T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KAPADOKYA BÖLGESİ 19. YY. OSMANLI KİLİSELERİNDEKİ TAŞ MALZEMELERİN BOZUNMA NEDENLERİ VE REHABİLİTASYONU İÇİN ÖNERİLER; NİĞDE KÜÇÜKKÖY KİLİSESİ ÖRNEĞİ

Mehmet Ergün HATIR

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Ocak-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Ergün HATIR tarafından hazırlanan "Kapadokya Bölgesi 19. yy Osmanlı Kiliselerindeki Taş Malzemelerin Bozunma Nedenleri ve Rehabilitasyonu için Öneriler; Niğde Küçükköy Kilisesi Örneği" adlı tez çalışması 04/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Başkan Dr. Öğr. Üyesi Bahtiyar Eroğlu	.....
Danışman Doç. Dr. M. Emin BAŞAL	.....
Üye Doç. Dr. Esra YALDIZ	.....
Üye Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KORUMAZ	.....
Üye Dr. Öğr. Üyesi İ. Mete MİMİROĞLU	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
LEE Müdür V.

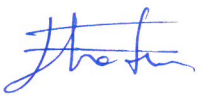
Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi tarafından 2015-ÖYP-047 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Mehmet Ergün HATIR

Tarih: 04.01.2019

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KAPADOKYA BÖLGESİ 19. YY. OSMANLI KİLİSELERİNDEKİ TAŞ MALZEMELERİN BOZUNMA NEDENLERİ VE REHABİLİTASYONU İÇİN ÖNERİLER; NİĞDE KÜÇÜKKÖY KİLİSESİ ÖRNEĞİ

Mehmet Ergün HATIR

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

1. Danışman: Doç. Dr. Mehmet Emin BAŞAR
2. Danışman: Doç. Dr. Mustafa Korkanç

2019, 132 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Mehmet Emin BAŞAR
Doç. Dr. Esra YALDIZ
Dr. Öğr. Ü. Mustafa KORUMAZ
Dr. Öğr. Ü. Bahtiyar EROĞLU
Dr. Öğr. Ü. İlker Mete MİMİROĞLU

Kapadokya bölgesinin güneyinde yer alan Niğde İli'nde, geç Osmanlı İmparatorluk dönemine ait 23 kilise bulunmaktadır. Bu tarihi eserler içerisinde, mimari plastik bezemeleri ve özgün çatı formu ile diğer yapılardan ayrılan Küçükköy Kilisesi, bölgedeki anıtlar içerisinde ender yapı özelliği gösterir. Bu kilisenin yapı taşlarında görülen jeolojik kusurlar, atmosferik ve insan etkileri anıtın bozunma sürecini hızlandırmıştır. Belirli bir döneme tanıklık eden bu eşsiz kültür varlığının gelecek nesillere güvenli bir biçimde aktarılması amacıyla yapı taşlarındaki bozunma mekanizmalarının, tahribat derecelerinin belirlenmesi ve yapıya minimum müdahale ile uygun rehabilitasyon önerilerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu amaçla çalışma konusu anıttaki yapı taşlarının bozunma durumunu tespit etmek için laboratuvar çalışmaları (fiziksel, aşınma, mekanik, donma çözünme, minerolojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerin belirlenmesi) ve yerinde yapılan tahribatsız testleri (malzeme nem ölçümü testi, kızılötesi termografi, Schmidt çekici, P-dalga hızı ve taşınabilir mikroskop) kapsayan sistematik deney çalışmaları yürütülmüştür. Laboratuvar ve yerinden elde edilen test verileri karşılaştırılarak, yapı taşlarının bozunma dereceleri belirlenmiştir. P-dalga hızı ve Schmidt çekici sertlik testlerine göre 187 yapı taşı "çok zayıf" ve "zayıf kayaç" sınıflamasında yer almaktadır. Düşük mühendislik özellikler sergileyen bu yapı taşlarında kopma, parçalanma ve kavlaklanma tiplerinde bozunmalar belirgindir. Diğer yapı taşlarında ise pul pul dökülme ve biyolojik etkilerden kaynaklı bozunmalar tespit edilmiştir. Yapı taşlarındaki bozunmaların kontrolü için hidrolik kireç bağlayıcılı plastik onarım, tümleme, drenaj ve temizleme tedavileri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Andezit yapı taşı, bozunma, Kapadokya, Küçükköy Kilisesi, Niğde bölgesi kiliseleri, tahribatsız test teknikleri.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

THE CAUSES OF DETERIORATION OF STONE MATERIALS IN THE 19th CENTRUY OTTOMAN CHURCHES OF CAPPADOCIA REGION AND THE SUGGESTIONS FOR THEIR REHABILITATION; EXAMPLE OF NİĞDE KÜÇÜKKÖY CHURCH

Mehmet Ergün HATIR

GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION INSTITUTION OF KONYA TECHNICAL UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ARCHITECTURE

1st Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin BAŞAR
2nd Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa KORKANÇ

2019, 132 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin BAŞAR
Assoc. Prof. Dr. Esra YALDIZ
Asst. Prof. Dr. Öğr. Ü. Mustafa KORUMAZ
Asst. Prof. Dr. Bahtiyar EROĞLU
Asst. Prof. Dr. İlker Mete MİMİROĞLU

There are 23 churches belonging to the late Ottoman Empire period in Niğde province, which is located in the south of Cappadocia region. Among these historical monuments, Küçükköy church, which differs from other structures in its architectural plastic decorations and original roof form, has a rare structure among the other monuments in the region. Geological defects, atmospheric and human effects seen in the building stones of this church have accelerated the process of deterioration of the monument. It is important to determine the degree of the deterioration mechanisms in the building stones and to develop appropriate rehabilitation suggestions with minimum intervention in order to hand down this unique cultural asset, which has witnessed a specific period, to the next generations safely. For this purpose, in order to determine the deterioration of the building stones in the monument, systematic experimental studies including laboratory studies (physical, wearing, mechanical, freeze-thaw, determination of mineralogical, petrographical and geochemical characteristics) and in-situ non-destructive tests (material moisture measurement test, infrared thermography, Schmidt hammer resbound, P-wave velocity and portable microscope) were conducted. By comparing the test data obtained from laboratory and site, the degree of deterioration of the building stones was determined. According to the P-wave velocity and Schmidt hammer hardness tests, 187 building blocks are included in the “very weak” and “weak” rock classification. In these building stones, which exhibit low engineering characteristics, there are deterioration in the forms of crumbling, breakage and flaking. In other building stones, deterioration due to spalling and biological effects were determined. Hydraulic lime-bonding plastic repair, integration, drainage and cleaning treatments have been suggested for the control of degradation of building blocks.

Keywords: Andesite building stone, churches in Niğde region, Cappadocia, deterioration, Küçükköy Church, Non destructive test techniques.

ÖNSÖZ

Ders aşamasından tezin tamamlanmasına kadar geçen süreçte, değerli yardım ve katkılarından dolayı sayın hocalarım, Doç. Dr. Mehmet Emin BAŞAR, Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ, Arş. Gör. Dr. İsmail İnce, Arş. Gör. Dr. Ali Bozdağ, Arş. Gör. Mehmet Bahadır TOSUNLAR, Arş. Gör. Mustafa Alper DÖNMEZ ve manevi desteklerinden dolayı aileme çok teşekkür ederim.

Mehmet Ergün HATIR
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 2
1.2. Çalışmanın Yöntemi 3

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **6**

2.1. Yapı Taşlarının Bozunma Nedenleri, Teşhisi ve Rehabilitasyonu 6
2.1.1. Yapı taşlarının bozunma nedenleri 6
2.1.1.1. Atmosferik etkiler 6
2.1.1.2. Biyolojik etkiler 7
2.1.1.3. İnsan etkileri 8
2.1.2. Bozunma teşhisi 8
2.1.3. Rehabilitasyon 11
2.1.3.1. Atmosferik etkilere bağlı bozunmaların rehabilitasyonu 11
2.1.3.2. Biyolojik etkilere bağlı bozunmaların rehabilitasyonu 13
2.2. Tez Konusu İle İlgili Yapılmış Olan Önceki Çalışmalar 14
2.3. Bölgede Yapılan Önceki Çalışmalar 21

3. MATERYAL VE YÖNTEM **23**

3.1. Bölge Araştırması 23
3.1.1. Niğde İli fiziki konumu 23
3.1.2. Niğde İli iklim durumu 24
3.1.3. Kilise yapısının bulunduğu alanın jeolojisi 24
3.1.4. Niğde İli'nin tarihsel gelişimi 25
3.1.4.1. Niğde İli geç Osmanlı İmparatorluk dönemi kiliselerinin mimari özellikleri 26
3.2. Saha Çalışmaları 27
3.2.1. Küçükköy Kilisesi'nin grafik belgelenmesi ve tanımı 28
3.2.1.1. Grafik belgeleme 28
3.2.1.2. Küçükköy Kilisesi'nin tanımı 29
3.2.2. Bozunmaların görsel analizi 34
3.2.3. Litoloji analizi 34
3.2.4. Tahribatsız testler 34
3.2.4.1. Yüzey nem ölçüm testi 34
3.2.4.2. Kızılötesi termografi testi 35
3.2.4.3. Schmidt çekici sertlik testi 36
3.2.4.4. P-dalga hızı testi 37
3.2.4.5. Taşınabilir mikroskop testi 38

3.2.5. Blok numune derleme 39
3.3. Laboratuvar Çalışmaları 39
3.3.1. Numune hazırlama aşaması 39
3.3.2. Laboratuvar deneyleri 42
3.3.2.1. Fiziksel özellikler 42
3.3.2.1.1. Birim hacim ağırlık ve yoğunluk 42
3.3.2.1.2. Kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk 43
3.3.2.1.3. Ağırlıkça su emme 43
3.3.2.1.4. Porozite 44
3.3.2.1.5. Kapilerite deneyi 44
3.3.2.2. Böhme aşınma deneyi 45
3.3.2.3. Mekanik analizler 47
3.3.2.3.1. Schmidt çekici sertlik testi 47
3.3.2.3.2. P-dalga hızı deneyi 48
3.3.2.3.3. Tek eksenli basınç deneyi 48
3.3.2.4. Donma-çözünme deneyi 50
3.3.2.5. Minerolojik, petrografik ve jeokimyasal özellikler 51
3.3.2.5.1. Petrografik analizler 51
3.3.2.5.2. X-ışını floresan spektrometresi (XRF) analizi 51
3.3.2.5.3. Taramalı elektron mikroskop (Sem-EDX) analizi 51
3.3.3. Yapay taş ile plastik onarım uygulaması 52

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 54

4.1. Laboratuvar Deneyleri 54
4.1.1. Fiziksel özellikler 54
4.1.1.1. Kuru birim ağırlık 54
4.1.1.2. Doygun birim ağırlık 55
4.1.1.3. Ağırlıkça su emme 55
4.1.1.4. Porozite 56
4.1.1.5. Kapiler su emme deneyi 57
4.1.2. Böhme aşınma deneyi 58
4.1.3. Mekanik analizler 59
4.1.3.1. Schmidt çekici sertlik testi 59
4.1.3.2. P-Dalga hızı testi 60
4.1.3.3. Tek eksenli basınç testi 61
4.1.4. Donma-çözünme test sonuçları 61
4.1.5. Minerolojik, petrografik ve jeokimyasal analizlerin sonuçları 62
4.1.5.1. Petrografi analizi 62
4.1.5.2 X-ışını floresan spektrometresi (XRF) analizi 64
4.1.5.3. Taramalı elektron mikroskop (Sem-EDX) analizi 64
4.2. Saha Çalışmalarının Değerlendirilmesi 66
4.2.1. Görsel analizlerin değerlendirilmesi 66
4.2.1.1. Atmosferik etkilerin değerlendirilmesi 71
4.2.1.2. Biyolojik etkilerin değerlendirilmesi 72
4.2.1.3. İnsan etkilerinin değerlendirilmesi 74
4.2.2. Litoloji değerlendirmesi 76
4.2.3.Tahribatsız test sonuçlarının değerlendirilmesi 82
4.2.3.1. Yüzey nem ölçüm testi 82
4.2.3.2. Kızılötesi termografi 87
4.2.3.3. Schmidt çekici sertlik testi 92

4.2.3.4. P-dalga hızı testi 98
4.2.3.5. Taşınabilir mikroskop testi 105
4.3. Rehabilitasyon Önerileri 112
4.3.1. Atmosferik ve insan etkilerine karşılık rehabilitasyon önerileri 112
4.3.2. Biyolojik etkilerin rehabilitasyon önerisi 113

