
KR-2	-	+++	-	+++	++++	++++	++	+	-	+	++	++	+	+	700-950
KR-3	-	+++	-	-	++++	++	++	+++	-	-	+	+++	-	+	700-950
KR-3 yanık	-	-	-	-	++	++++	++++	-	-	+	++	++++	+	++	950-1000

Mineral ismi kısaltmaları için Bkz. EK-1. + : Minerallerin göreceli bolluğu, -: mineral yoktur.

5.1.4. Pişmiş kil ürünler ile ilgili değerlendirme

Bu bölümde, Karacahisar kalesine ait tarihi pişmiş kil ürünlerin karakteristik özellikleri önce kendi arasında, sonra da farklı yapı ve dönemlere ait tarihi tuğlaların özellikleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

5.1.4.1. *Fiziksel özellikler ile ilgili değerlendirme*

Kaledeki pişmiş kil ürün gruplarının fiziksel özellikleri Çizelge 5.34'te verilmiştir. Buna göre, görünür yoğunluk değeri aralığı açısından yığma yapı tuğlası ve kiremit

grupları; gerçek yoğunluk değeri aralığı açısından da yığma yapı ve zemin tuğlası grupları benzer özelliklere sahiptir. Pişmiş kil ürün gruplarının fiziksel özelliklerinin ortalama değerleri göz önüne alındığında, zemin tuğlası gruplarının ortalama görünür yoğunluk, gerçek yoğunluk ve doluluk yüzdesi değerinin diğer gruplardan daha yüksek olduğu; diğer taraftan, kütlece su emme yüzdesi ve toplam gözeneklilik yüzdesinin daha düşük olduğu görülür. Ortalama gözeneklilik değerleri bakımıdan ise, kiremit grubu en yüksek gözeneklilik ortalamasına sahiptir.

Çizelge 5.34. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin fiziksel özelliklerinin sınır değerleri*

Pişmiş kil ürün grubu	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**p (%)**	**c (%)**
Yığma yapı tuğlası	1,39-1,86	2,61-2,94	14,8-29,2	27,2-40,6	33,1-48,7	51,3-66,9
Ort.±SD	1,64±0,1	2,83±0,1	21,4±3,6	34,7±3,6	42,0±3,5	58,0±3,5
Zemin tuğlası	1,50–1,78	2,65-2,91	17,7-25,7	31,3-38,2	29,2-44,5	55,5-70,8
Ort.±SD	1,69±0,1	2,85±0,1	20,6±2,5	34,5±2,5	40,8±2,1	59,2±2,1
Kiremit	1,35-1,89	2,72-2,92	16,2-32,9	30,7-44,3	35,1-50,2	49,8-64,9
Ort.±SD	1,60±0,2	2,83±0,1	24,7±6,8	38,0±5,6	43,6±6,3	56,4±6,3

Yazından, tarihi tuğlaların yüksek gözeneklilik ve su emme yüzdesine sahip olduğu bilinmektedir (Lourenço vd. 2009, s. 39). Önceki çalışmalardan tarihi tuğlaların görünür yoğunluğunun 1,3-2,0 g/cm^3 ve gerçek yoğunluğunun 2,2-2,9 g/cm^3 arasında (Warren, 1998, s. 147; Kahya, 1992; Tunçoku, 2001; Kurugöl ve Tekin, 2010), kütlece su emme yüzdesinin %15-35 ve gözenekliliğin de %20-55 (Kahya, 1992; Fernandes vd. 2010; Kurugöl ve Tekin, 2010, Özkaya, 2005) arasında olduğu bilinmektedir. Buna göre, Karacahisar kalesindeki tuğlaların yoğunluk değerinin yazında verilen değerlerler ile uyumlu olduğu görülmüş ve görünür yoğunluk sınıflandırılmasına bağlı olarak (Bkz. Çizelge 5.35), yığma yapı tuğlalarının hafif ve yapısal hafif/geçiş malzemesi, zemin tuğlalarının hafif yapı malzemesi, kiremitlerin de hafif ve yapısal hafif/geçiş malzemesi grubuna ait olduğu görülmüştür (Cormon, 1973).

Çizelge 5.35. *Yapı malzemelerinin görünür yoğunluğuna göre sınıflandırılması (Cormon, 1973)*

Görünür yoğunluk (g/cm^3)	Tanım
0-0,50	Çok hafif
0,50-1,80	Hafif
1,80-2,20	Yapısal hafif/ geçiş
2,20-2,50	Normal ağırlıkta
2,50-3,00	Yarı ağır
3,00 ve üzeri	Ağır

Kaledeki pişmiş kil ürünlerin görünür yoğunluk değerine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.36'da verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlaları ve zemin tuğlalarının büyük bir bölümünün görünür yoğunluğu da 1,70-1,79 g/cm^3 arasındadır. Kiremit grupları ise, birbirinden farklı yoğunluk gruplarında yer almaktadır.

Çizelge 5.36. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin görünür yoğunluğa göre sayıca dağılımı*

Görünür Yoğunluk (g/cm^3)	Yığma yapı tuğlası grup sayısı	Zemin tuğlası grup sayısı	Kiremit grup sayısı
1,30-1,39	1	-	1
1,40-1,49	2	-	-
1,50-1,59	**8**	2	1
1,60-1,69	**9**	2	1
1,70-1,79	**10**	**8**	**-**
1,80-1,89	2	1	1

Kaledeki pişmiş kil ürünlerin gerçek yoğunluk değerine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.37'de verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlası ve zemin tuğlası gruplarının büyük bir bölümünün gerçek yoğunluk değeri 2,80-2,89 g/cm^3 arasındadır. Çizelgeden kiremit gruplarının gerçek yoğunluk değerlerinin farklı aralıklarda olduğu görülmüştür.

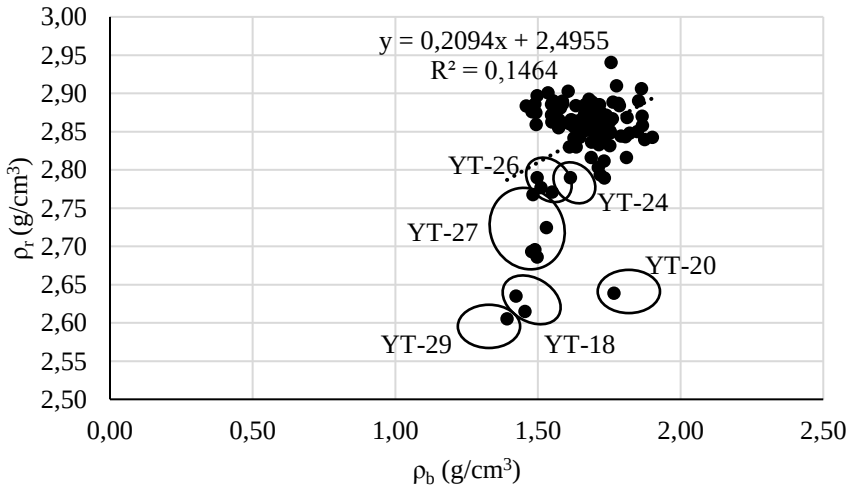
Çizelge 5.37. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin gerçek yoğunluğa göre sayıca dağılımı*

Gerçek Yoğunluk (g/cm^3)	Yığma yapı tuğlası grup sayısı	Zemin tuğlası grup sayısı	Kiremit grup sayısı
2,60-2,69	3	1	-
2,70-2,79	3	-	1
2,80-2,89	**25**	**10**	1
2,90-2,95	1	2	1

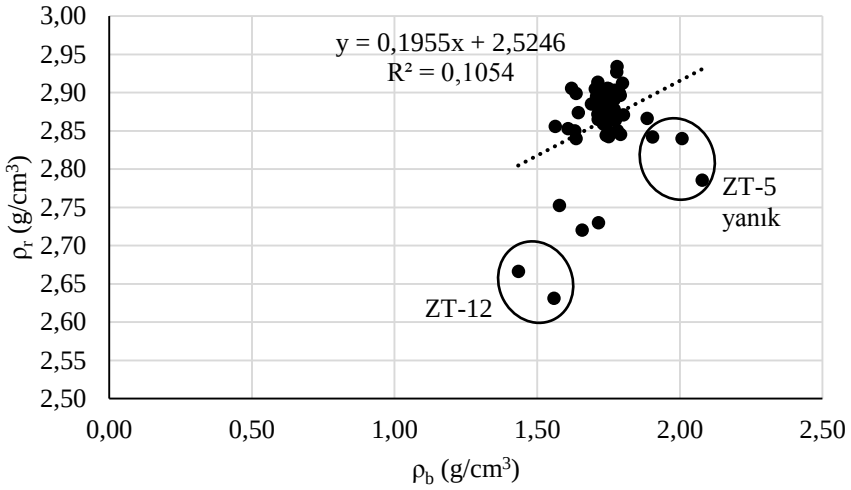
Kaledeki yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremit örneklerinin görünür ve gerçek yoğunluk değerleri arasındaki ilişki Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir. Değişkenlerin arasındaki ilişkiler, Pearson korelasyon katsayısı (R^2) ile ilgili Çizelge 5.38'de verilen değerlere göre yorumlanmıştır. Buna göre, yığma yapı tuğlası ve zemin tuğlası örneklerinde gerçek ve görünür yoğunluk değerleri arasındaki ilişkinin çok zayıf olduğu ve kiremit örneklerinde gerçek ve görünür yoğunluk değerleri arasında orta dereceli pozitif bir ilişkinin bulunduğu görülmüştür.

Çizelge 5.38. *Pearson (R^2) katsayısının değerlendirmesi (Hinkle vd., 2003)*

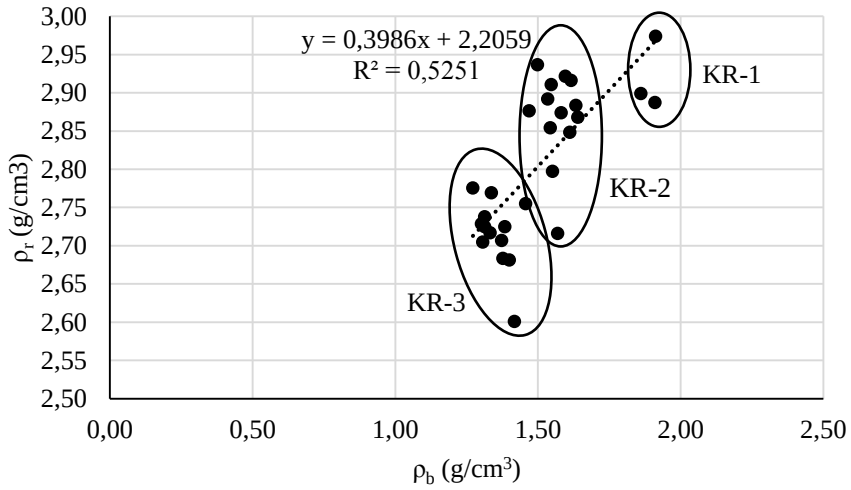
R^2 katsayısı	**Değerlendirme**	
0,90-1,00	Çok yüksek ilişki	Eğilim çizgisinin denklemindeki x'in önündeki (+) işareti pozitif ilişkiyi, (-) işareti negatif ilişkiyi ifade eder.
0,70-0,89	Yüksek ilişki	
0,50-0,69	Orta ilişki	
0,30-0,49	Zayıf ilişki	
0-0,29	Çok zayıf ilişki	



Şekil 5.5. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk ilişkisi*



Şekil 5.6. *Kaledeki zemin tuğlaların görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk ilişkisi*

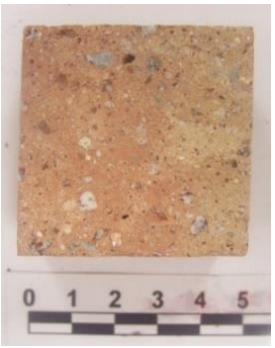


Şekil 5.7. *Kaledeki kiremitlerin görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk ilişkisi*

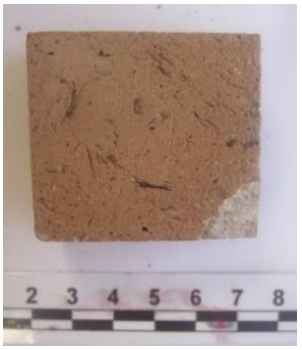
Şekillere göre gerçek yoğunluğu 2,65-2,80 g/cm^3 ve görünür yoğunluğu 1,48-1,56 g/cm^3 arasındaki pişmiş kil ürün grupları Görsel 5.19'da verilmiştir ve bu tuğlaların ortak özelliğinin, sarımsı renge sahip olduğu görülmektedir. YT-20 grubu, diğerlerinden daha yüksek oranda doğal taş safsızlık içerdiği için, görünür yoğunluğu diğer gruplardan daha yüksektir. Buna göre, rengi daha açık olan pişmiş kil ürünlerin, rengi koyu olan örneklerden daha düşük görünür ve gerçek yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir.



4P.2 örneği (YT-18 grubu)



3P.29 örneği (YT-20 grubu)



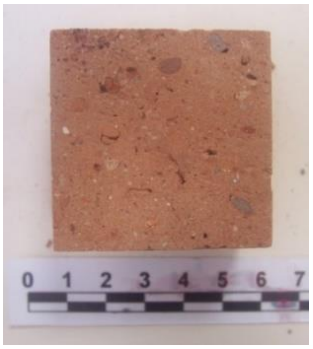
4P.28 örneği (YT-29 grubu)



1P.18 örneği (YT-24 grubu)



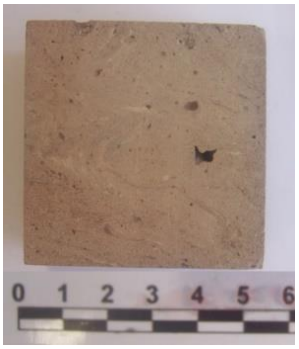
3P.28 örneği (YT-26 grubu)



1P.12 örneği (YT-27 grubu)



3P.46 örneği (ZT-12 grubu)



4P.55 örneği (KR-3 grubu)

Görsel 5.19. *Kaledeki gerçek yoğunluğu en düşük olan pişmiş kil ürün grupları*

Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kütlece su emme yüzdesi değerine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.39'da verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlası ve zemin tuğlası gruplarının büyük bir bölümünün su emme yüzdesi %15-20 arasındadır. Kiremit grupları ise farklı su emme yüzdesi değeri aralıklarına sahiptir.

Çizelge 5.39. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kütlece su emme yüzdesine göre sayıca dağılımı*

Kütlece su emme yüzdesi (%)	Yığma yapı tuğlası grup sayısı	Zemin tuğlası grup sayısı	Kiremit grup sayısı
0-14,9	1	1	-
15,0-19,9	**13**	**7**	**1**
20,0-24,9	10	4	-
25,0-29,9	8	1	1
30,0-34,9	-	-	1

Kaledeki pişmiş kil ürünlerin açık gözeneklilik değerine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.40'ta verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlası ve kiremit gruplarının çoğunun benzer açık gözeneklilik yüzdesine sahip olduğu, zemin tuğlası gruplarının çoğunun ise tuğla ve kiremit gruplarına göre daha düşük açık gözeneklilik yüzdesi aralığına sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.40. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin açık gözenekliliğe göre sayıca dağılımı*

Açık gözeneklilik (%)	Yığma yapı tuğlası grup sayısı	Zemin tuğlası grup sayısı	Kiremit grup sayısı
15,0-24,9	-	1	-
25,0-29,9	2	-	-
30,0-34,9	14	**8**	1
35,0-39,9	**16**	4	**2**
40,0-44,9	-	-	1

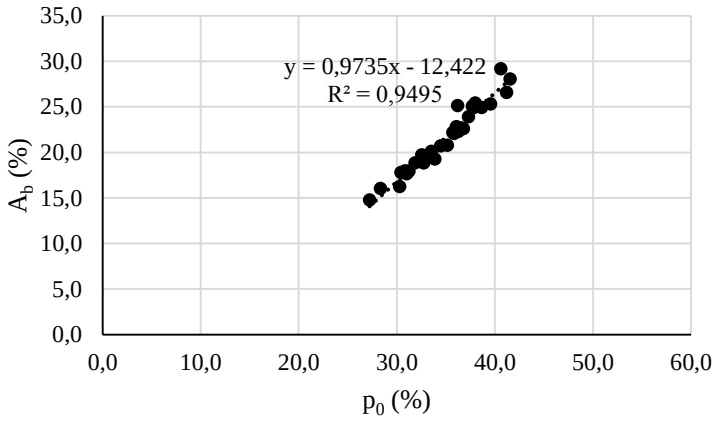
Kaledeki pişmiş kil ürünlerin toplam gözeneklilik değerine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.41'te verilmiştir. Buna göre, her üç gruptaki pişmiş kil ürünlerin büyük bir bölümünün toplam gözeneklilik yüzdesinin benzer (%40-50) olduğu ve çok yüksek gözenekliliğe (Tarhan, 1989) sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.41. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin toplam gözeneklilik yüzdesine göre sayıca dağılımı*

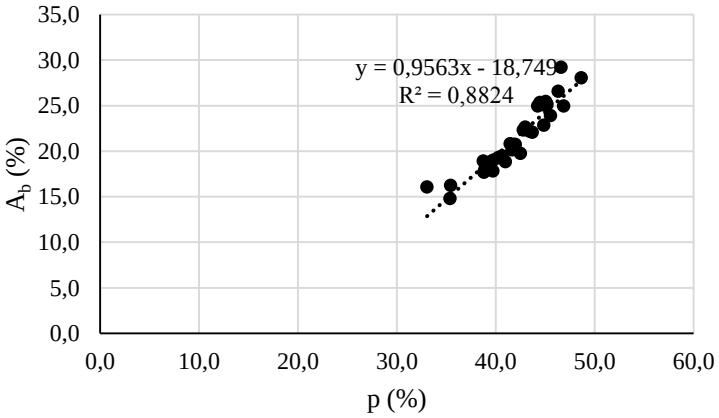
Toplam gözeneklilik (%)	Yığma yapı tuğlası grup sayısı	Zemin tuğlası grup sayısı	Kiremit grup sayısı
0-39,9	10	5	1
40,0-50,0	**22**	**8**	**3**

Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının açık ve toplam gözeneklilik yüzdesi ile kütlece su emme yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Buna göre, tuğlaların atmosfer basıncı altında kütlece su emme davranışı ile gözeneklilik

yüzdeleri ile arasında pozitif yönlü bir ilişkinin bulunduğu ve su emme yüzdesi ile açık gözeneklilik yüzdesi arasında daha güçlü bir ilişkinin bulunduğu görülmüştür.

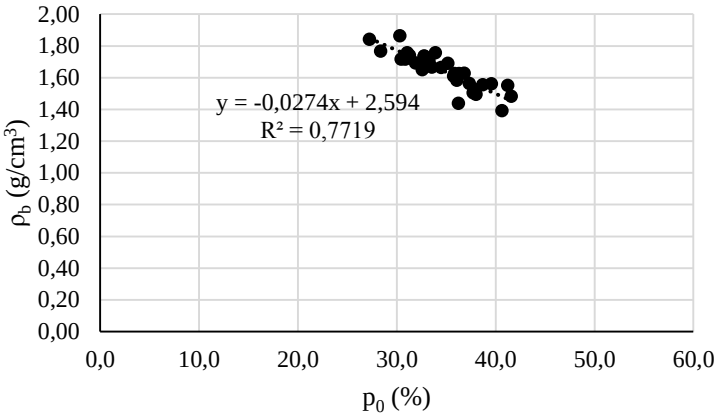


Şekil 5.8. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının açık gözeneklilik yüzdesi ile kütlece su emme yüzdesi ilişki*

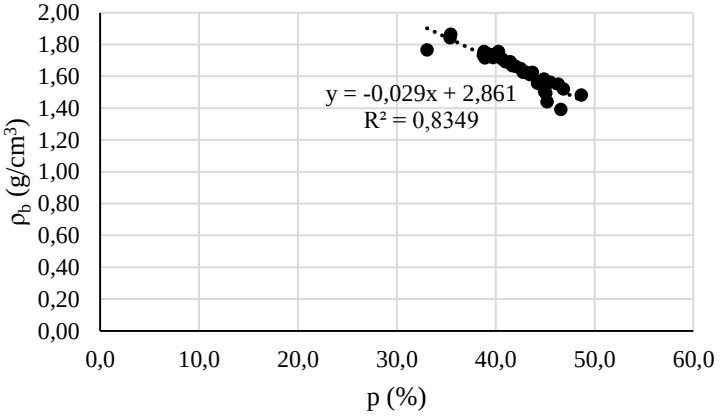


Şekil 5.9. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının toplam gözeneklilik yüzdesi ile kütlece su emme yüzdesi ilişki*

Kaledeki yığma yapı tuğlaların açık ve toplam gözeneklilik yüzdesi ile görünür yoğunluk değeri arasındaki ilişki Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmiştir. Buna göre, gözeneklilik yüzdeleri ile görünür yoğunluk değeri arasında ters yönlü bir ilişki bulunduğu ve görünür yoğunluk değeri ile toplam gözeneklilik yüzdesi arasındaki ilişkinin daha güçlü olduğu belirlenmiştir.



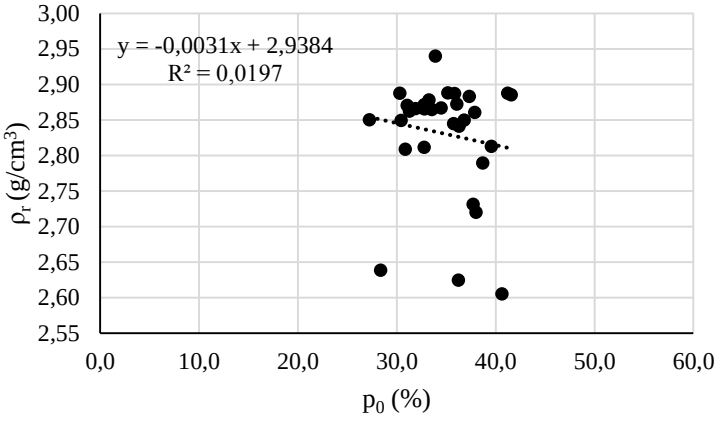
Şekil 5.10. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının açık gözeneklilik yüzdesi ile görünür yoğunluk ilişkisi*



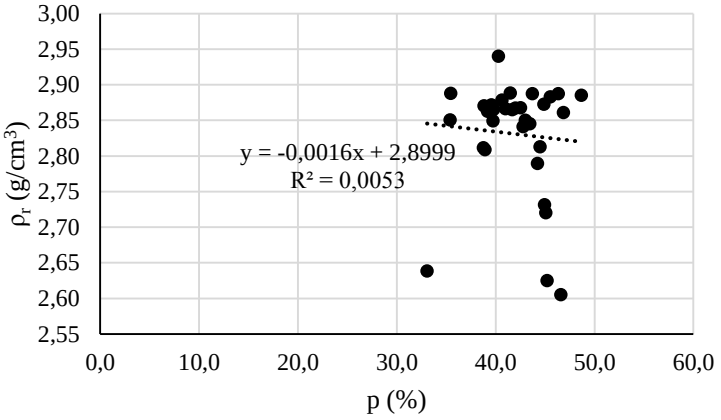
Şekil 5.11. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının toplam gözeneklilik yüzdesi ile görünür yoğunluk ilişkisi*

Kaledeki yığma yapı tuğlaların açık ve toplam gözeneklilik yüzdesi ile gerçek yoğunluk değeri arasındaki ilişki Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te verilmiştir. Buna göre, gözeneklilik yüzdeleri ile gerçek yoğunluk değerleri arasında bir ilişki bulunmadığı görülmüştür.

Fiziksel özelliklerinin benzerliğinin yanı sıra, kaledeki bazı pişmiş kil ürün gruplarının matrislerinin benzerliği dikkat çekmiştir. Örneğin Görsel 5.20'de görüldüğü gibi, YT-1 grubu yığma yapı tuğlaların, ZT-3 grubu zemin tuğlaların ve KR-1 grubu kiremitlerin hamurunda hem yüksek oranda, hem de kaba boyutlu taş kırıkları bulunmakta ve renk olarak koyu renk tonlarına sahiptir. Bu benzerlik durumu nedeni ile bu üç ürün grubunun aynı tuğla hamurundan hazırlanmış olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 5.12. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının açık gözeneklilik yüzdesi ile gerçek yoğunluk ilişkisi*



Şekil 5.13. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarının gözeneklilik yüzdesi ile gerçek yoğunluk ilişkisi*



YT-1 grubu ZT-3 grubu KR-1 grubu

Görsel 5.20. *Benzer matrise sahip olan yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremit grupları*

5.1.4.2. *Mekanik özellikler ile ilgili değerlendirme*

Tarihi tuğlaların düşük basınç dayanımı ve düşük elastisite modülüne sahip olduğu bilinmektedir (Lourenço vd. 2009). Yazına göre, tarihi tuğlaların basınç dayanımı 5-33 MPa, elastisite modülü 1,0-18,6 ve Schmidt çekici sertlik değeri 33-42 arasındadır (Fernandes, 2010; Kahya, 1992; Kurugöl ve Tekin, 2010). Buna göre, Çizelge 5.42'de verilen Karacahisar kalesindeki pişmiş kil ürünlerine ait mekanik özelliklerin yazındaki aralıklar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Kaledeki pişmiş kil ürünler kendi içinde değerlendirildiğinde, mekanik dayanım özellikleri ile ilgili en yüksek üst sınır değerinin zemin tuğlası gruplarında bulunduğu, buna karşın kiremit gruplarının ortalama mekanik dayanım değerlerinin diğer gruplardan daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.42. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerinin mekanik özelliklerinin sınır değerleri*

Pişmiş kil ürün grubu	**UCS (MPa)**	**E_{mod} (GPa)**	**Schmidt sertliği**
Yığma yapı tuğlası	4,0-24,6	1,7-10,0	15-37
Ort.±SD	13,4 ± 4,0	5,1±1,6	27±5
Zemin tuğlası	4,5–**26,8**	3,0-**10,6**	21-**45**
Ort.±SD	11,3±5,6	5,7±1,7	27±6
Kiremit	12,6–16,8	5,8–7,0	28-36
Ort.±SD	**14,2±1,9**	**6,5±0,5**	**32±3**

Kaledeki pişmiş kil ürünlerin tek eksenli basınç dayanım değerlerine göre grup dağılımı Çizelge 5.43'te verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlası ve kiremit gruplarının büyük bir bölümünün tek eksenli basınç dayanımı 10,0-14,9 MPa arasında, zemin tuğlası gruplarının büyük bir bölümünün tek eksenli basınç dayanımı 5,0-9,9 MPa arasındadır. Kaledeki pişmiş kil ürün gruplarının basınç dayanım değerleri, diğer tarihi yapılardaki tuğlaların mekanik özellikleri ile karşılaştırıldığında, daha zayıf olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.43. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin basınç dayanımına göre sayıca dağılımı*

Basınç dayanımı (MPa)	**Yığma yapı tuğlası grup sayısı**	**Zemin tuğlası grup sayısı**	**Kiremit grup sayısı**
0-4,9	-	1	-
5,0-9,9	6	**5**	**-**
10,0-14,9	**14**	4	**2**
15,0-19,9	5	1	1
20,0-24,9	3	-	-
25,0-29,9	-	1	-

Kaledeki pişmiş kil ürün gruplarının elastisite modülüne göre sayıca dağılımı Çizelge 5.44'te verilmiştir. Buna göre tuğla, zemin tuğlası ve kiremit gruplarının büyük bir bölümünün elastisite modülü değeri 5,0-9,9 GPa arasındadır.

Çizelge 5.44. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin elastisite modülüne göre sayıca dağılımı*

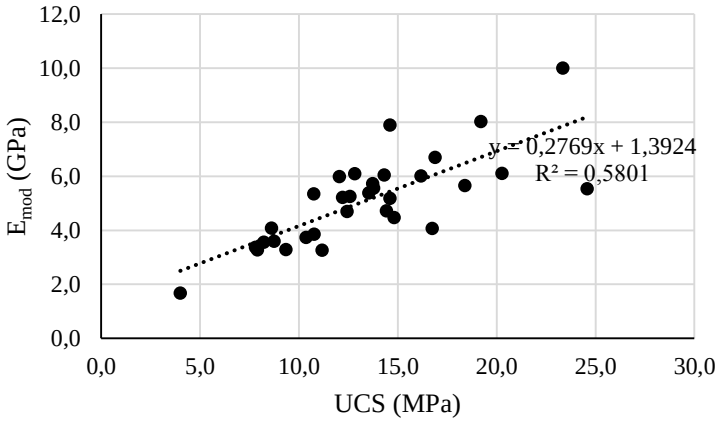
E_{mod} (GPa)	**Yığma yapı tuğlası grup sayısı**	**Zemin tuğlası grup sayısı**	**Kiremit grup sayısı**
0,0- 4,9	14	2	**-**
5,0-9,9	**18**	**9**	**3**
10,0-14,9	**-**	1	-

Pişmiş kil ürünlerin yüzey sertlik değeri dağılımı Çizelge 5.45'te verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlası grupları sert ve yumuşak yüzeye, zemin tuğlası grupları yumuşak ve çok yumuşak yüzeye, kiremit gruplarının büyük bir bölümü sert yüzeye sahip olduğu belirlenmiştir.

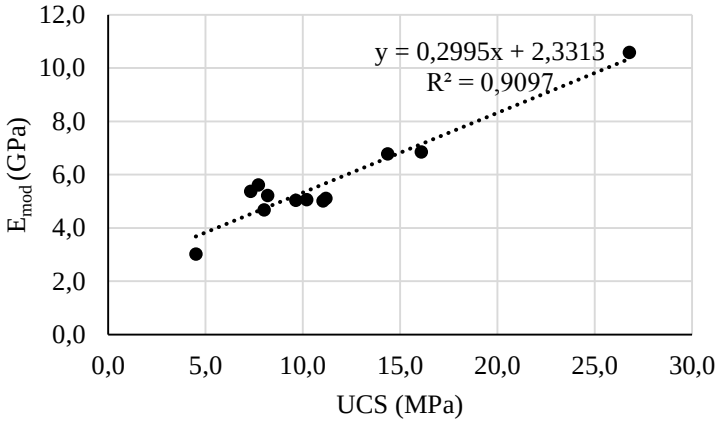
Çizelge 5.45. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin yüzey sertliğine göre sayıca dağılımı*

Schmidt sertliği değeri	**Yığma yapı tuğlası grup sayısı**	**Zemin tuğlası grup sayısı**	**Kiremit grup sayısı**
45-60- çok sert	**-**	1	-
30-44- sert	**11**	2	**2**
25-29- yumuşak	**11**	4	1
20-24- çok yumuşak	7	**5**	-
16-19- oldukça yumuşak	2	**-**	**-**

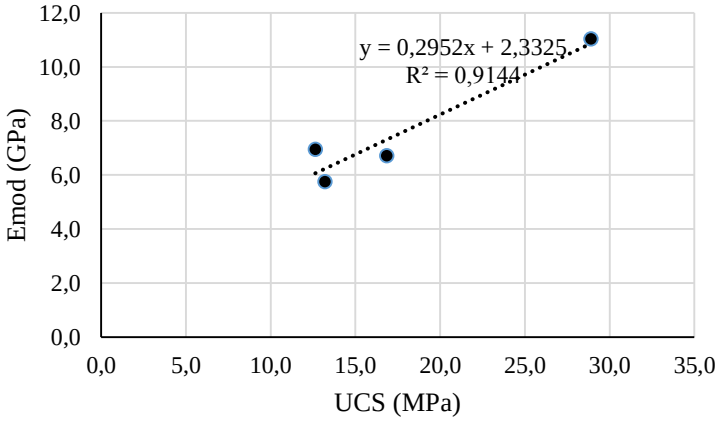
Kaledeki yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremit gruplarının tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişki Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmiştir. Buna göre, tüm pişmiş kil ürünlerde basınç dayanımı ve elastisite modülü arasında yığma yapı tuğlası gruplarında orta dereceli pozitif ilişki (R^2=0,58), zemin tuğlası ve kiremit gruplarında çok yüksek pozitif ilişki (R^2=0,90 ve R^2=0,91) bulunmaktadır.



Şekil 5.14. *Kaledeki yığma yapı tuğlası gruplarının tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü ilişkisi*



Şekil 5.15. *Kaledeki zemin tuğlası gruplarının tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü ilişkisi*



Şekil 5.16. *Kaledeki kiremit gruplarının tek eksenli basınç dayanımı ile elastisite modülü ilişkisi*

5.1.4.3. *Kimyasal özellikler ile ilgili değerlendirme*

Kaledeki pişmiş kil ürünlerin toplam kızdırma kaybı yüzdesine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.46'da verilmiştir. Buna göre, pişmiş kil ürün gruplarının büyük bir bölümünde toplam kızdırma kaybı değeri %5'in altındadır. Bu durum ise, tezin ilk bölümünde değinilen tuğlaların bünyesindeki kalsiyum karbonat yüzdesinin düşük miktarda bulunması gerekliliği konusu ile örtüştüğü görülmüştür.

Çizelge 5.46. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin toplam kızdırma kaybı yüzdesine göre sayıca dağılımı*

Toplam kızdırma kaybı değeri (%)	Yığma yapı tuğlası grup sayısı	Zemin tuğlası grup sayısı	Kiremit grup sayısı
0-4,9	**25**	**11**	**2**
5,0-9,9	5	1	1
10,0-14,9	2	-	-

Kaledeki pişmiş kil ürünlerin puzolanik aktivite özelliğine göre sayıca dağılımı Çizelge 5.47'de verilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlalarından büyük bir bölümü puzolanik özelliğe sahip iken, zemin tuğlası ve kiremit gruplarının büyük bir bölümü puzolanik aktivite özelliğine sahip değildir. Bu durum, kaledeki pişmiş kil ürünlerin horasan harcı üretimi için uygun olmadığını göstermiştir.

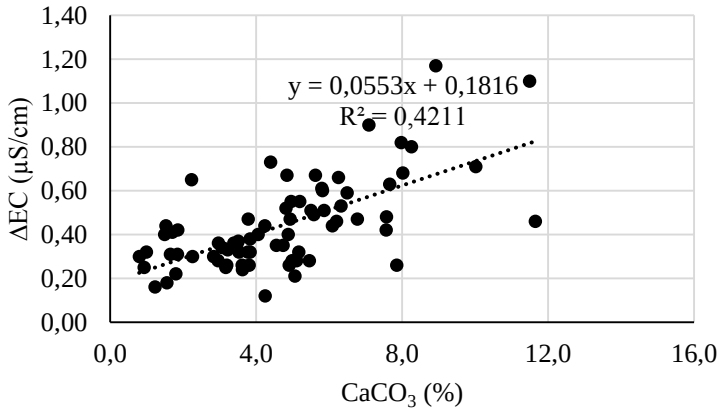
Çizelge 5.47. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin elektriksel iletkenlik farkına göre sayıca dağılımı*

Elektriksel iletkenlik farkı (µS/cm)	Yığma yapı tuğlası grup sayısı	Zemin tuğlası grup sayısı	Kiremit grup sayısı
0-0,40 (Puzolan değil)	14	**7**	**2**
0,40-1,20 (Puzolan)	**18**	5	1
1,20 < (İyi puzolan)	**-**	-	-

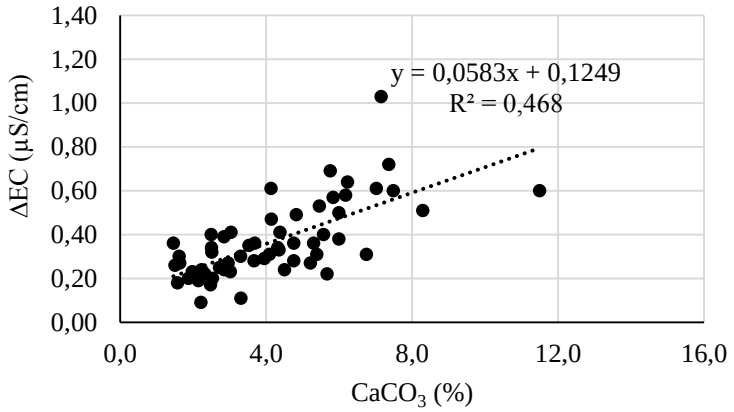
Karacahisar kalesi tuğlaları, Roma dönemine ait Serapis tapınağı tuğlaları gibi, eski dönemlerde yapısal amaçla üretilen pişmiş kil ürünlerin puzolanik aktivite özelliğini taşımadığını göstermiştir. Bunun nedeni olarak, tuğlaların yüksek ısıda pişmesi ile amorf minerallerin yerine yeni minerallerin oluşması olduğu düşünülmektedir (Özkaya, 2005).

Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da pişmiş kil ürünlerdeki $CaCO_3$ ile puzolanik aktivite özelliği arasındaki ilişki gösterilmiştir. Buna göre, yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremit gruplarında kalsiyum karbonat ile puzolanik aktivite arasında pozitif bir ilişki vardır. Bu durum da, düşük ısıda pişen ve bünyesinde dekompoze olmamış

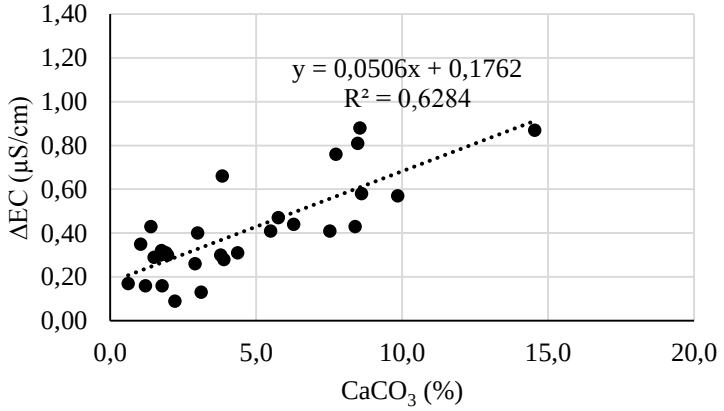
kalsiyum karbonat içeren örneklerin, daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olabileceğinin göstermiştir.



Şekil 5.17. *Yığma yapı tuğlalarında kalsiyum karbonat yüzdesi ile puzolanik aktivite ilişkisi*



Şekil 5.18. *Zemin tuğlalarında kalsiyum karbonat yüzdesi ile puzolanik aktivite ilişkisi*



Şekil 5.19. *Kiremitlerde kalsiyum karbonat yüzdesi ile puzolanik aktivite ilişkisi*

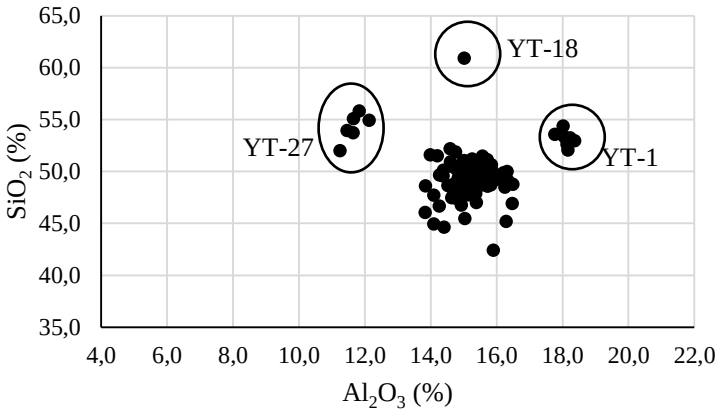
Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kimyasal kompozisyonları Çizelge 5.48'de verilmiştir. Buna göre, kiremit gruplarının en yüksek Al_2O_3 ve K_2O yüzdesi ortalamasına ve yığma yapı tuğlası gruplarının ise en yüksek CaO yüzdesi ortalamasına sahip olduğu görülmüştür. Geriye kalan majör oksitlerin ise SiO_2, Fe_2O_3, MgO, Na_2O ve TiO_2 olduğu görülmüştür. Yazında yer alan önceki çalışmalardan, tarihi tuğlalarda %8-32 Al_2O_3, %38-70 SiO_2, %4-11 Fe_2O_3, %3-5 K_2O, %1-2 Na_2O, %1-9 CaO ve %1-5 MgO bulunduğu aktarılmıştır (Fernandes vd, 2010; Moropoulou vd. 1993; Lourenço, 2009; Kurugöl ve Tekin, 2010). Karacahisar kalesine ait tuğlaların sahip olduğu Fe_2O_3, CaO ve MgO yüzdesi değerlerinin, yazında verilen aralıkların üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.48. *Kaledeki pişmiş kil ürünlerin kimyasal kompozisyonları (% ağırlıkça)*

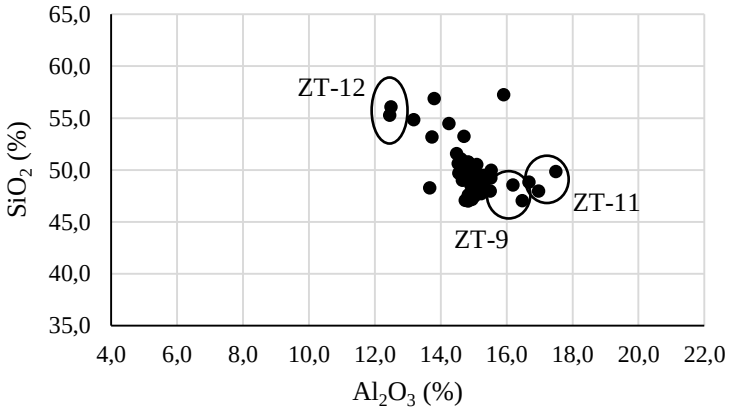
Element oksit (%)	**Yığma yapı tuğlası grubu**	**Ort.**	**Zemin tuğlası grubu**	**Ort.**	**Kiremit grubu**	**Ort.**
Al_2O_3	11,2-17,6	**15,0**	12,5-16,7	**15,0**	15,2-19,6	**16,8**
SiO_2	43,9-57,3	**49,6**	47,3-55,7	**49,7**	48,9-51,2	**49,7**
Fe_2O_3	5,7-13,6	**11,0**	6,7-12,6	**11,3**	6,7-13,3	**11,0**
CaO	6,2-13,4	**8,1**	5,3-8,9	**7,9**	6,2-9,4	**7,4**
MgO	2,4-7,6	**6,5**	5,6-7,7	**6,9**	4,9-7,7	**6,2**
Na_2O	0,9-3,1	**2,1**	1,1-3,1	**2,1**	0,8-2,6	**1,7**
K_2O	1,2-2,8	**1,6**	1,2-2,2	**1,5**	0,8-3,5	**2,0**
TiO_2	0,6-2,2	**1,6**	0,7-2,0	**1,7**	0,8-2,4	**1,7**
BaO	0,2-0,4	**0,3**	0,2-0,5	**0,3**	0,3-0,4	**0,3**
MnO	0,1-0,3	**0,2**	0,2-0,3	**0,2**	0,1-0,2	**0,2**
Cr_2O_3	0,1-0,2	**0,1**	0,1-0,2	**0,1**	0,1	**0,2**
P_2O_5	0,1-0,4	**0,3**	0,2-0,3	**0,3**	0,2-0,3	**0,2**
Σ Oksit	88,9-98,7	**96,2**	93,4-98,3	**96,7**	95,0-98,6	**97,2**
Σ KK	1,3-11,1	**3,8**	1,7-6,6	**3,3**	1,4-5,0	**2,8**

Pişmiş kil ürünlerin elementel oksit yüzdeleri Şekil 5.20-5.31 arasında karşılaştırılmıştır. Buna göre, yığma yapı tuğlaları ve zemin tuğlaları benzer alümina yüzdelerine sahip iken, kiremit gruplarının daha yüksek alümina ve daha düşük silis bulunmaktadır. Daha önce sarı renkli ve düşük yoğunluğa sahip olduğu belirlenen sarı renkli pişmiş kil ürünlerin diğer örneklerden daha düşük oranda Al_2O_3 (%11-12), Fe_2O_3

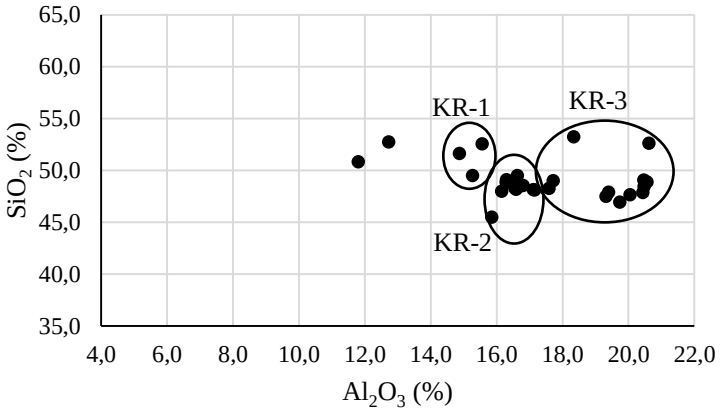
(%6-7), MgO (%4-5), TiO_2 (<1) ve Na_2O yüzdesi ile daha yüksek SiO_2 (%52-57) ve K_2O (%2,5) yüzdesine sahip olduğu görülmüştür.



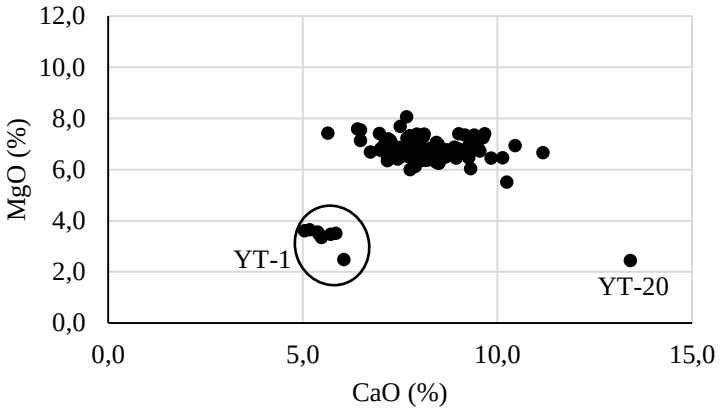
Şekil 5.20. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarında Al_2O_3-SiO_2 ilişkisi*



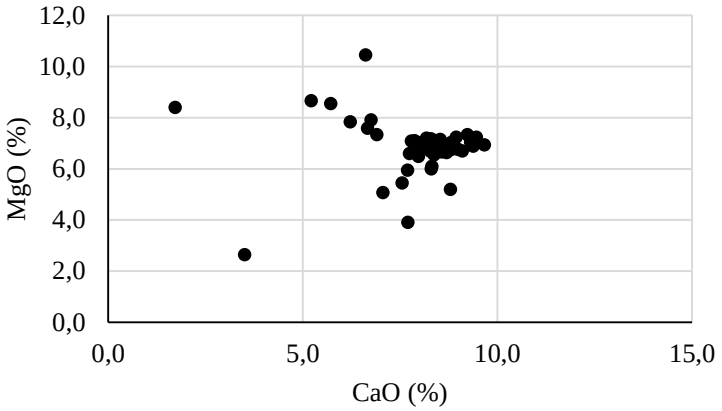
Şekil 5.21. *Kaledeki zemin tuğlalarında Al_2O_3-SiO_2 ilişkisi*



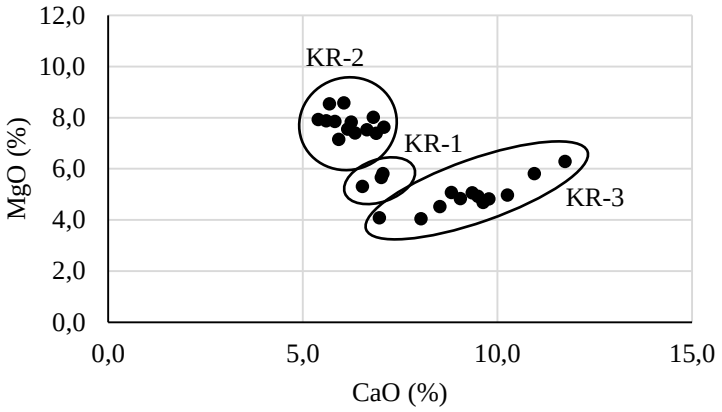
Şekil 5.22. *Kaledeki kiremitlerde Al_2O_3-SiO_2 ilişkisi*



Şekil 5.23. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarında CaO-MgO yüzdesi ilişkisi*



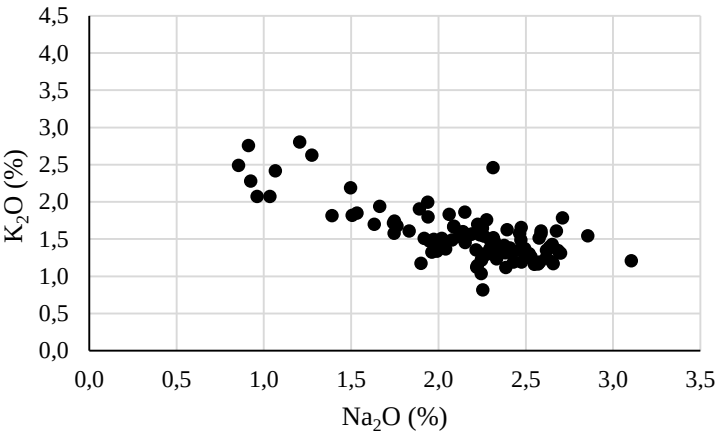
Şekil 5.24. *Kaledeki zemin tuğlalarında CaO-MgO yüzdesi ilişkisi*



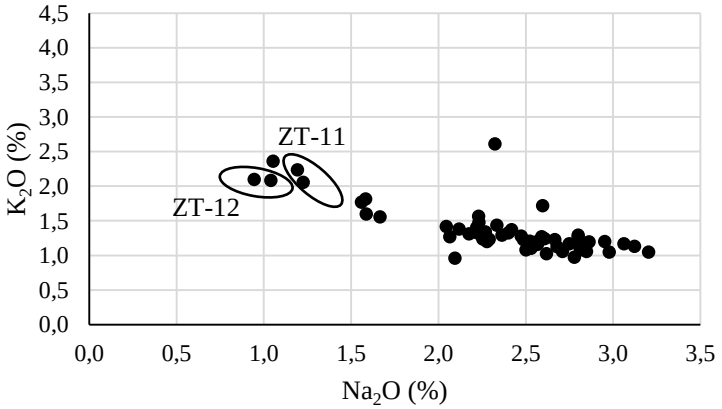
Şekil 5.25. *Kaledeki kiremitlerde CaO-MgO yüzdesi ilişkisi*

Pişmiş kil ürünlerin Na_2O ve K_2O ilişkilerine bakıldığında, tüm pişmiş kil ürünlerde bu ergiticilerin arasında ters bir ilişkinin bulunduğu görülmüştür. Zemin tuğlalarında yığma yapı tuğlalarından genel olarak daha yüksek Na_2O bulunduğu, kiremit örneklerinde

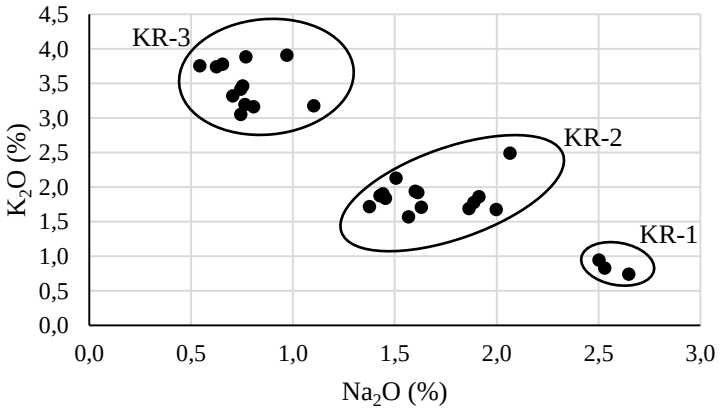
ise diğer malzemelerden daha yüksek oranda K_2O bulunduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 5.26-5.28).



Şekil 5.26. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarında Na_2O-K_2O ilişkisi*

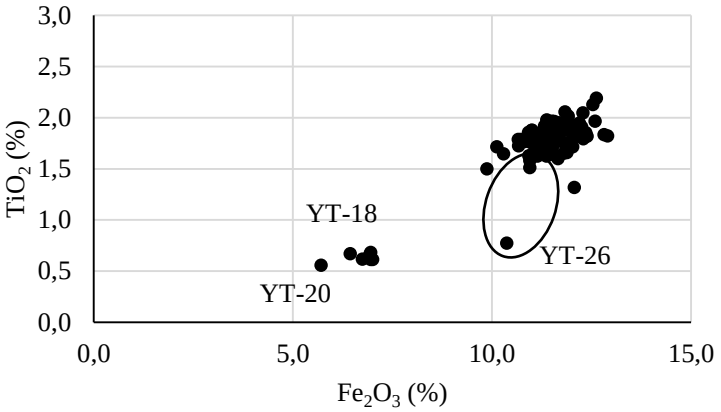


Şekil 5.27. *Kaledeki zemin tuğlalarında Na_2O-K_2O ilişkisi*

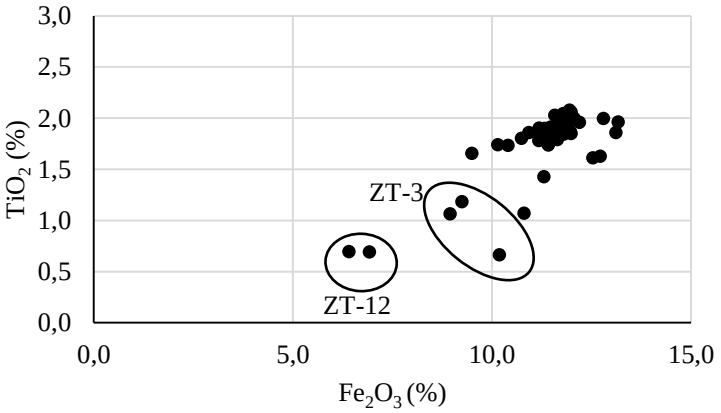


Şekil 5.28. *Kaledeki kiremitlerin Na_2O-K_2O ilişkisi*

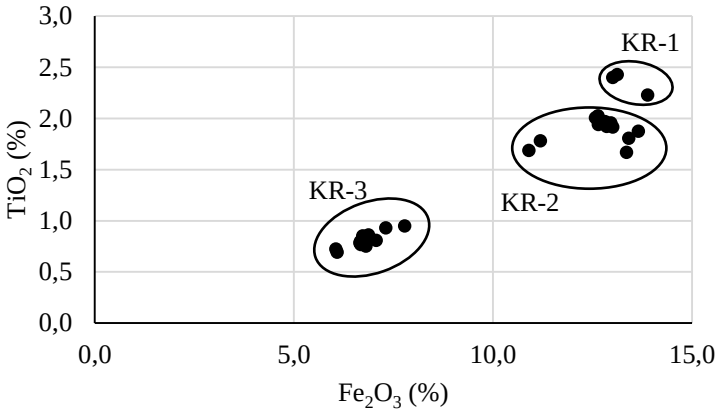
Pişmiş kil ürünlerin Fe_2O_3 ile TiO_2 yüzdeleri kıyaslandığında, ikisi arasında pozitif bir ilişkinin bulunduğu görülmüştür. Tüm pişmiş kil ürünler yüksek Fe_2O_3 (%10-13) yüzdesine sahip olmakla birlikte, sarı renkli yığma yapı tuğlası, zemin tuğlası ve kiremit örneklerinin diğerlerinden daha düşük demiroksit yüzdesine sahip olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 5.29-5.27).



Şekil 5.29. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarında Fe_2O_3-TiO_2 ilişkisi*

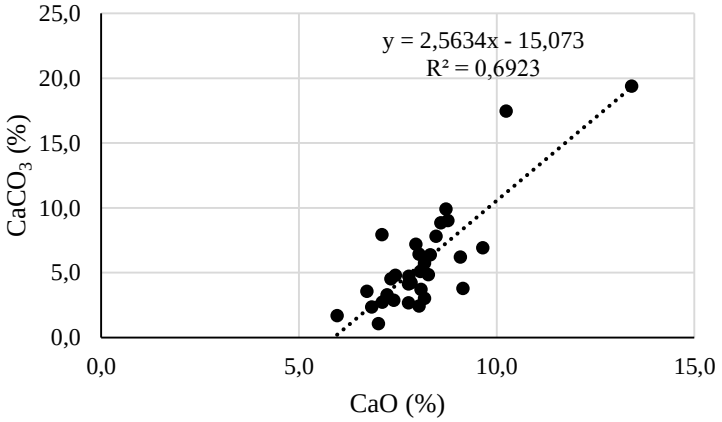


Şekil 5.30. *Kaledeki zemin tuğlalarında Fe_2O_3-TiO_2 ilişkisi*

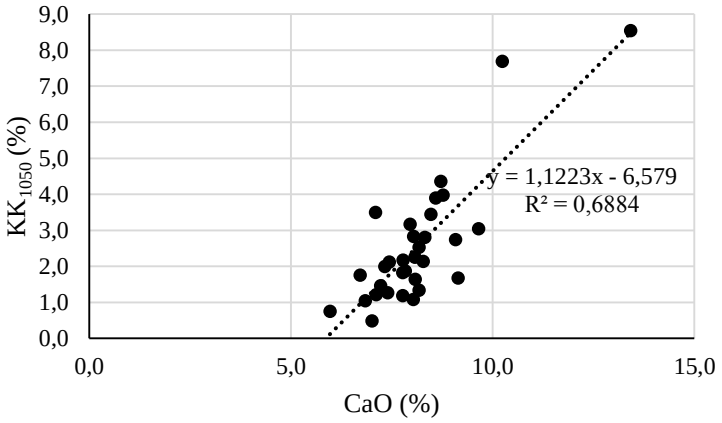


Şekil 5.31. *Kaledeki kiremitlerde Fe_2O_3-TiO_2 ilişkisi*

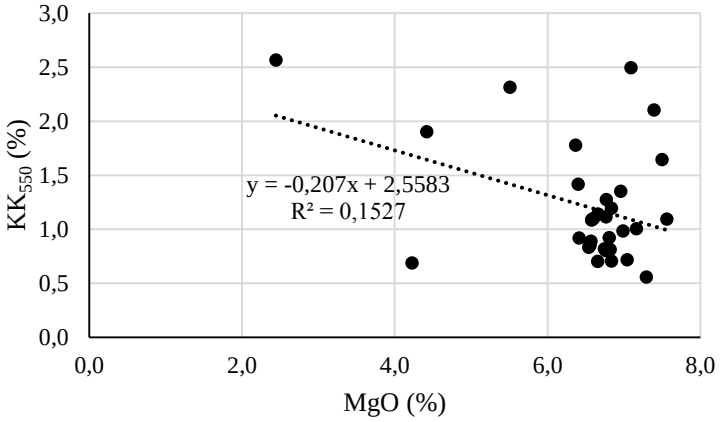
Yığma yapı tuğlalarının kimyasal kompozisyonunda bulunan CaO miktarı (%) ile tuğlaların 1050ºC'deki kızdırma kaybı yüzdesi (KK_{1050}) ve $CaCO_3$ yüzdeleri arasındaki ilişki Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te gösterilmiştir. Tuğlaların kimyasal kompozisyonunda bulunan MgO yüzdesi ile 550ºC'deki kızdırma kaybı yüzdesi (KK_{550}) arasındaki ilişki de Şekil 5.34'te gösterilmiştir. Buna göre, CaO yüzdesi ile KK_{1050} ve $CaCO_3$ yüzdeleri arasında pozitif bir ilişkinin bulunduğu görülmüş ve XRF analizinde tespit edilen CaO elementinin büyük bir bölümünün $CaCO_3$'ten kaynaklandığı tahmin edilmiştir. Ancak, benzer bir ilişki MgO ile KK_{550} arasında bulunmamaktadır. Bu nedenle, tuğlalarda tespit edilen MgO elementinin $MgCO_3$ veya $CaMg(CO_3)_2$ minerallerinden kaynaklanmadığı ve 550ºC'de meydana gelen kızdırma kaybının $MgCO_3$ veya $CaMg(CO_3)_2$ dekompozisyonundan çok, moleküller arası bağlardaki su kaybından ve bünyedeki organik maddelerin yanmasından kaynaklandığı tahmin edilmiştir.



Şekil 5.32. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarında CaO ve $CaCO_3$ yüzdesi ilişkisi*



Şekil 5.33. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarında CaO ile KK_{1050} ilişkisi*



Şekil 5.34. *Kaledeki yığma yapı tuğlalarında MgO ile KK_{550} ilişkisi*

5.1.4.4. *Tartışma*

Bazı tarihi kalelere ve yapılara ait tarihi tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 5.49-5.53 arasında verilmiştir. Buna göre, Kütahya kalesine ait tarihi tuğlaların en düşük görünür yoğunluk ve en yüksek gözeneklilik yüzdesine ve Trabzon kalesine ait tuğlaların da en yüksek görünür yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Diğer tarihi tuğlaların görünür yoğunluklarının ise benzer olduğu görülmüştür. Karacahisar kalesine ait tuğlaların görünür yoğunluğu bu değerler ile karşılaştırıldığında, oldukça geniş bir görünür yoğunluk aralığının bulunduğu tespit edilmiştir. Tuğlaların gerçek yoğunluk değeri kıyaslandığında ise, Karacahisar kalesine ait tuğlaların gerçek yoğunluk değerlerinin, diğer tarihi tuğlaların gerçek yoğunluğundan daha yüksek olduğu görülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri kıyaslandığında, İstanbul'da bulunan

Bizans dönemi yapılarındaki tuğlaların en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, aynı zamanda bu tuğlaların Karacahisar tuğlalarından daha sert bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.49. *İstanbul'da bulunan bazı Bizans dönemi yapılarına ait tuğlaların özellikleri (Kahya, 1992)*

Yüzyıl	ρ_b (%)	ρ_r (%)	A_b(%)	p_0 (%)	UCS (MPa)	Scmidt sertliği
4.	1,63	2,72	19,9	32,1	18,1	37
5.	1,66	2,78	20,1	33,3	23,5	39
6.	1,67	2,79	20,6	34,3	28,4	33
8.	1,76	2,68	17,1	29,9	27,5	40
9.	1,75	2,66	15,8	27,7	33,4	41
10.	1,76	2,69	16,1	28,1	20,7	38
11.	1,64	2,71	20,1	33,0	24,8	43
12.	1,63	2,71	18,9	30,9	27,1	37
14.	1,86	2,80	15,4	28,6	26,3	42
15.	1,81	2,73	14,7	26,4	11,8	28

Çizelge 5.50. *Serapis tapınağına ait özgün tuğlaların özellikleri (Özkaya, 2005)*

Yapı ismi	ρ_b (%)	ρ_r (%)	p_0 (%)	E_{mod} (GPa)	UCS (MPa)	Dönemi
Serapis tapınağı	1,6-1,7	2,5	32-35	0,4	5,5-6,1	Roma

Çizelge 5.51. *Bazı tarihi kalelere ait tuğlaların fiziksel özellikleri (Kurugöl, 2010)*

Kale adı	ρ_b (%)	A_b(%)	p_0 (%)	Dönemi
Yoros Kalesi	1,59-1,85	14,4-25,2	23,0-39,0	Bizans
Anadolu Hisarı	1,61-1,77	14,3-21,9	29,0-35,2	Osmanlı
Amasra Kalesi	1,67-1,84	14,0-22,5	25,0-38,3	Roma
Trabzon Kalesi	1,89-2,10	9,9-14,4	19,2-27,2	Roma-Bizans?

Çizelge 5.52. *Tarihi Kütahya kalesine ait bazı tarihi tuğlaların özellikleri (Kurugöl ve Tekin, 2010)*

Yapı adı	ρ_b (%)	ρ_r (%)	A_b(%)	p_0 (%)	Emod (GPa)	UCS (MPa)
Kütahya Kalesi KA	1,35-1,44	2,49-2,55	29,9-34,8	42,9-47,0	8,6-11,2	9,7-14,8
Küyahya Kalesi KB	1,32-1,38	2,37-2,55	31,3-35,3	43,3-46,7	8,0-11,6	8,2-12,3
Kütahya Kalesi KC	1,40-1,60	2,29-2,52	20,0-27,8	32,0-39,7	9,8-13,5	10,9-17,4

Çizelge 5.53. *Antik Psidia kentine ait tuğlaların özellikleri (Kılınçarslan vd., 2007)*

Yer	ρ_b (%)	ρ_r (%)	A_b(%)	p_0 (%)	Schmidt sertliği	UCS (MPa)
Psidia kenti	1,80	2,72	12,6	22,1	40	16,8

Önceki çalışmalarda incelenen bazı tarihi tuğlaların XRF sonuçları Çizelge 5.54'te verilmiştir. Bu sonuçlar Karacahisar kalesine ait tuğlaların XRF sonuçları ile karşılatırıldığında, Karacahisar kalesine ait tuğlaların daha yüksek Fe_2O_3, CaO, MgO ve Na_2O'e sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.54. *Bazı tarihi yapılara ait tuğlaların kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Element oksit (%)	Karacahisar kalesi	Kütahya kalesi	Yoros kalesi	Amasra kalesi	Trabzon kalesi	Serapis tapınağı
Al_2O_3	11,2-17,6	15,3-19,3	12,5	15,2	13,1-13,3	19,3-20,9
SiO_2	43,9-57,3	49,1-50,4	53,5	62,4	56,7-60,2	57,3-63,0
Fe_2O_3	5,7-13,6	5,4-6,4	6,9	5,6	6,5-8,0	8,1-11,3
CaO	6,2-13,4	7,8-9,7	8,5	3,8	6,9-9,2	1,6-2,0
MgO	2,4-7,6	4,2-5,6	4,7	1,2	3,3-4,2	2,3-2,8
Na_2O	0,9-3,1	0,7-0,8	1,1	1,9	0,8-1,3	1,9-2,3
K_2O	1,2-2,8	3,2-3,6	2,3	3,6	1,3	3,5-4,1
TiO_2	0,6-2,2	0,7-0,8	0,7	0,8	0,9	
MnO	0,1-0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	
Cr_2O_3	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1	0	0,1	
P_2O_5	0,1-0,4	0,1	0,2	0,1	0,3-0,5	

Bazı tarihi yapılara ve Karacahisar kalesine ait tuğlaların mineralojik kompozisyonu Çizelge 5.55'te verilmiştir. Buna göre, tarihi tuğlalarda bulunan ortak minerallerin kuvars, feldispat, hematit, illit/muskovit ve kalsit fazı olduğu görülmüştür. Karacahisar kalesine ait tuğlalarda ayrıca yüksek ısıda piştiği için yüksek ısı mineralleri olan melilit, spinel ve maghemit mineraleri bulunması, kaledeki tuğlaların diğer tarihi tuğlalardan daha yüksek ısıda pişirildiğini göstermiştir.

Çizelge 5.55. *Bazı tarihi yapılara ait tuğlaların mineralojik kompozisyonu*

Tuğlaların ait olduğu yapı	**Mineralojik kompozisyon**
Serapis tapınağı (Özkaya, 2005)	Kuvars, feldispat, muskovit, hematit
Kütahya kalesi (Kurugöl ve Tekin, 2010)	Kuvars, feldispat, hematit, illit, kalsit
Yoros kalesi (Kurugöl ve Tekin, 2010)	Kuvars, feldispat, muskovit, illit, kalsit
Amasra kalesi (Kurugöl ve Tekin, 2010)	Kuvars, feldispat, hematit
Trabzon kalesi (Kurugöl ve Tekin, 2010)	Kuvars, feldispat, piroksen, sodyum silikat
Ayasofya (Moropoulou vd., 2002)	Kuvars, feldispat, dolomit, smektit, illit,
Karacahisar kalesi	Kuvars, feldispat, smektit, illit/mika, amfibol, ilmenit, hematit, maghemit, piroksen, melilit, spinel, olivin, kalsit, dolomit,

5.2. Harçların Karakteristik Özellikleri

Bu bölümde Karacahisar kalesinin I. ve II. bölgelerine ait tarihi harçların karakteristik özelliklerine yer verilmiştir. Çalışmada I. bölgeden 10 harç örneği, II. bölgeden 8 harç örneği olmak üzere, toplam 18 harç örneği incelenmiş ve bu harçların görsel ve karakteristik özelliklerine göre 6 gruba ayrıldığı belirlenmiştir. Harçların karakteristik özellikleri ile ayrıntılı bilgilere EK-6'da yer verilmiştir.

5.2.1. Görsel özellikler

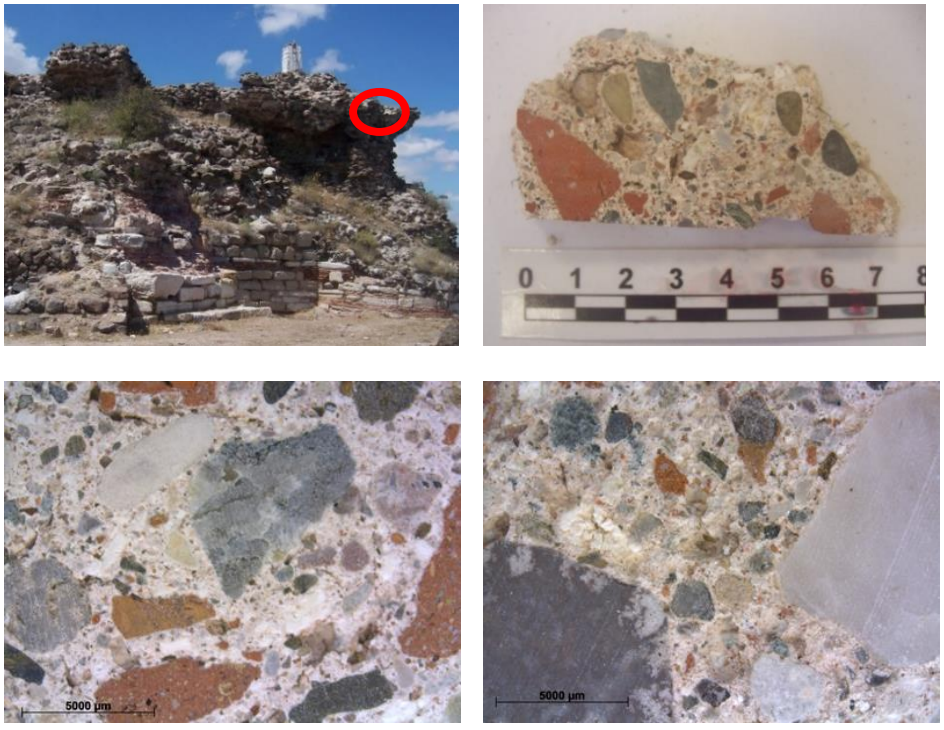
Bu bölümde Karacahisar kalesine ait harçların ait olduğu yer, örgü türü ve görsel özelliklerine yer verilmiştir.

H-1 Grubu harcı: H-1 grubunda yer alan 1H-10 harç örneği, I. Bölgenin güney sur duvarındaki tuğla-tuğla arası derze aittir. Harcın bağlayıcı rengi gri olup, çok kaba ve orta boyutlu kayaç parçaları ile pişmiş kil parçaları içermektedir (Bkz. Görsel 5.21).

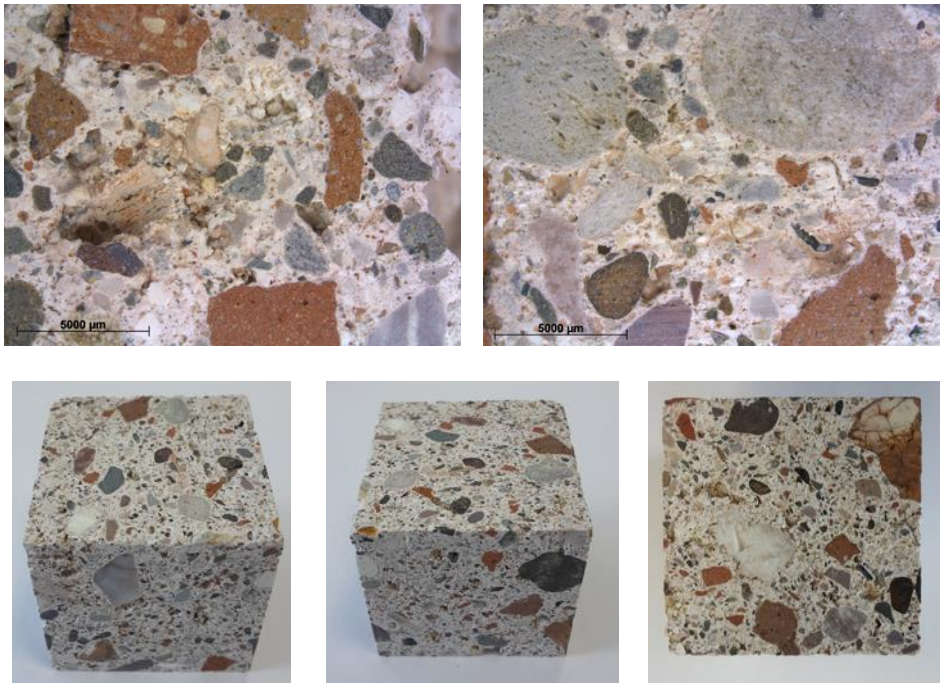
H-2 Grubu harçlar: Bu grupta I. bölgeye ait toplam iki harç örneği (1H-2 ve 1H-6) yer almaktadır. Beyaz renkli bir bağlayıcıya sahip olan bu harç grubunda, çoğunlukla açık renkli kayaç parçalarının yanı sıra, yer yer kaba boyutlu pişmiş kil parçaları ile az miktarda orta boyutlu kırık pişmiş kil parçaları göze çarpmaktadır. 1H-2 ve 1H-6 harcı, kale kapısının kuzey burcunun üst bölümünden düşen bir kütleye ve taş örgüye aittir. Görsel 5.22 ve Görsel 5.23'te örneklerin alındığı yer ve genel görünümü verilmiştir.



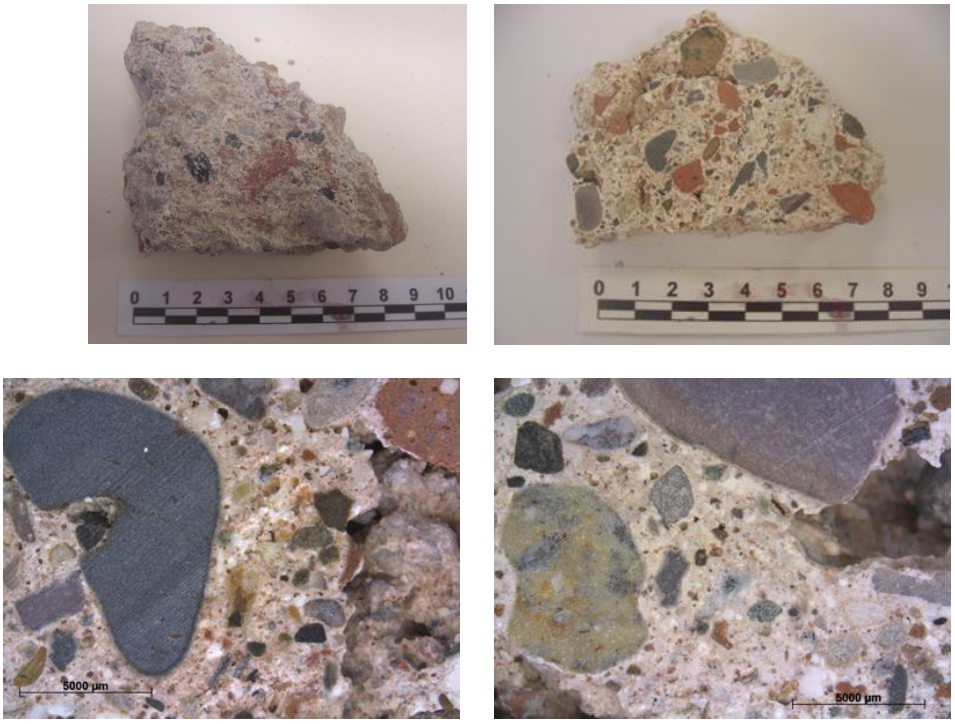
Görsel 5.21. *H-1 grubu harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*



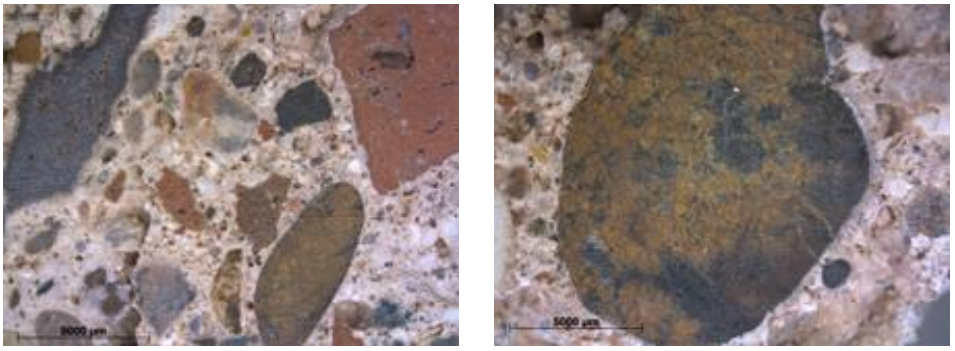
Görsel 5.22. *1H-2 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*



Görsel 5.22. (Devam) *1H-2 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*



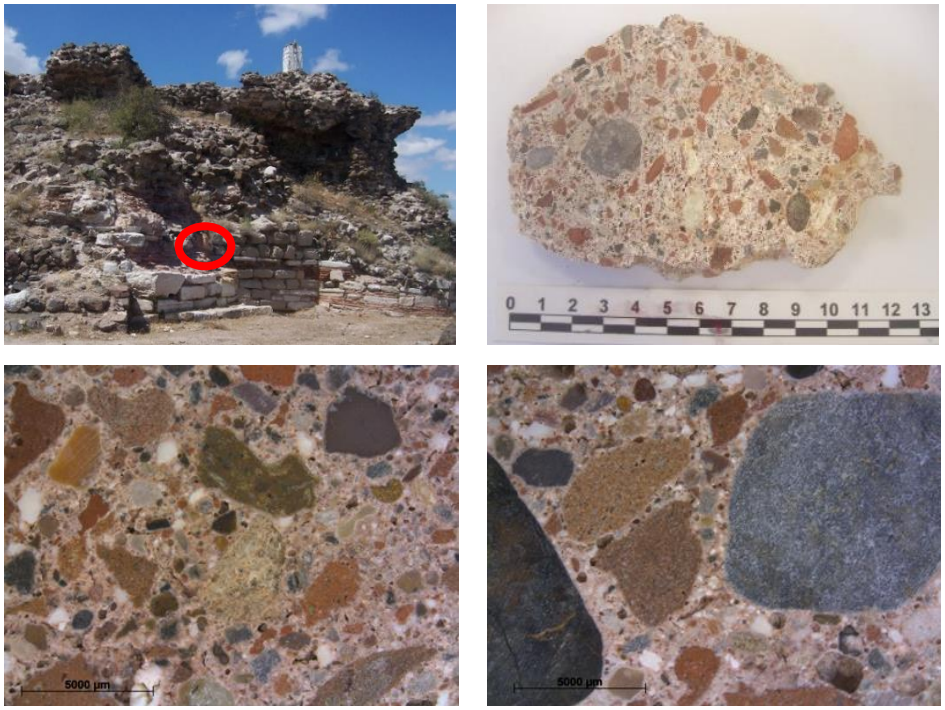
Görsel 5.23. *1H-6 harcının doku karakteri*



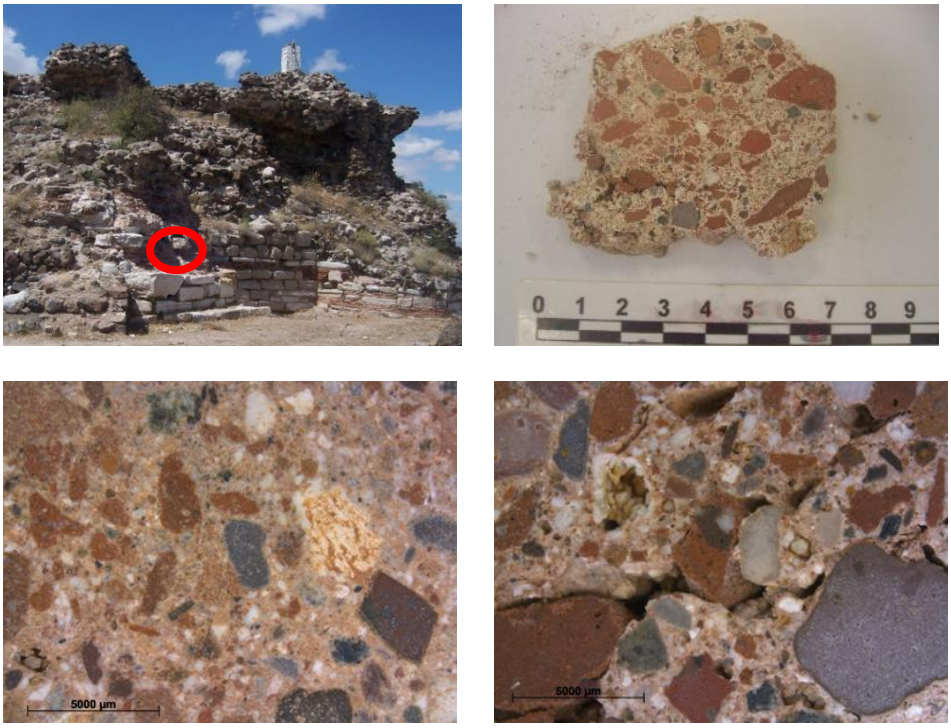
Görsel 5.23. (Devam) *1H-6 harcının doku karakteri*

H-3 Grubu harçlar: Bu grupta toplam beş örnek (1H-1, 1H-4, 1H-5, 1H-7, 1H-8) bulunmaktadır. Bu grup harçlar, diğer harçlardan farklı olarak daha kırmızımsı renge sahiptir. İçindeki pişmiş kil kırıkları genel olarak ince, orta ve kaba boyutlardaki farklı renkteki örneklerden oluşmuştur.

- 1H-1 harcı, I. bölgenin kuzey burcundan tuğla-tuğla arası derze aittir (Bkz.Görsel 5.24). Bu örnekte, agrega olarak kullanılan doğal taş kırıklarının pişmiş kil parçalarının boyutundan daha iri olduğu görülmektedir. Pişmiş kil kırıkları yakından incelendiğinde, farklı renklerde olduğu görülür. 1H-4 harç örneği, kale kapısının kuzey payandanın, tuğla-tuğla arası derze aittir. Görsel 5.25'ten bu harç örneğinin orta ve kaba boyutlu pişmiş kil kırıkları içerdiği görülmektedir.



Görsel 5.24. *1H-1 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*

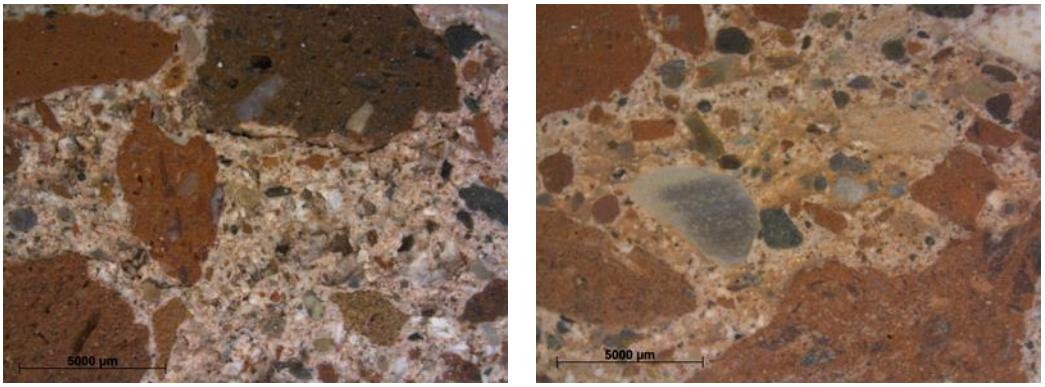


Görsel 5.25. *1H-4 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*

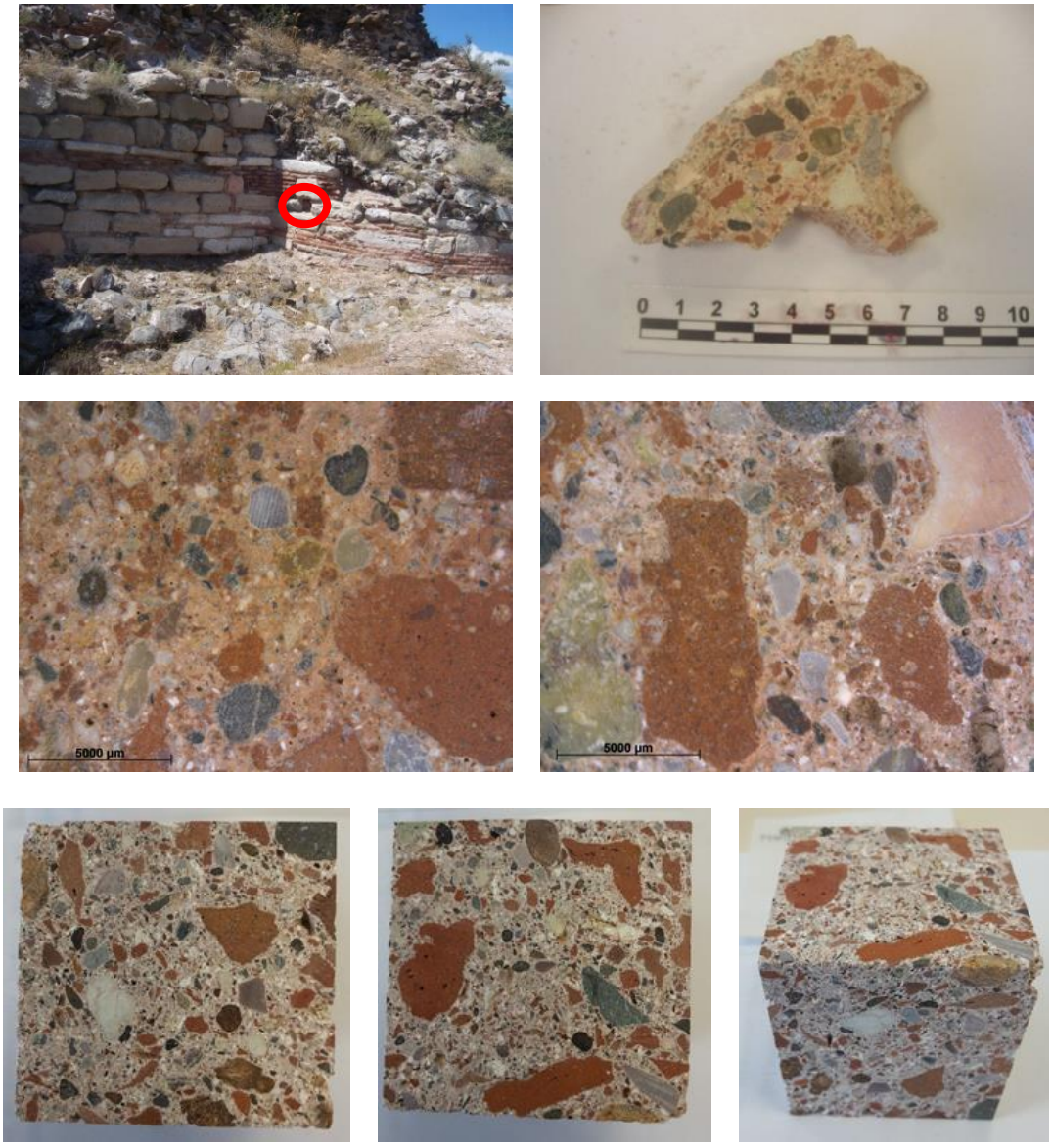
1H-5 harcı ise I. bölgenin güney burçtaki tuğla hatılın boşalan bölümünden alınmıştır. Bu harcın içinde kaba ve orta boyutlu pişmiş kil kırıkları ve doğal taşlar kullanılmıştır. Görsel 5.26'da görüldüğü gibi, bu harç örneğinde birbirinden farklı renkteki pişmiş kil parçaları bulunmaktadır. 1H-7 Harç örneği I. bölgenin kuzey burcun tuğla hatılındaki diziden alınmıştır (Bkz. Görsel 5.27).



Görsel 5.26. *1H-5 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*

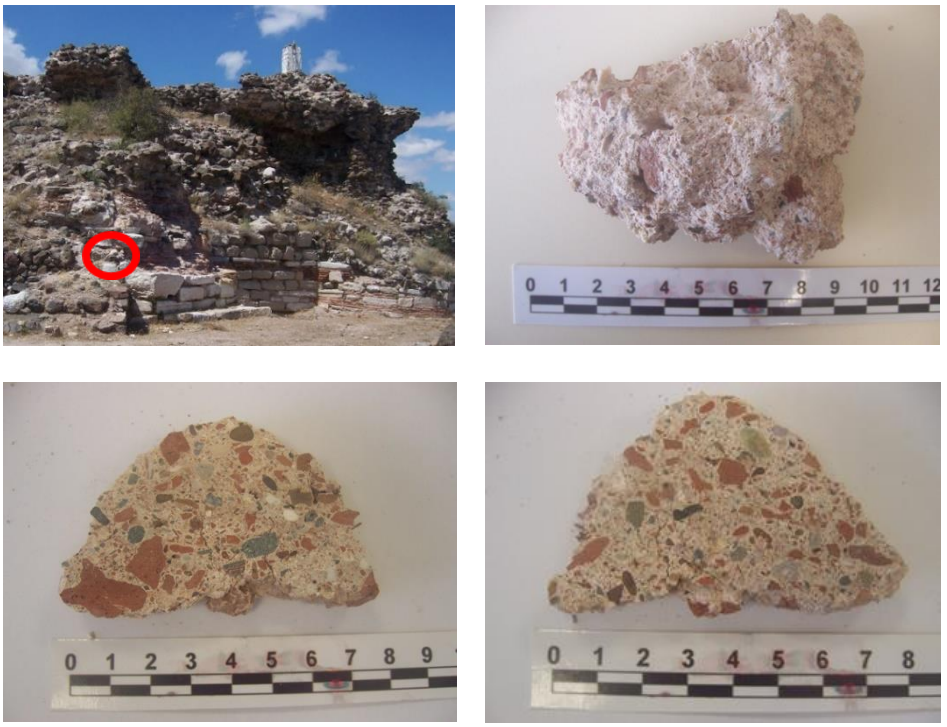


Görsel 5.26. (Devam) *1H-5 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*



Görsel 5.27. *1H-7 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*

1H-8 harcı kale kapısının kuzey payandanın tuğla örgüsüne aittir. Harcın dokusu kırmızımsı renge sahiptir. Harcın içinde kaba, orta ve ince boyutlu pişmiş kil kırıkları ve orta boyutlu taş kırıkları bulunmaktadır (Görsel 5.28).

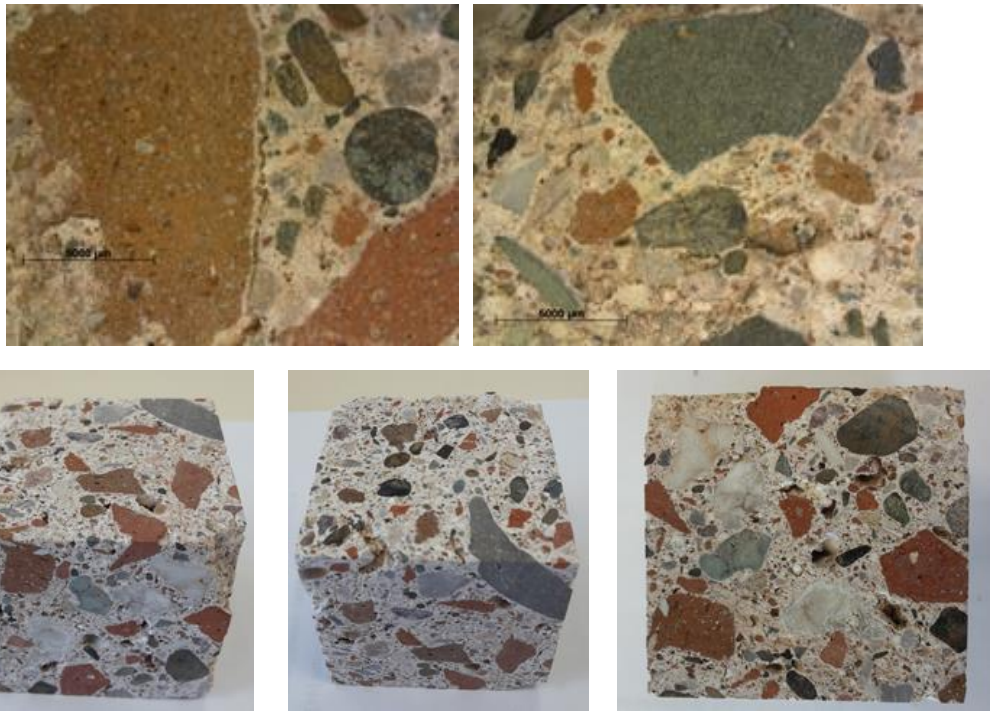


Görsel 5.28. *1H-8 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*

H-4 Grubu harçları: Bu grupta iki örnek (1H-3 ve 1H-9) yer almaktadır. Bu harçların bağlayıcı rengi beyaz renk olup, bünyesinde çok kaba boyutlu pişmiş kil parçaları ve doğal taş parçaları göze çarpmaktadır. Bu gruptan 1H-3 harcı, I. bölgenin kuzey sur duvarının taş örgüsüne aittir (Bkz. Görsel 5.29).

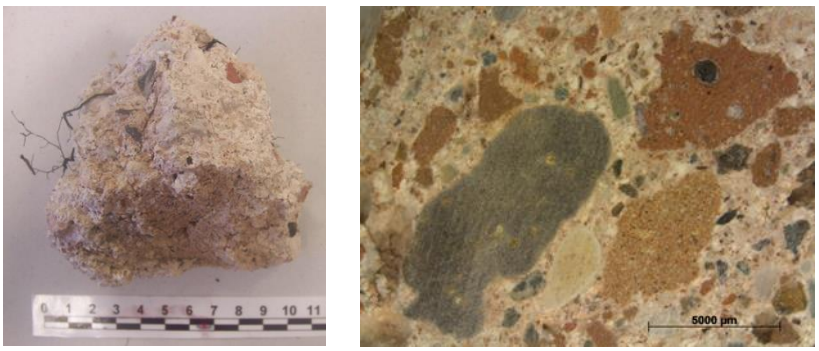


Görsel 5.29. *H-4 grubundan 1H-3 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*



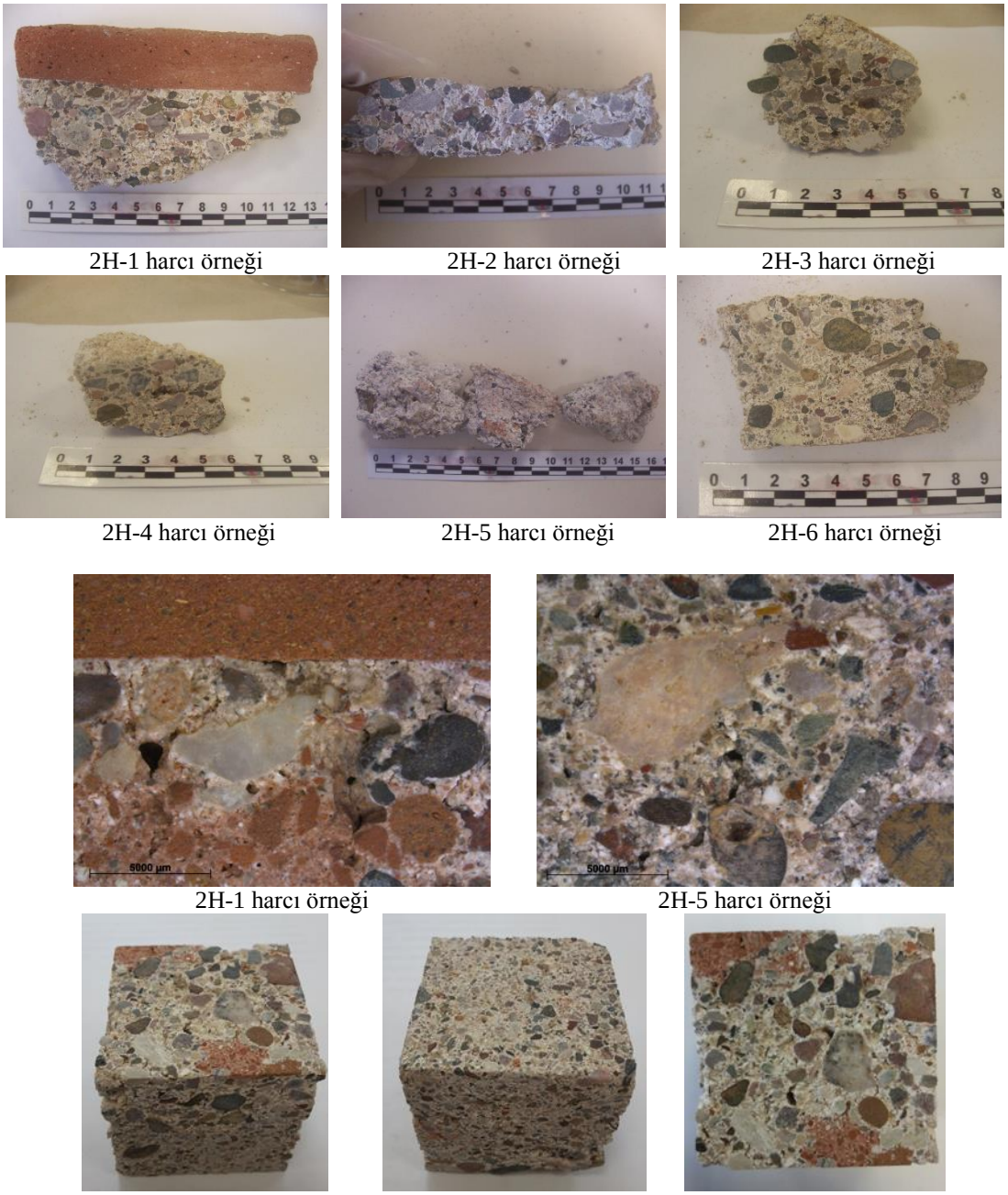
Görsel 5.29. (Devam) *H-4 grubundan 1H-3 harcının alındığı yer ve harcın genel doku karakteri*

Kale kapısının sur duvarının taş örgüsüne ait olan 1H-8 harcı, beyaz rengin hakim olduğu, farklı karaktere sahip olan pişmiş kil kırıkları ve doğal taş parçaları içermektedir (Bkz. Görsel 5.30).



Görsel 5.30. *H-4 grubundan 1H-8 harcının genel doku karakteri*

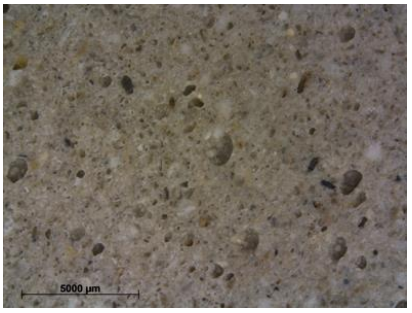
H-5 Grubu harçları: Bu grupta II. bölgeye ve tuğla örgüye ait olan 6 harç örneği (2H-1, 2H-2, 2H-3, 2H-4, 2H-5, 2H-6) bulunmaktadır ve bu harç örneklerinin stereo mikroskop görüntüleri ve deney için hazırlanan örnekler Görsel 5.31'de verilmiştir. Görselden bu harç grubunun I. bölgedeki harçlardan farklı bir karaktere sahip olduğu görülmektedir. Bu harç grubu agrega olarak küreselliği yüksek doğal taş ve az miktarda horasan harcı kırıkları içermektedir.



Görsel 5.31. *H-5 grubu harç örnekleri*

H-6 Grubu harçları: Bu grupta II. bölgeye ve tuğla örgüye ait 2 harç örneği (2H-7 ve 2H-8) bulunmaktadır ve bu harç örnekleri ve mikroskop görünümleri Görsel 5.32'de verilmiştir. Gri renkli bu harç grubunun, doğal taş veya pişmiş kil gibi agrega içermediği ve oldukça gözenekli bir dokuya sahip olduğu görülmektedir.


2H-7 harcı



2H-7 harcı örneği


2H-8 harcı



2H-8 harcı örneği

Görsel 5.32. *H-6 grubu harçların doku özellikleri*

5.2.2. Fiziksel özellikler

Kaledeki tarihi harçların fiziksel özellikleri Çizelge 5.56'da verilmiştir. Buna göre, incelenen harçların kütlece su emme yüzdesi değerleri %8,7-22,2, açık gözeneklilik yüzdesi %12,9-34,2, görünür yoğunluğu 1,49-1,88 g/cm^3, gerçek yoğunluğu 2,58-2,74 g/cm^3, toplam gözenekliliği %26,4-42,8 ve doluluk yüzdesi de %57,2-73,6 arasındadır. Buna göre, alçı harcının en düşük su emme yüzdesi, açık gözeneklilik yüzdesi, görünür yoğunluk değeri ve doluluk yüzdesi ile en yüksek toplam gözeneklilik yüzdesine sahiptir. Ayrıca, bu harcın toplam gözeneklilik yüzdesinin büyük bir bölümünün dışa kapalı gözeneklerden oluştuğu görülmüştür (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-6a).

Çizelge 5.56. *Kaledeki harçların fiziksel özellikleri*

Harç grubu	Harç türü	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	A_b (%)	p_0 (%)	p (%)	c (%)
H-1	Horasan harcı	2,02	2,74	10,8	21,8	26,4	73,6
H-2	Horasan harcı	1,88	2,58	12,8	24,1	27,1	72,9
H-3	Horasan harcı	1,69	2,61	16,9	28,5	35,1	64,9
H-4	Horasan harcı	1,55	2,65	22,2	34,2	41,6	58,4
H-5	Kireç harcı	1,74	2,58	15,6	27,2	32,5	67,5
H-6	Alçı harcı	1,49	2,60	8,7	12,9	42,8	57,2

5.2.3. Mekanik özellikler

Kaledeki tarihi harçların mekanik özellikleri Çizelge 5.57'de verilmiştir. Buna göre, horasan harçlarının tek eksenli basınç dayanımı 2,65-9,54 MPa arasında, elastisite modülü 2,7-8,1 GPa arasında olduğu belirlenmiştir. Harçların Schmidt çekici vuruş değerleri okunamadığı için, yüzey sertliği tespit edilememiştir. Analiz edilen bir harç örneği Görsel 5.33'te verilmiştir.

Çizelge 5.57. *Kaledeki harçların mekanik özellikleri*

Harç Grubu	UCS (MPa)	Emod (GPa)
H-1	t.e.	t.e.
H-2	9,37	8,1
H-3	9,54	5,3
H-4	3,77	3,7
H-5	2,65	2,5
H-6	t.e.	7,4



Görsel 5.33. *Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılan H-2 grubundan bir harç örneği*

5.2.4. Kimyasal özellikler

5.2.4.1. *Kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Kaledeki tarihi harçların kızdırma kaybı analizi sonuçları ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri Çizelge 5.58'de verilmiştir. Buna göre, kireç ve horasan harçlarının nem yüzdesi (KK_{105}) %0,6-1,3 arasında iken, alçı harcında bu oranın %6,2 olduğu belirlenmiştir. Kireç ve horasan harçlarının moleküller arası su yüzdesi ve organik madde yüzdesi (KK_{550}) %2,6-5,6 arasında iken, alçı harcında bu değerin %2,2 olduğu görülmüştür. Kireç ve horasan harçları kıyaslandığında, kireç harcında toplam kızdırma kaybının daha düşük oranda olduğu tespit edilmiştir. Kireç harcında %27,4, horasan harçlarında ise %31,2-41,4 arasında kalsiyum karbonat bulunduğu görülmüştür. Hatta, alçı harcında da %7,4 kalsiyum karbonat bulunduğu tespit edilmiştir. Kızdırma kaybı analizinden elde edilen sonuçlarına göre, tüm harçların KK_{1050}/KK_{550} oranı 1-10 arasında olduğu için, kaledeki tüm tarihi harçların hidrolik özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

Kaledeki tarihi harçların puzolanik aktivite analizine göre, 63 µ elek altı agregaların elektriksel iletkenlik farkı 1,20 µS/cm'nin üstünde olduğu için tüm harçların puzolanik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Özellikle alçı harcı olan H-6 harcının elektriksel iletkenlik farkının diğerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-6b).

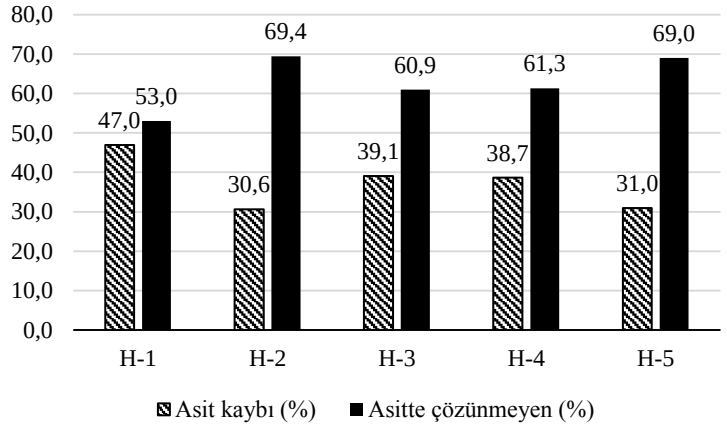
Çizelge 5.58. *Kaledeki harç gruplarının kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Harç grubu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Hidrolisite (KK_{1050}/KK_{550})	ΔE (µS/cm)
H-1	0,6	2,6	18,2	20,8	41,4	7,1	1,43
H-2	0,6	3,5	15,2	18,7	34,4	4,3	2,18
H-3	1,3	5,6	14,6	20,2	33,2	3,0	1,70
H-4	0,9	3,6	13,7	17,4	31,2	4,1	1,86
H-5	0,8	2,9	12,0	14,9	27,4	4,3	1,69
H-6	6,2	2,2	3,3	5,5	7,4	1,6	2,74

5.2.4.2. *Asit kaybı ve elek analizi sonuçları*

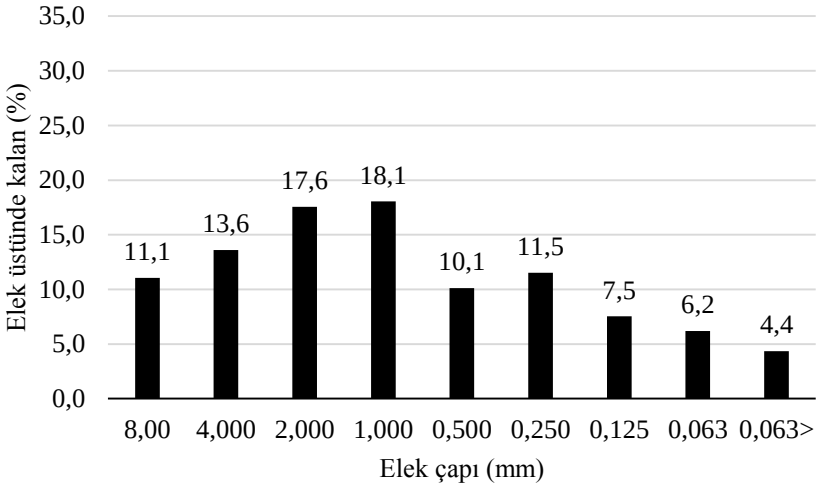
Kaledeki tarihi harç gruplarının ortalama asit kaybı değerleri Şekil 5.35'te verilmiştir. Buna göre, horasan harçlarında asit kaybı yüzdesi %30,6-47,0, çözünmeyen kısmın yüzdesi ise %53,0-69,4 arasındadır. Kireç harcı olan H-5 grubunda asit kaybı yüzdesi %31, çözünmeyen kısmın yüzdesi ise %69'dur. Buna göre, H-2 horasan harcı ile

H-5 kireç harcında diğer harçlardan daha düşük oranda bağlayıcı ve daha yüksek oranda silisli agrega içerdiği tespit edilmiştir. Bağlayıcı:agrega oranı H1 harcında yaklaşık 1:1, diğer H-2, H-3, H-4 ve H-5 harçlarında da 1:2'dir. En düşük bağlayıcı:agrega oranına sahip olan H-2 ve H-5 grubu harç gruplarının, diğer gruplara göre daha yüksek yoğurulabilirliğe sahip olduğu görülmüştür. H-6 alçı grubu harçları asit çözeltisinde çözünmediği için, bu grup harçlara asit kaybı ve elek analizi uygulanamamıştır.

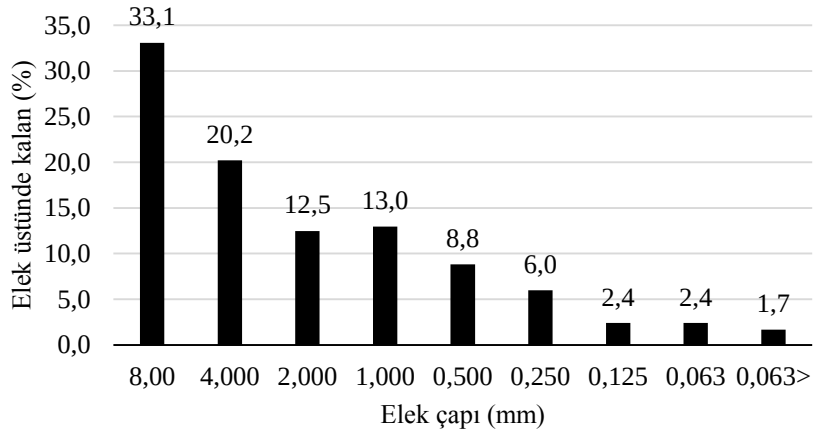


Şekil 5.35. *Kaledeki harçların asit kaybı deneyi sonuçları*

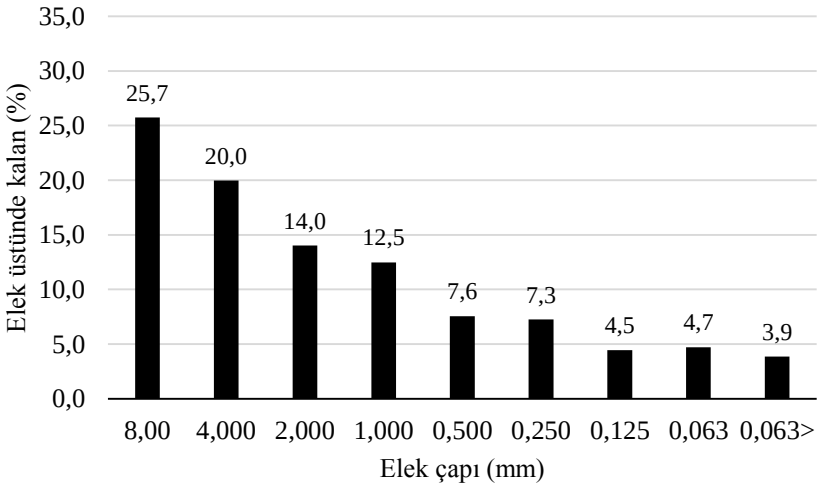
Asit kaybı analizinin ardından, kaledeki harçların çözünmeyen kısımlarına uygulanan elek analizi ile elde edilen agrega boyut dağılımı Şekil 5.36-5.40 arasında verilmiştir. Buna göre, horasan harçlarından H-2 ve H-3'ün benzer boyut dağılımına sahip olduğu görülmüştür. Buna göre, horasan harçları %1,7-4,4, kireç harcı ise %0,8 silt boyutlu agrega içermektedir. Elek analizine göre, kaledeki tarihi harçların büyük bölümünün çakıl boyutlu agregalardan oluştuğu, yalnız H-1 harcında agregaların büyük bir bölümünün kaba kum boyutundaki agregalardan oluştuğu belirlenmiştir (referans değerler için Bkz. http-17). Ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-6c.



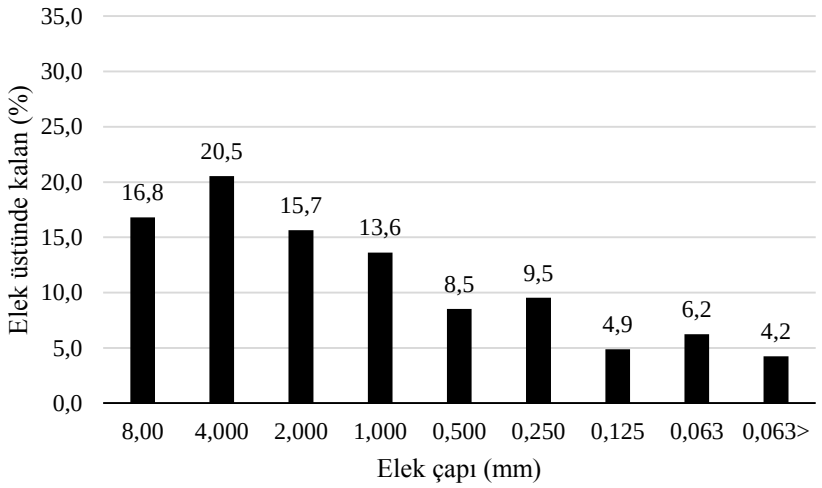
Şekil 5.36. *Kaledeki H-1 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi*



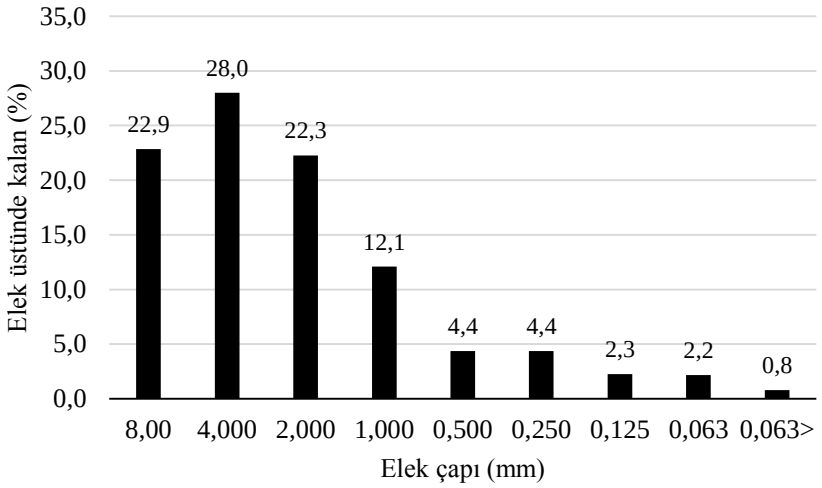
Şekil 5.37. *Kaledeki H-2 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi*



Şekil 5.38. *Kaledeki H-3 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi*

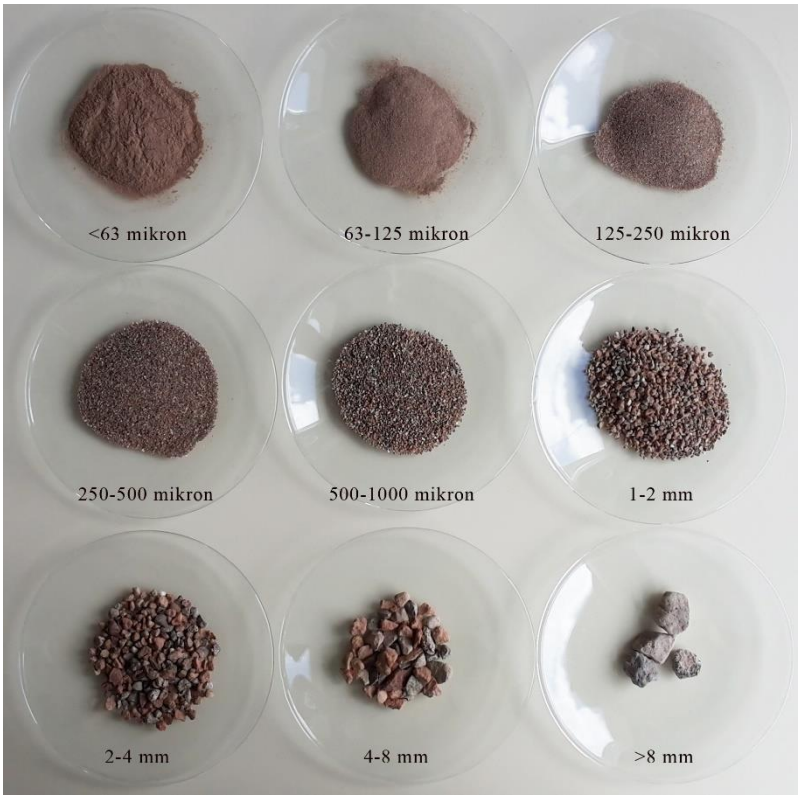


Şekil 5.39. *Kaledeki H-4 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi*

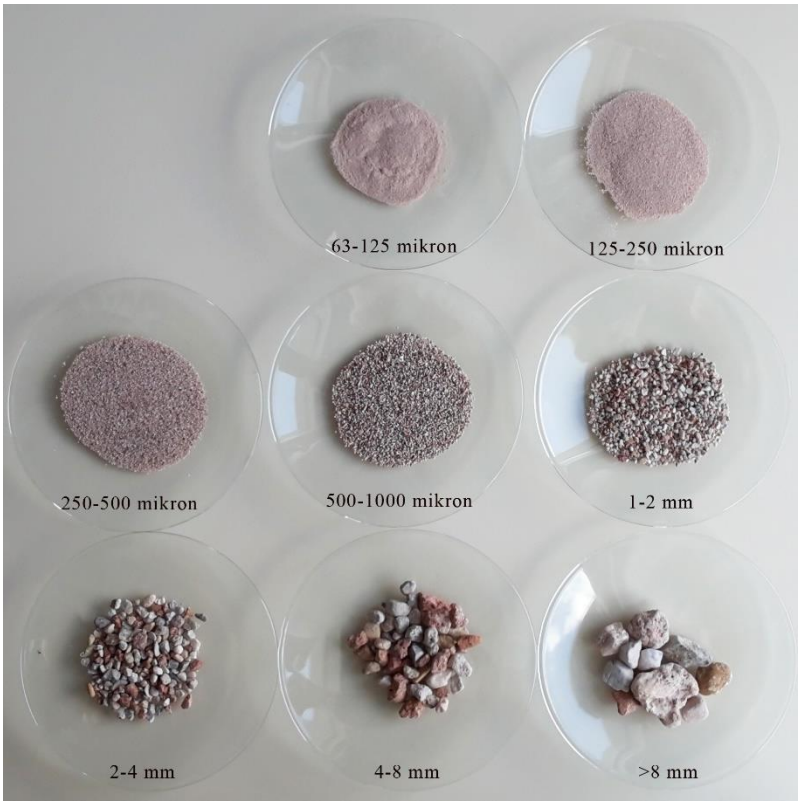


Şekil 5.40. *Kaledeki H-5 grubu harçların agrega boyut dağılımı yüzdesi*

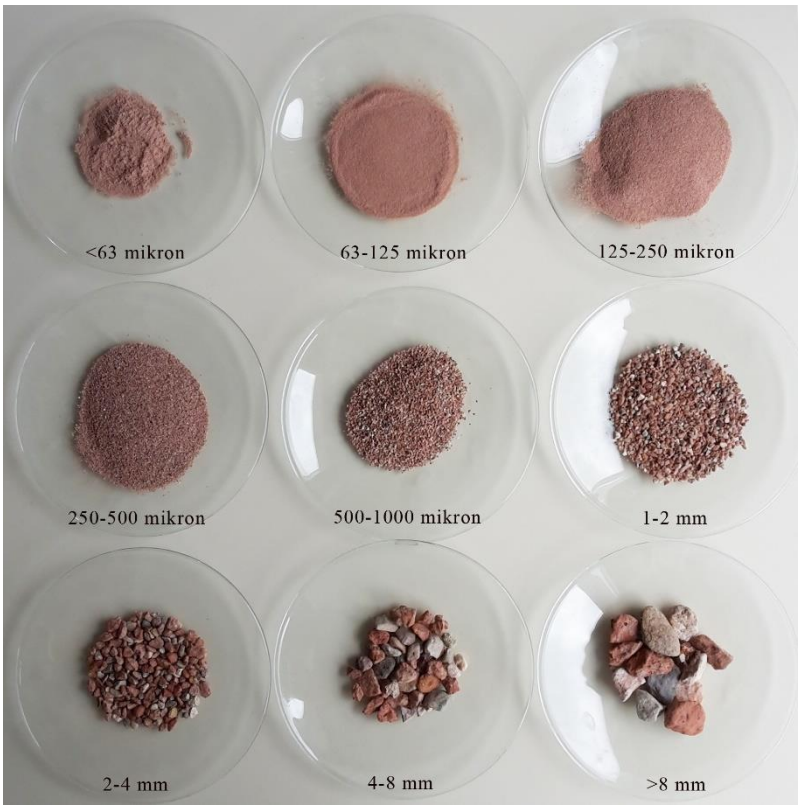
Kaledeki harçların elek analizi ile boyutuna göre sınıflandırılan agregalar Görsel 5.34-5.38 arasında verilmiştir. Buna göre, H-1 grubu harcın en koyu renkli agrega ve pişmiş kil ürünü içeriğine sahip olduğu, H-2, H-3 ve H-4 harç gruplarının ise pişmiş kil tozu ve parçaları içerdiği görülmektedir. H-5 grubunda ise ağırlıklı olarak küreselliği yüksek agregaların bulunduğu tespit edilmiştir. Buna göre, H-1, H-2, H-3 ve H-4 harçlarının horasan harcı olduğu ve H-5 harcının ise kireç harcı olduğu belirlenmiştir.



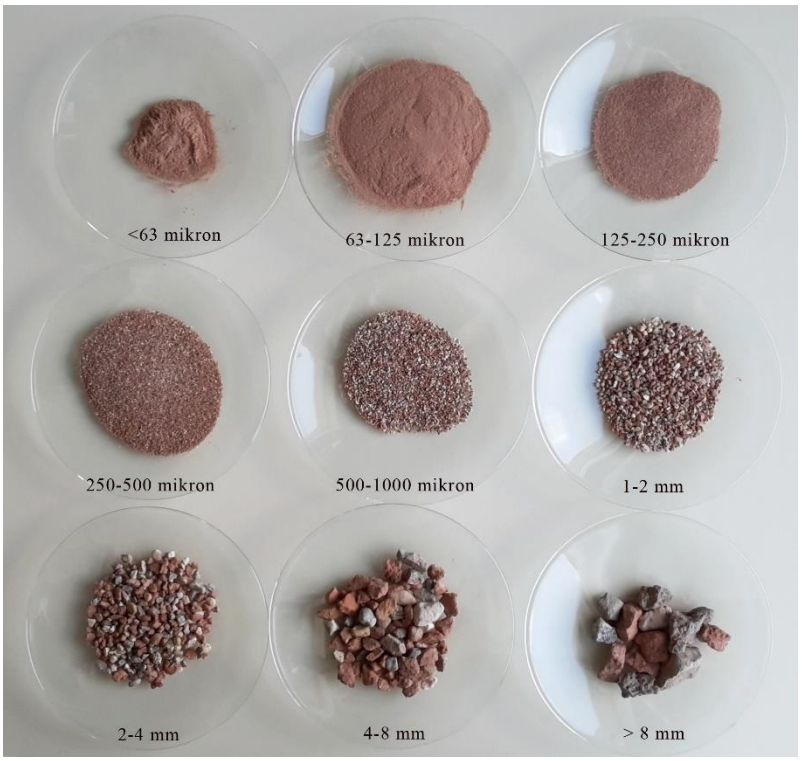
Görsel 5.34. *H-1 grubundan 1H-10 harcının elek analizinde gruplanan agregaları*



Görsel 5.35. *H-2 grubundan 1H-2 harcının elek analizinde gruplanan agregaları*



Görsel 5.36. *H-3 grubundan 1H-8 harcının elek analizinde gruplanan agregaları*



Görsel 5.37. *H-4 grubu harcın elek analizinde gruplanan agregaları*



Görsel 5.38. *H-5 grubundan 2H-1 harcının elek analizinde gruplanan agregaları*

5.2.4.3. *Tuz türleri ve tuzluluk yüzdesi analizi sonuçları*

Kaledeki harç gruplarında bulunan tuz türleri, elektriksel iletkenlik değeri ve tuzluluk yüzdesi değerleri Çizelge 5.59'da verilmiştir. Buna göre, horasan ve kireç harcında klor tuzu tespit edilmiştir ve iletkenlik değerleri 117-419 µS/cm, tuzluluk yüzdesi de %0,7-2,7 arasındadır. Alçı harcında ise klor tuzu tespit edilmemiş, karbonat ve sülfat tuzları bulunduğu tespit edilmiştir. Bu harcın iletkenlik ölçüm değerinin 2305 µS/cm ve tuzluluk yüzdesinin %14,8'dir. Dolayısı ile horasan ve kireç harcı için olumsuz durum oluşturacak miktarda tuz bulunmadığı; buna karşın alçı harcının tuzluluk yüzdesi değerinin yüksek olduğu, bunun da bağlayıcıyı oluşturan $CaSO_4$'dan kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Çizelge 5.59. *Kaledeki harçlarda bulunan tuz türleri ve tuzluluk yüzdesi*

Harç grubu	Cl^-	CO_3	SO_3	İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk yüzdesi (%)
H-1	+	-	-	144	0,9
H-2	+	-	-	117	0,7
H-3	+++	-	-	419	2,7
H-4	+	-	-	118	0,8
H-5	+	-	-	112	0,7
H-6	-	+	++++	2305	14,8

5.2.4.4. *Harçların kimyasal kompozisyonu*

Kaledeki tarihi harçların kimyasal kompozisyonları Çizelge 5.60'ta verilmiştir. Buna göre, horasan ve kireç harçlarında bulunan majör oksitler Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O ve K_2O, minör oksitler ise TiO_2, Cr_2O_3, MnO, P_2O_5, Ag_2O, Cl, BaO ve SO_3'tir. Paris alçısı harcında ise majör oksitler CaO, SiO_2, MgO ve SO_3, minör oksitler ise Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O, BaO ve SrO'tir. Çizelge 5.60'ta horasan harçlarının %7,0-9,1 Al_2O_3, %29,0-41,5 Al_2O_3, %3,7-5,8 Fe_2O_3, %21-26 CaO, %4,8-8,0 MgO, %1,3-1,5 Na_2O içerdiği görülmektedir. H-5 grubu kireç harcı, horasan harçlarından daha düşük oranda Al_2O_3 (%6,5) ve CaO (%13,7), çok daha yüksek oranda SiO_2 (%50.5) ve benzer oranda Fe_2O_3, MgO, Na_2O ve K_2O içermektedir. Bu harç grubunda diğer harçlardan farklı olarak, silis ağırlıklı agrega kullanıldığı anlaşılmıştır. H-6 grubu alçı harcının ise diğer harçlara kıyasla, daha yüksek oranda CaO (%39,1) ve SO_3 (48,0) ve daha az miktarda SiO_2 (%3,2) içerdiği belirlenmiştir (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-6d).

Çizelge 5.60. *Kaledeki harç gruplarının kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Harç grubu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	P_2O_5	SO_3	Ag_2O	Cl	BaO	SrO	Σ Oksit	Σ KK
H-1	7,1	29,0	5,8	26,1	8,0	1,3	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	79,2	20,8
H-2	7,0	41,5	3,7	21,0	4,8	1,4	1,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	81,3	18,7
H-3	7,6	35,5	4,7	23,1	4,9	1,4	1,3	0,6	0,1	0,1	0,1	0,3	-	0,2	0,2	-	79,8	20,2
H-4	9,1	37,1	5,7	21,1	5,0	1,5	1,5	0,7	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	-	-	-	82,1	17,9
H-5	6,5	50,5	3,3	13,7	7,6	1,4	1,8	0,1	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	85,1	14,9
H-6	0,8	3,2	0,4	39,1	1,2	-	0,1	-	-	-	-	48,0	-	-	0,4	0,6	93,5	6,5

5.2.4.5. *HPLC analizi sonuçları*

Tarihi harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek ve karbonatlaşmayı hızlandırmak amacı ile içine çeşitli organik ve inorganik maddelerin katıldığı bilinmektedir. Bu maddelerden bazıları kan, yumurta, peynir, gübre, arap zamkı, boncuk tutkalı, çeşitli bitki suları ve süttür. Arap zamkı, boncuk tutkalı ve incirin sütlü suyu yapışkan olarak kullanılmıştır. Çavdar hamuru, domuz yağı, kesik süt, kan ve yumurta beyazı ise kirecin daha hızlı sertleşmesini sağlamak; arpa, idrar ve hayvan tüyleri dayanıklılığı arttırmak; şeker de suyun donma-çözünme sürecinde meydana gelen bozulmayı yavaşlatmak için kullanılmıştır. Balmumu harçtaki büzülmeyi önlemek; yumurta akı, boncuk tutkalı, şeker, süt, mineral ve keten tohumu gibi yağlar kirecin plastik özelliğini arttırıp, kırılganlığı azaltmak ve harcın çalışılabilirliğini arttırmak amacı ile kullanılmıştır. HPLC analizi ile Karacahisar kalesi harçlarında bulunduğu tespit edilen organik katkı türleri Çizelge 5.61'de verilmiştir.

Çizelge 5.61. *Kale harçlarında tespit edilen organik maddeler*

Harç kodu	**HPLC analizinde tespit edilen organik maddeler**	**İlave edildiği belirlenen maddeler**
H-1	tannik asit, boncuk tutkalı, bezir yağı, kazein ve linoleik asit	Arpa suyu, boncuk tutkalı, keten tohumu yağı, inek sütü, bitkisel yağ
H-2	proteaz, pektin, kolajen, kazein, çivit, boncuk tutkalı ve palmitik asit	şeker pancarı suyu, kemik suyu, inek sütü, çivit, boncuk tutkalı, hayvan yağı
H-3	proteaz, bezir yağı, boncuk tutkalı, kazein ve çivit	keten tohumu yağı, boncuk tutkalı, inek sütü, çivit
H-4	tannik asit, boncuk tutkalı, bezir yağı, kazein, linoleik asit ve çivit	arpa suyu, boncuk tutkalı, keten tohumu yağı, bitkisel yağ ve çivit
H-5	tannik asit, bezir yağı, linoleik asit, çivit ve kazein	arpa suyu, keten tohumu yağı, bitkisel yağ, çivit, inek sütü
H-6	tannik asit, bezir yağı, linoleik asit ve boncuk tutkalı	arpa suyu, boncuk tutkalı, keten tohumu yağı, bitkisel yağ

HPLC analizine göre organik katkı türü bakımından, H-1 ve H-4 grubu harçlar ile H-2 ve H-3 grubu harçlarının birbirine benzer olduğu görülmüştür. H-1 ve H-4 gruplarında tannik asit, boncuk tutkalı, bezir yağı, kazein ve linoleik asit; H-2 ve H-3 gruplarında ise proteaz, kazein ve boncuk tutkalı bulunmaktadır. II. bölgeye ait H-5 kireç

harcı ve H-6 alçı harcında ise, benzer olarak tannik asit, bezir yağı ve linoleik asit bulunmaktadır. Farklı olarak, H-5 kireç harcında çivit ve kazein, H-6 alçı harcında boncuk tutkalı kullanılmıştır (ayrıntılı bilgi için Bkz. EK-6e). Tüm horasan harçlarında bulunan ortak katkılar ise boncuk tutkalı, kazein ve bezir yağıdır. Bu durum, tüm horasan harçlarına tutkal, süt ve yağ ilave edildiğini göstermiştir. Diğer taraftan, II. bölgedeki kireç ve alçı harçlarına ise benzer olarak arpa suyu, keten tohumu yağı ve bitkisel yağ katıldığı görülmüştür.

Kale harçlarında bulunduğu tespit edilen kazein, inek sütündeki proteinlerin yaklaşık %80'ini oluşturan bir fosfoproteindir ve kaynağı inek sütüdür (Çetin, Avşar ve Ulusoy, 2011, s. 24). Tannik asit, arpa, çay, kakao, fasulye, üzüm ve çilek gibi birçok meyve ve sebzede bulunur (Aydın ve Üstün, 2006, s. 25; Ergezer ve Çam, 2008, ss. 229-232). Tannik asit içeren diğer kaynaklar ise ısırgan çayı, üzüm suyu, zeytin ve zeytin yağıdır (Yıldız, 2017).

Boncuk tutkalı, hayvanların deri, kemik ve kıkırdaklarından elde edilmektedir. Rengi sarı ve koyu kahverengi olup, şeffaftır. Deri tutkalı, kemik tutkalı ve deri kemik karışımı, karışık tutkal olmak üzere farklı çeşitleri vardır. En çok üretilen ve kullanılan türü, karışık tutkal çeşididir. En iyi karışık tutkal, %30 deri ve %70 kemik karışımı içermektedir. Linoleik asit, çoklu doymamış yağ asididir ve çoğunlukla organik hücre zarlarında mevcut olan yağlarda bulunur. Linoleik asit, en çok bitkisel yağlar ve tohum yağında yaygındır. Örneğin, linoleik asit, ayçiçeği tohum gelişiminin tüm aşamalarında yağın ana bileşenini oluşturmaktadır (Karaca ve Aytaç, 2007, s. 123). Palmitik asit ise doymuş yağ asididir ve genelde bütün bitki ve hayvan yağlarında bulunur. Birçok balık yağında % 10, pamuk yağında % 20 ve hurma yağında % 40 oranlarında bulunur (http: 20). Bezir yağı, zeyrek ve keten yağı olarak da bilinir ve keten tohumundan elde edilir. Çivit, en eski boya olan çivit mavisi, çivit fidanı, çivit otu, bitki kökleri, sumak ağacı veya arı ve böceklerden elde edilmiştir (Aydın, 2011, s. 3, Böke vd., 2004, ss. 90-95). Proteaz ise, bakteriyel kökenli bir enzim olup, bitki, hayvan ve mikrobiyal kaynaklardan elde edilebilir. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan enzimlerden proteaz; unlu ürünlerde (ekmekçilikte), geleneksel fermente ürünlerde, bira, peynir ve etin olgunlaştırılmasında, balık proteininin çözünürlüğünün arttırılmasında, klinik ve biyokimya alanlarında kullanılmaktadır (Topal, Pembeci ve Borcaklı, 2000, ss. 79-93).

Kolajen, hayvan deri ve kemiklerinden elde edilen kolajen proteininin enzimatik veya asidik hidroliz yolla parçalanması sonucu oluşan, suda çözünür formdaki protein hidrolizatıdır (Bilek ve Bayram, 2015). Pektin, suda erime özelliği olan, uygun ortam şartlarında şeker ve asitle jelimsi bir yapı oluşturan kompleks yapılı şekerlerdir. Pektin bitkisel kaynaklı bir madde olup, miktarı meyve ve sebzeye göre farklılık göstermektedir. Tarımsal endüstri artıkları olan, elma posası, portakal kabuğu, ayçiçeği tablası ve şeker pancarı posası önemli miktarda pektin içermektedir (Muslu, 2016, s. 1).

5.2.5. Mineralojik ve petrografik özellikler

5.2.5.1. *XRD analizi sonuçları*

Kaledeki harçların mineralojik faz kırınım grafikleri EK-6f'te verilmiş ve Çizelge 5.62'de özetlenmiştir. Buna göre, H-1 grubu harcın kompozisyonunda smektit, illit/mika, amfibol, serpantin, kuvars, feldispat, kalsit, hematit ve dolomit mineralleri bulunduğu belirlenmiştir. Kalsit mineralinin pik şiddetinin çok güçlü olması, bu harcın bağlayıcısının kireç esaslı olduğunu göstermiştir.

H-2 grubu harç grubunun illit/mika, amfibol, serpantin, kuvars, feldispat, kalsit, hematit ve dolomit mineralleri içerdiği belirlenmiştir. Kalsit mineralinin pik şiddeti, bu harcın bağlayıcısının kireç olduğunu göstermiştir.

H-3 grubu harçlarda smektit, mika, amfibol, serpantin, kuvars, plajiyoklas feldispat, alkali feldispat, hematit, kalsit ve dolomit mineralleri bulunmaktadır. Bu harç grubunda da kalsit fazının pik şiddetinin oldukça güçlü olması, harcın kireç esaslı olduğunu göstermiştir.

H-4 grubu horasan harç grubu smektit, mika, amfibol, serpantin, kuvars, feldsipat, kalsit ve dolomit minerallerini içermektedir. Ayrıca, 1H-9 harcının hematit içerdiği de görülmüştür.

H-5 grubu kireç harçlarında başta kuvars ve kalsit olmak üzere, dolomit, serpantin, feldispat, amfibol, mika ve smektit mineralleri bulunmaktadır. Kireç harcında, horasan harçlarından farklı olarak kuvars pikinin şiddetinin, kalsit piki kadar güçlü olduğu görülmektedir. Bu durum XRF analizinde bu harç grubunun SiO_2 oranı en yüksek olması sonucu ile uyum göstermiştir. H-5 harcı, horasan harcı olmadığı, yani pişmiş kil parçası içermediği için, bünyesinde hematit minerali de tespit edilmemiştir. Serpantin ve kuvars pikleri, harcın içindeki agregaların serpantin ve silis esaslı olduğunu göstermiştir.

Çizelge 5.62. *Kaledeki harçların mineralojik kompozisyonu*

Grup Adı	smc	ill/mca	am	srp	qtz	fs	cal	dol	ol	ilm	hem	bas
H-1	+	+	++	++	++	-	++++	++	-	-	+	-
H-2	-	+	+	++	+++	++	++++	+	-	-	+	-
H-3	+	++	++	++	+++	+++	++++	+	-	-	+	-
H-4	+	+	++	+	++	+++	++++	+	-	-	+	-
H-5	++	+	+	++	++++	++	++++	++	-	-	-	-
H-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++++

Mineral ismi kısaltmaları için Bkz. EK-1. + : Minerallerin göreceli bolluğu, -: mineral yoktur.

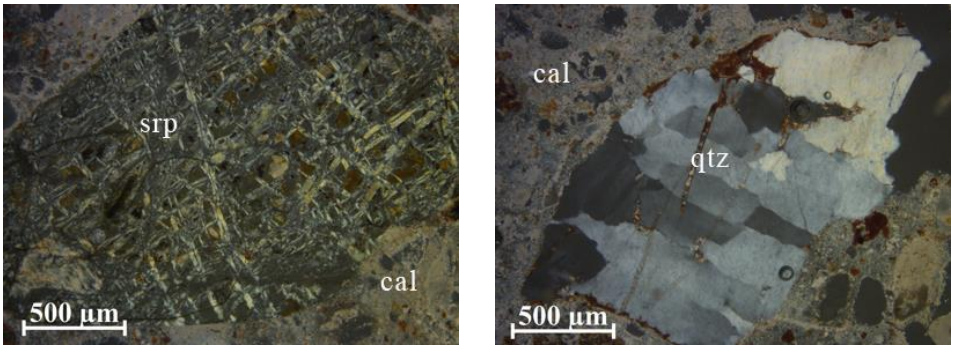
H-6 grubu alçı harcı grubunda sadece bazanit minerali bulunduğu belirlenmiştir. Bazanit minerali ($CaSO_4.1/2H_2O$) alçının ısıtılması ve su kaybetmesi ile elde edilmektedir. Bu mineral doğada nadir olarak bulunmakla birlikte, Paris alçısınını temel bileşenidir (Yamamoto ve Kennedy, 1969, s. 550). Dolayısı ile bu gruptaki alçı harçlarının Paris alçısı olduğu tespit edilmiştir. XRF analizinde harçlarda SiO_2 bulunduğunun belirlenmesine rağmen, kuvars mineralinin bazanit fazı tarafından baskılandığı görülmüştür.

Mineralojik analize göre, kale harçlarında bulunan ortak mineraller kalsit, kuvars, feldispat, serpantin, amfibol ve mikadır. Harçlarda bulunan diğer mineraller ise dolomit, piroksen, smektit ve magnetittir. Horasan ve kireç harçlarında tespit edilen kalsit minerali, bu harçlarda bağlayıcı malzeme olarak kireç kullanıdığını; H6 harcında tespit edilen bazanit minerali de, harçta bağlayıcı malzeme olarak alçı kullanıldığını göstermiştir.

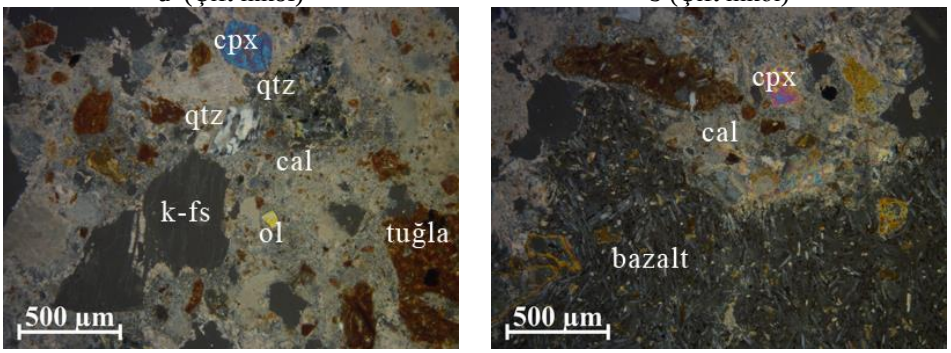
5.2.5.2. *İnce kesit analizi sonuçları*

Kaledeki H-1 horasan harcının ince kesit fotomikrografları Görsel 5.39'da verilmiştir. Görsel 5.39a'da serpantin ve kalsit, Görsel 5.39'de iri kuvars mineralleri ve kalsit, Görsel 5.39c'de kuvars, alkali feldispat, tuğla parçası, olivin, klinopiroksen mineralleri, Görsel 5.39d'de kalsit, klinopiroksen ve plajiyoklas (ojit) minerali içeren kaba boyutlu bir bazalt parçası görülmektedir.

H-2 grubu horasan harcı grubunun ince kesit fotomikrografı Görsel 5.40'ta verilmiştir. Görselden harcın içinde kaba boyutlu serpantinit, kalkerli kumtaşı ve bir mermer parçası ile pişmiş kil kırıklarının bulunduğu görülmektedir.

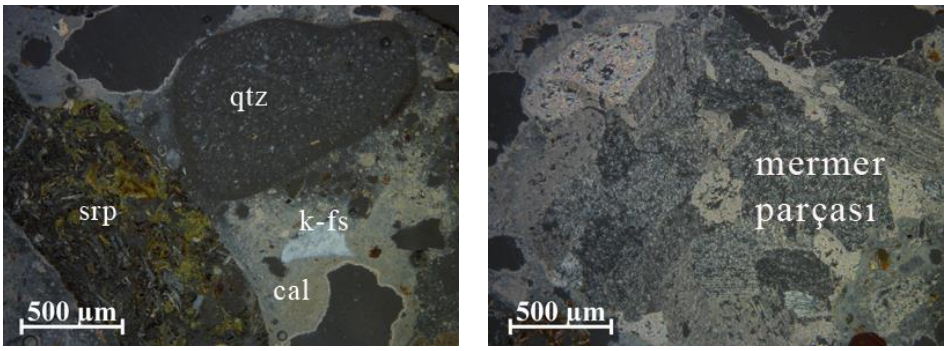


a (Çift nikol) b (Çift nikol)

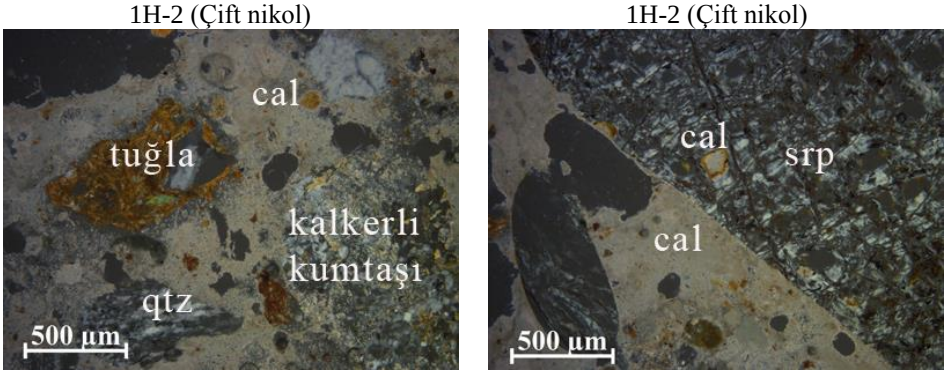


c (Çift nikol) d (Çift nikol)

Görsel 5.39. *H-1 grubu harcın ince kesit fotomikrografları*



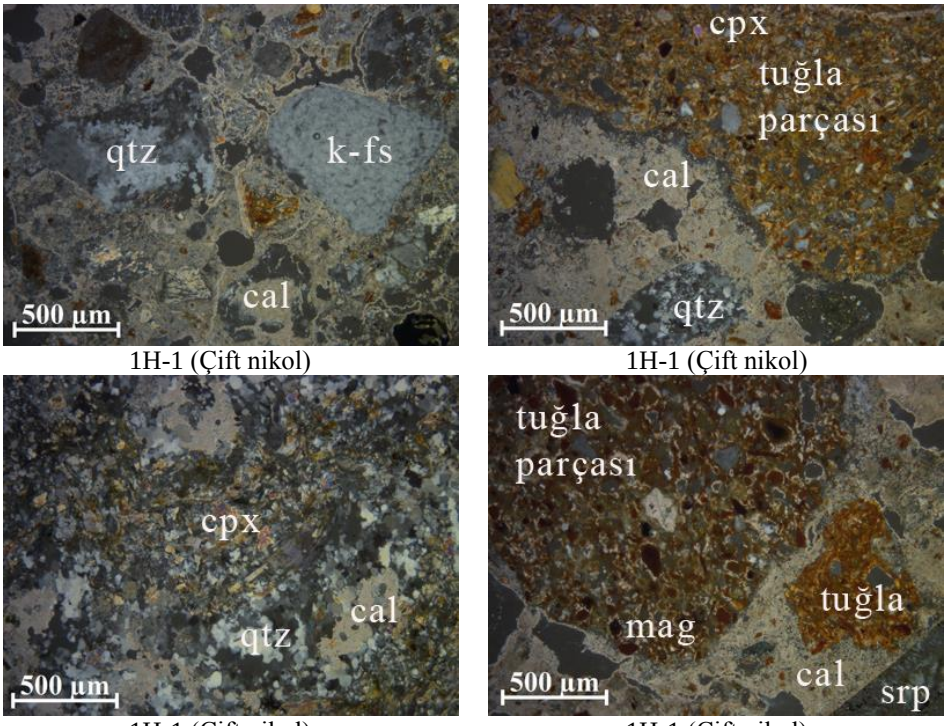
1H-2 (Çift nikol) 1H-2 (Çift nikol)



1H-6 (Çift nikol) 1H-6 (Çift nikol)

Görsel 5.40. *H-2 grubu harçların ince kesit fotomikrografları*

H-3 grubu horasan harçlarının ince kesit fotomikrografları Görsel 5.41'de verilmiştir. İnce kesitlerden harcın içinde kuvars, feldispat, kalsit, piroksen ve magnetit minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ince kesitlerden harcın içinde farklı özelliklerdeki pişmiş kil parçalarının kullanıldığı görülmektedir.

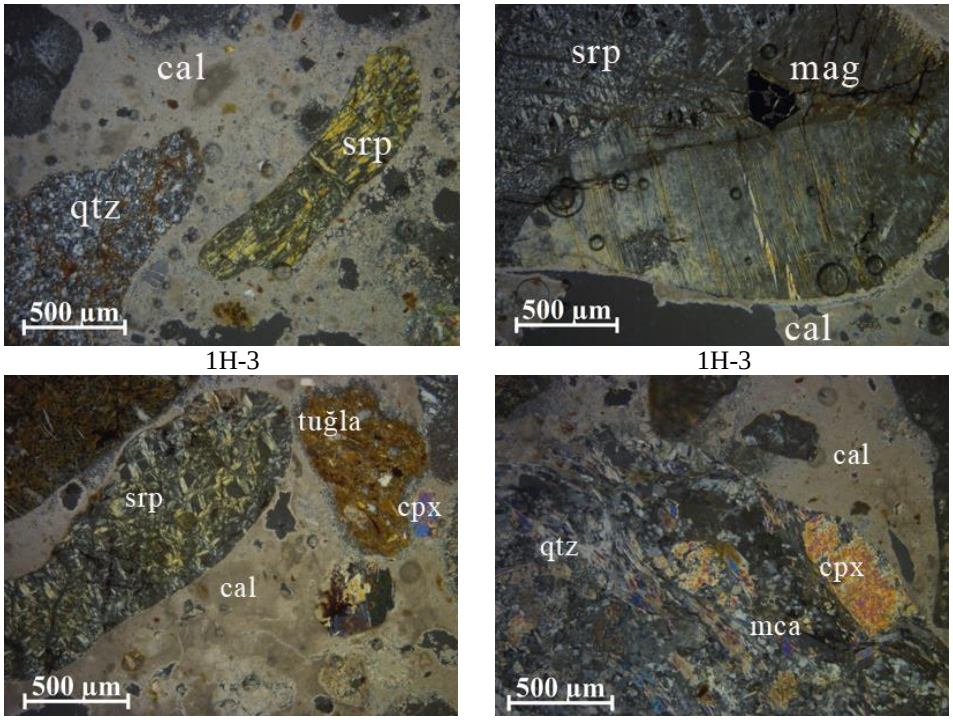


1H-1 (Çift nikol) 1H-1 (Çift nikol)

1H-1 (Çift nikol) 1H-1 (Çift nikol)

Görsel 5.41. *H-3 grubu harçların ince kesit fotomikrografları*

H-4 grubu horasan harçlarının ince kesit fotomikrografları Görsel 5.42'de verilmiştir. İnce kesitlerde kalsit, kuvars, serpantin, piroksen ve magnetit mineralleri bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, görselden harcın içinde serpantinit, mikro taneli kuvarsit ve mikalı kumtaşı türü kayaçlar ile pişmiş kil parçası bulnuduğu da görülmektedir.



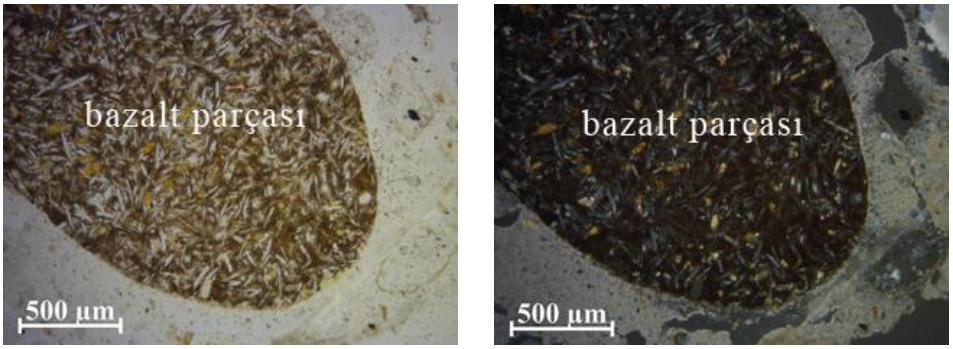
1H-3 1H-3

1H-9 1H-9

Görsel 5.42. *H-4 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları (Çift nikol)*

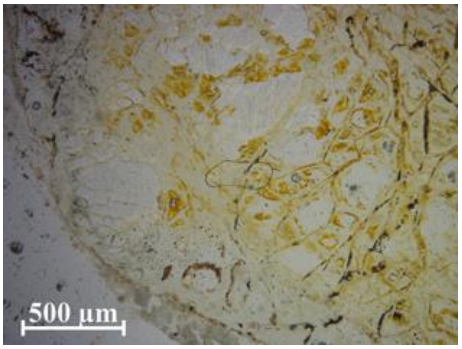
H-5 grubu kireç harçlarına ait ince kesit mikrografları Görsel 5.43'te verilmiştir. 5.43a'da kaba bir bazalt parçası, 5.43b'de kaba bir serpantinit parçası, 5.43c iri plajiyoklas minerallerinden oluşan bir gabro kayaç parçası, 5.43d'de kireç hamuru içinde ince taneli bir kuvarsit/kalsedon parçasının tek ve çift nikol görünümleri yer almaktadır. Görüldüğü gibi, II. bölgedeki harçlarda farklı kökenli doğal taşlar kullanılmıştır.

H-6 grubu alçı harçlarının ince kesitlerinin tek ve çift nikol fotomikrografları Görsel 5.44'te verilmiştir. Buna göre 5.44-a'da harcın içindeki iri ve orta büyüklükteki gözenekler, Görsel 5.44-b'de bir feldispat minerali görülmektedir.

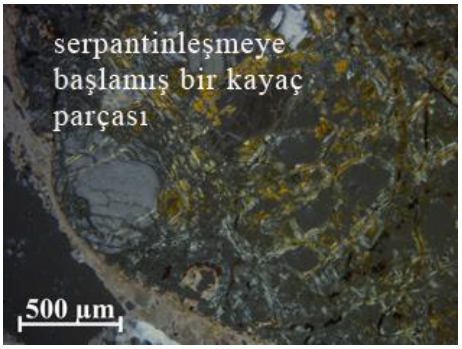


a1 (Tek nikol) a2 (Çift nikol)

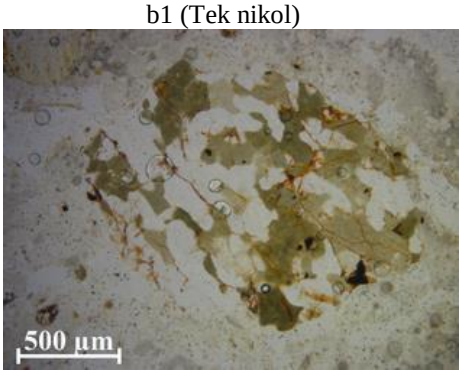
Görsel 5.43. *H-5 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları*



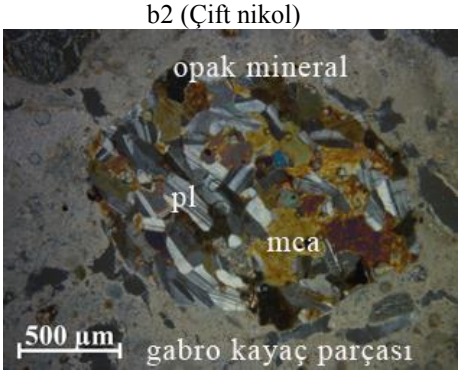
b1 (Tek nikol)



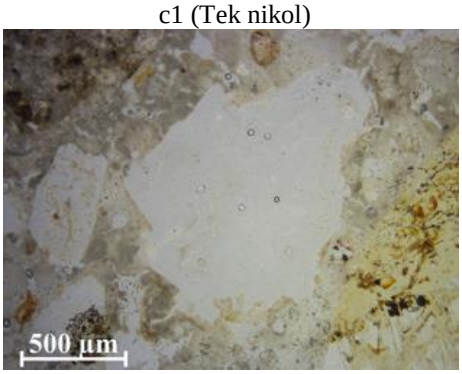
b2 (Çift nikol)



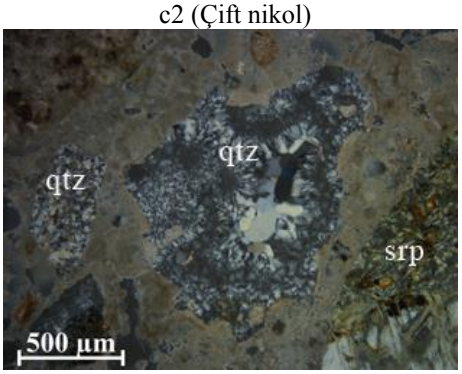
c1 (Tek nikol)



c2 (Çift nikol)

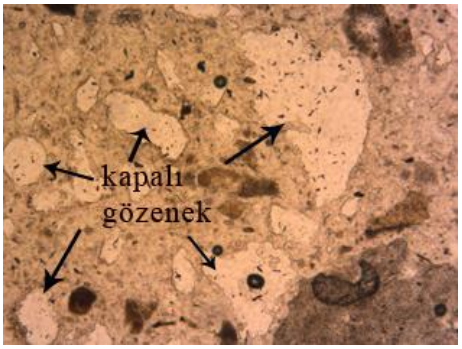


d1 (Tek nikol)



d2 (Çift nikol)

Görsel 5.43. (Devam) *H-5 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları*

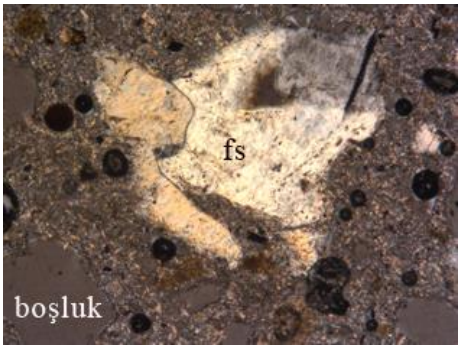


a1 (Tek nikol)

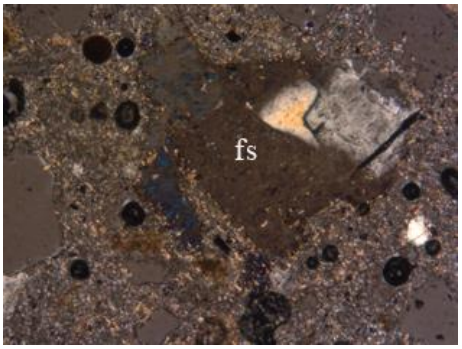


a2 (çift nikol)

Görsel 5.44. *H-6 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları*



b1 (Çift nikol)



b2 (Çift nikol)

Görsel 5.44. (Devam) *H-6 Grubu harçların ince kesit fotomikrografları*

5.2.6. Harçlar ile ilgili değerlendirme

Karacahisar kalesinin harçlarının fiziksel özellikleri özet olarak Çizelge 5.63'te, tarihi Yoros kalesine ait horasan harçlarının özellikleri Çizelge 5.64'te verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, Yoros kalesine ait harçların düşük yoğunluğa ve yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Agrega olarak tüf ve tuğla tozu içeren bu harçlarda, yumurta akı bulunduğu tespit edilmiştir. XRD analizinde bu harçlarda tespit edilen mineraller başta kalsit olmak üzere, kuvars, vaterit, albit ve anortit olmuştur (Kurugöl ve Güleç, 2012).

Çizelge 5.63. *Karacahisar kalesine ait harçların özellikleri*

Harç türü	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	A_b (%)	p_0 (%)	p (%)	UCS (MPa)	E_{mod} (GPa)
Horasan harcı	1,55-2,02	2,58-2,74	10,8-22,2	21,8-34,2	26,4-41,6	3,8-9,5	3,7-8,1
Kireç harcı	1,74	2,58	15,6	27,2	32,5	2,65	2,5
Alçı harcı	1,49	2,60	8,7	12,9	42,8	t.e.	7,4

Çizelge 5.64. *Yoros kalesinde kullanılan harçların özellikleri (Kurugöl ve Güleç, 2012)*

Örnek adı	ρ_b (g/cm^3)	A_b (%)	p_0 (%)	E_{mod} (GPa)	UCS (MPa)
YA	1.61-1.82	16.3-21.7	29.6-35.0	11.2-19.0	9.5-12.8
YB	1.55-1.64	20.7-22.5	33.9-35.0	9.5-11.3	7.0-8.3
YC	1.57-1.83	15.4-22.4	15.4-22.4	8.3-21.5	6.3-8.2
YD	1.61-1.74	16.7-21.7	16.7-21.7	9.9-15.6	9.1-15.1

Konya'da bazı Selçuklu dönemi yapılarında kullanılan tarihi kireç harçların yoğunluğu 1,43-1,76 g/cm^3 arasında, gözenekliliği %33,2-43,8 arasında, Elastisite

modülü değeri 1,1-2,7 GPa arasında, eşdeğer tek eksenli basınç dayanımı da 4-17 MPa arasında olduğu tespit edilmiştir. Harçların agrega bileşeni oranları %29,5-49,3 arasında ve agrega boyutu çoğunlukla orta (250-500 μm) ve ince (<250 μm) boyutlu olduğu belirlenmiştir. Harçların ince agregalarının elektriksel iletkenlik farkı genel olarak 3,0 μS/cm'nin üstünde olduğu için, puzolanik karaktere sahiptir (Tunçoku, 1993, 2001). Karacahisar kalesindeki kireç harcı grubunun özelliklerini Konya'daki harçlar ile karşılaştırıldığında, fiziksel ve mekanik özelliklerinin benzer olduğu, yalnız tek eksenli basınç dayanımı açısından daha zayıf olduğu görülmüştür.

Karacahisar kalesine ait tarihi horasan harçları, gözeneklilik (%26,4-42,8) ve yoğunluk değerleri (1,49-2,02 g/cm^3) diğer tarihi horasan harçlarına benzer iken, bu harçlardan çakıl boyutunda agrega içermesi ile farklılaşmıştır. Kaledeki harçlar, diğer tarihi harçlar gibi hidrolik karaktere sahip olup, elastisite modülü değerleri Yoros kalesindeki harçlara benzemektedir. Diğer taraftan, çalışmadaki harçların elastisite modülleri Yoros kalesindeki harçlardan daha düşük, horasan harçlarından beklenileceği üzere Konya'daki Selçuklu dönemi kireç harçlarından daha yüksek değere sahiptir. Karacahisar kalesindeki harçlar kendi içinde karşılaştırıldığında, horasan harçlarının kireç harçlarından daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

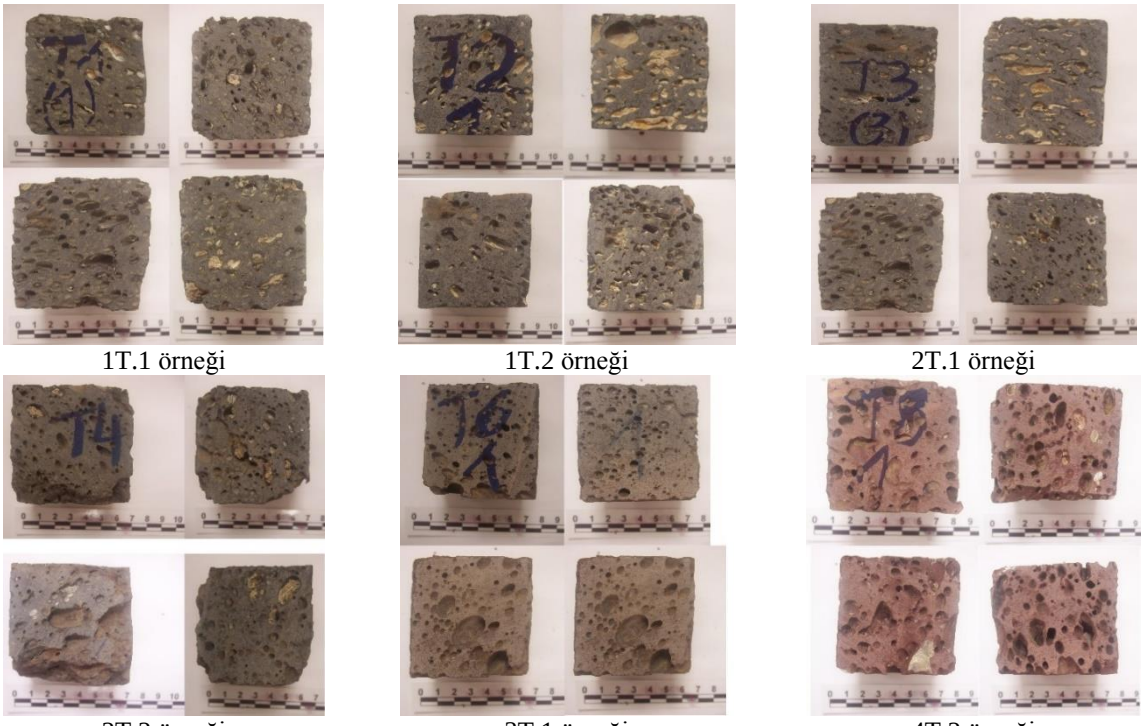
5.3. Doğal Taşların Karakteristik Özellikleri

5.3.1. Görsel özellikler

Karacahisar kalesinin temel yapı malzemesi olan bazalt taşlarından her bölgeden iki adet, toplam sekiz adet bazalt taşı analiz edilmiştir. Bazalt örneklerinden yedisi siyah renkli, biri kırmızı renklidir (4T.2). Doğal taşların oldukça boşluklu bir yapıya sahip olduğu ve gözeneklerinin bazılarının boş, bazılarının ise beyaz renkli dolgu ile dolu olduğu gözlenmiştir. Görsel 5.45'te iki renge sahip olan oldukça büyük (≈40x60 cm) bir bazalt taşı, Görsel 5.46'da deney için hazırlanan örnekler gösterilmiştir.



Görsel 5.45. *İki renkli bir bazalt taşı örneği*



1T.1 örneği | 1T.2 örneği | 2T.1 örneği

2T.2 örneği | 3T.1 örneği | 4T.2 örneği

Görsel 5.46. *Bazalt taşlarından deney için hazırlanan bazı örnekler*

5.3.2. Fiziksel ve mekanik özellikler

Karacahisar kalesindeki bazalt taşlarının fiziksel özellikleri Çizelge 5.65'te özet olarak ve karakteristik özellikleri ile ayrıntılı bilgiler Ek-7'de verilmiştir. Buna göre, bazalt taşlarının ortalama atmosfer basıncı altındaki kütlece su emme yüzdesi %3,3, açık gözenekliliği %7,3, toplam gözenekliliği %20,1 ve doluluk yüzdesi %79,9'dur. Bazaltın ortalama görünür yoğunluğu 2,23 g/cm^3, gerçek yoğunluğu ise 2,79 g/cm$^{3'}$dir. Fiziksel analiz neticesinde bazaltların çok fazla boşluklu yapıya sahip olduğu ve görünür yoğunluk değerine göre normal ağırlıkta olan yapı malzemesi sınıfına ait olduğu görülmüştür (Cormon, 1973; Tarhan, 1989).