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 115

KAYNAKLAR 117

ÖZGEÇMİŞ 130

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Örneğin yüzey alanı	m^2
$A_{DÇ}$	: Örneğin donma-çözünme döngüsü öncesindeki kuru ağırlığı	gr
A_w	: Örneğin ağırlıkça su emme oranı	%
$B_{DÇ}$	: Örneğin donma-çözünme döngüsü sonrasındaki kuru ağırlığı	gr
C	: Kapiler su emme	$gr/m^2s^{0,5}$
C_d	: Düşük su emmeli örneğin kapilerite değeri	gr
D	: Karot numunenin çapı	mm
$D_{çk}$	: Örneğin donma-çözünme döngüsü sonrasındaki ağırlık kaybı	%
e	: Boşluk oranı	%
L	: Karot numunenin boyu	mm
M	: Örneğin doğal kütlesi	gr
M_d	: Örneğin kuru kütlesi	gr
M_f	: Su emmiş örneğin deney sonundaki kütlesi	gr
M_i	: Su emmiş örneğin kütlesi	gr
M_k	: Örneğin kuru kütlesi	gr
M_s	: Örneğin doygun kütlesi	gr
n	: Porozite	%
P	: Örneğin yenilme anındaki yükü	kN
Tp	: P-dalga hızının yayılma zamanı	µs
ti	: Örneğin su emmesinin ölçüldüğü süreler	s
V	: Örneğin hacmi	cm^3
V_v	: Örnekteki boşlukların hacmi	cm^3
Vp	: P-dalga hızı	m/s
ΔV	: Örneklerin hacim kaybı	$cm^3/50cm^2$
ρ	: Yoğunluk	gr/cm^3
ρ_k	: Kuru yoğunluk	gr/cm^3
ρ_w	: Suyun yoğunluğu	gr/cm^3
γ	: Birim hacim ağırlık	kN/cm^3
γ_d	: Kuru birim ağırlık	kN/m^3
γ_s	: Doygun birim ağırlık	kN/m^3
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık	kN/cm^3
σc	: Örneğin tek eksenli basınç dayanımı	MPa
$\sigma c_{(50)}$	: 50 mm çapındaki örneğin tek eksenli basınç dayanımı	MPa

Kısaltmalar

GPR	: Yer altı radarı
IR	: Kızılötesi
KC1	: Küçükköy Kilisesi'nde düşük mühendislik özellikler gösteren yapı taşları
KC2	: Küçükköy Kilisesi'nde yüksek mühendislik özellikler gösteren yapı taşları
M1	: 0-250 µm elek altı granülümetrede üretilmiş plastik onarım malzemesi
M2	: 250-500 µm elek altı granülümetrede üretilmiş plastik onarım malzemesi
M3	: 500-1000 µm elek altı granülümetrede üretilmiş plastik onarım malzemesi
M4	: 1000-2000 µm elek altı granülümetrede üretilmiş plastik onarım malzemesi
NX	: 54 mm. çapındaki karot örnek
Plj	: Plojioklas

Sem : Taramalı elektron mikroskop
SHR : Schmidt çekici sertlik değeri
UV : Ultraviyole
Vg : Volkanik cam
V : Boşluk
XRF :X-ışını floresan spektrometresi.

1. GİRİŞ

Doğal yapı taşları; doğada bulunabilirliği, işlenebilirliği ve estetik görünüşleri ile tarihi yapılarda en sık kullanılan yapı malzemelerinden biri olmuştur. Yapı taşlarının eski eserlerde tercih edilmesinin en önemli nedeni, dayanıklılık özelliklerinin diğer yapı malzemelerine göre fazla olmasıdır. Dayanım özellikleri oldukça yüksek olan bu yapı malzemesi, zaman içinde çeşitli sebeplerden dolayı bozunur (Korkanç ve Savran, 2010). Yapı taşlarının bozunma süreci, ocaktan çıkarıldığı ilk andan itibaren başlar ve atmosferik-çevresel etkiler neticesinde süreç hızlanır (Küçükkaya, 2004). Bozunmanın ilerleyen safhalarında tarihi yapılarda geri dönüşü olmayan tahribatlara neden olur. Kültürel varlıkların sürdürülebilirliğinin sağlanması için koruma çalışmaları günümüzde önem arz etmektedir. Yapı taşlarındaki bozunmalara neden olan faktörlerin nedenlerininin ve etki dercelerinin teşhisi, rehabilitasyon uygulamalarına önemli altlıklar hazırlar (Paoletti ve ark., 2013). Ancak uluslararası tüzüklerdeki koruma gereksinimlerinden dolayı tarihi yapılara minimum müdahale ile teşhis ve bütüncül koruma planlarının yapılması oldukça zor bir görevdir. Bu amaçla son yıllarda geliştirilen tahribatsız test teknolojilerinin teşhis çalışmalarında kullanılması, yapı taşlarındaki bozunma durumları ile ilgili güvenilir bulguların elde edilmesini sağlamaktadır. Yerinde yapılan tahribatsız deneyler ile laboratuvar çalışmalarının koordineli bir şekilde sürdürülmesi ve yorumlanması, her bir yapı taşındaki bozunma mekanizmalarını teşhis etmeyi daha güvenilir hale getirmektedir (Anzani ve ark., 2010; Lim ve Cao, 2013).

Anadolunun merkezinde yer alan Kapadokya, tarih boyunca bir çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Bu medeniyetlerin izleri olarak bölgede bir çok önemli tarihi yapı bulunmaktadır (Korkanç, 2013). Kapadokya'da Hıristiyanlık M.S. 53 yıllarında Havari St. Poul ile yayılmaya başlamış ve 20.yy. başlarına kadar Hıristiyan nüfus bölgede etkin rol oynamıştır (Tülay, 2013). Bölgede 20.y.y.'ın sonunda yaşanan siyasi gelişmeler ile Hıristiyan nüfus, Yunanistan'a techir ettirilmiştir (Adem ve Türk, 2013). Bölgede yaşanan sosyal dönüşüm neticesinde, Hıristiyan nüfusun dini yapıları olan kiliseler, fonksiyonsuz kalarak terk edilmiştir. Çalışmada Kapadokya bölgesinin önemli yerleşim yerlerinden biri olan Niğde ilindeki, 19. yy.'a ait kiliseler incelenmiştir. Bu kiliselerde gözlenen bozunmaların daha çok atmosferik kökenli ve insanlardan kaynaklı tahribatlar (terk, bakımsızlık, yanlış ek, vandalizm, define amaçlı kazılar vb.) oldukları belirlenmiştir. Bu çalışmada bölgedeki en çok bozunmanın gözlemlendiği Küçükköy

Kilisesi seçilmiş ve yapı taşlarındaki bozunmalar, güncel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan tahribatsız test teknikleri ve laboratuvar çalışmaları ile incelenerek, yapının sürdürülebilir olarak korunması için rehabilitasyon önerileri geliştirilmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapı taşları bulundukları iklim kuşağına, çevresel etkilere ve yapı üzerinde bulundukları konumlarına göre farklı derecelerde bozunurlar. Kayaçlar aynı taş ocağından çıkarılmasına rağmen farklı yapı, doku ve mühendislik özellikler gösterirler. Dolayısıyla tarihi yapıların bozunma teşhisi ve müdahale önerileri, her yapının kendi özelinde geliştirilmelidir. Uluslararası çalışmalarada taş anıtların bozunma süreçleri (Smith ve ark., 2011; El-Gohary, 2012; Fener ve İnce, 2015; Sousa ve ark., 2018) ve rehabilitasyonu (Bugani, 2007; Kalagri ve ark., 2010; Sanz ve ark., 2015; Pozo-Antonio ve ark., 2016; Pranjić ve ark., 2018; Tesser ve ark., 2018) ile ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Yapı taşlarının bozunma derecelerinin tespitine yönelik uluslarası çalışma sayısı sınırlıdır (Fitzner ve ark., 2003; Heinrichs ve Fitzner, 2007; Török ve Přikryl, 2010; Heidari ve ark., 2017a). Ülkemizde yapılan koruma çalışmalarında, malzeme karakterizasyonu ve bozunma süreçleri tamamen anlaşılmadan müdahale önerileri geliştirildiği için taşınmaz kültür varlıklarımızdaki tahribatlar her geçen gün artmaktadır. Çalışma konusu olan Niğde bölgesi tarihi taş yapılarında malzeme karakterizasyonu ve bozunma teşhisine yönelik araştırmalar (Tokgöz, 2008; Korkanç ve Savran, 2010; Korkanç, 2013; Korkanç ve Savran, 2015; Korkanç, 2018) yapılmasına rağmen, rehabilitasyon süreci ile ilgili çalışma bulunmamaktadır.

Niğde ilinde, 19.yy.'ın ilk yarısında benzer plan tiplerine ve yapım sistemine sahip, 23 kilise inşa edilmiş ve ilerleyen süreçteki siyasi gelişmeler sonucunda, Hristiyanların dini yapıları olan kiliseler fonksiyonsuz kalmıştır. Günümüzde bu yapıların bir kısmına çeşitli rehabilitasyon çalışmaları ile yeni işlev verilmiş olsada, bölge kiliseleri atmosferik, insan ve biyolojik etkiler nedeniyle bir çok tahribata uğramış ve bu süreç devam etmektedir. Yapıldıkları dönemin dini, sosyal, ekonomik yapısını ve mimari birikimini gösteren bu kiliseler, kültürel birer varlık ve mimari belge niteliği kazanmışlardır. Estetik ve tarihi değerleri ile bölgenin mimari dokusuna yaptıkları katkı nedeniyle, bu kültür varlıklarının korunarak gelecek nesillere aktarılması oldukça önemli bir görevdir.

Bölgede yapılan ön inceleme ile kiliselerin bozunma durumları, fonksiyonları ve bulundukları çevreler göz önüne alınmış, Küçükköy Kilisesi'nin yapı taşları, diğer kiliselere göre daha zayıf mühendislik özellikler göstermesinden dolayı, bozunma süreci daha hızlı geliştiği belirlenmiştir. Ayrıca bölgedeki kiliseler benzer plan tiplerine ve yapım sistemlerine sahip olmalarına rağmen Küçükköy Kilisesi, özgün çatı sistemi ve içerisinde bulunan ikonlar ile diğer kiliselerden ayrılarak eşsiz bir kültürel miras örneği sergilemektedir. Hem bölgede özgün yapı özelliği göstermesi hem de bozunma sürecinin oldukça hızlı olması nedeniyle, acil önlemler alınmadığı taktirde yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olan Küçükköy Kilisesi tez kapsamına alınmış ve bu çalışması ile;

* Niğde İli'nde bulunan ve geç Osmanlı döneminde inşa edilmiş olan Küçükköy Kilisesi'nin, özgün durumunun ve geçirdiği değişiklerin ayrıntılı belgelenmesi,

* Laboratuvar deneyleri ile kilisede kullanılan yapı taşlarının sağlam fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi,

* Yerinde yapılan tahribatsız testler ile kilise yapı taşlarının nem içeriği, ısıl farklardan kaynaklı bozunmaları ile yüzey morfolojisinin belirlenmesi ve mekanik özelliklerinin tahmin edilmesi,

* Tahribatsız testler ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bulguların karşılaştırılıp, yapı taşlarındaki bozunma derecelerinin ve nedenlerinin tespit edilmesi,

* Küçükköy Kilisesi'nin gelecek kuşaklara güvenle aktarılabilmesi için rehabilitasyon önerilerinin geliştirilmesi,

* Önerilen metodolojik yaklaşım ile ülkemizdeki diğer kültür varlıklarının koruma uygulamalarına yönelik bilimsel bir altlık oluşturması amaçlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Yöntemi

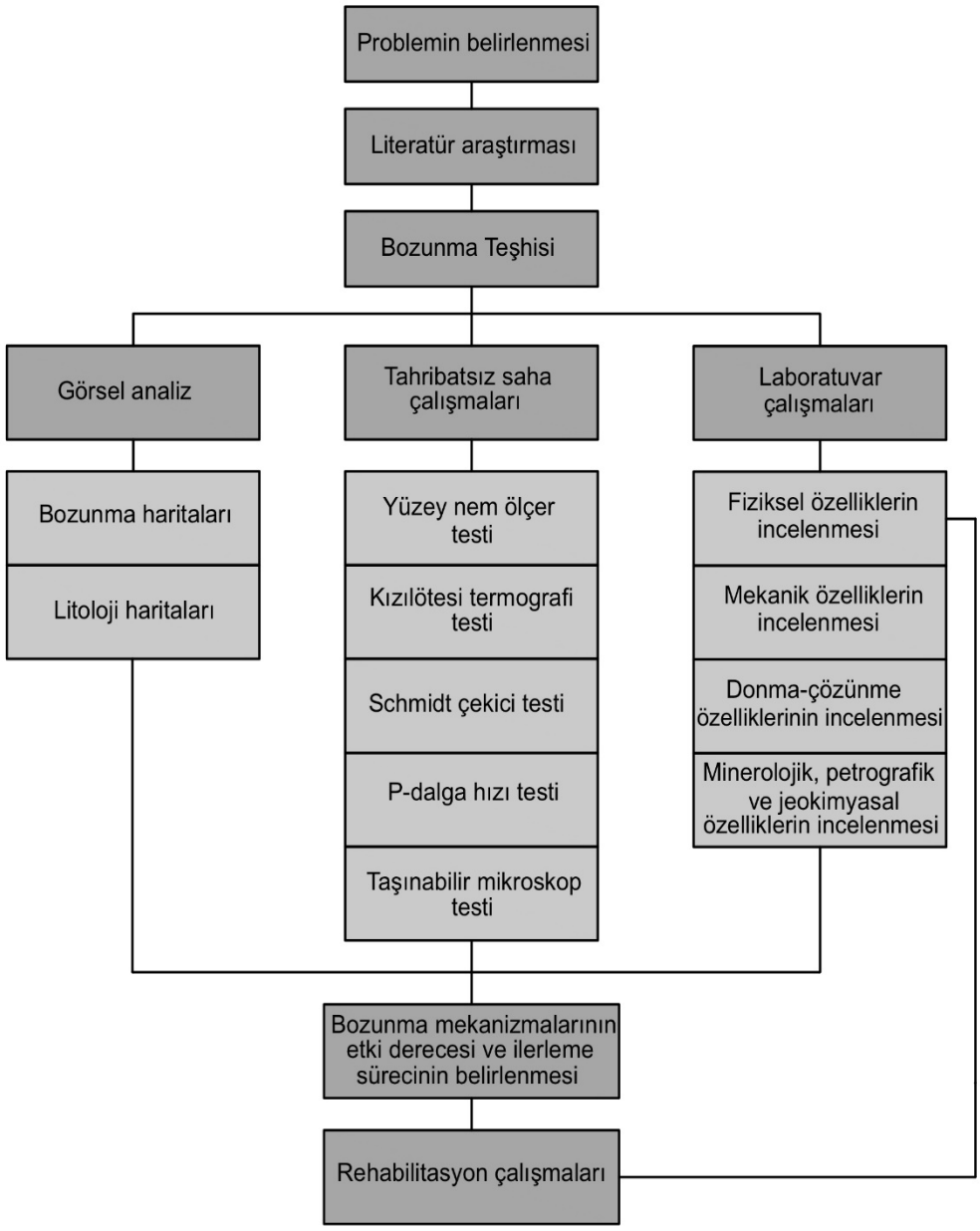
Bu çalışmanın deneysel aşamaları, yapıya minimum müdahale ile bütüncül koruma yaklaşımı ilkesine göre yürütülmüştür. Bu amaç doğrultusunda öncelikle, çalışma konusu kilisenin mevcut durumu; fotoğraf ve rölöve çizimleri ile belgelenmiştir. Daha sonra görsel analiz ile yapı taşlarındaki bozunmaların tanımlanması ile sınıflandırılması yapılmış ve cephe rölöveleri üzerine tahribatlar işlenerek, bozunma haritaları oluşturulmuştur. Kilisedeki taş malzemelerin yapı genelindeki dağılımını belirlemek için litoloji haritaları hazırlanmıştır.

Tez kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar, laboratuvar ve yerinde uygulanan tahribatsız test tekniklerinden oluşmaktadır. Laboratuvar çalışmalar için öncelikle yapıda kullanılmış yapısal ve dokusal özellikleri birbirinden farklı iki andezit taşa birebir benzerlik sunan örnekler, çevredeki eski ocak alanlarından derlenmiştir. Daha sonra temsilci örneklerin indeks özellikleri (kuru birim hacim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık, su emme ve porozite) ve P-dalga hız değerleri ISRM (2007), kapiler su emme değerleri TS-EN-1925 (2000), Schmidt çekici sertlik değerleri ASTM-D5873 (2014), donma-çözünme özellikleri ASTM-D5312-04 (2004), tek eksenli basınç dayanımları ve böhme aşınma değerleri ISRM (1981) standartlarına göre tespit edilmiştir. Yapı taşlarının mineralojik ve petorgrafik özelliklerinin incelenmesi için ince kesitler hazırlanmış ve polarizan mikroskobu altında incelenmiştir. Ayrıca kayaç içerisindeki elementlerin çeşidi ve içeriğinin saptanması için XRF, yüzey görüntüsünün ve noktasal analizler için de Sem-EDX ileri analiz teknikleri uygulanmıştır.

Çalışmada bozunmaların teşhisine yönelik olarak, beş farklı tahribatsız test tekniği uygulanmıştır. Seçilen yapıdaki bozunma süreçlerinin ana nedeni olan suyun, yapı taşlarındaki dağılımını belirlemek için her bir yapı taşının yüzey nem ölçümleri yapılmıştır. Bu deney ile donma-çözünme, ıslanma-kuruma ve tuz kristalleşmesi gibi bozunma sürecinin ana etkeni olan suyun, varlığını ve kökeninin niceliksel oranını tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışmada uygulanan bir diğer tahribatsız test ise kızılötesi termografidir. Bu test ile gün içerisindeki ısıl farklardan kaynaklı bozunmaların tespiti hedeflenmiştir. Schmidt çekici ve P-dalga hızı deneyleri yapı taşlarının mekanik özelliklerini dolaylı yoldan tespit edebilen ve yerinde uygulanabilen tahribatsız deneylerdir. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarının mekanik davranışlarını tahmin edebilmek için her bir yapı taşına P-dalga hızı ve Schmidt çekici sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca yapı taşları üzerindeki biyolojik aktivitelerin gelişimi ile bozunma süreci sonrasında gelişen gözeneklerin boyut ve şekillerinin tespiti için taşınabilir mikroskop testi uygulanmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda, tahribatsız testlerden elde edilen veriler ile laboratuvar verileri beraber yorumlanmış ve kilisedeki yapı taşlarının bozunma dereceleri belirlenmiştir. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarındaki yüzey kayıplarının önüne geçebilmesi adına plastik onarım tedavisi önerilmiştir. Bu amaçla önceki çalışmalar ve uluslarası koruma gereksinimleri incelenmiş ve hidrolik kireç bağlayıcılı onarım harcı kullanımı önerilmiştir. Öneri malzemelerin yapı taşları ile uyumluluğunu tespit edebilmek için; kuru birim hacim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık, su emme,

porozite, Schmidt çekici, P-dalga hızı ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler, yapıdaki temsilci örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile karşılaştırılmış ve optimum uyum sağlayan malzemenin yapıda kullanılması önerilmiştir. Ayrıca kilisede yok olmuş taş malzemelerin tümlenmesi için bölgede incelemeler yapılmış ve yapıda kullanılabilecek malzemeye ait taş ocağı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan yöntemin şematik gösterimi Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışmada uygulanan yöntem şeması.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yapı Taşlarının Bozunma Nedenleri, Teşhisi ve Rehabilitasyonu

2.1.1. Yapı taşlarının bozunma nedenleri

Bozunma iklimsel, mevsimsel ve çevresel koşullara bağlı olarak yapı taşlarında meydana gelen kimyasal ayrışma ve fiziksel parçalanma süreçleridir (Charola, 2000; Snethlage, 2005; Lourenço ve ark., 2006; Yavuz ve ark., 2006; Sandrolini ve Franzoni, 2007; Rirsch ve Zhang, 2010; Vařilová ve ark., 2011; Wedekind ve ark., 2011; El-Gohary, 2012; Korkanç, 2013; López-Doncel ve ark., 2013; Fener ve İnce, 2015; Korkanç ve Savran, 2015). Bu süreçlerden kimyasal ayrışma; yapı taşı, su ve çevresel ajanlar (NO_x, SOx, partikül madde) arasında gerçekleşen reaksiyon sonucunda meydana gelir (Esaki ve Jiang, 2000). Fiziksel bozunma ise; atmosferik (sıcaklık, nem ve rüzgar vb.), insan ve biyolojik etkilerden kaynaklanmaktadır (Korkanç, 2018).

2.1.1.1. Atmosferik etkiler

Islanma-kuruma (Matsukura ve Takahashi, 2000), donma-çözünme (Fener ve İnce, 2015), tuz kristalizasyonu (Rodriguez-Navarro ve Doehne, 1999) ve termal şok (Yavuz ve ark., 2006) gibi atmosferik olaylar, bozunma süreçlerinin etkin bir şekilde gelişmesine neden olarak yapı taşlarında kademeli değişiklikler (pul pul dökülme, kavlaklanma, patlama vb.) meydana getirir (Heidari ve ark., 2017a). Islanma-kuruma olayı, yağışlı dönem ve sonrasında gerçekleşen kuruma döneminin tekrarlanması sonucunda gelişir. Kuruma esnasında taş yüzeyi, alt bölgeye göre daha hızlı kurur. Kayacın iç ve dış yüzeyinin farklı çalışması, minerallerin bağlanma kuvvetini düşürerek yavaş yavaş parçalanmalara neden olur (Hall ve Hall, 1996). Suyun mevsimsel döngüler sonucunda, yapı taşlarının süreksizlik ve gözeneklerine nüfus etmesi ile atmosferik olarak sıcaklığın 0 °C'nin altına inmesi ve üstüne çıkması süreci donma-çözünme döngüsünü meydana getirir (Fener ve İnce, 2015). Sıcaklığın 0 °C altına düşmesi ile suyun hacmi % 9 ile % 13.5 arasında genişleyerek kayaç içerisindeki boşluklarda basınç oluşturur (Özbek, 2014). Su hacmindeki artış ile indüklenen streslerin kayacın dayanımını aşması ile mikro çatlaklar gelişirken, çözünme neticesinde su, gelişen çatlaklara yerleşir (Ruedrich ve ark., 2011). Bu döngünün devam etmesi ile mevcut

çatlaklar büyür ve yapı taşında zayıflamaya neden olur (Yavuz ve ark., 2006; Korkanç ve Savran, 2010). Suyun varlığı ayrıca yapı taşlarına nüfus etmiş olan tuzların davranışını da etkiler (Menéndez ve Petráňová, 2016). Suda çözünebilen tuzlar ($CaCI_2$, NaCI, KCI vb.) su ile taşınarak, taşın gözeneklerine ulaşır ve sıcaklığın artması ile bünyeden suyun buharlaşması sonucunda yüzeyde birikir. Islanma sürecinin devam etmesi neticesinde su ile taşınan tuzlar daha derinlere (süreksizlik ve göznekler) ulaşır (Smith ve ark., 2011). Tuzlar, kristalleşme sürecinde bünyesine su alması ile kayaç içersindeki boşluklarda oluşan kristal basıncı artar ve yapı taşlarında parçalanmalar meydana gelir (Küçükkaya, 2004). Gün içerisindeki yüksek sıcaklık farklılıkları, yapı taşlarında termal genleşmelere ve daralmalara neden olur. Termal şok olarak adlandırılan bu süreç, yapı taşlarında hacim değişikliğine sebep olarak, kayaç içerisindeki taneler arasında basınç farklılıkları oluşturur (Yavuz ve ark., 2006; Yaldız, 2010). Kayaç içerisindeki farklı streslere bağlı olarak zamanla mikro çatlaklar oluşur veya genişler. Bu süreç sonucunda suyun taşın boşluklarına nüfus etmesi kolaylaşır (Korkanç ve Savran, 2010). Sürecin tekrarlaması ile mikro çatlaklar gelişerek makro çatlaklar meydana gelir.

Bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak yapı taşları, yukarıda bahsedilen süreçlerden biri veya daha fazlasına maruz kalabilir (Heidari ve ark., 2017b). Kayaçlar bir veya daha fazla mineralin bir araya gelmesiyle oluşur (Bugani, 2007). Minerallerin kristalleşme derecesi, kimyasal bileşimi ve kristallerin bağlayıcı maddesi, basınç dayanımını ve ayrışma derecesini etkiler (Küçükkaya, 2004). Ayrıca kayaçların fiziksel ve mühendisliksel özellikleri de atmosferik etkilerden kaynaklı bozunma direncini doğrudan ekiler (Korkanç ve Solak, 2016).