Çizelge 5.65. *Kaledeki bazaltın fiziksel özellikleri*

Taş türü	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
Bazalt	3,3 ± 1,0	7,3 ± 2,0	2,23 ± 0,11	2,79	20,1	79,9

Bazalt taşlarının mekanik özellikleri Çizelge 5.66'da verilmiştir. Buna göre doğal taşların ortalama tek eksenli basınç dayanımı 21,2 MPa, ultrasonik ses hızı 3,5 km/s, Elastisite modülü 17,4 GPa ve yüzey sertliği değeri 32'dir. Basınç dayanım sınıflamasına göre, bazalt taşının çok düşük dirençli (1-25 MPa, Deere and Miller, 1966) gruba ait olduğu anlaşılmıştır . Sertlik sınıflamasına göre Karacahisar bazaltları sert yüzeye sahiptir ve ultrasonik dalga hızı kriterlerine göre, orta hız grubuna aittir.

Çizelge 5.66. *Kaledeki bazaltın mekanik özellikleri*

Taş türü	UCS (MPa)	Emod (GPa)	Schmidt sertliği
Bazalt	21,2	17,4	32

Kayaçlar için belirlenen dayanıklılık kriterleri Çizelge 5.67'de verilmiştir. Buna göre, bazalt taşı gerçek yoğunluğa göre mükkemmel sınıfa ait olmasına rağmen, su emme yüzdesi ve ultrasonik ses hızına göre orta sınıfa, toplam gözeneklilik, tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt darbe dayanımı açısından zayıf sınıfa ait olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.67. *Kayaçların dayanıklılık kriterleri (Ciria, 2007)*

Özellik	Mükemmel	İyi	Orta	Zayıf	Kaledeki bazalt taşı
Gerçek yoğunluk (g/cm^3)	> 2.7	2.5- 2.7	2.3-2.5	< 2.3	2,79
Su emme (%)	< 0.5	0.5-2.0	2.0 – 6.0	> 6.0	3,3
Toplam gözeneklilik (%)	< 2	2 - 6	6 - 20	> 20	20,1
Basınç dayanımı (MPa)	> 120	120-80	80-60	< 60	21,2
Schmidt darbe dayanımı	> 60	50 - 60	40 - 50	< 40	32
Ultrasonik hız (km/sn)	> 6	4.5 – 6	3- 4.5	< 3	3,53

5.3.3. Kimyasal özellikler

Kaledeki bazalt taşlarının kızdırma kaybı deney sonuçları Çizelge 5.68'de verilmiştir. Buna göre, bazalt taşının 105ºC, 550ºC ve 1050ºC'lerdeki kızdırma kayıplarının %1'den az, toplam kızdırma kaybı %1 ve $CaCO_3$ yüzdesi %0,8'dir.

Puzolanik aktivite analizine göre ise, bazalt taşının puzolanik aktivite özelliğine sahip olduğu, ancak iyi puzolan sınıfına girmediği belirlenmiştir.

Çizelge 5.68. *Kaledeki bazaltın kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analiz sonuçları*

Taş Türü	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
Bazalt	0,3	0,6	0,4	1,0	0,8	0,45

Kaledeki bazalt taşının elementel oksit yüzdeleri Çizelge 5.69'da verilmiştir ve buna göre doğal taşta bulunan majör oksitler Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O ve TiO_2, minör oksitler de BaO, Cr_2O_3 ve P_2O_5'tir. Bazaltta bulunan Fe_2O_3 yüzdesinin tuğlaların içerdiği Fe_2O_3'ten daha az olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.69. *4T.2 kodlu bazaltın kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

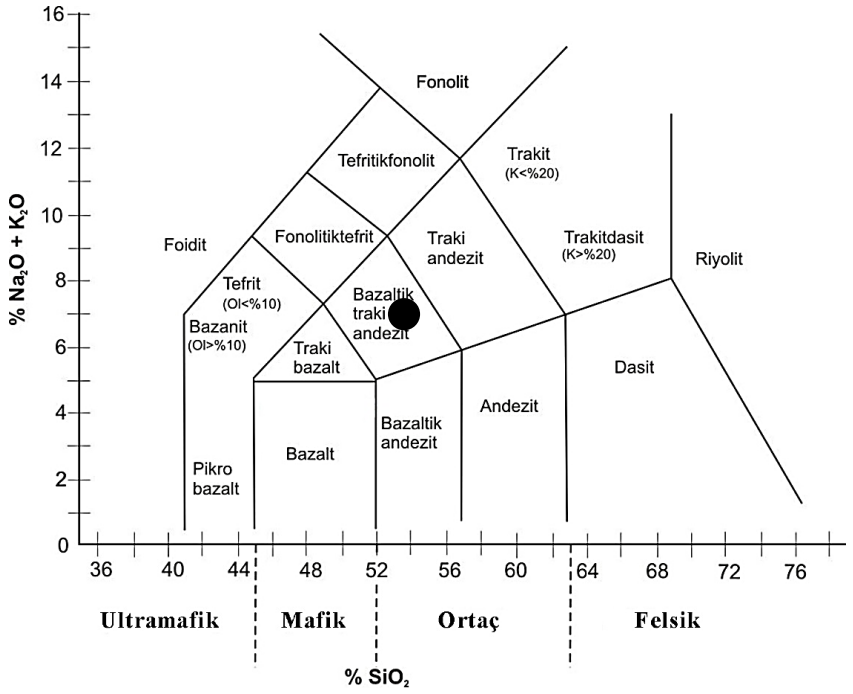
Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	BaO (%)	Cr_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	Σ Oksit	Σ KK
16,8	54,0	7,2	7,3	4,3	3,6	3,6	1,1	0,3	0,1	0,5	99,0	1,0

Doğal taşların kimyasal özellikleri, doğal taşların sınıflandırılmasında önemli rol oynamaktadır ve mağmatik kayaçlar kimyasal bileşimlerindeki silis (SiO_2) yüzdesine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilmektedir (Bkz. Çizelge 5.70). Buna göre, bazalt taşının silise doygun, ortaç karakterli veya nötr olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.70. *SiO_2 yüzdesine göre mağmatik kayaç sınıfları (Öngen, 2013, s. 148)*

SiO_2 (%) yüdesi	Kayaç Tanımı
> %65	Silise çok doygun, felsik (asidik) karakterli
% 52-65	Silise doygun, ortaç karakterli, nötr
% 45-52	Silise doymamış, mafik (bazik) karakterli
< 45	Ultramafik (ultrabazik) karakterli

Volkanik kayaçların toplam alkali yüzdesi ve silisyum yüzdesinde göre bir sınıflandırma yöntemi Şekil 5.41'de verilmiştir. Şekildeki kriterlere göre, bazalt taşı bazaltik trakiandezit grubuna aittir.

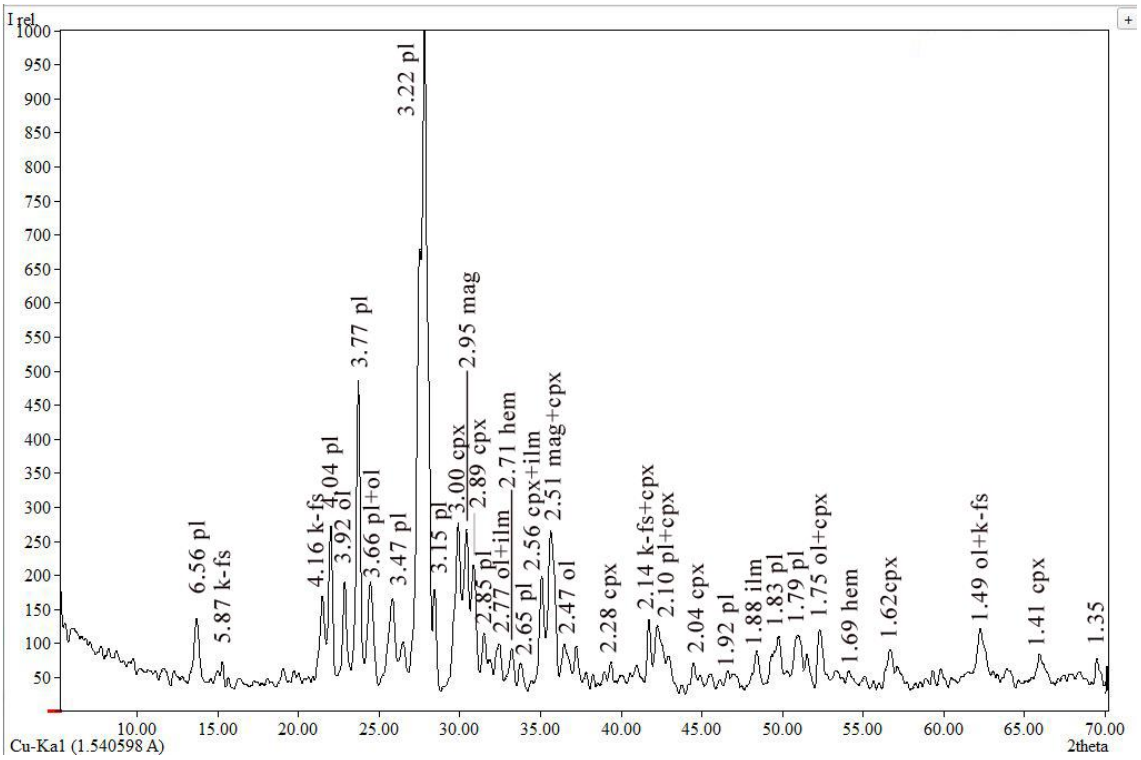


Şekil 5.41. *Volkanik kayaçların toplam alkali-silis içerikleri temelinde kimyasal sınıflaması (Le Maitre vd., 1989)*

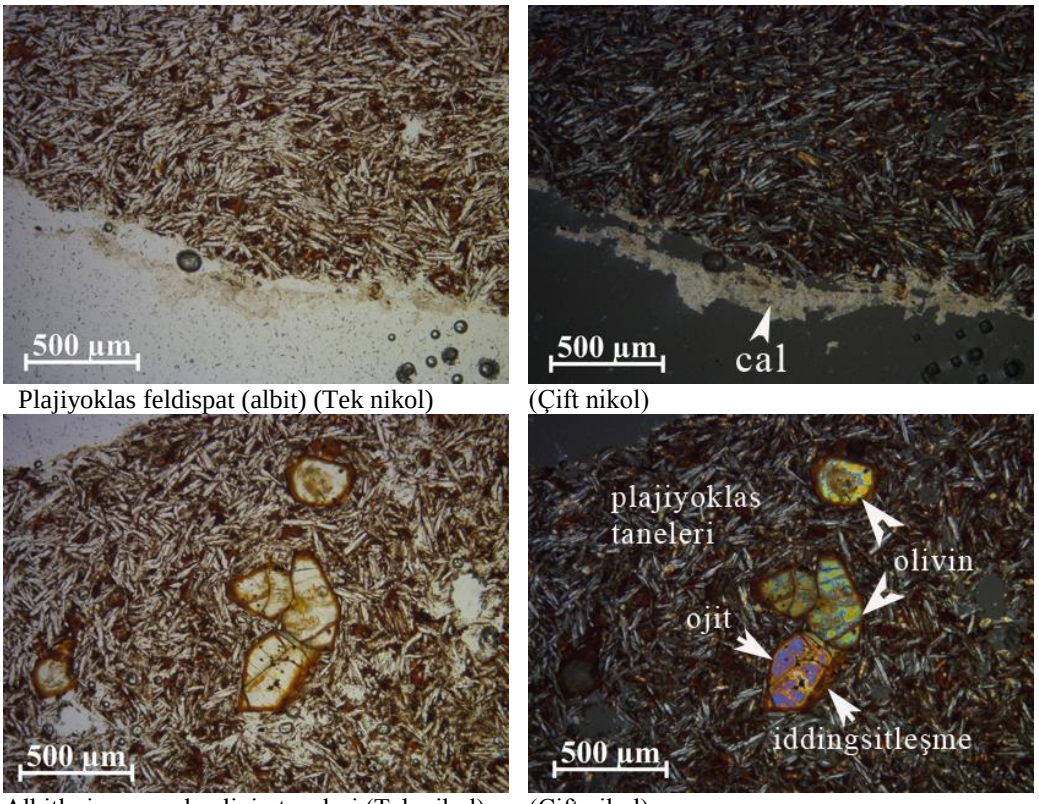
5.3.4. Mineralojik ve petrografik özellikler

Kaledeki bazalt taşının mineralojik faz kırınımı Şekil 5.42'de verilmiştir. Buna göre, bazaltın mineralojik kompozisyonu feldispat, olivin, ilmenit, hematit, magnetit ve piroksen (ojit) minerallerinden oluşmaktadır. Şekilde özellikle feldispat fazının oldukça baskın olduğu görülmektedir. Bu mineralleri bazaltın ince kesitlerinde de görmek mümkün olmuştur.

Siyah ve kırmızı bazalt taşının ince kesit fotomikrografları Görsel 5.47'de verilmiştir. Görselde siyah bazalta ait plajiyoklas taneleri ve gaz boşluğunun çeperindeki karbonat eriyiği, iddingsitleşmiş olivin ve ojit kristalleri ile gaz boşluğunun içindeki dolgu görünmektedir. İnce kesit analizleri sonucunda, kalede kullanılan bazalt taşının "olivin-bazalt" türü olduğu belirlenmiştir.



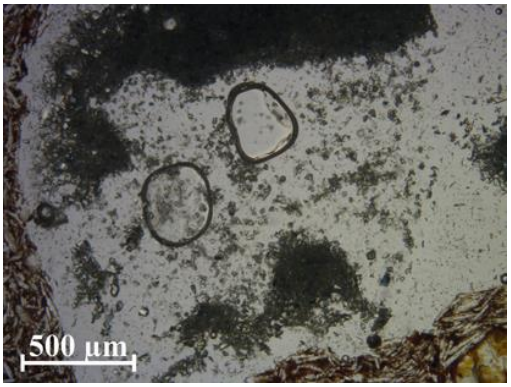
Şekil 5.42. *Kaledeki 4T.2 örneğinin mineralojik faz kırınımı*



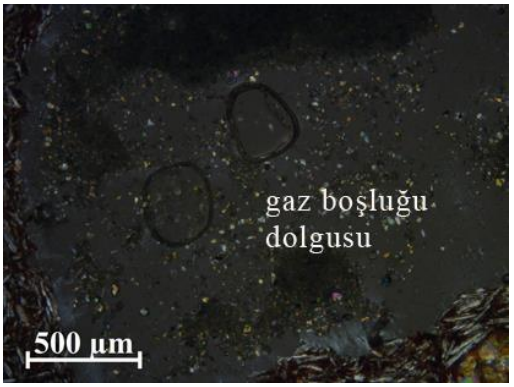
Plajiyoklas feldispat (albit) (Tek nikol) (Çift nikol)

Albitlerin arasında olivin taneleri (Tek nikol) (Çift nikol)

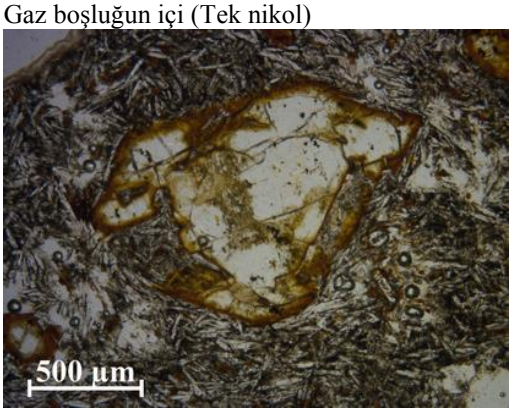
Görsel 5.47. *Kaledeki bazaltın ince kesit fotomikrografları*



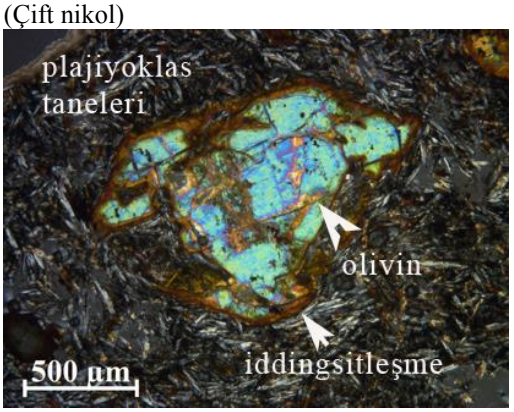
Gaz boşluğun içi (Tek nikol)



(Çift nikol)



Albit dokusu içinde iddingsitleşmiş olivin (Tek nikol)



(Çift nikol)

Görsel 5.47. (Devam) *Kaledeki bazaltın ince kesit fotomikrografları*

6. GENEL DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER

Karacahisar kalesinde kullanılan doğal taş, pişmiş kil ürünler ve harç olarak özetlenebilecek tez çalışmasının omurgasını oluşturan yapı malzemeleri; hammadde seçimi, kompozisyonu ve hazırlama yöntemleri açısından zengin bir çeşitlilik sunmaktadır. Bu bölümde her malzeme türü tezde elde edilen bulgular ışığında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin sonucunda, tarihi yapıların korunması bağlamında Karacahisar kalesinde bundan sonra yapılabilecek çalışmalar konusunda öneriler getirilmiştir.

6.1. Pişmiş Kil Ürünlerin Özellikleri

Kalınlıkları 20-50 mm arasında değişen ve yığma yapı tuğlası, zemin kaplama tuğlası ve kiremit olmak üzere sınıflanan pişmiş kil ürünler içinde 32 tipe ayrılabilen yığma yapı tuğlaları (20-50 mm) en fazla çeşitlilik sunan gruptur. Bunu 12 tipe ayrılan ve kalınlığı 20-30 mm arasında değişen zemin kaplama tuğlaları ve yine kalınlığı 20-30 mm arasında değişen kiremit grubu izlemektedir.

6.1.1. Görsel özellikler

Kaleden elde edilen pişmiş kil ürünlerin tamamına yakın kısmı parçalanmıştır. I. bölgenin güney burcundan düşen 34x42x5 ebatlı yığma yapı tuğlası ile II. bölgede bulunan 33x32,5x2,5 ve IV. bölgede bulunan 53x34x2,5 cm boyutlarındaki zemin tuğlaları dışında malzeme boyutları tespit edilememiştir.

Pişmiş kil örneklerde, mikroskopla yapılan görsel incelemelerde yüksek oranlarda taş kırıkları, bazılarında da taş kırıkları ile birlikte kil topakları ve pişmiş kil kırıkları izlenmiştir. Pişmiş kil ürünlerin hiç birinde mühür, yazı yada tarih görülmemiştir. Buna karşın, bazı yığma yapı tuğlalarının alt yüzlerinde üç parmakla yapılmış S şeklinde veya düz çizgisel izler, bazı zemin kaplama tuğlalarında gözlenen harç cepleri ve kanallar tuğla/harç arayüzünde sağlıklı bir aderans ve kaymazlığın sağlandığını göstermektedir. İç bükey profile sahip ve üzerinde bir takım kanalların olduğu kiremitlerin bazılarının kalınlığı sabit iken, bazılarında kalınlık kanallara doğru incelmektedir.

6.1.2. Fiziksel özellikler

Karacahisar kalesinde kullanılan yapı tuğlaları genellikle düşük yoğunluklu, dolayısıyla da oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir. En az gözenekli örnekler yüksek oranda kaba taş kırıklarının izlendiği örneklerdir. Ürün kalınlıklarındaki azalma ve içerikteki safsızlık boyutlarındaki düşüş ile gözeneklilik artmaktadır. Konu ile ilgili yazında yer alan başka tarihi yapı tuğlaları ile karşılaştırıldığında, Karacahisar kalesi tuğlalarındaki yüksek yoğunluk nedeninin incelenen örneklerdeki görece yüksek miktardaki Fe_2O_3 oranından kaynaklandığı düşünülmüştür.

6.1.3. Mekanik özellikler

Başka tarihi yapı tuğlaları ile karşılaştırıldığında, Karacahisar kalesi tuğlaları ve diğer pişmiş kil ürün türleri oldukça düşük basınç dayanımı, düşük elastisite ve az sayıdaki istisna dışında, düşük yüzey sertliğine sahiptir.

6.1.4. Kimyasal özellikler

Pişmiş kil ürünlerin içerdiği majör oksitler Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O, CaO, MgO ve TiO_2, minör oksitler ise BaO, MnO, Cr_2O_3 ve P_2O_5'tir. Yazında başka tarihi yapı tuğla kompozisyonlarına kıyasla çalışılan kale pişmiş kil ürünlerinde Fe_2O_3, CaO ve MgO oranlarının daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Kimyasal analize göre, pişmiş kil ürünlerin bir bölümü puzolanik özelliğe sahip değildir, bazı gruplar ise puzolanik özellik taşısa da, güçlü puzolanik özelliğe sahip değildir.

6.1.5. Mineralojik özellikler

Mineral ve mineral topluluğu olan kayaçların tür ve oluşumunu inceleyen mineraloji ve petrografi bilim dalları, sadece doğal taşlar konusunda değil, aynı zamanda tarihi malzemeler konusunda da oldukça yararlı bilgiler sağlamaktadır (Öngen, 2012, s. 35). Mineralojik kompozisyona göre tuğlalarda bulunan esas mineraller kuvars, feldispat, piroksen, amfibol, illit/mika, smektit, kalsit, hematit ve magnetit/maghemittir. Hatta, XRF analizindeki yüksek demir oksit yüzdelerinin, hematit ve magnetit minerallerinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. XRD analizi ile aynı gruptaki malzemeler farklı faz kırınımına sahip olabilmektedir. Bunun nedeni, tuğla örneklerinin homojen

olmayan bir ısı ortamda pişmesi veya tuğlaların ısı kaynağına olan uzaklıklarına bağlı olarak mineralojik yapısının değişebilmesidir. Mineralojik faz kırınım grafiklerinde, genelde ısı artışına bağlı olarak, illit/mika, amfibol, smektit ve kalsit minerallerinin piklerinde düşüş, anortit ve magnetit/maghemit piklerinde ise artış yaşanmıştır. Bunun nedeni mevcut minerallerinin yapısının bozunması ve yerine gehlenit, diopsit ve spinel türü gibi yeni minerallerin oluşmasıdır (Cultrone vd, 2001).

Kaledeki tuğla, zemin tuğlası ve kiremitlerin pişme dereceleri 900ºC'nin üstünde, 700-900ºC arasında, 550-700ºC arasında ve 550ºC'nin altında olarak çeşitlenmektedir. Sarı renkli tuğlaların, diğer tuğlaların içerdiği demir oksitin yarısı kadar demir oksit içerdiği ve bu tuğlaların XRD faz diyagramında hematit fazının oldukça zayıf olduğu, hatta bazen de bulunmadığı görülmüştür.

6.2. Harçların Özellikleri

Kalede; I. bölgede sur duvarı, burç ve payandalarda bazı özelliklerinde küçük farklar göstermekle birlikte, horasan harcı (4 adet), II. Bölgede kireç ve alçı olmak üzere üç tip harç kullanılmıştır.

Agrega kısımlarının kaba ve orta irilikteki kayaç kırıntıları ile pişmiş kil kırıklarından oluştuğu gözlenen Karacahisar kalesi harçları; kireç ve alçı bağlayıcılı olanlarda beyaz ve griden, horasan harçlarında ise pembeden, açık ve koyu kırmızıya kadar çeşitlenen renk dokusuna sahiptirler.

6.2.1. Fiziksel özellikler

En düşük yoğunluğun saptandığı alçı harcı dışında, yaklaşık 1,55-2,00 g/cm^3 yoğunluk ve %26-40 gözeneklilik değerine sahip Karacahisar kalesi harçlarının diğer benzer tarihi yapı harçları ile bu değerlerde önemli bir zıtlık göstermediği söylenebilir.

Örneklerin toplandığı iki bölge kendi içinde incelendiğinde, I. bölgedeki horasan harçları ile kireç ve alçı harcının bulunduğu II. bölgedeki harç türü farkı, bunların kullanıldığı bazı yapı elemanlarında bazı geç dönem müdahaleleri yada bu kısımlar arasında bir dönem farkını işaret edebilir. Ancak, bunun yapıda tarihi ve mimari verilerle birlikte değerlendirilmesi gerekir.

Kaledeki diğer harçlardan farklı olarak, olasılıkla kalenin bulunduğu tepe yakınındaki Porsuk nehrinden getirilen serpantin içerikli, yuvarak taş agreagaların yanı

sıra, bu kireç harçları içinde horasan harcı kırıklarına da rastlanmıştır. Bu durum da, yukarıda işaret edilen dönem farkı yada geç dönem müdahalesi olma ihtimalini destekler niteliktedir.

6.2.2. Mekanik özellikler

Boyut ve biçimlerinin test standardına uygun olmayışı nedeniyle yüzey sertliğinin, basınç dayanımı ve UPV ölçümlerinin yapılamadığı örnekler dışında, bu ölçümlerin yapılabildiği az sayıdaki örneklerden 2,65 MPa tek eksenli basınç dayanımı ve 2,56 GPa'lık elastisite ile kireç harcının, bu değerlerin daha yüksek olduğu (3,77-9,54 MPa tek eksenli basınç dayanımı ve 3,7-8,1 GPa elastisite modülü) horasan harçlarına kıyasla daha düşük dayanımda olduğu görülmüştür.

Harç fiziksel özelliklerinde olduğu gibi, Karacahisar kalesi harçları benzer bir kale yapısı harçları ile uyumlu mekanik özelliklere sahip olduğu söylenebilir.

6.2.3. Kimyasal özellikler

XRF analizine göre, Karacahisar kalesi harçlarında ana grubu oluşturan oksitler; başta SiO_2 ve CaO olmak üzere, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, Na_2O ve K_2O; minör oksitler ise TiO_2, Cr_2O_3, MnO, P_2O_5, Ag_2O, Cl, BaO ve SO_3'tür. Horasan harçlarından farklı olarak, yüksek miktardaki SiO_2 oranından anlaşılacağı üzere II. bölgeden alınan kireç harcında ağırlıklı olarak silis içerikli agrega kullanılmıştır. Bekleneceği gibi, alçı harcında saptanan SO_3yüzdesi diğer harçlardan hayli fazladır (%48). Diğerleri ile açık ara aynı fark CaO yüzdesinde de (%39) belirgindir.

HPLC analizleri, Karacahisar kalesi harçlarında, harç hazırlanmasında yoğurulabilirlik, mekanik dayanım ve izolasyon sağlama gibi özelliklerin pekiştirilmesi amacıyla ilave edilen hayvansal ve bitkisel kökenli organik katkıların kullanıldığını göstermiştir. Bu katkılar, süt, keten tohumu yağı, tutkal vb.dir.

Kızdırma kaybı analizlerinden kalede kullanılan harçlarda hidrolik karakter saptanmış, bu da aynı harçlarda yapılan puzolanik aktivite tayinleri ile kontrol edilmiştir.

Asit kaybı analizlerinden edinilen bilgilerle, harçlarda saptanan bağlayıcı/agrega oranının 1:1 olan tek harç dışında, 1:2 olduğu anlaşılmıştır. Aynı analizde asitte çözünmeyen agrega kısımlarında gerçekleştirilen elek analizlerinden kaba irilikteki agregaların (%1-8 mm) çoğunlukta olduğu görülmüştür.

6.2.4. Mineralojik özellikler

XRD analizleri çalışma konusu harçlarda kireç ve alçı bağlayıcı dışında en sık saptanan mineral grupları; illit/mika, amfibol, serpantin, kuvars, plajiyoklas feldispat ve dolomittir. Diyagramlarda izlenen en güçlü pik kalsittir, bu da bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığını işaret eder. Yine II. bölgeden alınan bir diğer harç örneğine ait diyagramda saptanan $CaSO_4$ içerikli bazanit mineralinden anlaşılacağı üzere, bu harçta kullanılan bağlayıcının bazanit içerikli bir kayacın ısıl işleme tabi tutularak elde edilen alçı olduğunu düşündürmüştür.

Harçların ince kesitlerinde yapılan incelemeler XRD analizlerinde saptanan minerallerin serpantinit, bazalt, kireç taşı, kumtaşı ve metamorfik kayaç türlerinden geldiğini göstermiştir.

6.3. Doğal Taşların Özellikleri

Kalede yapı malzemesi olarak kullanılan kayaç türü çoğunlukla olivinli-skorya bazalttır ve taşların gözeneklerinin bir bölümünde kalsit bulunmaktadır. Bazaltların çoğunluğu siyah renkli olmakla birlikte, bazıları da kırmızı renklidir. Karacahisar kalesi bazaltları gerçek yoğunluk değerine göre mükemmel, su emme özelliğine ve ultrasonik ses geçiş hızına göre orta, toplam gözeneklilik, basınç dayanımı ve yüzey sertliği değerine göre zayıf dayanımlıdır. Kimyasal kompozisyona göre ise bazalt taşlarının silisçe doygun olup, bazaltik traki andezit sınıfına aittir. Mineralojik bileşim olarak ise bazaltlar, pljiyoklas ve iddingstleşmiş olivin tanelerinden oluşmakta ve gaz boşuklarında kalsit bulunmaktadır.

Kalenin yer aldığı bölgenin zengin bazalt kaynaklarına sahip olması, kale inşaatında yerel kaynakların kullanıldığını göstermektedir. Bu bazalt taşı kullanımının sadece yapı taşı olmakla sınırlı olmayıp, kale tuğlalarında ve harçlarda da kırıntı şeklinde olduğu saptanmıştır. Ayrıca, kalede bazaltın yanı sıra çoğunluğu mermer olmak üzere, bol miktarda devşirme malzeme de kullanılmıştır.

6.4. Sonuç

Alanda yürütülen kazı çalışmaları ile eş zamanlı olarak, kale içinde günümüze ulaşabilen yapıları kapsamak üzere, gerek bu yapı elemanlarından, gerekse kazı çalışmaları süresince toplanan malzeme örneklerinin laboratuvar analizleriyle edinilen

bilgilerin değerlendirilmesini içeren bu çalışma ile; Karacahisar kalesinde yapılacak koruma, sağlamlaştırma, tamamlama ve onarım gibi çalışmalara katkı sunmak ve bundan sonra yapılacak bilimsel araştırmalar için geniş kapsamlı güvenilir bir bilgi tabanı oluşturmak amaçlanmıştır.

Kalede, çalışma amacı ile 4 bölgeye ayrılmış yapı grupları arasındaki malzeme farklılıkları yanında, bir bölgenin kendi içinde aynı tür malzemeleri arasında da bazı farklılıklar saptanmıştır. Bu da bölümler arasında dönem farklılıkları yada farklı zamanlarda bazı onarımların/ müdahalelerin yapılmış olabileceği ihtimallerini ortaya koyar. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak müdahaleler için gerekli restitüsyon çalışmalarında yoğun bir malzeme araştırmasını içeren bu tez çalışması ile saptanan "olasılıkların" titizlikle dikkate alınması gerekliliğinin ortaya konulmuş olması, tarihi yapıların korunması bağlamında önemli bir katkı olarak değerlendirilmiştir.

6.5. Öneriler

Kaledeki yapıları oluşturan taş, pişmiş kil ve harçların malzeme özellikleri ve bunların üretim yöntemleri konusunda tezle ortaya konan bilgiler ısığında;

- Restitüsyon çalışmaları için, kalede bolca kullanılan devşirme taş malzemeler ve bu tez çalışması ile saptanan harç farklılıkları da göz önüne alınarak gereken değerlendirmelerin yapılması,
- Özellikle hava koşullarının yol açtığı tahribatın önüne geçmek amacı ile bir acil önlem parogramının hazırlanması,
- Tezde işaret edildiği üzere yakın çevrede halen kullanılan/geçmişte kullanılmış olan taş, kum, kil ve kireç kaynaklarının araştırılarak özgün malzemelerle uyumlu onarım malzemeleri için kullanılabilecek kaynakların bir program çerçevesinde değerlendirilmesi,
- Malzeme koruma-sağlamlaştırma ve tamamlama gibi müdahaleler ve en önemlisi de bunların sınırları için; zamanlama, bütçe ve uzman ekiplerin oluşturulması gibi pratik koşullar da dikkate alınarak bir koruma onarım programının hazırlanması,

bu aşamada sunulabilecek önerilerdir.

KAYNAKÇA

-Makaleler-

Akman, M. S. (2003). Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi. *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426(4), 7.

Altaş, G. K., Özgünler, S. A., ve Gürdal, E. (2013). İstanbul'da bulunan Erken Bizans dönemi savunma yapılarında kullanılan horasan harçların özelliklerinin incelenmesi. *Vakıf Restorasyon Yıllığı,* 6.

Altınsapan, E., Say, Y. ve Gerengi, A. (2012). Seyitgazi İlçesinde Bulunan Üryan Baba zaviyesi ve türbesi. *Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli-Araştırma Dergisi*, (61), 15-26.

Altınsapan, E., Demirel Gökalp, Z., Yılmazyaşar, H. ve Gerengi, A. (2015). 2011-2014 Kazıları ışığında Eskişehir Karacahisar Kalesi. *Asos Journal*, 3(10), 621-633.

Arıoğlu, N., Tuğrul, İ., Zarif, H., Girgin, C. and Arıoğlu, E. (1999a). "Strength analysis of Küfeki 'Küfeki': Case of Şehzade Mosque–I", *Yapı Dergisi*, 214, 109-113.

Arıoğlu N, Tuğrul, İ., Zarif, H., Girgin, C. and Arıoğlu E. (1999b). "Strength analysis of Küfeki 'Küfeki' : Case of Şehzade Mosque–II", *Yapı Dergisi*, 215, 102-108.

Aydın, A. S. ve Üstün, F. (2007). Tanenler, kimyasal yapıları, farmakolojik etkileri, analiz yöntemleri, *İstanbul Üniv. Vet. Fak. Derg*. 33 (1), 21-31.

Bağbancı, M.B, Özcan, R. ve Köprülü Bağbancı, Ö. (2010). Characterization of materials used in the fourteenth century: the early Ottoman Ördeklı Bath, Bursa, Turkey, *Studies in Conservation*, Vol. 55, No. 4 (2010), 301-312.

Baronio, G. and Binda, L. (1997). Study of the pozzolanicity of some bricks and clays. *construction and building materials*, 11(1), 41-46.

Bieniawski, Z. T. (1975). Point load in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9, 1-11.

Bilek, S. E. ve Bayram, S. K. (2015). Kolajen Hidrolizatının fonksiyonel bir bileşen olarak gıda endüstrisinde kullanılması. *Academic Food Journal/ Akademik gıda,* 13(4), 327-334.

Böke, H. and Akkurt, S. (2003). Ettringite formation in historic bath brick–lime plasters, *Cement and Concrete Research*, 33, 1457-1464.

Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B. (2004). Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvalarının özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269 (Nisan), 90-95.

Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. ve Uğurlu, E. (2006). Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement ve Concrete Research*, 36(6), 1115-1122.

Castellanos, A., Mauricio, O., Ríos, R., Alberto, C., Ramos, G., Angel, M. and Vinicio, E. (2012). A comparative study of mineralogical transformations in fired clays from the Laboyos Valley, Upper Magdalena Basin (Colombia). *Boletin de Geología*, 34(1), 43-55.

Centauro, I., Cantisani, E., Grandin, C., Salvini, A. and Vettori, S. (2017). The influence of natural organic materials on the properties of traditional lime-based mortars. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(5), 670-684.

Chichagov, A. V., Varlamov, D. A., Dilanyan, R. A., Dokina, T. N., Drozhzhina, N. A., Samokhvalova, O. L. and Ushakovskaya, T. V. (2001). MINCRYST: A crystallographic database for minerals, local and network (www) versions. *Crystallography Reports*, 46(5), 876-879.

Cultrone, G., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian, E., Cazalla, O. and De La Torre, M. J. (2001). Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. European *Journal of Mineralogy*, 13(3), 621-634.

Cultrone, G., Sebastian, E., Elert, K., de la Torre, M. J., Cazalla, O. and Rodriguez-Navarro, C. (2004). Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 24(3), 547-564.

Çetin, B., Avşar, A. ve Ulusoy, A.T. (2011). Kazein içerikli besinler ve dental ürünler, *Atatürk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi,* 24-31.

Çoruhlu, T. (2012). "Tuğ". DİA, 41: 330-332.

Daloğlu, G. ve Demir, E. (2010). Eskişehir-derbent bölgesi beyaz tüflerinin doğal yapı taşı olarak değerlendirilebilirliği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 91-107.

Davey, N. (1974). Roman Concrete and Mortar. *The Structural Engineer*, 62(6), 193-196.

Doğru, H. (2001). Karacahisar kalesi ve Osmanlı devletinin kuruluşundaki önemi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 105-127.

El-Gohary, M. A. and Al-Naddaf, M. M. (2009). Characterization of bricks used in the external casing of Roman bath walls "Gadara-Jordan", *Mediterranean Archaeology and Archeometry*, Vol:9, No:2, 29-46.

El-Midany, A. A. and Mahmoud, H. M. (2015). Mineralogical, physical and chemical characteristics of historic brick-made structures. *Mineralogy ve Petrology*, 109(6), 7.

Elert, K., Rodriguez-Navarro, C., Pardo, E.S., Hansen, E. ve Cazalla, O. (2002), Lime mortars for the conservation of historic buildings, *Studies in Conservation*, Vol. 47, No:1, 62-75.

Gourdin, W. H. and Kingery, W. D. (1975). The Beginnings of pyrotechnology: neolithic and egyptian lime plaster. *J. Field Archaeol*, 2(1/2), 133-150.

Gözler, Z., Cevher, F. ve Küçükayman, A. (1985). Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 103, 46-47, 53. http://dergipark.gov.tr/download/article-file/111272.

Gürtekin, G. ve Albayrak, M. (2006). Antigoritin ısıl reaksiyonu: XRD, DTA-TG Çalışması. *MTA Dergisi*, 133, 37-46.

İBB-Kudeb. (2009). Araştırma laboratuvarları. *Restorasyon-Konservasyon*, 1(2), 44-60.

Kahraman, T., Goz, E., Ozturk, V. ve Kutluk, M. K. (2015). The factors associated with the length of stay of acute stroke patients. *Cerebrovascular Diseases*, 39, 184-184.

Kaplan, Ç., Murtezaoğlu, F., İpekoğlu, B. ve Böke, H. (2013). Weathering of andesite monuments in archaeological sites, *Journal of Cultural Heritage*, 77-83.

Karaman, S., Erşahin, S. And Günal, H. (2006). Firing temperature and firing time influence on mechanical and physical properties of clay bricks, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 65, 153-159.

Karaman, S. (2006). Yapı tuğlalarında renk oluşumu. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1), 5.

Karaca, E. ve Aytaç, S. (2007). Yağ bitkilerinde yağ asitleri kompozisyonu üzerine etki eden faktörler, *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 22(1), 123.

Katz, O., Reches, Z. and Roegiers, J.-C. (2000). Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37, 723-728.

Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C., Aktaş, H., Çankıran, O., Ürgüp, M. N. ve İsmail, U. Z. U. N. (2007). Yalvaç Pisidia Antiocheia kentinde kullanılan tuğla ve bağlayıcı malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 3(2), 1-6.

Kurugöl, S. (2010). Tarihi Kütahya Kalesi tuğlalarının mekanik özelliklerinin ve puzolanik aktivitelerinin incelenmesi. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 14.

Kurugöl, S. ve Güleç, A. (2012). Physico-chemical, petrographic and mechanical characteristics of lime mortars in historic Yoros Castle (Turkey). *International Journal of Architectural Heritage: Conservation*, Analysis, and Restoration, 6(3), 20.

Kurugöl, S. ve Tekin, Ç. (2010). Anadoluda Bizans Dönemi Kale yapılarında kullanılan tuğlaların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 11, 767-777.

Lourenco, P. B., Fernandes, F. M. and Castro, F. (2010). Handmade clay bricks: chemical, physical and mechanical properties. *International Journal of Architectural Heritage*, 4(1), 38-58.

Luxán, M. P., Madruga, F. and Saavedra, J. (1989). Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. *Cement and Concrete Research*, 19(1), 63-68.

Middendorf, B. (2002). Physico-mechanical and microstructural characteristics of historic and restoration mortars based on gypsum: current knowledge and perspective, *Geological Society*, London, Special Publications, 205(1), 165-176.

Miller, S. A., Sakulich, A. R., MacKenzie, K. and Barsoum, M. W. (2010). Pozzolanic activity of diatomaceous earth. *Journal of the American Ceramic Society*, 93(10), 5.

Miriello, D., Bloise, A., Crisci, G. M., Apollaro, C. and La Marca, A. (2011). Characterisation of archaeological mortars and plasters from Kyme (Turkey). *Journal of Archaeological Science*, 38(4), 794-804.

Moropoulou, A., Bakolas, A. and Bisbikou, K. (1995). Characterization of ancient, Byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques. *Thermochimica Acta*, 269-270, 779-795.

Moropoulou, A., Cakmak, A. S., Biscontin, G., Bakolas, A. and Zendri, E. (2002). Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia. *Construction and Building Materials*, 16(8), 543-552.

Moropoulou, A., Bakolas, A. and Aggelakopoulou, E. (2004). Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. *Thermochimica Acta*, 420(1/2), 6.

Moropoulou, A., Bakolas, A. and Anagnostopoulou, S. (2005). Composite materials in ancient structures. *Cement ve Concrete Composites*, 27(2), 6.

Murad, E. and Wagner, U. (1998). Clays and clay minerals: The firing process. *Hyperfine Interactions*, 117(1-4), 340.

Oğuz, C., Türker, F. ve Koçkal, N.U. (2014). Construction materials used in the historical Roman era bath in Myra, *The Scientific World Journal,* http://dx.doi.org/10.1155/2014/536105.

Öngen, S. (2012). Tarihi yapıların incelenmesinde ve restorasyonunda petrografinin (kayaç bilim) önemi, *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, Sayı 14, 35-42.

Papayianni, I. and Pachta, V. (2012). Evaluation of inclusions in mortars of different historical periods from greek monuments. *Archaeometry*, 54(4), 15.

Pavia, S. ve Caro, S. (2008). An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material. *Construction and Building Materials*, 22(8), 5.

Şengüler, İ. ve Izladı, E. (2013). Eskişehir grabeninin neojen stratigrafisi ve sismik yansıma etüdü ile kömür çökelim alanının araştırılması. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 146, 105-116.

Topal, T. (2000). Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamalarda karşılaşılan problemler, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Cilt 23-24, No 1, 73-86.

Topal, Ş., Pembeci, C., Borcaklı, M., Batum, M. ve Çeltik, Ö. (2000). Türkiye'nin tarımsal mikoflorasının endüstriyel öneme sahip bazı enzimatik aktivitelerinin incelenmesi-I: Amilaz, proteaz, lipaz, *Turk J Biol*, 24, 79-93.

Tunçoku, S. and Caner-Saltık, E. N. (2006). Opal-A rich additives used in ancient lime mortars. *Cement ve Concrete Research*, 36(10), 1886-1893.

Taşlıgil, N. ve Şahin, G. (2016). Yapı malzemesi olarak kullanılan türkiye doğal taşlarının iktisadi coğrafya odağında analizi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 33, 607-640.

Tekin, Ç. and Kurugöl, S. (2011). Physicochemical and pozzolanic properties of the bricks used in certain historic buildings in Anatolia. *Gazi University Journal of Science*, 24(4), 959-972.

Terry, R. D., & Chilingar, G. V. (1955). Comparison charts for visual estimation of percentage composition. *Journal of Sediment Petrology*, 25, 229-234.

Uğurlu-Sağın, E. ve Böke, H. (2013). Characteristics of bricks used in the domes of some historic bath buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 14(3), 73-76.

Usta, K. ve Kutluk, H. (2014). Eskişehir-Alpu linyitlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik, 1(15), 51-67.

Wenthworth, C. K. (1922). The Wenthworth scale of grain size for sediments. *Journal of Geology*, 30, 381.

-Tezler-

Aslan Özkaya, Ö. (2005). *Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis Temple in Bergama*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Aydın, G. (2011). *Yeni tetrakisazo boyarmaddelerin sentezi ve elektronik spektrumlarının incelenmesi*, Yükseklisans Tezi, Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 3.

Caner, E. (2003). *Archaeometrical ınvestigation of some Seljuk plasters*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Orta Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çizer, Ö. (2004). *Investigation of lime mortar characteristics for the conservation of the ottoman baths in Seferihisar-Urla region*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Güleç, A. (1992). *Bazı tarihi anıt harç ve sıvalarının incelenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kahraman, G. (2008). *Erken Bizans dönemi horasan harçlarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kahya, Y. (1992). *İstanbul Bizans mimarisinde kullanılan tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri*. Doktora Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mavioğlu, Ü. A. (2011). *Farklı puzolanik katkılar ile hazırlanan horasan harçlarının değişen parametrelerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Muslu, A. (2016). *Gıda artıklarından elde edilen pektinin modifiye edilmesi, Moleküler ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi*, Yükseklisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 1.

Tunçoku, S. S. (2001). *Konya, Beyşehir ve Akşehirdeki bazı Anadolu Selçuklu yapılarında kullanılan harçların özellikleri*. Doktora Tezi, Ankara: Orta Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uğurlu, E. (2005). *Characterization of horasan plasters from some Ottoman baths in Izmir*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Tokmak, M. (2005). *Documentation and examination of historic building materials for the purpose of conservation: case study, part of walls at the Citadel of Ankara*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Orta Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Talu, I. (2005). *Classification and visual analysis of weathering forms of stone in Kadıkalesi*, Kuşadası. Yüksek Lisans Tezi, İzmir: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Oğuz, C. Z. (2009). *İstanbul'daki Bizans ve Erken Osmanlı Dönemi yığma yapı malzemelerinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özgünler, S. A. (2007). *Tarihi yapılarda kullanılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine bir araştırma: od taşı örneği*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

-Kitaplar-

Adler, I, Sheldon, E.S, Gerson, R. and Trombka, I. (1982). Analytical methods related to building and monument preservation, *Conservation of historic stone buildings and monuments*, National Academy Press, Washington, 163-182,

Akşit, İ. (2015). *Antique cities of Turkey*, (N. Akşit Ed.). İstanbul: Akşit Yayıncılık.

Albek, S. (1991). *Dorylaion'dan Eskişehir'e* (No. 89). Eskişehir: TC Anadolu Üniversitesi.

Altınsapan, E. (1999a). *Ortaçağ'da Eskişehir ve çevresinde Türk sanatı, (11-15. yüzyıllar mimarisi)*. Eskişehir: TC Anadolu Üniversitesi.

Altınsapan, E. (1999b). *Ortaçağ'da Eskişehir ve çevresinde Türk sanatı (1. Baskı)*. Eskişehir: TC Anadolu Üniversitesi Yayınları (1091).

Bayülke, N. (1980). *Yığma yapılar*, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Bektaş, C. (2018). *Türk evi*, 4. Baskı, YEM Yayıncılık, İstanbul.

Black, C.A. (1965). *Methods of soil analysis. Part I,* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 1572.

Cengiz, İ. (2012). *Bir imparatorluğun izi: Osmangazi, Trace of an Empire: Osmangazi*. İstanbul: Osmangazi Belediyesi.

CIRIA, C., CETMEF. (2007). *The rock manual. The use of rock in hydraulic engineering* (2nd edition ed.). London: CIRIA.

Cormon, P. (1973). *Beton de Granulats Legers*. Edition Eyrolles, Paris.

Cowper, A. D. (1998). *Lime and lime mortars*. Great Britain, Donhead Publishing.

Davey, N. (1961). *A History of building materials.* Phoenix House.

Erkan, Y. (2013a). *Mağmatik petrografi* (7. baskı.). Ankara: Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 93.

Erkan, Y. (2013b). *Metamorfik petrografi*. Ankara.

Fernandes, F., Lourenço, P. B. and Castro, F. (2010). *Ancient clay bricks: manufacture and properties*. In M. Bostenaru Dan, Pøikryl, Richard, Török, Akos (Eds.) (Ed.), Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures (1 ed.): Springer Netherlands.

Fosyth, M. (ed) (2008). *Materials and skills for historic building conservation*, Blackwell Publishing Ltd, UK.

Grim, R. E. (1968). *Clay mineralogy* (2. ed.). New York: McGraw- Hill.

Haldon, J. (1999). *Warfare, state and society in Byzantine World*, 565-1204, Routledge, USA, pp. 10-16.

Hinkle, DE., Wiersma, W. and Jurs SG. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences (5 th ed.)*, Boston: Houghton Mifflin.

Holmes, S. and Wingate, M. (1997). *Building with lime* (A practical introduction), Intermediate Technology Publications, London, 306.

Kelly, T. (2018). *Büyük uygarlıklar- Sümerler*, (Çeviri: I. Aksoy), s. 22, Binbir Çiçek Kitapları, Ankara.

Kuşçu, M. (2001). *Endüstriyel kayaçlar ve mineraller*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları.

Mango, C. (2006). *Bizans mimarisi* (M. Kadiroğlu, Trans. Özel Basım ed.). Ankara.

Mindess, S., Young, J. F. and Darwin, D. (1981). *Concrete*, PrenticeHall Inc. Englewood Cliffs, NJ.

Montana, G. (2017). *The Oxford handbook of archaeological ceramic analysis* (Vol. 7). United Kingdom: Oxford University Press.

Moos-Quervain. (1948). *Technische gesteinkunde*. Basel: Verlag Birkhause.

Moropoulou, A., Christaras, B., Lavas, G., Penelis, G., Zias, N., Biscontin, G., Kollias, E., Paisios, A., Theoulakis, P., Bisbikou, K., Bakolas, A., Theodoraki, A. (1993). *Weathering phenomena on the Hagia Sophia Basilica, Konstantinople*. In: Brebbia CA (ed) Structural repair and maintenance of historical buildings III. WIT Press Publications, Southampton, UK, 47–66.

Munsell soil color charts, (1994). (Revised Edition), New York.

Murray, H. H. (2007). *Applied clay mineralogy*. UK: Elsevier Press.

Öngen, S. (2013). *Petrografi laboratuvar el kitabı*. İstanbul. İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

Pekin, F. ve Yılmaz, H. F. (2008). *Türkiye' nin kültür mirası 100 kale* (M. A. Dağıstanlı Ed.). İstanbul: NTV Yayınları.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R. (1973). *Sand and sandstone*. New York: Wiley.

Punmia, B.C., Jain, A. and Jain, A.K. (2004), *Basic civil engineering*, Laxmi Publications (P) LTD, New Delhi.

Saka, A. H. (1997). *Mineralojik analizlerde X-ışınları toz kırınım yönteminin temel prensipleri ve laboratuvar şartlarının standardizasyonu*. Ankara: MTA Genel Müdürlüğü.

Sayar, M. ve Erguvanlı, K. (1955). *Türkiye mermerleri ve inşaat taşları*. Kutulmuş Matbaası, İstanbul. İstanbul Teknik Üniversitesi, ss. 1-15, 30-31, 33-36, 51-54, 58-59, 66, 77-78, 88-89, 91, 96, 109-110, 112, 115-124.

Sevin, V. (2003). *Anadolu arkeolojisi*, DER Yayınları, 3. Basım, İstanbul.

Stock, M. (2008). Brickwork, *Materials and skills for historic building conservation,* Blackwell Publishing, UK, 46-47.

Tarhan, F. (1989). *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*. KTÜ Basımevi Yayınları, 384. Trabzon.

Topal, H. (2012). *Kentler ve taşlar I* . İstanbul. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul.

Topal, H. (2015). *Kentler ve taşlar II.* İstanbul. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul.

Toydemir, N., Gürdal, E. ve Tanaçan, L. (2004). *Yapı elemanı tasarımında malzeme*. İstanbul. Literatür Yayıncılık.

Teutonico, J. M. (1988). A *laboratory manual for architectural conservators*. ROME: ICCROM.

Vitrivius. (2005). *Mimarlık üzerine on kitap* (Çeviri S. Güven), 4. baskı, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı.

Ward-Perkins and Bryan, J. (1994). *Roman imperial architecture*. Yale University Press Pelican history of art.

Warren, J. (1998). *Conservation of brick.* Butterworth-Heinemann.

Young, R. (2008), *Lime based plasters, renders and washes, Materials and Skills for historic building conservation*, Blackwell Publishing Ltd, UK, 56-62.

-Bildiriler-

Altınsapan, E.M., Yılmazyaşar, H. ve Gerengi, A. (2010). Karacahisar Kalesi 2009 yılı temizlik ve kazı çalışmaları, *XIV. Ortaçağ ve Türk Dönemi Kazıları ve Sanat Tarihi Araştırmaları Sempozyumu*, Konya, 5.

Aras, A. (2009). Seramik bünyelerin üretiminde kullanılan kil-eritici-kuvars'ın ısıl dönüşümü. *14. Ulusal Kil Sempozyumu*, Trabzon, 221-234.

Cultrone, G., Sebastian, E., Cazalla, O., Rodriquez Navarro, C. and De la Torre, M.J. (2000), Mineralogical changes during brick production in labaratory experiments, *International Congress, "Quarry, Labaratory, Monument*", Pavia (Italia), 253-258.

De Beer, J. H. (1967). Subjective classification of hardness of rocks and the associated shear strenght. *Proc. Reg. Conf. Afr. Soil Mech. Found. Eng*. 4th, Cape Town.

Ergezer, H. ve Çam, M. (2008). Tanenler: sınıflandırma, yapıları ve sağlık üzerine etkileri, *Türkiye 10. Gıda Kongresi*; Erzurum, 231. (Kuppusamy U, Das NP. 1993.Protective effects of tannic acid and related natural compounds on Crotalus adamenteus subcutaneous poisoning in mice. Pharmacol. Toxicol., 72, 290.'den aktaran).

Gürdal, E. (2011). Vakıflar Genel Müdürlüğü restorasyonlarında kullanılacak harç pozları için yapılan harç analiz çalışmaları, *Kagir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri III*, İstanbul, 70-74.

Papayianni, I. and Karaveziroğlu, M. (1993). Aggregate gradation of ancient mortars, relationship to strenght and porosity, *Conservation of Stone and Other Materials,* Paris, 493-499.

Schafer, J. and Hilddorf, H.K. (1993). Ancient and new lime mortars- the correlation between their composition, structure and properties, *Conservation of Stone and Other Materials*, Paris, 605-612.

Sickels, L.B. (1981). Organics vs. synthetics: their use as additives in mortars. *Mortars, cements and grouts used in the conservation of historic buildings*, Rome: ICCROM, 25-52.

Sivas, T. ve Sivas, H. (2009). Dorylaion/ Şarhöyük kazılarında ortaya çıkan taş-kerpiç mimarinin konservasyon ve restorasyon sorunları, *Uluslararası Katılımlı Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2,* Diyarbakır, 827-833.

Sönmez, Z. (1999). Osmanlı kale mimarisinin ana hatları. *11th International Congress of Turkish Art*, Utrecht- Netherlands.

Tsakiridis, P. E. and Toumbakari, E. E. (2010). Characterisation of ancient gypsum mortars from the archaeological site of amathus, Cyprus. *2nd Historic Mortars Conference HMC2010*, Prague, Czech Republic.

-Teknik Rapor-

Deere, D. U. and Miller, R. P. (1966). *Engineering classification and index properties for intact rock*. Illinois Univ At Urbana Dept Of Civil Engineering.

İnalcık, H. (1999). *Karacahisar yüzey araştırması danışman raporu*, Ankara.

M., T., J.E., L., J., E. and C.J.W.P., G. (2004). *Porosity of mortars*. In G. C., A. G., ve H. J. (Eds.), Characterisation of old mortars with respect to their repair (75-105), RILEM.

Eskişehir Valiliği, (2011). *Eskişehir İl çevre durum raporu*.

MTA. *Eskişehir ili maden ve enerji kaynakları*.

Siivola, J. ve Schmid, R. (2007). *List of mineral abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*: Web version

Yıldız, F. (2017). *Polifenoller: optimum sağlık için gerekli gıda bileşenleri*.

-İnternet Kaynakları-

http-1: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5ac48e65ddd6a6.30358256 (Erişim tarihi: 04.04.2018)

http-2: http://restorasyontuglalari.com/(Erişim tarihi: 04.04.2018)

http-3: http://www.erenharmantugla.com.tr/urun-gruplari/harman-tugla/ (Erişim tarihi: 04.04.2018)

http-4: http://bloksan.com.tr/category/samut-akustik-tugla-ve-restorasyon-tuglalari/ (Erişim tarihi: 04.04.2018)

http-5: http://www.tugladunyasi.com.tr/kategori/urunlerimiz/restorasyon-malzemeleri/ (Erişim tarihi: 04.04.2018)

http-6: http://www.istanbuldogaltas.org/restorasyon-harman-tugla (Erişim tarihi: 04.04.2018)

http-7: http://www.sahtas.com.tr/ ((Erişim tarihi: 04.04.2018)

http-8: http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44420/gobeklitepe-arkeolojik-alani-sanliurfa.html (Erişim tarihi: 10.04.2018)

http-9: http://sanatkaravani.com/dunyanin-ilk-tapinagi-gobeklitepe/ (Erişim tarihi: 01.04.2018)

http-10: http://worldarkeoloji.blogspot.com/2016/02/cayonu-hoyuk.html (Erişim tarihi: 25.04.2018)

http-11: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Eskisehir_ Madenler.pdf (Erişim tarihi: 01.04.2018)

http-12: https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/aksaray/gezilecekyer/asikli-hoyuk (Erişim tarihi: 25.04.2018)

http-13: http://arkeokur.tumblr.com/post/56615484339/b%C3%BCy%C3%BCk-ur-ziggurati (Erişim tarihi: 25.04.2018)

http-14: http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44033/istanbul-yerebatan-sarnici.html (Erişim tarihi: 01.04.2018)

http-15: http://cografyaharita.com/haritalarim/4l_eskisehir_ili_haritasi.png (Erişim tarihi: 03.04.2018)

http-16: https://www.aig.org.au/blog/tag/jorc/page/2/ (Erişim tarihi: 24.04.2018)

http-17: http://jncc.defra.gov.uk/pdf/UKSeaMap2010_TechnicalReport_3_Substrate2.pdf (Erişim tarihi: 10.04.2018)

http-18: http://database.iem.ac.ru/mincryst/search.php?select=Name (Erişim tarihi: 10.04.2018)

http-19: http://www.businessdictionary.com/definition/impurity.html (Erişim tarihi: 01.04.2018)

http-20: https://www.turkcebilgi.com/palmitik_asit (Erişim tarihi: 26.07.2018)

Deney Standartları

ASTM D5550–06. (2006).*Standard test method for specific gravity of soil solids by gas pycnometer*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2005). TS EN 459-1, *Yapı kireci- bölüm 1: tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2007). TS EN 1926:2007, *Doğal taşlar- deney metotları- basınç dayanımı tayini*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2008a). TS 25 *Doğal puzolan (tras)- çimento ve betonda kullanılan - tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2008b). TS EN 13755 *Doğal taşlar - deney metotları – atmosfer basıncında su emme tayini*, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2009). TS 699 *Doğal yapı taşları - inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2010). TS EN 1936 *Doğal taşlar - deney yöntemleri - gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2012a). TS EN 771-1 *Kâgir birimler - özellikler - Bölüm 1: kil kâgir birimler (Tuğlalar)*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2012b). TS EN 772-11 *Kâgir birimler – Deney yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, gazbetondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini*. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2012). TS EN 933-1:2012 (EN), *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu*. Ankara.

EK-1. Minerallerin d(Å) Mesafeleri ve İsim Kısaltmaları

1. Kil grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
İllit	$K_{0.73}Al_2[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2$	10.02, 5.00, 4.45, 3.34, 2.86, 2.55, 3.12	Ill
Kaolinit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	7.15, 3.57, 4.36, 4.18, 3.84, 2.29	Kln
Montmorillonit	$Ca_{0.5}Al_2Si_4O_{10}(OH)_2\ H_2O$	16.9, 8.67, 5.64, 4.23, 3.38	Mnt
Paligorskit	$(Mg,Al)_2Si_4O_{10}(OH)\text{-}4H_2O$	10.5, 6.36, 4.47, 4.26, 3.68	Pal
Paligorskit (600º)	$(Mg,Al)_4Si_8[O,OH,H_2O]_{26}\ 5H_2O$	10.33, 6.33, 4.25, 2.53, 3.08, 5.39, 4.46	Pal
Glokonit/ celadonit	$(K,Na)(Al,Fe,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$	10.00, 3.66, 3.08, 4.53, 2.58, 4.37	Glt
Vermikülit	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2\ 3.72H_2O$	14.33, 2.39, 2.86, 2.39, 2.59, 4.47	Vrm
Talk	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	9.35, 3.11, 2.44, 2.48, 4.53, 4.13,	Tlc
2. Klorit grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Klorit	$(Mg,Fe,Al)_6(Al,Si)_4O_{10}(OH)_8$	7.10-7.09, 14.2- 14.4, 4.73-4.74, 3.53-3.55, 2.84, 1.51, 3.98, 2.33, 4.47, 7.06	Chl
3. Mika grubu mineraller			Mca
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Muskovit	$KAl_2(OH)_2Si_3AlO_{10}$	10.00, 5.00, 4.47, 2.86	Ms
Biotit	$K(MgFe)_3Si_3AlO_{10}(OH)_2$	10.03-10.09, 2.63, 3.35-3.36, 2.44,	Bt
Flogopit	$K_2Mg_6[Si_6Al_2]O_{20}(OH)_4$	10.08-10.19 2.62, 3.41, 3.16, 3.38,	Phl
Paragonit	$NaAl_2[Si_3Al]O_{10}(OH)_2$	4.42, 3.26, 9.78, 2.56, 3.23, 2.95, 2.53, 4.49	Pa
4. Silis grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Kuvars	SiO_2	3.34, 4.26, 1.81, 2.46, 2.28, 1.98,	Qtz
Kristobalit	SiO_2	4.05(düşük),4.15 (yüksek), 2.48, 2.84, 3.14	Crs
Tridimit	SiO_2	4.30-4.32, 4.09, 4.31, 3.82, 2.50, 3.81	Trd
Opal-CT	SiO_2	4.10	
5. Feldispat grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Plajiyoklas feldispat	$(Na, Ca)AlSi_3O_8$	3.18, 3.20, 3.78, 3.86, 6.39, 4.03, 2.88	Pl
Alkali feldispat	$KAlSi_3O_8$	3.76, 3.24, 3.28, 6.62, 4.21	K-Fs
6. Amfibol grubu mineraller			Am
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Hornblend	$NaCa_2(Mg,Fe,Al)_5(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$	8.39, 2.70, 3.10, 2.55, 2.59, 2.33,	Hbl
Magnezyo-hornblend	$Na_{0.43}(Ca,Na)_2(Fe,Mg)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$	8.38-8.43, 2.71, 3.12, 2.54, 2.60	Mg-hbl
Tremolit	$Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$	2.70, 8.40, 3.11, 2.53, 3.37, 9.02	Tr
Aktinolit	$Ca_2(Mg,Fe)_5(Si_4O_{11})2(OH)_2$	8.42, 3.12, 2,71, 2.35, 2.55, 3.38	Act
Glokofan	$Na_2(Mg,Fe,Al)_3Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$	8.21, 2.68, 3.04, 2.51, 4.43, 3.37	Gln
Kordierit	$(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}\ 0.56H_2O$	8.46, 8.55, 3.13, 4.09, 3.39, 3.05	Crd

[5] http-18

EK-1. (Devam) Minerallerin d(Å) Mesafeleri ve İsim Kısaltmaları

7. Demir grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Hematit	Fe_2O_3	2.70, 2.51, 2.20, 1.83, 1.69, 3.67, 1.48	Hem
Manyetit	Fe_3O_4	2.53, 2.97, 2.10, 1.62, 1.48	Mag
Maghemit	γ-Fe_2O_3	2.51, 2.95, 2.09, 1.60, 1.47	Mgh
Götit	A-FeOOH	4.18, 2.69, 2.45	Gt
Rutil	TiO_2	3.24-3.26, 1.69, 2.50, 2.20, 1.36	Rt
Anatas	TiO_2	3.51, 1.90, 2.40, 1.71, 1.67, 1.49	Ant
İlmenit	$FeTiO_3$	2.76, 2.55, 1.73, 1.87, 3.74, 1.47	Ilm
Hersinit	$FeAl_2O_4$	2.45, 2.88, 1.44, 1.56, 1.66, 2.03	Hc
Sfen-Titanit	$CaTiSiO_5$	3.24, 3.01, 2.62, 2.60, 4.96, 1.65	Ttn
8. Karbonat grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Kalsit	$CaCO_3$	3.03, 1.87, 1.91, 2.28, 2.49, 3.86,	Cal
Magnezit	$MgCO_3$	2.71-2.74, 2.11, 1.71, 1.34, 1.94	Mgs
Dolomit	$(Ca,Mg)\ CO_3$	2.88, 2.19, 1,80, 1.78, 2.01, 2.40	Dol
Siderit	$FeCO_3$	2.79, 3.59, 1.73, 1.96, 2.34, 2.13	Sd
9. Olivin grubu mineraller			**Ol**
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Fayalit	Fe_2SiO_4	2.49, 2.82, 1.77, 2.56, 3.55, 2.63, 5.11-5.23	Fa
Forsterit	Mg_2SiO_4	2.46, 2.51, 1.75, 2.77-2.71, 3.88, 5.11-5.23	Fo
10. Serpantin grubu mineraller			**Srp**
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Lizardit	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	7.33-7.27, 2.50, 3.66, 3.90, 2.15,	Lz
Antigorit	$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	3.65, 7.30, 2.45, 2.63, 4.57, 2.29	Atg
11. Piroksen grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Klinopiroksen sınıfı	Cpx		**Cpx**
Ojit	$CaMgFeAl_2(SiAl_2)O_6$	3.00-2.99, 2.53, 2.58, 2.96, 2.55, 6.4-6.5	Aug
Egirin	$Na(Fe,Al)Si_2O_6$	2.96, 2.86, 2.51, 2.44, 6.29, 2.52, 6.4-6.5	Aeg
Diyopsit	$CaMgSi_2O_6$	3.00, 2.53, 2.52, 2.90, 2.95, 3.24, 6.4-6.5	Di
Klinoenstatit	$MgSiO_3$	2.83, 2.44, 2.79, 2.46, 1.38, 2.40 , 6.4-6.5	Cen
Hedenberjit	$CaFeSi_2O_6$	3.02, 2.56, 2.54, 3.00, 2.60, 6.58, 6.4-6.5	Hd
Ortopiroksen sınıfı			Opx
Enstatit	$MgSiO_3$	3.07, 2.88, 2.66, 2.30, 2.55, 3.21, 6.4-6.5	En
12. Epidot grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Epidot	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$	2.90, 2.59, 2.81, 3.48, 2.68	Ep
Zoisit	$Ca_2Al_3[Si_3O_{12}]OH$	2.86, 2.67, 2.76, 2.70, 3.58, 1.38	Zo
13. Zeolit grubu mineraller			Zeo
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Analsim	$Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$	3.43, 5.60, 2.92, 4.85	Anl
Şabazit	$Ca_2[Al_{3.9}Si_{8.1}]O_{24}$	9.35, 2.87, 4.24, 6.74, 6.49, 5.47	Cbz
Natrolit	$Na_2[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$	5.89, 2.86, 2.84, 3.15, 2.94, 6.53	Ntr
Hoylandit	$Ca_{3.17}Al_8Si_{28}O_{72}$	8.71, 7.87, 5.06, 3.91, 5.84, 3.89	Hul

EK-1. (Devam) Minerallerin d(Å) Mesafeleri ve İsim Kısaltmaları

14. Sülfat grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Jips	$CaSO_4.2H_2O$	4.28, 7.60, 3.06, 2.87, 2.68, 2.08	Gp
Anhidrit	$CaSO_4$	3.49, 2.85, 2.20, 2.32,1.64,1.86	Anh
Bazanit	$2[CaSO_4] \cdot H_2O$	6.00, 3.00, 2.80, 3.47, 6.01, 2.79	Bas
Barit	$BaSO_4$	3.13, 3.48, 3.34, 2.86, 3.94, 2.76	Brt
Halit	NaCl	2.89, 2.04, 1.29, 1.67, 1.18	Hl
Topaz	$Al_2SiO_4(OH)_2$	2.94, 3.20, 3.70, 2.11, 2.37, 1.42	Toz
Brusit	$Mg(OH)_2$	2.36, 4.76, 1.79, 1.57, 1.79	Brc
15. Melilit grubu mineraller			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Akermanit	$Ca_2MgSi_2O_7$	2.86, 3.09, 1.76, 2.03, 2.48	Ak
Isil işlem mineralleri			
Mineral Adı	**Kimyasal Formül**	**d (Å)**	**Kısaltma**
Mullit	$Al_2(Al_{2.4}Si_{1.2})O_{9.6}$	3.39,5.39, 2.20, 3.42, 1.52, 2.54	Mul
Gehlenit	$Ca_2Al(Al,Si)_2O_7$	2.84, 1.75, 3.06, 3.70, 2.43, 1.37	Gh
Wollastonit	$CaSiO_3$	2.98, 2.97, 3.32, 1.82, 3.08, 3.51	Wo
Spinel		2.47, 1.45, 2.05, 1.57, 2.90, 4.73	Spl
Periklas	MgO	2.12, 1.50, 1.22, 2.45, 1.28	Per

EK-2. Yığma Yapı Tuğlalarının Özet Deneysel Sonuçları

EK-2a. Fiziksel Analiz Sonuçları

Çizelge EK 2a-1. *YT-1/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.1	14,6	26,5	1,81	2,82	35,7	64,3
1P.5	14,7	26,6	1,81	2,87	36,8	63,2
2P.1	14,5	27,0	1,87	2,86	34,7	65,3
2P.2	16,3	29,6	1,82	2,85	36,0	64,0
3P.1	14,6	27,0	1,85	2,89	35,9	64,1
3P.2	14,6	27,0	1,85	2,85	35,1	64,9
3P.3	14,8	26,6	1,79	2,84	37,0	63,0
3P.4	15,1	28,4	1,87	2,84	34,0	66,0
4P.1	13,9	26,3	1,90	2,84	33,1	66,9
Ortalama	14,8	27,2	1,84	2,85	35,4	64,6
SD (±)	0,6	1,0	0,03	0,02	1,2	1,2

Çizelge EK 2a-2. *YT-2/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.3	17,9	31,9	1,78	2,89	38,3	61,7
2P.4	17,7	30,2	1,70	2,89	41,0	59,0
2P.6	17,9	31,5	1,76	2,89	39,0	61,0
2P.9	17,3	30,4	1,75	2,83	38,1	61,9
2P.11	17,3	30,9	1,79	2,88	38,1	61,9
2P.10	17,9	31,3	1,75	2,85	38,4	61,6
Ortalama	17,7	31,0	1,76	2,87	38,8	61,2
SD (±)	0,3	0,6	0,03	0,02	1,0	1,0

Çizelge EK 2a-3. *YT-3/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.5	18,4	31,6	1,72	2,87	40,1	59,9
3P.21	18,7	32,7	1,74	2,86	39,1	60,9
4P.10	16,8	29,5	1,75	2,85	38,5	61,5
4P.11	17,9	31,3	1,75	2,87	39,1	60,9
Ortalama	18,0	31,3	1,74	2,86	39,2	60,8
SD (±)	0,7	1,2	0,01	0,01	0,6	0,6

Çizelge EK 2a-4. *YT-4/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.18	17,7	31,1	1,76	2,87	38,6	61,4
3P.12	19,6	33,6	1,72	2,88	40,5	59,5
2P.7	19,8	33,6	1,70	2,85	40,3	59,7
Ortalama	19,0	32,8	1,73	2,87	39,8	60,2
SD (±)	0,9	1,2	0,03	0,02	0,9	0,9

Çizelge EK 2a-5. *YT-5/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.7	18,9	32,8	1,73	2,81	38,7	61,3

Çizelge EK 2a-6. *YT-6/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.29	14,1	25,5	1,81	2,84	36,4	63,6
2P.8	17,7	30,7	1,73	2,86	39,4	60,6
3P.14	20,0	32,4	1,62	2,87	43,6	56,4
3P.22	19,4	33,2	1,71	2,83	39,5	60,5
Ortalama	17,8	30,4	1,7	2,8	39,7	60,3
SD (±)	2,3	3,0	0,1	0,0	2,6	2,6

Çizelge EK 2a-7. *YT-7/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.25	18,1	31,4	1,73	2,79	37,9	62,1
2P.13	17,6	29,7	1,69	2,82	40,1	59,9
3P.17	17,0	29,4	1,73	2,84	39,2	60,8
3P.19	18,4	31,5	1,71	2,80	39,0	61,0
3P.20	18,8	32,3	1,72	2,79	38,5	61,5
Ortalama	18,0	30,8	1,72	2,81	38,9	61,1
SD (±)	0,6	1,1	0,02	0,02	0,7	0,7

Çizelge EK 2a-8. *YT-8/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.3	18,7	31,4	1,68	2,86	41,3	58,7
2P.5	17,8	30,2	1,70	2,87	40,9	59,1
3P.11	20,1	34,1	1,70	2,87	40,8	59,2
Ortalama	18,8	31,9	1,69	2,87	41,0	59,0
SD (±)	1,0	1,7	0,01	0,00	0,2	0,2

Çizelge EK 2a-9. *YT-9/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.6	20,3	34,3	1,69	2,86	41,0	59,0
1P.8	19,3	32,9	1,70	2,88	40,8	59,2
1P.9	20,4	34,2	1,68	2,87	41,5	58,5
1P.10	20,3	33,7	1,66	2,87	42,1	57,9
1P.11	21,0	34,9	1,66	2,86	42,0	58,0
1P.22	19,6	33,4	1,70	2,86	40,5	59,5
1P.32	19,3	32,7	1,69	2,86	40,9	59,1
3P.6	18,6	30,6	1,64	2,85	42,5	57,5
3P.23	20,6	34,4	1,67	2,87	41,9	58,1
3P.10	19,6	33,0	1,69	2,84	40,5	59,5
3P.9	19,8	34,1	1,72	2,88	40,2	59,8
4P.14	19,8	33,7	1,70	2,86	40,5	59,5
4P.20	21,7	34,2	1,57	2,86	43,3	56,7
Ortalama	20,1	33,5	1,67	2,86	41,7	58,3
SD (±)	0,8	1,1	0,03	0,01	0,8	0,8

Çizelge EK 2a-10. *YT-10/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.12	20,2	33,2	1,65	2,84	42,1	57,9
3P.8	21,3	35,8	1,68	2,89	41,9	58,1
Ortalama	20,7	34,5	1,7	2,9	42,0	58,0
SD (±)	0,6	1,3	0,0	0,0	0,1	0,1

Çizelge EK 2a-11. *YT-11/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.7	19,1	31,5	1,65	2,85	42,1	57,9
4P.15	19,4	32,0	1,65	2,86	42,5	57,5
4P.17	20,2	33,6	1,66	2,87	42,0	58,0
4P.18	20,3	33,1	1,63	2,88	43,4	56,6
Ortalama	19,7	32,6	1,65	2,87	42,5	57,5
SD (±)	0,5	0,8	0,01	0,01	0,5	0,5

Çizelge EK 2a-12. *YT-12/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.4	23,0	37,3	1,62	2,86	43,4	56,6
4P.13	22,2	36,2	1,63	2,83	42,3	57,7
4P.16	22,7	36,9	1,63	2,86	43,3	56,7
Ortalama	22,6	36,8	1,63	2,85	43,0	57,0
SD (±)	0,3	0,4	0,01	0,01	0,5	0,5

Çizelge EK 2a-13. *YT-13/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.14	21,1	33,9	1,61	2,86	43,8	56,2
3P.26	23,3	37,5	1,61	2,83	43,1	56,9
Ortalama	22,2	35,7	1,61	2,85	43,4	56,6
SD (±)	1,1	1,8	0,00	0,02	0,4	0,4

Çizelge EK 2a-14. *YT-14/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.4	23,2	36,6	1,57	2,87	46,4	53,6
4P.19	19,6	32,8	1,68	2,85	41,2	58,8
4P.6	24,7	37,9	1,54	2,90	46,6	53,4
4P.5	23,9	37,0	1,55	2,87	45,2	54,8
Ortalama	22,8	36,1	1,58	2,87	44,9	55,1
SD (±)	2,0	1,9	0,06	0,02	2,2	2,2

Çizelge EK 2a-15. *YT-15/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.2	22,3	35,4	1,59	2,89	45,0	55,0
1P.23	22,7	36,4	1,61	2,90	44,7	55,3
1P.28	26,3	39,2	1,49	2,87	48,1	51,9
1P.30	25,0	38,7	1,55	2,87	46,1	59,6
3P.25	23,3	36,8	1,58	2,88	43,8	56,2
Ortalama	23,9	37,3	1,56	2,88	45,5	55,6
SD (±)	1,5	1,4	0,04	0,01	1,5	2,5

Çizelge EK 2a-16. *YT-16/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	*c (%)*
1P.19	25,4	39,9	1,57	2,85	44,9	55,1
1P.31	25,3	39,2	1,55	2,77	44,0	56,0
Ortalama	25,3	39,6	1,56	2,81	44,5	55,5
SD (±)	0,0	0,3	0,01	0,04	0,4	0,4

Çizelge EK 2a-17. *YT-17/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.9	26,6	39,7	1,49	2,86	47,8	52,2
4P.7	23,3	36,0	1,55	2,86	45,9	54,1
Ortalama	24,9	37,9	1,52	2,86	46,9	53,1
SD (±)	1,7	1,9	0,03	0,00	0,9	0,9

Çizelge EK 2a-18. *YT-18/d:41-50 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.2	23,7	33,8	1,42	2,63	46,0	54,0
4P.3	26,6	38,7	1,45	2,61	44,4	55,6
Ortalama	25,1	36,2	1,4	2,6	45,2	54,8
SD (±)	1,4	2,4	0,02	0,01	0,8	0,8

Çizelge EK 2a-19. *YT-19/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	*c (%)*
1P.13	16,4	30,5	1,86	2,91	35,9	64,1
4P.21	16,1	30,0	1,86	2,87	35,0	65,0
Ortalama	16,2	30,3	1,86	2,89	35,5	64,5
SD (±)	0,1	0,2	0,00	0,02	0,4	0,4

Çizelge EK 2a-20. *YT-20/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.29	16,1	28,3	1,77	2,64	33,1	66,9

Çizelge EK 2a-21. *YT-21/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.30	19,5	33,2	1,71	2,88	40,6	59,4

Çizelge EK 2a-22. *YT-22/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.27	23,4	37,1	1,59	2,89	45,1	54,9
3P.31	20,8	34,6	1,67	2,88	42,3	57,7
Ortalama	22,1	35,8	1,63	2,89	43,7	56,3
SD (±)	1,3	1,3	0,0	0,0	1,4	1,4

Çizelge EK 2a-23. *YT-23/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.8	22,3	36,3	1,63	2,84	42,8	57,2

Çizelge EK 2a-24. *YT-24/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.18	22,5	36,3	1,61	2,79	42,1	57,9
1P.27	27,4	41,0	1,50	2,79	46,3	53,7
Ortalama	25,0	38,7	1,56	2,79	44,2	55,8
SD (±)	2,5	2,4	0,06	0,00	2,1	2,1

Çizelge EK 2a-25. *YT-25/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.20	26,7	41,4	1,55	2,89	46,4	53,6
4P.36	26,4	41,1	1,55	2,89	46,2	53,8
Ortalama	26,6	41,2	1,55	2,89	46,3	53,7
SD (±)	0,15	0,15	0,00	0,00	0,09	0,11

Çizelge EK 2a-26. *YT-26/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.28	25,3	38,2	1,51	2,78	45,6	54,4
4P.22	24,9	37,2	1,50	2,69	44,2	55,8
Ortalama	25,1	37,7	1,50	2,73	44,9	55,1
SD (±)	0,2	0,5	0,01	0,05	0,7	0,7

Çizelge EK 2a-27. *YT-27/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.12	25,8	38,4	1,49	2,70	44,7	55,3
1P.21	26,3	38,8	1,48	2,69	45,1	54,9
1P.26	26,5	39,3	1,48	2,77	46,6	53,4
3P.24	23,2	35,5	1,53	2,72	43,8	56,2
Ortalama	25,4	38,0	1,50	2,72	45,1	54,9
SD (±)	1,3	1,5	0,02	0,03	1,0	1,0

Çizelge EK 2a-28. *YT-28/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.15	27,7	41,6	1,50	2,90	48,3	51,7
1P.16	26,9	40,1	1,49	2,89	48,4	51,6
1P.17	28,8	42,0	1,46	2,88	49,4	50,6
1P.24	28,8	42,6	1,48	2,88	48,6	51,4
Ortalama	28,1	41,6	1,48	2,89	48,7	51,3
SD (±)	0,8	0,9	0,01	0,01	0,4	0,4

Çizelge EK 2a-29. *YT-29/d:31-40 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.28	29,2	40,6	1,39	2,61	46,6	53,4

Çizelge EK 2a-30. *YT-30/d:20-30 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.15	19,3	33,9	1,76	2,94	40,3	59,7

Çizelge EK 2a-31. *YT-31/d:20-30 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.17	18,7	32,6	1,74	2,87	39,5	60,5
2P.18	18,0	31,5	1,75	2,86	38,8	61,2
2P.19	18,8	32,0	1,71	2,87	40,6	59,4
2P.20	17,9	31,8	1,78	2,91	39,0	61,0
2P.21	19,9	34,2	1,71	2,87	40,4	59,6
2P.22	19,9	34,4	1,73	2,84	39,1	60,9
Ort.	18,9	32,7	1,74	2,87	39,6	60,4
SD (±)	0,8	1,2	0,02	0,02	0,7	0,7

Çizelge EK 2a-32. *YT-32/d:20-30 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.23	20,8	35,2	1,69	2,89	41,5	58,5

EK-2b. Mekanik Analiz Sonuçları

Çizelge EK 2b-1. *YT-1/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.1	22,2	2,3	5,7	30
1P.5	24,3	2,4	6,2	34
2P.1	31,6	2,0	4,5	38
2P.2	14,5	1,8	3,5	34
3P.4	-	2,0	4,4	44
3P.3	28,2	2,7	7,9	37
3P.1	23,4	2,2	5,5	36
3P.2	26,6	2,3	5,9	28
4P.1	25,7	2,3	6,2	36
Ortalama	24,6	2,2	5,5	35
SD (±)	4,7	0,2	1,2	4

Çizelge EK 2b-2. *YT-2/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
2P.3	14,1	2,1	4,7	25
2P.4	12,8	2,3	5,4	28
2P.6	12,9	2,3	6,0	25
2P.9	14,2	2,7	7,6	28
2P.11	15,8	2,3	5,8	28
2P.10	11,5	1,6	2,8	22
Ort.	13,5	2,2	5,4	26
SD (±)	1,4	0,3	1,5	2

Çizelge EK 2b-3. *YT-3/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.5	13,2	2,3	5,5	26
3P.21	7,9	2,9	1,6	23
4P.10	11,5	1,9	3,9	24
4P.11	8,9	1,9	3,9	25
Ort.	10,4	2,2	3,7	24
SD (±)	2,1	0,4	1,4	1

Çizelge EK 2b-4. *YT-4/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.18	16,0	1,9	4,1	24
3P.12	16,3	2,3	5,8	25
2P.7	12,1	1,8	3,5	26
Ort.	14,8	2,0	4,5	25
SD (±)	1,9	0,2	1,0	1

Çizelge EK 2b-5. *YT-5/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.7	16,9	2,5	6,7	37

Çizelge EK 2b-6. *YT-6/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.29	33,5	3,7	15,6	37
2P.8	20,2	2,7	7,5	31
3P.14	17,0	2,6	6,9	28
3P.22	22,7	-	-	24
Ort.	23,3	3,0	10,0	30
SD (±)	6,2	0,5	3,9	5