2.1.1.2. Biyolojik etkiler

Tarihi yapılarda en sık görülen biyolojik etkiler, likenlere bağlı olarak gelişen biyofilm tabakasıdır (Sanz ve ark., 2017). Likenler; mantar ve alglerin birleşmesi ile meydana gelen simbiyotik organizmalardır (Rivas ve ark., 2018). Kök, gövde ve yaprakları olmayan likenler, ışık, sıcaklık, nem ve uygun beslenme koşulları altında yapı taşlarının gözenek ve çatlakları arasına kolayca yerleşir (Vannini ve ark., 2018). Nem ve sıcaklıktaki değişime bağlı olarak, kayaçlara nüfus eden likenler genleşir ve büzüşür. Bu fiziksel davranış, taşlarda basınç farklılıkları oluşturarak, pul pul dökülme, kavlaklanma, parçalanma tiplerinde bozunmalara neden olur. (Nascimbene ve

Salvadori, 2008). Ayrıca likenlerin salgıladığı nitrik asit (HNO_3), nitröz asit (HNO_2), karbonik asit (H_2CO_3) gibi hifif asitler yapı taşlarında kimyasal ayrışmalara sebep olur (Scheerer ve ark., 2009). Likenler bitki lifleri, rüzgar ile gelen toz ve hayvan atıkları gibi organik maddeleri yakalayarak, yapı taşı üzerinde toprak tabakası oluşumuna neden olur (Küçükkaya, 2004). Organik madde değeri yüksek olan toprak, otsu ve odunsu bitkilerin gelişim sürecini hızlandırır. Anıtların üzerinde yayılımı artan bitkiler kama etkisi ile yapı taşlarının parçalanmasına sebep olur (Korkanç ve Savran, 2015).

2.1.1.3. İnsan etkileri

Yapı taşlarının bozunmasına neden olan etkilerden bir diğeri insanlardan kaynaklı tahribatlardır. Hatalı tasarım, bakımsızlık, terk, vandalizm, yangın, savaş ve turizm gibi insan etkileri, yapı taşlarındaki tahribatlarda önemli rol oynar (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). İnsan etkileri nedeniyle tahrip olan yapı taşlarının mühendislik özelliklerinde de azalma olacağı için, bozunma hızları artacaktır (Korkanç, 2018).

2.1.2. Bozunma teşhisi

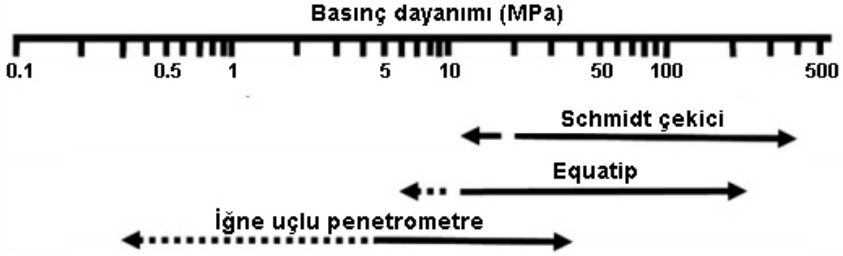
Yapı taşları, hem dış etkiler (taşın anıt üzerindeki konumu, cephe yönleri vb.) hem de iç etkiler (heterojen karakter, mineral boyutları ve dağılımı vb.) nedeniyle farklı bozunma mekanizmalarına maruz (Esaki ve Jiang, 2000; El-Gohary, 2017). Koruma-restorasyon uygulamalarındaki en büyük zorluk, yapı taşlarının kompleks bozunma mekanizmalarını tahmin etmektir (Bortz ve ark., 1993). Literatürde bozunma derecelerinin tahmin etmek için nitel ve nicel indeksler tanımlanmıştır (Gokceoglu ve ark., 2009; Török ve Přikryl, 2010). Fakat tarihi yapılardaki koruma gereksinimleri nedeniyle yapı taşlarının tamamından numune alınmayacağı için, laboratuvar çalışmaları ile oluşturulan nicel indeksler anıtın bütününü temsil edemez.

Taşınmaz kültür miraslarındaki bozunma teşhisi çalışmaları için bir çok inceleme yöntemi uygulanmış ve restorasyon çalışmaları öncesinde tahribatsız test yöntemlerinin mümkün olduğunca kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Christaras ve ark., 1994; Abbaneo ve ark., 1995; Binda, 1997; Fais ve ark., 1999; Grinzato ve ark., 2004; Casula ve ark., 2007; Fais ve Casula, 2010; Cultrone ve ark., 2012; Christaras ve ark., 2015). Son yıllarda gelişen tahribatsız test yöntemleri sayesinde yapıya zarar vermeden hızlı, kullanımı kolay ve tekrarlanabilir teşhis çalışmaları yapılabilmektedir

(Vasconcelos ve ark., 2007; Török ve Přikryl, 2010; Rivera-Gomez ve Galàn-Marin, 2013). Tahribatsız yöntemler ile hasar ve bozunmaların erken teşhisin yapılması, koruma uygulamalarına önemli katkılar sağlar (Laurie ve ark., 1986; Raymahashay ve Sharma, 1993; Buj ve ark., 2010; Stück ve ark., 2011; Cuccuru ve ark., 2014; Jo ve Lee, 2014; Siedel ve Siegesmund, 2014). Ayrıca laboratuvar çalışmaları ile yerinde yapılan tahribatsız deneylerin koordineli yürütülmesi, teşhisin güvenilirliğini arttırır (Anzani ve ark., 2010; Lim ve Cao, 2013) ve bozunma dercelerinin tahmini için nicel indeksler oluşturulmasını sağlar.

Tahribatsız testler "kimyasal ve minerolojik" ve "fiziksel" özelliklerin belirlenmesi olarak iki grupta değerlendirilebilir (Török, 2010). Kayaç içerisindeki minerolojinin tespitinde taşınabilir XRD (Pagès-Camagna ve ark., 2010; Cuevas ve ark., 2015) organik bileşimlerin incelenmesinde FTIR (Ricci ve ark., 2006; Conti ve ark., 2013), elementlerin belirlenmesinde taşınabilir XRF (Pincé ve ark., 2016; Stockmann ve ark., 2016; Morillas ve ark., 2016a; Morillas ve ark., 2016b; Morillas ve ark., 2016c) ve taşınabilir Raman spectroskopi (López-Arce ve ark., 2011; Morillas ve ark., 2016d) test teknikleri önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarındaki kimyasal bozunma süreci incelenmediği için kimyasal ve minerolojik özelliklerin tespit edildiği tahribatsız yöntemler üzerinde durulmamıştır.

Kayaçların fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan tahribatsız testler ise, "yüzey ölçümleri" ve "iç strüktür ölçümleri" olmak üzere iki grupta değerlendirilebilir. Yapı taşlarının yüzey sertliğinin belirlenmesinde genellikle Equotip sertlik testi (Aoki ve Matsukura, 2007; Coombes ve ark., 2013; Rodríguez-Rellán, 2016) Schmidt çekici testi (Aydin ve Basu, 2005; Viles ve ark., 2011) ve iğne uçlu penetrometre testleri (Ngan-Tillard ve ark., 2011) kullanılmaktadır. Bu üç farklı yüzey sertlik testlerinden Schmidt çekici ve Equotip, 20 MPa değerinin aşağısındaki sertlik değerlerinin belirlenmesinde hassas sonuçlar vermez (Şekil 2.1.). İğne uçlu penetrometre ise 0.3-40 MPa arasındaki değerlerde hassas ölçümler yapabilmektedir.



Şekil 2.1. Schmidt çekici, Equotip ve iğne uçlu penetrometre testlerinin basınç dayanımı ölçüm aralıkları (Ngan-Tillard ve ark., 2011).

Yapı taşlarındaki yüzeysel ayrışma, çiçeklenme ve çatlak gibi bozunma durumlarının belirlenmesinde fotogrametri (Vázquez ve ark., 2011), malzeme yüzey renginin nicelleştirilmesi için spektometre (Göze Akoğlu, 2011; Vazquez-Calvo ve ark., 2012), yüzey pürüzlülüğünün incelenmesinde profilometre (Korkanç ve Savran, 2015), su emme değerinin tespiti için Karsten tüpü (Svahn, 2006), yüzey nem değerinin belirlenmesinde yüzey nem ölçüm testi (Török, 2010; İnce ve ark., 2018; Korkanç ve ark., 2018), ısı anomolilerindeki farkların tespitinde kızılötesi termografi (Yardım ve Tuncoku, 2008; Jo ve Lee, 2014; İnce ve ark., 2018; Korkanç ve ark., 2018) ve kızılötesi termometre (Rosa ve ark., 2013), testleri kullanılmaktadır. Kızılötesi termografi testi ayrıca süreksizliklerin, gizli kaçakların ve nem problemlerinin tespit edilmesinde de sıklıkla kullanılmaktadır (Bisegna ve ark., 2014).

Malzemenin iç strüktüründeki süreksizlik, kırılma ve bozunma sonrasında meydana gelen boşluklu yapının tespitinde yeraltı radarı (GPR) (Martini ve ark., 2017; Johnston ve ark., 2018) ve P-dalga hızı testi (Vasanelli ve ark., 2013; Ercikdi ve ark., 2016) önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır. Bu testlerden GPR, kayaçlardaki bozunmanın belirlenmesinde P-dalga hızına göre daha hassas sonuçlar verir (Martini ve ark., 2017). Ancak GPR, malzemenin mekanik özelliklerin tahmin edilmesinde kullanılamadığı gibi pürüzlü ve küçük hacimli yüzeylerde de kullanılamaz (Menéndez, 2016).

Literatürde bir çok tahribatsız yöntem olduğu için teşhisin amacına uygun tekniklerin seçimi son derece önemlidir. Ayrıca yapı taşlarında gelişen bozunmaların değerlendirilmesinde kullanılacak tahribatsız yöntemlerinin sayısının artması teşhisin güvenilirliğini arttıracaktır (Svahn, 2006; Binda ve ark., 2007). Önceki çalışmalarda teşhisin amacına yönelik olarak; tek yöntem (Fais ve Casula, 2010; Pascale ve Lolli, 2015; Fais ve ark., 2017; Korkanç, 2018) iki yöntem (Binda ve ark., 2007; Kandemir-Yucel ve ark., 2007; Fort ve ark., 2013; Martinho ve ark., 2014; Vasanelli ve ark., 2017; Zendri ve ark., 2017; Fais ve ark., 2018) üç yöntem (Lim ve Cao, 2013; Korkanç ve ark., 2018) ve dört yöntem (İnce ve ark., 2018) ile yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Tez kapsımında incelenen Küçükköy Kilisesi yapı taşlarındaki bozunmaların tespitinde, güvenilir verilerin elde edilmesi için beş farklı tahribatsız test tekniği uygulanmıştır. Çalışmada nem problemlerinin kaynağının tespiti için yüzey nem ölçer, ısı anamolilerindeki farkların belirlenmesi için kızılötesi termografi, yüzey morfolojisinin incelenmesi için taşınabilir mikroskop, mekanik özelliklerin tahmini için Scmidt çekici

ve P-dalga hızı testleri uygulanmıştır. Tüm testler materyal ve yöntem bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1.3. Rehabilitasyon

Yapı taşlarında meydana gelen bozunmaların rehabilitasyon çalışmalarındaki asıl amaç, kültür miraslarının sürdürülebilir olarak korunmasıdır. Bu amaçla tarihi taş yapılardaki bozunmaların tiplerine ve derecelerine göre temizleme, sağlamlaştırma, eksik parçanın tamamlanması ve yama tedavileri yapılmaktadır (Küçükkaya, 2004).

2.1.3.1. Atmosferik etkilere bağlı bozunmaların rehabilitasyonu

Atmosferik etkiler, bünyesel özellikleri zayıf olan kayaçların yüzeylerindeki mineraller arasındaki bağlantıyı zayıflatır. Yüzeyi zayıflamış kayacın bünyesine su geçişi kolaylaşır ve yüzeysel bozunmalar (pul pul dökülme, kavlaklanma, tozlanma vb.) meydana gelir. Kayaçlarda meydana gelen yüzeysel ayrışmaların hızını yavaşlatmak ve malzemeyi güçlendirmek için, sağlamlaştırma tedavileri uygulanmaktadır. Sağlamlaştırma uygulamaları, kayaç yüzeyi ve altında inorganik veya organik köprüler kurarak minerallerin yeniden bağlanması (fiziksel veya kimyasal) sağlar (Karatasios ve ark., 2009; Caner, 2011; Naidu ve ark., 2015; Borsoi ve ark., 2017). Yüzeysel sağlamlaştırma, riskli ve geri dönüşümü olmayan bir tedavi (Naidu ve ark., 2015) olduğu için aşağıdaki özellikleri karşılaması beklenmektedir.

* Kayacın mekanik özelliklerini geliştirmesi,
* Yüzeye nüfus edebilme kapasitesinin yüksek olması,
* Kayacın fiziksel özelliklerine (gözeneklilik, su emme, geçirgenlik, ısıl genleşme ve renk) benzer davranışlar göstermesi (Borsoi ve ark., 2017; Tesser ve ark., 2018).