Çizelge EK 2b-7. *YT-7/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.25	9,5	2,5	6,5	28
2P.13	17,0	2,4	5,9	25
3P.17	15,1	2,0	4,5	27
3P.19	10,4	2,1	4,6	16
3P.20	10,8	2,1	4,8	21
Ortalama	12,6	2,2	5,2	23
SD (±)	3,0	0,2	0,8	4

Çizelge EK 2b-8. *YT-8/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.3	9,9	2,3	5,5	28
2P.5	15,0	2,4	6,1	25
3P.11	16,3	2,3	5,6	25
Ort.	13,7	2,3	5,7	26
SD (±)	2,8	0,1	0,3	1

Çizelge EK 2b-9. *YT-9/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.6	15,5	2,8	8,1	25
1P.8	18,8	2,6	7,0	27
1P.9	15,4	2,2	5,2	26
1P.10	11,2	2,1	4,7	31
1P.11	12,3	2,5	6,3	32
1P.22	15,6	2,4	6,0	34
1P.32	15,1	2,3	5,6	28
3P.6	13,0	2,5	6,4	31
3P.23	16,1	2,1	4,5	29
3P.10	22,3	2,4	6,1	27
3P.9	17,2	2,5	6,5	31
4P.14	23,4	2,5	6,7	34
4P.20	14,3	2,2	5,0	29
Ort.	16,2	2,4	6,0	30
SD (±)	3,4	0,2	1,0	3

Çizelge EK 2b-10. *YT-10/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
2P.12	11,7	2,2	5,0	27
3P.8	9,8	1,6	2,7	19
Ortalama	10,8	1,9	3,9	23
SD (±)	0,9	0,3	1,2	4

Çizelge EK 2b-11. *YT-11/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.7	16,2	2,6	6,8	27
4P.15	14,1	2,6	6,7	34
4P.17	14,8	2,2	4,8	30
4P.18	13,3	1,6	2,5	30
Ort.	14,6	2,2	5,2	30
SD (±)	1,0	0,4	1,7	3

Çizelge EK 2b-12. *YT-12/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.4	25,8	2,6	6,8	33
4P.13	16,2	2,3	5,5	34
4P.16	13,1	2,2	4,6	27
Ort.	18,4	2,4	5,7	32
SD (±)	5,4	0,2	0,9	3

Çizelge EK 2b-13. *YT-13/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.14	10,1	1,7	2,9	26
3P.26	12,2	1,9	3,6	24
Ort.	11,2	1,8	3,3	25
SD (±)	1,0	0,1	0,3	1

Çizelge EK 2b-14. *YT-14/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
4P.4	-	1,9	3,5	26
4P.19	13,6	2,1	4,5	30
4P.6	5,8	1,9	3,4	23
4P.5	5,3	1,7	2,9	26
Ort.	8,2	1,9	3,6	26
SD (±)	3,8	0,1	0,6	3

Çizelge EK 2b-15. *YT-15/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.2	15,7	1,8	3,1	36
1P.23	22,1	2,6	6,7	26
1P.28	22,8	3,0	8,3	35
1P.30	22,3	2,6	6,4	21
3P.25	18,4	2,5	6,1	36
Ort.	20,3	2,5	6,1	31
SD (±)	2,8	0,4	1,7	6

Çizelge EK 2b-16. *YT-16/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.19	-	3,0	8,9	22
1P.31	19,2	2,7	7,1	33
Ortalama	19,2	2,9	8,0	27
SD (±)	0,0	0,2	0,9	5

Çizelge EK 2b-17. *YT-17/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
4P.9	14,4	2,3	4,7	31
4P.7	14,4	2,2	4,7	31
Ort.	14,4	2,2	4,7	31
SD (±)	0,0	0,0	0,0	0

Çizelge EK 2b-18. *YT-18/d:41-50 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
4P.3	9,9	1,8	2,8	25
4P.2	7,6	2,2	4,4	26
Ort.	8,7	2,0	3,6	25,7
SD (±)	1,2	0,2	0,8	0,3

Çizelge EK 2b-19. *YT-19/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.13	-	2,4	6,4	31
4P.21	-	1,9	4,1	35
Ort.		2,1	5,2	33
SD (±)		0,2	1,2	2

Çizelge EK 2b-20. *YT-20/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.29	10,8	2,2	5,3	29

Çizelge EK 2b-21. *YT-21/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.30	16,7	2,0	4,1	26

Çizelge EK 2b-22. *YT-22/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.27	5,7	1,7	2,8	21
3P.31	13,0	1,9	3,8	21
Ort.	9,3	1,8	3,3	21
SD (±)	3,6	0,1	0,5	0

Çizelge EK 2b-23. *YT-23/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
4P.8	13,8	2,4	5,6	24

Çizelge EK 2b-24. *YT-24/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.18	-	3,0	9,1	31
1P.27	-	2,7	6,7	32
Ort.		2,9	7,9	32
SD (±)		0,2	1,2	0,3

Çizelge EK 2b-25. *YT-25/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.20	12,0	2,5	6,0	33

Çizelge EK 2b-26. *YT-26/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.28		2,2	4,4	23
4P.22	7,9	1,5	2,2	22
Ort.	7,9	1,8	3,3	23
SD (±)		0,3	1,1	0,3

Çizelge EK 2b-27. *YT-27/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.12	-	2,2	4,5	27
1P.21	-	2,2	4,4	27
1P.26	13,2	2,5	5,6	27
3P.24	11,7	2,1	4,3	23
Ort.	12,4	2,3	4,7	26
SD (±)	0,8	0,1	0,5	1,9

Çizelge EK 2b-28. *YT-28/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
1P.15	-	2,4	5,1	23
1P.16	-	2,7	6,6	28
1P.17	-	2,6	6,2	26
1P.24	-	2,6	6,2	31
Ort.	-	2,6	6,0	27
SD (±)		0,1	0,6	2,8

Çizelge EK 2b-29. *YT-29/d:31-40 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
4P.28	4,0	1,4	1,7	19

Çizelge EK 2b-30. *YT-30/d:20-30 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
2P.15	7,8	1,8	3,4	15

Çizelge EK 2b-31. *YT-31/d:20-30 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
2P.17	12,5	2,3	5,5	26
2P.18	16,3	2,5	6,6	20
2P.19	13,6	2,2	5,3	18
2P.20	14,1	2,4	6,5	25
2P.21	12,7	2,3	5,5	19
2P.22	7,7	2,6	7,1	17
Ort.	12,8	2,4	6,1	20,9
SD (±)	2,6	0,1	0,7	3,5

Çizelge EK 2b-32. *YT-32/d:20-30 grubunun mekanik özellikleri*

Örnek kodu	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
2P.23	8,6	2,0	4,1	19

EK-2c. Kızdırma Kaybı ve Puzolanik Aktivite Analizi Sonuçları

Çizelge EK 2c-1. *YT-1/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
1P.1	0,2	0,5	0,4	0,9	0,9	0,25
1P.5	0,1	0,7	0,3	1,0	0,8	0,30
2P.1	0,2	0,4	0,7	1,1	1,5	0,40
2P.2	0,3	1,3	2,1	3,4	4,8	0,67
3P.1	0,2	0,7	0,8	1,5	1,9	0,42
3P.2	0,2	0,8	0,8	1,6	1,7	0,41
3P.3	0,1	0,6	0,4	1,0	1,0	0,32
3P.4	0,1	0,5	0,5	1,1	1,2	0,16
4P.1	0,0	0,7	0,7	1,4	1,6	0,18
Ort.	0,2	0,7	0,8	1,4	1,7	0,35
SD (±)	0,1	0,2	0,5	0,7	1,2	0,15

Çizelge EK 2c-2. *YT-2/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
2P.3	0,3	1,1	2,4	3,6	5,5	0,51
2P.4	0,3	1,0	2,8	3,8	6,3	0,53
2P.6	0,5	1,0	2,7	3,7	6,3	0,66
2P.9	0,8	1,6	3,1	4,7	7,1	0,90
2P.11	0,4	1,2	3,3	4,5	7,6	0,48
2P.10	0,4	0,9	2,5	3,3	5,6	0,49
Ort.	0,5	1,1	2,8	3,9	6,4	0,60
SD (±)	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,1

Çizelge EK 2c-3. *YT-3/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
3P.5	0,2	0,4	1,0	1,4	2,2	0,65
3P.21	0,3	1,1	1,7	2,8	3,8	0,47
4P.10	0,2	1,1	2,2	3,3	5,1	0,28
4P.11	0,2	0,7	1,7	2,4	3,8	0,26
Ort.	0,2	0,8	1,6	2,5	3,7	0,42
SD (±)	0,0	0,3	0,4	0,7	1,0	0,16

Çizelge EK 2c-4. *YT-4/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.18	0,4	0,9	1,9	2,8	4,4	0,73
3P.12	0,2	0,9	1,5	2,4	3,5	0,37
2P.7	0,3	0,9	2,0	2,9	4,6	0,35
Ort.	0,3	0,9	1,8	2,7	4,2	0,48
SD (±)	0,1	0,0	0,2	0,2	0,5	0,2

Çizelge EK 2c-5. *YT-5/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.7	0,3	0,9	2,1	3,0	4,8	0,52

Çizelge EK 2c-6. *YT-6/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.29	0,2	0,9	1,6	2,5	3,6	0,24
2P.8	0,5	0,8	3,0	3,8	6,8	0,47
3P.14	0,1	0,5	1,4	1,9	3,2	0,33
3P.22	0,4	1,1	2,6	3,7	5,8	0,60
Ort.	0,3	0,9	2,1	3,0	4,9	0,41
SD (±)	0,1	0,2	0,6	0,8	1,5	0,14

Çizelge EK 2c-7. *YT-7/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.25	1,0	2,6	5,1	7,7	11,5	1,10
2P.13	1,0	1,7	3,9	5,6	8,9	1,17
3P.17	0,4	1,1	3,4	4,4	7,7	0,63
3P.19	1,0	1,5	3,6	5,1	8,3	0,80
3P.20	0,9	2,0	3,5	5,5	8,0	0,82
Ort.	0,9	1,8	3,9	5,7	8,9	0,90
SD (±)	0,2	0,5	0,6	1,1	1,4	0,20

Çizelge EK 2c-8. *YT-8/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.3	0,4	1,0	2,6	3,5	5,8	0,61
2P.5	0,4	1,2	2,9	4,0	6,5	0,59
3P.11	0,2	1,1	2,2	3,3	5,0	0,55
Ort.	0,3	1,1	2,5	3,6	5,7	0,58
SD (±)	0,1	0,1	0,3	0,3	0,6	0,02

Çizelge EK 2c-9. *YT-9/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.6	0,5	1,1	3,3	4,4	7,6	0,42
1P.8	0,1	1,5	2,6	4,1	5,9	0,51
1P.9	0,1	1,3	2,7	4,0	6,2	0,46
1P.10	0,1	0,9	1,2	2,1	2,8	0,30
1P.11	0,1	1,2	1,7	2,9	3,8	0,32
1P.22	0,1	1,3	1,7	3,0	3,8	0,38
1P.32	0,2	0,9	2,7	3,6	6,1	0,44
3P.6	0,3	0,9	2,3	3,2	5,2	0,55
3P.23	0,3	1,0	1,5	2,4	3,4	0,36
4P.20	0,2	1,1	2,3	3,3	5,2	0,32
3P.10	0,2	0,9	1,8	2,7	4,1	0,40
3P.9	0,3	1,1	2,1	3,2	4,7	0,35
4P.14	0,2	1,0	3,5	4,5	7,8	0,26
Ort.	0,2	1,1	2,3	3,3	5,1	0,39
SD (±)	0,1	0,2	0,7	0,7	1,5	0,08

Çizelge EK 2c-10. *YT-10/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
2P.12	0,5	0,7	3,5	4,2	8,0	0,68
3P.8	0,3	0,7	2,1	2,8	4,9	0,40
Ort.	0,4	0,7	2,8	3,5	6,4	0,54
SD (±)	0,1	0,0	0,7	0,7	1,6	0,14

Çizelge EK 2c-11. *YT-11/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.7	0,2	1,2	2,2	3,4	5,0	0,28
4P.15	0,1	1,0	2,8	3,8	5,5	0,28
4P.17	0,1	1,2	2,2	3,4	4,9	0,26
4P.18	0,2	1,0	1,6	2,6	3,6	0,26
Ort.	0,2	1,1	2,2	3,3	4,7	0,27
SD (±)	0,0	0,1	0,4	0,4	0,7	0,01

Çizelge EK 2c-12. *YT-12/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.4	0,1	1,4	1,9	3,3	4,2	0,44
4P.13	0,3	1,7	0,7	2,4	1,5	0,44
4P.16	0,2	0,9	2,7	3,6	4,9	0,47
Ort.	0,2	1,3	1,7	3,1	3,6	0,45
SD (±)	0,1	0,3	0,8	0,5	1,5	0,01

Çizelge EK 2c-13. *YT-13/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.14	0,3	0,6	1,7	2,3	3,8	0,32
3P.26	0,2	1,2	0,7	1,9	1,6	0,31
Ort.	0,2	0,9	1,2	2,1	2,7	0,32
SD (±)	0,0	0,3	0,5	0,2	1,1	0,01

Çizelge EK 2c-14. *YT-14/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
4P.4	0,1	0,9	0,8	1,7	1,8	0,31
4P.19	0,1	0,9	1,6	2,5	3,5	0,32
4P.6	0,1	0,8	1,3	2,1	3,0	0,28
4P.5	0,0	0,6	1,4	2,0	3,2	0,26
Ort.	0,1	0,8	1,3	2,1	2,9	0,29
SD (±)	0,0	0,1	0,3	0,3	0,6	0,02

Çizelge EK 2c-15. *YT-15/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.2	0,2	0,6	1,3	1,9	3,1	0,34
1P.23	0,1	0,6	1,0	1,6	2,3	0,30
1P.28	0,1	0,6	1,3	1,9	3,0	0,36
1P.30	0,2	1,0	2,2	3,2	5,1	0,21
3P.25	0,0	0,8	0,8	1,6	1,8	0,22
Ort.	0,1	0,7	1,3	2,0	3,0	0,29
SD (±)	0,1	0,2	0,5	0,6	1,1	0,06

Çizelge EK 2c-16. *YT-16/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.19	0,5	1,7	2,5	4,2	5,6	0,67
1P.31	0,8	2,5	4,4	6,9	10,0	0,71
Ort.	0,7	2,1	3,4	5,5	7,8	0,69
SD (±)	0,1	0,4	1,0	1,4	2,2	0,02

Çizelge EK 2c-17. *YT-17/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
4P.9	0,2	1,2	1,5	2,7	3,5	0,35
4P.7	0,2	0,8	1,4	2,2	3,2	0,25
Ort.	0,2	1,0	1,5	2,5	3,3	0,30
SD (±)	0,0	0,2	0,1	0,3	0,1	0,05

Çizelge EK 2c-18. *YT-18/d:41-50 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
4P.3	1,2	2,6	5,1	7,8	11,7	0,46
4P.2	0,1	1,2	1,9	3,0	4,2	0,12
Ort.	0,6	1,9	3,5	5,4	8,0	0,29
SD (±)	0,5	0,7	1,6	2,4	3,7	0,2

Çizelge EK 2c-19. *YT-19/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.13	0,2	1,0	2,3	3,3	5,3	0,61
4P.21	0,3	1,0	1,7	2,6	3,8	0,24
Ort.	0,3	1,0	2,0	3,0	4,5	0,43
SD (±)	0,0	0,0	0,3	0,3	0,8	0,19

Çizelge EK 2c-20. *YT-20/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.29	0,7	2,6	8,5	11,1	19,4	0,61

Çizelge EK 2c-21. *YT-21/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.30	0,4	1,1	2,7	3,9	6,2	0,52

Çizelge EK 2c-22. *YT-22/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.27	0,1	0,7	1,9	2,6	4,2	0,39
3P.31	0,2	0,9	1,5	2,4	3,4	0,39
Ort.	0,2	0,8	1,7	2,5	3,8	0,39
SD (±)	0,0	0,1	0,2	0,1	0,4	0,00

Çizelge EK 2c-23. *YT-23/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
4P.8	0,1	1,2	1,2	2,4	2,7	0,30

Çizelge EK 2c-24. *YT-24/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.18	0,8	2,4	4,4	6,8	10,1	0,82
1P.27	1,0	2,6	4,3	6,9	9,7	0,60
Ort.	0,9	2,5	4,4	6,9	9,9	0,71
SD (±)	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,11

Çizelge EK 2c-25. *YT-25/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.20	0,1	0,8	0,5	1,3	1,1	0,34

Çizelge EK 2c-26. *YT-26/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.28	0,1	1,0	2,5	3,5	5,7	0,72
4P.22	0,5	1,8	3,8	5,6	8,7	0,46
Ort.	0,3	1,4	3,2	4,6	7,2	0,59
SD (±)	0,2	0,4	0,7	1,1	1,5	0,13

Çizelge EK 2c-27. *YT-27/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.12	0,6	1,7	4,2	5,9	9,6	0,58
1P.21	0,7	2,0	4,0	6,1	9,1	0,66
1P.26	0,1	1,4	2,8	4,2	6,5	0,46
3P.24	0,8	1,5	4,8	6,3	10,9	0,88
Ort.	0,5	1,6	4,0	5,6	9,0	0,65
SD (±)	0,3	0,3	0,7	0,8	1,6	0,15

Çizelge EK 2c-28. *YT-28/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
1P.15	0,2	1,1	1,0	2,1	2,2	0,27
1P.16	0,1	1,0	0,8	1,8	1,8	0,24
1P.17	0,3	1,0	0,8	1,8	1,8	0,36
1P.24	0,1	1,3	1,6	2,9	3,6	0,47
Ort.	0,2	1,1	1,0	2,1	2,4	0,34
SD (±)	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,09

Çizelge EK 2c-29. *YT-29/d:31-40 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
4P.28	1,2	2,3	7,7	10,0	17,5	0,41

Çizelge EK 2c-30. *YT-30/d:20-30 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
2P.15	0,1	0,7	1,9	2,6	4,2	0,28

Çizelge EK 2c-31. *YT-31/d:20-30 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
2P.17	0,3	1,2	2,5	3,7	5,7	0,83
2P.18	0,4	1,3	3,2	4,5	7,2	0,86
2P.19	0,5	1,6	3,6	5,2	8,2	0,69
2P.20	0,2	1,0	2,0	3,0	4,5	0,42
2P.21	0,3	1,0	2,7	3,7	6,2	0,64
2P.22	0,4	1,5	4,3	5,8	9,8	0,81
Ort.	0,3	1,3	3,0	4,3	6,9	0,71
SD (±)	0,1	0,2	0,8	1,0	1,7	0,15

Çizelge EK 2c-32. *YT-32/d:20-30 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
2P.23	0,1	0,6	1,1	1,6	2,4	0,17

EK-2d. Kimyasal Kompozisyon Sonuçları

Çizelge EK 2d-1. *YT-1/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.1	18,0	54,4	11,6	5,0	3,6	2,5	1,7	1,8	-	0,2	-	0,2	99,1	0,9
1P.5	18,1	53,3	11,9	5,4	3,5	2,5	1,6	2,0	0,3	0,2	-	0,2	99,0	1,0
2P.1	17,8	53,6	11,9	5,5	3,3	2,7	1,6	2,0	-	0,3	0,1	0,2	98,9	1,1
2P.2	15,7	49,1	11,4	7,9	6,1	2,1	1,7	1,9	-	0,2	0,1	0,3	96,6	3,4
3P.1	15,5	49,8	11,7	7,7	7,3	2,3	1,5	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2	98,5	1,5
3P.2	18,1	52,6	11,7	5,7	3,5	2,4	1,6	1,9	0,3	0,2	0,1	0,2	98,4	1,6
3P.3	18,2	53,3	11,8	5,4	3,6	2,6	1,6	2,1	-	0,3	-	0,3	99,0	1,0
3P.4	18,4	53,0	12,1	5,2	3,6	2,6	1,6	1,9	-	0,2	0,1	0,3	98,9	1,1
4P.1	18,2	52,1	11,9	5,8	3,5	2,9	1,5	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	98,6	1,4
Ort.	17,5	52,3	11,8	6,0	4,2	2,5	1,6	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	98,6	1,4
SD (±)	1,1	1,7	0,2	1,0	1,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7

Çizelge EK 2d-2. *YT-2/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
2P.3	14,9	49,4	11,6	7,9	6,7	2,2	1,2	2,0	-	0,2	0,1	0,2	96,5	3,5
2P.4	14,4	50,1	11,0	8,1	6,4	2,2	1,1	1,9	0,3	0,3	0,1	0,2	96,2	3,8
2P.6	14,3	49,7	10,8	9,3	6,5	2,2	1,2	1,8	-	0,2	0,1	0,2	96,3	3,7
2P.9	14,5	48,6	10,9	8,6	6,5	2,4	1,2	1,9	-	0,2	0,1	0,2	95,3	4,7
2P.11	14,8	49,1	11,6	7,9	6,5	2,4	1,3	1,9	0,5	0,2	0,1	0,2	96,7	3,3
2P.10	14,8	47,4	11,9	8,1	7,4	2,0	1,4	1,9	-	0,2	0,1	0,2	95,5	4,5
Ort.	14,6	49,1	11,3	8,3	6,7	2,3	1,3	1,9	0,4	0,2	0,1	0,2	96,1	3,9
SD (±)	0,2	0,9	0,4	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5

Çizelge EK 2d-3. *YT-3/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.5	15,2	51,1	11,3	7,8	6,5	2,7	1,2	1,9	0,3	0,2	0,1	0,2	98,6	1,4
3P.21	15,2	49,6	11,3	8,0	6,7	2,5	1,3	1,9	-	0,2	0,1	0,2	97,2	2,8
4P.10	14,0	51,6	10,1	8,2	6,4	2,7	1,2	1,7	0,2	0,2	0,2	0,2	96,7	3,3
4P.11	14,6	50,9	11,0	8,3	6,6	2,5	1,2	1,9	-	0,1	0,3	0,3	97,6	2,4
Ort.	14,8	50,8	10,9	8,1	6,5	2,6	1,2	1,8	0,3	0,2	0,2	0,2	97,5	2,5
SD (±)	0,5	0,7	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7	0,7

Çizelge EK 2d-4. *YT-4/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.18	15,3	49,9	11,6	8,0	6,4	2,3	1,2	1,8	-	0,2	0,1	0,2	97,2	2,8
3P.12	15,3	50,6	11,5	7,4	6,5	2,3	1,4	1,7	0,3	0,2	0,1	0,2	97,6	2,4
2P.7	15,1	49,9	11,4	7,9	6,8	2,2	1,3	1,8	-	0,2	0,1	0,2	97,1	2,9
Ort.	15,3	50,2	11,5	7,8	6,6	2,3	1,3	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2	97,3	2,7
SD (±)	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2

Çizelge EK 2d-5. *YT-5/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.7	15,0	51,0	10,9	7,4	6,4	2,2	1,6	1,6	0,3	0,2	0,1	0,2	97,0	3,0

Çizelge EK 2d-6. *YT-6/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.29	14,7	51,9	10,9	7,6	6,6	2,2	1,4	1,5	0,2	0,1	0,2	97,5	2,5
2P.8	14,7	48,8	11,5	8,0	6,9	2,5	1,3	2,0	0,2	0,1	0,2	96,2	3,8
3P.14	15,0	50,6	11,2	8,2	6,7	2,7	1,3	1,8	0,2	0,1	0,3	98,1	1,9
3P.22	14,2	51,5	9,9	9,3	6,0	2,0	1,5	1,5	0,2	-	0,2	96,3	3,7
Ort.	14,7	50,7	10,9	8,3	6,6	2,3	1,4	1,7	0,2	0,1	0,2	97,0	3,0
SD (±)	0,3	1,2	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8

Çizelge EK 2d-7. *YT-7/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.25	14,1	45,0	11,1	10,1	6,5	2,0	1,3	1,7	-	0,2	0,1	0,2	92,3	7,7
3P.17	15,0	48,6	11,2	8,4	6,3	2,3	1,4	1,8	-	0,1	0,2	0,2	95,6	4,4
2P.13	13,8	48,6	10,7	8,7	6,5	2,5	1,4	1,7	-	0,2	0,1	0,2	94,4	5,6
3P.20	14,9	46,8	12,0	7,9	6,6	1,8	1,6	1,9	0,2	0,3	0,1	0,2	94,5	5,5
3P.19	14,9	49,2	11,1	7,8	6,0	2,1	1,5	1,8	-	0,2	0,1	0,3	94,9	5,1
Ort.	14,5	47,6	11,2	8,6	6,4	2,1	1,4	1,8	0,2	0,2	0,1	0,2	94,3	5,7
SD (±)	0,5	1,6	0,4	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	1,1	1,1

Çizelge EK 2d-8. *YT-8/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.3	14,7	50,5	11,0	7,9	6,3	2,6	1,2	1,8	0,2	0,1	0,2	96,5	3,5
2P.5	14,4	49,6	10,7	8,9	6,6	2,3	1,4	1,8	0,2	-	0,2	96,0	4,0
3P.11	15,5	48,7	11,9	7,6	6,8	2,2	1,5	2,0	0,2	0,1	0,2	96,7	3,3
Ort.	14,9	49,6	11,2	8,2	6,6	2,3	1,3	1,8	0,2	0,1	0,2	96,4	3,6
SD (±)	0,5	0,7	0,5	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3

Çizelge EK 2d-9. *YT-9/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.6	14,9	48,0	11,4	8,6	6,5	1,9	1,5	1,7	0,3	0,2	0,1	0,3	95,6	4,4
1P.8	15,0	48,0	11,6	8,7	6,6	2,0	1,5	1,8	-	0,2	0,1	0,2	95,9	4,1
1P.9	15,4	47,9	11,7	8,4	6,7	2,0	1,5	1,8	-	0,2	0,2	0,3	96,0	4,0
1P.10	15,6	50,8	11,5	7,2	6,6	2,5	1,4	1,8	-	0,2	0,1	0,2	97,9	2,1
1P.11	15,5	49,4	11,9	7,4	6,6	2,1	1,5	1,9	0,3	0,2	0,1	0,2	97,1	2,9
1P.22	15,5	49,8	11,4	7,7	6,7	1,9	1,5	1,9	-	0,2	0,1	0,2	97,0	3,0
1P.32	15,1	48,9	11,4	8,6	6,5	2,3	1,3	1,8	-	0,2	0,1	0,2	96,4	3,6
3P.6	15,1	49,9	11,0	8,4	6,3	2,4	1,3	1,7	-	0,2	0,1	0,3	96,8	3,2
3P.23	15,5	49,2	12,3	7,1	7,0	2,0	1,5	1,9	0,3	0,3	0,1	0,3	97,6	2,4
3P.9	14,9	48,1	11,0	9,4	7,3	2,4	1,4	1,8	-	-	0,2	0,2	96,8	3,2
3P.10	15,7	50,1	11,6	7,2	6,5	2,2	1,6	1,8	-	0,2	0,1	0,2	97,3	2,7
4P.14	15,1	47,8	11,4	8,7	6,8	1,8	1,7	1,7	-	0,2	0,1	0,2	95,5	4,5
4P.20	15,5	49,4	11,1	7,2	6,3	2,6	1,5	1,6	-	0,2	0,1	0,2	95,8	4,2
Ort.	15,3	49,0	11,5	8,0	6,7	2,2	1,5	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2	96,6	3,4
SD (±)	0,3	1,0	0,3	0,8	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7

Çizelge EK 2d-10. *YT-10/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.7	15,3	49,9	11,0	8,0	6,4	2,3	1,5	1,6	0,2	0,1	0,2	96,6	3,4
4P.15	14,8	49,4	11,2	8,1	6,6	2,1	1,6	1,8	0,2	0,1	0,3	96,2	3,8
4P.17	14,8	50,2	10,9	7,5	6,5	2,3	1,5	1,6	0,2	0,1	0,2	96,0	4,0
4P.18	15,1	50,0	11,5	7,5	6,9	2,6	1,4	1,7	0,2	0,1	0,2	97,1	2,9
Ort.	15,0	49,9	11,2	7,8	6,6	2,3	1,5	1,7	0,2	0,1	0,2	96,5	3,5
SD (±)	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4

Çizelge EK 2d-11. *YT-11/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.4	15,8	48,7	11,9	7,3	6,9	1,7	1,7	1,7	0,3	0,2	0,1	0,2	96,7	3,3
4P.13	16,3	50,0	12,4	5,6	7,4	1,6	1,7	1,8	-	0,2	0,1	0,3	97,6	2,4
4P.16	15,3	50,1	11,4	7,2	6,5	2,3	1,5	1,6	-	0,2	0,1	0,3	96,5	3,5
Ort.	15,8	49,6	11,9	6,7	7,0	1,9	1,7	1,7	0,3	0,2	0,1	0,3	97,0	3,1
SD (±)	0,4	0,6	0,4	0,8	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5

Çizelge EK 2d-12. *YT-12/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.14	15,0	51,1	11,0	7,7	6,5	2,6	1,4	1,8	-	0,2	0,1	0,2	97,7	2,3
3P.26	15,8	50,7	11,9	6,5	7,1	1,7	1,7	1,7	-	0,3	0,1	0,4	98,1	1,9
Ort.	15,4	50,9	11,5	7,1	6,8	2,2	1,6	1,8	-	0,3	0,1	0,3	97,9	2,1
SD (±)	0,4	0,2	0,5	0,6	0,3	0,4	0,2	0,0	-	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2

Çizelge EK 2d-13. *YT-13/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.4	15,6	51,5	11,6	6,7	6,7	2,5	1,5	1,6	-	0,2	0,1	0,3	98,3	1,7
4P.19	15,7	51,1	11,1	7,2	6,4	2,1	1,5	1,6	-	0,2	0,1	0,3	97,5	2,5
4P.6	16,2	48,5	12,2	7,2	6,8	2,3	1,8	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	97,9	2,1
4P.5	15,7	48,6	11,4	8,4	7,1	2,7	1,8	1,9	-	0,2	-	0,3	98,0	2,0
Ort.	15,8	49,9	11,6	7,4	6,7	2,4	1,6	1,8	0,3	0,2	0,1	0,3	97,9	2,1
SD (±)	0,3	1,4	0,4	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3

Çizelge EK 2d-14. *YT-14/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.2	15,3	50,3	10,8	8,9	6,4	2,7	1,4	1,8	-	0,2	-	0,2	98,1	1,9
1P.23	15,6	50,2	11,6	7,9	7,0	2,1	1,6	1,8	-	0,2	0,1	0,3	98,4	1,6
1P.28	15,9	50,0	11,7	7,6	6,6	2,3	1,6	1,8	-	0,2	0,1	0,2	98,1	1,9
1P.30	15,2	48,5	11,2	8,5	7,0	2,2	1,9	1,7	-	0,3	0,1	0,2	96,8	3,2
3P.25	15,3	51,2	10,7	8,0	7,1	2,2	1,7	1,8	-	0,2	-	0,2	98,4	1,6
Ort.	15,4	50,0	11,2	8,2	6,8	2,3	1,6	1,8	-	0,2	0,1	0,2	98,0	2,0
SD (±)	0,3	0,9	0,4	0,5	0,3	0,2	0,1	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6

Çizelge EK 2d-15. *YT-15/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.19	16,3	45,2	12,9	7,9	7,4	1,5	1,8	1,8	0,4	0,2	0,1	0,2	95,8	4,2
1P.31	14,4	44,6	11,8	9,0	7,4	1,5	2,2	1,7	-	0,2	0,1	0,2	93,1	6,9
Ort.	15,3	44,9	12,4	8,5	7,4	1,5	2,0	1,7	0,4	0,2	0,1	0,2	94,5	5,5
SD (±)	0,9	0,3	0,6	0,5	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4

Çizelge EK 2d-16. *YT-16/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
2P.12	14,1	47,7	10,3	11,2	6,7	2,3	1,4	1,6	0,2	-	0,3	95,8	4,2
3P.8	15,2	48,5	11,5	8,9	6,9	2,5	1,3	1,9	0,2	0,1	0,3	97,2	2,8
Ort.	14,7	48,1	10,9	10,0	6,8	2,4	1,3	1,8	0,2	0,1	0,3	96,5	3,5
SD (±)	0,6	0,4	0,6	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7

Çizelge EK 2d-17. *YT-17/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.9	15,8	49,1	11,6	7,3	7,1	2,1	1,8	1,8	0,2	0,1	0,3	97,3	2,7
4P.7	16,0	49,3	12,0	7,2	7,2	2,1	1,7	1,8	0,2	0,1	0,3	97,8	2,2
Ort.	15,9	49,2	11,8	7,2	7,2	2,1	1,8	1,8	0,2	0,1	0,3	97,5	2,5
SD (±)	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3

Çizelge EK 2d-18. *YT-18/d:41-50 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.3	11,6	53,8	6,9	8,1	6,4	1,3	2,6	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	92,2	7,8
4P.2	15,0	60,9	6,7	6,1	2,5	2,3	2,5	0,6	-	0,2	-	0,2	97,0	3,0
Ort.	13,3	57,3	6,8	7,1	4,4	1,8	2,5	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	94,6	5,4
SD (±)	1,7	3,6	0,1	1,0	1,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	2,4

Çizelge EK 2d-19. *YT-19/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.13	15,3	48,2	12,5	7,7	7,2	1,9	1,2	2,1	-	0,3	0,1	0,2	96,7	3,3
4P.21	15,0	50,0	12,6	7,0	6,8	2,0	1,3	2,2	-	0,2	-	0,3	97,4	2,6
Ort.	15,1	49,1	12,6	7,3	7,0	1,9	1,2	2,2	-	0,3	0,1	0,2	97,0	3,0
SD (±)	0,1	0,9	0,0	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	-	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3

Çizelge EK 2d-20. *YT-20/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.29	14,7	47,9	5,7	13,4	2,4	0,9	2,8	0,6	0,2	0,1	0,1	88,9	11,1

Çizelge EK 2d-21. *YT-21/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.30	14,9	47,4	11,7	9,1	6,8	2,3	1,3	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	96,2	3,8

Çizelge EK 2d-22. *YT-22/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.27	15,3	47,9	11,7	9,0	6,8	2,6	1,2	1,9	0,2	0,3	0,2	0,2	97,4	2,6
3P.31	15,0	48,6	11,7	9,3	6,7	2,6	1,2	1,9	-	0,2	0,1	0,3	97,7	2,3
Ort.	15,2	48,2	11,7	9,1	6,8	2,6	1,2	1,9	0,2	0,3	0,1	0,3	97,5	2,5
SD (±)	0,1	0,4	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1

Çizelge EK 2d-23. *YT-23/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.8	15,2	50,6	11,7	7,8	6,8	1,7	1,6	1,6	0,2	0,1	0,3	97,6	2,4

Çizelge EK 2d-24. *YT-24/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.18	15,0	45,5	12,0	8,3	6,8	1,4	1,8	1,7	-	0,2	0,1	0,2	93,1	6,9
1P.27	15,9	42,4	12,1	9,2	7,4	1,2	2,8	1,3	-	0,2	0,1	0,3	92,9	7,1
Ort.	15,5	44,0	12,0	8,7	7,1	1,3	2,3	1,5	-	0,2	0,1	0,3	93,0	7,0
SD (±)	0,4	1,5	0,0	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1

Çizelge EK 2d-25. *YT-25/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.20	16,2	49,9	12,1	7,0	6,8	1,9	1,9	1,9	0,3	0,2	0,1	0,4	98,7	1,3

Çizelge EK 2d-26. *YT-26/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.28	14,6	52,2	10,4	8,5	6,2	2,3	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	96,5	3,5
4P.22	15,4	47,0	11,6	7,4	6,6	2,2	1,6	1,9	0,2	0,1	0,3	94,3	5,7
Ort.	15,0	49,6	11,0	8,0	6,4	2,2	1,2	1,3	0,3	0,2	0,3	95,4	4,6
SD (±)	0,4	2,6	0,6	0,5	0,2	0,0	0,4	0,6	0,1	0,1	0,0	1,1	1,1

Çizelge EK 2d-27. *YT-27/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.12	12,1	54,9	6,9	8,1	7,3	1,1	2,4	0,7	0,2	0,2	0,2	94,1	5,9
1P.21	11,7	55,1	7,0	7,7	8,1	0,9	2,3	0,6	0,2	0,2	0,2	93,8	6,2
1P.26	11,8	55,8	7,0	9,6	7,2	1,0	2,1	0,7	0,2	0,2	0,2	95,8	4,2
3P.24	11,5	54,0	7,0	9,7	7,4	1,0	2,1	0,6	0,2	0,2	0,2	93,7	6,3
Ort.	11,8	55,0	7,0	8,8	7,5	1,0	2,2	0,6	0,2	0,2	0,2	94,4	5,6
SD (±)	0,2	0,7	0,0	0,9	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8

Çizelge EK 2d-28. *YT-28/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
1P.15	15,7	49,3	12,3	7,0	7,4	1,9	1,8	1,8	-	0,3	0,1	0,2	97,9	2,1
1P.16	16,3	49,2	12,6	6,4	7,6	1,7	1,9	2,0	-	0,2	0,1	0,2	98,2	1,8
1P.17	16,5	48,8	12,4	6,5	7,5	1,9	2,0	1,9	0,2	0,2	0,1	0,2	98,2	1,8
1P.24	16,5	46,9	12,8	7,5	7,7	1,5	1,8	1,8	-	0,2	0,1	0,2	97,1	2,9
Ort.	16,3	48,5	12,5	6,8	7,6	1,8	1,9	1,9	0,2	0,2	0,1	0,2	97,9	2,1
SD (±)	0,3	1,0	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5

Çizelge EK 2d-29. *YT-29/d:31-40 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.28	11,2	52,0	6,4	10,2	5,5	0,9	2,5	0,7	0,1	0,1	0,3	90,0	10,0

Çizelge EK 2d-30. *YT-30/d:20-30 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	SO_3	Σ Oksit	Σ KK
2P.15	15,1	48,1	12,3	7,8	7,0	3,1	1,2	2,0	0,2	0,1	0,2	0,2	97,4	2,6

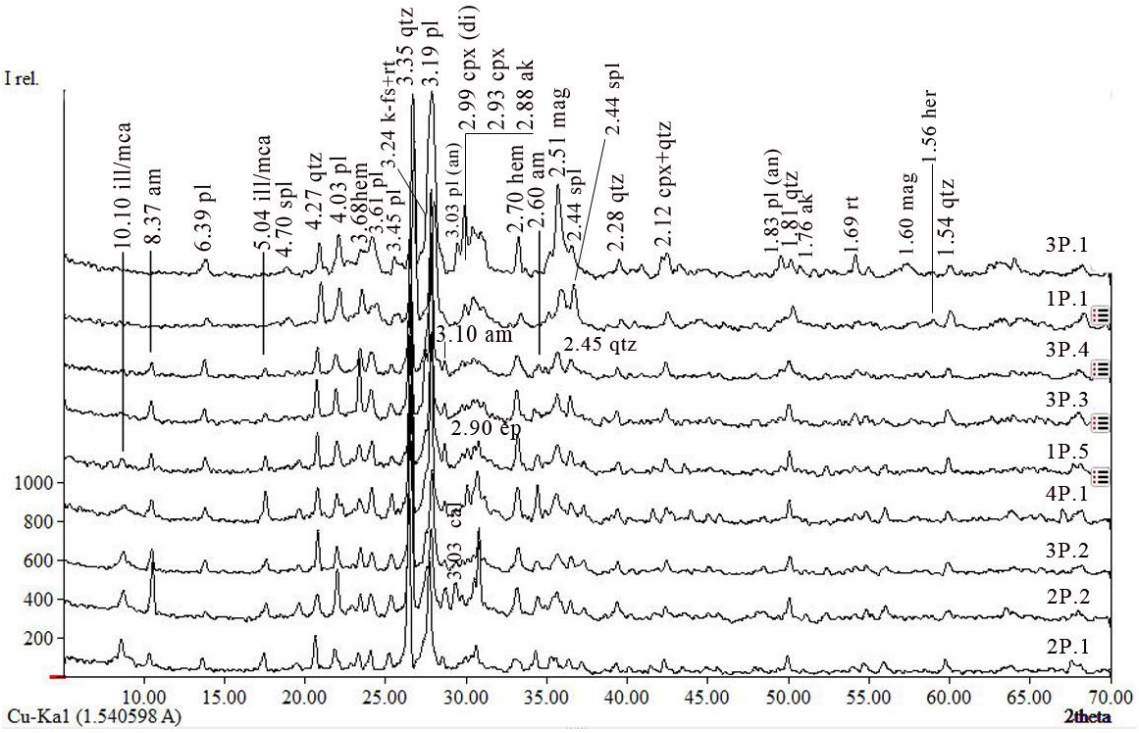
Çizelge EK 2d-31. *YT-31/d:20-30 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
2P.17	14,7	47,7	11,6	9,5	6,9	2,2	1,0	1,8	0,3	0,2	0,1	0,2	96,3	3,7
2P.18	14,6	47,5	11,4	9,8	6,4	2,2	1,1	1,8	-	0,2	0,1	0,2	95,5	4,5
2P.19	14,3	46,7	11,5	9,6	6,7	2,4	1,1	1,9	-	0,2	0,1	0,3	94,8	5,2
2P.20	15,0	48,3	11,4	9,3	6,9	2,4	1,4	2,0	-	0,2	-	0,2	97,0	3,0
2P.21	14,8	47,4	11,6	9,3	6,7	2,5	1,2	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	96,3	3,7
2P.22	13,8	46,1	11,1	10,4	6,9	2,0	1,4	1,7	-	0,2	0,1	0,3	94,2	5,8
Ort.	14,5	47,3	11,4	9,6	6,8	2,3	1,2	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	95,7	4,3
SD (±)	0,4	0,7	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0

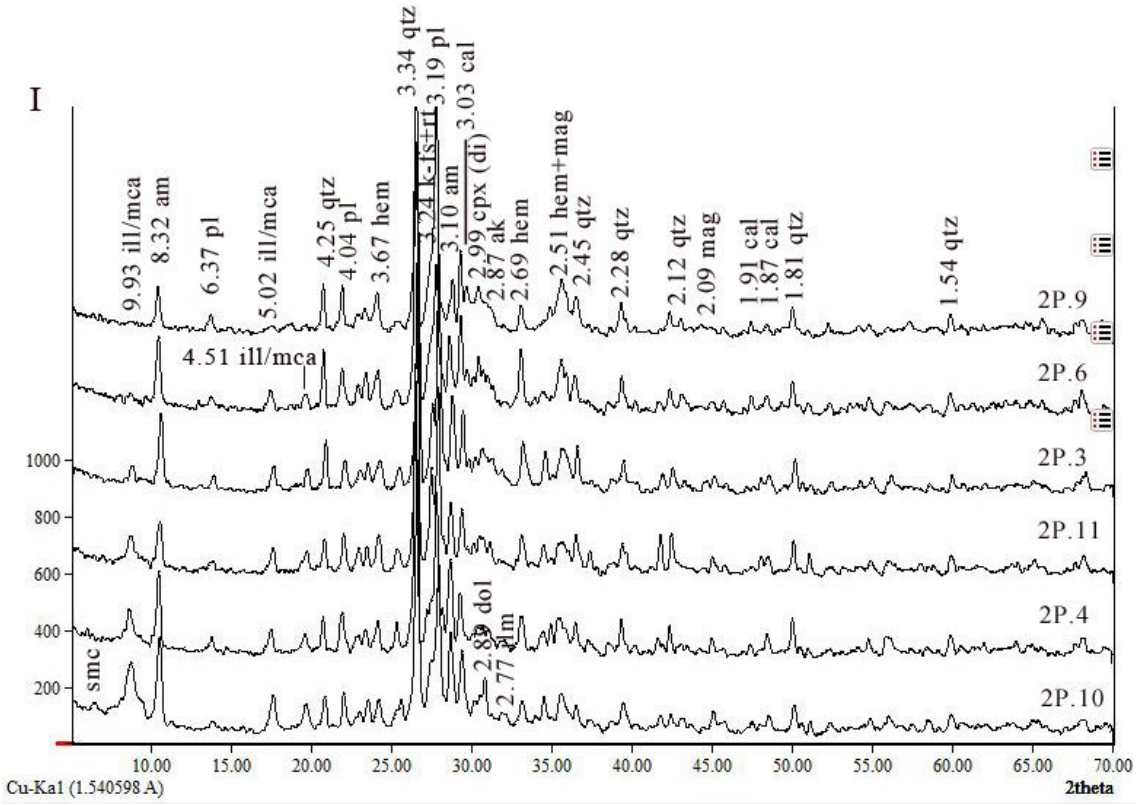
Çizelge EK 2d-32. *YT-32/d:20-30 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	SO_3	Σ Oksit	Σ KK
2P.23	15,3	49,3	11,5	8,0	7,3	2,7	1,3	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	98,4	1,6

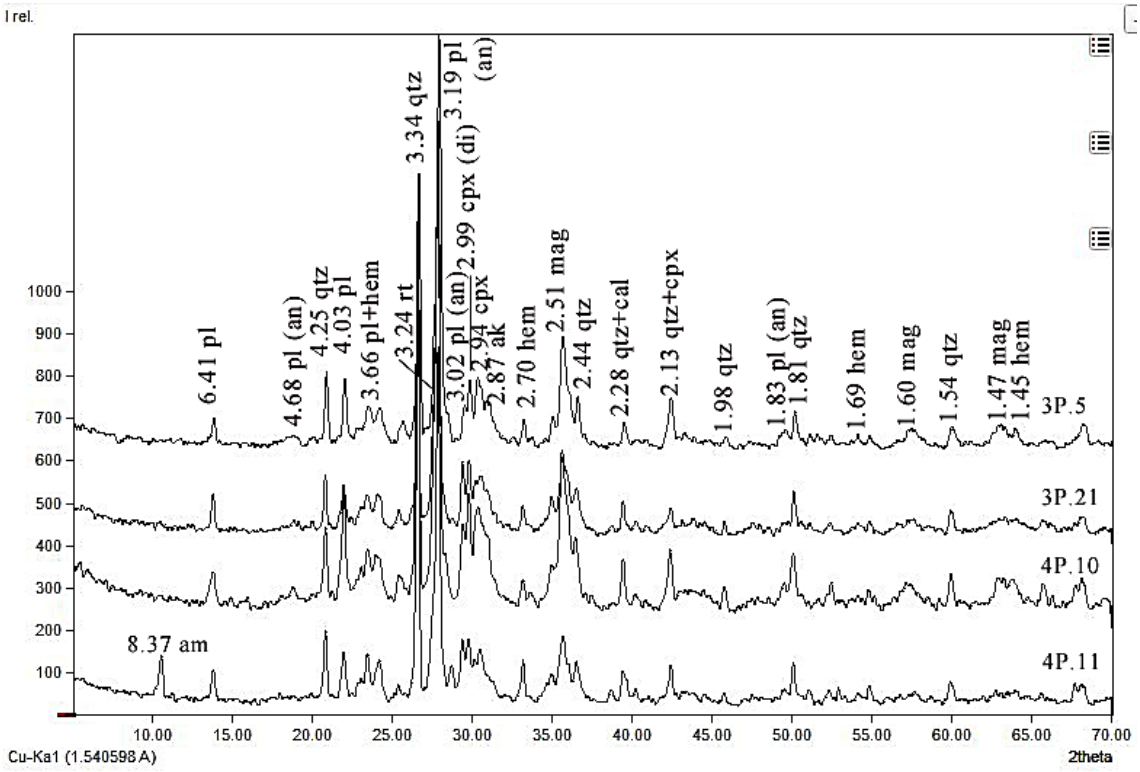
EK-2e. Mineralojik Analiz Sonuçları



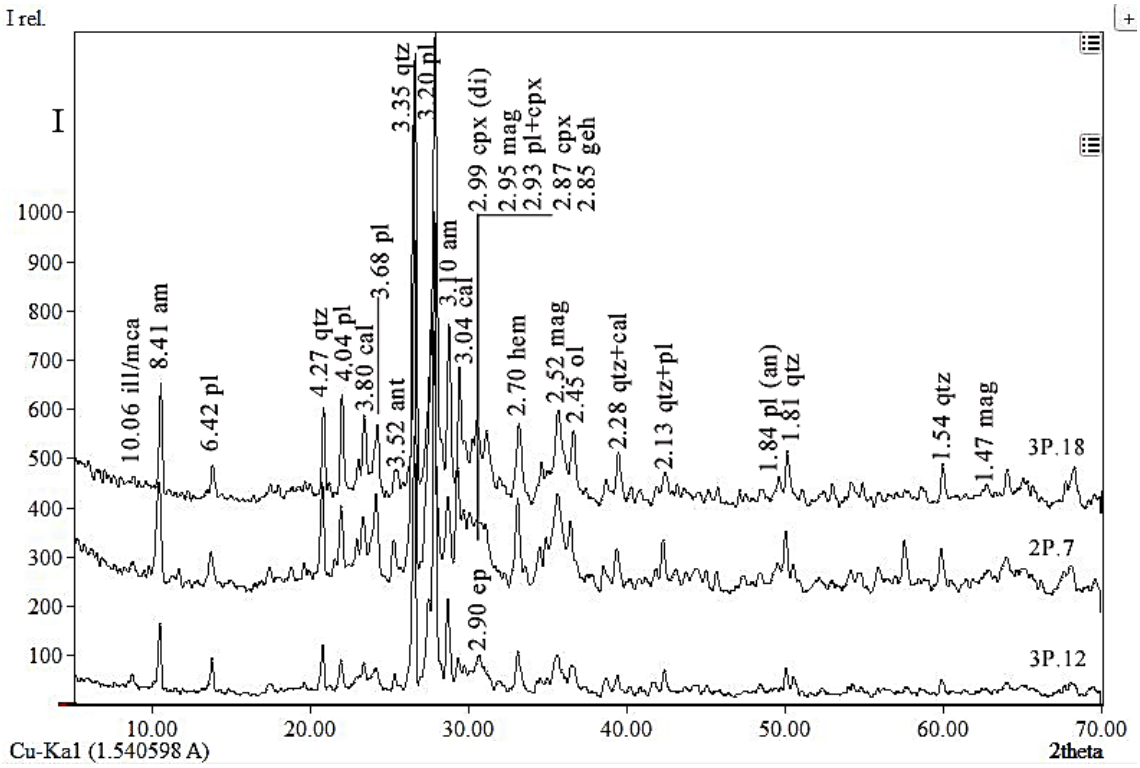
Şekil EK 2e-1. *YT-1/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



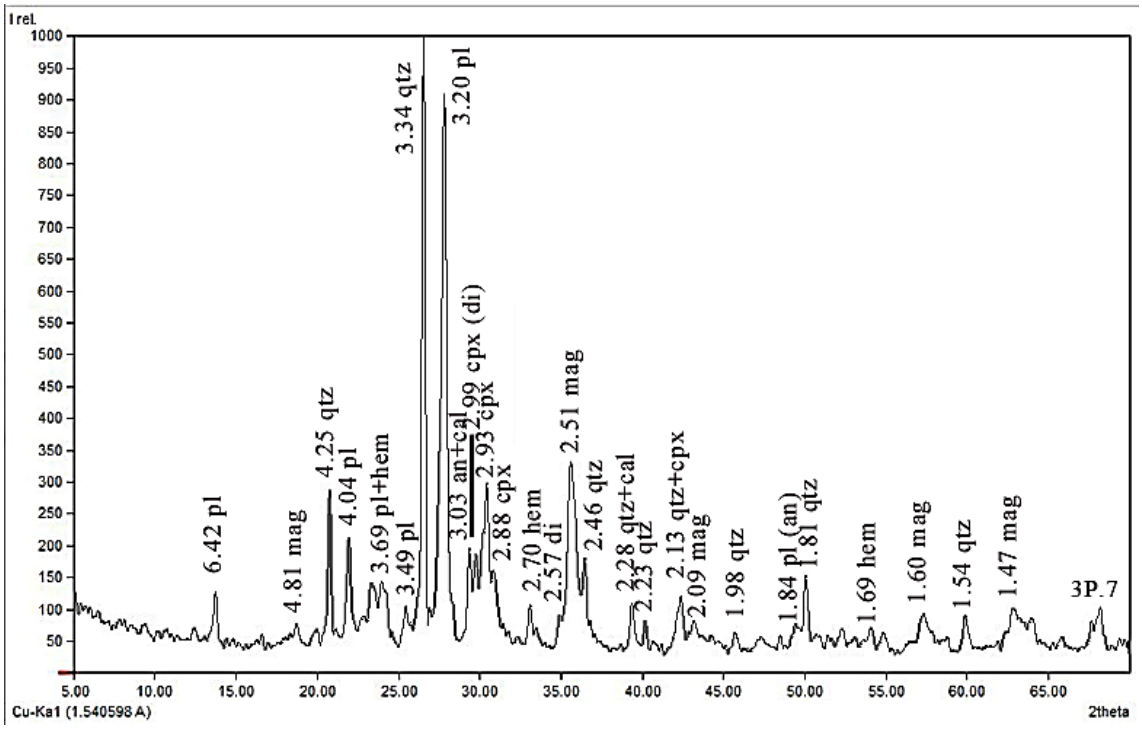
Şekil EK 2e-2. *YT-2/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



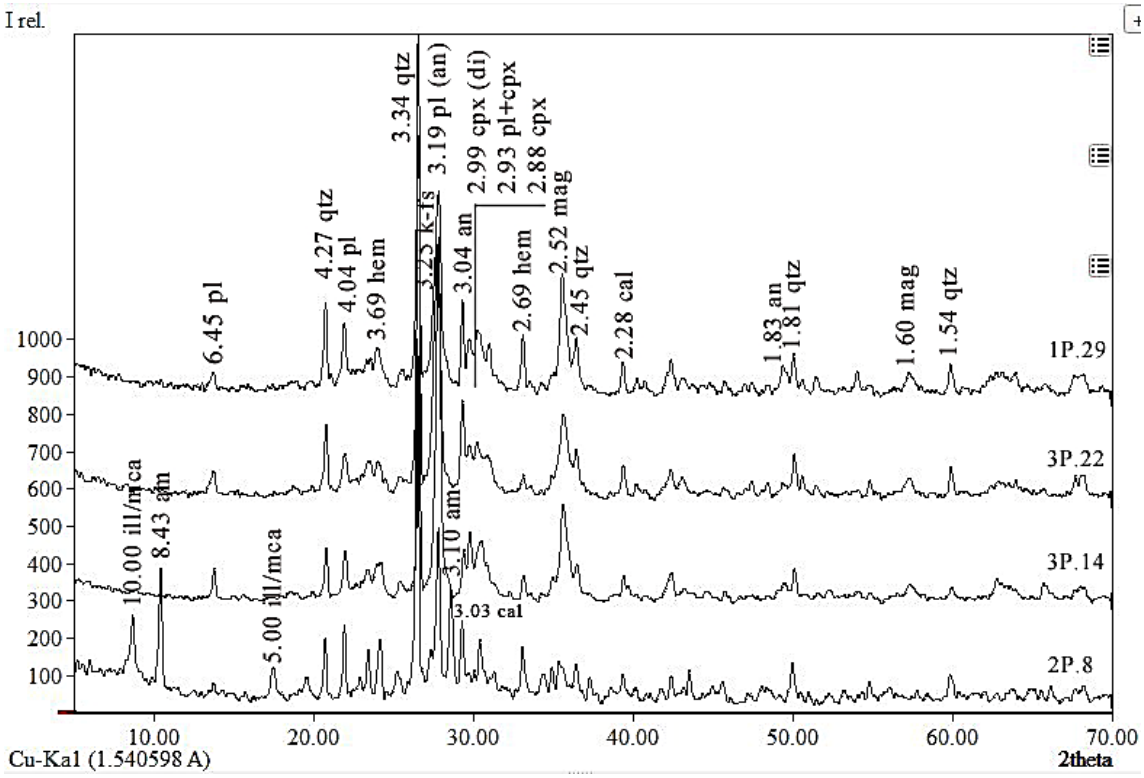
Şekil EK 2e-3. *YT-3/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



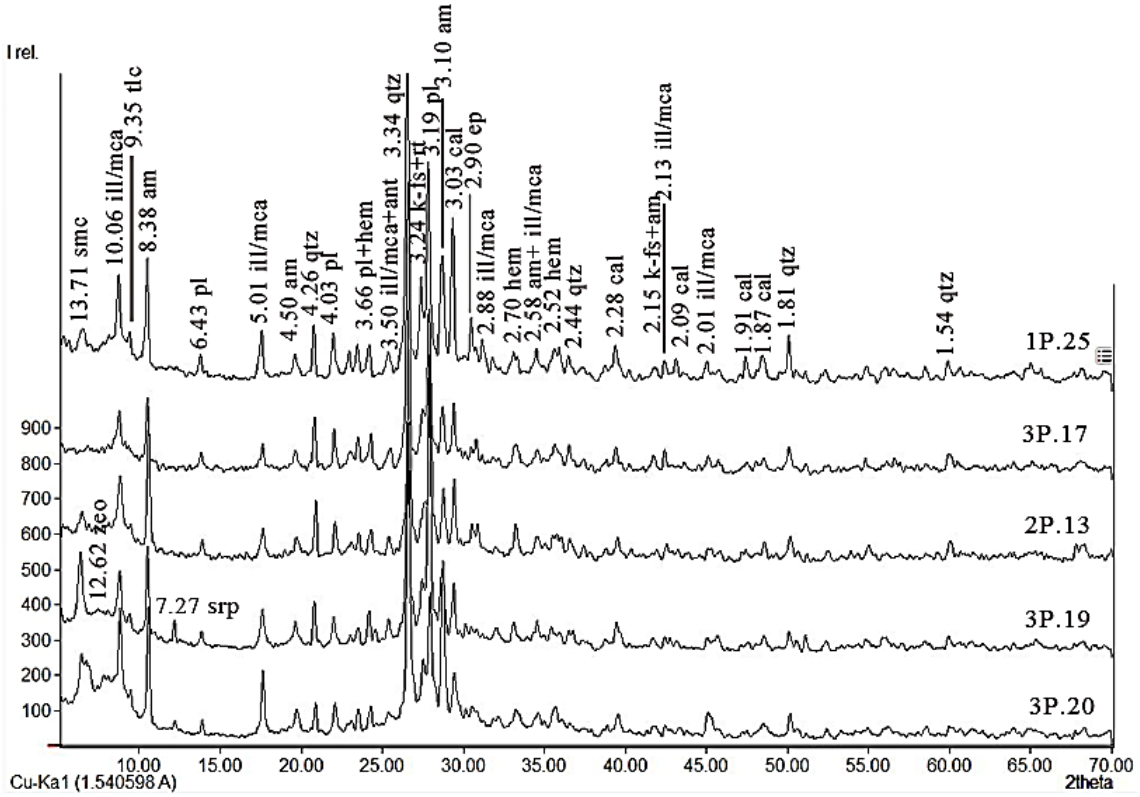
Şekil EK 2e-4. *YT-4/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



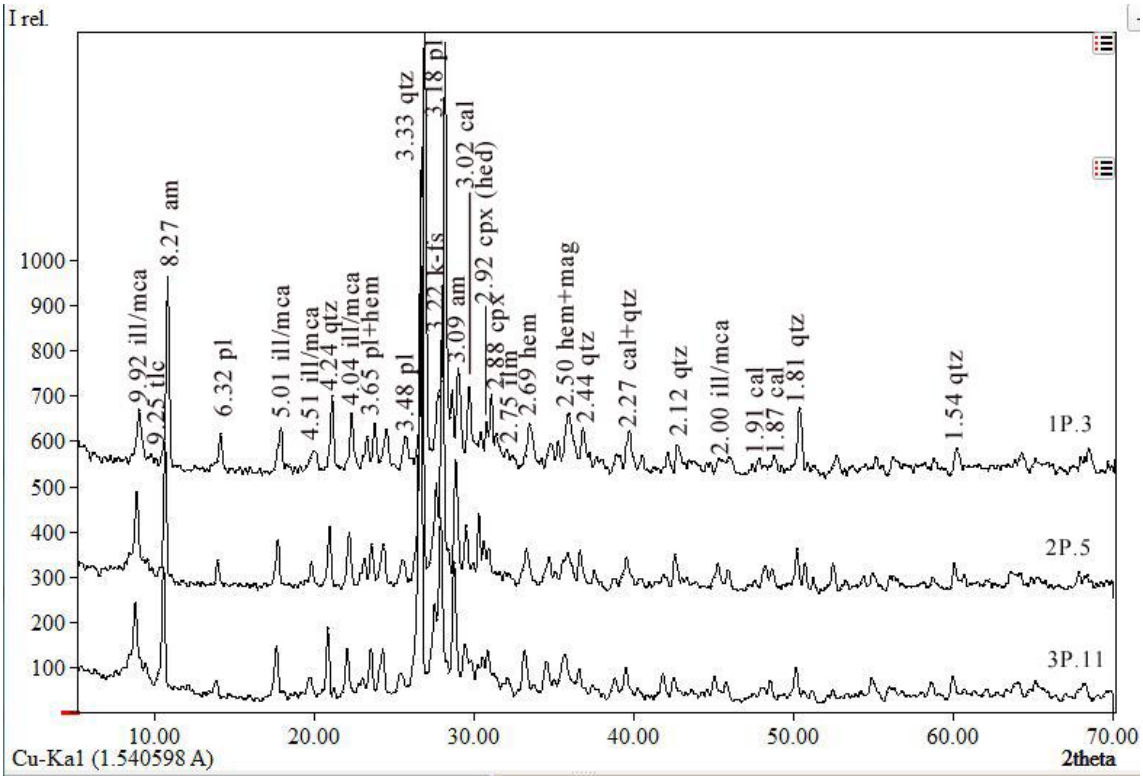
Şekil EK 2e-5. *YT-5/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



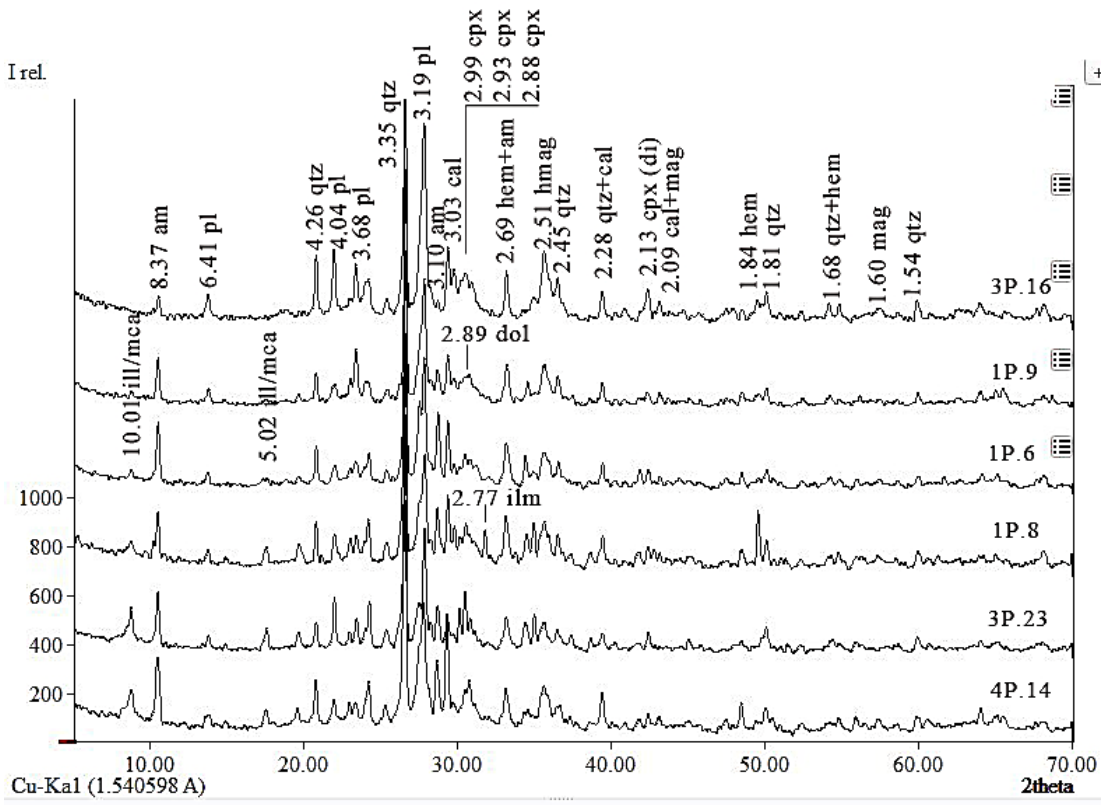
Şekil EK 2e-6. *YT-6/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



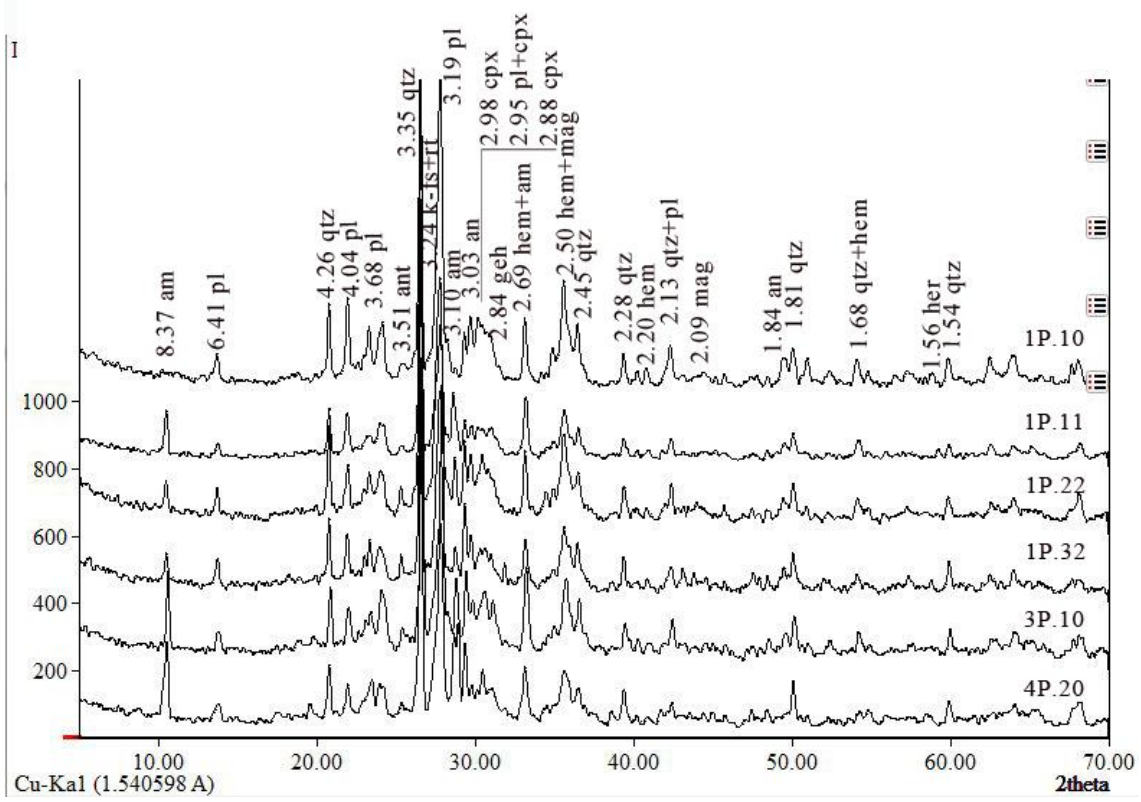
Şekil EK 2e-7. *YT-7/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



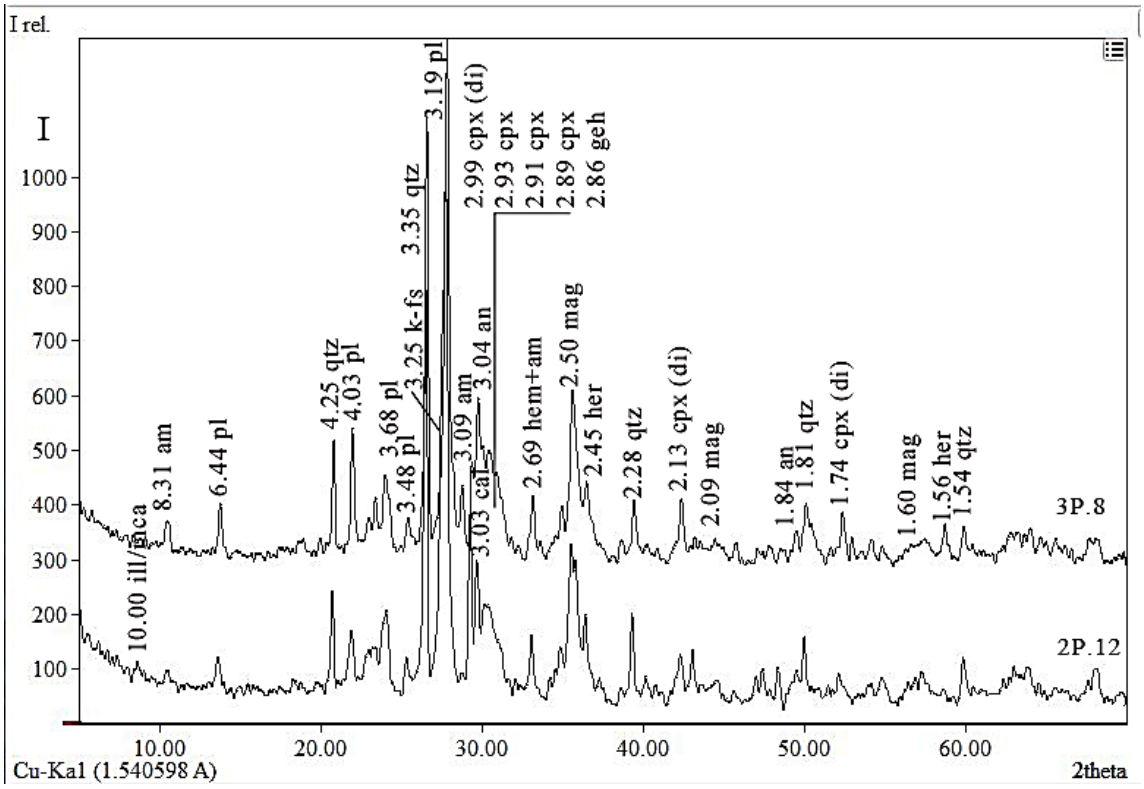
Şekil EK 2e-8. *YT-8/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



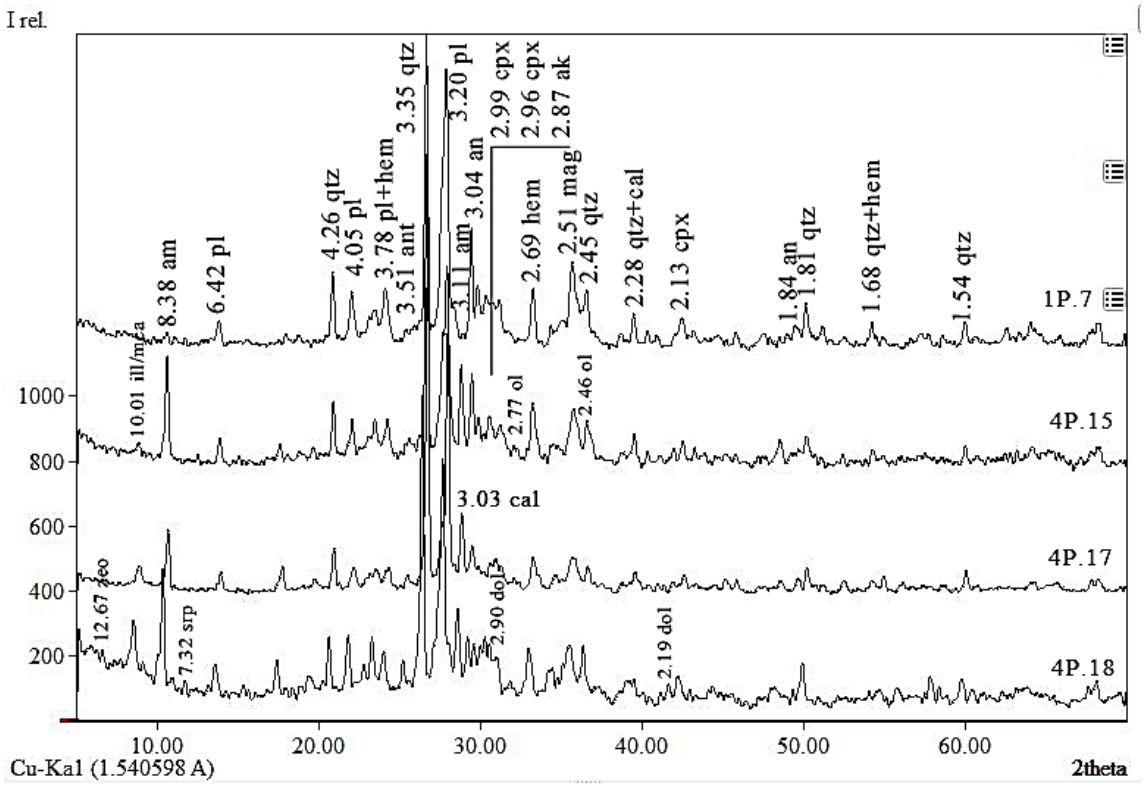
Şekil EK 2e-9. *YT-9/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



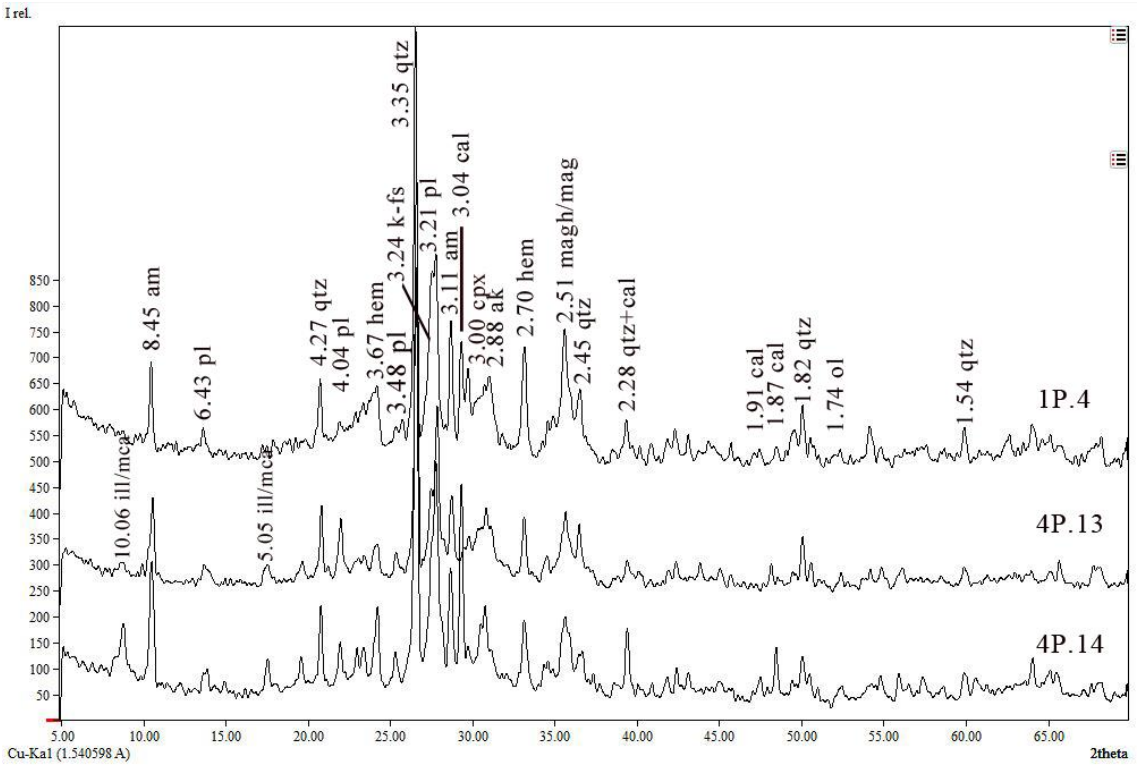
Şekil EK 2e-9. (Devam) *YT-9/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



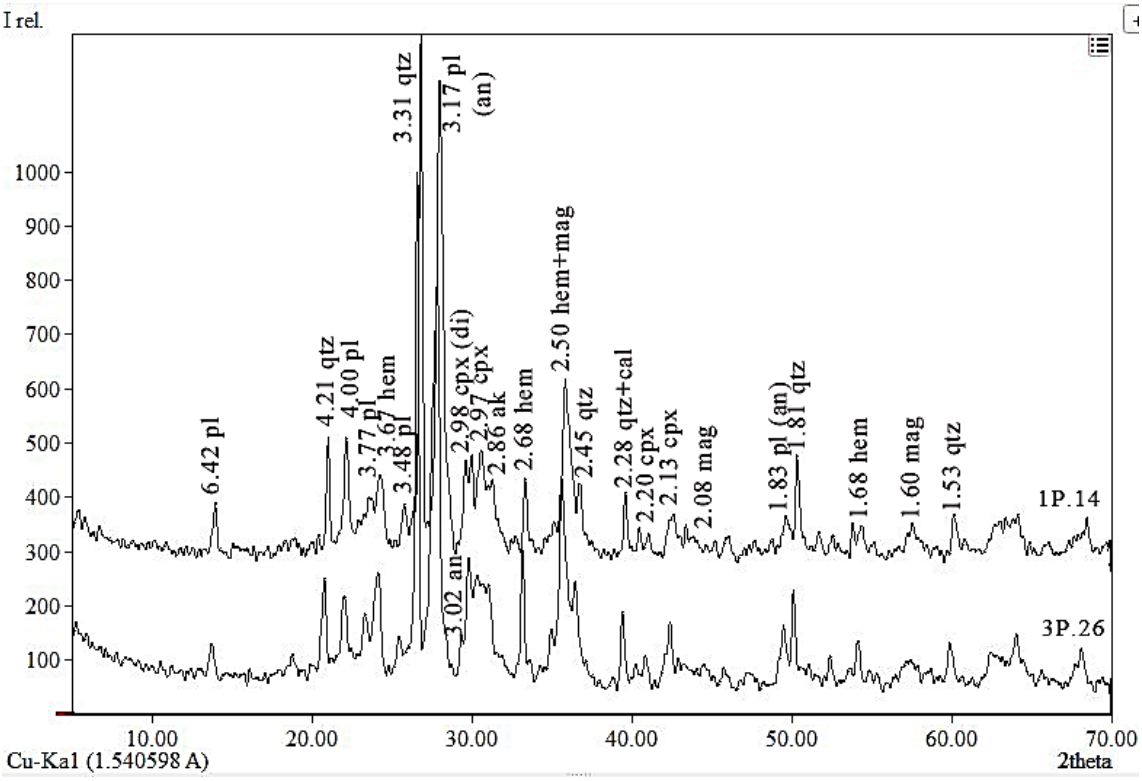
Şekil EK 2e-10. *YT-10/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



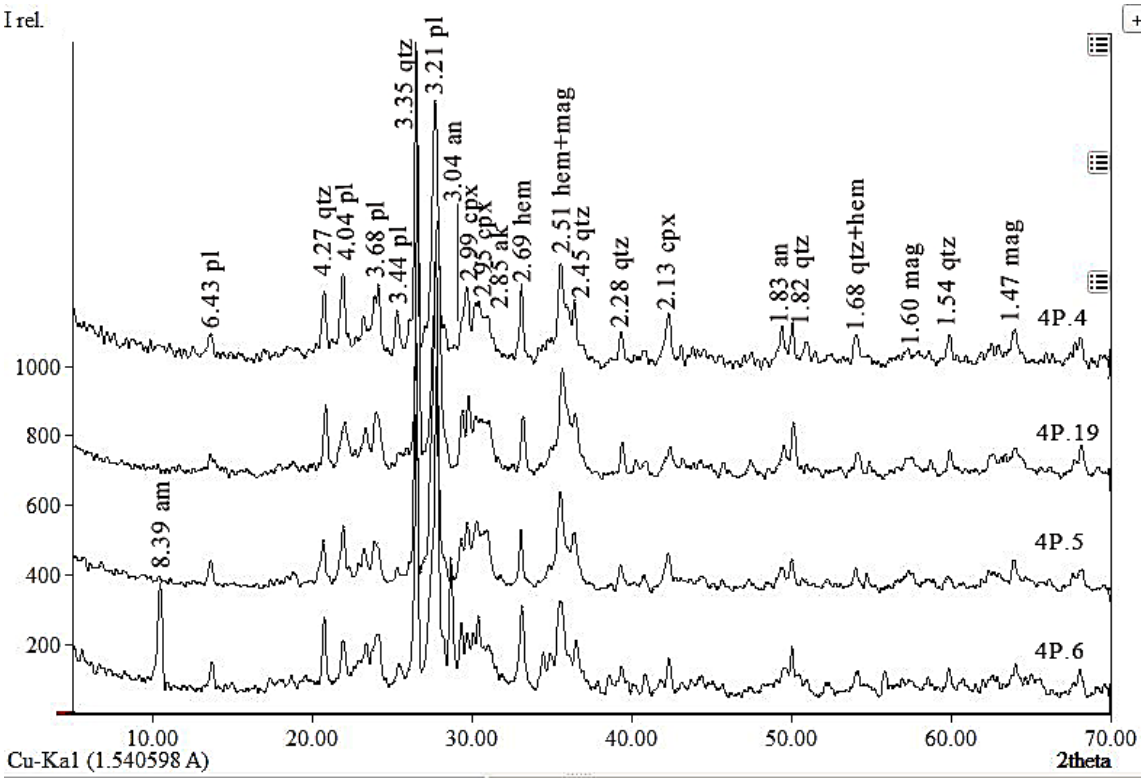
Şekil EK 2e-11. *YT-11/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



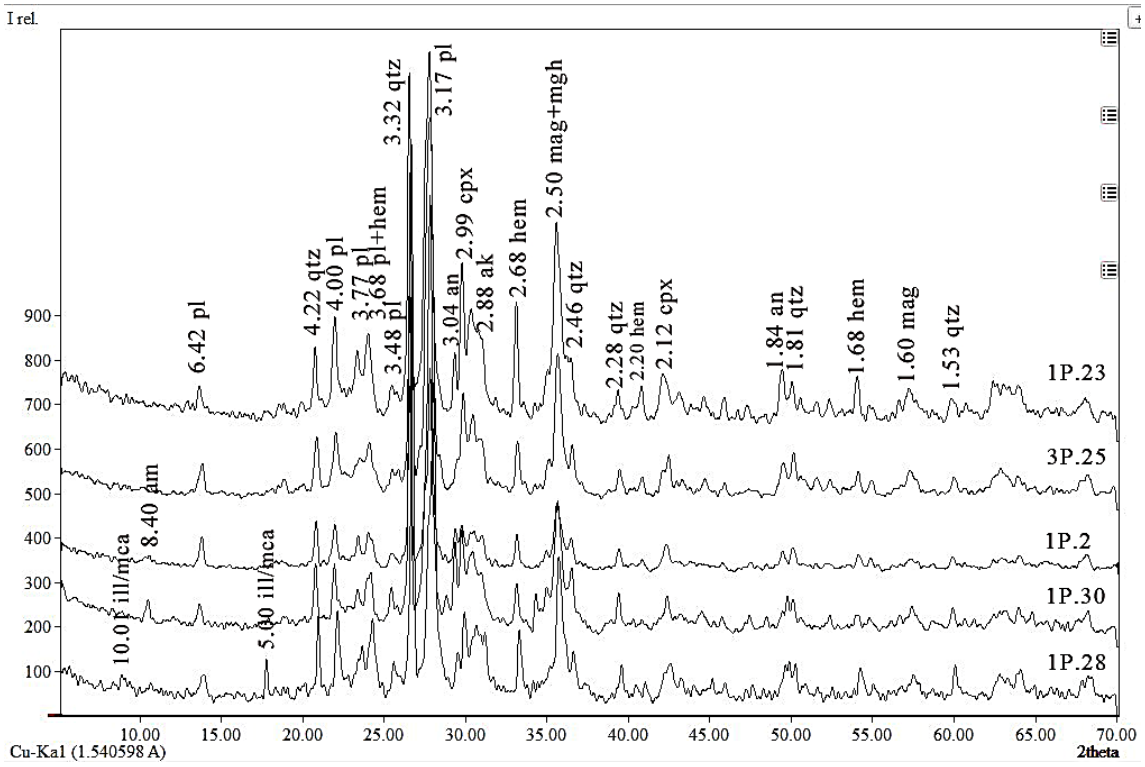
Şekil EK 2e-12. *YT-12/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