Literatürdeki çalışmalarda yüzeysel sağlamlaştırma tedavileri; organik, inorganik ve hibrid (organik ve inorganik karışım) olmak üzere üç başlıkta incelenmiştir. Organik sağlamlaştırıcılardan bazıları epoksi reçineler, akrilik reçineler ve organosilikon ürünleridir (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Bu sağlamlaştırıcılar içerisinde en çok kullanılan ürün, yüksek fiziko-mekanik özellikleri ile epoksi reçineleridir (Ngoma, 2009). Fakat epoksi reçineler, kayaç gözeneklerini bloke etmesi ve yüksek viskozite değerleri nedeniyle uygulama sonrasında kayaçlarda tekrar

bozunmalara neden olmaktadır (Tesser ve ark., 2018). Diğer organik ürünler ise kayaca tutunma özellikleri yüksek olmasına rağmen, kayaç ile fiziksel ve kimyasal uyumlulukları oldukça düşüktür. Ayrıca güneş ışınları altında sararma ve bozunmalara sebep olmaktadır (Han ve ark., 2016). İnorganik sağlamlaştırıcı tedavilerinden bazıları hidratlaşmış silika, potasyum aluminatlar, kireç veya baryum bazlı ürünlerdir (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Bu ürünler dayanıklılıkları ve kayaçla ile uyumluluğu ile organik bileşiklere alternatif uygulamalardır (Chen ve ark., 2016). Fakat inorganik ürünlerin, yüzeye nüfus etme değerinin düşük olması ve bazı ürünlerde çözünebilir tuz oluşturma gibi dezavantajları vardır (Ngoma, 2009). Sağlamlaştırıcı tedaviler için inorganik ve organik ürünlerin beraber kullanıldığı hibrid sağlamlaştırıcılardan olan tetra etoksi silan (TEOS) ve metil timetoksi (MTMOS) ürünleri, yüksek penetrasyonları, su iticilik özellikleri ve düşük viskozite değerleri sunmaktadır (Kim ve ark., 2009; Zakar ve Eyüpgiller, 2015; Tesser ve ark., 2018). Ancak bu ürünler, kayaç gözeneklerini büyük oranda bloke etmekle beraber kuruma esnasında kırılma ve çatlaklara sebep olmaktadır (Zárraga ve ark., 2010). Son dönemde yapılan çalışmalarda, hibrid sağlamlaştırıcılara nano partikül maddeler (TiO_2, SiO_2, Zn) eklenmiş ve elde edilen sentetik polimerlerin oldukça efektif sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır (Pinho ve ark., 2013; La Russa ve ark., 2014; Harandi ve ark., 2016; Corcione ve ark., 2018). Yüzeye nüfus etme değerleri oldukça fazla olan nano katkılı polimerler, kayacın alt tabakası ile fiziksel ve kimyasal uyum göstermektedir (Pranjić ve ark., 2018). Ayrıca çevresel kirlilik nedeniyle oluşabilecek siyah kabuk ve yapı taşlarında gelişmesi muhtemel biyolojik aktivitelerin büyümesini de engellemektedir (Pranjić ve ark., 2018).

Atmosferik etkiler ile meydana gelen yüzeysel bozunmalar için sağlamlaştırma tedavileri uygulanırken, bozunmaların 5cm.'yi geçtiği tahribat (jeolojik zayıflıklardan kaynaklı dikey veya yatay boşluk oluşumu ve dağılma) durumlarında yama tedavileri uygulanmaktadır (Öztürk, 2012). Yama tedavileri; taşın kopan parçasının kullanılması, yapay taş ile plastik onarım ve yabancı benzer taş kullanımı olmak üzere üç gruba ayrılır (Küçükkaya, 2004). Taşın kopan parçasının kullanıldığı uygulamalarda, küçük parçaların birleştirilmesinde akrilik reçineler veya polivinil asetat, daha büyük parçaların tamamlanmasında kuvvetli yapıştırıcılar (epoksi reçineler ve poliester) ve metal kenetler kullanılmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Yapıştırıcı ürünler sağlamlaştırma tedavisinde de belirtildiği üzere yapı taşlarında uygulama sonrasında bozunmalara neden olmaktadır. Metal kenetler ise korozyona neden olacağı için taş yüzeyinin altına uygulanmalıdır. Yapay taş ile plastik onarım tedavileri, yapının orijinal

taşının öğütülmesi, birleştirme harcı ve suyun, belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir (Öztürk, 2012). Birleştirme harcının uygulama sonrası bozunmalara neden olmaması için aşağıdaki özellikleri karşılaması beklenmektedir;

* Kayaca yapışkanlığının güçlü olması,
* Taş ile kimyasal tepkimeye girmemesi,
* Kayaç ile benzer veya daha düşük fiziksel özellikler göstermesi,
* Zamanla ısıya, UV ışınlarına ve çevre etkilerine karşı dayanıklı olması,
* Geri dönüşebilir olması,
* Gözenekliliği engellememesi (ICOMOS, 2003; Küçükkaya, 2004; Bugani, 2007).

Plastik onarım tedavilerinde, su ile çözünebilir olması, taşın mühendislik özellikleri ile uyumlu çalışması, termal etkilere karşı dirençli olması ve su da çözünebilir tuz üretmemesi nedenleriyle hidrolik kireç bağlayıcıları önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır (Edwards, 2005; Kalagri ve ark., 2010; Bras ve Henriques, 2012; Jorne ve ark., 2015). Hidrolik kireç üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile harç (Silva ve ark., 2015; Garijo ve ark., 2018), sıva (Fassina ve ark., 2002), tuğla (Navrátilová ve Rovnaníková, 2016) ve ahşap (Marini ve ark., 2018) gibi diğer yapı malzemelerinin rehabilitasyonunda da kullanılmaktadır. Yapı taşının kopan parçası veya plastik onarım için taşın ocağının bulunamaması durumunda, yabancı benzer taş kullanılmaktadır. Yabancı taş, orijinal taş ile benzer fiziksel ve kimyasal özellikler göstermesi gerekmektedir.

Atmosferik etkiler nedeniyle mühendislik özelliklerini büyük ölçüde kaybetmiş olan yapı taşları, çürütüldükten sonra yerine yeni taş eklenmelidir. Yeni taş için öncelikli olarak bölgedeki taş ocaklar incelenmeli ve yapının taşlarına benzer fiziksel (sertlik, renk, çizgi, pürüzlülük, özgül ağırlık değerleri) ve kimyasal özellikler sunan taşlar seçilmelidir (Küçükkaya, 2004). Eğer yapının taş ocağı belirlenemiyorsa, mühendislik özellikleri benzer yabancı taş ile tamamlama yapılmalıdır. Yabancı taş ile tamamlanan kısımlar, renk, doku, form gibi farklı karakterde sunularak, ekin sonradan yapıldığı ifade edilmelidir (Küçükkaya, 2004).

2.1.3.2. Biyolojik etkilere bağlı bozunmaların rehabilitasyonu

Biyolojik etkiler, tarihi yapıların estetik değerini azaltmakla beraber yapı taşlarında kimyasal ve fiziksel bozunmalara neden olur. Biyolojik bozunma

mekanizmalarının kontrolü için yöntemlerin geliştirilmesi, koruma çalışmalarında son derece önemlidir. Biyolojik kontroller içerisinde en sık kullanılan yöntemler kimyasal (biyositler) ve mekanik temizlemedir (Pozo-Antonio ve ark., 2016). Mekanik yöntemlerden biri olan bistüri kullanımının, uygulama süresinin oldukça uzun olması ve çatlaklarda gelişen kolonizasyonların tamamen temizlenememesi gibi dezavantajları vardır. Dolayısıyla çatlak içerisindeki biyolojik kalıntılar, tekrar büyüyerek gelişebilir (Rivas ve ark., 2018). Bir diğer mekanik temizleme yöntemi olan mikro kumlama ise yapı taşlarında yüzeysel kayıplara ve pürüzlülüğe neden olmaktadır (Gaspar ve ark., 2003). Kimyasal temizleme yöntemleri ise kayaç içerisindeki minerallerin ayrışması, renk değiştirmesi ve tuz birikmesi gibi etkilere sebep olmaktadır (Scheerer ve ark., 2009; Sanz ve ark., 2015; Sanz ve ark., 2017).

Son yıllarda geliştirilen lazer teknolojileri biyolojik temizlemede etkili sonuçlar vermiştir (Pozo-Antonio ve ark., 2016). Lazer (kızılötesi veya ultraviyole dalga boyları) ile yapılan fiziksel kontroller, düşük penetrasyon derinliği ile organizmaların belirli dereceye kadar hasar görmesine ve liken kabuğunun kısmi olarak temizlenmesi sağlamıştır (Sanz ve ark., 2015). Sıralı kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV) lazer tedavileri, biyolojik kolonizasyonları tamamen temizlediği ve yapı taşına zarar vermediği önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Scheerer ve ark., 2009; Sanz ve ark., 2015). Biyolojik etkileri yok etmek için geliştirilen tüm yöntemler, biyolojik aktivitelerin gelişme nedenlerinin (nem ve sıcaklık) tespit edilip koruyucu önlemlerin alınmaması durumunda, gelişimin tekrarlanması beklenmektedir (Nascimbene ve ark., 2009).

2.2. Tez Konusu İle İlgili Yapılmış Olan Önceki Çalışmalar

Bu bölümde yapı taşlarındaki bozunmalar, teşhisler ve rehabilitasyon ile ilgili başlıca literatür çalışmaları verilmiştir.

Christaras ve ark. (1994)'de taş yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için laboratuvar ve tarihi bir yapı üzerinde P ve S dalga testleri gerçekleştirmiştir. Çalışmada uygulanan her iki testin yapı taşlarınının mekanik davranışlarının yanı sıra bozunma durumları hakkında da bilgi verdiği belirlenmiştir.

Balaras ve Argiriou (2002) yılında yaptıkları çalışmalarında, kızılötesi termografi yönteminin çalışma prensibi ve yapı elemanlarından kaynaklı sorunları (ısı

kaçakları, ısı köprüleri, nem vs.) tespit etmek için yöntemin nasıl kullanılması gerektiğinden bahsetmişlerdir.

Fitzner ve ark. (2003)'de Mısır'da bulunan Karnak ve Luksor tapınaklarında gözlenen bozunmalar, tiplerine ve yoğunluklarına göre sınıflandırılarak, haritalama metodu ile görselleştirilmiştir. Haritalama metodu ile yapılardaki lineer ve prograsif bozunma durumları istatiksel olarak değerlendirilmiştir. Yöntemin taş bozunma teşhisinde önemli sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Moropoulou ve ark. (2003) yılında yaptıkları çalışma kapsamında, San Francisco Manastırı'nın, yapı malzemesi karakterize edilmiş ve bozunma mekanizmaları incelenmiştir. Sonuç olarak anıttaki andezit yapı taşlarından birkaç bloğun tamamen bozunduğu, benzer mineralojik kompozisyon ve mikroyapısal özelliklere sahip andezit ocağının yeri tespit edilerek yapıya önerilmiştir.

Grinzato ve ark. (2004) yılında yapmış oldukları çalışmarında, İtalya'da bulunan Santa Chiara Kilise'sindeki yapı taşlarının bozunma durumlarını, hem yerinde hemde laboratuvarda uygulanan P-dalga hızı ve kızılötesi termografi yöntemleriyle incelenmişlerdir. Sonuç olarak her iki yöntem arasında yüksek korelasyonlar tespit etmişlerdir.

Küçükkaya (2004)'de yapmış olduğu çalışmasında, kayaçların oluşumlarından, sınıflandırılmasına, tahrip olma nedenlerine ve koruma yöntemlerine kadar birçok konuda bilgiler yer almaktadır. Yapılarda kullanılan taşların aynı taş ocağından alınmasına rağmen düşük mühendislik özellikler gösteren farklı fasiyeslerden çıkarılmasının, ileride pek çok tahribata neden olabileceği tespitinde bulunmuştur. Ayrıca atmosferik etkilerin yapı taşlarındaki bozunma mekanizmalarını hızlandıracağını belirtmiştir.

Aydin ve Basu (2005)'de granit kayaçların karakteristik özellikleri L ve N tipi Schmidt çekiçleri kullanılarak karşılaştırmışlardır. L tipi çekicin kayaç heterojenitesine daha yüksek duyarlılık gösterdiği ve her iki tip çekiç arasında yüksek korelasyon katsayısı bulunduğunu belirtmişlerdir.

Lourenço ve ark. (2006) yılında yaptıkları çalışmalarında, kuzey Portekiz'de bulunan tarihi kent merkezindeki bina tipolojilerini, malzemelerini, yapı içi hava sıcaklığını ve bağıl nem ölçümlerini kapsayan araştırmalar ile incelemişlerdir. Nem problemlerinin ana nedenlerinin, yetersiz güneş ışığı, havalandırma ve ısıtma problemlerinden kaynaklandığı belirlemişlerdir.