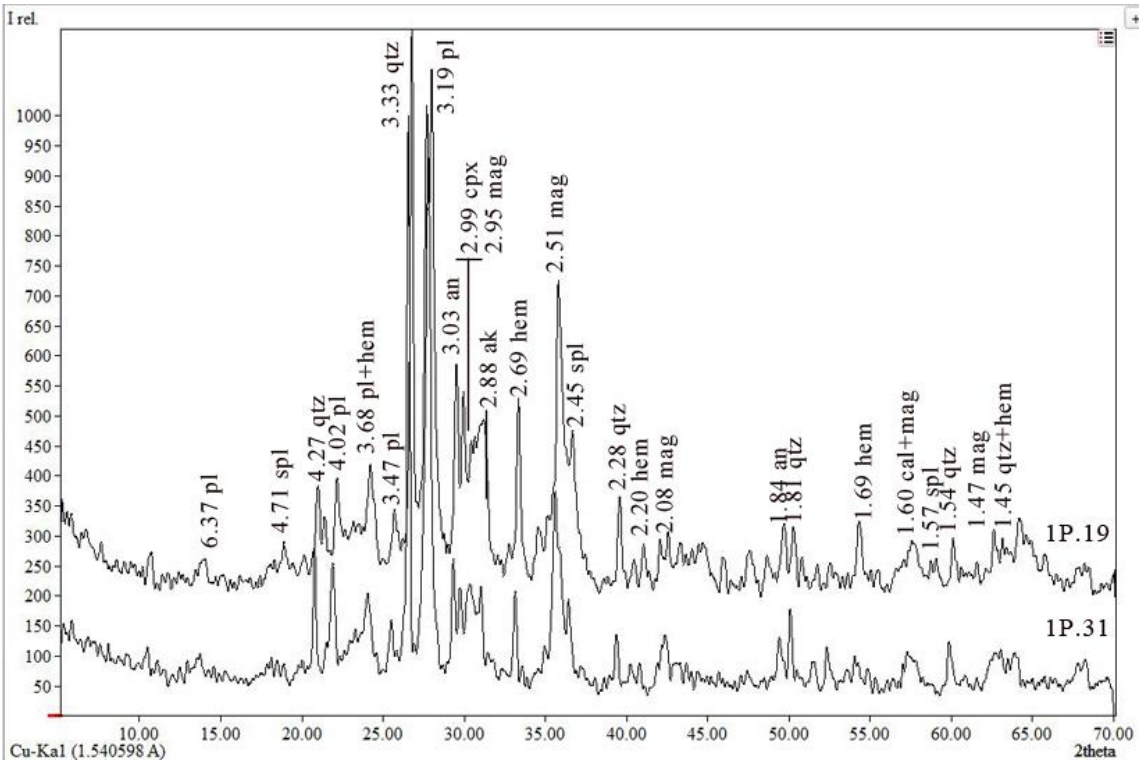
Şekil EK 2e-13. *YT-13/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



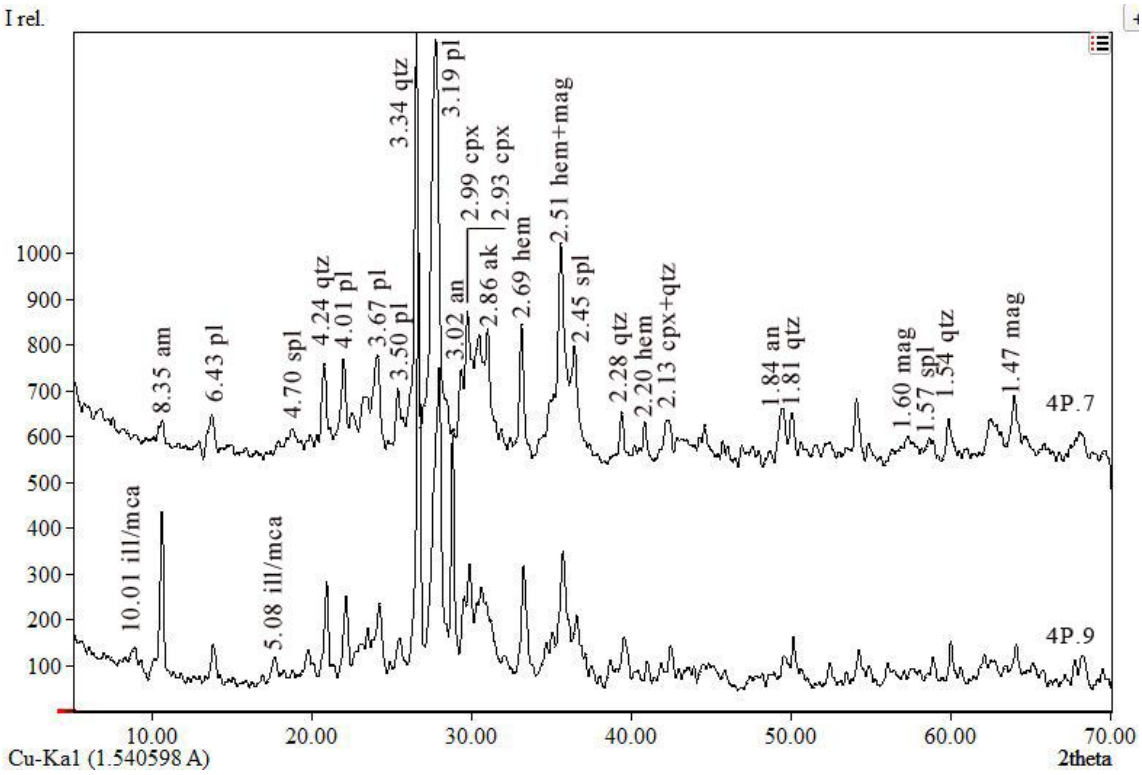
Şekil EK 2e-14. *YT-14/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



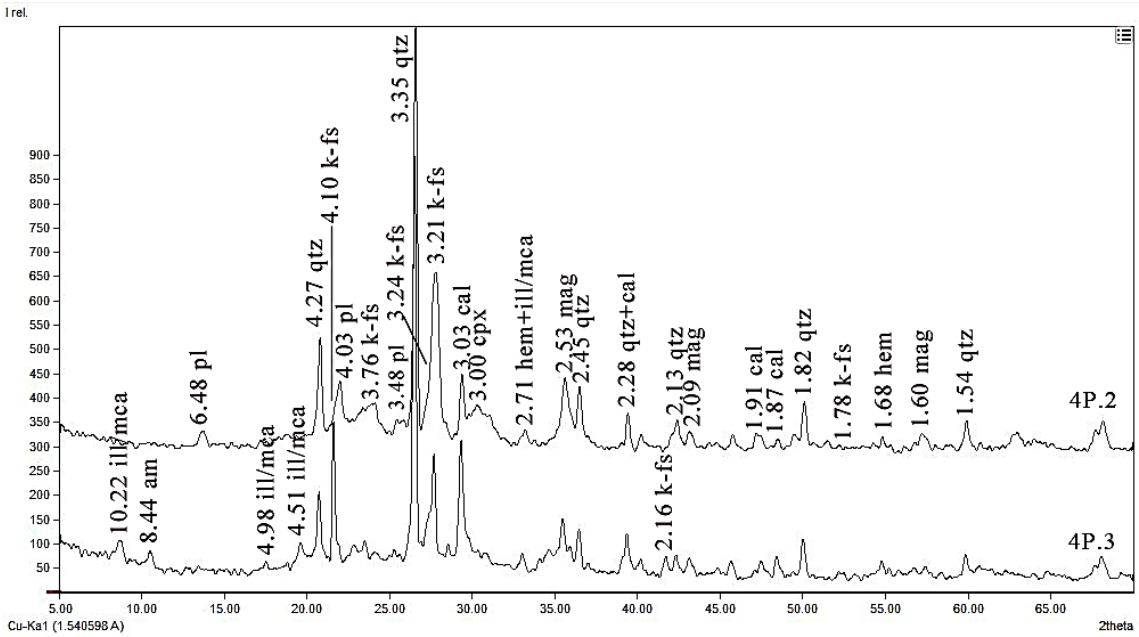
Şekil EK 2e-15. *YT-15/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



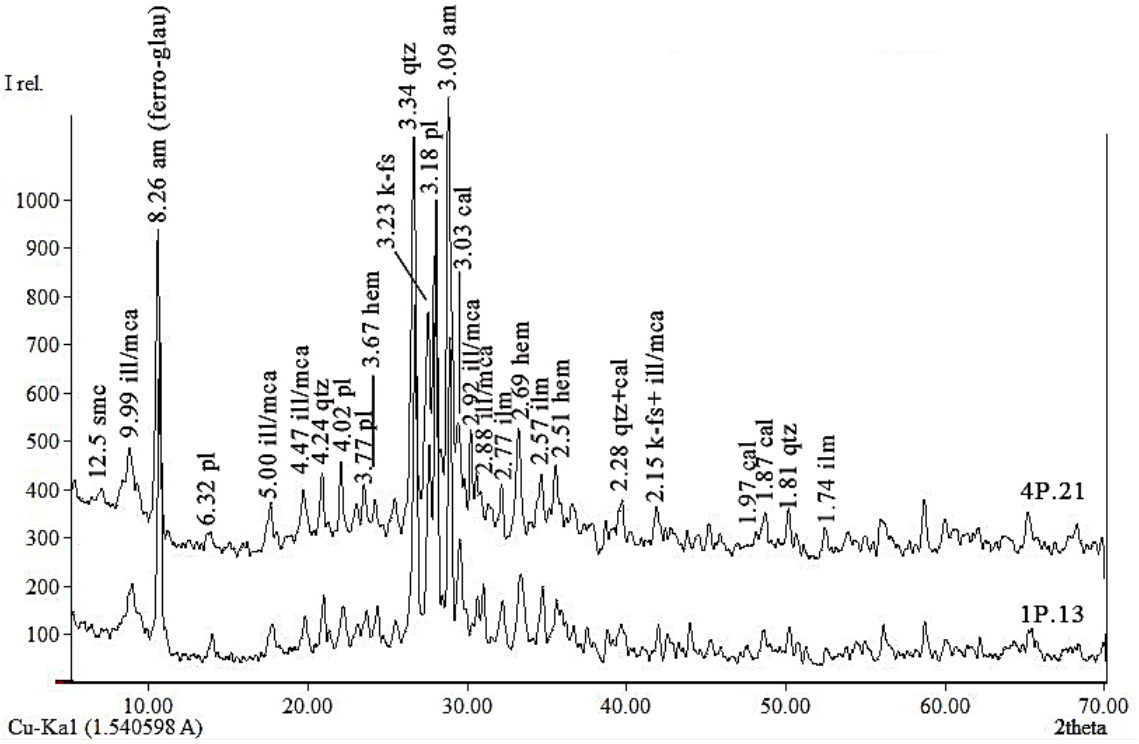
Şekil EK 2e-16. *YT-16/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



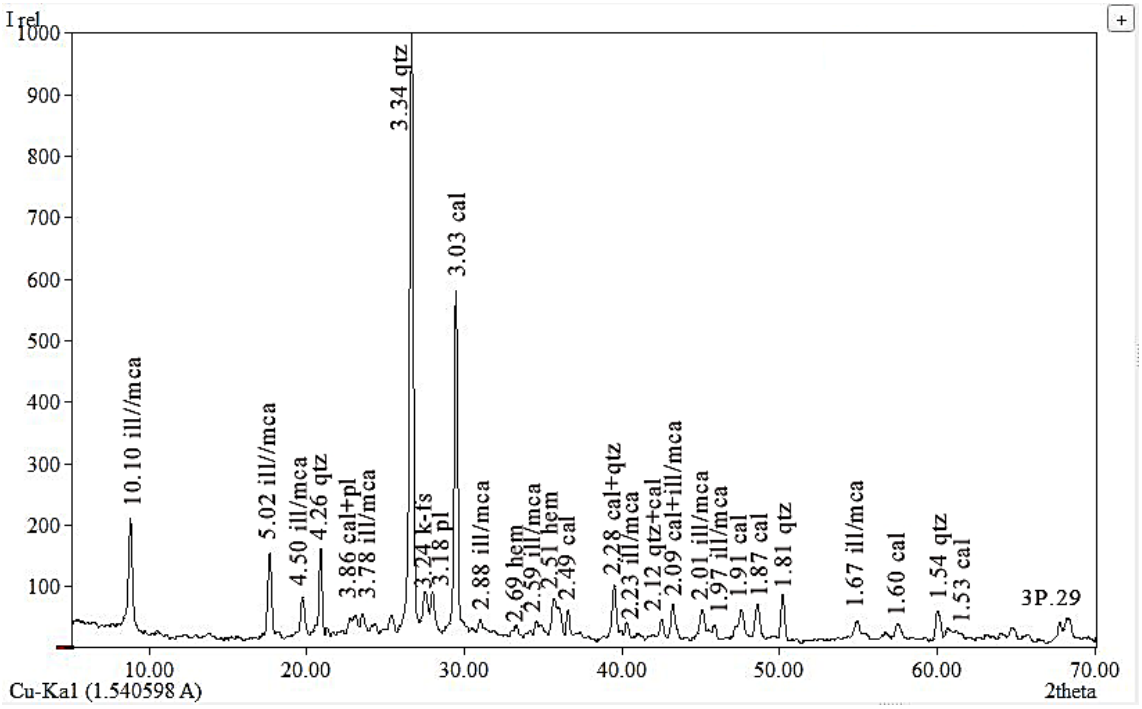
Şekil EK 2e-17. *YT-17/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



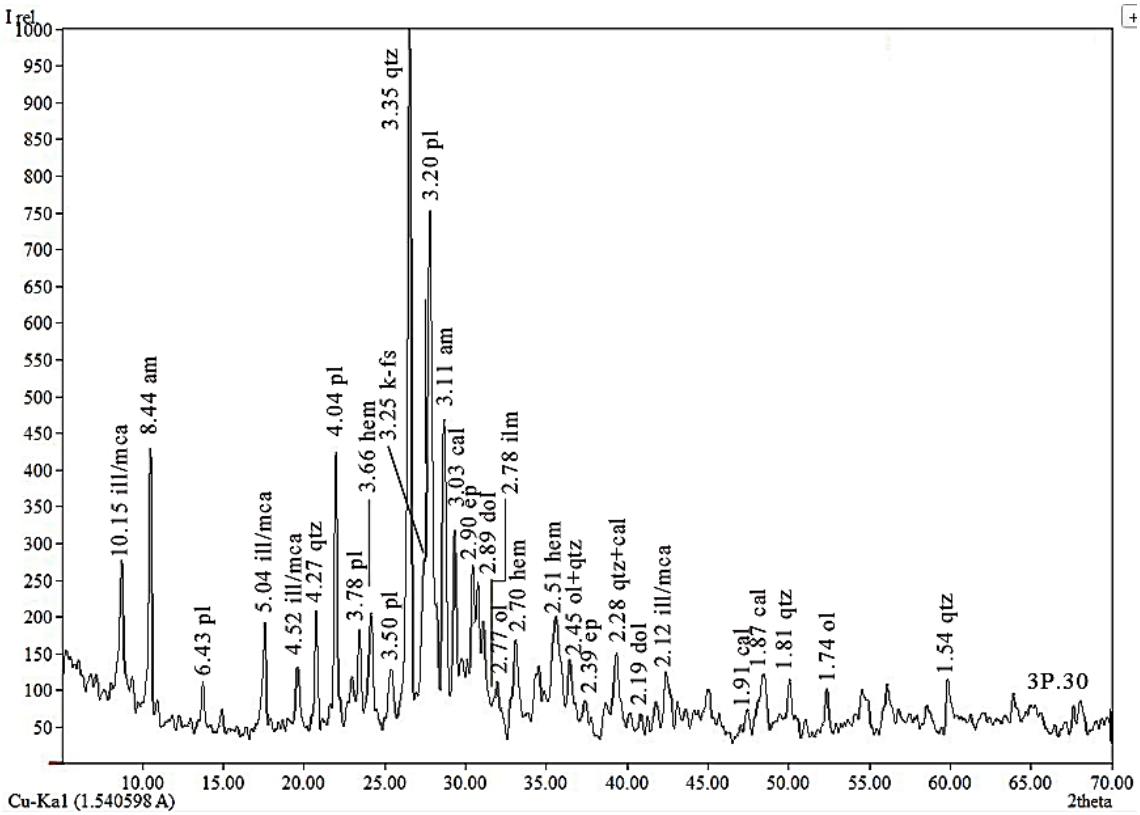
Şekil EK 2e-18. *YT-18/d:41-50 grubunun XRD faz kırınımı*



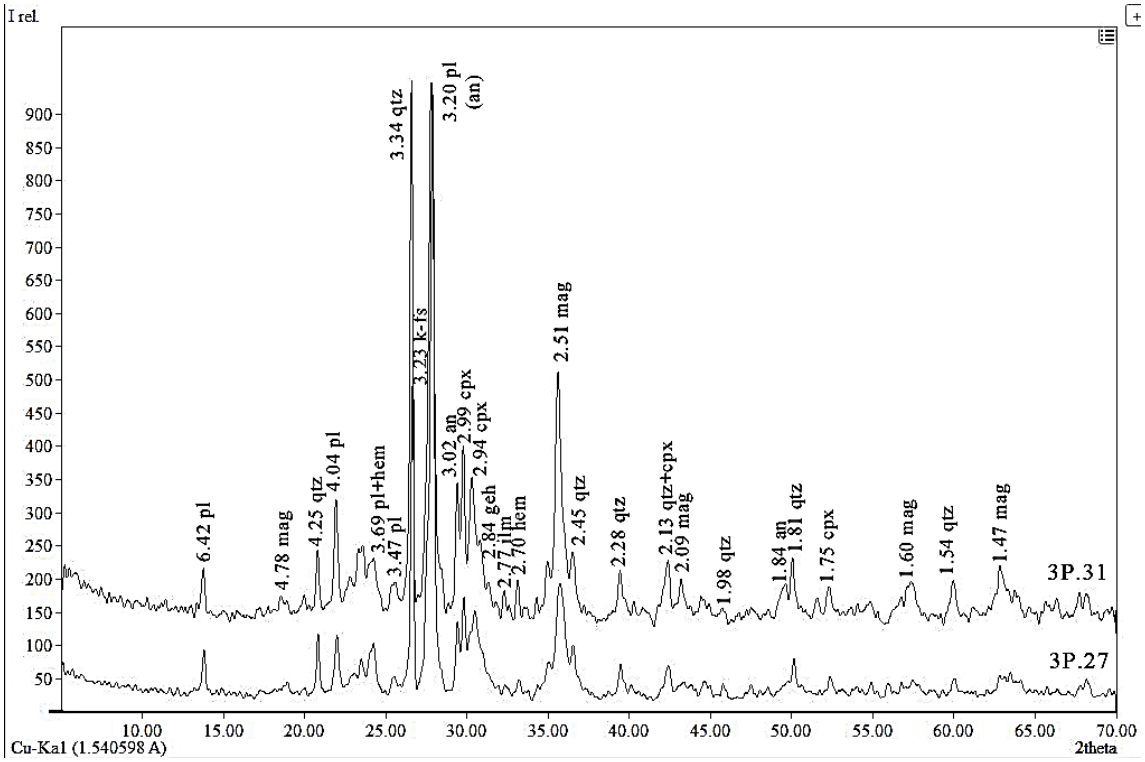
Şekil EK 2e-19. *YT-19/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



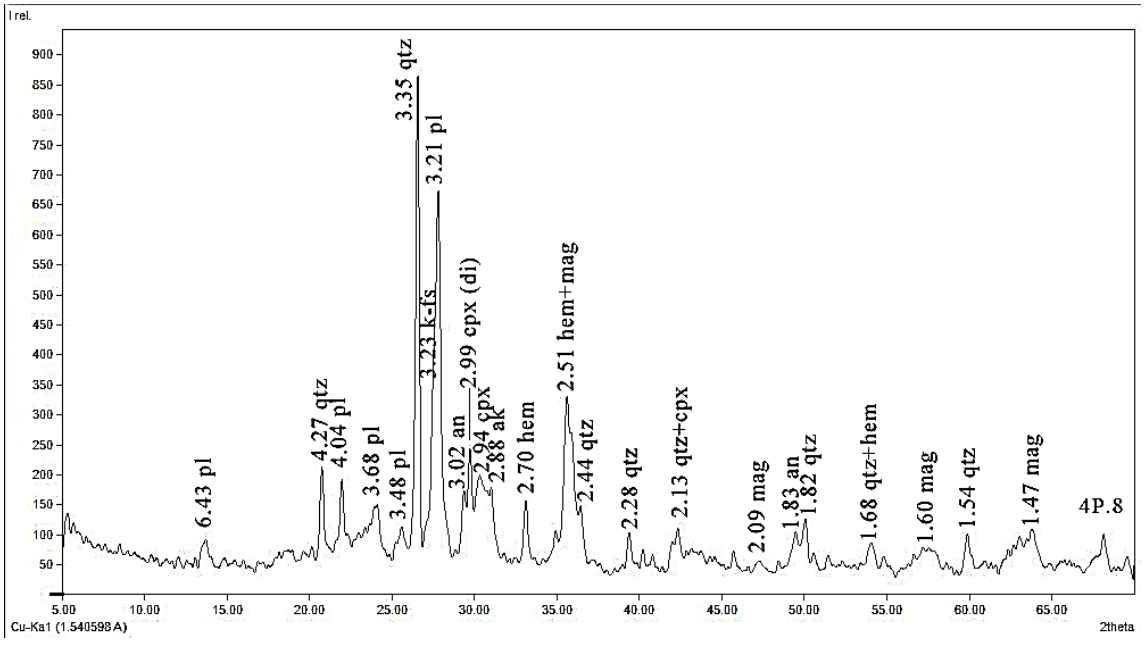
Şekil EK 2e-20. *YT-20/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



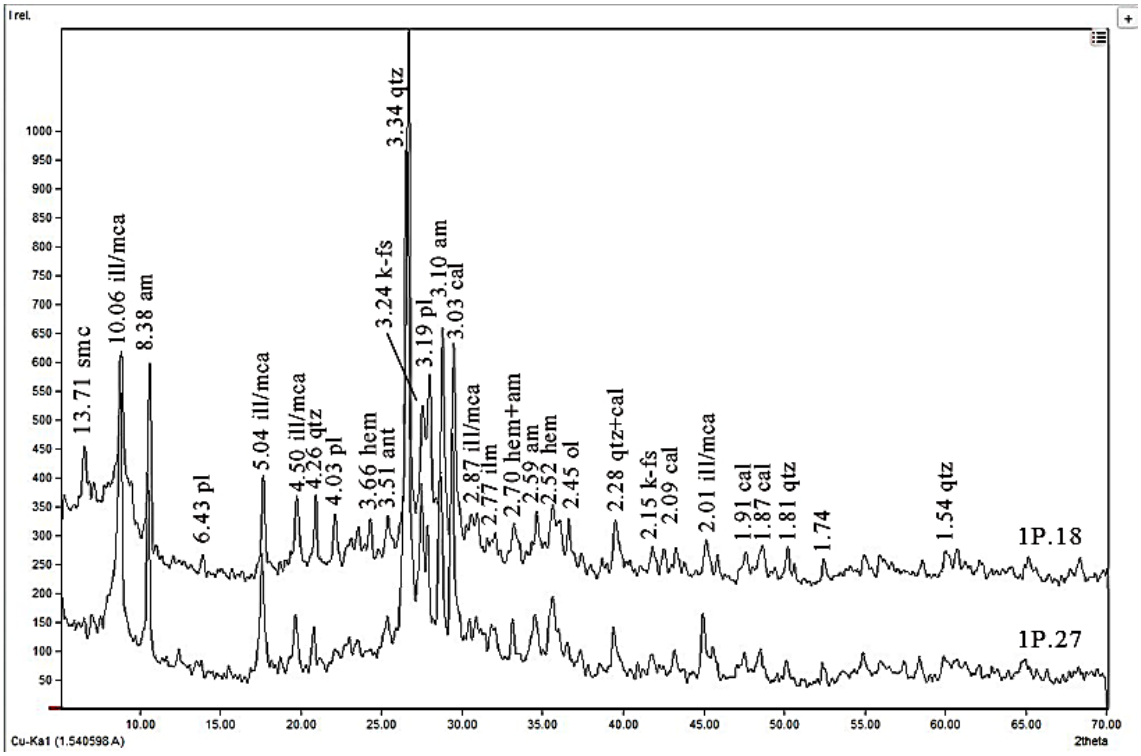
Şekil EK 2e-21. *YT-21/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



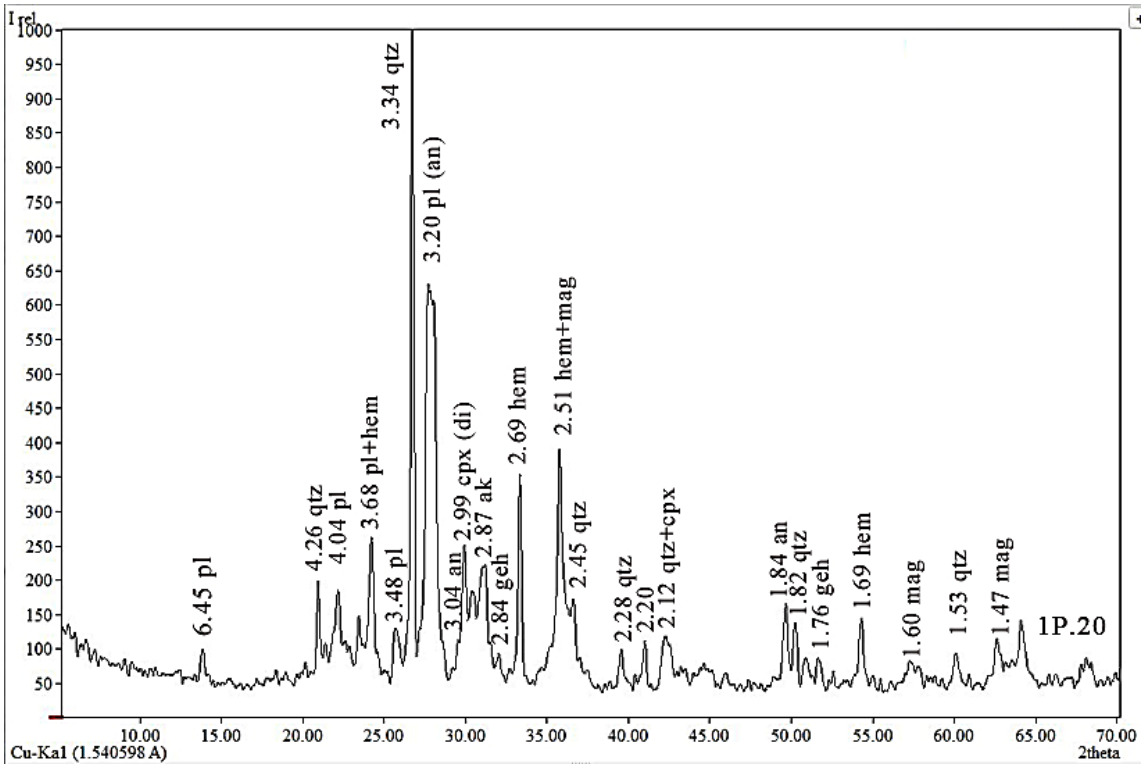
Şekil EK 2e-22. *YT-22/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



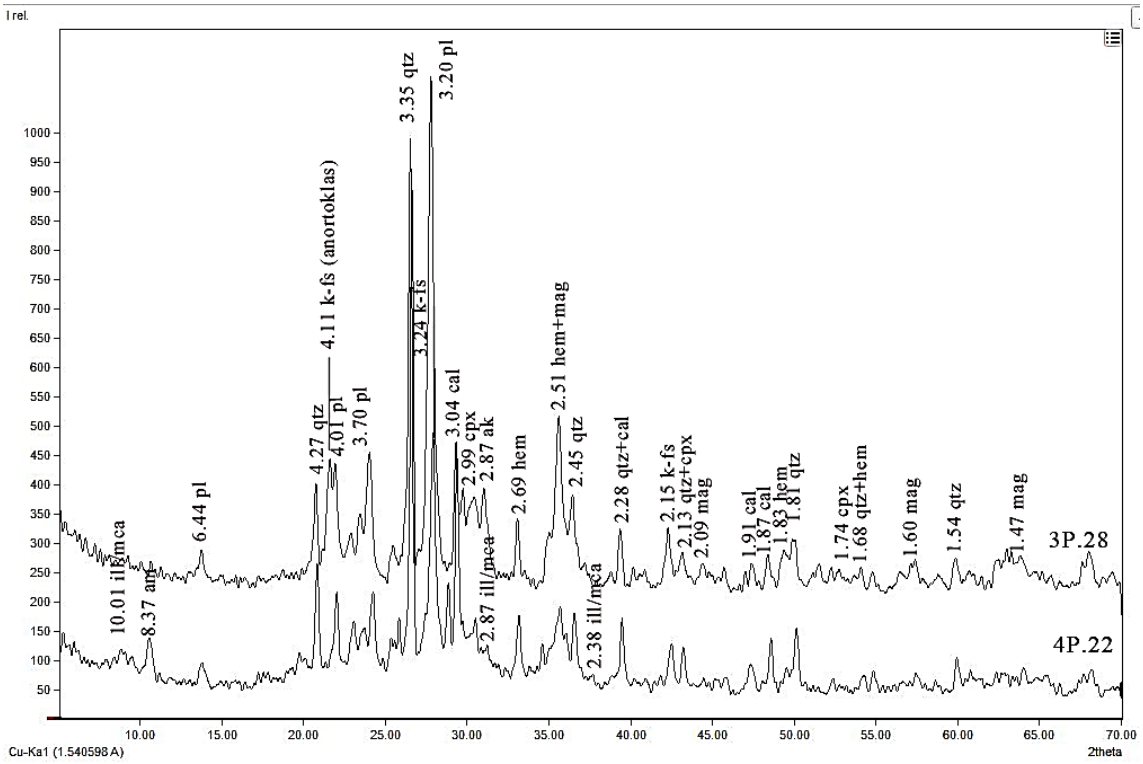
Şekil EK 2e-23. *YT-23/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



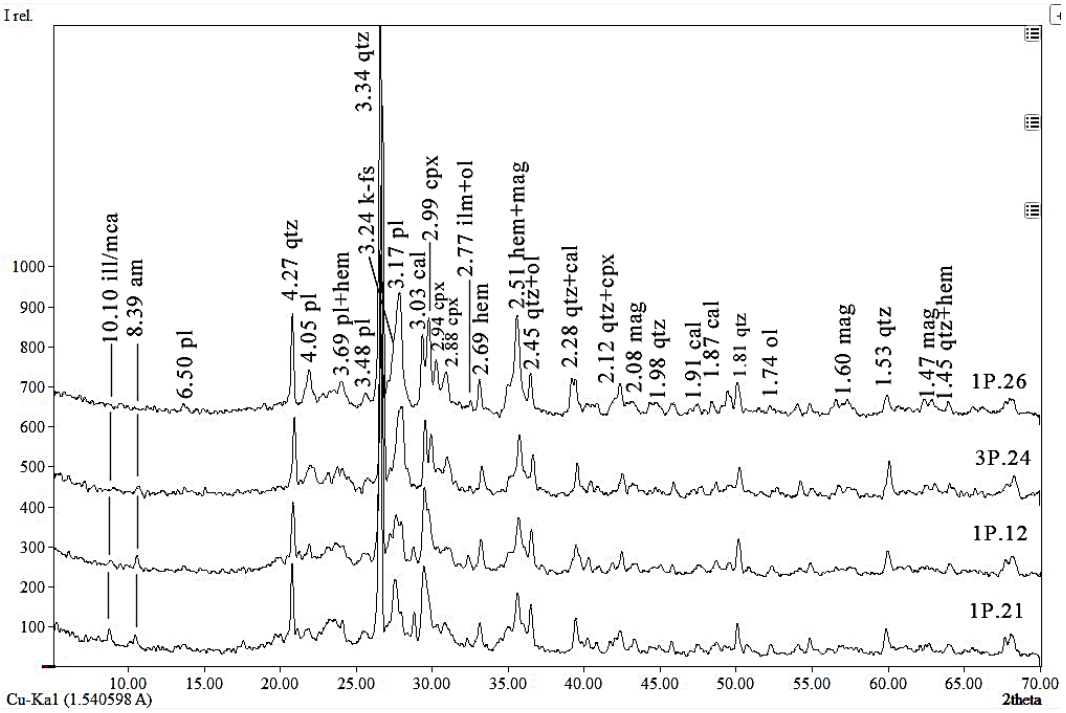
Şekil EK 2e-24. *YT-24/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



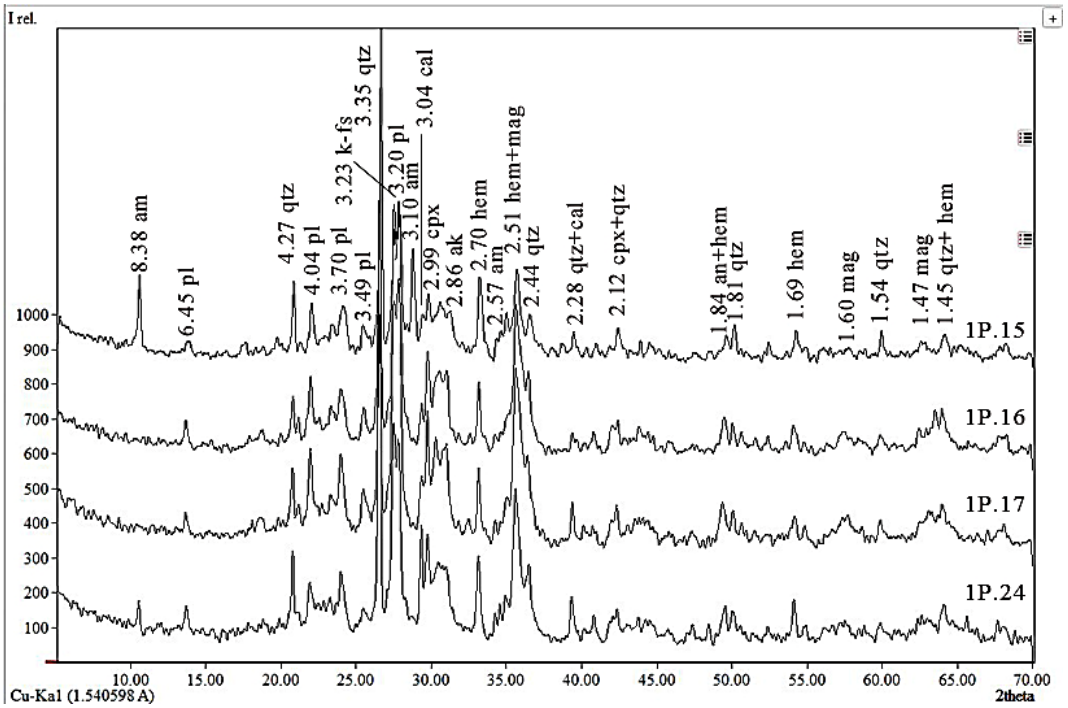
Şekil EK 2e-25. *YT-25/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



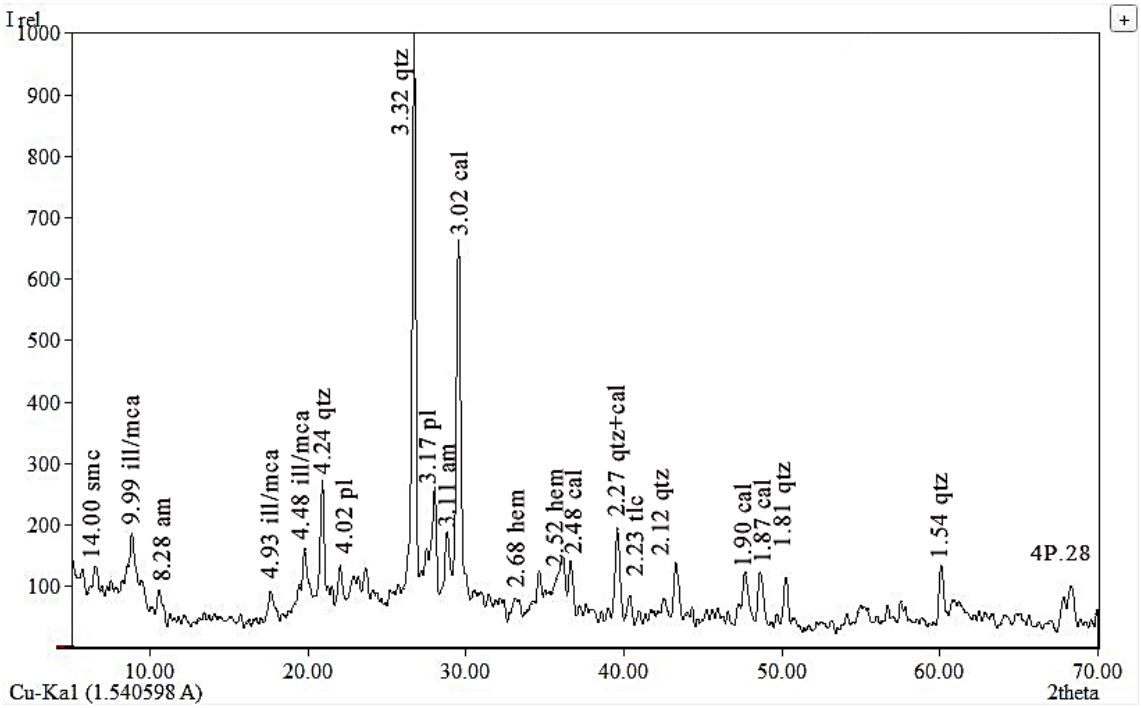
Şekil EK 2e-26. *YT-26/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



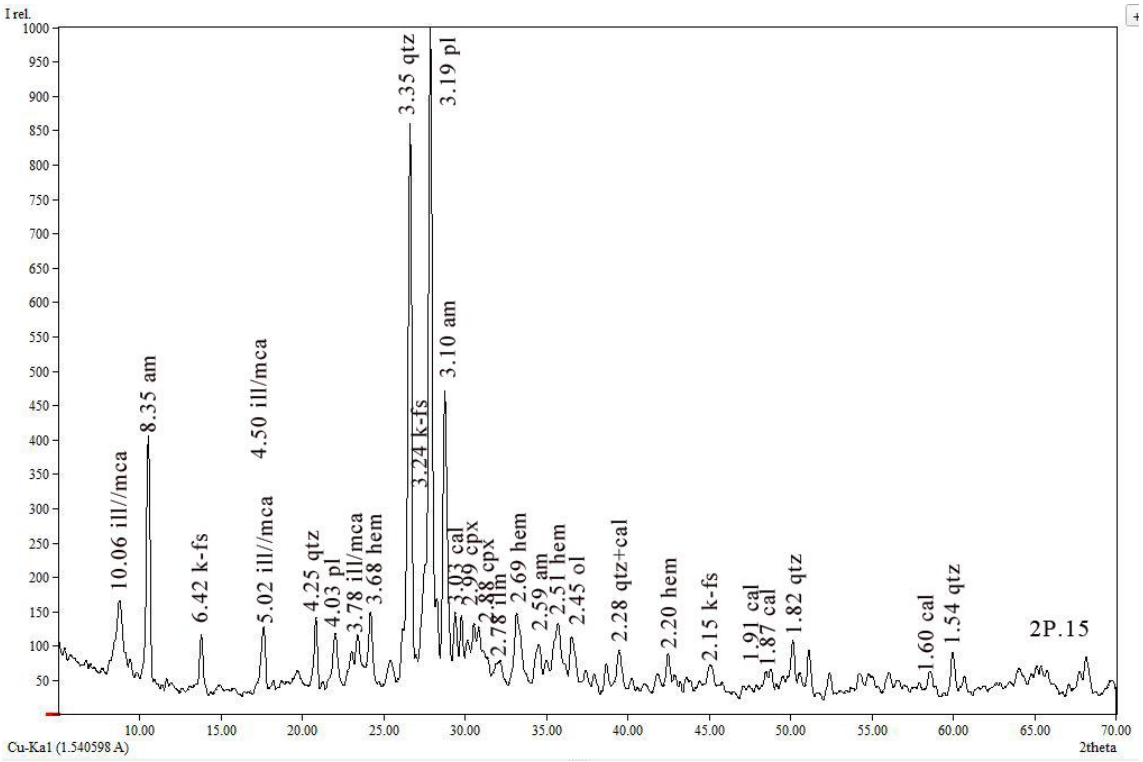
Şekil EK 2e-27. *YT-27/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



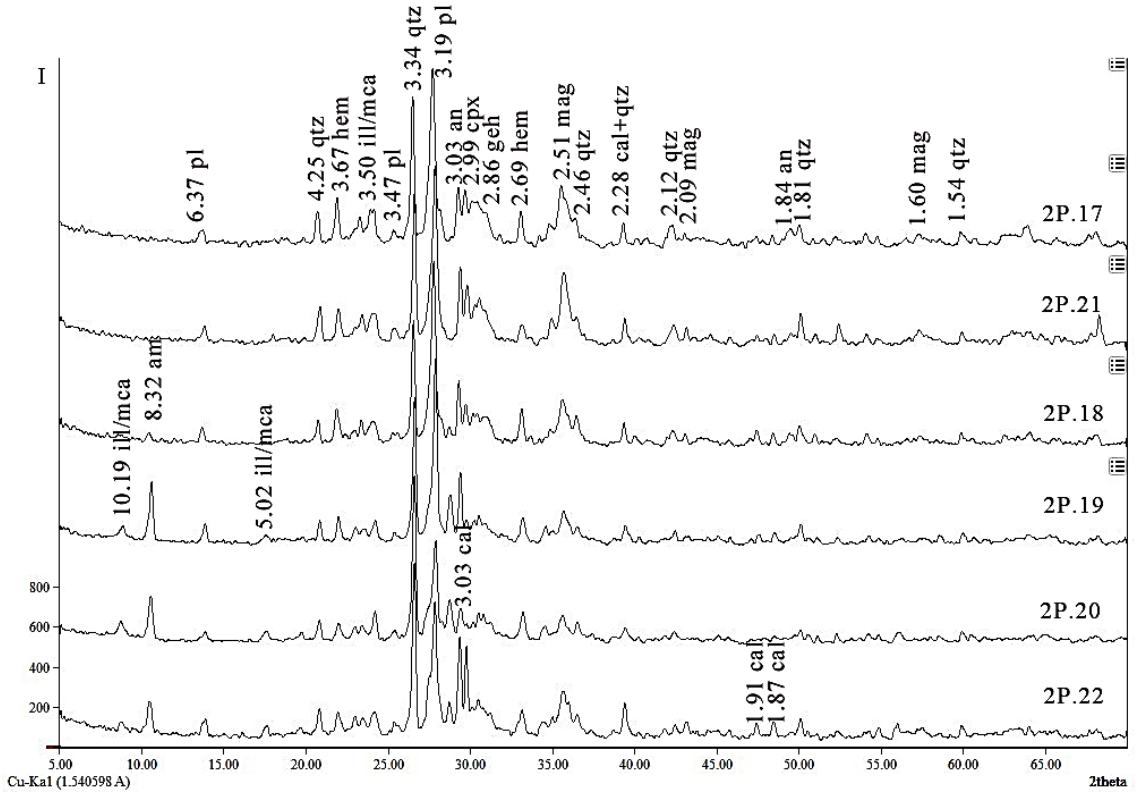
Şekil EK 2e-28. *YT-28/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



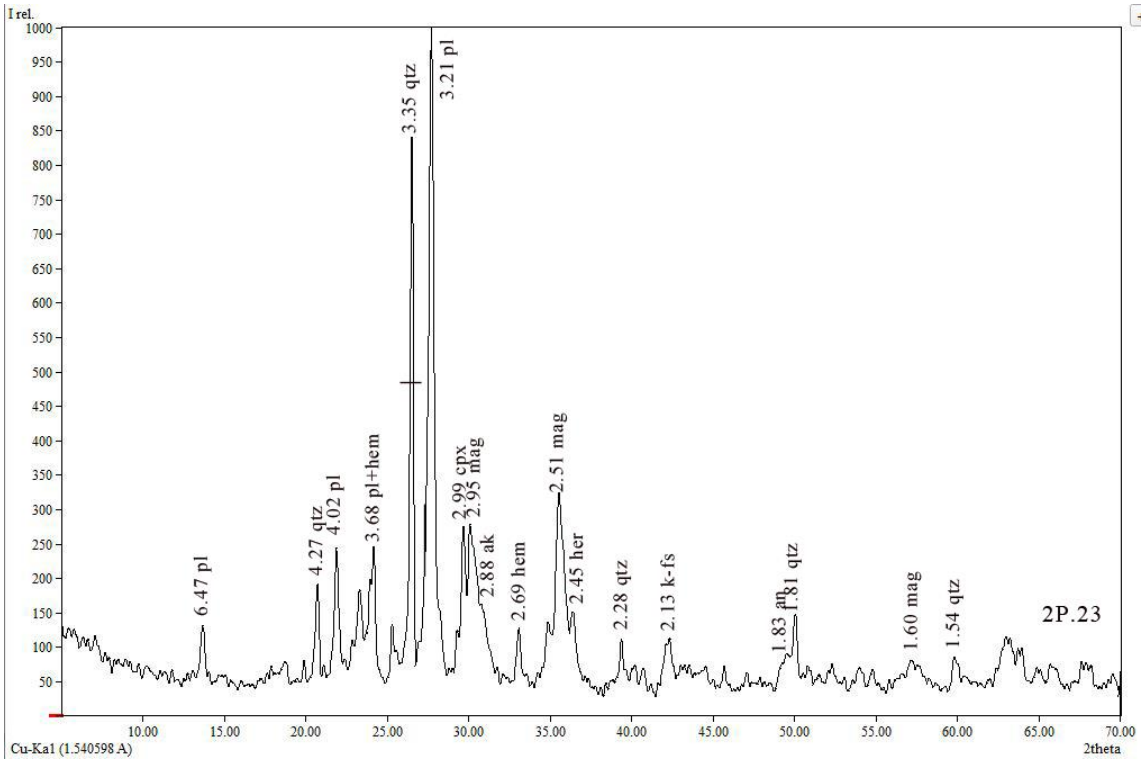
Şekil EK 2e-29. *YT-29/d:31-40 grubunun XRD faz kırınımı*



Şekil EK 2e-30. *YT-30/d:20-30 grubunun XRD faz kırınımı*



Şekil EK 2e-31. *YT-31/d:20-30 grubunun XRD faz kırınımı*



Şekil EK 2e-32. *YT-32/d:20-30 grubunun XRD faz kırınımı*

EK-3. Zemin Tuğlalarının Özet Deneysel Sonuçları

EK-3a. Fiziksel Analiz Sonuçları

Çizelge EK 3a-1. *ZT-1 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
3P.67	18,5	33,1	1,79	2,90	38,4	61,6
3P.48	19,2	33,8	1,77	2,90	39,0	61,0
3P.49	19,6	34,8	1,78	2,93	39,2	60,8
3P.47	19,4	34,4	1,78	2,93	39,4	60,6
4P.37	18,3	32,9	1,80	2,91	38,2	61,8
Ort.	19,0	33,8	1,78	2,91	38,8	61,2
SD (±)	0,5	0,7	0,01	0,01	0,5	0,5

Çizelge EK 3a-2. *ZT-2 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
2P.26	17,6	31,1	1,77	2,88	38,5	61,5
2P.27	17,0	30,5	1,79	2,90	38,2	61,8
3P.54	19,2	33,4	1,74	2,86	39,1	60,9
3P.55	17,9	31,8	1,77	2,86	38,1	61,9
4P.34	16,7	29,9	1,79	2,85	37,0	63,0
Ort.	17,7	31,3	1,77	2,87	38,2	61,8
SD (±)	0,9	1,2	0,02	0,02	0,7	0,7

Çizelge EK 3a-3. *ZT-3 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
3P.42	14,0	26,3	1,89	2,87	34,2	65,8
2P.16	19,2	34,7	1,80	2,87	37,2	62,8
4P.25	19,9	33,0	1,66	2,72	39,1	60,9
4P.23	19,2	32,8	1,71	2,73	37,2	62,8
4P.24	19,1	33,5	1,75	2,84	38,4	61,6
Ort.	18,3	32,1	1,76	2,81	38,0	62,0
SD (±)	2,2	2,9	0,08	0,07	0,8	0,8

Çizelge EK 3a-4. *ZT-4 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.72	19,3	33,4	1,73	2,89	40,0	60,0
3P.53	18,5	32,3	1,75	2,90	39,6	60,4
3P.60	19,0	33,5	1,76	2,89	39,1	60,9
3P.63	19,9	34,0	1,71	2,88	40,8	59,2
3P.56	18,8	33,0	1,75	2,90	39,5	60,5
3P.64	20,0	34,3	1,71	2,91	41,3	58,7
Ort.	19,3	33,4	1,74	2,90	40,1	59,9
SD (±)	0,6	0,6	0,02	0,01	0,7	0,7

Çizelge EK 3a-5. *ZT-5 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.58	19,0	32,7	1,72	2,89	40,5	59,5
3P.59	18,8	32,0	1,71	2,90	41,0	59,0
3P.52	18,0	31,9	1,77	2,89	38,8	61,2
3P.71	17,1	29,8	1,75	2,91	39,9	60,1
2P.29	17,3	30,2	1,75	2,88	39,3	60,7
2P.31	18,3	31,6	1,72	2,87	39,9	60,1
2P.32	17,2	30,2	1,75	2,87	38,9	61,1
2P.14	18,4	32,1	1,74	2,86	39,1	60,9
4P.39	17,7	30,9	1,74	2,84	38,8	61,2
4P.26	18,6	32,0	1,72	2,88	40,0	60,0
4P.27	18,0	31,5	1,75	2,85	38,5	61,5
4P.61	17,1	30,4	1,78	2,85	37,5	62,5
4P.40	17,7	30,6	1,73	2,86	39,4	60,6
Ort.	17,9	31,2	1,74	2,87	39,4	60,6
SD (±)	0,6	0,9	0,02	0,02	0,9	0,9

Çizelge EK 3a-6. *ZT-5 yanık grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.66	10,1	20,2	2,01	2,84	29,3	70,7
2P.30	13,0	24,7	1,90	2,84	33,0	67,0
4P.41	6,8	14,2	2,08	2,79	25,4	74,6
Ort.	10,0	19,7	2,00	2,82	29,2	70,8
SD (±)	2,5	4,3	0,07	0,03	3,1	3,1

Çizelge EK 3a-7. *ZT-6 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.68	19,2	33,5	1,74	2,87	39,3	60,7
3P.57	18,8	32,7	1,74	2,89	39,8	60,2
3P.50	20,1	34,4	1,71	2,87	40,4	59,6
3P.62	19,0	33,1	1,74	2,89	39,8	60,2
3P.51	19,1	33,1	1,73	2,89	40,2	59,8
3P.65	20,5	34,9	1,70	2,90	41,4	58,6
Ort.	19,5	33,6	1,73	2,89	40,1	59,9
SD (±)	0,6	0,8	0,02	0,01	0,6	0,6

Çizelge EK 3a-8. *ZT-7 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.69	19,6	33,1	1,69	2,89	41,5	58,5
3P.61	18,9	33,1	1,75	2,91	39,8	60,2
4P.42	18,9	32,9	1,74	2,88	39,6	60,4
Ort.	19,1	33,0	1,73	2,89	40,3	59,7
SD (±)	0,3	0,1	0,03	0,01	0,8	0,8

Çizelge EK 3a-9. *ZT-8 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.70	21,1	36,0	1,71	2,89	40,9	59,1
2P.28	19,8	34,5	1,74	2,90	40,0	60,0
4P.35	23,3	36,8	1,58	2,75	42,7	57,3
4P.43	19,3	33,1	1,71	2,87	40,2	59,8
4P.38	18,8	33,4	1,77	2,90	39,0	61,0
Ort.	20,5	34,8	1,70	2,86	40,6	59,4
SD (±)	1,6	1,4	0,07	0,06	1,2	1,2

Çizelge EK 3a-10. *ZT-9 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.38	23,6	38,2	1,62	2,91	44,3	55,7
3P.33	23,1	37,7	1,64	2,90	43,6	56,4
4P.33	21,4	35,2	1,64	2,87	42,8	57,2
Ort.	22,7	37,0	1,63	2,89	43,6	56,4
SD (±)	0,9	1,3	0,01	0,01	0,6	0,6

Çizelge EK 3a-11. *ZT-10 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.25	21,7	35,4	1,63	2,85	42,8	57,2
3P.43	24,9	40,7	1,64	2,84	42,4	57,6
Ort.	23,3	38,0	1,63	2,85	42,6	57,4
SD (±)	1,6	2,7	0,00	0,01	0,2	0,2

Çizelge EK 3a-12. *ZT-11 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.24	23,9	37,4	1,56	2,86	45,3	54,7
3P.39	23,9	38,5	1,61	2,85	43,7	56,3
Ort.	23,9	37,9	1,58	2,85	44,5	55,5
SD (±)	0,0	0,5	0,0	0,0	0,8	0,8

Çizelge EK 3a-13. *ZT-12 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.46	29,2	41,8	1,43	2,67	46,2	53,8
3P.32	22,2	34,7	1,56	2,63	40,8	59,2
Ort.	25,7	38,2	1,50	2,65	43,5	56,5
SD (±)	3,5	3,6	0,06	0,02	2,7	2,7

EK-3b. Mekanik Analiz Sonuçları

Çizelge EK 3b-1. *ZT-1 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	**$I_{s(50)}$**	**UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)**	**UPV (km/s)**	**E_{mod} (GPa)**	**Schmidt sertliği**
3P.67	0,5	7,5	2,5	6,9	27
3P.48	0,5	8,1	2,5	6,9	23
3P.49	0,4	7,2	2,2	5,1	24
3P.47	0,5	7,9	2,0	4,3	24
4P.37	0,5	7,7	2,1	4,8	24
Ort.	0,5	7,7	2,2	5,6	24
SD (±)	0,0	0,3	0,2	1,1	2

Çizelge EK 3b-2. *ZT-2 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	**$I_{s(50)}$**	**UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)**	**UPV (km/s)**	**E_{mod} (GPa)**	**Schmidt sertliği**
2P.26	1,0	13,0	2,3	5,5	21
2P.27	-	-	2,5	6,9	20
3P.54	0,3	5,8	2,0	4,3	20
3P.55	0,3	6,0	1,8	3,7	21
4P.34	0,4	7,3	1,7	3,0	20
Ort.	0,5	8,0	2,0	4,7	20
SD (±)	0,3	2,9	0,3	1,4	1

Çizelge EK 3b-3. *ZT-3 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	**$I_{s(50)}$**	**UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)**	**UPV (km/s)**	**E_{mod} (GPa)**	**Schmidt sertliği**
3P.42	1,6	20,0	2,3	6,0	33
2P.16	0,2	4,9	2,0	4,3	35
4P.25	-	-	2,6	6,9	32
4P.23	0,6	8,6	1,76	3,3	27
Ort.	0,8	11,2	2,1	5,1	32
SD (±)	0,6	6,4	0,3	1,4	3

Çizelge EK 3b-4. *ZT-4 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	**$I_{s(50)}$**	**UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)**	**UPV (km/s)**	**E_{mod} (GPa)**	**Schmidt sertliği**
3P.72	-	-	2,4	6,3	24
3P.53	0,8	10,8	2,0	4,3	21
3P.60	1,2	15,5	2,2	5,3	26
3P.63	0,7	9,7	1,9	3,8	25
3P.56	0,3	5,3	2,2	5,0	20
3P.64	0,7	9,7	2,3	5,7	20
Ort.	0,7	10,2	2,2	5,1	23
SD (±)	0,3	3,3	0,2	0,8	2

Çizelge EK 3b-5. *ZT-5 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.58	0,9	12,2	2,7	7,9	25
3P.59	1,3	16,3	2,4	6,1	23
3P.52	-	-	2,9	8,9	26
3P.71	0,9	12,5	2,2	5,3	27
2P.29	1,4	17,9	2,3	5,7	28
2P.31	1,3	16,5	3,1	10,4	29
2P.32	1,2	15,2	2,2	5,0	19
4P.39	1,4	17,6	2,9	9,1	31
4P.26	1,7	20,4	2,4	6,3	29
4P.27	1,3	16,8	2,2	5,0	31
4P.61	1,2	15,3	2,3	6,0	32
4P.40	1,3	16,5	2,5	6,5	26
Ort.	1,3	16,1	2,5	6,9	27
SD (±)	0,2	2,2	0,3	1,7	4

Çizelge EK 3b-6. *ZT-5 yanık grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.66	5,1	57,1	3,3	13,4	48
2P.30	4,3	48,4	3,4	13,3	42
4P.41	5,7	62,9	3,2	13,6	49
Ort.	5,0	56,1	3,3	13,4	46
SD (±)	0,6	6,0	0,0	0,1	3

Çizelge EK 3b-7. *ZT-6 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.68	1,1	14,3	2,5	7,0	23
3P.57	0,3	5,9	2,1	4,9	24
3P.50	0,3	5,2	2,2	5,1	28
3P.62	1,2	15,1	2,1	4,6	30
3P.51	0,5	7,7	2,1	4,9	22
3P.65	-	-	1,9	3,6	24
Ort.	0,7	9,6	2,2	5,0	25
SD (±)	0,4	4,2	0,2	1,0	3

Çizelge EK 3b-8. *ZT-7 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.69	1,1	13,8	2,1	4,7	22
3P.61	1,2	14,8	2,2	5,5	23
4P.42	0,2	4,5	2,1	4,9	24
Ort.	0,8	11,0	2,2	5,0	23
SD (±)	0,4	4,6	0,1	0,3	1

Çizelge EK 3b-9. *ZT-8 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.70	-	-	2,1	4,5	24
2P.28	1,0	12,9	2,4	6,1	26
4P.35	0,3	0,4	2,4	5,8	30
4P.43	0,6	9,4	2,2	5,0	26
4P.38	0,4	6,6	2,2	5,5	30
Ort.	0,6	7,3	2,3	5,4	27
SD (±)	0,3	4,6	0,1	0,6	2

Çizelge EK 3b-10. *ZT-9 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.38	1,2	15,4	2,9	8,5	33
3P.33	1,0	13,1	2,2	4,8	29
4P.33	1,1	14,6	2,6	7,1	32
Ort.	1,1	14,4	2,6	6,8	31
SD (±)	0,1	1,0	0,3	1,5	2

Çizelge EK 3b-11. *ZT-10 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
2P.24	0,2	4,5	1,7	3,0	23

Çizelge EK 3b-12. *ZT-11 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
2P.24	2,8	32,5	3,4	10,9	43
3P.39	1,7	21,1	3,2	10,3	47
Ort.	2,3	26,8	3,3	10,6	45
SD (±)	0,5	5,7	0,1	0,3	2

Çizelge EK 3b-13. *ZT-12 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS $_{eşdeğer}$ (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
3P.46	0,7	9,8	2,2	4,5	21
3P.32	0,4	6,6	2,5	6,0	31
Ort.	0,5	8,2	2,4	5,2	26
SD (±)	0,1	1,6	0,1	0,8	5

EK-3c. Kızdırma Kaybı ve Puzolanik Aktivite Analizi Sonuçları

Çizelge EK 3c-1. *ZT-1 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
3P.67	0,1	0,7	1,4	2,1	3,3	0,30
3P.48	0,3	1,1	2,5	3,6	5,7	0,22
3P.49	0,1	1,1	2,1	3,2	4,8	0,49
3P.47	0,2	0,8	2,3	3,1	5,2	0,27
4P.37	0,2	1,0	2,0	3,0	4,5	0,24
Ort.	0,2	0,9	2,1	3,0	4,7	0,30
SD (±)	0,1	0,2	0,4	0,5	0,8	0,10

Çizelge EK 3c-2. *ZT-2 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
2P.26	0,5	1,3	3,1	4,4	7,0	0,61
2P.27	0,4	1,7	2,5	4,2	5,8	0,69
3P.54	0,3	1,4	2,7	4,1	6,2	0,58
3P.55	0,4	1,1	2,4	3,5	5,5	0,53
4P.34	0,6	1,5	3,3	4,8	7,5	0,60
Ort.	0,4	1,4	2,8	4,2	6,4	0,60
SD (±)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	0,05

Çizelge EK 3c-3. *ZT-3 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
3P.42	0,7	1,5	2,7	4,3	6,2	0,64
2P.16	0,2	0,7	1,3	2,0	3,0	0,41
4P.25	0,2	1,2	2,5	3,7	5,6	0,40
4P.23	0,6	1,7	3,1	4,9	7,2	1,03
4P.24	0,5	2,8	3,2	6,0	7,4	0,72
Ort.	0,4	1,6	2,6	4,2	5,9	0,64
SD (±)	0,2	0,7	0,7	1,3	1,6	0,23

Çizelge EK 3c-4. *ZT-4 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
3P.53	0,6	0,5	1,9	2,4	4,3	0,34
3P.60	0,1	0,9	1,8	2,7	4,1	0,47
3P.63	0,1	0,9	1,8	2,7	4,1	0,31
3P.56	0,3	1,2	3,0	4,1	6,7	0,31
3P.64	0,3	1,0	1,7	2,7	3,9	0,29
Ort.	0,3	0,9	2,0	2,9	4,6	0,34
SD (±)	0,2	0,2	0,5	0,6	1,1	0,06

Çizelge EK 3c-5. *ZT-5 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.58	0,3	0,7	0,8	1,5	1,9	0,20
3P.59	0,1	0,6	0,9	1,5	2,0	0,23
3P.52	0,1	0,7	1,1	1,8	2,5	0,32
3P.71	0,1	0,7	1,2	2,0	2,72	0,25
2P.29	0,1	0,6	1,0	1,6	2,2	0,24
2P.31	0,2	0,6	1,3	1,8	2,9	0,24
2P.32	0,2	0,9	2,1	3,0	4,8	0,28
4P.39	0,1	1,2	1,0	2,2	2,3	0,22
4P.26	0,1	0,8	1,1	1,9	2,5	0,17
4P.27	0,1	1,1	1,0	2,1	2,2	0,09
4P.61	0,1	0,8	1,1	1,9	2,5	0,34
4P.40	0,2	0,8	0,7	1,5	1,6	0,27
Ort.	0,2	0,8	1,1	1,9	2,5	0,24
SD (±)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	0,06

Çizelge EK 3c-6. *ZT-5 yanık grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.66	0,1	0,6	0,7	1,3	1,6	0,18
2P.30	0,1	0,5	0,7	1,2	1,6	0,30
4P.41	0,2	0,7	0,7	1,4	1,5	0,26
Ort.	0,1	0,6	0,7	1,3	1,6	0,25
SD (±)	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,05

Çizelge EK 3c-7. *ZT-6 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.68	0,3	1,1	2,6	3,7	5,8	0,57
3P.57	0,1	0,9	2,3	3,3	5,3	0,36
3P.50	0,1	0,7	1,6	2,4	3,7	0,36
3P.62	0,1	0,7	1,1	1,8	2,5	0,20
3P.51	0,0	0,8	1,3	2,1	3,0	0,23
3P.65	0,1	0,8	1,3	2,1	2,8	0,39
Ort.	0,1	0,8	1,7	2,5	3,9	0,35
SD (±)	0,1	0,1	0,6	0,7	1,3	0,12

Çizelge EK 3c-8. *ZT-7 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.69	0,1	0,5	1,1	1,6	2,5	0,40
3P.61	0,1	0,6	1,5	2,1	3,5	0,35
4P.42	0,0	0,8	1,5	2,2	3,3	0,11
Ort.	0,1	0,6	1,4	2,0	3,1	0,29
SD (±)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,13

Çizelge EK 3c-9. *ZT-8 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.70	0,2	1,1	1,6	2,7	3,7	0,28
2P.28	0,2	1,1	1,9	3,0	4,4	0,41
4P.35	0,3	1,8	2,6	4,4	6,0	0,38
4P.43	0,2	1,1	2,1	3,2	4,8	0,36
4P.38	0,2	1,0	2,4	3,3	5,4	0,31
Ort.	0,2	1,2	2,1	3,3	4,8	0,35
SD (±)	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,05

Çizelge EK 3c-10. *ZT-9 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.38	0,1	0,7	0,6	1,4	1,5	0,36
3P.33	0,1	0,8	1,3	2,1	3,0	0,27
4P.33	0,2	0,6	0,9	1,6	2,1	0,19
Ort.	0,1	0,7	1,0	1,7	2,2	0,27
SD (±)	0,0	0,1	0,3	0,3	0,6	0,07

Çizelge EK 3c-11. *ZT-10 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
2P.25	0,3	1,4	2,6	4,1	6,0	0,50

Çizelge EK 3c-12. *ZT-11 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
2P.24	0,4	1,2	1,8	3,0	4,1	0,61
3P.39	0,3	1,1	1,9	3,0	4,3	0,33
Ort.	0,3	1,2	1,9	3,0	4,2	0,47
SD (±)	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,14

Çizelge EK 3c-13. *ZT-12 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonucu*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
3P.46	0,5	1,9	3,6	5,6	8,3	0,51
3P.32	0,7	2,5	5,1	7,6	11,5	0,60
Ort.	0,6	2,2	4,4	6,6	9,9	0,56
SD (±)	0,1	0,3	0,7	1,0	1,6	0,0

EK-3d. Kimyasal Kompozisyon Sonuçları

Çizelge EK 3d-1. *ZT-1 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.67	15,5	48,0	11,8	8,9	7,2	2,5	1,2	2,0	-	0,2	-	0,2	97,6	2,4
3P.48	15,2	48,3	11,7	8,6	6,9	2,1	1,3	1,9	-	0,2	0,1	0,3	96,4	3,6
3P.49	14,8	47,6	12,2	8,7	6,6	2,4	1,3	2,0	0,5	0,2	0,1	0,3	96,8	3,2
3P.47	15,2	49,1	11,4	8,3	6,8	2,4	1,3	1,9	-	0,2	0,1	0,3	96,9	3,1
4P.37	15,2	49,4	11,4	8,1	6,8	2,4	1,4	1,8	-	0,2	-	0,3	97,0	3,0
Ort.	15,2	48,5	11,7	8,5	6,9	2,3	1,3	1,9	0,5	0,2	0,1	0,3	97,0	3,0
SD (±)	0,2	0,7	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4

Çizelge EK 3d-2. *ZT-2 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
2P.26	15,0	47,5	11,9	8,3	6,8	2,1	1,4	2,0	-	0,2	0,1	0,3	95,6	4,4
2P.27	14,8	47,0	12,0	8,8	6,8	2,3	1,2	1,9	0,3	0,2	0,1	0,4	95,8	4,2
3P.54	14,8	47,3	11,7	8,3	7,2	2,2	1,5	2,0	0,3	0,2	-	0,3	95,9	4,1
3P.55	15,2	47,7	12,1	8,2	7,2	2,2	1,4	2,0	-	0,2	-	0,3	96,5	3,5
4P.34	14,9	47,2	11,9	8,3	6,8	2,2	1,3	2,1	-	0,2	-	0,3	95,2	4,8
Ort.	15,0	47,3	11,9	8,4	6,9	2,2	1,4	2,0	0,3	0,2	0,1	0,3	95,8	4,2
SD (±)	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4

Çizelge EK 3d-3. *ZT-3 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.42	15,9	57,2	10,2	3,5	2,6	2,3	2,6	0,7	0,2	0,2	-	0,2	95,7	4,3
2P.16	13,7	48,3	13,1	6,6	10,4	2,1	1,0	1,9	0,3	0,3	0,2	0,2	98,0	2,0
4P.25	13,2	54,8	8,9	5,7	8,6	1,6	1,6	1,1	0,2	0,2	0,1	0,2	96,2	3,8
4P.23	13,7	53,2	9,2	5,2	8,7	1,6	1,8	1,2	-	0,2	0,1	0,2	95,1	4,9
Ort.	14,1	53,4	10,4	5,3	7,6	1,9	1,7	1,2	0,3	0,2	0,1	0,2	96,3	3,7
SD (±)	1,1	3,3	1,6	1,1	2,9	0,3	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1

Çizelge EK 3d-4. *ZT-4 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.53	15,4	49,3	11,8	8,3	6,7	2,5	1,2	1,9	-	0,2	-	0,3	97,6	2,4
3P.60	15,0	48,8	11,4	8,4	7,1	2,6	1,3	1,9	0,3	0,2	-	0,3	97,3	2,7
3P.63	15,0	49,4	11,7	8,0	6,5	2,7	1,2	2,0	0,3	0,2	0,1	0,3	97,3	2,7
3P.56	14,7	47,1	11,9	9,4	6,9	2,3	1,2	1,9	-	0,2	-	0,3	95,9	4,1
3P.64	15,3	48,3	12,0	8,5	7,1	2,3	1,2	2,1	-	0,2	-	0,3	97,3	2,7
Ort.	15,1	48,6	11,8	8,5	6,9	2,5	1,2	2,0	0,3	0,2	0,1	0,3	97,1	2,9
SD (±)	0,2	0,8	0,2	0,5	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6

Çizelge EK 3d-5. *ZT-5 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.58	15,1	50,5	11,3	7,9	7,0	2,8	1,3	1,9	-	0,3	0,1	0,3	98,5	1,5
3P.59	14,9	50,5	11,7	8,0	7,0	2,8	1,0	2,0	0,3	0,2	-	0,3	98,5	1,5
3P.52	14,8	50,1	11,5	8,8	7,0	2,5	1,1	1,9	-	0,2	-	0,3	98,2	1,8
3P.71	15,2	49,4	11,8	8,6	6,7	2,6	1,0	2,0	0,2	0,2	0,1	0,3	98,1	1,9
2P.29	14,8	50,8	11,4	8,3	6,7	3,0	1,0	1,8	-	0,2	0,1	0,3	98,4	1,6
2P.31	14,5	50,6	10,9	9,0	6,8	2,8	1,1	1,9	-	0,2	0,1	0,3	98,2	1,8
2P.32	14,7	49,0	11,4	9,1	6,7	2,7	1,1	1,7	-	0,2	0,1	0,3	97,0	3,0
4P.39	14,9	50,4	11,2	7,8	7,1	3,0	1,2	1,8	-	0,2	-	0,3	97,8	2,2
4P.26	14,5	49,7	10,7	9,5	7,2	2,8	1,3	1,8	-	-	0,2	0,3	98,1	1,9
4P.27	14,6	51,0	11,2	8,4	6,5	2,8	1,1	1,8	-	-	0,2	0,3	98,0	2,0
4P.61	14,5	51,6	10,8	1,7	8,4	6,8	2,6	1,1	0,2	0,2	-	0,3	98,1	1,9
4P.40	14,8	50,7	11,9	7,7	6,6	2,8	1,1	2,0	0,3	0,2	-	0,3	98,5	1,5
Ort.	14,8	50,3	11,3	7,9	7,0	3,1	1,2	1,8	0,2	0,2	0,1	0,3	98,1	1,9
SD (±)	0,2	0,7	0,4	1,9	0,5	1,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4

Çizelge EK 3d-6. *ZT-5 yanık grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.66	14,2	54,4	10,1	7,5	5,4	3,1	1,1	1,7	0,3	0,2	0,1	0,3	98,7	1,3
2P.30	14,7	53,2	10,4	7,7	5,9	3,2	1,1	1,7	0,3	0,2	0,1	0,2	98,8	1,2
4P.41	13,8	56,9	9,5	7,1	5,1	3,1	1,2	1,7	-	0,2	-	0,3	98,6	1,4
Ort.	14,2	54,8	10,0	7,4	5,5	3,1	1,1	1,7	0,3	0,2	0,1	0,3	98,7	1,3
SD (±)	0,4	1,5	0,4	0,3	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1

Çizelge EK 3d-7. *ZT-6 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.68	14,8	47,6	11,2	9,7	6,9	2,5	1,1	1,9	-	0,2	0,1	0,3	96,3	3,7
3P.57	15,0	47,5	11,7	9,3	7,0	2,6	1,2	2,0	-	0,2	-	0,3	96,8	3,2
3P.50	15,0	49,5	11,3	8,6	6,9	2,7	1,2	1,9	-	0,2	0,1	0,3	97,6	2,4
3P.62	14,9	50,2	11,5	8,4	6,9	2,6	1,2	1,9	0,2	0,2	-	0,3	98,2	1,8
3P.65	15,3	49,1	11,8	8,2	7,0	2,6	1,2	2,0	-	0,2	0,1	0,3	97,9	2,1
3P.51	14,9	48,5	11,6	9,2	7,3	2,8	1,1	1,8	-	0,2	0,1	0,3	97,9	2,1
Ort.	15,0	48,7	11,5	8,9	7,0	2,6	1,2	1,9	0,2	0,2	0,1	0,3	97,5	2,5
SD (±)	0,2	1,0	0,2	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7

Çizelge EK 3d-8. *ZT-7 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.69	15,3	49,3	11,6	8,5	6,8	2,9	1,2	2,0	0,2	0,2	0,1	0,3	98,4	1,6
3P.61	15,3	49,5	11,8	8,2	7,2	2,3	1,3	1,9	-	0,2	-	0,3	97,9	2,1
4P.42	15,1	49,6	11,3	8,7	6,9	2,7	1,1	1,9	-	0,2	-	0,3	97,8	2,2
Ort.	15,2	49,4	11,6	8,4	7,0	2,6	1,2	1,9	0,2	0,2	0,1	0,3	98,0	2,0
SD (±)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3

Çizelge EK 3d-9. *ZT-8 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.70	15,5	49,2	11,4	7,9	6,7	2,3	1,4	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	97,3	2,7
2P.28	15,1	48,8	12,0	8,1	7,0	2,2	1,3	1,9	-	0,2	0,1	0,3	97,0	3,0
4P.35	17,5	49,8	11,3	7,7	3,9	1,1	2,4	1,4	-	0,2	-	0,3	95,6	4,4
4P.43	15,1	48,6	11,4	8,6	7,0	2,2	1,6	1,8	-	0,2	-	0,3	96,8	3,2
4P.38	15,2	48,1	11,6	8,3	7,1	2,3	1,3	1,9	0,3	0,2	-	0,3	96,7	3,3
Ort.	15,7	48,9	11,5	8,1	6,3	2,0	1,6	1,8	0,3	0,2	0,1	0,3	96,7	3,3
SD (±)	0,9	0,6	0,2	0,3	1,2	0,5	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6

Çizelge EK 3d-10. *ZT-9 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.38	16,7	48,8	13,2	6,2	7,8	1,6	1,8	2,0	-	0,4	-	0,3	98,6	1,4
3P.33	16,2	48,5	12,8	6,9	7,3	1,7	1,6	2,0	0,2	0,3	0,1	0,3	97,9	2,1
4P.33	15,5	50,0	11,8	7,9	7,1	2,5	1,3	2,0	-	0,2	-	0,3	98,4	1,6
Ort.	16,1	49,1	12,6	7,0	7,4	1,9	1,5	2,0	0,2	0,3	0,1	0,3	98,3	1,7
SD (±)	0,5	0,6	0,6	0,7	0,3	0,4	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3

Çizelge EK 3d-11. *ZT-10 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
2P.25	14,7	49,0	11,8	8,3	6,1	2,0	1,4	1,8	-	0,2	0,1	0,3	95,9	4,1

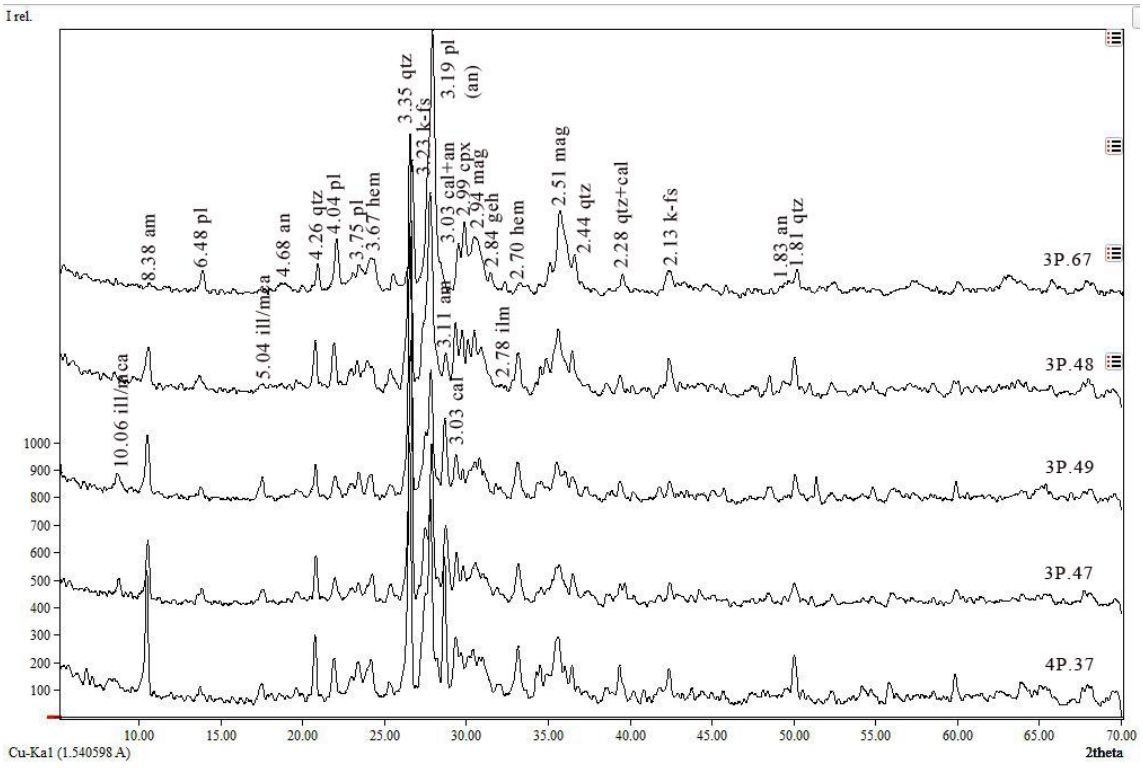
Çizelge EK 3d-12. *ZT-11 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
2P.24	16,5	47,0	12,7	6,8	7,9	1,2	2,2	1,6	0,3	0,2	0,1	0,4	96,9	3,1
3P.39	17,0	47,9	12,5	6,7	7,6	0,9	2,1	1,6	-	0,2	0,1	0,3	97,0	3,0
Ort.	16,7	47,5	12,6	6,7	7,7	1,1	2,2	1,6	0,3	0,2	0,1	0,3	97,0	3,0
SD (±)	0,3	0,5	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

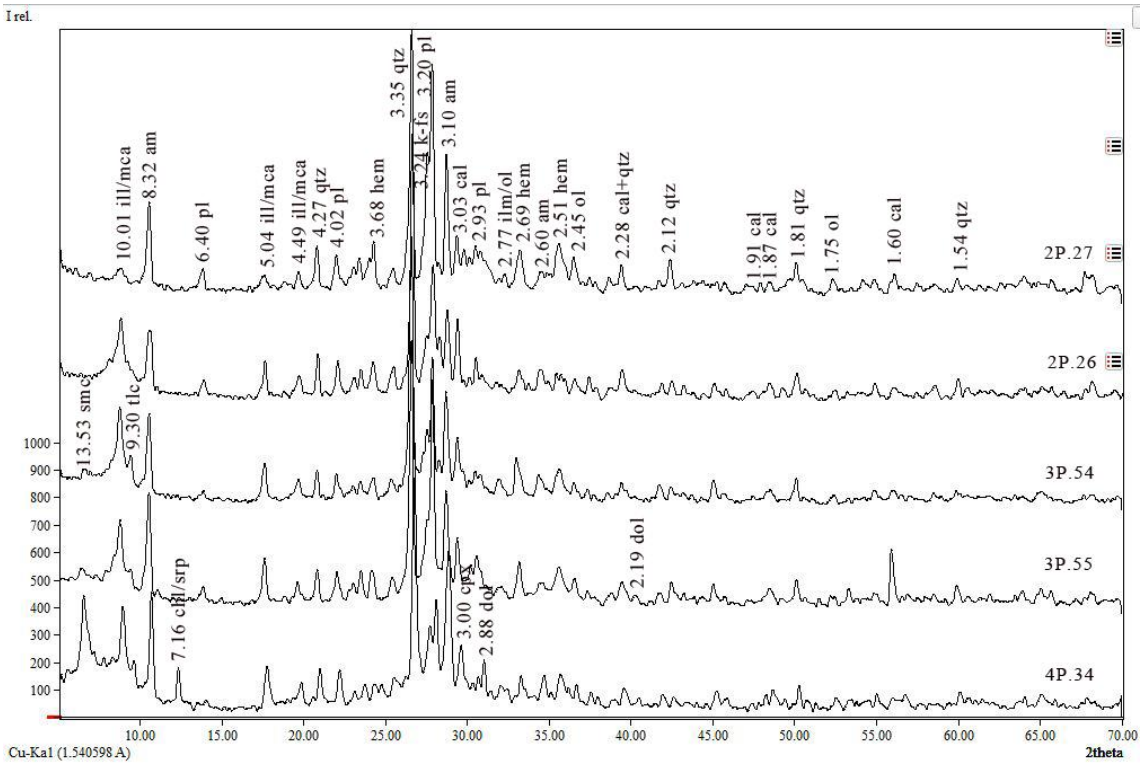
Çizelge EK 3d-13. *ZT-12 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.46	12,5	56,1	6,9	8,3	6,0	1,0	2,1	0,7	0,3	0,2	0,2	0,1	94,4	5,6
3P.32	12,5	55,3	6,4	8,8	5,2	1,2	2,1	0,7	-	0,2	-	0,2	92,4	7,6
Ort.	12,5	55,7	6,7	8,5	5,6	1,1	2,1	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	93,4	6,6
SD (±)	0,0	0,4	0,3	0,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0

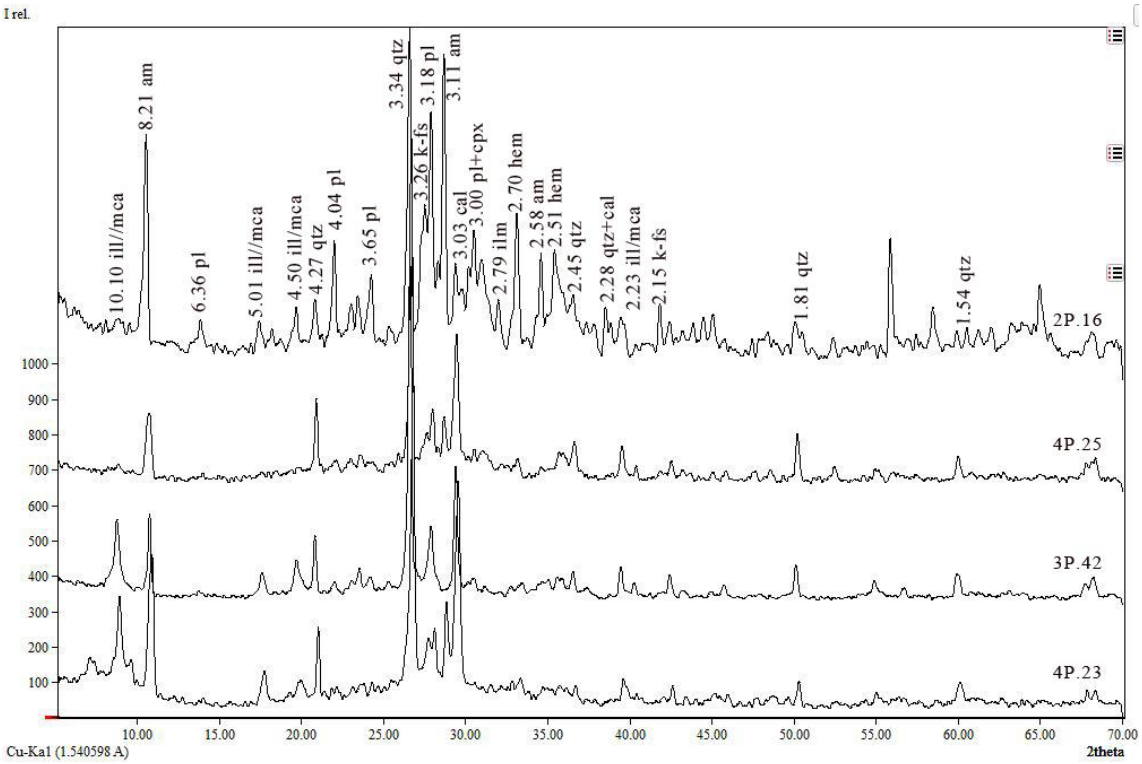
EK-3e. Mineralojik Analiz Sonuçları



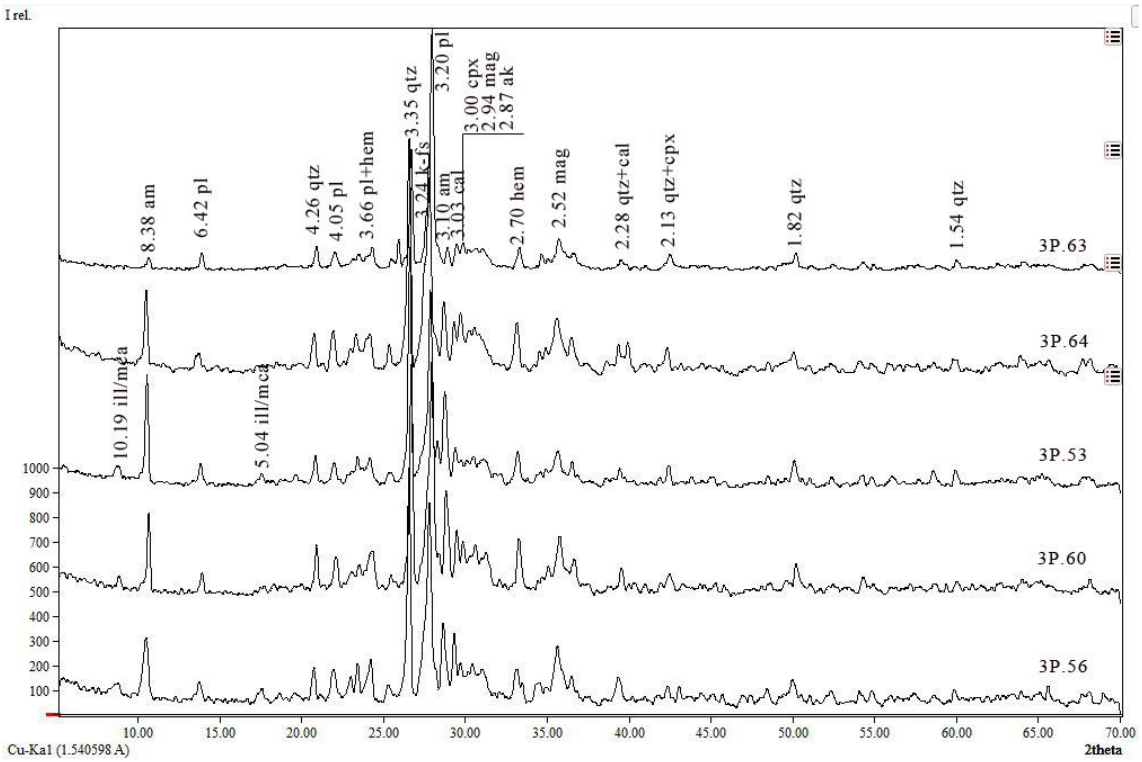
Şekil EK 3e-1. *ZT-1 grubunun mineralojik faz kırınımı*



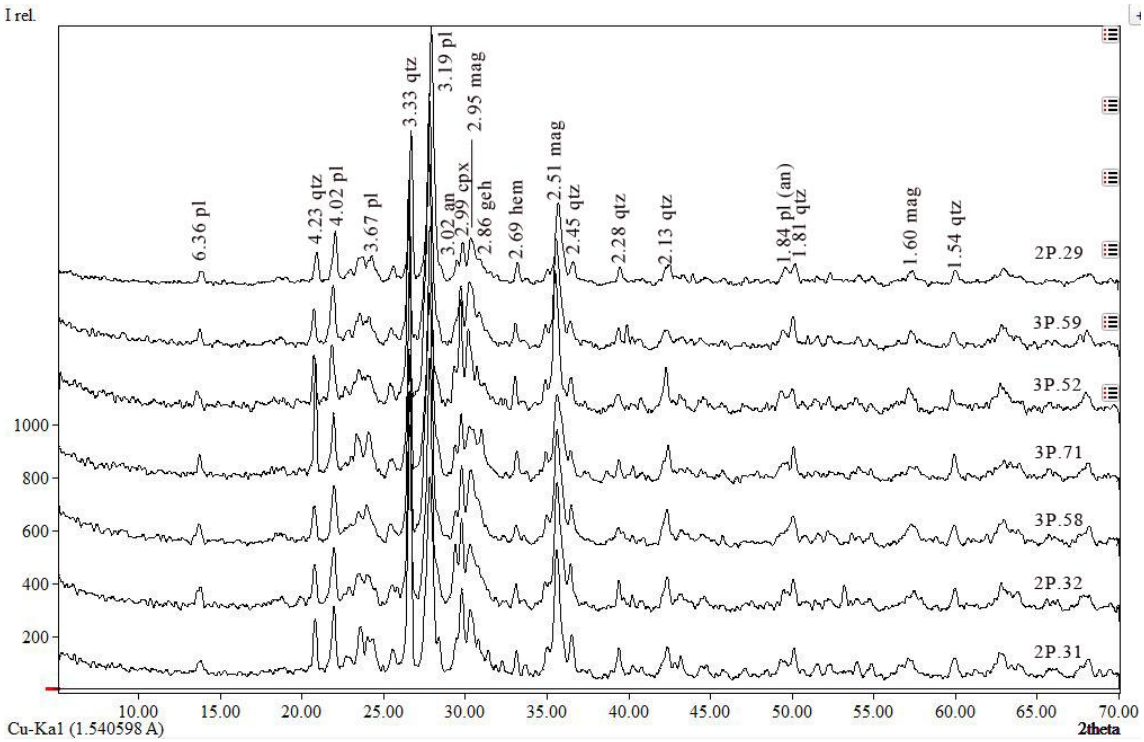
Şekil EK 3e-2. *ZT-2 grubunun mineralojik faz kırınımı*



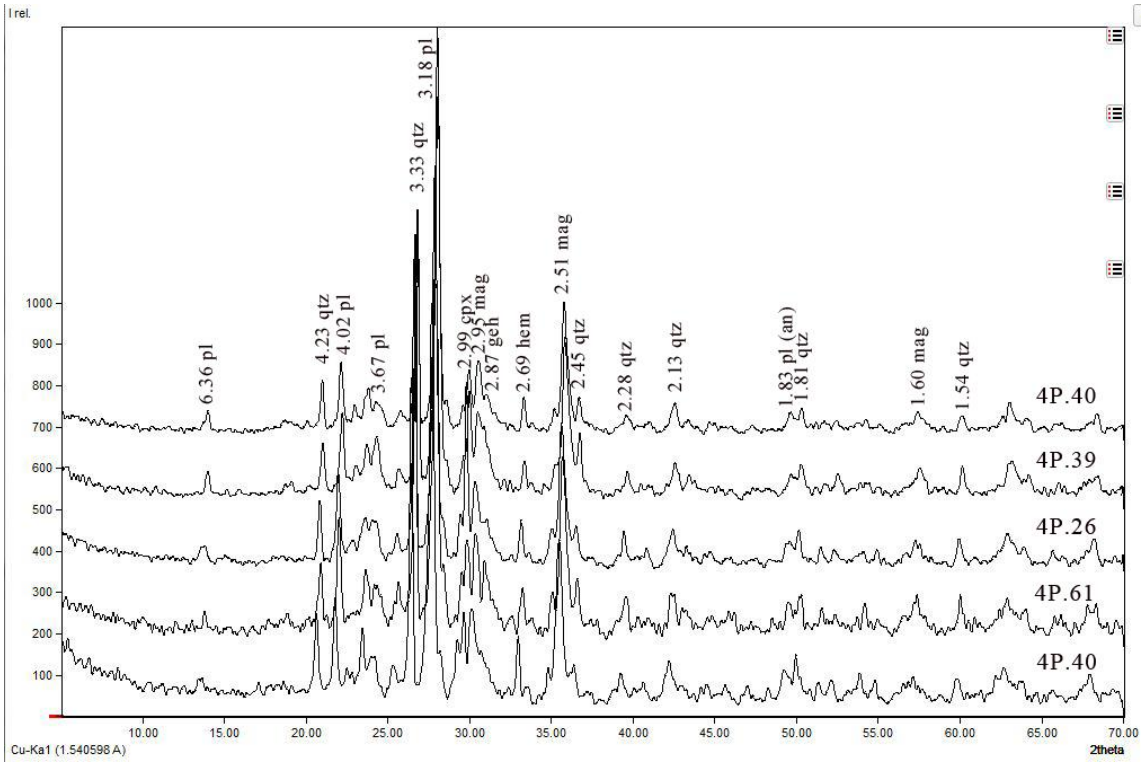
Şekil EK 3e-3. *ZT-3 grubunun mineralojik faz kırınımı*



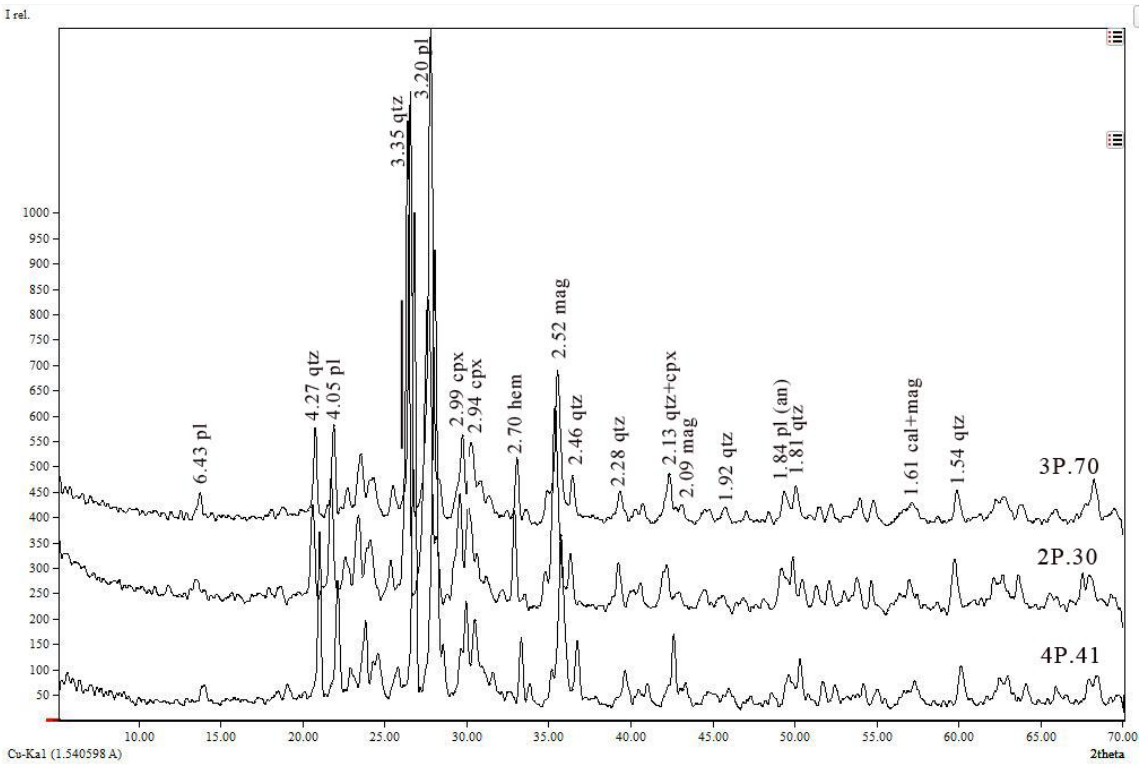
Şekil EK 3e-4. *ZT-4 grubunun mineralojik faz kırınımı*



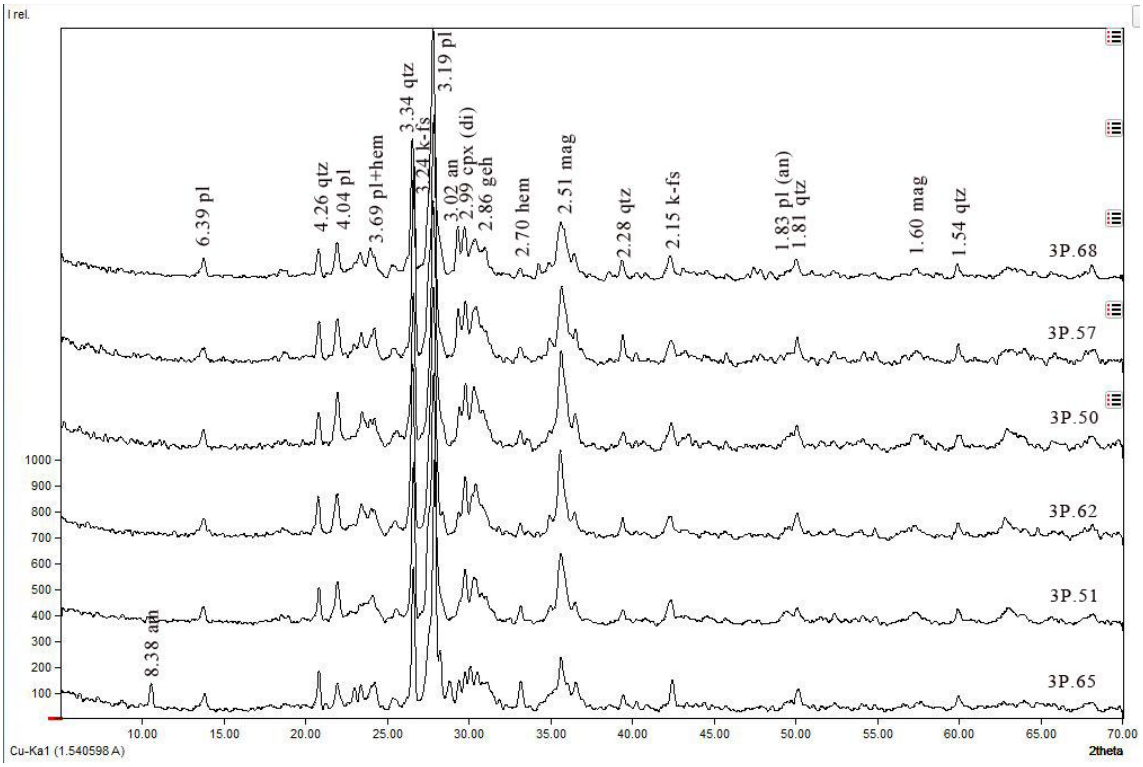
Şekil EK 3e-5. *ZT-5 grubunun mineralojik faz kırınımı*



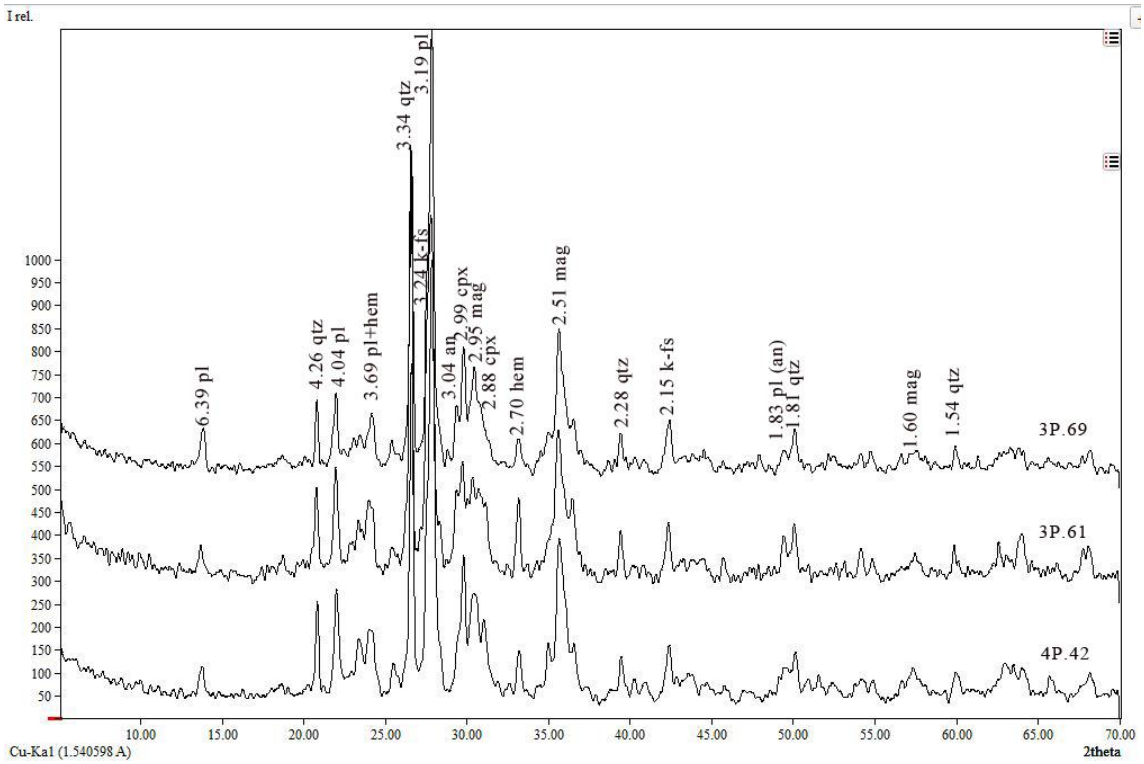
Şekil EK 3e-5. (Devam) *ZT-5 grubunun mineralojik faz kırınımı*



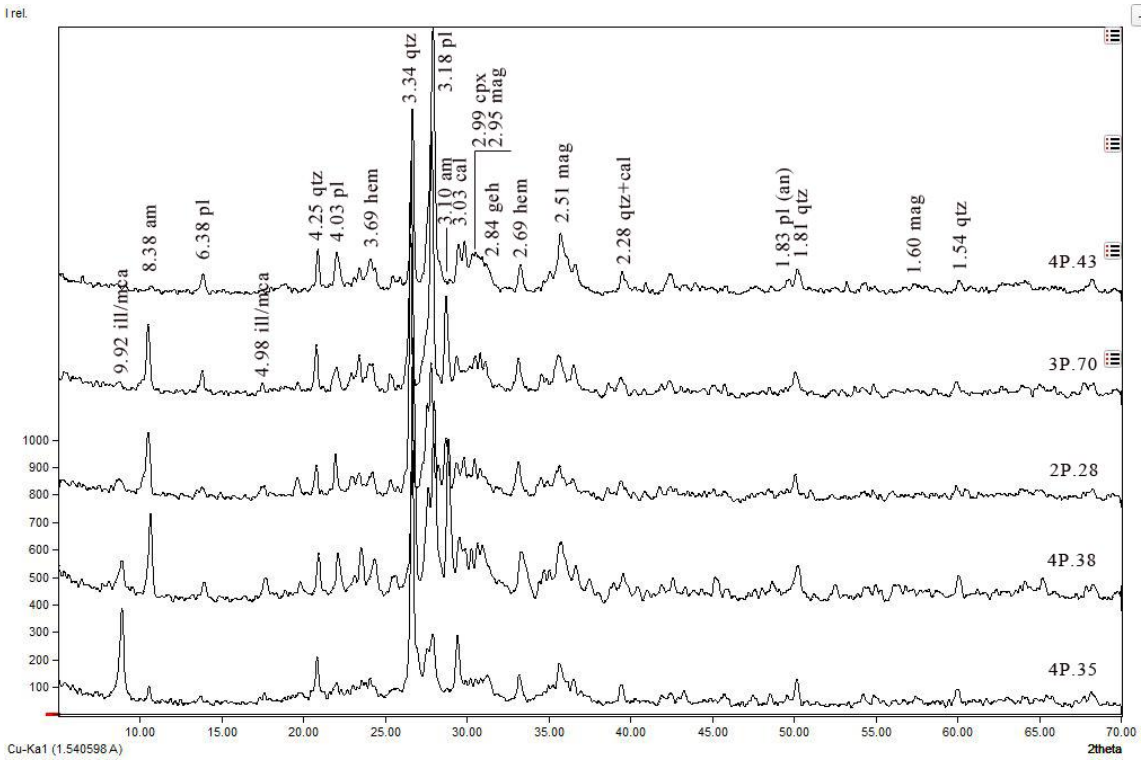
Şekil EK 3e-6. *ZT-5 yanık grubunun mineralojik faz kırınımı*



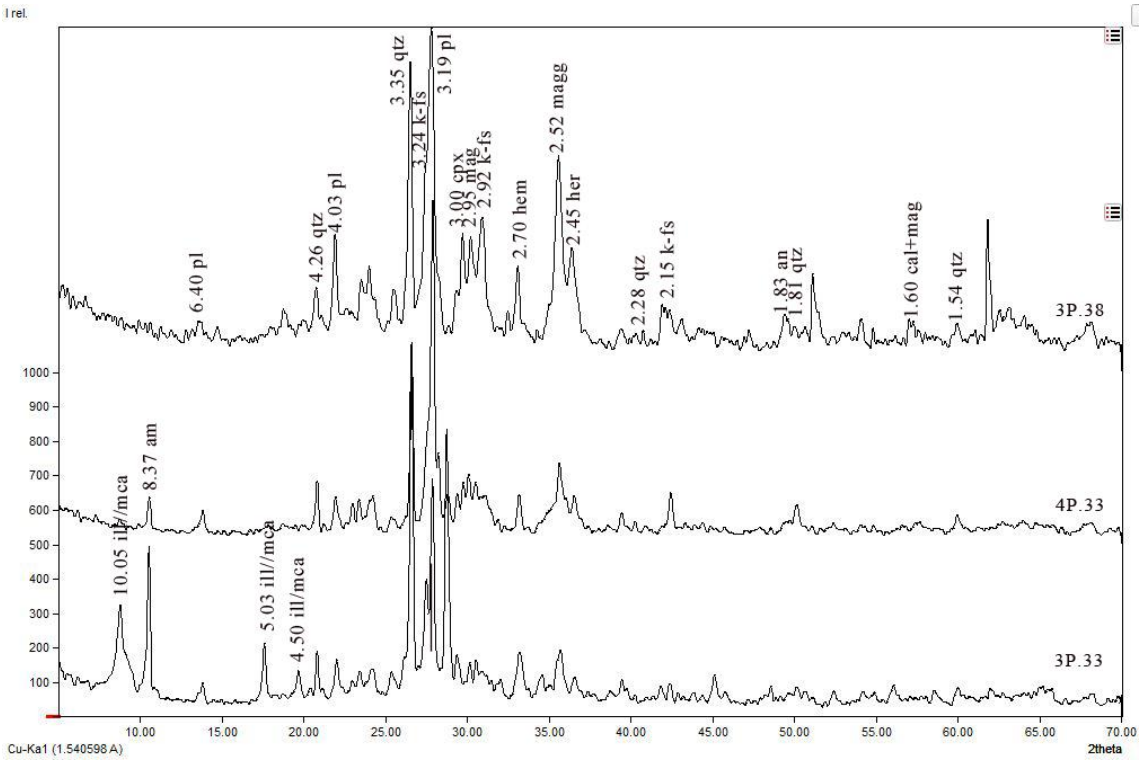
Şekil EK 3e-7. *ZT-6 grubunun mineralojik faz kırınımı*



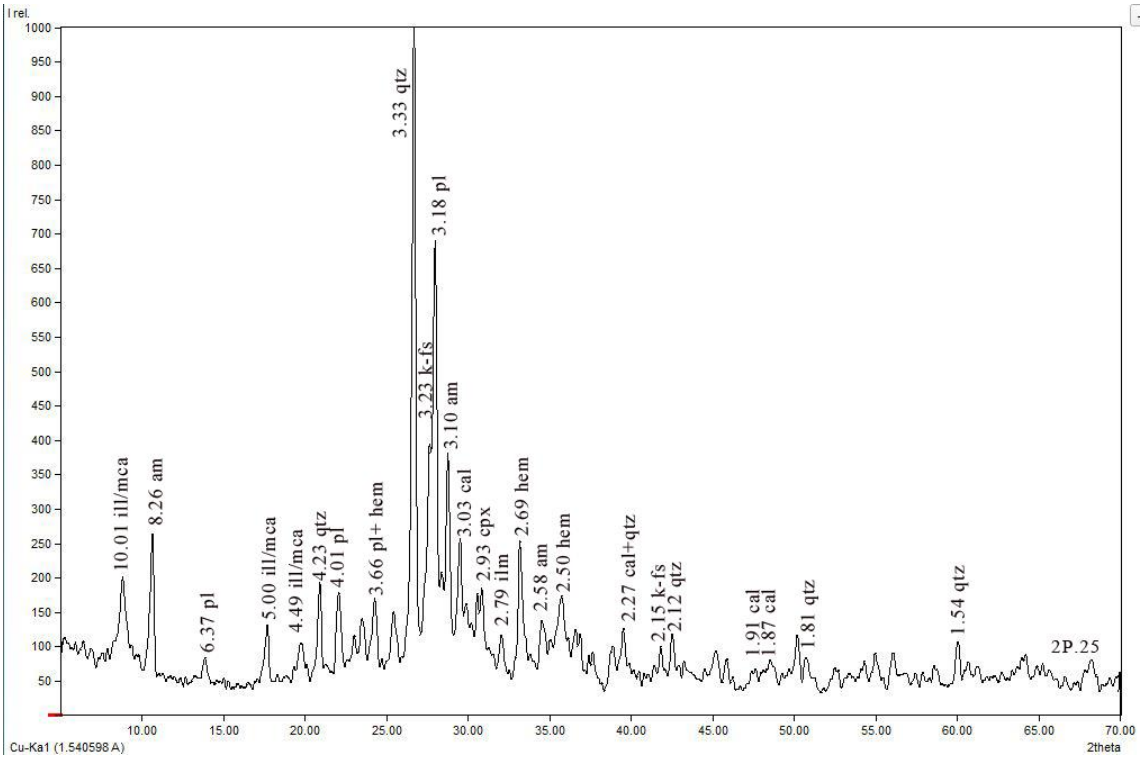
Şekil EK 3e-8. *ZT-7 grubunun mineralojik faz kırınımı*



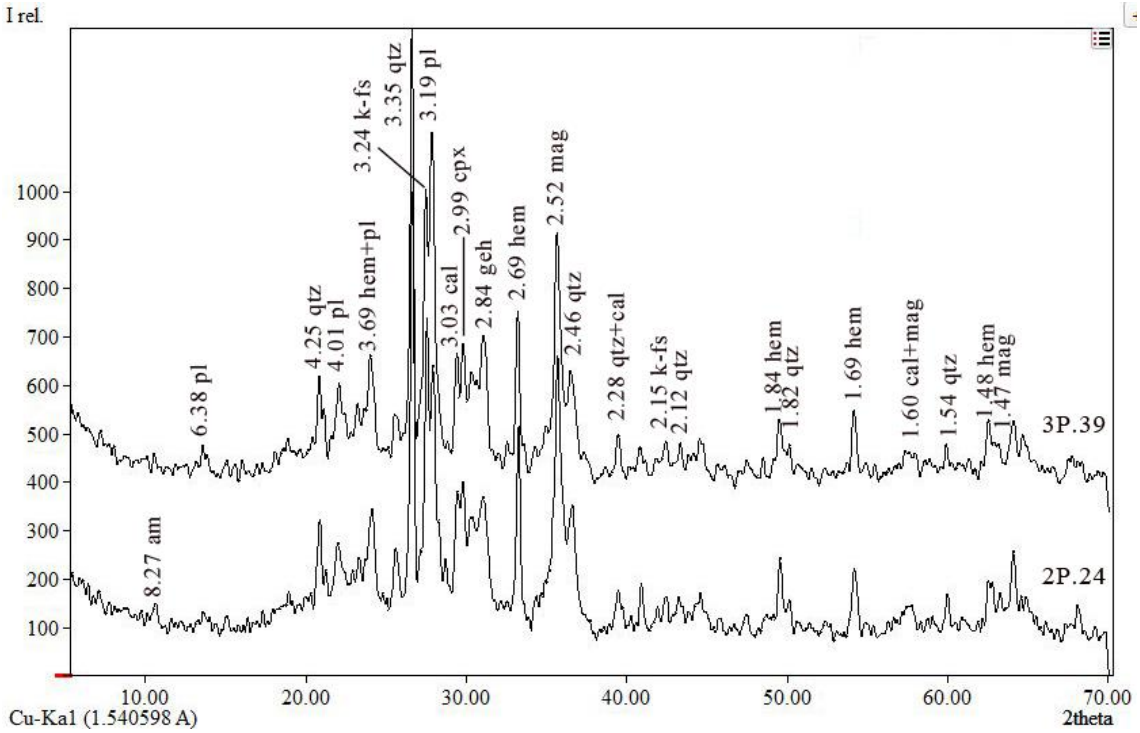
Şekil EK 3e-9. *ZT-8 grubunun mineralojik faz kırınımı*



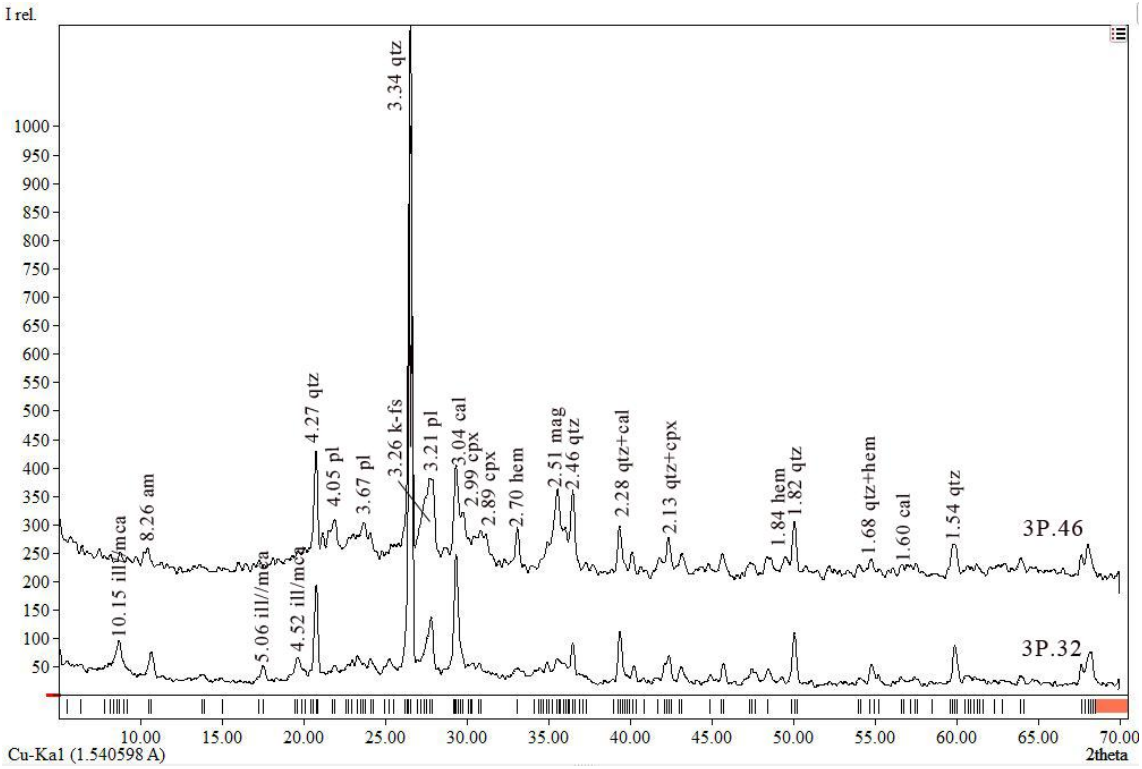
Şekil EK 3e-10. *ZT-9 grubunun mineralojik faz kırınımı*



Şekil EK 3e-11. *ZT-10 grubunun mineralojik faz kırınımı*



Şekil EK 3e-12. *ZT-11 grubunun mineralojik faz kırınımı*



Şekil EK 3e-13. *ZT-12 grubunun mineralojik faz kırınımı*

EK-4. Kiremitlerin Özet Deneysel Sonuçları

EK 4a. Fiziksel Analiz Sonuçları

Çizelge EK 4a-1. *KR-1 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
4P.44	16,5	31,6	1,91	2,97	35,7	64,3
4P.45	15,8	30,2	1,91	2,89	33,9	66,1
4P.46	16,3	30,3	1,86	2,90	35,8	64,2
Ort.	16,2	30,7	1,89	2,92	35,1	64,9
SD (±)	0,3	0,6	0,0	0,0	0,9	0,9

Çizelge EK 4a-2. *KR-2 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
3P.37	23,2	36,0	1,55	2,80	44,5	55,5
3P.40	25,4	40,6	1,60	2,92	45,4	54,6
3P.44	23,7	38,6	1,63	2,88	43,4	56,6
3P.41	29,4	44,1	1,50	2,94	49,0	51,0
3P.35	26,1	40,0	1,53	2,89	47,0	53,0
3P.36	22,9	36,9	1,61	2,85	43,4	56,6
3P.34	24,2	37,9	1,57	2,72	42,3	57,7
3P.45	26,9	41,6	1,55	2,91	46,9	53,1
4P.30	23,6	37,3	1,58	2,87	45,0	55,0
4P.31	27,6	40,5	1,47	2,88	48,9	51,1
4P.47	21,6	35,5	1,64	2,87	42,8	57,2
4P.32	26,1	40,3	1,54	2,85	45,9	54,1
Ort.	25,1	39,1	1,56	2,87	45,4	54,6
SD (±)	2,2	2,4	0,05	0,06	2,1	2,1

Çizelge EK 4a-3. *KR-3 grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.12	27,4	38,9	1,42	2,60	45,5	54,5
4P.48	28,7	40,1	1,40	2,68	47,8	52,2
4P.49	36,2	47,2	1,31	2,71	51,5	48,5
4P.50	32,3	44,3	1,37	2,71	49,3	50,7
4P.51	30,5	42,0	1,38	2,68	48,7	51,3
4P.52	34,6	45,5	1,31	2,72	51,8	48,2
4P.53	33,8	45,0	1,33	2,72	51,0	49,0
4P.54	35,7	46,9	1,31	2,74	49,5	50,5
4P.55	36,4	47,4	1,30	2,73	52,5	47,5
4P.56	34,0	45,5	1,34	2,77	51,7	48,3
4P.57	27,4	39,9	1,46	2,76	47,1	52,9
4P.58	32,2	44,5	1,38	2,73	52,1	47,9
4P.59	38,1	48,4	1,27	2,78	54,2	45,8
Ort.	32,9	44,3	1,35	2,72	50,2	49,8
SD (±)	3,4	3,0	0,1	0,04	2,4	2,4

Çizelge EK 4a-4. *KR-3 yanık grubunun fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.60	21,8	35,2	1,62	2,92	44,6	55,4

EK-4b. Mekanik Analiz Sonuçları

Çizelge EK 4b-1. *KR-1 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	**$I_{s(50)}$**	**UCS (MPa)**	**UPV (km/s)**	**E_{mod} (GPa)**	**Schmidt sertliği**
4P.44	1,1	14,3	2,2	5,6	34
4P.45	1,0	13,5	2,4	7,0	34
4P.46	0,7	10,1	2,7	8,3	39
Ort.	1,0	12,6	2,4	7,0	36
SD (±)	0,2	1,8	0,2	1,1	2

Çizelge EK 4b-2. *KR-2 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	**$I_{s(50)}$**	**UCS (MPa)**	**UPV (km/s)**	**E_{mod} (GPa)**	**Schmidt sertliği**
3P.37	1,5	18,8	2,8	7,6	32
3P.40	0,6	8,4	2,8	7,5	36
3P.44	1,4	17,2	2,8	8,1	32
3P.41	1,3	16,8	2,6	6,0	32
3P.35	1,1	14,4	2,5	5,9	29
3P.36	2,1	24,5	2,8	7,8	27
3P.34	1,8	21,3	2,6	6,7	30
3P.45	0,6	8,4	2,1	4,2	31
4P.30	1,2	15,5	2,6	6,6	29
4P.31	1,1	13,2	2,5	5,5	30
4P.47	1,8	22,1	2,9	8,3	38
4P.32	1,8	21,4	2,6	6,4	27
Ort.	1,4	16,8	2,6	6,7	31
SD (±)	0,5	5,0	0,2	1,2	3

Çizelge EK 4b-3. *KR-3 grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
4P.12	--	--	3,1	8,2	27
4P.48	1,6	19,2	3,0	7,9	28
4P.49	0,8	11,0	2,5	5,2	32
4P.50	0,8	11,1	2,6	5,9	31
4P.51	1,2	15,5	2,7	6,0	28
4P.52	1,3	16,8	2,5	5,2	24
4P.53	0,9	12,5	2,4	4,6	32
4P.54	0,3	5,2	2,4	5,0	33
4P.55	1,1	14,5	2,3	4,3	27
4P.56	1,6	19,5	3,0	7,3	28
4P.57	--	--	2,7	6,7	34
4P.58	0,8	10,9	2,2	4,1	24
4P.59	0,6	9,0	2,3	4,3	21
Ort.	1,0	13,2	2,6	5,8	28
SD (±)	0,4	4,2	0,3	1,3	4

Çizelge EK 4b-4. *KR-3 yanık grubunun mekanik analiz sonuçları*

Örnek kodu	$I_{s(50)}$	UCS (MPa)	UPV (km/s)	E_{mod} (GPa)	Schmidt sertliği
4P.60	2,5	28,9	3,3	11,0	19

EK-4c. Kızdırma Kaybı Analizi ve Puzolanik Aktivite Deney Sonuçları

Çizelge EK 4c-1. *KR-1 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek Kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
4P.44	0,1	0,6	1,4	2,0	3,1	0,13
4P.45	0,1	0,5	0,8	1,3	1,8	0,16
4P.46	0,1	0,6	0,3	0,9	0,6	0,17
Ort.	0,1	0,6	0,8	1,4	1,8	0,15
SD (±)	0,0	0,1	0,4	0,5	1,0	0,02

Çizelge EK 4c-2. *KR-2 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek Kodu	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**Σ KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**	**ΔE (µS/cm)**
3P.37	0,3	1,3	1,7	3,0	3,8	0,30
3P.40	0,2	1,1	1,3	2,4	3,0	0,40
3P.44	0,2	1,1	0,7	1,7	1,5	0,29
3P.41	0,1	0,9	0,6	1,5	1,4	0,43
3P.35	0,2	1,0	1,3	2,3	2,9	0,26
3P.36	0,2	1,2	0,9	2,1	2,0	0,30
3P.34	0,2	0,8	0,8	1,6	1,8	0,32
3P.45	0,1	1,0	0,8	1,8	1,9	0,31
4P.30	0,2	1,1	0,5	1,5	1,0	0,35
4P.31	0,3	1,0	0,8	1,7	1,7	0,30
4P.47	0,2	0,9	1,7	2,6	3,9	0,28
4P.32	0,2	1,1	1,0	2,1	2,2	0,09
Ort.	0,2	1,0	1,0	2,0	2,3	0,30
SD (±)	0,1	0,1	0,4	0,5	0,9	0,1

Çizelge EK 4c-3. *KR-3 grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
4P.12	1,5	4,1	6,4	10,5	14,5	0,87
4P.48	0,8	3,0	3,3	6,3	7,5	0,41
4P.49	0,5	2,1	2,8	4,9	6,3	0,44
4P.50	0,8	1,9	3,8	5,7	8,6	0,88
4P.51	0,7	2,3	4,3	6,6	9,8	0,57
4P.52	0,7	1,8	3,4	5,2	7,7	0,76
4P.53	0,6	1,8	3,7	5,5	8,5	0,81
4P.54	0,4	1,7	2,5	4,3	5,8	0,47
4P.55	0,6	1,9	3,8	5,7	8,6	0,58
4P.56	0,1	1,5	1,9	3,4	4,4	0,31
4P.57	0,3	1,2	1,7	2,9	3,8	0,66
4P.58	0,4	1,9	2,4	4,3	5,5	0,41
4P.59	0,4	1,3	3,7	5,0	8,4	0,43
Ort.	0,6	2,0	3,4	5,4	7,6	0,58
SD (±)	0,2	0,4	0,8	1,1	1,8	0,17

Çizelge EK 4c-4. *KR-3 yanık grubunun kızdırma kaybı ve puzolanik aktivite analizi sonuçları*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	ΔE (µS/cm)
4P.60	0,1	1,0	0,5	1,5	1,2	0,16

EK-4d. Kimyasal Kompozisyon Sonuçları

Çizelge EK 4d-1. *KR-1 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.44	15,3	49,5	13,9	7,1	5,8	2,6	0,7	2,2	0,3	0,3	0,2	97,9	2,1
4P.45	14,9	51,6	13,1	7,0	5,7	2,5	0,9	2,4	-	0,2	0,3	98,7	1,3
4P.46	15,6	52,6	13,0	6,5	5,3	2,5	0,8	2,4	-	0,2	0,2	99,1	0,9
Ort.	15,2	51,2	13,3	6,9	5,6	2,6	0,8	2,4	0,3	0,2	0,2	98,6	1,4
SD (±)	0,3	1,3	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,5	0,5

Çizelge EK 4d-2. *KR-2 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
3P.37	12,7	52,8	10,9	6,1	8,6	1,6	1,9	1,7	-	0,3	0,1	0,4	97,0	3,0
3P.40	17,1	48,1	13,3	5,6	7,9	1,4	1,9	1,7	-	0,2	-	0,2	97,6	2,4
3P.44	16,6	48,7	13,0	6,2	7,8	1,9	1,7	2,0	-	0,2	-	0,3	98,3	1,7
3P.41	17,1	48,2	13,6	5,4	7,9	1,5	2,1	1,9	0,3	0,2	-	0,2	98,5	1,5
3P.35	16,1	48,0	13,0	7,1	7,6	1,6	1,7	1,9	-	0,2	0,1	0,3	97,7	2,3
3P.36	16,3	48,9	12,6	6,3	7,4	1,9	1,9	1,9	-	0,2	0,1	0,3	97,9	2,1
3P.34	16,3	49,1	12,6	6,9	7,4	2,0	1,7	2,0	-	0,2	-	0,3	98,4	1,6
3P.45	16,8	48,6	13,4	5,8	7,9	1,4	1,9	1,8	-	0,2	0,1	0,3	98,2	1,8
4P.30	16,6	49,5	12,6	5,9	7,2	1,9	1,8	2,0	0,3	0,2	-	0,4	98,5	1,5
4P.31	16,6	48,2	12,7	6,8	8,0	1,6	1,9	2,0	-	0,2	-	0,3	98,3	1,7
4P.47	16,5	48,3	12,8	6,6	7,5	1,4	1,7	2,0	-	0,2	0,3	-	97,4	2,6
4P.32	16,7	48,5	12,9	6,2	7,6	1,5	1,8	1,9	0,4	0,2	-	0,3	97,9	2,1
Ort.	16,3	48,9	12,8	6,2	7,7	1,6	1,8	1,9	0,3	0,2	0,1	0,3	98,0	2,0
SD (±)	1,1	1,2	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5	0,5

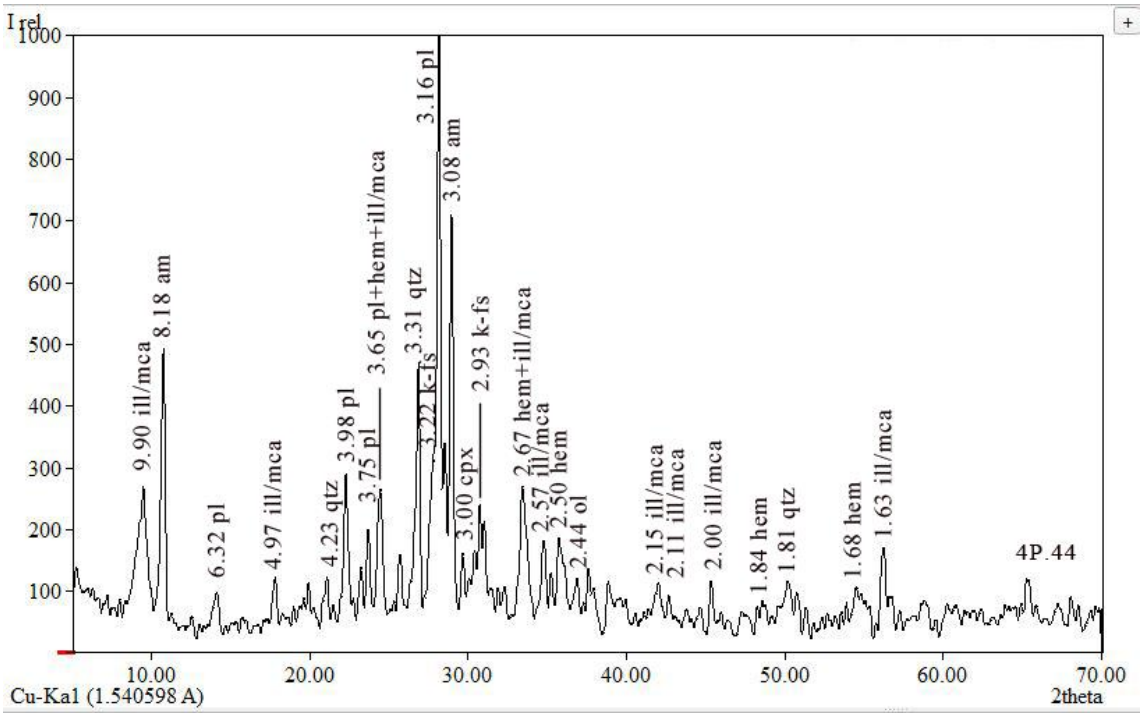
Çizelge EK 4d-3. *KR-3 grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MnO	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.12	11,8	50,8	7,8	5,7	8,5	1,6	1,6	0,9	0,2	0,2	0,2	89,3	10,7
4P.48	19,3	47,5	6,8	9,6	4,7	0,7	3,4	0,8	0,5	0,1	0,2	93,7	6,3
4P.49	20,5	48,5	6,7	8,8	5,1	0,7	3,8	0,9	-	0,1	0,2	95,1	4,9
4P.50	19,4	47,9	6,8	9,8	4,8	0,7	3,3	0,8	0,5	0,1	0,2	94,3	5,7
4P.51	19,7	46,9	6,7	9,3	5,1	0,5	3,8	0,8	0,3	0,1	0,1	93,4	6,6
4P.52	20,4	47,9	6,7	9,0	4,8	1,0	3,9	0,8	-	0,1	0,1	94,8	5,2
4P.53	20,0	47,7	6,9	9,5	4,9	0,6	3,7	0,9	-	0,1	0,2	94,5	5,5
4P.54	20,5	49,1	7,1	8,5	4,5	0,8	3,9	0,8	0,3	0,1	0,1	95,7	4,3
4P.55	17,7	49,0	6,0	10,9	5,8	0,8	3,2	0,7	-	-	0,2	94,4	5,6
4P.56	20,6	48,9	6,7	10,3	5,0	0,8	3,5	0,8	-	0,1	0,2	96,6	3,4
4P.57	20,6	52,6	7,3	7,0	4,1	1,1	3,2	0,9	-	0,1	0,2	97,1	2,9
4P.58	18,3	53,2	6,8	8,0	4,1	0,7	3,0	0,8	0,3	0,1	0,2	95,7	4,3
4P.59	17,6	48,3	6,1	11,7	6,3	0,8	3,2	0,7	0,2	-	0,2	95,0	5,0
Ort.	19,0	49,1	6,8	9,1	5,2	0,8	3,3	0,8	0,3	0,1	0,2	94,6	5,4
SD (±)	1,1	1,9	0,3	1,2	0,6	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	1,1	1,1

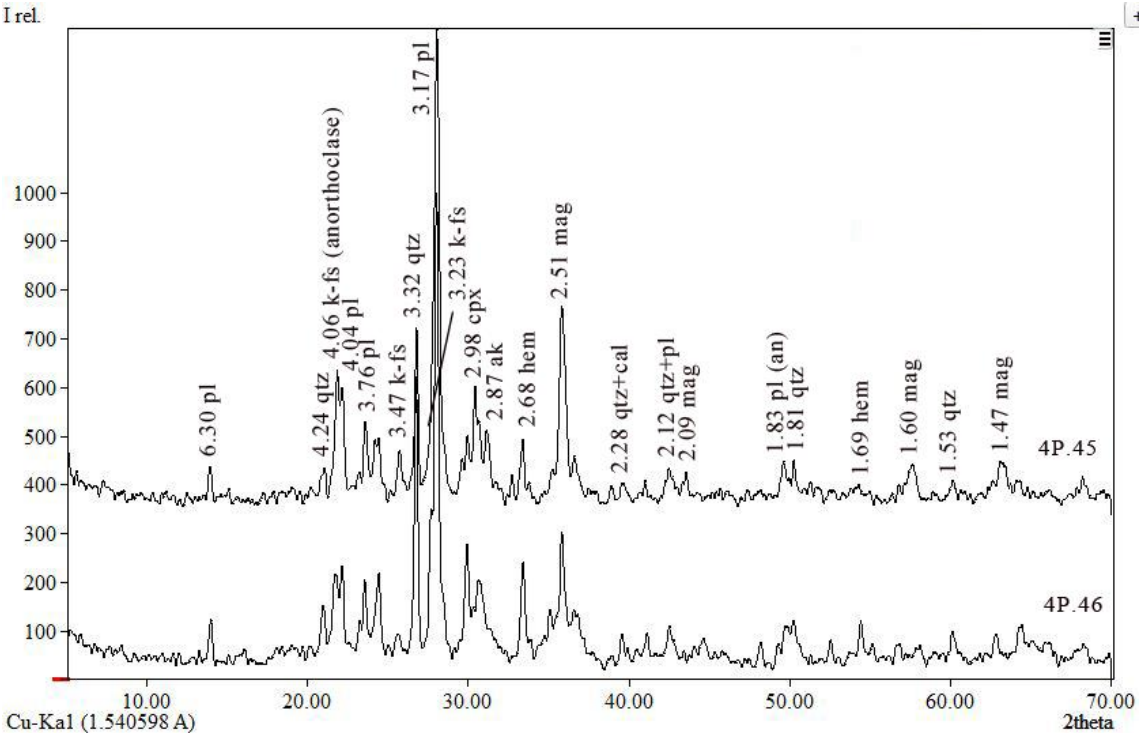
Çizelge EK 4d-4. *KR-3 yanık grubunun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	Σ Oksit	Σ KK
4P.60	15,8	45,5	11,2	10,7	8,3	2,1	2,5	1,8	0,2	0,4	98,5	1,5

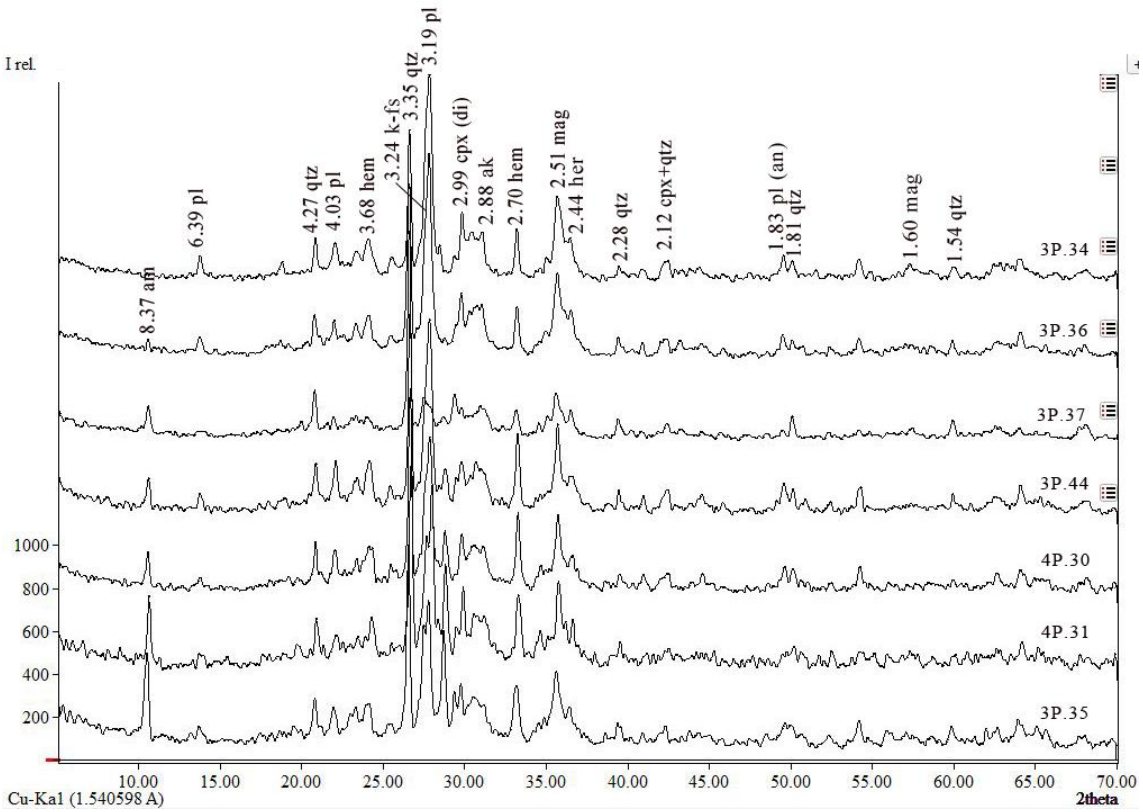
EK-4e. Mineralojik Analiz Sonuçları



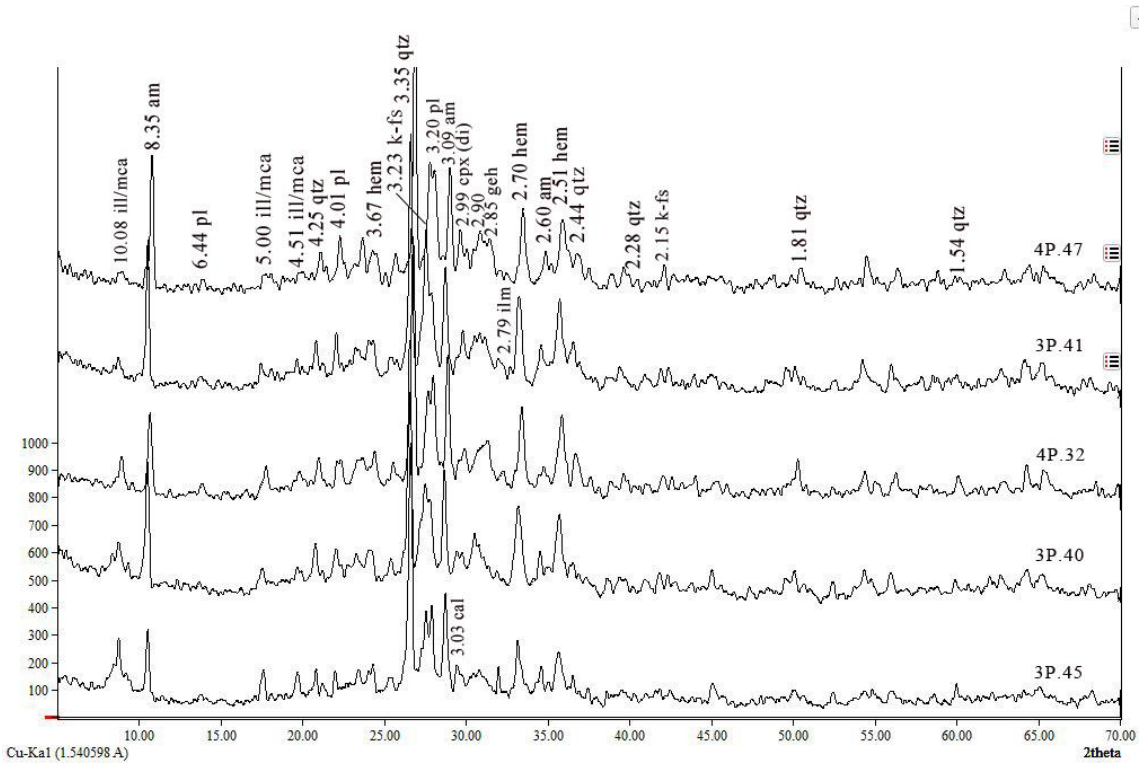
Şekil EK 4e-1. *KR-1 grubunda bulunan 4P.44 örneğinin XRD faz kırınımı*



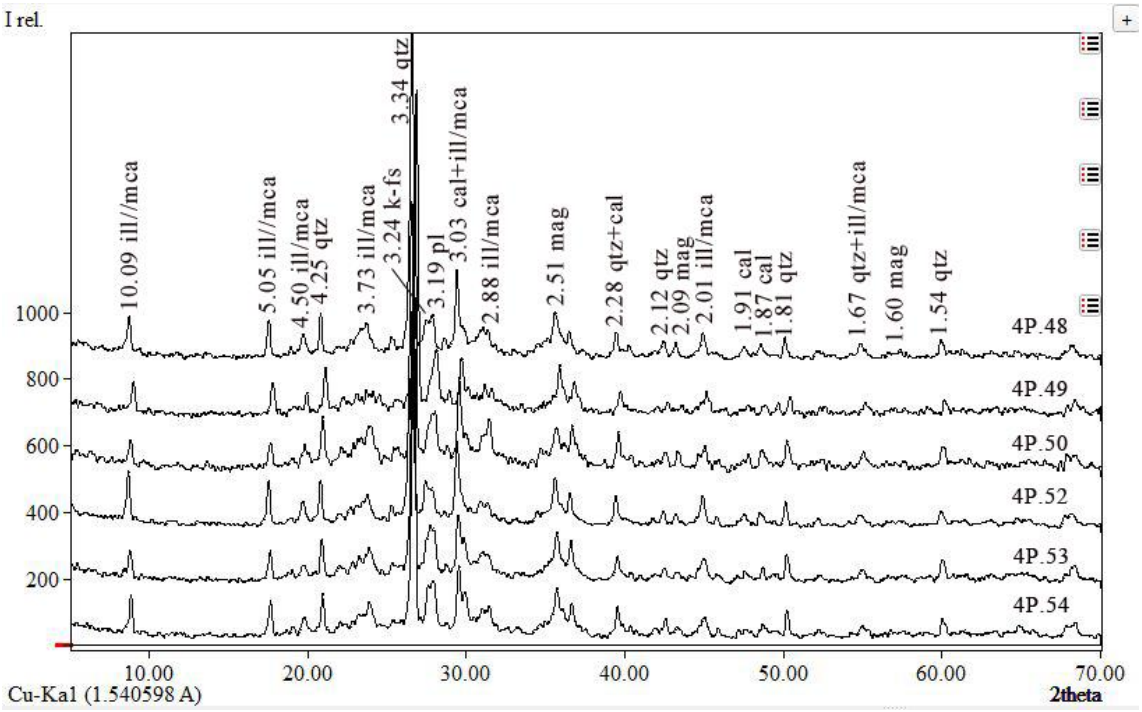
Şekil EK 4e-1. (Devam) *KR-1 grubu 4P.45 ve 4P.46 örneklerinin XRD faz kırınımı*



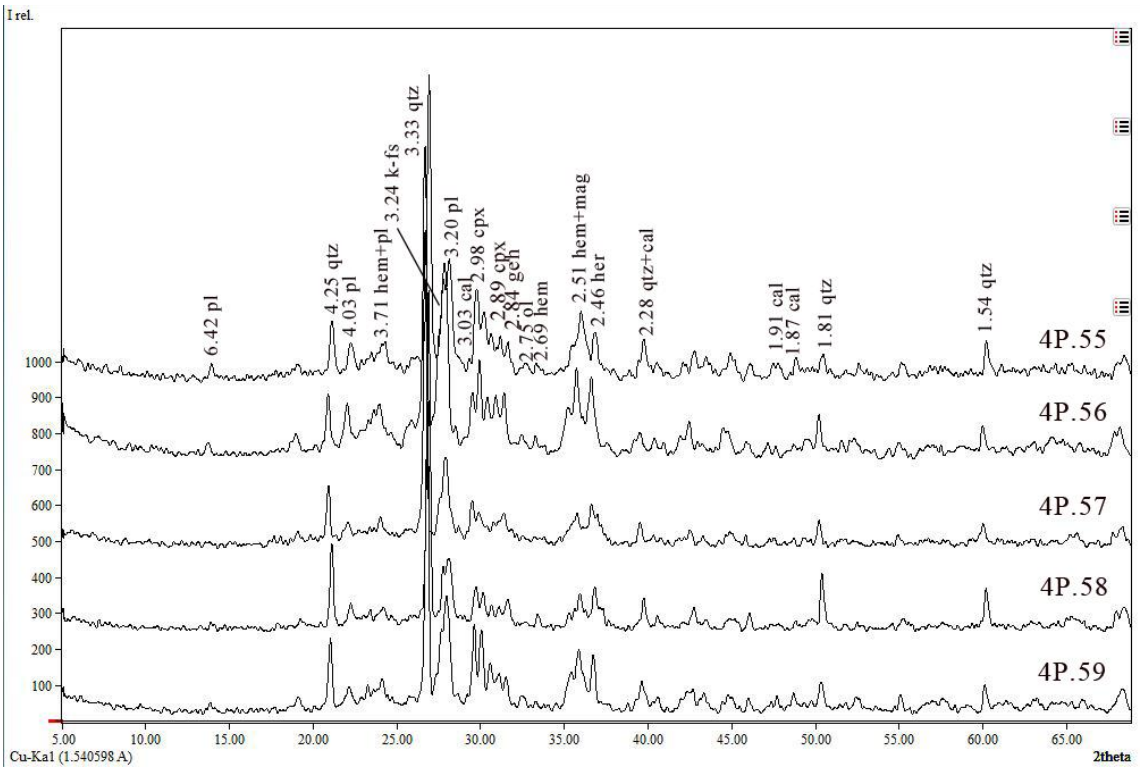
Şekil EK 4e-2. *KR-2 grubu kiremitlerin mineralojik faz kırınımı*



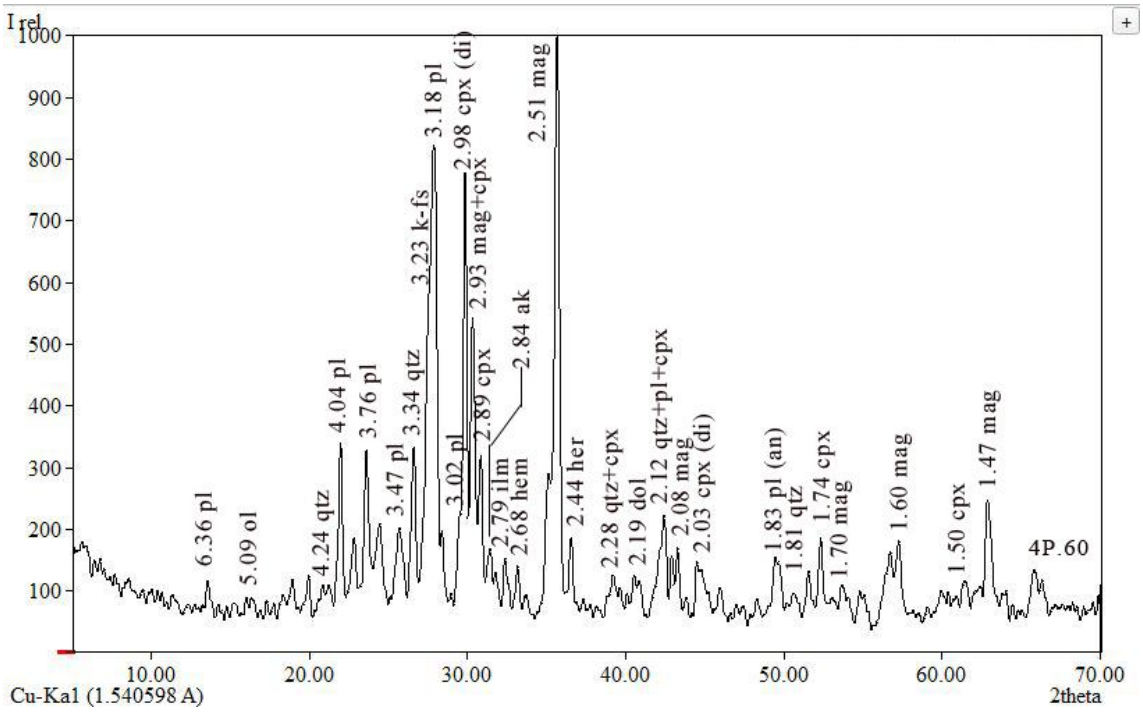
Şekil EK 4e-2. (Devam) *KR-2 grubu kiremitlerin mineralojik faz kırınımı*



Şekil EK 4e-3. *KR-3 grubu kiremitlerin mineralojik faz kırınımı*



Şekil EK 4e-3. (Devam) *KR-3 grubu kiremitlerin mineralojik faz kırınımı*



Şekil EK 4e-4. *KR-3 yanık grubunun mineralojik faz kırınımı*

EK-5. Pişmiş Kil Ürünlerin Deneysel Hesap Çizelgeleri

EK-5a. Fiziksel Özelliklerin Hesap Çizelgeleri

Çizelge EK 5a-1. *I. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.1	1	230,35	264,04	136,36	14,6	26,4	1,80			
	2	233,66	268,72	138,47	15,0	26,9	1,79			
	3	245,73	280,65	146,27	14,2	26,0	1,83			
	4	239,10	274,28	142,44	14,7	26,7	1,81	2,82	35,7	64,3
Ortalama					14,6	26,5	1,81	2,82	35,7	64,3
1P.2	1	200,34	245,71	119,55	22,6	36,0	1,59			
	2	189,09	230,96	112,00	22,1	35,2	1,59			
	3	191,14	233,26	113,08	22,0	35,0	1,59			
	4	200,42	245,48	118,62	22,5	35,5	1,58	2,89	45,0	55,0
Ortalama					22,3	35,4	1,59	2,89	45,0	55,0
1P.3	1	175,83	210,83	104,32	19,9	32,9	1,65			
	2	173,96	205,00	102,67	17,8	30,3	1,70			
	3	191,26	226,20	113,20	18,3	30,9	1,69	2,86	41,3	58,7
Ortalama					18,7	31,4	1,68	2,86	41,3	58,7
1P.4	1	116,80	143,68	71,64	23,0	37,3	1,62			
	2	128,16	157,63	78,47	23,0	37,2	1,62	2,86	43,4	56,6
Ortalama					23,0	37,3	1,62	2,86	43,4	56,6
1P.5	1	245,00	280,97	146,03	14,7	26,7	1,82			
	2	216,54	249,00	130,13	15,0	27,3	1,82			
	3	233,77	266,95	137,90	14,2	25,7	1,81			
	4	217,76	249,88	129,06	14,8	26,6	1,80	2,87	36,8	63,2
Ortalama					14,7	26,6	1,81	2,87	36,8	63,2
1P.6	1	129,74	156,17	79,14	20,4	34,3	1,68			
	2	134,14	161,35	82,01	20,3	34,3	1,69	2,86	41,0	59,0
Ortalama					20,3	34,3	1,69	2,86	41,0	59,0
1P.7	1	202,40	240,38	119,00	18,8	31,3	1,67			
	2	194,13	230,95	113,92	19,0	31,5	1,66			
	3	186,36	221,43	108,56	18,8	31,1	1,65			
	4	176,52	211,50	103,26	19,8	32,3	1,63	2,85	42,1	57,9
Ortalama					19,1	31,5	1,65	2,85	42,1	57,9
1P.8	1	120,66	144,07	73,05	19,4	33,0	1,70			
	2	117,06	139,52	70,93	19,2	32,7	1,71	2,88	40,8	59,2
Ortalama					19,3	32,9	1,70	2,88	40,8	59,2
1P.9	1	133,50	160,51	81,48	20,2	34,2	1,69			
	2	137,12	165,27	83,21	20,5	34,3	1,67	2,87	41,5	58,5
Ortalama					20,4	34,2	1,68	2,87	41,5	58,5
1P.10	1	466,08	558,92	279,70	19,9	33,2	1,67			
	2	138,27	166,60	83,03	20,5	33,9	1,65			
	3	140,79	169,16	85,32	20,2	33,8	1,68			
	4	91,82	110,62	54,93	20,5	33,8	1,65	2,87	42,1	57,9
Ortalama					20,3	33,7	1,66	2,87	42,1	57,9

Çizelge EK 5a-1. (Devam) *I. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.11	1	477,08	578,68	288,62	21,3	35,0	1,64			
	2	122,11	147,37	74,45	20,7	34,6	1,67			
	3	113,20	137,04	68,77	21,1	34,9	1,66	2,86	42,0	58,0
Ortalama					21,0	34,9	1,66	2,86	42,0	58,0
1P.12	1	79,89	99,96	46,88	25,1	37,8	1,51			
	2	75,61	95,56	44,27	26,4	38,9	1,47	2,70	44,7	55,3
Ortalama					25,8	38,4	1,49	2,70	44,7	55,3
1P.13	1	86,46	100,69	54,38	16,5	30,7	1,87			
	2	86,89	101,07	54,33	16,3	30,3	1,86	2,91	35,9	64,1
Ortalama					16,4	30,5	1,86	2,91	35,9	64,1
1P.14	1	205,60	248,98	120,45	21,1	33,8	1,60			
	2	200,30	242,52	118,83	21,1	34,1	1,62	2,86	43,8	56,2
Ortalama					21,1	33,9	1,61	2,86	43,8	56,2
1P.15		69,56	88,86	42,41	27,7	41,6	1,50	2,90	48,3	51,7
1P.16		68,21	86,59	40,81	26,9	40,1	1,49	2,89	48,4	51,6
1P.17		80,04	103,06	48,21	28,8	42,0	1,46	2,88	49,4	50,6
1P.18		83,62	102,43	50,63	22,5	36,3	1,61	2,79	42,1	57,9
1P.19	1	55,07	69,15	34,08	25,6	40,1	1,57			
	2	54,09	67,70	33,35	25,2	39,6	1,57	2,85	44,9	55,1
Ortalama					25,4	39,9	1,57	2,85	44,9	55,1
1P.20	1	88,40	111,59	55,21	26,2	41,1	1,57			
	2	88,64	112,53	55,01	27,0	41,5	1,54			
	3	91,06	115,66	56,26	27,0	41,4	1,53	2,89	46,4	53,6
Ortalama					26,7	41,4	1,55	2,89	46,4	53,6
1P.21	1	69,04	87,55	40,47	26,8	39,3	1,47			
	2	68,64	86,33	40,24	25,8	38,4	1,49	2,69	45,1	54,9
Ortalama					26,3	38,8	1,48	2,69	45,1	54,9
1P.22	1	150,84	180,56	91,75	19,7	33,5	1,70			
	2	151,24	180,70	91,65	19,5	33,1	1,70			
	3	153,06	183,16	93,46	19,7	33,6	1,71	2,86	40,5	59,5
Ortalama					19,6	33,4	1,70	2,86	40,5	59,5
1P.23	1	127,83	156,82	76,93	22,7	36,3	1,60			
	2	126,28	154,85	76,53	22,6	36,5	1,61	2,90	44,7	55,3
Ortalama					22,7	36,4	1,61	2,90	44,7	55,3
1P.24	1	65,62	85,04	39,98	29,6	43,1	1,46			
	2	74,38	95,18	45,66	28,0	42,0	1,50	2,88	48,6	51,4
Ortalama					28,8	42,6	1,48	2,88	48,6	51,4
1P.25	1	130,76	154,65	78,66	18,3	31,4	1,72			
	2	132,10	155,80	80,15	17,9	31,3	1,75	2,79	37,9	62,1
Ortalama					18,1	31,4	1,73	2,79	37,9	62,1
1P.26	1	102,10	130,55	60,30	27,9	40,5	1,45			
	2	104,38	130,64	61,59	25,2	38,0	1,51	2,77	46,6	53,4
Ortalama					26,5	39,3	1,48	2,77	46,6	53,4

Çizelge EK 5a-1. (Devam) *I. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1P.27	1	78,71	99,88	47,67	26,9	40,5	1,51			
	2	75,09	96,06	45,54	27,9	41,5	1,49	2,79	46,3	53,7
Ortalama					27,4	41,0	1,50	2,79	46,3	53,7
1P.28	1	184,49	233,65	109,03	26,6	39,4	1,48			
	2	185,10	233,01	110,04	25,9	39,0	1,51	2,87	48,1	51,9
Ortalama					26,3	39,2	1,49	2,87	48,1	51,9
1P.29	1	178,72	205,91	105,52	15,2	27,1	1,78			
	2	177,55	200,69	103,91	13,0	23,9	1,83	2,84	36,4	63,6
Ortalama					14,1	25,5	1,81	2,84	36,4	63,6
1P.30	1	156,23	195,57	94,66	25,2	39,0	1,55			
	2	147,54	184,19	88,92	24,8	38,5	1,55	2,87	40,4	59,6
Ortalama					25,0	38,7	1,55	2,87	40,4	59,6
1P.31	1	390,40	487,65	236,75	24,9	38,8	1,56			
	2	305,15	384,28	185,64	25,9	39,8	1,54			
	3	163,78	204,89	99,80	25,1	39,1	1,56	2,77	44,0	56,0
Ortalama					25,3	39,2	1,55	2,77	44,0	56,0
1P.32	1	382,25	456,81	228,73	19,5	32,7	1,68			
	2	422,39	506,37	256,47	19,9	33,6	1,69			
	3	108,43	128,60	65,27	18,6	31,8	1,71	2,86	40,9	59,1
Ortalama					19,3	32,7	1,69	2,86	40,9	59,1

Çizelge EK 5a-2. *II. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2P.1	1	126,00	144,90	76,28	15,0	27,5	1,84			
	2	129,96	148,10	79,58	14,0	26,5	1,90	2,86	34,7	65,3
Ortalama					14,5	27,0	1,87	2,86	34,7	65,3
2P.2		140,37	163,22	86,15	16,3	29,6	1,82	2,85	36,0	64,0
2P.3	1	86,67	102,06	53,37	17,8	31,6	1,78			
	2	52,25	61,70	32,41	18,1	32,3	1,78	2,89	38,3	61,7
Ortalama					17,9	31,9	1,78	2,89	38,3	61,7
2P.4		162,01	190,71	95,60	17,7	30,2	1,70	2,89	41,0	59,0
2P.5		227,69	268,16	133,95	17,8	30,2	1,70	2,87	40,9	59,1
2P.6	1	110,65	130,11	67,61	17,6	31,1	1,77			
	2	99,70	117,19	61,06	17,5	31,2	1,78			
	3	97,57	114,60	59,63	17,5	31,0	1,77			
	4	102,96	122,10	63,06	18,6	32,4	1,74			
	5	453,87	536,59	277,42	18,2	31,9	1,75	2,89	39,0	61,0
Ortalama					17,9	31,5	1,76	2,89	39,0	61,0
2P.7	1	179,01	214,11	108,93	19,6	33,4	1,70			
	2	184,53	221,29	112,56	19,9	33,8	1,70	2,85	40,3	59,7
Ortalama					19,8	33,6	1,70	2,85	40,3	59,7
2P.8	1	197,81	232,67	117,82	17,6	30,4	1,72			
	2	194,73	229,43	117,56	17,8	31,0	1,74	2,86	39,4	60,6
Ortalama					17,7	30,7	1,73	2,86	39,4	60,6
2P.9		413,60	485,33	249,22	17,3	30,4	1,75	2,83	38,1	61,9
2P.10	1	191,97	226,38	117,25	17,9	31,5	1,76			
	2	199,26	234,70	120,74	17,8	31,1	1,75	2,85	38,4	61,6
Ortalama					17,9	31,3	1,75	2,85	38,4	61,6
2P.11	1	174,30	208,15	104,15	19,4	32,5	1,68			
	2	185,82	223,01	110,59	20,0	33,1	1,65			
	3	152,65	183,94	90,56	20,5	33,5	1,63			
	4	193,03	232,97	114,15	20,7	33,6	1,62	2,84	42,1	57,9
Ortalama					20,2	33,2	1,65	2,84	42,1	57,9
2P.12	1	104,77	120,84	64,23	15,3	28,4	1,85			
	2	91,30	108,33	55,96	18,7	32,5	1,74			
	3	93,53	109,91	57,31	17,5	31,1	1,78			
	4	88,37	104,06	54,16	17,8	31,4	1,77	2,88	38,1	61,9
Ortalama					17,3	30,9	1,79	2,88	38,1	61,9
2P.13	1	209,47	246,64	122,06	17,7	29,8	1,68			
	2	231,30	271,58	135,00	17,4	29,5	1,69	2,82	40,1	59,9
Ortalama					17,6	29,7	1,69	2,82	40,1	59,9
2P.14		88,28	104,54	53,86	18,4	32,1	1,74	2,86	39,1	60,9

Çizelge EK 5a-2. (Devam) *II. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		**m_d (g)**	**m_s (g)**	**m_h (g)**	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
2P.15		64,36	76,78	40,13	19,3	33,9	1,76	2,94	40,3	59,7
2P.16		82,76	98,68	52,75	19,2	34,7	1,80	2,87	37,2	62,8
2P.17	1	70,42	83,64	43,23	18,8	32,7	1,74			
	2	67,92	80,60	41,51	18,7	32,4	1,74	2,87	39,5	60,5
Ortalama					18,7	32,6	1,74	2,87	39,5	60,5
2P.18	1	76,64	90,12	46,65	17,6	31,0	1,76			
	2	76,36	90,38	46,50	18,4	32,0	1,74	2,86	38,8	61,2
Ortalama					18,0	31,5	1,75	2,86	38,8	61,2
2P.19		68,56	81,43	41,23	18,8	32,0	1,71	2,87	40,6	59,4
2P.20	1	67,19	79,14	41,50	17,8	31,7	1,79			
	2	64,82	76,51	39,81	18,0	31,9	1,77	2,91	39,0	61,0
Ortalama					17,9	31,8	1,78	2,91	39,0	61,0
2P.21	1	61	73,11	37,58	19,9	34,1	1,72			
	2	64,88	77,88	39,94	20,0	34,3	1,71	2,87	40,4	59,6
Ortalama					19,9	34,2	1,71	2,87	40,4	59,6
2P.22	1	58,38	70,03	36,40	20,0	34,6	1,74			
	2	51,29	61,45	31,76	19,8	34,2	1,73	2,84	39,1	60,9
Ortalama					19,9	34,4	1,73	2,84	39,1	60,9
2P.23	1	72,07	86,94	44,36	20,6	34,9	1,69			
	2	62,4	75,48	38,53	21,0	35,4	1,69	2,89	41,5	58,5
Ortalama					20,8	35,2	1,69	2,89	41,5	58,5
2P.24		67,94	84,20	40,72	23,9	37,4	1,56	2,86	45,3	54,7
2P.25		54,69	66,55	33,03	21,7	35,4	1,63	2,85	42,8	57,2
2P.26	1	75,53	88,87	46,13	17,7	31,2	1,77	2,88		
	2	75,15	88,27	45,84	17,5	30,9	1,77			
Ortalama					17,6	31,1	1,77	2,88	38,5	61,5
2P.27		77,14	90,29	47,21	17,0	30,5	1,79	2,90	38,2	61,8
2P.28	1	61,34	73,67	38,4	20,1	35,0	1,74	2,90		
	2	51,38	61,43	31,93	19,6	34,1	1,74			
Ortalama					19,8	34,5	1,74	2,90	40,0	60,0
2P.29	1	76,15	89,40	45,72	17,4	30,3	1,74			
	2	73,88	86,54	44,41	17,1	30,0	1,75	2,88	39,3	60,7
Ortalama					17,3	30,2	1,75	2,88	39,3	60,7
2P.30		78,11	88,23	47,20	13,0	24,7	1,90	2,84	33,0	67,0
2P.31		91,28	108,01	55,00	18,3	31,6	1,72	2,87	39,9	60,1
2P.32		76,18	89,30	45,84	17,2	30,2	1,75	2,87	38,9	61,1