Binda ve ark. (2007)'de İtalya'da bulunan Syracuse Katedrali'ndeki tahribatları, yer altı radarı, P-dalga hızı ve kızılötesi termografi testler ile incelenmişlerdir. Çalışmada kullanılan tahribatsız tekniklerin sadece nicel sonuçlar vermesinden dolayı, elde edilen sonuçların diğer ölçüm noktaları ile kıyaslanması gerektiği veya birden fazla tahribatsız tekniğin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Heinrichs ve Fitzner (2007) yılında yaptıkları çalışmalarında, Nemrut dağında yer alan heykellerden, Apollo Dexiosis, Xerxes I ve Aslan horoskopunun bozunma durumlarını P-dalga hızı ve laboratuvar çalışmaları ile incelemişlerdir. Ayrıca anıtlardaki bozunmaları yoğunluklarına ve tiplerine göre haritalandırıldıktan sonra hasar indeksleri (lineer ve aşamalı) önermişlerdir. Sonuç olarak bozunma haritaları ile P-dalga haritalarının uyumlu olduğunu ve önerilen hasar indekslerinin, taş malzeme ile yapılmış anıtlardaki bozunmaların nicelleştirilmesi için kullanılabilir bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Vasconcelos ve ark. (2007)'de granit taşların mukavemet ve elastise modülünün tahmini için P-dalga hızı ve Shmidt çekici testlerinin uygulanabilirliğini araştırmalardır. Her iki yönteminde kuvvet ve elastisite modülü arasında yüksek korelasyonlar bulunduğunu ve kayaçların mekanik özelliklerinin tahmin edilebilmesi için uygun teknikler olduklarını belirtmişlerdir.

Karatasios ve ark. (2009) yılındaki makalelerinde, Yunanistan'daki Poseidon Tapınağı'nın, temeline uygulanan konsolidasyon uygulamalarının etkinliğini incelemişlerdir. Rehabilitasyon uygulamasının değerlendirilmesi; gözenek yapısı, su emme, su iticilik, mekanik mukavemet ve dayanıklılık parametreleri üzerinden yapılmıştır. Uygulanan konsolidasyon ürünlerinden Rhodorsil RC-80 ve Funcosil-Steinfestiger daha yüksek mukavemet özellikleri gösterdiği, Funcosil Rhodorsil ürününde ise daha fazla çekme dayanamı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca güçlendirme uygulamalarında %95 ve %120'lik basınç mukavemet artışları belirlemişlerdir.

Spodek ve Rosina (2009)'da kızılötesi termografi yöntemi ile yapı taşlarındaki bozunma durumlarının tespiti üzerine araştırma yapmışlardır. Bu amaçla üç farklı tarihi yapıda incelemeler yapılmış ve kızılötesi termografinin diğer tahribatsız tekniklerle entegrasyonunun sonuçların güvenilirliğini arttıracağından bahsedilmiştir.

Yardım ve Tuncoku (2008) yılında yaptıkları çalışmalarında, Basmane bölgesinde bulunan Nebahat Tabak Evi'ndeki neme bağlı tahribatlar, yüzey nem ölçer, kızılötesi termografi ve laboratuvar çalışmaları ile incelemişlerdir. Kızılötesi termografi

ve yüzey nem ölçer testlerinin, incelenecek yapıların mevcut ve muhtemel nem kaynaklarınının nitel tahmininde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Halim ve Halim (2010)'da, Malezya'da bulunan Ipoh Old Post ofis binasındaki nemden kaynaklı tahribatları (kabarcıklanma, tebeşirlenme, lekelenme vb.) yüzey nem ölçüm testi ile incelemiştir. Nem tahribatlarının varlığının tespitinde, yüzey nem ölçer testinin güvenilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında incelenen yapıdaki tahribatların ana nedeninin çatı sızıntısından kaynaklandığı belirlenmiş ve kimyasal su iticiler kullanılması gerektiği önerilmiştir.

Kalagri ve ark. (2010) yılında yaptıkları makalede, dolgu tedavisi için hidrolik kireç bazlı malzemelerin etkinliği araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, hidrolik kirecin yapı taşının mekanik dayanımını arttırdığı ve kayaç ile fiziksel olarak uyum halinde çalıştığını tespit etmişlerdir.

Török (2010) yılında yaptığı çalışmasında, tarihi taş anıtlarda bozunmanın nedenlerini anlamak ve koruma yöntemleri geliştirmek için yerinde kullanılan tahribatsız test cihazlarını, örnekler ile detaylı olarak açıklamış ve birden fazla tekniğin uygulanmasının teşhisin güvenilirliğini arttırdığını belirtmiştir.

Caner (2011) yılındaki doktora çalışmasında, Nemrut Dağı'nda yer alan kireçtaşı anıtlarındaki bozunma tiplerini incelenmiş ve tahribatların ilerlemesini engellemek için nano taneli kalsiyum hidroksit sağlamlaştırıcı kimyasalı önermiştir.

Göze Akoğlu (2011) yılda yaptığı doktora tezinde, Nemrut Dağı anıtlarındaki kumtaşlarının mühendislik özelliklerini belirleyerek, yapı taşlarındaki bozunmaları P-dalga hızı ve kızılötesi termografi yöntemleri ile tespit etmiştir. Anıtlardaki malzeme kayıpları, yuvarlaklaşma, çatlaklar ve granüller ayrışma gibi tahribatların önüne geçmek için kimyasal sağlamlaştırıcı önermiştir.

Kaplan ve ark. (2013) yılındaki makalelerinde, Manisa'da bulunan Aigai antik kentindeki andezit yapı taşlarının bozunma sorunlarını kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmada andezit yapı taşlarındaki bozunmaların ana nedeninin, ıslanma-kuruma ve donma-çözünme döngülerinden kaynaklanan mikro çatlaklar olduğunu belirlemişlerdir.

Lerma ve ark. (2011)'de Belçika'da bulunan Arenberg Kalesinin ön kapısı ve Katholieke Üniversitesinin bir bölümünü kızılötesi termografi testi ile analiz etmişlerdir. Termal görüntülerle sunulan yaklaşımın nemden etkilenen alanları belirlemede yardımcı olduğu fakat nem ölçer gibi yöntemlerin yanında yetersiz kaldığını vurgulamışlardır.

Yavuz (2011) yılındaki çalışmasında, andezit yapı taşlarının donma-çözünme ve termal şok döngüleri sonrasındaki bozunma durumlarını incelemiştir. Donma-çözünme döngüleri sonrasında kayaçların gözeneklilik ve su emme değerlerinin arttığı, termal şok döngülerinden sonra ise azaldığı tespit etmiştir.

Eklund ve ark. (2013) yılındaki makalelerinde, taş örneklerin mutlak nem içeriği üç farklı yüzey nem ölçer ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan yüzey nem ölçüm cihazlarının, mutlak nem içeriği ile ilgili güvenilir sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Paoletti ve ark. (2013) yılındaki çalışmalarında, anıtlarda oluşabilecek tahribatlara ön tanı koyabilmek için kızılötesi termografi yönteminin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla İtalya'da bulunan Santa Maria Kilise'si, 2009 depremi öncesi ve sonrasında kızılötesi termografi testi ile incelemişlerdir. Sonuç olarak depremden sonra meydana gelen bazı hasarların önceden tespit edilebilmesi için kızılötesi termografinin kullanılabilir bir yöntem olduğunu belirtilmiştir.

Bisegna ve ark. (2014) yılında yaptıkları makalede, tarihi yapılarda meydana gelebilecek tahribatları önceden tahmin etmek için kızılötesi termografi metodunun etkinliğini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla İtalya'nın, L'Aquila şehrindeki tarihi yapılar, 2009 yılında meydana gelen deprem öncesinde ve sonrasında kızılötesi termografi ile incelenmiştir. Deprem sonrasında meydana gelen hasarların daha önce tespit edilen ısıl izlere karşılık gelmesinden dolayı kızılötesi termografi yönteminin hasar tespitinde önemli sonuçlar verdiği belirlemişlerdir.

Concu ve ark. (2014)'de taş yapı malzemesinin basınç dayanımını ve elastisite modülünü, P-dalga hızı ile değerlendirmişlerdir. P-dalga hızı testi ile kayacın mukavemet özellikleri arasında yüksek korelasyon olduğu ve dolayısıyla basınç dayanımının dolaylı yoldan tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Cuccuru ve ark. (2014) yılındaki yaptıkları makalelerinde, taş yapı malzemelerinin bozunma durumunu P-dalga hızı testi ile incelenmişlerdir. Çalışmada laboratuvar ve anıt üzerinde yapılan P-dalga hızı testlerinin karşılaştırılmasının bozunma tespiti için faydalı bir yaklaşım olduğunu ve yapı taşlarındaki litoloji değişimlerinin bozunmaya karşı farklı bir duyarlılık gösterdiğini belirtmişlerdir.

Fener ve İnce (2015)'de Konya'daki bir çok tarihi anıtta yapı malzemesi olarak kullanılmış olan andezitlerin, donma-çözünme döngüleri sonrasındaki bozunma durumlarını incelenmişlerdir. Çalışmada donma-çözülme döngüleri ile andezitlerin

gözenekliliği arasında doğrusal, tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük mukavemeti değerleri arasında ters ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

Pascale ve Lolli (2015)'de Michelangelo'nun Davud heykelinde bulunan çatlakları P-dalga hızı testi ile incelenmişlerdir. Davud heykelindeki en ciddi çatlakların, "bronkon" olarak adlandırılan sağ bacağında olduğu tespit edilmiş ve P-dalga hızının taş anıtlardaki çatlakların tespitinde önemli sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Sanz ve ark. (2015) yılındaki çalışmalarında, biyolojik aktivitelerin temizlenmesi amacıyla kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV) lazer yöntemlerinin etkinliğini araştırmışlardır. Öncelikli olarak IR ve ardından UV sıralı ışınlanma, kayacın yüzeyinde herhangi bir deformasyon oluşturmadığını ve biyofilm tabakasının çıkarılmasında önemli sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

(Cappa ve ark., 2016)'da Ayasofya Müzesi'nde geçmişte yapılmış müdahalelerin yerini ve kullanılan malzemelerin çeşitliliğini belirlemek amacıyla kızılötesi termografi yönteminin etkinliğini araştırmışlardır. Sonuç olarak pandantiflerin farklı dönemlerde yapıldığı ve 6. yüzyıldan sonra yeniden inşa edilen bölümlere taş bloklarının eklendiğini tespit etmişlerdir.

Borsoi ve ark. (2017)'de nano partikül katkılı kireç malzemenin yapı taşlarındaki sağlamlaştırma etkinliğini ve fiziksel uyumunu incelemişlerdir. Çalışmada önerilen malzemenin yapı taşının 16 mm. kadar derinliğine nüfus ettiğini ve kayacın mekanik mukavemetini önemli derecede arttırdığını tespit etmişlerdir.

Heidari ve ark. (2017a)'de taş malzeme ile inşa edilmiş anıtlardaki bozunma derecelerinin nicelleştirilmesi için yenilikçi bir model önermişlerdir. Bu amaçla çalışmada karot örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri (P-dalgası hızı, Brezilyan çekme mukavemeti ve sürtünme ile aşınma kaybı) belirlendikten sonra hızlandırılmış yaşlandırma testleri (donma-çözülme, termal şok, tuz kristalizasyonu, ıslatma-kuruma) yapılmıştır. Elde edilen veriler ile bulanık mantıkta bozunma indeksleri belirlenerek, literatürde bulunan lineer ve aşamalı hasar indeksleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bulanık mantık ile elde edilen hasar indeksinin, taş anıtların bozunma derecesini belirlemede güvenilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Heidari ve ark. (2017b) yılındaki çalışmalarında, taş anıtlardaki bozunmaların derecelendirilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu amaçla makalede, yapılardan derlenen blok numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlendikten sonra hızlandırılmış yaşlandırma testleri uygulanmış ve Fuzzy Mamdani algoritması ile hasar

indeksi oluşturulmuştur. Elde edilen indeks, önceki çalışmalarda önerilen lineer ve aşamalı hasar indeksleri ile karşılaştılmış ve algoritmanın kayaçların bozunma dercelendirilmesinde önemli sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Hoła ve ark. (2017)'de Polonya'da ortaçağ döneminden günümüze gelen tarihi bir konutun duvarlarındaki nem içeriğini, yüzey nem ölçer ve laboratuvar çalışmaları ile analiz etmişlerdir. Sonuçta yüzey nem ölçümleri ile malzemenin kütle nemi arasında yüksek korelasyon bulunmuş ve duvarların nem derecelerine göre tahribatlar, sınıflandırılmıştır.

Yavuz ve ark. (2017) İzmir ilinde, bir çok tarihi yapıda kullanılmış olan andezit yapı taşının fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerine kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Bölgedeki andezitlerin fiziko-mekanik ve hızlandırılmış yaşlandırma testlerine (donma-çözünme, ıslanma-kuruma, tuz kristalleşmesi) göre oldukça dayanıklı bir kayaç olduğu belirtilmiştir.

Fais ve ark. (2018) yılındaki çalışmalarında, tarihi yapılarda kullanılan taş yapı malzemelerindeki bozunmaların teşhisine yönelik üç boyutlu tahribatsız bir model önermişlerdir. Yapı taşlarındaki bozunmaların teşhisinde P-dalga hızı testinin önemli sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca tek tahribatsız teknikle bozunmalara tanı koyulamayacağını belirtmişlerdir.

İnce ve ark. (2018)'de Konya'da bulunan Ferit Paşa Su Sarnıcındaki bozunmaları P-dalga hızı, Schmidt çekici, yüzey nem ölçer ve kızılötesi termografi yöntemleri ile incelemişlerdir. Çalışmada bozunma haritaları ve tahribatsız test teknikleri ile oluşturulan haritaların beraber yorumlanmasının, bozunma teşhisinin güvenilirliğini arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca nem kaynaklı bozunmaları tespit etmek için sadece kızılötesi termografinin kullanılmasının yetersiz kaldığı, yüzey nem ölçer, Schmidt çekici ve P-dalga hızı testlerinin daha anlamlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Korkanç ve ark. (2018) yılında yaptıkları makalede, Karaman, Taşkale'de bulunan tarihi tahıl ambarlarının, jeolojik özelliklerini belirlemiş ve kayaçtaki tahribatları, kızılötesi termografi, yüzey nem ölçer ve Schmidt çekici sertlik testleri ile incelemişlerdir. Çalışmada tahribatsız yöntemlerden yüzey nem ve Schmidt çekici sertlik testleri arasında yüksek korelasyon olduğu belirtilmiştir.

2.3. Bölgede Yapılan Önceki Çalışmalar

Bu bölümde, Niğde bölgesinde yapılmış ulusal ve uluslararası çalışmalara değinilmiştir.

Beekman (1966) yılında yaptığı çalışmasında, Melendiz Dağı ile Hasandağı bölgesindeki ilk detaylı araştırmayı yapmıştır. Çalışma kapsamında bölgedeki bazaltik lavların petrografik yapısı incelemiş ve Hasandağı'ndaki lavların hornblend-hipersten bazalt, Melendiz Dağ'ındaki lavların ise ojit-hipersten bazalt olduğu belirlenmiştir.

Batum (1978)'de yaptığı çalışmasında, Göllüdağ ve Acıgöl volkanitlerine üzerine incelemeler yapmış ve bölgedeki volkanik oluşumun Anadolu levhası ile Arap-Afrika levhasının kıta-kıta çarpışmasından dolayı meydana geldiğini tespit etmiştir.

Korkanç ve Tuğrul (2004)'de, Niğde Bölgesi çevresindeki Karataş volkanitleri, Melendiz volkanitleri ve İğredağ bazaltları üzerine kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Olivin bazaltlarının, bazaltik andezite göre daha iyi mekanik ve fiziksel bağlara sahip olduğu belirtilmiştir.

Tokgöz (2008) yüksek lisans tezinde, Niğde İli'nde bulunan, traverten ve mermer yapı taşları ile inşa edilmiş Roma havuzu ve Kemerhisar su kemerleri anıtlarındaki bozunmalar ve taşların mühendislik özellikleri üzerine kapsamlı bir araştırma yapmıştır.

Korkanç ve Savran (2010) yılında yapmış oldukları Tübitak projesinde, Niğde bölgesinde bulunan 14 anıttaki yapı taşlarının, mühendislik özelliklerini ve tahribat sorunlarını araştırmışlardır. Çalışmada andezit ve travertenlerin, ignimbrit ve tüflere göre daha yüksek mühendislik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapı taşlarının farklı fasiyeslerden seçilmesi ve nemin, bölge anıtlardaki tahribatların ana kaynağı olduğunu belirtilmiştir.

Korkanç (2013)'de Niğde bölgesinde bulunan 9 tarihi yapıda kullanılan taşların mühendislik özelliklerini ve bozunma durumlarını belirlemek amacıyla, fiziksel ve petrografik incelemeler yapmıştır. Andezit yapı taşlarında gözlenen bozunmaların, ignimbrit ve tüflere göre daha az olduğu tespit etmiştir. Ayrıca bozunmaların ana nedeninin nem ve taşların farklı fasiyeslerden seçilmesinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Ekiz (2015) yılındaki araştırma raporunda, Niğde bölgesi köylerindeki tarihi yapılar üzerinde kapsamlı yüzey araştırmaları yapmıştır. Çalışmada Hristiyan nüfusunun yoğunlukta olduğu köylerdeki anıtların işçilik ve süslemelerinin oldukça

nitelikli olduğu, Müslüman köylerindeki yapıların daha sade özelliklere sahip olduklarını vurgulanmıştır.

Korkanç ve Savran (2015) yılında yapmış olduğu çalışmalarında, farklı yapı ve yapı taşlarındaki biyolojik etkileri belirlemek amacı ile Niğde ilinde bulunan 6 tarihi yapıyı incelemişlerdir. Makalede terk edilen tarihi yapıların, aktif kullanılan yapılara göre biyolojik bozunma etkilerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca terk edilen tarihi yapılarda, taş aralarındaki derzlerde ve taş pürüzlülüğünün fazla olduğu yerlerde otsu ve odunsu bitkilerin geliştiği tespit edilmiştir.

Kocaman (2016) yılında yaptığı yüksek lisans çalışmasında, Niğde bölgesinde 1800-1850 tarihleri arasında inşa edilmiş 19 kilise yapısını plan, cephe ve süsleme başlıkları altında incelemiştir. Cami fonksiyonu verilen kiliselerin günümüze kadar iyi korunarak geldiği, terk edilen kiliseler de ise yapısal deformasyonlar olduğunu belirtmiştir.

Korkanç (2018)'de Niğde ilinde bulunan Tyana su kemerlerindeki bozunmalar ve bozunmalara neden olan faktörleri belirlemek için yapı taşlarının jeomekanik ve jeoteknik özelliklerini araştırmıştır. İncelenen anıttaki bozunmaların ana nedeninin yapı taşlarının farklı fasiyeslerden alınması ve insanlardan kaynaklı etkiler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca restorasyon çalışmalarına altlık olması için su kemerinin antik taş ocağı belirlenmiş ve yapıda kullanılması önerilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Koruma-restorasyon çalışmalarında, yapı taşlarında meydana gelen bozunmaların karakterizasyonu, hasar derecelendirilmesi ve tahribatlara yönelik rehabilitasyon uygulamalarının geliştirilmesi amacıyla laboratuvar ve saha çalışmalarını kapsayan sistematik bir çalışma gerektirmektedir (Fitzner ve ark., 2003). Bu amaçla 2014-2019 tarihleri arasında yürütülen tez çalışması; "bölge araştırması", "saha çalışmaları" ve "laboratuvar çalışmaları" olmak üzere üç ana başlık altında yürütülmüştür.

3.1. Bölge Araştırması

3.1.1. Niğde İli fiziki konumu

Coğrafi konum olarak 37° 25′ - 38° 58′ kuzey enlemleri ile 33° 10′- 35° 25′ doğu boylamları arasında yer alan Niğde İli, Kapadokya bölgesinin güneyinde yer almaktadır (Şekil 3.1.) (Anonim, 2018). Deniz seviyesinden ortalama 1,229 m. yükseklikte olan şehirin, kuzeyinde Nevşehir, batısında Aksaray ve Konya, güneyinde Mersin ve Adana, doğusunda ise, Kayseri illeri yer almaktadır. Kentte, Bor, Altunhisar, Çiftlik, Çamardı ve Ulukışla olmak üzere altı ilçe ve 124 köy bulunmaktadır.

Şekil 3.1. Niğde İli ve ilçelerinin konumu (Anonim, 2018).

3.1.2. Niğde İli iklim durumu

Karasal iklimin hakim olduğu Niğde İli'nde, yaz ayları sıcak ve kurak, kışlar ayları ise soğuk ve kar yağışlıdır (Çizelge 3.1.). Çizelge 3.1.'e göre ortalama en fazla yağış mayıs ayında, en az yağış ise ağustos ayında görülmektedir. Bölgedeki ortalama en yüksek sıcaklık temmuz ayında görülürken, ortalama en düşük sıcaklık ocak ayında ölçülmüştür (MGM, 2018).

Çizelge 3.1. Niğde İli meteoroloji istasyonu verileri (1950-2018) (MGM, 2018).

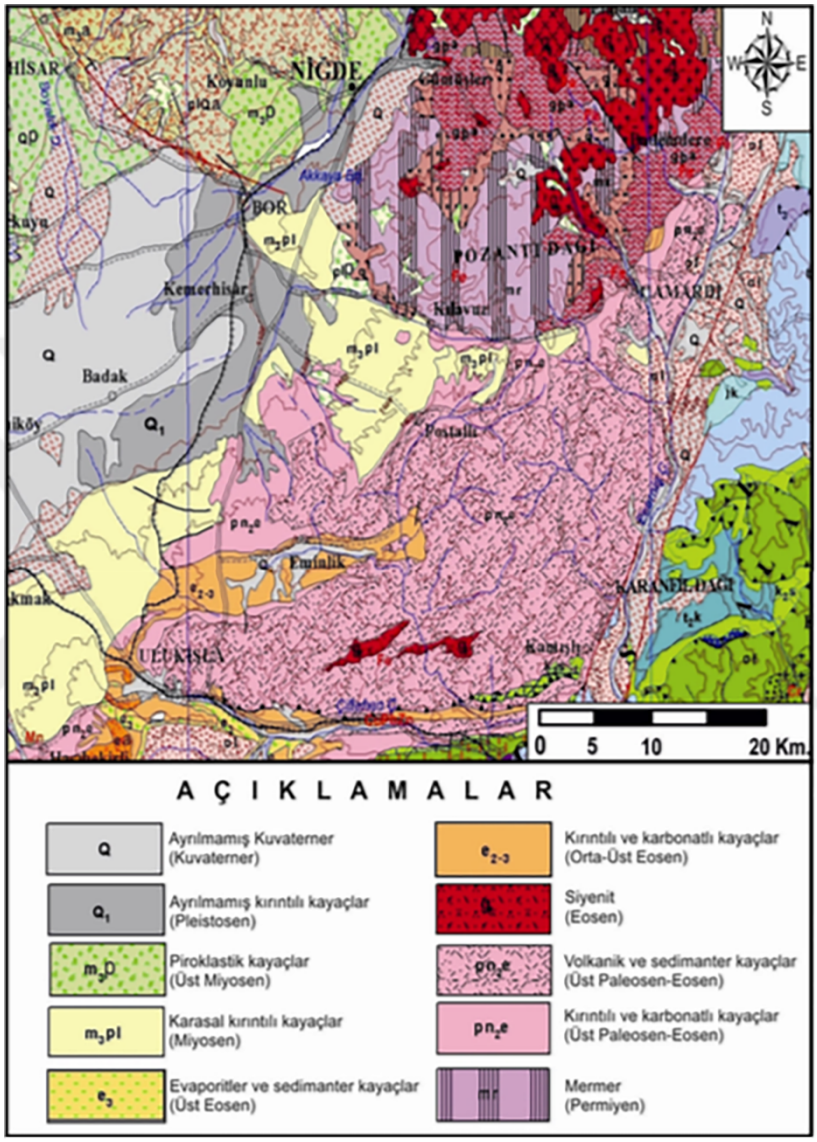
Aylar	Sıcaklık(°C)			Aylık ortalama yağış miktarı (kg/m^2)
	Ortalama	Minimum	Maksimum	
Ocak	-0.4	-4.6	4.8	34.8
Şubat	1.0	-3.5	6.3	33.6
Mart	5.0	-0.3	10.9	35.6
Nisan	10.6	4.3	16.7	42.1
Mayız	15.2	8.3	21.4	49.0
Haziran	19.4	11.8	25.7	27.5
Temmuz	22.7	14.7	29.3	4.5
Ağustos	22.4	14.4	29.5	5.5
Eylül	17.9	10.3	25.6	10.0
Ekim	12.2	5.9	19.6	26.8
Kasım	6.2	1.1	12.9	31.3
Aralık	1.6	-2.6	7.0	40.4

3.1.3. Kilise yapısının bulunduğu alanın jeolojisi

Niğde bölgesindeki lav akıntıları, andezit-bazalt arası bir özellik göstermektedir (Şekil 3.2.). Birimin alt düzeyleri andezite, üst düzeyleri ise bazalta daha yakındır. Yöredeki andezitik lav akıntıları oldukça monoton bir görünüme sahiptirler. Porfirik yapıda plajiyoklaz ve klinopiroksenler, zaman zaman da ortopiroksen, hornblend ve biyotitler makroskopik olarak görülebilen fenokristallerdir (Batum, 1978; Atabey ve ark., 1990; Korkanç ve Tuğrul, 2004).