Çizelge EK 5a-3. *III. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.1	1	144,99	166,24	87,72	14,7	27,1	1,85			
	2	148,15	170,03	89,44	14,8	27,1	1,84			
	3	159,49	182,57	96,68	14,5	26,9	1,86			
	4	118,79	135,81	72,27	14,3	26,8	1,87	2,89	35,9	64,1
Ortalama					14,6	27,0	1,85	2,89	35,9	64,1
3P.2		237,83	272,58	143,90	14,6	27,0	1,85	2,85	35,1	64,9
3P.3		220,44	253,12	130,08	14,8	26,6	1,79	2,84	37,0	63,0
3P.4		59,25	68,22	36,6	15,1	28,4	1,87	2,84	34,0	66,0
3P.5		220,66	261,22	133,06	18,4	31,6	1,72	2,87	40,1	59,9
3P.6	1	196,56	233,88	113,02	19,0	30,9	1,63			
	2	200,17	236,72	116,00	18,3	30,3	1,66	2,85	42,5	57,5
Ortalama					18,6	30,6	1,64	2,85	42,5	57,5
3P.7	1	142,56	170,42	88,59	19,5	34,0	1,74			
	2	243,08	287,48	146,35	18,3	31,5	1,72	2,81	38,7	61,3
Ortalama					18,9	32,8	1,73	2,81	38,7	61,3
3P.8	1	100,88	122,86	62,26	21,8	36,3	1,66			
	2	99,51	120,21	61,48	20,8	35,2	1,69	2,89	41,9	58,1
Ortalama					21,3	35,8	1,68	2,89	41,9	58,1
3P.9	1	97,14	116,40	59,78	19,8	34,0	1,72			
	2	102,43	122,64	63,52	19,7	34,2	1,73	2,88	39,7	60,3
Ortalama					19,8	34,1	1,72	2,88	39,7	60,3
3P.10		197,69	236,38	119,25	19,6	33,0	1,69	2,84	40,5	59,5
3P.11	1	131,66	158,44	80,56	20,3	34,4	1,69			
	2	72,32	86,68	44,25	19,9	33,8	1,70	2,87	40,8	59,2
Ortalama					20,1	34,1	1,70	2,87	40,8	59,2
3P.12		198,79	237,73	121,92	19,6	33,6	1,72	2,88	40,5	59,5
3P.13	1	97,50	118,06	60,55	21,1	35,8	1,70			
	2	96,66	116,94	60,32	21,0	35,8	1,71	2,90	41,4	58,6
Ortalama					21,0	35,8	1,70	2,90	41,4	58,6
3P.14		183,90	220,73	106,94	20,0	32,4	1,62	2,87	43,6	56,4
3P.15		73,73	89,57	45,19	21,5	35,7	1,66	2,90	42,6	57,4
3P.16	1	120,51	145,39	73,26	20,6	34,5	1,67			
	2	73,42	87,77	45,04	19,5	33,6	1,72	2,87	41,2	58,8
Ortalama					20,1	34,0	1,69	2,87	41,2	58,8
3P.17		202,12	236,53	119,62	17,0	29,4	1,73	2,84	39,2	60,8
3P.18	1	156,73	184,53	95,47	17,7	31,2	1,76			
	2	136,34	161,02	83,18	18,1	31,7	1,75			
	3	197,58	231,61	119,99	17,2	30,5	1,77	2,87	38,6	61,4
Ortalama					17,7	31,1	1,76	2,87	38,6	61,4
3P.19	1	83,96	99,92	50,10	19,0	32,0	1,69			
	2	98,02	116,11	58,78	18,5	31,6	1,71			
	3	102,73	120,98	61,88	17,8	30,9	1,74	2,80	39,0	61,0
Ortalama					18,4	31,5	1,71	2,80	39,0	61,0

Çizelge EK 5a-3. (Devam) *III. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.20	1	136,03	161,71	82,63	18,9	32,5	1,72			
	2	134,94	160,14	81,48	18,7	32,0	1,72	2,79	38,5	61,5
Ortalama					18,8	32,3	1,72	2,79	38,5	61,5
3P.21		109,04	129,47	66,9	18,7	32,7	1,74	2,86	39,1	60,9
3P.22		109,39	130,58	66,75	19,4	33,2	1,71	2,83	39,5	60,5
3P.23	1	123,26	148,64	74,93	20,6	34,4	1,67			
	2	124,11	149,66	75,35	20,6	34,4	1,67	2,87	41,9	58,1
Ortalama					20,6	34,4	1,67	2,87	41,9	58,1
3P.24		95,06	117,14	55,02	23,2	35,5	1,53	2,72	43,8	56,2
3P.25	1	157,15	194,21	94,80	23,6	37,3	1,58			
	2	132,31	162,81	79,00	23,1	36,4	1,58	2,88	43,8	56,2
Ortalama					23,3	36,8	1,58	2,88	43,8	56,2
3P.26		89,06	109,80	54,51	23,3	37,5	1,61	2,83	43,1	56,9
3P.27		87,15	107,55	52,6	23,4	37,1	1,59	2,89	45,1	54,9
3P.28		79,43	99,51	46,93	25,3	38,2	1,51	2,78	45,6	54,4
3P.29		86,29	100,14	51,28	16,1	28,3	1,77			
3P.30	1	106,74	127,45	64,89	19,4	33,1	1,71			
	2	106,75	127,57	65,18	19,5	33,4	1,71	2,88	40,6	59,4
Ortalama					19,5	33,2	1,71	2,88	40,6	59,4
3P.31	1	99,95	120,47	60,69	20,5	34,3	1,67	2,88		
	2	98,86	119,60	60,00	21,0	34,8	1,66		42,3	57,7
Ortalama					20,8	34,6	1,67	2,88	42,3	57,7
3P.32	1	75,66	92,70	44,2	22,5	35,1	1,56			
	2	78,92	96,26	45,58	22,0	34,2	1,56	2,63	40,8	59,2
Ortalama					22,2	34,7	1,56	2,63	40,8	59,2
3P.33	1	65,77	40,82	81,1	23,3	38,1	1,63			
	2	68,78	42,48	84,46	22,8	37,4	1,64	2,90	43,6	56,4
Ortalama					23,1	37,7	1,64	2,90	43,6	56,4
3P.34		68,5	41,39	85,06	24,2	37,9	1,57	2,72	42,3	57,7
3P.35	1	54,84	33,29	68,92	25,7	39,5	1,54			
	2	50,5	30,83	63,87	26,5	40,5	1,53	2,89	47,0	53,0
Ortalama					26,1	40,0	1,53	2,89	47,0	53,0
3P.36		65,16	39,64	80,08	22,9	36,9	1,61	2,85	43,4	56,6
3P.37	1	54,93	32,33	67,56	23,0	35,9	1,56			
	2	44,3	25,96	54,66	23,4	36,1	1,54	2,80	44,5	55,5
Ortalama					23,2	36,0	1,55	2,80	44,5	55,5
3P.38		39,26	24,27	48,51	23,6	38,2	1,62	2,91	44,3	55,7
3P.39		61,53	76,26	37,98	23,9	38,5	1,61			
3P.40	1	60,08	37,83	75,19	25,1	40,4	1,61			
	2	57,84	36,17	72,7	25,7	40,7	1,58	2,92	45,4	54,6
Ortalama					25,4	40,6	1,60	2,92	45,4	54,6
3P.41		30,5	19,13	39,48	29,4	44,1	1,50	2,94	49,0	51,0
3P.42		53,44	60,91	32,56	14,0	26,3	1,89	2,87	34,2	65,8
3P.43		26,94	32,51	17,25	20,7	36,5	1,77	2,89	39,0	61,0
3P.44		36,74	22,93	45,43	23,7	38,6	1,63	2,88	43,4	56,6

Çizelge EK 5a-3. (Devam) *III. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.45		43,99	55,82	27,37	26,9	41,6	1,55	2,91	46,9	53,1
3P.46		39,44	50,94	23,42	29,2	41,8	1,43	2,67	46,2	53,8
3P.47	1	80,49	96,15	50,74	19,5	34,5	1,77			
	2	51,89	61,88	32,82	19,3	34,4	1,79	2,93	39,4	60,6
Ortalama					19,4	34,4	1,78	2,93	39,4	60,6
3P.48	1	56,96	67,62	35,68	18,7	33,4	1,78			
	2	59,80	71,52	37,34	19,6	34,3	1,75	2,90	39,0	61,0
Ortalama					19,2	33,8	1,77	2,90	39,0	61,0
3P.49		61,06	73,02	38,7	19,6	34,83	1,78	2,9	39,2	60,8
3P.50	1	65,85	79,05	40,67	20,0	34,4	1,72			
	2	63,27	76,02	38,96	20,2	34,4	1,71	2,87	40,4	59,6
Ortalama					20,1	34,4	1,71	2,87	40,4	59,6
3P.51	1	91,16	108,15	55,79	18,6	32,4	1,74			
	2	92,07	110,14	56,60	19,6	33,8	1,72	2,89	40,2	59,8
Ortalama					19,1	33,1	1,73	2,89	40,2	59,8
3P.52	1	75,70	46,57	89,41	18,1	32,0	1,77			
	2	71,31	43,84	84,09	17,9	31,8	1,77	2,89	38,8	61,2
Ortalama					18,0	31,9	1,77	2,89	38,8	61,2
3P.53		68,54	42,03	81,19	18,5	32,3	1,75	2,90	39,6	60,4
3P.54	1	64,53	39,75	76,72	18,9	33,0	1,75			
	2	59,53	36,79	71,11	19,5	33,7	1,73	2,86	39,1	60,9
Ortalama					19,2	33,4	1,74	2,86	39,1	60,9
3P.55	1	79,29	48,68	93,51	17,9	31,7	1,77			
	2	81,18	50,06	95,73	17,9	31,9	1,78	2,86	38,1	61,9
Ortalama					17,9	31,8	1,77	2,86	38,1	61,9
3P.56		69,98	43,21	83,15	18,8	33,0	1,75	2,90	39,5	60,5
3P.57		60,29	37,02	71,62	18,8	32,7	1,74	2,89	39,8	60,2
3P.58	1	74,56	45,02	88,66	18,9	32,3	1,71			
	2	71,17	43,60	84,60	18,9	32,8	1,74			
	3	58,16	35,36	69,34	19,2	32,9	1,71	2,89	40,5	59,5
Ortalama					19,0	32,7	1,72	2,89	40,5	59,5
3P.59					18,8	32,0	1,71	2,90	41,0	59,0
3P.60	1	62,84	39,28	74,96	19,3	34,0	1,76			
	2	62,60	38,76	74,32	18,7	33,0	1,76	2,89	39,1	60,9
Ortalama					19,0	33,5	1,76	2,89	39,1	60,9
3P.61	1	86,18	53,17	102,42	18,8	33,0	1,75			
	2	80,78	49,91	96,15	19,0	33,2	1,75	2,91	39,8	60,2
Ortalama					18,9	33,1	1,75	2,91	39,8	60,2
3P.62		62,27	38,31	74,12	19,0	33,1	1,74	2,89	39,8	60,2
3P.63	1	69,06	42,42	82,76	19,8	34,0	1,71			
	2	65,72	40,25	78,86	20,0	34,0	1,70	2,88	40,8	59,2
Ortalama					19,9	34,0	1,71	2,88	40,8	59,2

Çizelge EK 5a-3. (Devam) *III. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
3P.64		67,45	41,54	80,95	20,0	34,3	1,71	2,91	41,3	58,7
3P.65		62,07	74,79	38,34	20,5	34,9	1,70	2,90	41,4	58,6
3P.66		57,98	63,81	34,92	10,1	20,2	2,01	2,84	29,3	70,7
3P.67	1	51,23	60,77	32,18	18,6	33,4	1,79			
	2	47,47	56,23	29,61	18,5	32,9	1,78	2,90	38,4	61,6
Ortalama					18,5	33,1	1,79	2,90	38,4	61,6
3P.68	1	65,52	78,27	40,36	19,5	33,6	1,73			
	2	64,39	76,58	39,95	18,9	33,3	1,76	2,87	39,3	60,7
Ortalama					19,2	33,5	1,74	2,87	39,3	60,7
3P.69	1	69,66	42,10	83,43	19,8	33,3	1,69			
	2	64,94	39,16	77,53	19,4	32,8	1,69	2,89	41,5	58,5
Ortalama					19,6	33,1	1,69	2,89	41,5	58,5
3P.70		28,78	34,84	17,99	21,1	36,0	1,71			
3P.71	1	74,17	86,86	44,57	17,1	30,0	1,75			
	2	66,38	77,70	39,47	17,1	29,6	1,74	2,91	39,9	60,1
Ortalama					17,1	29,8	1,75	2,91	39,9	60,1
3P.72		53,84	64,23	33,16	19,3	33,4	1,73	2,89	40,0	60,0
3P.73		11,86	14,81	7,56	24,9	40,7	1,64	2,84	42,4	57,6

Çizelge EK 5a-4. *IV. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.1		180,71	205,74	110,67	13,9	26,3	1,90	2,84	33,1	66,9
4P.2	1	179,52	222,42	94,47	23,9	33,5	1,40			
	2	179,52	221,81	97,4	23,6	34,0	1,44	2,63	46,0	54,0
Ortalama					23,7	33,8	1,42	2,63	46,0	54,0
4P.3	1	88,27	111,76	50,59	26,6	38,4	1,44			
	2	88,72	112,26	51,76	26,5	38,9	1,47	2,61	44,4	55,6
Ortalama					26,6	38,7	1,45	2,61	44,4	55,6
4P.4		185,27	228,33	110,6	23,2	36,6	1,57	2,87	46,4	53,6
4P.5	1	90,97	113,03	53,89	24,2	37,3	1,54			
	2	101,97	125,57	60,32	23,1	36,2	1,56			
	3	100,38	124,77	59,67	24,3	37,5	1,54	2,87	45,2	54,8
Ortalama					23,9	37,0	1,55	2,87	45,2	54,8
4P.6		160,64	200,28	95,68	24,7	37,9	1,54	2,90	46,6	53,4
4P.7		185,87	229,1	109,11	23,3	36,0	1,55	2,86	45,9	54,1
4P.8	1	83,81	102,41	50,89	22,2	36,1	1,63			
	2	89,02	108,99	54,21	22,4	36,5	1,63	2,84	42,8	57,2
Ortalama					22,3	36,3	1,63	2,84	42,8	57,2
4P.9		159,12	201,47	94,92	26,6	39,7	1,49	2,86	47,8	52,2
4P.10		151,91	177,44	90,8	16,8	29,5	1,75	2,85	38,5	61,5
4P.11	1	101,77	120,25	61,81	18,2	31,6	1,74			
	2	82,71	97,30	50,05	17,6	30,9	1,75	2,87	39,1	60,9
Ortalama					17,9	31,3	1,75	2,87	39,1	60,9
4P.12	1	66,05	84,74	38,63	28,3	40,5	1,43			
	2	76,00	97,66	43,92	28,5	40,3	1,41			
	3	70,14	90,69	41,03	29,3	41,4	1,41	2,60	45,5	54,5
Ortalama					28,7	40,7	1,42	2,60	45,5	54,5
4P.13	1	118,49	144,27	72,32	21,8	35,8	1,65			
	2	114,29	140,14	69,62	22,6	36,7	1,62	2,83	42,3	57,7
Ortalama					22,2	36,2	1,63	2,83	42,3	57,7
4P.14	1	96,69	116,17	59,05	20,1	34,1	1,69			
	2	102,11	122,04	62,19	19,5	33,3	1,71	2,86	40,5	59,5
Ortalama					19,8	33,7	1,70	2,86	40,5	59,5
4P.15	1	198,52	236,86	116,48	19,3	31,8	1,65			
	2	190,31	227,45	111,71	19,5	32,1	1,64	2,86	42,5	57,5
Ortalama					19,4	32,0	1,65	2,86	42,5	57,5
4P.16	1	183,04	222,77	106,32	21,7	34,1	1,57			
	2	155,56	189,34	90,55	21,7	34,2	1,57	2,86	43,3	56,7
Ortalama					21,7	34,2	1,57	2,86	43,3	56,7
4P.17		217,2	261,08	130,52	20,2	33,6	1,66	2,87	42,0	58,0
4P.18	1	179,68	216,25	105,42	20,4	33,0	1,62			
	2	196,33	236,04	116,73	20,2	33,3	1,65	2,88	43,4	56,6
Ortalama					20,3	33,1	1,63	2,88	43,4	56,6
4P.19		151,2	180,8	90,63	19,6	32,8	1,68	2,85	41,2	58,8

Çizelge EK 5a-4. (Devam) *IV. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.20	1	85,89	52,35	104,88	22,1	36,2	1,64			
	2	64,81	39,72	79,58	22,8	37,1	1,63			
	3	94,7	58,12	116,59	23,1	37,4	1,62	2,86	43,3	56,7
Ortalama					22,7	36,9	1,63	2,86	43,3	56,7
4P.21	1	110,95	128,72	69,61	16,0	30,1	1,88			
	2	104,02	120,87	64,72	16,2	30,0	1,85	2,87	35,0	65,0
Ortalama					16,1	30,0	1,86	2,87	35,0	65,0
4P.22		91,6	114,37	53,2	24,9	37,2	1,50	2,69	44,2	55,8
4P.23	1	73,03	87,54	44,43	19,9	33,7	1,69			
	2	78,66	93,16	47,80	18,4	32,0	1,73	2,73	37,2	62,8
Ortalama					19,2	32,8	1,71	2,73	37,2	62,8
4P.24		60,46	72,03	37,49	19,1	33,5	1,75	2,84	38,4	61,6
4P.25	1	90,79	108,83	54,24	19,9	33,0	1,66	2,71	38,9	61,1
	2	90,13	108,09	53,52	19,9	32,9	1,65	2,73	39,2	60,8
Ortalama					19,9	33,0	1,66	2,72	39,1	60,9
4P.26	1	77,27	91,40	46,78	18,3	31,7	1,73			
	2	80,16	95,28	48,53	18,9	32,3	1,71	2,88	40,0	60,0
Ortalama					18,6	32,0	1,72	2,88	40,0	60,0
4P.27		90,89	107,24	55,29	18,0	31,5	1,75	2,85	38,5	61,5
4P.28	1	67,51	87,26	38,46	29,3	40,5	1,38			
	2	72,01	93,00	41,54	29,1	40,8	1,40	2,61	46,6	53,4
Ortalama					29,2	40,6	1,39	2,61	46,6	53,4
4P.29		71,80	79,49	44,31	10,7	21,9	2,04	2,73	25,2	74,8
4P.30		58,01	71,69	35,01	23,6	37,3	1,58	2,87	45,0	55,0
4P.31	1	55,84	71,09	33,34	27,3	40,4	1,48			
	2	53,94	68,97	32,02	27,9	40,7	1,46	2,8766	48,9	51,1
Ortalama					27,6	40,5	1,47	2,8766	48,9	51,1
4P.32	1	73,81	93,19	45,34	26,3	40,5	1,54			
	2	75,35	94,88	46,07	25,9	40,0	1,54	2,85	45,9	54,1
Ortalama					26,1	40,3	1,54	2,85	45,9	54,1
4P.33		58,77	71,37	35,60	21,4	35,2	1,64	2,87	42,8	57,2
4P.34		71,43	83,36	43,50	16,7	29,9	1,79	2,85	37,0	63,0
4P.35	1	78,41	96,81	46,99	23,5	36,9	1,57			
	2	88,12	108,56	52,83	23,2	36,7	1,58	2,75	42,7	57,3
Ortalama					23,3	36,8	1,58	2,75	42,7	57,3
4P.36		38,97	49,27	24,19	26,4	41,1	1,55	2,89	46,2	53,8
4P.37		96,54	114,21	60,54	18,3	32,9	1,80	2,91	38,2	61,8
4P.38	1	61,66	73,31	38,52	18,9	33,5	1,77			
	2	58,56	69,57	36,51	18,8	33,3	1,77	2,90	39,0	61,0
Ortalama					18,8	33,4	1,77	2,90	39,0	61,0
4P.39		77,49	91,23	46,73	17,7	30,9	1,74	2,84	38,8	61,2
4P.40		73,27	86,21	43,89	17,7	30,6	1,73	2,86	39,4	60,6

Çizelge EK 5a-4. (Devam) *IV. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
4P.41	1	79,84	84,56	46,43	5,9	12,4	2,09			
	2	74,39	80,17	44,10	7,8	16,0	2,06	2,79	25,4	74,6
Ortalama					6,8	14,2	2,08	2,79	25,4	74,6
4P.42		91,25	108,49	56,07	18,9	32,9	1,74	2,88	39,6	60,4
4P.43		64,30	76,74	39,20	19,3	33,1	1,71	2,87	40,2	59,8
4P.44	1	99,84	116,31	64,17	16,5	31,6	1,91			
	2	93,17	108,55	59,90	16,5	31,6	1,92	2,98		
	3	95,95	111,86	61,56	16,6	31,6	1,91	2,97	35,7	64,3
Ortalama					16,5	31,6	1,91	2,97	35,7	64,3
4P.45	1	80,07	92,75	50,75	15,8	30,2	1,91			
	2	71,53	82,61	45,54	15,5	29,9	1,93			
	3	80,05	92,93	50,65	16,1	30,5	1,89	2,8873	33,9	66,1
Ortalama					15,8	30,2	1,91	2,8873	33,9	66,1
4P.46		61,85	71,93	38,70	16,3	30,3	1,86	2,8993	35,8	64,2
4P.47	1	58,59	71,49	35,54	22,0	35,9	1,63			
	2	64,25	77,92	38,97	21,3	35,1	1,65	2,8683	42,8	57,2
Ortalama					21,6	35,5	1,64	2,8683	42,8	57,2
4P.48	1	83,13	106,77	47,44	28,4	39,8	1,40			
	2	71,11	91,64	40,81	28,9	40,4	1,40	2,68	47,8	52,2
Ortalama					28,7	40,1	1,40	2,68	47,8	52,2
4P.49	1	42,38	57,61	25,32	35,9	47,2	1,31			
	2	41,84	57,06	24,88	36,4	47,3	1,30	2,71	51,5	48,5
Ortalama					36,2	47,2	1,31	2,71	51,5	48,5
4P.50		60,03	79,40	35,68	32,3	44,3	1,37	2,71	49,3	50,7
4P.51	1	61,79	79,74	35,81	29,1	40,9	1,41			
	2	61,78	81,53	35,73	32,0	43,1	1,35	2,68	48,7	51,3
Ortalama					30,5	42,0	1,38	2,68	48,7	51,3
4P.52	1	49,86	67,48	29,28	35,3	46,1	1,31			
	2	56,29	75,38	32,75	33,9	44,8	1,32	2,72	51,8	48,2
Ortalama					34,6	45,5	1,31	2,72	51,8	48,2
4P.53		48,62	65,04	28,55	33,8	45,0	1,33	2,72	51,0	49,0
4P.54		52,39	71,08	31,19	35,7	46,9	1,31	2,74	49,5	50,5
4P.55	1	56,07	76,13	33,28	35,8	46,8	1,31			
	2	64,17	87,90	38,39	37,0	47,9	1,30	2,73	52,5	47,5
Ortalama					36,4	47,4	1,30	2,73	52,5	47,5
4P.56	1	55,07	74,18	32,91	34,7	46,3	1,33			
	2	54,11	72,13	31,73	33,3	44,6	1,34	2,77	51,7	48,3
Ortalama					34,0	45,5	1,34	2,77	51,7	48,3
4P.57		60,98	77,68	35,81	27,4	39,9	1,46	2,76	47,1	52,9
4P.58		70,83	93,61	42,43	32,2	44,5	1,38	2,73	52,1	47,9
4P.59	1	38,61	53,23	23,16	37,9	48,6	1,28			
	2	44,85	62,03	26,43	38,3	48,3	1,26	2,78	54,2	45,8
Ortalama					38,1	48,4	1,27	2,78	54,2	45,8

Çizelge EK 5a-4. (Devam) *IV. Bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin hesap tablosu*

Örnek kodu		**m_d (g)**	**m_s (g)**	**m_h (g)**	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
4P.60	1	84,84	103,40	50,55	21,9	35,1	1,61			
	2	81,68	99,38	49,20	21,7	35,3	1,63	2,9164	44,6	55,4
Ortalama					21,8	35,2	1,62	2,9164	44,6	55,4
4P.61		63,94	74,87	38,96	17,1	30,4	1,78	2,8503	37,5	62,5

EK-5b. Schmidt Çekici ile Yüzey Sertliği Analiz Hesap Tabloları

Çizelge EK 5b-1. *I. ve II. bölgelere ait pişmiş kil ürünlerin Schmidt çekici hesap tablosu*

Örnek kodu	Schmidt çekici okuma değeri			
	1.	2.	3.	Ort.
1P.1	28	32	30	30
1P.2	34	36	38	36
1P.3	26	28	30	28
1P.4	33	33	33	33
1P.5	35	34	34	34
1P.6	26	25	25	25
1P.7	28	25	27	27
1P.8	26	26	28	27
1P.9	27	25	26	26
1P.10	31	29	33	31
1P.11	33	31	32	32
1P.12	25	29	27	27
1P.13	33	30	29	31
1P.14	28	24	25	26
1P.15	20	26	24	23
1P.16	28	30	27	28
1P.17	25	24	28	26
1P.18	34	30	30	31
1P.19	21	22	23	22
1P.20	33	35	30	33
1P.21	26	28	26	27
1P.22	33	36	34	34
1P.23	27	25	26	26
1P.24	32	30	31	31
1P.25	30	28	27	28
1P.26	30	25	26	27
1P.27	34	30	32	32
1P.28	33	36	37	35
1P.29	37	36	38	37
1P.30	20	20	22	21
1P.31	30	34	34	33
1P.32	28	25	31	28

Örnek kodu	Schmidt çekici okuma değeri			
	1.	2.	3.	Ort.
2P.1	35	40	38	38
2P.2	34	36	32	34
2P.3	25	25	25	25
2P.4	27	30	28	28
2P.5	25	25	25	25
2P.6	26	24	26	25
2P.7	28	24	26	26
2P.8	32	30	30	31
2P.9	29	27	28	28
2P.10	22	24	20	22
2P.11	28	30	27	28
2P.12	28	27	26	27
2P.13	25	24	25	25
2P.15	15	16	15	15
2P.16	32	36	37	35
2P.17	25	27	27	26
2P.18	24	18	18	20
2P.19	20	16	18	18
2P.20	22	26	28	25
2P.21	20	18	20	19
2P.22	16	18	17	17
2P.23	19	19	20	19
2P.24	40	40	48	43
2P.25	20	24	24	23
2P.26	18	20	24	21
2P.27	22	18	19	20
2P.28	26	25	27	26
2P.29	26	28	30	28
2P.30	45	40	40	42
2P.31	28	30	29	29
2P.32	18	21	18	19

Çizelge EK 5b-2. *III. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin Schmidt çekici hesap tablosu*

Örnek kodu	Schmidt çekici okuma değeri			
	1.	2.	3.	Ort.
3P.1	36	36	36	36
3P.2	30	28	26	28
3P.3	37	40	35	37
3P.4	45	45	43	44
3P.5	26	25	26	26
3P.6	30	34	30	31
3P.7	39	33	38	37
3P.8	20	18	18	19
3P.9	30	31	32	31
3P.10	25	28	28	27
3P.11	24	25	26	25
3P.12	26	25	25	25
3P.13	26	26	26	26
3P.14	28	27	30	28
3P.15	22	22	22	22
3P.16	32	32	34	33
3P.17	26	27	28	27
3P.18	22	26	24	24
3P.19	22	20	20	21
3P.20	17	15	16	16
3P.21	22	22	24	23
3P.22	24	22	25	24
3P.23	28	28	31	29
3P.24	24	23	21	23
3P.25	38	36	35	36
3P.26	26	19	28	24
3P.27	21	22	19	21
3P.28	23	23	22	23
3P.29	30	29	29	29
3P.30	28	26	25	26
3P.31	22	20	22	21
3P.32	28	24	24	25
3P.33	28	30	29	29
3P.34	30	30	29	30
3P.35	29	30	29	29

Örnek kodu	Schmidt çekici okuma değeri			
	1.	2.	3.	Ort.
3P.36	26	28	26	27
3P.37	34	32	30	32
3P.38	32	34	34	33
3P.39	49	46	46	47
3P.40	35	38	35	36
3P.41	34	32	30	32
3P.42	32	32	34	33
3P.44	30	33	32	32
3P.45	30	32	30	31
3P.46	21	21	20	21
3P.47	24	25	24	24
3P.48	22	22	24	23
3P.49	23	25	23	24
3P.50	26	28	30	28
3P.51	21	22	24	22
3P.52	25	28	25	26
3P.53	20	20	22	21
3P.54	20	20	20	20
3P.55	19	23	22	21
3P.56	20	20	21	20
3P.57	25	24	24	24
3P.58	26	24	26	25
3P.59	22	22	24	23
3P.60	28	25	26	26
3P.61	22	25	23	23
3P.62	29	30	30	30
3P.63	20	32	22	25
3P.64	20	20	20	20
3P.65	23	24	24	24
3P.66	54	44	46	48
3P.67	28	28	26	27
3P.68	24	22	23	23
3P.69	24	20	22	22
3P.70	22	24	26	24
3P.71	26	28	26	27
3P.72	23	25	24	24

Çizelge EK 5b-3. *IV. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin Schmidt çekici hesap tablosu*

Örnek kodu	Schmidt çekici okuma değeri			
	1.	2.	3.	Ort.
4P.1	34	38	35	36
4P.2	27	26	25	26
4P.3	26	24	26	25
4P.4	24	26	28	26
4P.5	27	25	25	26
4P.6	27	24	23	24
4P.7	31	31	30	31
4P.8	24	24	25	24
4P.9	31	30	32	31
4P.10	22	26	24	24
4P.11	26	23	25	25
4P.12	25	20	37	27
4P.13	35	33	35	34
4P.14	32	34	35	34
4P.15	32	36	35	34
4P.16	28	27	27	27
4P.17	31	29	31	30
4P.18	30	31	30	30
4P.19	30	31	30	30
4P.20	29	30	28	29
4P.21	35	35	35	35
4P.22	22	23	22	22
4P.23	30	25	25	27
4P.25	32	32	32	32
4P.26	28	30	30	29
4P.27	34	29	29	31
4P.28	20	20	18	19
4P.29	38	38	36	37
4P.30	28	30	30	29

Örnek kodu	Schmidt çekici okuma değeri			
	1.	2.	3.	Ort.
4P.31	30	28	31	30
4P.32	26	26	30	27
4P.33	35	32	30	32
4P.34	21	20	19	20
4P.35	30	30	30	30
4P.37	24	24	24	24
4P.38	29	29	31	30
4P.39	30	30	32	31
4P.40	25	27	27	26
4P.41	50	50	47	49
4P.42	25	23	23	24
4P.43	24	26	28	26
4P.44	36	32	33	34
4P.45	33	35	36	34
4P.46	40	37	40	39
4P.47	37	37	40	38
4P.48	28	28	28	28
4P.49	32	30	34	32
4P.50	31	31	30	31
4P.51	29	28	28	28
4P.52	25	23	25	24
4P.53	32	35	30	32
4P.54	32	34	32	33
4P.55	28	26	27	27
4P.56	30	30	25	28
4P.57	35	33	34	34
4P.58	25	25	23	24
4P.59	20	22	21	21
4P.60	19	19	19	19
4P.61	33	33	30	32

EK-5c. Tek Eksenli Basınç Dayanımının Belirlenmesi Analizinin Hesap Tabloları

Çizelge Ek 5c-1. *I. Bölgedeki yığma yapı tuğlaların tek eksenli basınç dayanımı*

Örnek Kodu	a (mm)	b (mm)	A (mm^2)	F (kN)	σ (MPa)
1P.1	33,2	33,2	1101,2	24,5	22,2
1P.2	44,9	44,6	2005,2	31,6	15,7
1P.3	37,6	38,5	1447,2	14,3	9,9
1P.4	38,1	37,7	1436,4	37,1	25,8
1P.5	40,6	41,5	1684,9	36,7	21,8
1P.6	34,6	34,9	1206,5	18,7	15,5
1P.7	39,2	39,6	1551,1	25,1	16,2
1P.8	35,5	36,2	1284,8	23,2	18,8
1P.9	32,8	32,1	1051,9	16,2	15,4
1P.10	37,1	37,5	1389,8	15,6	11,2
1P.11	41,7	41,0	1710,9	21,0	12,3
1P.14	45,6	45,5	2076,6	21,0	10,1
1P.20	25,6	25,7	658,4	7,9	12,0
1P.22 (1)	38,5	37,0	1424,4	20,4	14,3
1P.22 (2)	30,9	31,7	976,7	16,6	17,0
1P.22 (3)	37,3	37,8	1409,6	21,9	15,5
Ort.					15,6
1P.23	36,8	36,8	1353,5	29,9	22,1
1P.26	34,8	35,2	1224,6	16,2	13,2
1P.28	40,2	40,3	1622,5	37,0	22,8
1P.29	35,6	35,2	1256,0	39,1	31,1
1P.32	31,8	30,9	982,6	14,9	15,1

Çizelge Ek 5c-2. *II. Bölgedeki yığma yapı tuğlaların tek eksenli basınç dayanımı*

Örnek Kodu	a (mm)	b (mm)	A (mm^2)	F (kN)	σ (MPa)
2P.1	33,2	34,0	1128,4	35,7	31,6
2P.2	37,5	37,4	1402,5	20,4	14,5
2P.13	42,8	42,8	1831,8	31,2	17,0
2P.5	39,6	39,1	1548,4	23,2	15,0
2P.8	33,9	33,0	1118,7	22,6	20,2
2P.11	38,0	39,7	1508,6	14,2	9,4
2P.3	40,0	39,8	1592,0	22,4	14,1
2P.4	39,1	40,7	1591,4	20,4	12,8
2P.10	41,0	41,0	1681,0	19,3	11,5
2P.6 (1)	37,7	36,2	1364,7	16,0	11,7
2P.6 (2)	35,0	36,5	1277,5	17,9	14,0
Ort.					12,9
2P.7	31,5	34,5	1086,8	13,2	12,1
2P.12 (1)	44,0	44,0	1936,0	19,3	10,1
2P.12 (2)	41,8	41,0	1713,8	22,7	13,3
Ort.					11,7

Çizelge Ek 5c-3. *III. Bölgedeki yığma yapı tuğlaların tek eksenli basınç dayanımı*

Örnek Kodu	a (mm)	b (mm)	A (mm^2)	F (kN)	σ (MPa)
3P.1	37,5	36,4	1365,0	29,9	21,9
3P.2	45,3	44,3	2006,8	53,3	26,6
3P.3	45,8	44,0	2016,6	56,8	28,2
3P.5	41,7	41,1	1713,9	22,7	13,2
3P.6	50,4	49,1	2476,2	32,1	13,0
3P.7	32,4	31,8	1031,3	17,4	16,9
3P.8	30,8	31,6	973,3	9,6	9,8
3P.10	38,8	37,9	1472,8	32,8	22,3
3P.11	39,5	39,5	1560,3	25,4	16,3
3P.12	45,0	45,6	2052,9	33,5	16,3
3P.14	37,6	38,7	1453,2	24,7	17,0
3P.17	40,0	41,1	1644,8	24,9	15,1
3P.18	41,0	41,0	1681,0	26,8	16,0
3P.19	29,8	30,1	895,5	9,7	10,8
3P.20	40,7	40,6	1652,4	17,9	10,8
3P.22	41,0	40,4	1658,0	37,6	22,7
3P.23	35,0	35,0	1225,0	19,7	16,1
3P.24	35,3	37,1	1307,1	15,2	11,7
3P.25	39,6	40,7	1612,1	23,2	14,4
3P.27	27,8	27,7	772,0	4,4	5,7
3P.30	32,5	32,4	1052,4	17,6	16,7
3P.31	32,1	31,2	1002,4	13,0	13,0

Çizelge Ek 5c-4. *IV. Bölgedeki yığma yapı tuğlaların tek eksenli basınç dayanımı*

Örnek Kodu	a (mm)	b (mm)	A (mm^2)	F (kN)	σ (MPa)
4P.1	42,5	42,5	1806,3	28,1	15,5
4P.2	47,3	48,1	2275,1	17,3	7,6
4P.3	31,4	31,9	1002,3	9,9	9,9
4P.5 (1)	39,5	39,7	1568,2	9,3	5,6
4P.5 (2)	39,4	39,5	1556,3	9,5	6,1
4P.5 (3)	40,1	39,1	1567,9	6,7	4,3
Ort.					5,3
4P.6	42,6	41,4	1763,6	10,2	5,8
4P.7	41,6	42,3	1758,4	25,3	14,4
4P.8	29,0	30,0	871,8	12,0	13,8
4P.9	42,5	42,2	1793,5	22,9	14,4
4P.10	30,4	32,1	973,4	11,2	11,5
4P.11	30,7	33,2	1016,4	8,2	8,0
4P.13	35,7	35,6	1270,9	20,6	16,2
4P.14	33,1	32,8	1084,7	25,4	23,4
4P.15	43,6	44,1	1925,0	17,6	9,1
4P.16	41,8	40,7	1701,3	22,3	13,1
4P.17	49,6	49,6	2457,7	36,3	14,8
4P.18	34,0	34,9	1187,3	13,5	11,3
4P.19	40,3	40,4	1628,1	22,1	13,6
4P.20	42,1	40,5	1705,1	24,4	14,3
4P.22	32,0	31,9	1019,8	8,0	7,9

EK-5d. Nokta yükü dayanım indeksi belirlenmesi deneyinin hesap tabloları

Çizelge EK 5d-1. *Yığma yapı tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	D (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
1P.13	25	35	43	1,65	875	1114,65	33,39	1,48	0,83	1,2	15,6
1P.31	27	35	36	1,29	945	1203,82	34,70	1,07	0,85	0,9	12,2
2P.15	20	23	43	0,162	460	585,987	24,21	0,28	0,72	0,2	4,6
2P.16	22	22	45	0,19	484	616,561	24,83	0,31	0,73	0,2	4,9
2P.17	20	43	46	1,245	860	1095,54	33,10	1,14	0,83	0,9	12,5
2P.18	22	44	45	1,876	968	1233,12	35,12	1,52	0,85	1,3	16,3
2P.19	20	20	45	0,76	400	509,554	22,57	1,49	0,70	1,0	13,6
2P.20	13	42	44	1,01	546	695,541	26,37	1,45	0,75	1,1	14,1
2P.21	20	44	44	1,293	880	1121,02	33,48	1,15	0,83	1,0	12,7
2P.22	17	42	44	0,561	714	909,554	30,16	0,62	0,80	0,5	7,7
2P.24	22	21	45	2,295	462	588,535	24,26	3,90	0,72	2,8	32,5
2P.25	16	25	45	0,139	400	509,554	22,57	0,27	0,70	0,2	4,5
2P.26	21	44	45	1,374	924	1177,07	34,31	1,17	0,84	1,0	13,0
2P.28	18	44	46	1,21	792	1008,92	31,76	1,20	0,82	1,0	12,9
2P.29	22	44	44	2,09	968	1233,12	35,12	1,69	0,85	1,4	17,9
2P.30	19	24	45	3,477	456	580,892	24,10	5,99	0,72	4,3	48,4
2P.31	26	22	46	1,27	572	728,662	26,99	1,74	0,76	1,3	16,5
2P.32	21	23	45	0,187	483	615,287	24,80	0,30	0,73	0,2	4,8
4P.21	32	44	45	1,129	1408	1793,63	42,35	0,63	0,93	0,6	8,7
3P.29	25	44	45	1,294	1100	1401,27	37,43	0,92	0,88	0,8	11,1
2P.23 (1)	22	44	44	1,071	968	1233,12	0,87	35,12	0,85	0,7	10,4
2P.23 (2)	18	44	45	0,508	792	1008,92	31,76	0,50	0,82	0,4	6,8
Ort.											8,6
4P.28 (1)	25	44	45	0,167	1100	1401,27	37,43	0,12	0,88	0,1	3,6
4P.28 (2)	27	44	44	0,318	1188	1513,38	38,90	0,21	0,89	0,2	4,5
Ort.											4,0

Çizelge EK 5d-2. *ZT-1 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Numune İsmi	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.67 (4)	14	44	44	0,485	616	784,7	28,0	0,62	0,77	0,5	7,5
3P.48	17	44	45	0,630	748	952,9	30,9	0,66	0,80	0,5	8,1
3P.49	18	45	45	0,564	810	1031,8	32,1	0,55	0,82	0,4	7,2
4P.37	26	45	45	0,860	1170	1490,4	38,6	0,58	0,89	0,5	7,9
Ort.										0,5	7,7
SD (±)										0,0	0,3

Çizelge EK 5d-3. *ZT-2 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
2P.26	21	44	45	1,374	924	1177,07	1,2	34,31	0,84	1,0	13,0
3P.54	20	43	44	0,411	860	1095,5	33,1	0,38	0,83	0,3	5,8
3P.55	22	44	44	0,480	968	1233,1	35,1	0,39	0,85	0,3	6,0
4P.34	19	45	45	0,590	855	1089,2	33,0	0,54	0,83	0,4	7,3
Ort.										0,5	8,0
SD (±)										0,3	2,9

Çizelge EK 5d-4. *ZT-3 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.42	15	45	45	1,803	675	859,9	29,3	2,10	0,79	1,6	20,0
2P.16	22	22	45	0,19	484	616,6	0,3	24,83	0,73	0,2	4,9
4P.23	20	44	45	0,778	880	1121,0	33,5	0,69	0,83	0,6	8,6
Ort.										0,8	11,2
SD (±)										0,6	6,4

Çizelge EK 5d-5. *ZT-4 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
X 20	21	42	44	1,046	882	1123,6	33,5	0,93	0,84	0,8	10,8
X 37	19	42	44	1,528	798	1016,6	31,9	1,50	0,82	1,2	15,5
X 50	24	39	44	0,857	936	1192,4	34,5	0,72	0,85	0,6	9,0
X 50	20	44	45	1,01	880	1121,0	33,5	0,90	0,83	0,8	10,5
X 55	19	40	51	0,313	760	968,2	31,1	0,32	0,81	0,3	5,3
X 56	21	43	43	0,929	903	1150,3	33,9	0,81	0,84	0,7	9,7
Ort.										0,7	10,1
SD (±)										0,3	3,0

Çizelge EK 5d-6. *ZT-5 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.58-2	23	40	42	1,628	920	1172,0	34,2	1,39	0,84	1,2	14,9
3P.58-3	23	35	41	0,817	805	1025,5	32,0	0,80	0,82	0,7	9,4
Ort.										0,9	12,2
3P.59	25	40	43	1,932	1000	1273,9	35,7	1,52	0,86	1,3	16,3
3P.71	22	43	44	1,333	946	1205,1	1,1	34,71	0,85	0,9	12,5
2P.29	22	44	44	2,09	968	1233,1	1,7	35,12	0,85	1,4	17,9
2P.31	26	22	46	1,27	572	728,7	1,7	26,99	0,76	1,3	16,5
2P.32	21	24	49	1,038	504	642,0	1,6	25,34	0,74	1,2	15,2
4P.39	22	44	45	2,056	968	1233,1	35,1	1,67	0,85	1,4	17,6
4P.26	25	43	45	2,636	1075	1369,4	37,0	1,92	0,87	1,7	20,4
4P.27	28	44	44	2,338	1232	1569,4	39,6	1,49	0,90	1,3	16,8
4P.61	17	45	45	1,447	765	974,5	31,2	1,48	0,81	1,2	15,3
4P.40	21	44	45	1,831	924	1177,1	34,3	1,56	0,84	1,3	16,5
Ort.										1,3	16,1
SD (±)										0,2	2,2

Çizelge EK 5d-7. *ZT-5 yanık grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.66	14	44	44	5,221	616	784,7	28,0	6,65	0,77	5,1	57,1
2P.30	19	24	45	3,477	456	580,9	24,1	5,99	0,72	4,3	48,4
4P.41 (1)	22	43	44	8,686	946	1205,1	34,7	7,21	0,85	6,1	67,6
4P.41 (2)	19	44	44	6,75	836	1065,0	32,6	6,34	0,83	5,2	58,2
Ort.										5,7	62,9
Grubun Ort.										5,0	56,1

Çizelge EK 5d-8. *ZT-6 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.68	19	43	44	1,203	817	1040,8	32,3	1,16	0,82	0,9	12,6
3P.68 (2)	20	44	44	1,71	880	1121,0	33,5	1,53	0,83	1,3	16,0
Ort.										1,1	14,3
3P.57	18	40	47	0,365	720	917,2	30,3	0,40	0,80	0,3	5,9
3P.50	20	43	44	0,337	860	1095,5	33,1	0,31	0,83	0,3	5,2
3P.62	18	43	43	1,447	774	986,0	31,4	1,47	0,81	1,2	15,1
3P.51	27	44	45	0,831	1188	1513,4	38,9	0,55	0,89	0,5	7,7
Grubun Ort.										0,7	9,6

Çizelge EK 5d-9. *ZT-7 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.69	20	43	44	1,399	860	1095,5	33,1	1,28	0,83	1,1	13,8
3P.61 (2)	23	43	44	2,237	989	1259,9	35,5	1,78	0,86	1,5	18,7
3P.61 (1)	25	43	45	1,249	1075	1369,4	37,0	0,91	0,87	0,8	11,0
Ort.										1,2	14,8
4P.42	25	46	46	0,322	1150	1465,0	38,3	0,22	0,89	0,2	4,5
Grubun Ort.										0,8	11,0

Çizelge EK 5d-10. *ZT-8 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
2P.28	18	44	46	1,21	792	1008,92	1,20	31,76	0,82	1,0	12,9
4P.35 (1)	25	44	44	0,487	1100	1401,3	37,4	0,35	0,88	0,3	5,7
4P.35 (2)	28	44	45	0,404	1232	1569,4	39,6	0,26	0,90	0,2	4,9
Ort.										0,3	5,3
4P.34	18	45	45	0,814	810	1031,8	32,1	0,79	0,82	0,6	9,4
4P.38 (1)	18	43	43	0,482	774	986,0	31,4	0,49	0,81	0,4	6,7
4P.38 (2)	18	43	44	0,47	774	986,0	31,4	0,48	0,81	0,4	6,6
Ort.										0,4	6,6
Grubun Ort.										0,6	8,6

Çizelge EK 5d-11. *ZT-9 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.38	21	30	39	1,26	630	802,5	28,3	1,57	0,77	1,2	15,4
3P.33	22	40	43	1,34	880	1121,0	33,5	1,20	0,83	1,0	13,1
4P.33	17	44	44	1,344	748	952,9	30,9	1,41	0,80	1,1	14,6
Grubun Ort.										1,1	14,4

Çizelge EK 5d-12. *ZT-10 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
2P.25	16	25	45	0,139	400	509,554	0,27	22,57	0,70	0,2	4,5

Çizelge EK 5d-13. *ZT-11 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
2P.24	22	21	45	2,295	462	588,535	24,3	3,90	0,72	2,8	32,5
3P.39	20	43	44	2,307	860	1095,5	33,1	2,11	0,83	1,7	21,1
Grubun Ort.										2,3	26,8

Çizelge EK 5d-14. *ZT-12 grubu zemin tuğlalarının nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.46	16	42	43	0,745	672	856,1	29,3	0,87	0,79	0,7	9,8
3P.32	24	43	45	0,595	1032	1314,6	36,3	0,45	0,87	0,4	6,6
Grubun Ort.										0,5	8,2

Çizelge EK 5d-15. *KR-1 grubu kiremitlerin nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
4P.44 (1)	25	44	45	1,64	1100	1401,3	37,4	1,17	0,88	1,0	13,4
4P.44 (2)	24	44	45	1,466	1056	1345,2	36,7	1,09	0,87	0,9	12,6
4P.44 (3)	25	44	48	2,161	1100	1401,3	37,4	1,54	0,88	1,4	16,9
Ort.										1,1	14,3
4P.45 (1)	22	43	44	1,64	946	1205,1	34,7	1,36	0,85	1,2	14,8
4P.45 (2)	22	39	43	1,082	858	1093,0	33,1	0,99	0,83	0,8	11,2
4P.45 (3)	22	43	44	1,621	946	1205,1	34,7	1,35	0,85	1,1	14,6
Ort.										1,0	13,5
4P.46	15	43	44	0,757	645	821,7	28,7	0,92	0,78	0,7	10,1
Grubun Ort.										1,0	12,6

Çizelge EK 5d-16. *KR-2 grubu kiremitlerin nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
3P.37	19	41	45	1,872	779	992,4	31,5	1,89	0,81	1,5	18,8
3P.40	21	38	46	0,688	798	1016,6	31,9	0,68	0,82	0,6	8,4
3P.44	13	38	44	1,19	494	629,3	25,1	1,89	0,73	1,4	17,2
3P.41	16	33	37	1,218	528	672,6	25,9	1,81	0,74	1,3	16,8
3P.35 (1)	17	43	43	1,254	731	931,2	30,5	1,35	0,80	1,1	14,0
3P.35 (2)	19	43	45	1,473	817	1040,8	32,3	1,42	0,82	1,2	14,8
Ort.										1,1	14,4
3P.36	20	44	44	2,775	880	1121,0	33,5	2,48	0,83	2,1	24,5
3P.34	22	45	45	2,605	990	1261,1	35,5	2,07	0,86	1,8	21,3
3P.45	15	43	43	0,585	645	821,7	28,7	0,71	0,78	0,6	8,4
4P.30	19	44	45	1,583	836	1065,0	32,6	1,49	0,83	1,2	15,5
4P.31 (1)	20	44	44	1,065	880	1121,0	33,5	0,95	0,83	0,8	10,9
4P.31 (2)	18	43	45	1,655	774	986,0	31,4	1,68	0,81	1,4	17,0
Ort.										1,1	13,9
4P.47 (1)	19	44	45	2,378	836	1065,0	32,6	2,23	0,83	1,8	22,1
4P.32	22	44	45	2,567	968	1233,1	35,1	2,08	0,85	1,8	21,4
Grubun Ort.										1,4	16,9

Çizelge EK 5c-17. *KR-3 grubu kiremitlerin nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	D (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
4P.48 (1)	27	45	49	3,374	1215	1547,8	39,3	2,18	0,90	2,0	23,3
4P.48 (2)	23	45	48	1,796	1035	1318,5	36,3	1,36	0,87	1,2	15,0
Ort.										1,6	19,2
4P.49	16	44	45	0,903	704	896,8	29,9	1,01	0,79	0,8	11,0
4P.50	23	44	47	1,213	1012	1289,2	35,9	0,94	0,86	0,8	11,1
4P.51 (1)	21	45	45	1,547	945	1203,8	34,7	1,29	0,85	1,1	14,1
4P.51 (2)	20	44	46	1,827	880	1121,0	33,5	1,63	0,83	1,4	17,0
Ort.										1,2	15,5
4P.52 (1)	18	44	45	1,447	792	1008,9	31,8	1,43	0,82	1,2	14,9
4P.52 (2)	21	44	45	2,132	924	1177,1	34,3	1,81	0,84	1,5	18,8
Ort.										1,3	16,8
4P.53	18	45	45	1,184	810	1031,8	32,1	1,15	0,82	0,9	12,5
4P.54	20	45	45	0,349	900	1146,5	33,9	0,30	0,84	0,3	5,2
4P.55	23	44	44	1,686	1012	1289,2	35,9	1,31	0,86	1,1	14,5
4P.56 (1)	22	40	45	1,994	880	1121,0	33,5	1,78	0,83	1,5	18,3
4P.56 (2)	21	40	45	2,221	840	1070,1	32,7	2,08	0,83	1,7	20,7
Ort.										2,0	19,5
4P.58	25	44	45	1,261	1100	1401,3	37,4	0,90	0,88	0,8	10,9
4P.59 (1)	14	43	43	0,912	602	766,9	27,7	1,19	0,77	0,9	12,2
4P.59 (2)	18	44	44	0,38	792	1008,9	31,8	0,38	0,82	0,3	5,7
Ort.										0,6	9,0
Grubun Ort.										1,0	13,2

Çizelge EK 5c-18. *KR-3 yanık grubu kiremitlerin nokta yükü deney indeksinin ve eşdeğer basınç dayanım değerinin hesap tablosu*

Örnek Kodu	d (mm)	W (mm)	2L (mm)	P (kN)	A=WxD (mm^2)	De^2	D_e	I_s	$F=(D_e/50)^{0,45}$	$I_{s(50)}$	UCS (Mpa)
4P.60 (1)	27	43	45	4,959	1161	1479,0	38,5	3,35	0,89	3,0	34,2
4P.60 (2)	25	42	45	3,056	1050	1337,6	36,6	2,28	0,87	2,0	23,6
Ort.										2,5	28,9

EK-5e. Kızdırma Kaybı Deneyinin Hesap Tabloları

Çizelge EK 5e-1. *I. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
1P.1	1	37,9534	38,9522	38,9509	38,9469	38,9457	0,1	0,4	0,1	0,5	0,3
	2	52,2055	53,2068	53,2048	53,1992	53,1922	0,2	0,6	0,7	1,3	1,6
Ortalama							0,2	0,5	0,4	0,9	0,9
1P.2	1	34,2532	35,2584	35,2568	35,2506	35,2355	0,2	0,6	1,5	2,1	3,4
	2	49,3751	50,3759	50,3730	50,3677	50,3558	0,3	0,5	1,2	1,7	2,7
Ortalama							0,2	0,6	1,3	1,9	3,1
1P.3	1	34,9928	35,9929	35,9891	35,9786	35,9535	0,4	1,1	2,5	3,6	5,7
	2	60,0911	61,0952	61,0904	61,0811	61,0553	0,5	0,9	2,6	3,5	5,9
Ortalama							0,4	1,0	2,6	3,5	5,8
1P.4	1	37,9532	38,9506	38,9489	38,9359	38,9193	0,2	1,3	1,7	3,0	3,8
	2	52,4894	53,4917	53,4921	53,4770	53,4563	0,0	1,5	2,1	3,6	4,7
Ortalama							0,1	1,4	1,9	3,3	4,2
1P.5	1	31,6137	32,6119	32,6113	32,6036	32,6015	0,1	0,8	0,2	1,0	0,5
	2	53,8105	54,8144	54,8133	54,8072	54,8023	0,1	0,6	0,5	1,1	1,1
Ortalama							0,1	0,7	0,3	1,0	0,8
1P.6	1	39,7781	40,7795	40,7763	40,7654	40,7318	0,3	1,1	3,4	4,5	7,7
	2	51,8894	52,8920	52,8859	52,8749	52,8421	0,6	1,1	3,3	4,4	7,5
Ortalama							0,5	1,1	3,3	4,4	7,6
1P.7	1	51,5770	52,5726	52,5714	52,5573	52,5372	0,1	1,4	2,0	3,4	4,6
	2	53,2287	54,2297	54,2262	54,2169	54,1933	0,4	0,9	2,4	3,3	5,4
Ortalama							0,2	1,2	2,2	3,4	5,0
1P.8	1	37,8697	38,8670	38,8659	38,8517	38,8261	0,1	1,4	2,6	4,0	5,8
	2	49,6418	50,6432	50,6418	50,6265	50,6006	0,1	1,5	2,6	4,1	5,9
Ortalama							0,1	1,5	2,6	4,1	5,9
1P.9	1	32,0019	33,0083	33,0069	32,9951	32,9691	0,1	1,2	2,6	3,8	5,9
	2	49,5262	50,5287	50,5283	50,5144	50,4856	0,0	1,4	2,9	4,3	6,5
Ortalama							0,1	1,3	2,7	4,0	6,2
1P.10	1	32,1120	33,1155	33,1154	33,1059	33,0950	0,0	0,9	1,1	2,0	2,5
	2	51,0949	52,0986	52,0968	52,0884	52,0743	0,2	0,8	1,4	2,2	3,2
Ortalama							0,1	0,9	1,2	2,1	2,8
1P.11	1	51,5784	52,5771	52,5757	52,5639	52,5476	0,1	1,2	1,6	2,8	3,7
	2	51,3396	52,3406	52,3406	52,3280	52,3111	0,0	1,3	1,7	2,9	3,8
Ortalama							0,1	1,2	1,7	2,9	3,8
1P.12	1	33,9253	34,9260	34,9211	34,9025	34,8620	0,5	1,9	4,1	5,9	9,2
	2	51,2840	52,2861	52,2800	52,2651	52,2211	0,6	1,5	4,4	5,9	10,0
Ortalama							0,6	1,7	4,2	5,9	9,6
1P.13	1	37,7789	38,7757	38,7743	38,7630	38,7426	0,1	1,1	2,0	3,2	4,7
	2	51,5799	52,5817	52,5783	52,5702	52,5441	0,3	0,8	2,6	3,4	5,9
Ortalama							0,2	1,0	2,3	3,3	5,3
1P.14	1	35,1827	36,1845	36,1827	36,1748	36,1586	0,2	0,8	1,6	2,4	3,7
	2	51,3358	52,3369	52,3335	52,3285	52,3110	0,3	0,5	1,8	2,3	4,0
Ortalama							0,3	0,6	1,7	2,3	3,8

Çizelge EK 5e-1. (Devam) *I. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
1P.15	1	33,8390	34,8351	34,8339	34,8221	34,8130	0,1	1,2	0,9	2,1	2,1
	2	47,1399	48,1409	48,1380	48,1270	48,1167	0,3	1,1	1,0	2,1	2,3
Ortalama							0,2	1,1	1,0	2,1	2,2
1P.16	1	35,5693	36,5675	36,5671	36,5581	36,5508	0,0	0,9	0,7	1,6	1,7
	2	49,5267	50,5291	50,5279	50,5177	50,5090	0,1	1,0	0,9	1,9	2,0
Ortalama							0,1	1,0	0,8	1,8	1,8
1P.17	1	35,5706	36,5746	36,5718	36,5632	36,5539	0,3	0,9	0,9	1,8	2,1
	2	54,0515	55,0533	55,0509	55,0398	55,0331	0,2	1,1	0,7	1,8	1,5
Ortalama							0,3	1,0	0,8	1,8	1,8
1P.18	1	37,6312	38,6353	38,6276	38,6046	38,5610	0,8	2,3	4,4	6,7	9,9
	2	51,3543	52,3563	52,3477	52,3236	52,2788	0,9	2,4	4,5	6,9	10,2
Ortalama							0,8	2,4	4,4	6,8	10,1
1P.19	1	34,2522	35,2508	35,2460	35,2297	35,2048	0,5	1,6	2,5	4,1	5,7
	2	51,3407	52,3440	52,3382	52,3204	52,2960	0,6	1,8	2,4	4,2	5,6
Ortalama							0,5	1,7	2,5	4,2	5,6
1P.20	1	38,0072	39,0062	39,0051	38,9974	38,9927	0,1	0,8	0,5	1,2	1,1
	2	51,2882	52,2873	52,2866	52,2781	52,2732	0,1	0,9	0,5	1,3	1,1
Ortalama							0,1	0,8	0,5	1,3	1,1
1P.21	1	38,2270	39,2234	39,2167	39,1963	39,1580	0,7	2,1	3,9	5,9	8,8
	2	54,0505	55,0507	55,0433	55,0232	54,9820	0,7	2,0	4,1	6,2	9,4
Ortalama							0,7	2,0	4,0	6,1	9,1
1P.22	1	34,8390	35,8375	35,8360	35,8238	35,8072	0,2	1,2	1,7	2,9	3,8
	2	51,0929	52,0932	52,0932	52,0790	52,0619	0,0	1,4	1,7	3,1	3,9
Ortalama							0,1	1,3	1,7	3,0	3,8
1P.23	1	32,0571	33,0554	33,0551	33,0494	33,0405	0,0	0,6	0,9	1,5	2,0
	2	58,9952	59,9952	59,9945	59,9886	59,9777	0,1	0,6	1,1	1,7	2,5
Ortalama							0,1	0,6	1,0	1,6	2,3
1P.24	1	38,0066	39,0063	39,0056	38,9927	38,9769	0,1	1,3	1,6	2,9	3,6
	2	51,5774	52,5765	52,5761	52,5634	52,5472	0,0	1,3	1,6	2,9	3,7
Ortalama							0,1	1,3	1,6	2,9	3,6
1P.25	1	34,9180	35,9192	35,9096	35,8834	35,8340	1,0	2,6	5,0	7,6	11,3
	2	50,5983	51,6000	51,5901	51,5642	51,5133	1,0	2,6	5,1	7,7	11,7
Ortalama							1,0	2,6	5,1	7,7	11,5
1P.26	1	33,9244	34,9256	34,9245	34,9113	34,8833	0,1	1,3	2,8	4,1	6,4
	2	47,1400	48,1415	48,1410	48,1264	48,0975	0,0	1,5	2,9	4,3	6,6
Ortalama							0,1	1,4	2,8	4,2	6,5
1P.27	1	35,5987	36,5952	36,5848	36,5611	36,5185	1,1	2,4	4,3	6,7	9,8
	2	51,8855	52,8853	52,8769	52,8487	52,8067	0,8	2,8	4,2	7,1	9,6
Ortalama							1,0	2,6	4,3	6,9	9,7
1P.28	1	34,5445	35,5441	35,5434	35,5373	35,5242	0,1	0,6	1,3	1,9	3,0
	2	51,3504	52,3506	52,3498	52,3439	52,3309	0,1	0,6	1,3	1,9	3,0
Ortalama							0,1	0,6	1,3	1,9	3,0
1P.29	1	39,7769	40,7774	40,7768	40,7662	40,7509	0,1	1,1	1,5	2,6	3,5
	2	51,9311	52,9335	52,9303	52,9220	52,9054	0,3	0,8	1,7	2,5	3,8
Ortalama							0,2	0,9	1,6	2,5	3,6
1P.30	1	34,9921	35,9954	35,9940	35,9829	35,9619	0,1	1,1	2,1	3,2	4,8
	2	43,4647	44,4686	44,4651	44,4560	44,4324	0,3	0,9	2,4	3,3	5,4
Ortalama							0,2	1,0	2,2	3,2	5,1

Çizelge EK 5e-1. (Devam) *I. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
1P.31	1	38,8011	39,8011	39,7933	39,7677	39,7278	0,8	2,6	4,0	6,6	9,1
	2	49,8652	50,8661	50,8575	50,8336	50,7860	0,9	2,4	4,8	7,2	10,9
Ortalama							0,8	2,5	4,4	6,9	10,0
1P.32	1	38,3735	39,3775	39,3763	39,3654	39,3397	0,1	1,1	2,6	3,6	5,8
	2	51,7971	52,7980	52,7948	52,7882	52,7603	0,3	0,7	2,8	3,5	6,4
Ortalama							0,2	0,9	2,7	3,6	6,1

Çizelge EK 5e-2. *II. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
2P.1	1	47,1378	48,1390	48,1362	48,1318	48,1257	0,3	0,4	0,6	1,0	1,4
	2	32,1135	33,1182	33,1166	33,1121	33,1051	0,2	0,4	0,7	1,1	1,6
Ortalama							0,2	0,4	0,7	1,1	1,5
2P.2	1	34,9191	35,9200	35,9169	35,9042	35,8829	0,3	1,3	2,1	3,4	4,9
	2	33,8391	34,8375	34,8350	34,8219	34,8007	0,3	1,3	2,1	3,4	4,8
Ortalama							0,3	1,3	2,1	3,4	4,8
2P.3	1	38,2276	39,2306	39,2261	39,2154	39,1913	0,5	1,1	2,4	3,5	5,5
	2	34,8385	35,8396	35,8375	35,8255	35,8013	0,2	1,2	2,4	3,6	5,5
Ortalama							0,3	1,1	2,4	3,6	5,5
2P.4	1	34,9196	35,9197	35,9153	35,9044	35,8782	0,4	1,1	2,6	3,7	6,0
	2	51,2869	52,2834	52,2810	52,2710	52,2418	0,2	1,0	2,9	3,9	6,7
Ortalama							0,3	1,0	2,8	3,8	6,3
2P.5	1	38,2260	39,2269	39,2242	39,2120	39,1836	0,3	1,2	2,8	4,1	6,5
	2	51,6853	52,6846	52,6804	52,6685	52,6396	0,4	1,2	2,9	4,1	6,6
	3	32,0029	33,0021	32,9976	32,9866	32,9586	0,5	1,1	2,8	3,9	6,4
Ortalama							0,4	1,2	2,9	4,0	6,5
2P.6	1	51,5798	52,5783	52,5741	52,5629	52,5371	0,4	1,1	2,6	3,7	5,9
	2	51,0925	52,0954	52,0901	52,0817	52,0527	0,5	0,8	2,9	3,7	6,6
Ortalama							0,5	1,0	2,7	3,7	6,3
2P.7	1	37,9539	38,9557	38,9524	38,9424	38,9247	0,3	1,0	1,8	2,8	4,0
	2	49,5250	50,5258	50,5226	50,5143	50,4920	0,3	0,8	2,2	3,1	5,1
Ortalama							0,3	0,9	2,0	2,9	4,6
2P.8	1	37,6310	38,6355	38,6315	38,6230	38,5932	0,4	0,8	3,0	3,8	6,8
	2	60,0904	61,0921	61,0870	61,0793	61,0496	0,5	0,8	3,0	3,7	6,8
Ortalama							0,5	0,8	3,0	3,8	6,8
2P.9	1	38,8015	39,8030	39,7963	39,7782	39,7486	0,7	1,8	3,0	4,8	6,8
	2	52,4856	53,4900	53,4815	53,4669	53,4344	0,8	1,5	3,2	4,7	7,4
Ortalama							0,8	1,6	3,1	4,7	7,1
2P.10	1	38,3736	39,3747	39,3710	39,3586	39,3252	0,4	1,2	3,3	4,6	7,6
	2	32,0575	33,0561	33,0513	33,0405	33,0076	0,5	1,1	3,3	4,4	7,5
Ortalama							0,4	1,2	3,3	4,5	7,6
2P.11	1	34,8397	35,8397	35,8364	35,8271	35,8036	0,3	0,9	2,4	3,3	5,4
	2	50,5947	51,5975	51,5934	51,5852	51,5597	0,4	0,8	2,5	3,4	5,8
Ortalama							0,4	0,9	2,5	3,3	5,6
2P.12	1	37,8714	38,8750	38,8717	38,8625	38,8285	0,3	0,9	3,4	4,3	7,7
	2	52,4196	53,4217	53,4155	53,4100	53,3736	0,6	0,5	3,6	4,2	8,3
Ortalama							0,5	0,7	3,5	4,2	8,0
2P.13	1	35,1833	36,1857	36,1768	36,1585	36,1214	0,9	1,8	3,7	5,6	8,5
	2	51,5750	52,5783	52,5682	52,5533	52,5124	1,0	1,5	4,1	5,6	9,4
Ortalama							1,0	1,7	3,9	5,6	8,9
2P.15	1	35,5979	36,5979	36,5969	36,5893	36,5712	0,1	0,8	1,8	2,6	4,1
	2	38,2259	39,2274	39,2256	39,2189	39,1997	0,2	0,7	1,9	2,6	4,4
Ortalama							0,1	0,7	1,9	2,6	4,2

Çizelge EK 5e-2. (Devam) *II. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
2P.16	1	35,5702	36,5732	36,5701	36,5630	36,5512	0,3	0,7	1,2	1,9	2,7
	2	34,5448	39,5451	39,5344	39,4999	39,4317	0,2	0,7	1,4	2,1	3,1
	3	33,8367	34,8360	34,8352	34,8280	34,8134	0,1	0,7	1,5	2,2	3,3
							0,2	0,7	1,3	2,0	3,0
2P.17	1	32,1131	33,1174	33,1147	33,1031	33,0790	0,3	1,2	2,4	3,6	5,5
	2	37,6317	38,6343	38,6311	38,6191	38,5933	0,3	1,2	2,6	3,8	5,9
Ortalama							0,3	1,2	2,5	3,7	5,7
2P.18	1	51,5788	52,5797	52,5760	52,5618	52,5298	0,4	1,4	3,2	4,6	7,3
	2	34,5443	35,5468	35,5432	35,5312	35,4997	0,4	1,2	3,1	4,3	7,2
Ortalama							0,4	1,3	3,2	4,5	7,2
2P.19	1	37,7792	38,7770	38,7724	38,7564	38,7203	0,5	1,6	3,6	5,2	8,3
	2	34,2522	35,2529	35,2475	35,2313	35,1958	0,5	1,6	3,5	5,2	8,1
Ortalama							0,5	1,6	3,6	5,2	8,2
2P.20	1	35,5990	36,5975	36,5955	36,5849	36,5654	0,2	1,1	2,0	3,0	4,4
	2	35,5685	36,5686	36,5669	36,5567	36,5371	0,2	1,0	2,0	3,0	4,5
Ortalama							0,2	1,0	2,0	3,0	4,5
2P.21	1	34,9191	35,9123	35,9095	35,8998	35,8712	0,3	1,0	2,9	3,9	6,6
	2	34,8384	35,8358	35,8330	35,8232	35,7976	0,3	1,0	2,6	3,6	5,8
Ortalama							0,3	1,0	2,7	3,7	6,2
2P.22	1	33,8389	34,8404	34,8366	34,8210	34,7790	0,4	1,6	4,2	5,8	9,6
	2	32,1128	33,1128	33,1077	33,0931	33,0492	0,5	1,5	4,4	5,9	10,0
Ortalama							0,4	1,5	4,3	5,8	9,8
2P.23	1	35,5699	36,5704	36,5698	36,5636	36,5535	0,1	0,6	1,0	1,6	2,3
	2	31,6150	32,6151	32,6129	32,6080	32,5966	0,2	0,5	1,1	1,6	2,6
Ortalama							0,1	0,6	1,1	1,6	2,4
2P.24	1	38,0066	39,0087	39,0053	38,9929	38,9747	0,3	1,2	1,8	3,1	4,1
	2	34,9924	35,9969	35,9926	35,9803	35,9622	0,4	1,2	1,8	3,0	4,1
Ortalama							0,4	1,2	1,8	3,0	4,1
2P.25	1	34,8373	35,8392	35,8362	35,8232	35,7958	0,3	1,3	2,7	4,0	6,2
	2	38,3741	39,3732	39,3701	39,3545	39,3293	0,3	1,6	2,5	4,1	5,8
Ortalama							0,3	1,4	2,6	4,1	6,0
2P.26	1	34,2524	35,2537	35,2479	35,2351	35,2045	0,6	1,3	3,1	4,4	7,0
	2	33,9240	34,9278	34,9234	34,9099	34,8789	0,4	1,3	3,1	4,4	7,0
Ortalama							0,5	1,3	3,1	4,4	7,0
2P.27	1	39,7778	40,7762	40,7721	40,7537	40,7297	0,4	1,9	2,4	4,3	5,5
	2	38,3720	39,3723	39,3684	39,3529	39,3265	0,4	1,5	2,6	4,2	6,0
Ortalama							0,4	1,7	2,5	4,2	5,8
2P.28	1	37,9531	38,9539	38,9518	38,9415	38,9221	0,2	1,0	1,9	3,0	4,4
	2	39,7760	40,7772	40,7762	40,7655	40,7464	0,1	1,1	1,9	3,0	4,3
Ortalama							0,2	1,1	1,9	3,0	4,4
2P.29	1	34,9915	35,9930	35,9917	35,9857	35,9767	0,1	0,6	0,9	1,5	2,0
	2	34,8389	35,8384	35,8374	35,8317	35,8211	0,1	0,6	1,1	1,6	2,4
Ortalama							0,1	0,6	1,0	1,6	2,2

Çizelge EK 5e-2. (Devam) *II. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		**W_d (g)**	**W_0 (g)**	**W_1 (g)**	**W_2 (g)**	**W_3 (g)**	**KK_{105} (%)**	**KK_{550} (%)**	**KK_{1050} (%)**	**KK (%)**	**$CaCO_3$ (%)**
2P.30	1	38,2262	39,2212	39,2201	39,2152	39,2082	0,1	0,5	0,7	1,2	1,6
	2	38,2731	39,2737	39,2733	39,2684	39,2612	0,0	0,5	0,7	1,2	1,6
Ortalama							0,1	0,5	0,7	1,2	1,6
2P.31	1	38,0066	39,0063	39,0044	38,9986	38,9867	0,2	0,6	1,2	1,8	2,7
	2	37,7775	38,7790	38,7779	38,7727	38,7595	0,1	0,5	1,3	1,8	3,0
Ortalama							0,2	0,6	1,3	1,8	2,9
2P.32	1	33,8400	34,8443	34,8423	34,8328	34,8119	0,2	0,9	2,1	3,0	4,7
	2	35,5971	36,5990	36,5973	36,5885	36,5675	0,2	0,9	2,1	3,0	4,8
Ortalama							0,2	0,9	2,1	3,0	4,8

Çizelge EK 5e-3. *III. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
3P.1	1	34,8392	35,8396	35,8387	35,8316	35,8228	0,1	0,7	0,9	1,6	2,0
	2	51,5754	52,5784	52,5751	52,5685	52,5610	0,3	0,7	0,8	1,4	1,7
Ortalama							0,2	0,7	0,8	1,5	1,9
3P.2	1	38,8022	39,8030	39,8012	39,7935	39,7845	0,2	0,8	0,9	1,7	2,0
	2	51,3367	52,3383	52,3365	52,3281	52,3221	0,2	0,8	0,6	1,4	1,4
Ortalama							0,2	0,8	0,8	1,6	1,7
3P.3	1	33,9258	34,9217	34,9207	34,9144	34,9107	0,1	0,6	0,4	1,0	0,8
	2	33,8399	34,8366	34,8352	34,8300	34,8265	0,1	0,5	0,4	0,9	0,8
	3	47,8861	48,8874	48,8867	48,8814	48,8756	0,1	0,5	0,6	1,1	1,3
Ortalama							0,1	0,6	0,4	1,0	1,0
3P.4		33,9244	34,9251	34,9238	34,9184	34,9130	0,1	0,5	0,5	1,1	1,2
3P.5	1	34,9931	35,9983	35,9973	35,9927	35,9820	0,1	0,5	1,1	1,5	2,4
	2	35,5714	36,5723	36,5702	36,5671	36,5565	0,2	0,3	1,1	1,4	2,4
	3	52,4210	53,4237	53,4199	53,4158	53,4077	0,4	0,4	0,8	1,2	1,8
Ortalama							0,2	0,4	1,0	1,4	2,2
3P.6	1	34,8400	35,8452	35,8431	35,8345	35,8105	0,2	0,9	2,4	3,2	5,4
	2	34,9930	35,9925	35,9896	35,9817	35,9582	0,3	0,8	2,4	3,2	5,4
	3	51,3526	52,3552	52,3516	52,3409	52,3199	0,4	1,1	2,1	3,2	4,8
Ortalama							0,3	0,9	2,3	3,2	5,2
3P.7	1	38,2275	39,2283	39,2259	39,2158	39,1947	0,2	1,0	2,1	3,1	4,8
	2	34,2533	35,2559	35,2523	35,2440	35,2248	0,4	0,8	1,9	2,8	4,4
	3	50,5897	51,5890	51,5859	51,5768	51,5537	0,3	0,9	2,3	3,2	5,3
Ortalama							0,3	0,9	2,1	3,0	4,8
3P.8		37,7797	38,7804	38,7772	38,7705	38,7491	0,3	0,7	2,1	2,8	4,9
3P.9	1	32,0571	33,0570	33,0553	33,0442	33,0224	0,2	1,1	2,2	3,3	5,0
	2	51,2878	52,2892	52,2855	52,2741	52,2543	0,4	1,1	2,0	3,1	4,5
Ortalama							0,3	1,1	2,1	3,2	4,7
3P.10	1	38,8001	39,8004	39,7995	39,7912	39,7724	0,1	0,8	1,9	2,7	4,3
	2	39,7787	40,7789	40,7760	40,7669	40,7489	0,3	0,9	1,8	2,7	4,1
	3	47,1384	48,1398	48,1364	48,1270	48,1104	0,3	0,9	1,7	2,6	3,8
Ortalama							0,2	0,9	1,8	2,7	4,1
3P.11	1	32,1132	33,1131	33,1109	33,1007	33,0793	0,2	1,0	2,1	3,2	4,9
	2	49,5272	50,5282	50,5261	50,5133	50,4924	0,2	1,3	2,1	3,4	4,8
	3	31,6146	32,6154	32,6136	32,6042	32,5812	0,2	0,9	2,3	3,2	5,2
Ortalama							0,2	1,1	2,2	3,3	5,0
3P.12	1	34,9188	35,9188	35,9174	35,9087	35,8921	0,1	0,9	1,7	2,5	3,8
	2	53,2299	54,2304	54,2273	54,2184	54,2042	0,3	0,9	1,4	2,3	3,2
Ortalama							0,2	0,9	1,5	2,4	3,5
3P.13	1	37,6315	38,6320	38,6305	38,6225	38,6053	0,2	0,8	1,7	2,5	3,9
	2	50,5962	51,5979	51,5938	51,5853	51,5699	0,4	0,9	1,5	2,4	3,5
Ortalama							0,3	0,8	1,6	2,5	3,7

Çizelge EK 5e-3. (Devam) *III. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
3P.14	1	35,1836	36,1838	36,1820	36,1762	36,1624	0,2	0,6	1,4	2,0	3,1
	2	54,0464	55,0480	55,0471	55,0428	55,0283	0,1	0,4	1,4	1,9	3,3
Ortalama							0,1	0,5	1,4	1,9	3,2
3P.15	1	32,0570	33,0529	33,0522	33,0432	33,0301	0,1	0,9	1,3	2,2	3,0
	2	37,9529	38,9532	38,9526	38,9445	38,9320	0,1	0,8	1,3	2,1	2,8
Ortalama							0,1	0,9	1,3	2,1	2,9
3P.16	1	39,7780	40,7796	40,7789	40,7709	40,7567	0,1	0,8	1,4	2,2	3,2
	2	38,3746	39,3754	39,3730	39,3675	39,3529	0,2	0,6	1,5	2,0	3,3
	3	51,0937	52,0976	52,0943	52,0875	52,0757	0,3	0,7	1,2	1,9	2,7
Ortalama							0,2	0,7	1,4	2,0	3,1
3P.17	1	37,7794	38,7737	38,7705	38,7589	38,7277	0,3	1,2	3,1	4,3	7,2
	2	37,7795	38,7775	38,7734	38,7629	38,7298	0,4	1,1	3,3	4,4	7,6
	3	58,9881	59,9890	59,9854	59,9757	59,9395	0,4	1,0	3,6	4,6	8,2
Ortalama							0,4	1,1	3,4	4,4	7,7
3P.18	1	34,2531	35,2566	35,2536	35,2438	35,2233	0,3	1,0	2,0	3,0	4,7
	2	38,0076	39,0072	39,0032	38,9945	38,9764	0,4	0,9	1,8	2,7	4,1
	3	60,0915	61,0917	61,0857	61,0782	61,0590	0,6	0,8	1,9	2,7	4,4
Ortalama							0,4	0,9	1,9	2,8	4,4
3P.19	1	38,3741	39,3752	39,3673	39,3515	39,3155	0,8	1,6	3,6	5,2	8,2
	2	51,8858	52,8878	52,8749	52,8608	52,8248	1,3	1,4	3,6	5,1	8,3
Ortalama							1,0	1,5	3,6	5,1	8,3
3P.20	1	32,0026	33,0030	32,9952	32,9751	32,9383	0,8	2,0	3,7	5,7	8,4
	2	39,7782	40,7791	40,7688	40,7488	40,7160	1,0	2,0	3,3	5,3	7,5
Ortalama							0,9	2,0	3,5	5,5	8,0
3P.21	1	38,0068	39,0078	39,0060	38,9949	38,9764	0,2	1,1	1,9	3,0	4,2
	2	33,9232	34,9232	34,9199	34,9081	34,8934	0,3	1,2	1,5	2,7	3,4
Ortalama							0,3	1,1	1,7	2,8	3,8
3P.22		39,7790	40,7790	40,7755	40,7641	40,7386	0,4	1,1	2,6	3,7	5,8
3P.23	1	38,3746	39,3789	39,3769	39,3668	39,3512	0,2	1,0	1,6	2,6	3,5
	2	33,9259	34,9262	34,9231	34,9147	34,8991	0,3	0,8	1,6	2,4	3,6
	3	34,9906	35,9921	35,9897	35,9796	35,9661	0,2	1,0	1,4	2,4	3,1
Ortalama							0,3	1,0	1,5	2,4	3,4
3P.24	1	31,6158	32,6139	32,6081	32,5928	32,5462	0,6	1,5	4,7	6,2	10,7
	2	35,5994	36,6007	36,5929	36,5800	36,5328	0,8	1,3	4,8	6,0	10,8
	3	49,1948	50,1963	50,1874	50,1719	50,1227	0,9	1,6	5,0	6,5	11,3
Ortalama							0,8	1,5	4,8	6,3	10,9
3P.25		34,9198	35,9193	35,9191	35,9115	35,9036	0,0	0,8	0,8	1,6	1,8
3P.26	1	38,2268	39,2266	39,2252	39,2122	39,2060	0,1	1,3	0,6	1,9	1,4
	2	34,5455	35,5474	35,5454	35,5345	35,5262	0,2	1,1	0,8	1,9	1,9
Ortalama							0,2	1,2	0,7	1,9	1,6

Çizelge EK 5e-3. (Devam) *III. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
3P.27	1	31,6147	32,6146	32,6135	32,6055	32,5879	0,1	0,8	1,8	2,6	4,0
	2	34,9916	35,9942	35,9928	35,9862	35,9664	0,1	0,7	2,0	2,6	4,5
Ortalama							0,1	0,7	1,9	2,6	4,2
3P.28		35,5975	36,5974	36,5961	36,5860	36,5609	0,1	1,0	2,5	3,5	5,7
3P.29		33,9246	34,9254	34,9188	34,8933	34,8084	0,7	2,6	8,5	11,1	19,4
3P.30		34,2522	35,2523	35,2488	35,2377	35,2104	0,4	1,1	2,7	3,9	6,2
3P.31	1	37,8709	38,8713	38,8698	38,8617	38,8456	0,2	0,8	1,6	2,4	3,7
	2	37,9518	38,9524	38,9502	38,9408	38,9274	0,2	0,9	1,3	2,3	3,1
Ortalama							0,2	0,9	1,5	2,4	3,4
3P.32		32,1121	33,1145	33,1073	33,0821	33,0318	0,7	2,5	5,1	7,6	11,5
3P.33		38,3714	39,3731	39,3721	39,3638	39,3508	0,1	0,8	1,3	2,1	3,0
3P.34		34,9919	35,9931	35,9913	35,9835	35,9758	0,2	0,8	0,8	1,6	1,8
3P.35		39,7767	40,7791	40,7767	40,7668	40,7540	0,2	1,0	1,3	2,3	2,9
3P.36		37,6299	38,6288	38,6272	38,6151	38,6065	0,2	1,2	0,9	2,1	2,0
3P.37		38,2747	39,2742	39,2716	39,2582	39,2416	0,3	1,3	1,7	3,0	3,8
3P.38		38,2241	39,2239	39,2226	39,2152	39,2088	0,1	0,7	0,6	1,4	1,5
3P.39		34,2518	35,2531	35,2505	35,2393	35,2202	0,3	1,1	1,9	3,0	4,3
3P.40		33,8393	34,8396	34,8378	34,8268	34,8091	0,2	1,1	1,8	3,1	4,0
3P.41		34,8375	35,8369	35,8361	35,8271	35,8210	0,1	0,9	0,6	1,5	1,4
3P.42		38,0063	39,0092	39,0025	38,9874	38,9601	0,7	1,5	2,7	4,3	6,2
3P.44		38,0067	39,0080	39,0058	38,9953	38,9887	0,2	1,1	0,7	1,7	1,5
3P.45		35,5982	36,5992	36,5980	36,5883	36,5799	0,1	1,0	0,8	1,8	1,9
3P.46		35,5694	36,5670	36,5621	36,5429	36,5067	0,5	1,9	3,6	5,6	8,3
3P.47		35,5973	36,5991	36,5970	36,5888	36,5659	0,2	0,8	2,3	3,1	5,2
3P.48		38,2752	39,2761	39,2734	39,2625	39,2376	0,3	1,1	2,5	3,6	5,7
3P.49		34,5452	35,5449	35,5438	35,5329	35,5117	0,1	1,1	2,1	3,2	4,8
3P.50		37,9525	38,9543	38,9529	38,9455	38,9293	0,1	0,7	1,6	2,4	3,7
3P.51		39,7770	40,7798	40,7798	40,7721	40,7588	0,0	0,8	1,3	2,1	3,0
3P.52		37,8693	38,8662	38,8650	38,8576	38,8466	0,1	0,7	1,1	1,8	2,5
3P.53		34,8368	35,8387	35,8324	35,8277	35,8088	0,6	0,5	1,9	2,4	4,3
3P.54		33,8385	34,8393	34,8361	34,8218	34,7947	0,3	1,4	2,7	4,1	6,2
3P.55		35,5696	36,5689	36,5649	36,5539	36,5300	0,4	1,1	2,4	3,5	5,5
3P.56		37,7786	38,7786	38,7756	38,7639	38,7343	0,3	1,2	3,0	4,1	6,7
3P.57		32,0562	33,0569	33,0558	33,0466	33,0233	0,1	0,9	2,3	3,3	5,3
3P.58		38,7989	39,7973	39,7942	39,7876	39,7794	0,3	0,7	0,8	1,5	1,9
3P.59		38,3730	39,3758	39,3748	39,3687	39,3600	0,1	0,6	0,9	1,5	2,0
3P.60		35,1813	36,1867	36,1859	36,1771	36,1588	0,1	0,9	1,8	2,7	4,1
3P.61		37,7779	38,7796	38,7781	38,7724	38,7569	0,1	0,6	1,5	2,1	3,5
3P.62		33,8369	34,8369	34,8358	34,8292	34,8181	0,1	0,7	1,1	1,8	2,5
3P.63		32,0014	33,0042	33,0031	32,9938	32,9758	0,1	0,9	1,8	2,7	4,1
3P.64		37,9530	38,9530	38,9498	38,9398	38,9225	0,3	1,0	1,7	2,7	3,9
3P.65		34,9177	35,9179	35,9173	35,9093	35,8968	0,1	0,8	1,3	2,1	2,8

Çizelge EK 5e-3. (Devam) *III. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
3P.66		39,7768	40,7750	40,7745	40,7688	40,7619	0,1	0,6	0,7	1,3	1,6
3P.67		34,5450	35,5463	35,5452	35,5384	35,5239	0,1	0,7	1,4	2,1	3,3
3P.68		34,9923	35,9932	35,9901	35,9792	35,9536	0,3	1,1	2,6	3,7	5,8
3P.69		31,3124	32,6160	32,6150	32,6083	32,5940	0,1	0,5	1,1	1,6	2,5
3P.70		35,5693	36,5691	36,5673	36,5566	36,5405	0,2	1,1	1,6	2,7	3,7
3P.71	1	34,5456	35,5449	35,5429	35,5364	35,5245	0,2	0,7	1,2	1,8	2,7
	2	53,2309	54,2330	54,2328	54,2250	54,2130	0,0	0,8	1,2	2,0	2,7
Ortalama							0,1	0,7	1,2	1,9	2,7

Çizelge EK 5e-4. *IV. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
4P.1	1	34,8383	35,839	35,839	35,8326	35,8257	0,0	0,6	0,7	1,3	1,6
	2	50,5949	51,5954	51,5946	51,5871	51,5803	0,1	0,8	0,7	1,4	1,5
Ortalama							0,0	0,7	0,7	1,4	1,6
4P.2	1	32,0034	33,0047	33,0037	32,9911	32,9733	0,1	1,3	1,8	3,0	4,0
	2	52,42	53,4222	53,4208	53,4102	53,3906	0,1	1,1	2,0	3,0	4,5
Ortalama							0,1	1,2	1,9	3,0	4,2
2P.3	1	37,9534	38,9506	38,9417	38,9182	38,8637	0,9	2,4	5,5	7,9	12,5
	2	47,1403	48,1434	48,1321	48,1058	48,0565	1,1	2,7	5,0	7,6	11,3
	3	34,5443	35,5456	35,5308	35,5022	35,4539	1,5	2,9	4,9	7,8	11,1
Ortalama							1,2	2,6	5,1	7,8	11,7
4P.4	1	38,2275	39,2277	39,2262	39,2167	39,2093	0,2	1,0	0,7	1,7	1,7
	2	60,0901	61,0912	61,0908	61,0821	61,0733	0,0	0,9	0,9	1,7	2,0
Ortalama							0,1	0,9	0,8	1,7	1,8
4P.5	1	37,7781	38,7731	38,7731	38,7653	38,7525	0,0	0,8	1,3	2,1	2,9
	2	53,2279	54,2209	54,2201	54,2158	54,2007	0,1	0,4	1,5	2,0	3,5
Ortalama							0,0	0,6	1,4	2,0	3,2
4P.6	1	32,1132	33,1123	33,112	33,1037	33,0914	0,0	0,8	1,2	2,1	2,8
	2	51,287	52,2881	52,2869	52,2789	52,2652	0,1	0,8	1,4	2,2	3,1
Ortalama							0,1	0,8	1,3	2,1	3,0
4P.7	1	37,632	38,6375	38,6375	38,6291	38,6146	0,0	0,8	1,4	2,3	3,3
	2	51,3378	52,3366	52,3335	52,3261	52,3127	0,3	0,7	1,3	2,1	3,1
Ortalama							0,2	0,8	1,4	2,2	3,2
4P.8	1	35,5714	36,5762	36,5751	36,5627	36,5516	0,1	1,2	1,1	2,3	2,5
	2	51,3508	52,3515	52,3507	52,3392	52,3265	0,1	1,2	1,3	2,4	2,9
Ortalama							0,1	1,2	1,2	2,4	2,7
4P.9	1	38,8015	39,8052	39,8039	39,7915	39,7768	0,1	1,2	1,5	2,7	3,3
	2	47,1384	48,1397	48,1371	48,1251	48,1093	0,3	1,2	1,6	2,8	3,6
Ortalama							0,2	1,2	1,5	2,7	3,5
4P.10	1	31,6149	32,6123	32,6119	32,5993	32,5775	0,0	1,3	2,2	3,5	5,0
	2	51,352	52,356	52,3521	52,3435	52,3204	0,4	0,9	2,3	3,2	5,2
Ortalama							0,2	1,1	2,2	3,3	5,1
4P.11	1	35,1839	36,1898	36,1885	36,1805	36,1649	0,1	0,8	1,6	2,3	3,5
	2	51,8845	52,8893	52,8872	52,8806	52,8626	0,2	0,7	1,8	2,5	4,1
Ortalama							0,2	0,7	1,7	2,4	3,8
4P.12		33,8385	34,8382	34,8231	34,7832	34,7202	1,53	4,05	6,40	10,45	14,5
4P.13	1	37,8718	38,8759	38,8743	38,8558	38,8477	0,2	1,8	0,8	2,7	1,8
	2	34,2512	35,2512	35,2477	35,2316	35,2257	0,4	1,6	0,6	2,2	1,3
	3	50,5954	51,5989	51,596	51,5787	51,5725	0,3	1,7	0,6	2,3	1,4
Ortalama							0,3	1,7	0,7	2,4	1,5
4P.14	1	33,925	34,922	34,9215	34,9113	34,8767	0,1	1,0	3,5	4,5	7,9
	2	51,5754	52,5772	52,574	52,5633	52,529	0,3	1,1	3,4	4,5	7,8
Ortalama							0,2	1,0	3,5	4,5	7,8

Çizelge EK 5e-4. (Devam) *IV. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
4P.15	1	39,7778	40,7788	40,7777	40,7679	40,7429	0,1	1,0	2,5	3,5	5,7
	2	51,0893	52,0932	52,0932	52,0825	52,0603	0,0	1,1	3,3	4,3	5,0
	3	51,6859	52,688	52,6852	52,6751	52,6502	0,3	1,0	2,5	3,5	5,7
Ortalama							0,1	1,0	2,8	3,8	5,5
4P.16	1	51,3318	52,3367	52,3354	52,3279	52,3045	0,1	0,7	2,3	3,1	5,3
	2	51,3498	52,3534	52,3515	52,3407	52,3206	0,2	1,1	3,1	4,2	4,6
Ortalama							0,2	0,9	2,7	3,6	4,9
4P.17	1	33,8397	34,8366	34,8362	34,8242	34,8033	0,0	1,2	2,1	3,3	4,8
	2	49,5251	50,5289	50,527	50,515	50,4928	0,2	1,2	2,2	3,4	5,0
Ortalama							0,1	1,2	2,2	3,4	4,9
4P.18	1	34,9193	35,9136	35,9128	35,9021	35,8876	0,1	1,1	1,5	2,5	3,3
	2	52,4883	53,4923	53,4874	53,4793	53,4637	0,5	0,8	1,6	2,4	3,5
	3	52,4854	53,4882	53,4882	53,477	53,4594	0,0	1,1	1,8	2,9	4,0
Ortalama							0,2	1,0	1,6	2,6	3,6
4P.19	1	38,7743	39,7703	39,7701	39,7596	39,7418	0,0	1,1	1,8	2,8	4,1
	2	51,0928	52,098	52,0967	52,0885	52,0753	0,1	0,8	1,3	2,1	3,0
Ortalama							0,1	0,9	1,6	2,5	3,5
4P.20	1	34,2528	35,2583	35,2576	35,2447	35,2228	0,1	1,3	2,2	3,5	5,0
	2	35,5685	36,5693	36,5662	36,5579	36,5343	0,3	0,8	2,4	3,2	5,4
Ortalama							0,2	1,1	2,3	3,3	5,2
4P.21		60,0927	61,0928	61,0902	61,0803	61,0638	0,3	1,0	1,7	2,6	3,8
4P.22	1	38,0074	39,0099	39,0062	38,989	38,95	0,4	1,7	3,9	5,6	8,9
	2	49,5257	50,5261	50,5198	50,5007	50,4635	0,6	1,9	3,7	5,7	8,5
Ortalama							0,5	1,8	3,8	5,6	8,7
4P.23		50,5965	51,5967	51,591	51,5739	51,5426	0,6	1,7	3,1	4,9	7,2
4P.24		31,6155	32,6175	32,6127	32,5849	32,5526	0,5	2,8	3,2	6,0	7,4
4P.25	1	37,7789	38,7785	38,7764	38,7638	38,735	0,21	1,26	2,89	4,15	6,6
	2	51,3525	52,355	52,3529	52,3427	52,3199	0,2	1,0	2,3	3,30	5,2
	3	50,5961	51,5984	51,598	51,5847	51,5628	0,0	1,3	2,2	3,51	5,0
Ortalama							0,2	1,2	2,5	3,7	5,6
4P.26		31,6136	32,6172	32,6164	32,6079	32,597	0,08	0,8	1,1	1,9	2,5
4P.27	1	53,2313	54,2361	54,234	54,2239	54,2144	0,2	1,0	0,9	2,0	2,2
	2	54,051	55,0514	55,0505	55,039	55,029	0,1	1,2	1,0	2,2	2,3
Ortalama							0,1	1,1	1,0	2,1	2,2
4P.28		33,9253	34,9266	34,9146	34,8917	34,8156	1,21	2,3	7,7	10,0	17,5
4P.29		38,3717	39,3715	39,3554	39,3421	39,3118	1,64	1,4	3,1	6,1	7,0
4P.30		37,6312	38,6319	38,6298	38,619	38,6144	0,21	1,1	0,5	1,5	1,0
4P.31		37,9521	38,9528	38,9502	38,9407	38,9332	0,26	1,0	0,8	1,7	1,7
4P.32	1	51,0933	52,0973	52,0954	52,0846	52,0757	0,2	1,1	0,9	2,0	2,0
	2	51,3528	52,3529	52,3509	52,3391	52,3285	0,2	1,2	1,1	2,2	2,4
Ortalama							0,2	1,1	1,0	2,1	2,2
4P.33		35,1828	36,1818	36,1797	36,1734	36,164	0,21	0,6	0,9	1,6	2,1
4P.34		31,6138	32,6134	32,6073	32,5928	32,5601	0,61	1,5	3,3	4,8	7,5

Çizelge EK 5e-4. (Devam) *IV. bölgeye ait pişmiş kil ürünlerin kızdırma kaybı deneyi hesap tablosu*

Örnek kodu		W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
4P.35		37,9529	38,9546	38,9512	38,9333	38,907	0,34	1,8	2,6	4,4	6,0
4P.36	1	51,5777	52,5773	52,5749	52,5639	52,5422	0,2	1,1	2,2	3,3	4,9
	2	51,6845	52,6848	52,6842	52,6719	52,6483	0,1	1,2	2,4	3,6	5,4
Ortalama							0,2	1,2	2,3	3,4	5,2
4P.37		38,0071	39,0082	39,0067	38,9968	38,977	0,15	1,0	2,0	3,0	4,5
4P.38		32,1126	33,1143	33,1125	33,1029	33,0792	0,18	1,0	2,4	3,3	5,4
4P.39	1	51,8847	52,8864	52,8851	52,874	52,8646	0,1	1,1	0,9	2,0	2,1
	2	49,379	50,3797	50,3782	50,3661	50,3551	0,2	1,2	1,1	2,3	2,5
Ortalama							0,1	1,2	1,0	2,2	2,3
4P.40		38,2738	39,2768	39,2747	39,2666	39,2594	0,21	0,8	0,7	1,5	1,6
4P.41		32,0023	33,0039	33,0023	32,9953	32,9887	0,16	0,7	0,7	1,4	1,5
4P.42		34,9919	35,9943	35,9941	35,9864	35,9718	0,02	0,8	1,5	2,2	3,3
4P.43		32,057	33,0573	33,0554	33,044	33,0231	0,19	1,1	2,1	3,2	4,8
4P.44	1	33,8392	34,8396	34,8384	34,8314	34,8191	0,12	0,7	1,2	1,9	2,8
	2	35,5966	36,5966	36,595	36,5893	36,5742	0,16	0,6	1,5	2,1	3,4
Ortalama							0,14	0,6	1,4	2,0	3,1
4P.45		34,8392	35,837	35,8357	35,8306	35,8228	0,13	0,5	0,8	1,3	1,8
4P.46		38,2264	39,2257	39,2248	39,2186	39,2159	0,09	0,6	0,3	0,9	0,6
4P.47		34,2524	35,2532	35,2517	35,2424	35,2253	0,15	0,9	1,7	2,6	3,9
4P.48	1	51,288	52,2885	52,281	52,2527	52,2205	0,8	2,8	3,2	6,1	7,4
	2	53,8108	54,8114	54,8032	54,7728	54,7393	0,8	3,1	3,4	6,4	7,7
Ortalama							0,8	3,0	3,3	6,3	7,5
4P.49		38,2748	39,274	39,2694	39,2485	39,221	0,46	2,1	2,8	4,9	6,3
4P.50		34,9191	35,918	35,9098	35,8905	35,8532	0,83	1,9	3,8	5,7	8,6
4P.51		34,5455	35,5423	35,5355	35,5131	35,4702	0,69	2,3	4,3	6,6	9,8
4P.52		38,2262	39,2271	39,2201	39,202	39,1682	0,70	1,8	3,4	5,2	7,7
4P.53		37,7779	38,7792	38,7728	38,7552	38,7181	0,64	1,8	3,7	5,5	8,5
4P.54		37,8708	38,873	38,8688	38,8514	38,8261	0,42	1,7	2,5	4,3	5,8
4P.55		38,374	39,3753	39,3695	39,3508	39,3131	0,58	1,9	3,8	5,7	8,6
4P.56		37,7789	38,781	38,7796	38,7648	38,7456	0,14	1,5	1,9	3,4	4,4
4P.57		33,8374	34,8368	34,8335	34,8213	34,8045	0,33	1,2	1,7	2,9	3,8
4P.58	1	51,3397	52,3404	52,3356	52,3171	52,2949	0,5	1,9	2,2	4,1	5,1
	2	52,4205	53,4216	53,4187	53,4	53,374	0,3	1,9	2,6	4,5	5,9
Ortalama							0,4	1,9	2,4	4,3	5,5
4P.59		34,8371	35,8377	35,8341	35,8214	35,7846	0,36	1,3	3,7	5,0	8,4
4P.60		39,7768	40,7778	40,7768	40,7668	40,7615	0,10	1,0	0,5	1,5	1,2
4P.61		38,8013	39,8022	39,8009	39,7932	39,7822	0,13	0,8	1,1	1,9	2,5

EK-5f. Puzolanik Aktivite Deneyinin Hesap Tabloları

Çizelge EK 5f-1. *I. ve II. Bölgelere ait tuğlaların elektiksel iletkenlik ölçümleri*

Örnek kodu	**EC_1 (µS/cm)**	**EC_2 (µS/cm)**	**∆EC (µS/cm)**
1P.1	9,04	8,79	0,25
1P.2	8,07	7,73	0,34
1P.3	7,94	7,33	0,61
1P.4	9,09	8,65	0,44
1P.5	8,11	7,81	0,30
1P.6	7,96	7,54	0,42
1P.7	7,95	7,67	0,28
1P.8	9,09	8,58	0,51
1P.9	9,09	8,63	0,46
1P.10	7,92	7,62	0,30
1P.11	9,09	8,77	0,32
1P.12	9,04	8,46	0,58
1P.13	7,9	7,29	0,61
1P.14	8,01	7,69	0,32
1P.15	7,89	7,62	0,27
1P.16	8,07	7,83	0,24
1P.17	8,06	7,7	0,36
1P.18	8,03	7,21	0,82
1P.19	7,94	7,27	0,67
1P.20	9,10	8,76	0,34
1P.21	9,04	8,38	0,66
1P.22	9,06	8,68	0,38
1P.23	9,09	8,79	0,30
1P.24	9,08	8,61	0,47
1P.25	7,96	6,84	1,12
1P.26	8,68	8,22	0,46
1P.27	9,08	8,48	0,60
1P.28	8,11	7,75	0,36
1P.29	8,11	7,87	0,24
1P.30	8,93	8,72	0,21
1P.31	8,08	7,37	0,71
1P.32	8,08	7,64	0,44

Örnek kodu	**EC_1 (µS/cm)**	**EC_2 (µS/cm)**	**∆EC (µS/cm)**
2P.1	8,62	8,22	0,40
2P.2	8,86	8,19	0,67
2P.3	8,77	8,26	0,51
2P.4	8,62	8,09	0,53
2P.5	8,61	8,02	0,59
2P.6	8,62	7,96	0,66
2P.7	8,58	8,23	0,35
2P.8	8,57	8,1	0,47
2P.9	8,61	7,71	0,90
2P.10	8,75	8,27	0,48
2P.11	8,63	8,14	0,49
2P.12	8,59	7,91	0,68
2P.13	8,52	7,35	1,17
2P.15	8,86	8,58	0,28
2P.16	8,95	8,54	0,41
2P.17	8,82	7,99	0,83
2P.18	8,94	8,08	0,86
2P.19	8,99	8,3	0,69
2P.20	9,09	8,67	0,42
2P.21	8,85	8,21	0,64
2P.22	8,82	8,01	0,81
2P.23	8,82	8,65	0,17
2P.24	8,98	8,37	0,61
2P.25	8,99	8,49	0,50
2P.26	8,94	8,33	0,61
2P.27	8,96	8,27	0,69
2P.28	8,95	8,54	0,41
2P.29	8,95	8,71	0,24
2P.30	8,99	8,69	0,30
2P.31	8,95	8,71	0,24
2P.32	8,95	8,67	0,28

Çizelge EK 5f-2. *III. Bölgeye ait tuğlaların elektiksel iletkenlik ölçümleri*

Örnek kodu	EC_1 (µS/cm)	EC_2 (µS/cm)	ΔEC (µS/cm)
3P.1	8,50	8,08	0,42
3P.2	8,62	8,21	0,41
3P.3	8,62	8,30	0,32
3P.4	8,78	8,62	0,16
3P.5	8,43	7,78	0,65
3P.6	8,59	8,04	0,55
3P.7	8,61	8,10	0,51
3P.8	8,69	7,87	0,82
3P.9	8,47	8,12	0,35
3P.10	8,54	8,14	0,40
3P.11	8,60	8,05	0,55
3P.12	8,45	8,08	0,37
3P.13	8,45	8,06	0,39
3P.14	8,62	8,29	0,33
3P.15	8,78	8,44	0,34
3P.16	8,45	8,00	0,45
3P.17	8,61	7,98	0,63
3P.18	8,48	7,75	0,73
3P.19	8,59	7,79	0,80
3P.20	9,13	8,31	0,82
3P.21	9,00	8,53	0,47
3P.22	8,70	8,10	0,60
3P.23	9,08	8,72	0,36
3P.24	8,50	7,62	0,88
3P.25	8,81	8,59	0,22
3P.26	8,87	8,56	0,31
3P.27	8,84	8,45	0,39
3P.28	9,04	8,32	0,72
3P.29	8,99	8,38	0,61
3P.30	9,05	8,53	0,52
3P.31	8,85	8,46	0,39
3P.32	9,00	8,40	0,60
3P.33	9,00	8,73	0,27
3P.34	9,05	8,73	0,32
3P.35	9,02	8,76	0,26

Örnek kodu	EC_1 (µS/cm)	EC_2 (µS/cm)	ΔEC (µS/cm)
3P.36	9,01	8,71	0,30
3P.37	9,12	8,82	0,30
3P.38	9,05	8,69	0,36
3P.39	8,65	8,32	0,33
3P.40	9,16	8,76	0,40
3P.41	9,19	8,76	0,43
3P.42	8,80	8,16	0,64
3P.44	9,07	8,78	0,29
3P.45	8,83	8,52	0,31
3P.46	8,87	8,36	0,51
3P.47	8,78	8,51	0,27
3P.48	8,32	8,10	0,22
3P.49	8,82	8,33	0,49
3P.50	8,69	8,33	0,36
3P.51	8,76	8,53	0,23
3P.52	9,05	8,73	0,32
3P.53	9,02	8,68	0,34
3P.54	9,01	8,43	0,58
3P.55	9,23	8,70	0,53
3P.56	9,00	8,69	0,31
3P.57	9,02	8,66	0,36
3P.58	9,03	8,75	0,28
3P.59	9,02	8,79	0,23
3P.60	9,07	8,60	0,47
3P.61	9,02	8,67	0,35
3P.62	9,01	8,81	0,20
3P.63	9,05	8,74	0,31
3P.64	8,99	8,70	0,29
3P.65	9,06	8,67	0,39
3P.66	8,72	8,54	0,18
3P.67	9,03	8,73	0,30
3P.68	8,76	8,19	0,57
3P.69	9,11	8,71	0,40
3P.70	8,89	8,61	0,28
3P.71	8,98	8,73	0,25

Çizelge EK 5f-3. *IV. Bölgeye ait tuğlaların elektiksel iletkenlik ölçümleri*

Örnek kodu	EC_1 (µS/cm)	EC_2 (µS/cm)	ΔEC (µS/cm)
4P.1	9,07	8,91	0,16
4P.2	9,09	8,97	0,12
4P.3	8,85	8,39	0,46
4P.4	9,01	8,7	0,31
4P.5	8,85	8,59	0,26
4P.6	9,11	8,83	0,28
4P.7	8,84	8,59	0,25
4P.8	9,06	8,76	0,3
4P.9	9,11	8,76	0,35
4P.10	9,06	8,78	0,28
4P.11	9,05	8,79	0,26
4P.12	8,87	8,00	0,87
4P.13	8,84	8,4	0,44
4P.14	9,06	8,8	0,26
4P.15	8,84	8,56	0,28
4P.16	8,84	8,37	0,47
4P.17	8,85	8,59	0,26
4P.18	9,05	8,79	0,26
4P.19	8,81	8,49	0,32
4P.20	8,86	8,54	0,32
4P.21	8,89	8,65	0,24
4P.22	8,99	8,53	0,46
4P.23	8,78	7,75	1,03
4P.24	8,86	8,31	0,55
4P.25	8,85	8,45	0,40
4P.26	8,9	8,73	0,17
4P.27	8,74	8,65	0,09
4P.28	8,85	8,44	0,41
4P.29	9,07	8,04	1,03
4P.30	9,02	8,67	0,35

Örnek kodu	EC_1 (µS/cm)	EC_2 (µS/cm)	ΔEC (µS/cm)
4P.31	8,97	8,67	0,3
4P.32	8,95	8,86	0,09
4P.33	9,05	8,86	0,19
4P.34	9,04	8,44	0,6
4P.35	8,92	8,54	0,38
4P.37	8,84	8,60	0,24
4P.38	9,02	8,71	0,31
4P.39	8,48	7,74	0,74
4P.40	8,94	8,67	0,27
4P.41	8,99	8,73	0,26
4P.42	8,91	8,80	0,11
4P.43	9,02	8,66	0,36
4P.44	8,7	8,57	0,13
4P.45	8,92	8,76	0,16
4P.46	9,05	8,88	0,17
4P.47	8,96	8,65	0,31
4P.48	9,06	8,65	0,41
4P.49	8,83	8,39	0,44
4P.50	9,04	8,16	0,88
4P.51	8,95	8,38	0,57
4P.52	8,96	8,2	0,76
4P.53	8,97	8,16	0,81
4P.54	8,96	8,49	0,47
4P.55	8,75	8,17	0,58
4P.56	8,79	8,48	0,31
4P.57	9,05	8,39	0,66
4P.58	8,82	8,41	0,41
4P.59	8,89	8,46	0,43
4P.60	8,88	8,72	0,16
4P.61	9,11	8,77	0,34

EK-6. Harçların Deneysel Sonuçları

EK-6a. Fiziksel Analiz Sonuçları

Çizelge EK 6a-1. *H-1 grubu harcın fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
1H-10	10,8	21,8	2,02	2,74	26,4	73,6

Çizelge EK 6a-2. *H-2 grubu harçların fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
1H-2	13,6	25,2	1,85	2,59	28,6	71,4
1H-6	12,1	23,0	1,91	2,56	25,6	74,4
Ort.	12,8	24,1	1,88	2,58	27,1	72,9
SD (±)	0,8	1,1	0,0	0,0	1,5	1,5

Çizelge EK 6a-3. *H-3 grubu harçların fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
1H-1	14,7	24,5	1,67	2,55	34,64	65,4
1H-4	15,2	26,1	1,71	2,59	33,87	66,1
1H-5	16,0	28,8	1,80	2,63	31,71	68,3
1H-7	19,3	31,5	1,63	2,64	38,23	61,8
1H-8	19,0	31,6	1,66	2,64	37,05	62,9
Ort.	16,9	28,5	1,69	2,61	35,1	64,9
SD (±)	1,9	2,9	0,06	0,04	2,3	2,3

Çizelge EK 6a-4. *H-4 grubu harçların fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	**A_b (%)**	**p_0 (%)**	**ρ_b (g/cm^3)**	**ρ_r (g/cm^3)**	**p (%)**	**c (%)**
1H-3	20,5	31,9	1,56	2,65	41,22	58,8
1H-9	23,9	36,6	1,53	2,65	42,07	57,9
Ort.	22,2	34,2	1,55	2,65	41,6	58,4
SD (±)	1,7	2,3	0,01	0,00	0,4	0,4

Çizelge EK 6a-5. *H-5 grubu harçların fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2H-1	14,8	25,6	1,73	2,56	32,6	67,4
2H-2	15,0	26,5	1,77	2,55	30,9	69,1
2H-3	16,0	27,4	1,72	2,56	33,0	67,0
2H-4	17,5	29,2	1,67	2,57	34,9	65,1
2H-5	15,0	26,7	1,78	2,60	31,3	68,7
2H-6	15,5	27,5	1,77	2,62	32,5	67,5
Ort.	15,6	27,2	1,74	2,58	32,5	67,5
SD (±)	0,9	1,1	0,04	0,02	1,3	1,3

Çizelge EK 6a-6. *H-6 grubu harçların fiziksel özellikleri*

Örnek kodu	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
2H-7	8,6	12,9	1,50	2,59	42,1	57,9
2H-8	8,8	13,0	1,48	2,62	43,5	56,5
Ort.	8,7	12,9	1,49	2,60	42,8	57,2
SD (±)	0,1	0,1	0,01	0,01	0,7	0,7

Çizelge EK 6a-7. *Tarihi harçların fiziksel özellkileri hesap tablosu*

Harç grubu	Tip	Örnek kodu	m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)
H-1	1H-10	109,40	121,23	66,95	10,8	21,8	2,02	2,74	26,4	73,6
H-2	1H-2	80,01	90,91	47,74	13,6	25,2	1,85	2,59	28,6	71,4
	1H-6	155,99	174,82	93,00	12,1	23,0	1,91	2,56	25,6	74,4
H-3	1H-1	134,28	154,00	73,44	14,7	24,5	1,67	2,55	34,6	65,4
	1H-4	185,24	213,45	105,25	15,2	26,1	1,71	2,59	33,9	66,1
	1H-5	171,51	199,00	103,55	16,0	28,8	1,80	2,63	31,7	68,3
	1H-7	141,01	168,26	81,82	19,3	31,5	1,63	2,64	38,2	61,8
	1H-8	170,79	203,28	100,59	19,0	31,6	1,66	2,64	37,1	62,9
H-4	1H-3	312,47	376,42	176,02	20,5	31,9	1,56	2,65	41,2	58,8
	1H-9	180,64	223,74	105,93	23,9	36,6	1,53	2,65	42,1	57,9
H-5	2H-1	213,11	244,68	121,36	14,8	25,6	1,73	2,56	32,6	67,4
	2H-2	99,98	115,00	58,39	15,0	26,5	1,77	2,55	30,9	69,1
	2H-3	70,53	81,80	40,73	16,0	27,4	1,72	2,56	33,0	67,0
	2H-4	57,01	66,97	32,83	17,5	29,2	1,67	2,57	34,9	65,1
	2H-5	143,09	164,52	84,30	15,0	26,7	1,78	2,60	31,3	68,7
	2H-6	230,10	265,88	135,60	15,5	27,5	1,77	2,62	32,5	67,5
H-6	2H-7	90,30	98,06	37,80	8,6	12,9	1,50	2,59	42,1	57,9
	2H-8	194,75	211,85	80,22	8,8	13,0	1,48	2,62	43,5	56,5

EK-6b. Kızdırma Kaybı ve Elektriksel İletkenlik Analiz Sonuçları

Çizelge EK 6b-1. *H-1 grubunun kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Hidrolisite (KK_{1050}/KK_{550})	ΔE (µS/cm)
1H-10	0,6	2,6	18,2	20,8	41,4	7,1	1,43

Çizelge EK 6b-2. *H-2 grubunun kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Hidrolisite (KK_{1050}/KK_{550})	ΔE (µS/cm)
1H-2	0,5	3,3	13,4	16,7	30,4	4,0	2,14
1H-6	0,8	3,7	16,9	20,7	38,5	4,6	2,22
Ort.	0,6	3,5	15,2	18,7	34,4	4,3	2,18
SD (±)	0,1	0,2	1,8	2,0	4,0	0,3	0,04

Çizelge EK 6b-3. *H-3 grubunun kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Hidrolisite (KK_{1050}/KK_{550})	ΔE (µS/cm)
1H-1	1,9	8,0	10,5	18,5	23,9	1,3	2,21
1H-4	1,6	7,5	15,1	22,5	34,3	2,0	-
1H-5	1,0	3,8	15,6	19,5	35,5	4,1	1,35
1H-7	1,3	4,7	15,6	20,3	35,5	3,3	-
1H-8	0,6	3,8	16,3	20,1	37,0	4,3	1,54
Ort.	1,3	5,6	14,6	20,2	33,2	3,0	1,70
SD (±)	0,5	1,8	2,1	1,3	4,8	1,2	0,4

Çizelge EK 6b-4. *H-4 grubunun kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Hidrolisite (KK_{1050}/KK_{550})	ΔE (µS/cm)
1H-3	0,4	2,8	15,3	18,1	34,7	5,5	1,87
1H-9	1,4	4,4	12,2	16,6	27,7	2,7	1,86
Ort.	0,9	3,6	13,7	17,4	31,2	4,1	1,86
SD (±)	0,5	0,8	1,5	0,7	3,5	1,4	0,0

Çizelge EK 6b-5. *H-5 grubunun kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Hidrolisite (KK_{1050}/KK_{550})	ΔE (µS/cm)
2H-1	1,0	2,4	15,8	18,3	36,0	6,5	1,56
2H-2	0,7	2,5	10,2	12,7	23,1	4,0	1,73
2H-3	0,6	3,0	10,3	13,3	23,4	3,4	1,44
2H-4	0,6	3,7	11,9	15,6	27,0	3,2	1,23
2H-5	0,8	2,3	11,4	13,7	25,8	4,9	2,13
2H-6	1,0	3,3	12,7	16,0	28,8	3,8	2,04
Ort.	0,8	2,9	12,0	14,9	27,4	4,3	1,69
SD (±)	0,2	0,5	1,9	1,9	4,3	1,1	0,32

Çizelge EK 6b-6. *H-6 grubunun kızdırma kaybı ve elektriksel iletkenlik farkı değerleri*

Örnek kodu	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	Σ KK (%)	$CaCO_3$ (%)	Hidrolisite (KK_{1050}/KK_{550})	ΔE (µS/cm)
2H-7	5,7	1,8	3,2	5,1	7,3	1,8	2,49
2H-8	6,6	2,5	3,3	5,8	7,6	1,3	2,98
Ort.	6,2	2,2	3,3	5,5	7,4	1,6	2,74
SD (±)	0,5	0,3	0,1	0,4	0,2	0,1	0,25

Çizelge EK 6b-7. *Tarihi harçların kızdırma elektriksel iletkenlik ölçüm hesap tablosu*

Örnek kodu	EC_1 (µS/cm)	EC_2 (µS/cm)	ΔEC (µS/cm)
1H-1	8,62	6,41	2,21
1H-2	8,60	6,46	2,14
1H-3	8,58	6,71	1,87
1H-5	8,58	7,23	1,35
1H-8	8,57	7,03	1,54
1H-9	8,56	6,7	1,86
2H-1	8,7	7,14	1,56
2H-2	8,65	6,92	1,73
2H-3	8,68	7,24	1,44
2H-4	8,66	7,43	1,23
2H-5	8,63	6,5	2,13
2H-6	8,61	6,57	2,04
2H-7	8,89	11,37	-2,48
2H-8	8,88	11,86	-2,98

Çizelge EK 6b-8. *Tarihi harçların kızdırma kaybı analizi hesap tablosu*

Harç Grubu	Örnek kodu	Kuru Kroze Ağırlığı (gr)	Kroze ve numune toplam ağırlığı (gr)	105°C 2 saat sonu ağırlık (gr)	550°C de 1 saat sonu ağırlık (gr)	1050°C de 1/2 saat sonu ağırlık (gr)	Yüzde Nem Miktarı (%)	Molekül suyu ve Organik Madde Miktarı (%)	CO_2 miktarı (%)	Toplam kütle kaybı	$CaCO_3$ Miktarı (%)	Hidrolisite (CO_2/H_2O)
H-1	1H-10	33,928	34,9209	34,9151	34,8899	34,71	0,6	2,6	18,2	20,8	41,4	7,14
H-2	1H-2	38,3745	39,3729	39,368	39,3349	39,202	0,5	3,3	13,4	16,7	30,4	4,02
	1H-6	34,8392	35,8418	35,834	35,797	35,6285	0,8	3,7	16,9	20,7	38,5	4,55
H-3	1H-1	34,2552	35,2576	35,2391	35,16	35,0567	1,9	8,0	10,5	18,5	23,9	1,31
	1H-4	35,5716	36,5738	36,558	36,4843	36,3356	1,6	7,5	15,1	22,5	34,3	2,02
	1H-5	34,9926	35,9956	35,9859	35,9477	35,7925	1,0	3,8	15,6	19,5	35,5	4,06
	1H-7	38,2267	39,2269	39,2143	39,1682	39,0139	1,3	4,7	15,6	20,3	35,5	3,35
	1H-8	33,8393	34,8394	34,8338	34,7961	34,6343	0,6	3,8	16,3	20,1	37,0	4,29
H-4	1H-3	37,8713	38,8733	38,8698	38,8419	38,6894	0,4	2,8	15,3	18,1	34,7	5,47
	1H-9	37,7797	38,7799	38,7657	38,7219	38,6016	1,4	4,4	12,2	16,6	27,7	2,75
H-5	2H-1	38,8024	39,8063	39,796	39,7718	39,6145	1,0	2,4	15,8	18,3	36,0	6,50
	2H-2	34,9187	35,9121	35,9049	35,88	35,7797	0,7	2,5	10,2	12,7	23,1	4,03
	2H-3	35,5766	36,5765	36,5701	36,5398	36,4376	0,6	3,0	10,3	13,3	23,4	3,37
	2H-4	38,227	39,2204	39,2144	39,1774	39,0599	0,6	3,7	11,9	15,6	27,0	3,18
	2H-5	38,8009	39,8057	39,7981	39,7748	39,6616	0,8	2,3	11,4	13,7	25,8	4,86
	2H-6	35,1842	36,1871	36,177	36,144	36,018	1,0	3,3	12,7	16,0	28,8	3,82
H-6	2H-7	34,9917	35,9902	35,9362	35,9188	35,8885	5,7	1,8	3,2	5,1	7,3	1,77
	2H-8	37,9557	38,9572	38,8948	38,8716	38,8402	6,6	2,5	3,3	5,8	7,6	1,32

EK-6c. Asit Kaybı ve Elek Analizi Sonuçları

Çizelge EK 6c-1. *H-1 grubundan 1H-1 harcının asit kaybı ve elek analizi sonucu*

Örnek Kodu	Asitte		Elek çapı (mm) ve üzerinde kalan (%)								
	Kayıp (%)	Kalan (%)	8,00	4,000	2,000	1,000	0,500	0,250	0,125	0,063	<0,063
1H-10	47,0	53,0	11,1	13,6	17,6	18,1	10,1	11,5	7,5	6,2	4,4

Çizelge EK 6c-2. *H-2 grubundan 1H-2 harcının asit kaybı ve elek analizi sonucu*

Örnek Kodu	Asitte		Elek çapı (mm) ve üzerinde kalan (%)								
	Kayıp (%)	Kalan (%)	8,00	4,000	2,000	1,000	0,500	0,250	0,125	0,063	<0,063
1H-2	30,6	69,4	33,1	20,2	12,5	13,0	8,8	6,0	2,4	2,4	1,7

Çizelge EK 6c-3. *H-3 grubundan 1H-1, 1H-5 ve 1H-8 harcının asit kaybı ve elek analizi sonucu*

Örnek Kodu	Asitte		Elek çapı (mm) ve üzerinde kalan (%)								
	Kayıp (%)	Kalan (%)	8,00	4,000	2,000	1,000	0,500	0,250	0,125	0,063	<0,063
1H-1	32,9	67,1	32,3	18,9	10,4	12,2	8,6	7,3	3,5	3,5	3,3
1H-5	34,7	65,3	14,5	24,0	18,2	13,5	7,5	7,0	4,0	5,8	5,4
1H-8	49,5	50,5	30,4	17,0	13,4	11,7	6,6	7,5	5,8	4,8	2,9
Ort.	39,1	60,9	25,7	20,0	14,0	12,5	7,6	7,3	4,5	4,7	3,9

Çizelge EK 6c-4. *H-4 grubunun asit kaybı ve elek analizi sonucu*

Örnek Kodu	Asitte		Elek çapı (mm) ve üzerinde kalan (%)								
	Kayıp (%)	Kalan (%)	8,00	4,000	2,000	1,000	0,500	0,250	0,125	0,063	<0,063
1H-3	37,5	62,5	24,4	20,2	14,1	11,1	7,2	9,2	4,2	6,9	2,6
1H-9	39,8	60,2	9,2	20,8	17,2	16,2	9,8	9,9	5,5	5,5	5,8
Ort.	38,7	61,3	16,8	20,5	15,7	13,6	8,5	9,5	4,9	6,2	4,2

Çizelge EK 6c-5. *H-5 grubunun asit kaybı ve elek analizi sonucu*

Örnek Kodu	Asitte		Elek çapı (mm) ve üzerinde kalan (%)								
	Kayıp (%)	Kalan (%)	8,00	4,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,125	0,063	<0,063
2H-1	26,1	73,9	20,7	31,6	24,6	9,9	2,2	2,0	1,3	1,7	0,8
2H-2	28,8	71,2	16,3	31,9	29,1	12,6	2,7	2,1	1,7	2,5	1,0
2H-3	26,5	73,5	19,1	35,7	25,3	10,9	3,1	3,1	1,4	1,0	0,3
2H-4	32,3	67,7	35,7	10,1	19,0	16,9	7,4	6,2	2,5	1,5	0,7
2H-5	33,7	66,3	28,2	34,2	17,4	8,7	3,1	3,4	2,0	2,4	0,6
2H-6	38,3	61,7	17,1	24,3	18,3	13,4	7,7	9,5	4,6	3,9	1,2
Ort.	31,0	69,0	22,9	28,0	22,3	12,1	4,4	4,4	2,3	2,2	0,8

Çizelge EK 6c-6. *Harçların asit kaybı analizi hesap tablosu*

Örnek kodu	Beher (g)	Beher+örnek (g)	Asit kaybı sonrası (g)	Kuru Örnek (g)	Kalan örnek (g)	Asit Kaybı (%)	Asitte çözünmeyen (%)
1H-1	188,39	266,15	240,57	77,76	52,18	32,9	67,1
1H-2	182,73	262,72	238,26	79,99	55,53	30,6	69,4
1H-3	278,86	392,9	350,16	114,04	71,30	37,5	62,5
1H-5	187,63	308,59	266,59	120,96	78,96	34,7	65,3
1H-8	179,36	278,15	229,20	98,79	49,84	49,5	50,5
1H-9	277,63	308,69	296,32	31,06	18,69	39,8	60,2
2H-1	269,29	388,23	357,21	118,94	87,92	26,1	73,9
2H-2	176,33	276,1	247,38	99,77	71,05	28,8	71,2
2H-3	263,47	333,78	315,15	70,31	51,68	26,5	73,5
2H-4	269,3	326,11	307,74	56,81	38,44	32,3	67,7
2H-5	180,69	279,09	245,90	98,40	65,21	33,7	66,3
2H-6	178,56	295,88	250,97	117,32	72,41	38,3	61,7

EK-6d. Kimyasal Kompozisyon Sonuçları

Çizelge EK 6d-1. *H-1 grubu harcın kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	P_2O_5	SO_3	Σ Oksit	Σ KK
1H-1	7,1	29,0	5,8	26,1	8,0	1,3	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	79,2	20,8

Çizelge EK 6d-2. *H-2 grubu harçların kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	P_2O_5	SO_3	Σ Oksit	Σ KK
1H-2	7,9	43,9	4,1	18,9	4,9	1,5	1,5	0,4	0,1	0,1	0,1	-	83,3	16,7
1H-6	6,1	39,1	3,2	23,1	4,7	1,4	1,2	0,3	0,1	0,1	-	0,1	79,3	20,7
Ort.	7,0	41,5	3,7	21,0	4,8	1,4	1,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	81,3	18,7
SD (±)	0,9	2,4	0,5	2,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0

Çizelge EK 6d-3. *H-3 grubu harçların kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	P_2O_5	SO_3	Cl	BaO	Σ Oksit	Σ KK
1H-1	7,7	40,5	4,3	18,1	5,7	2,2	1,7	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	-	81,5	18,5
1H-4	7,2	32,4	4,4	25,4	4,0	1,7	1,2	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	-	-	77,5	22,5
1H-5	7,5	36,3	4,7	23,3	4,9	1,1	1,4	0,6	0,1	0,1	0,1	0,4	-	-	80,5	19,5
1H-7	7,9	33,3	5,4	24,4	5,1	1,3	1,0	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,2	79,5	20,5
1H-8	7,9	35,2	4,8	24,2	4,6	0,8	1,5	0,6	0,1	0,1	0,2	-	-	-	79,9	20,1
Ort.	7,6	35,5	4,7	23,1	4,9	1,4	1,3	0,6	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	79,8	20,2
SD (±)	0,3	2,8	0,4	2,6	0,6	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,3	1,3

Çizelge EK 6d-4. *H-4 grubu harçların kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	P_2O_5	SO_3	Ag_2O	ΣOksit	Σ KK
1H-3	8,9	37,3	4,9	21,6	4,2	1,6	1,7	0,6	0,1	0,1	0,2	-	-	81,1	18,9
1H-9	9,4	36,9	6,5	20,6	5,9	1,3	1,3	0,8	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	83,2	16,8
Ort.	9,1	37,1	5,7	21,1	5,0	1,5	1,5	0,7	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	82,1	17,9
SD (±)	0,3	0,2	0,8	0,5	0,9	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0

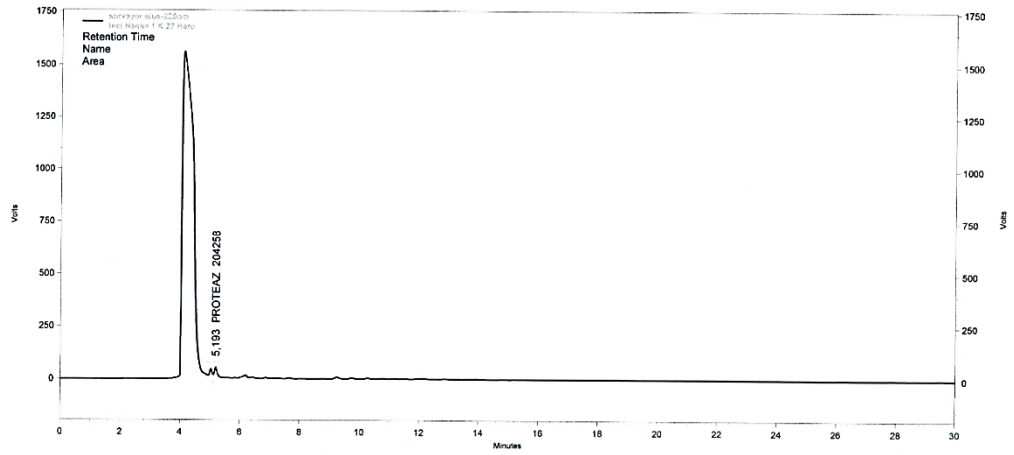
Çizelge EK 6d-5. *H-5 grubu harçların kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Σ Oksit	Σ KK
2H-1	6,8	49,5	3,1	11,9	6,9	1,3	1,8	0,1	0,1	0,1	81,7	18,3
2H-2	7,6	53,7	2,9	12,1	6,5	1,7	2,4	0,1	0,1	0,1	87,3	12,7
2H-3	7,0	52,2	3,2	12,1	8,1	1,6	2,2	0,1	0,1	0,1	86,7	13,3
2H-4	5,2	50,5	3,0	15,0	8,0	1,0	1,5	0,1	0,1	0,1	84,4	15,6
2H-5	5,7	53,0	3,1	14,0	7,2	1,2	1,6	0,1	0,1	0,1	86,3	13,7
2H-6	6,7	43,9	4,5	17,2	8,7	1,3	1,1	0,2	0,2	0,1	84,0	16,0
Ort.	6,5	50,5	3,3	13,7	7,6	1,4	1,8	0,1	0,2	0,1	85,1	14,9
SD (±)	0,8	3,3	0,5	1,9	0,8	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	1,8	1,8

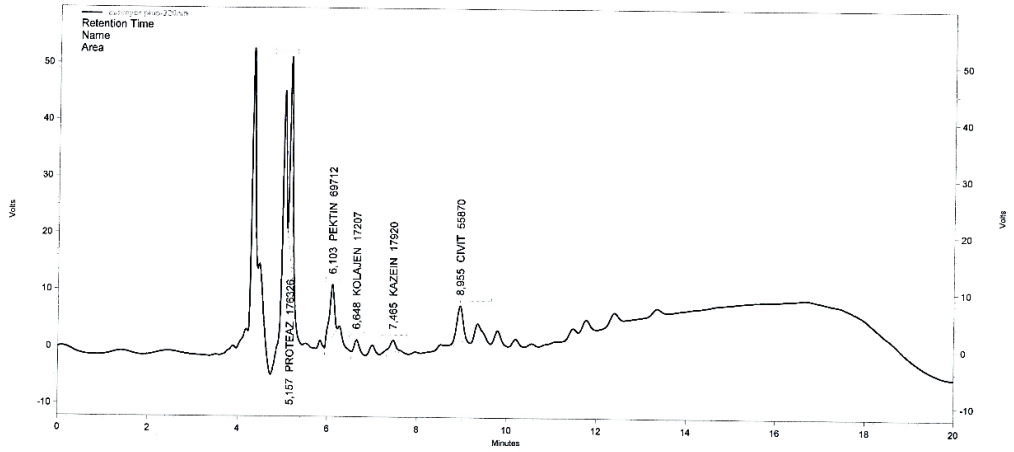
Çizelge EK 6d-6. *H-6 grubu harçların kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)*

Örnek kodu	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	BaO	SO_3	SrO	Σ Oksit	Σ KK
2H-7	0,8	3,2	0,4	38,3	1,2	0,1	0,4	47,2	0,5	92,0	8,0
2H-8	0,7	3,1	0,4	40,0	1,2	0,1	-	48,8	0,6	94,9	5,1
Ort.	0,8	3,2	0,4	39,1	1,2	0,1	0,4	48,0	0,6	93,5	6,5
SD (±)	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,4	1,4

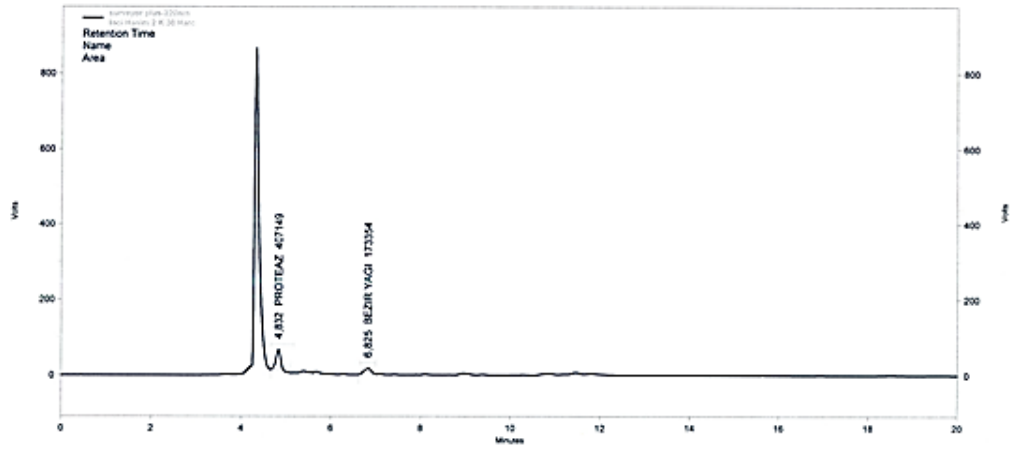
EK 6e. HPLC Analizi Sonuçları



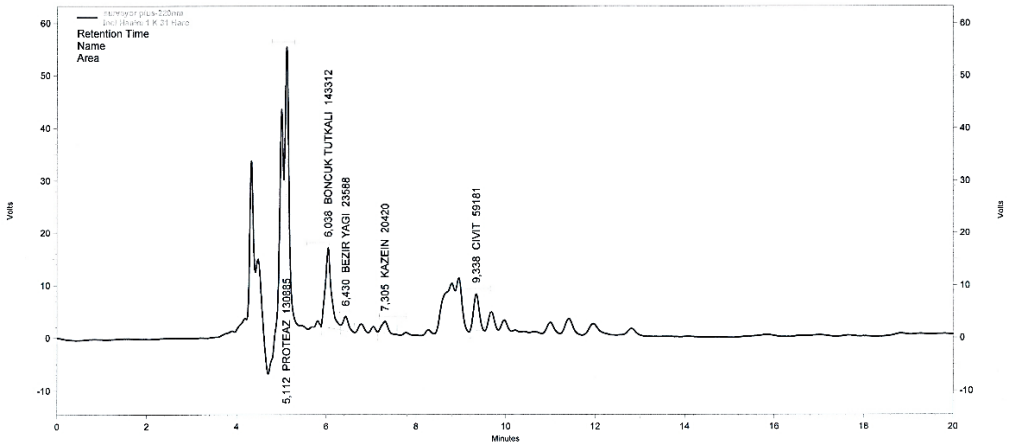
Şekil EK 6e-1. *1H-1 harcının HPLC analiz grafiği*



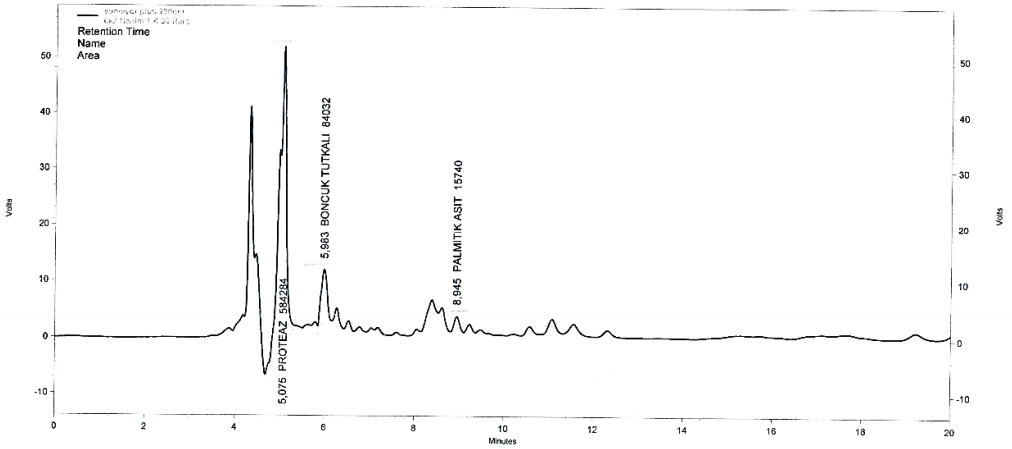
Şekil EK 6e-2. *1H-2 harcının HPLC analiz grafiği*



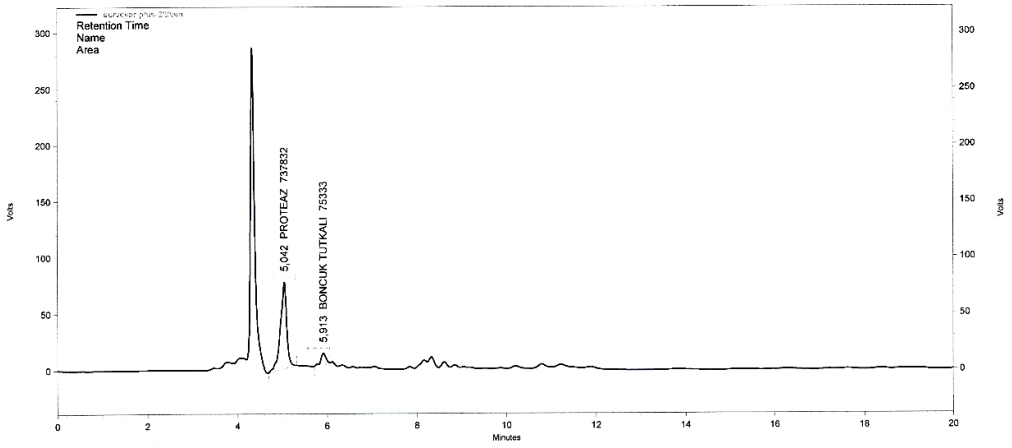
Şekil EK 6e-3. *1H-4 harcının HPLC analiz grafiği*



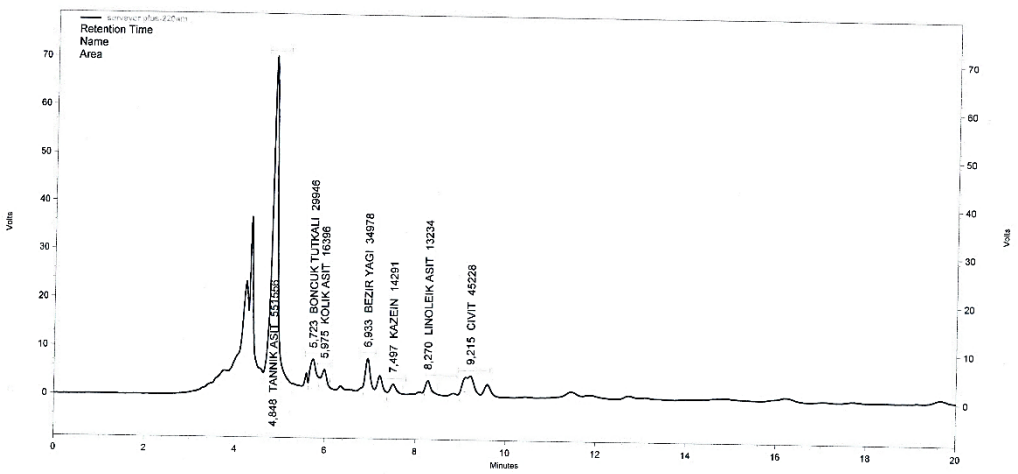
Şekil EK 6e-4. *1H-5 harcının HPLC analiz grafiği*



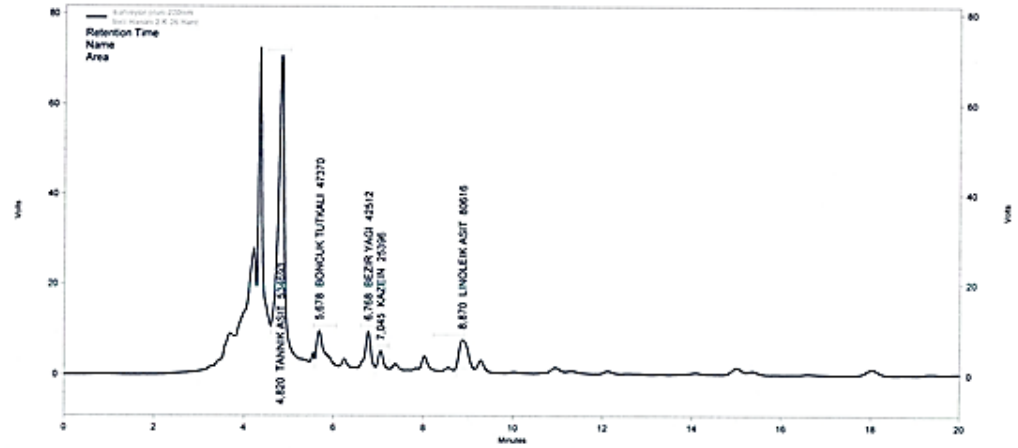
Şekil EK 6e-5. *1H-6 harcının HPLC analiz grafiği*



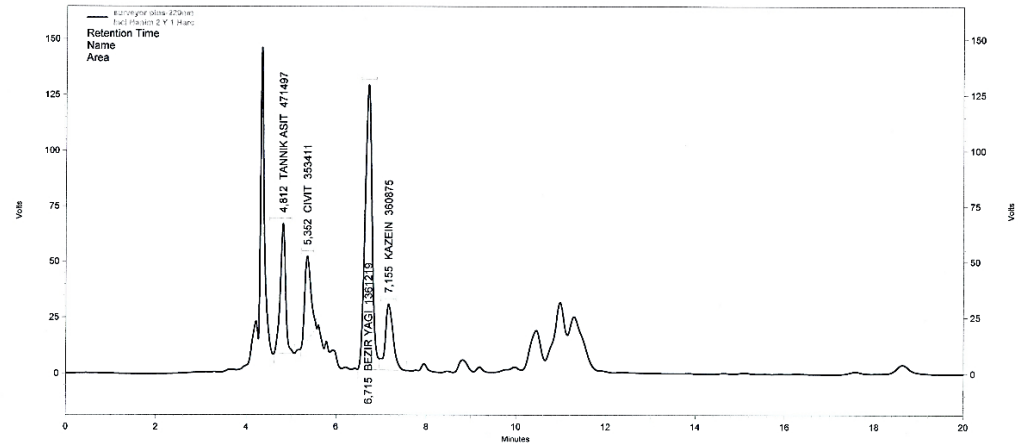
Şekil EK 6e-6. *1H-7 harcının HPLC analiz grafiği*



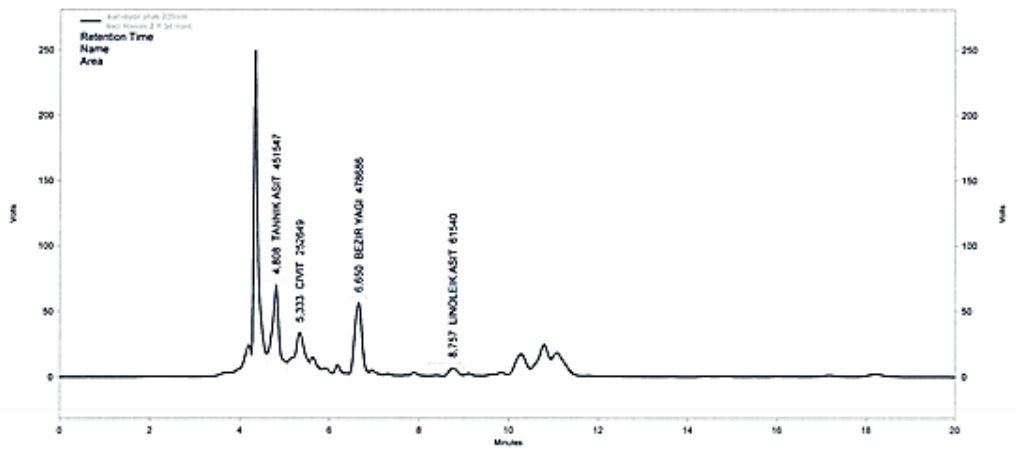
Şekil EK 6e-7. *1H-9 harcının HPLC analiz grafiği*



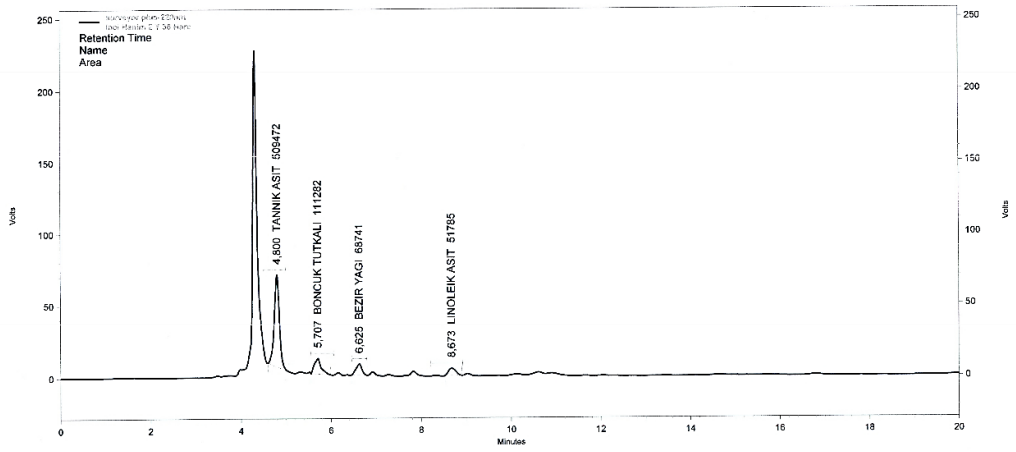
Şekil EK 6e-8. *1H-10 harcının HPLC analiz grafiği*



Şekil EK 6e-9. *2H-1 harcının HPLC analiz grafiği*

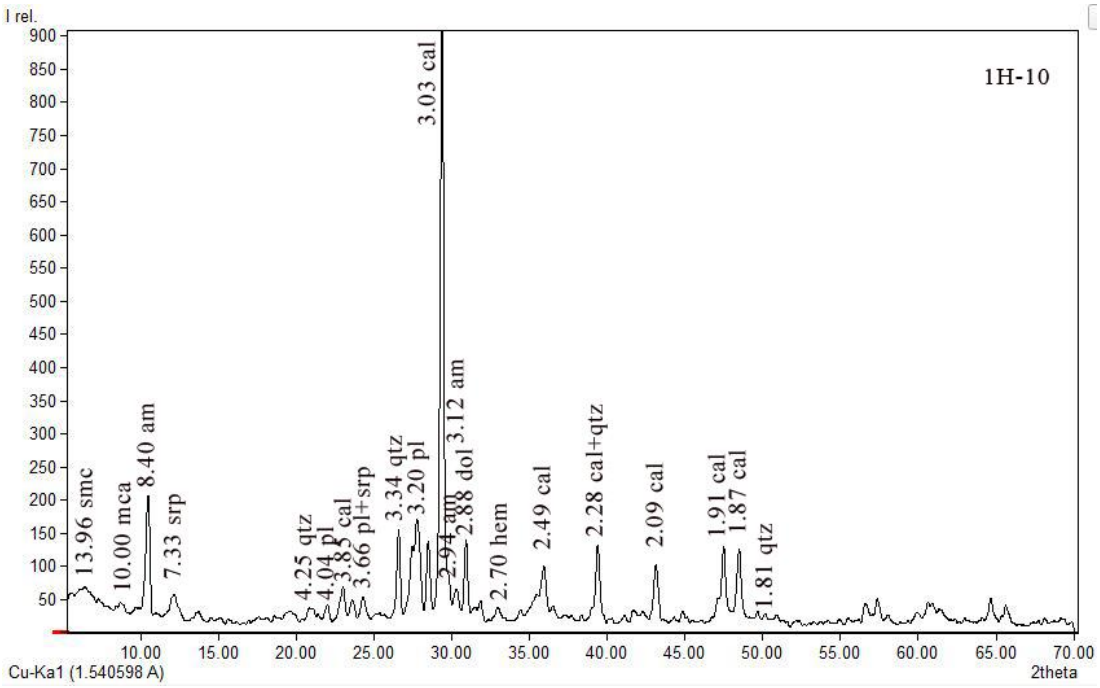


Şekil EK 6e-10. *2H-6 harcının HPLC analiz grafiği*

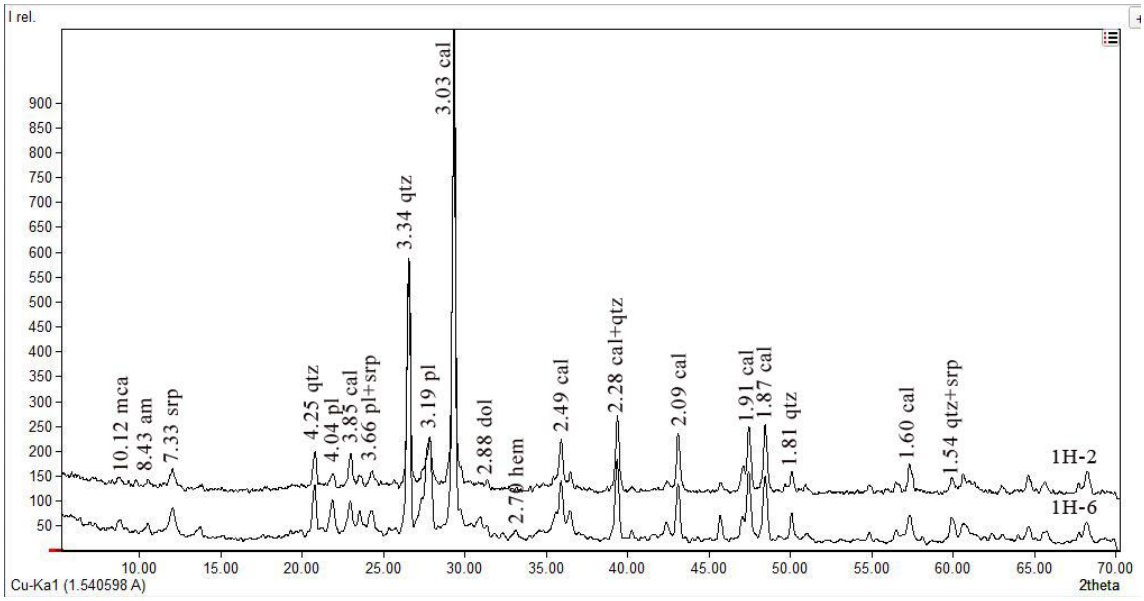


Şekil EK 6e-11. *2H-8 harcının HPLC analiz grafiği*

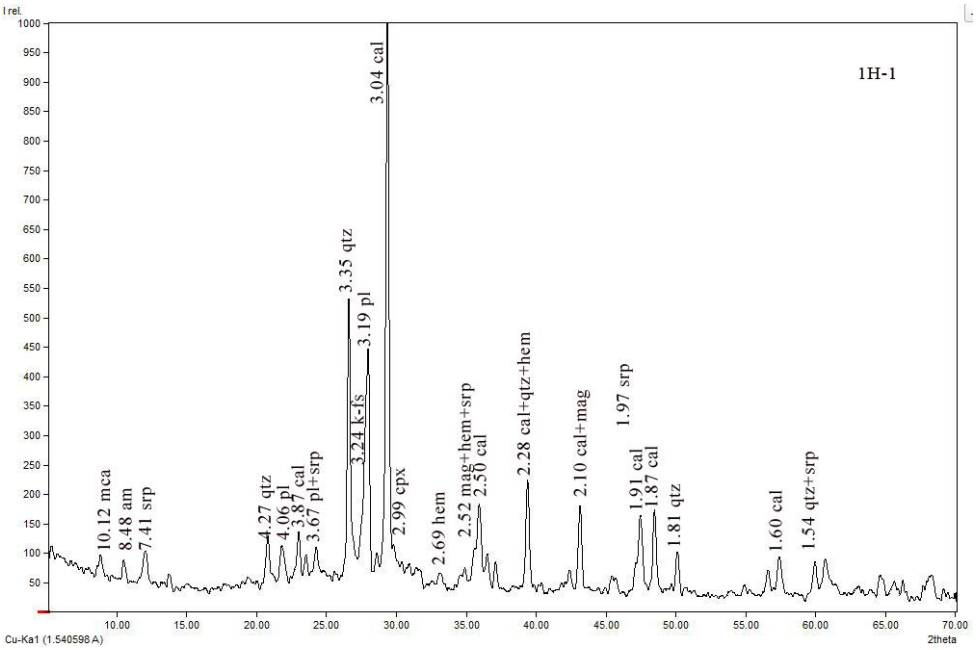
EK-6f. Mineralojik Analiz Sonuçları



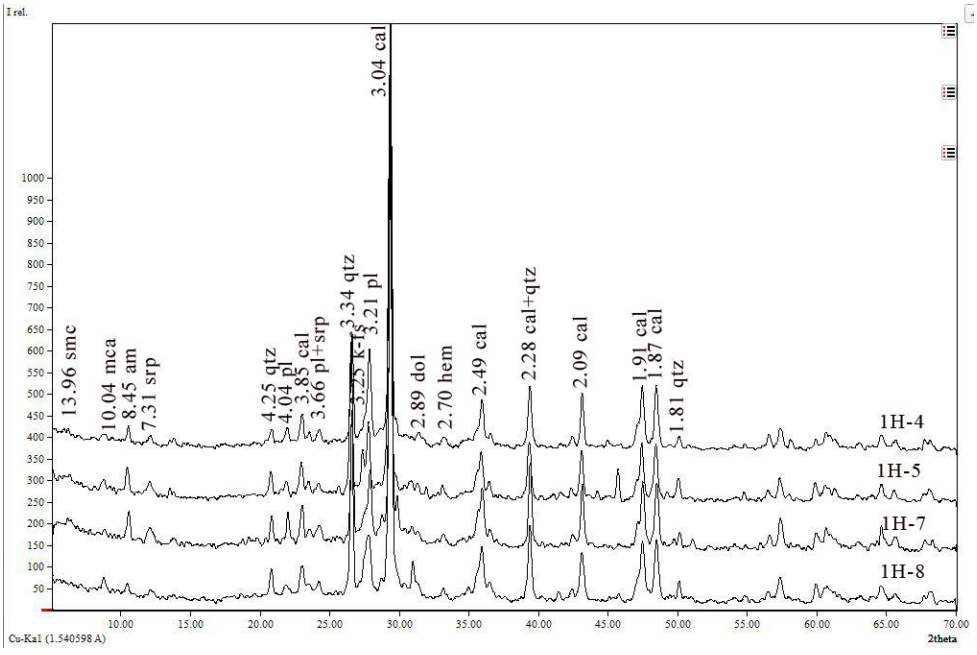
Şekil EK 6f-1. *H-1 grubu harcının mineralojik faz kırınımı*



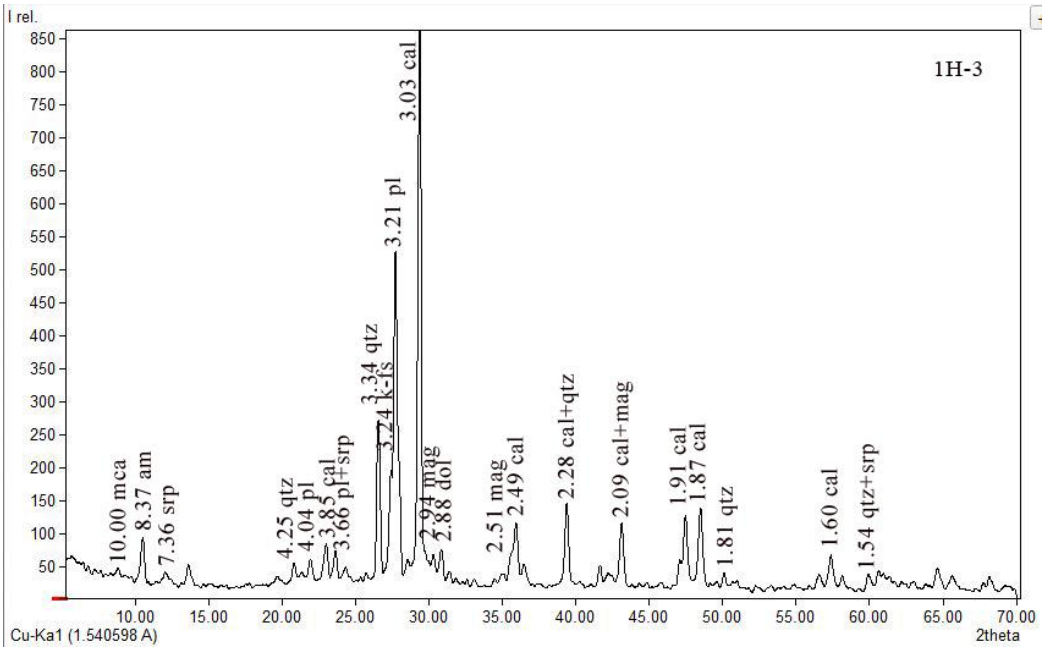
Şekil EK 6f-2. *H-2 grubu harçlarının mineralojik faz kırınımı*



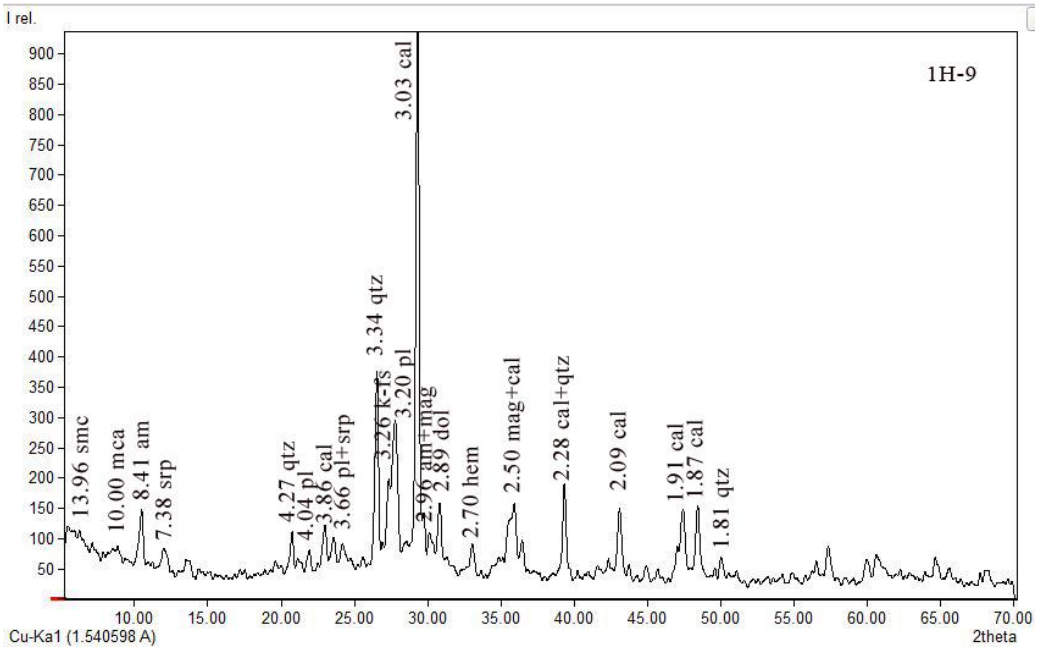
Şekil EK 6f-3. *H-3 grubundan 1H-1 harcının mineralojik faz kırınımı*



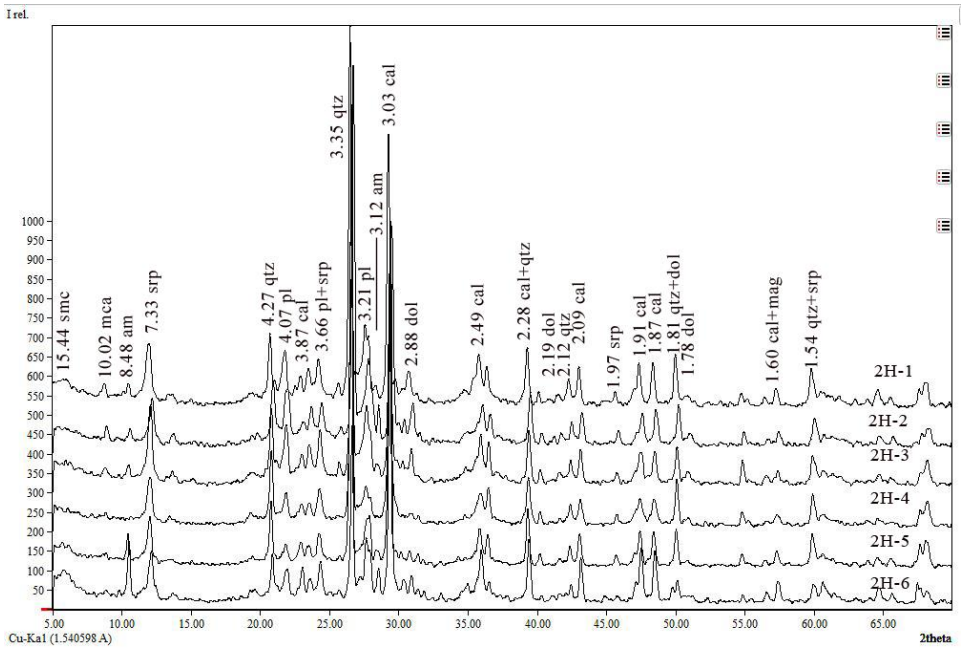
Şekil EK 6f-4. *H-3 grubundan 1H-4, 1H-5, 1H-7 ve 1H-8 harçların mineralojik faz kırınımı*



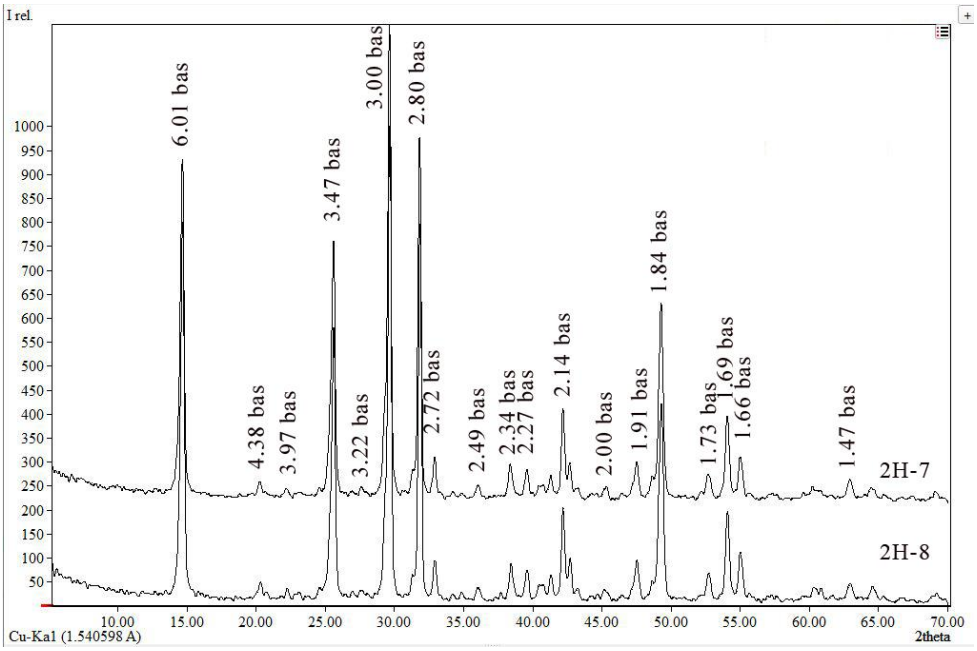
Şekil EK 6f-5. *H-4 grubundan 1H-3 harcının XRD faz kırınımı*



Şekil EK 6f-6. *H-4 grubundan 1H-9 harcının XRD faz kırınımı*



Şekil EK 6f-7. *H-5 grubu harçların XRD faz kırınımı*



Şekil EK 6f-8. *H-6 grubu harçların XRD faz kırınımı*

EK-7. Doğal Taşların Deneysel Hesap Sonuçları

Çizelge EK 7-1. *Bazalt taşının fiziksel özellik hesap tablosu*

Örnek kodu	m_d (g)	m_s (g)	m_h (g)	A_b (%)	p_0 (%)	ρ_b (g/cm^3)	ρ_r (g/cm^3)	p (%)	c (%)
1T.1	310,33	313,60	183,66	1,1	2,5	2,39	2,79		
1T.2	284,01	295,22	164,26	3,9	8,6	2,17	2,80		
2T.1	306,20	314,29	183,13	2,6	6,2	2,33	2,79		
2T.2	288,42	300,31	166,05	4,1	8,9	2,15			
3T.1	340,63	352,18	206,07	3,4	7,9	2,33			
3T.2	241,96	251,22	135,07	3,8	8,0	2,08			
4T.1	252,50	262,72	150,02	4,0	9,1	2,24			
4T.2	270,37	279,37	153,50	3,3	7,2	2,15			
Ortalama				3,3	7,3	2,23	2,79	20,1	79,9
SD (±)				1,0	2,0	0,11			

Çizelge EK 7-2. *Kaleye ait bazalt taşının Schmidt sertlik tayini*

Örnek kodu	1. vuruş	2. vuruş	3. vuruş	Ort
4T.2	33	37	34	35
3T.1	28	30	32	30
Ort				32
SD (±)				2

Çizelge EK 7-3. *Kaleye ait bazalt taşının kızdırma kaybı hesap tablosu*

Örnek kodu	W_d (g)	W_0 (g)	W_1 (g)	W_2 (g)	W_3 (g)	KK_{105} (%)	KK_{550} (%)	KK_{1050} (%)	KK (%)	$CaCO_3$ (%)
4T.2	39,7786	40,7772	40,774	40,7677	40,764	0,3	0,6	0,4	1,0	0,8

Çizelge EK 7-4. *Kaleye ait bazalt taşının kızdırma kaybı hesap tablosu*

Örnek kodu	EC_1 (µS/cm)	EC_2 (µS/cm)	ΔEC (µS/cm)
4T.2	8,85	8,40	0,45