Genellikle lav akıntıları halinde görülen, fakat alt seviyelerinde tüf, yer yer volkanik breş ve aglomeralar bulunduran birim, ilk kez Beekman (1966) tarafından

Melendizdağ volkaniti olarak adlandırılmıştır. İncelenen yapının bulunduğu alanda andezitik lav akıntıları yaygın olarak gözlenmektedir. Yapıda kullanılan taşlar da bu birimin yakın alanlarından, yüzeyden kolayca elde edilebilecek uygun alanlardan alınmış olup, deneysel çalışmalar için de bu alanlardan blok örnekler alınmıştır.



Şekil 3.2. Niğde bölgesi jeoloji haritası (Korkanç ve Savran, 2010).

3.1.4. Niğde İli'nin tarihsel gelişimi

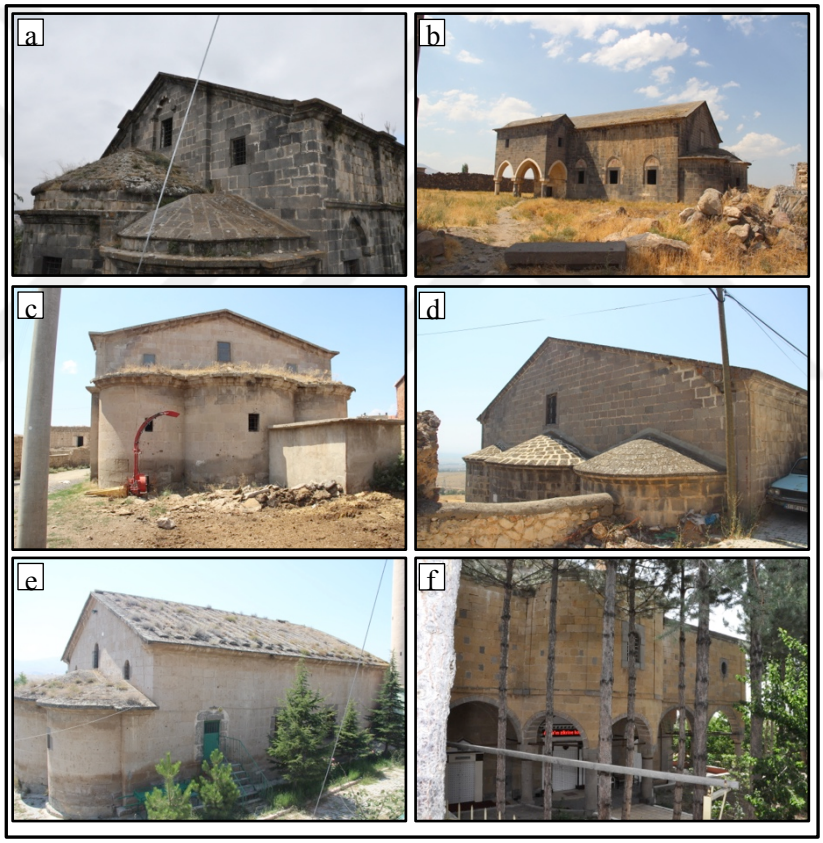
Kapadokya bölgesinin güneyinde yer alan Niğde ili, neolitik dönemden günümüze kadar bir çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Bölgede bilinen ilk uygarlık olan Hatti'lerin yıkılması ile yerine Hitit devleti kurulmuş ve M.Ö. 1200'lere kadar bölgede Hitit hakimiyeti sürmüştür (Kocaman, 2016). Hitit'ler döneminde ismi Nakita olan yerleşim yeri, önce Asur'lular sonrasında Frig'lerin egemenliğine girmiştir.

Frig'lerden sonra Niğde'de M.Ö. 7. yy.'da Kimmer'ler, M.Ö. 6. yy.'da Med'ler ve M.Ö. 550'de Pers'lerin hakimiyetleri yaşanmıştır (Yılmaz, 1999; Çoban, 2015). M.Ö. 4. yy'da Makedonya kralı İskender'in Pers'leri yenmesi ile İran ve Anadolu'yu imparatorluk sınırlara katmıştır (Bingöl ve Üngör, 2015). İskenderin ölümü ile Makedonya imparatorluğu parçalanmış ve ortaya çıkan Helenistik imparatorluklardan biri olan Selevkos Krallığı, bölgenin hakimi olmuştur. M.Ö. 255 tarihinde III. Ariarathos, Selevkos Krallığı'nın himayesinde Kapadokya Krallığı'nı kurarak bağımsızlık ilan etmiştir (Soydan, 2016). Kapadokya Krallığı Selevkosların Anadolu'dan çekilmesi ile Roma himayesine girerek, Roma'nın bir eyaleti olmuştur (Soydan, 2016). Roma döneminde inşa edilen Roma Havuzu, Tyana (Kemerhisar) su kemerleri ve sivil mimari örnekler ile Niğde, döneminin önemli yerleşim birimlerinden biri haline gelmiştir (Yıldız, 2013). Roma İmparatorluğu'nun M.S. 395 tarihinde ikiye ayrılması ile Niğde, Doğu Roma İmparatorluğu'nun sınırlarında kalmıştır. Doğu Roma İmparatorluğu, Anadoluda'ki Arap akınları ile iyice gerilemiş ve bölge, 1166 tarihinde Anadolu Selçuklu hakimiyetine geçmiştir. Bu dönemde inşa edilen Alaaddin Camii, Akmedrese, Sungurbey Camii, Hüdavent Hatun Türbesi, Yerhan, Sarı Han, Sıraçakıl Han gibi anıtlar, kentin kimliğinin şekillenmesinde etkili olmuştur. Selçuklu'ların Kösedağ savaşında Moğol'lara yenilmesi ile bölge İlhanlı'ların idaresine geçmiştir. Karamanoğlu Alaeddin Ali Bey, 1366 yılında Niğde ve Aksaray'ı Karamanoğulları Beyliği'ne katmıştır (Acar Ata, 2017). Daha sonra Fatih Sultan Mehmet'in Karamanoğulları'na yaptığı seferler ile Niğde'de, Cumhuriyet dönemine kadar Osmanlı hakimiyeti sürmüştür. Paşa Cami, Öküz Mehmet Paşa Kervansarayı, Dışarı Cami, Niğde Saat Kulesi gibi tarihi yapılar, Osmanlı döneminde inşa edilmiş önemli eserlerdir. Cumhuriyetin ilan edildikten sonra, 1924 tarihinde Niğde il statüsüne girmiştir.

3.1.4.1. Niğde İli geç Osmanlı İmparatorluk dönemi kiliselerinin mimari özellikleri

Niğde bölgesinde, 1800-1850 tarihleri arasında yapılmış 23 kilise bulunmaktadır (Şekil 3.3.). Benzer plan tipolojisi, yapı malzemesi ve yapım tekniğini ile inşa edilen kiliseler, üç nefli, üç apsisli ve yarı açık narteksli bazilikal plan tipindedir. Anıtların girişleri, yarı açık nartekslerin bulunduğu batı cepheden sağlanmaktadır. Yarı açık narteksler, bazı kiliselerde cephe boyunca devam ederken, bazı kiliselerde U formunda olup güney ve kuzey cephelere kadar devam etmektedir. Kiliselerin güney ve kuzey cepheleri simetrik karakter taşırken, doğu cephelerinde genellikle yarım daire formlu

apsisler yer almaktadır. Yapıların çatılarının tamamı beşik çatı sisteminde yapılmıştır. Kiliselerin cepheleri oldukça sade iken, iç mekanları ikonları, bitkisel motifler ve mimari plastik ögeler ile zenginlik göstermektedir. Kesme örgü taş sistemi ile inşa edilmiş kiliselerin yapı malzemesi, bölgeden çıkartılan andezit ve tüf kayaçlarından oluşmaktadır. Andezit ve tüfler anıtların duvarlarında, sütunlarında, merdivenlerinde, lentolarında ve çatılarında kullanılmıştır. Bölgedeki kiliselerin fonksiyonları incelendiğinde, 15 kiliseye cami fonksiyonu verilmiş, 5 kilise terk edilmiş ve 3 kilise dönem dönem gelen ziyaretçiler ile kilise fonksiyonunu devam ettirmektedir. Terk edilen kiliseler, bakımsızlık yağlama ve koruma bilincinin eksikliği nedenleriyle oldukça metruk haldedir.



Şekil 3.3. Niğde bölgesinde bulunan geç Osmanlı Dönemi kiliselerden bazı örnekler; a) Hamamlı Kilisesi, b) Hasaköy Kilisesi, c) Dikilitaş Kilisesi, d) Hançerli Kilise Cami, e) Aktaş Kilise Cami, f) Fertek Kilise Cami.

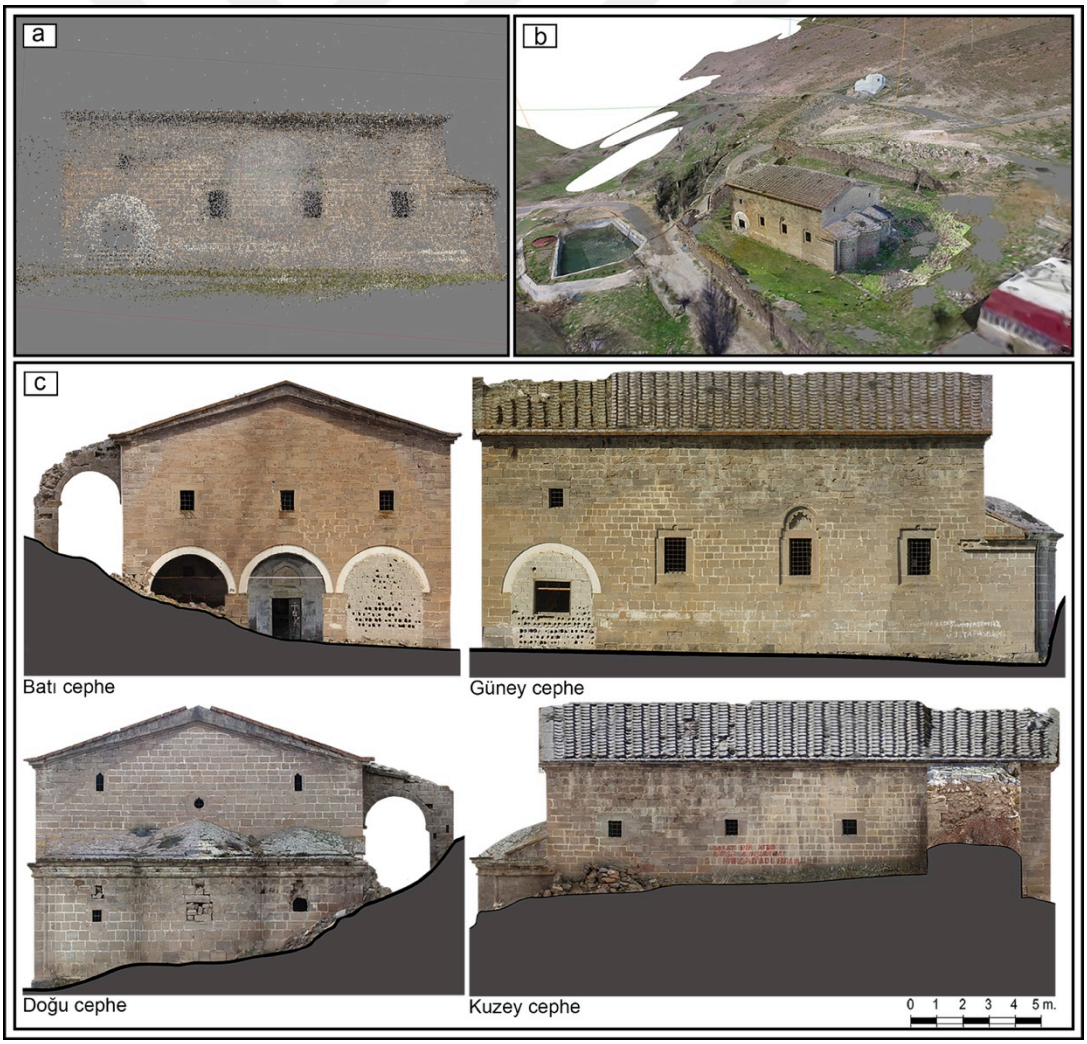
3.2. Saha Çalışmaları

Tez kapsamında gerçekleştirilen saha çalışmaları; ”Küçükköy Kilisesi’nin grafik belgelenmesi ve tanımı”, “bozunmaların görsel analizi”, “litoliji analizi”, “tahribatsız testler” ve yapı taşlarının mühendislik özelliklerinin tayini için “blok numune dereleme” olmak üzere beş farklı aşamada yürütülmüştür.

3.2.1. Küçükköy Kilisesi'nin grafik belgelenmesi ve tanımı

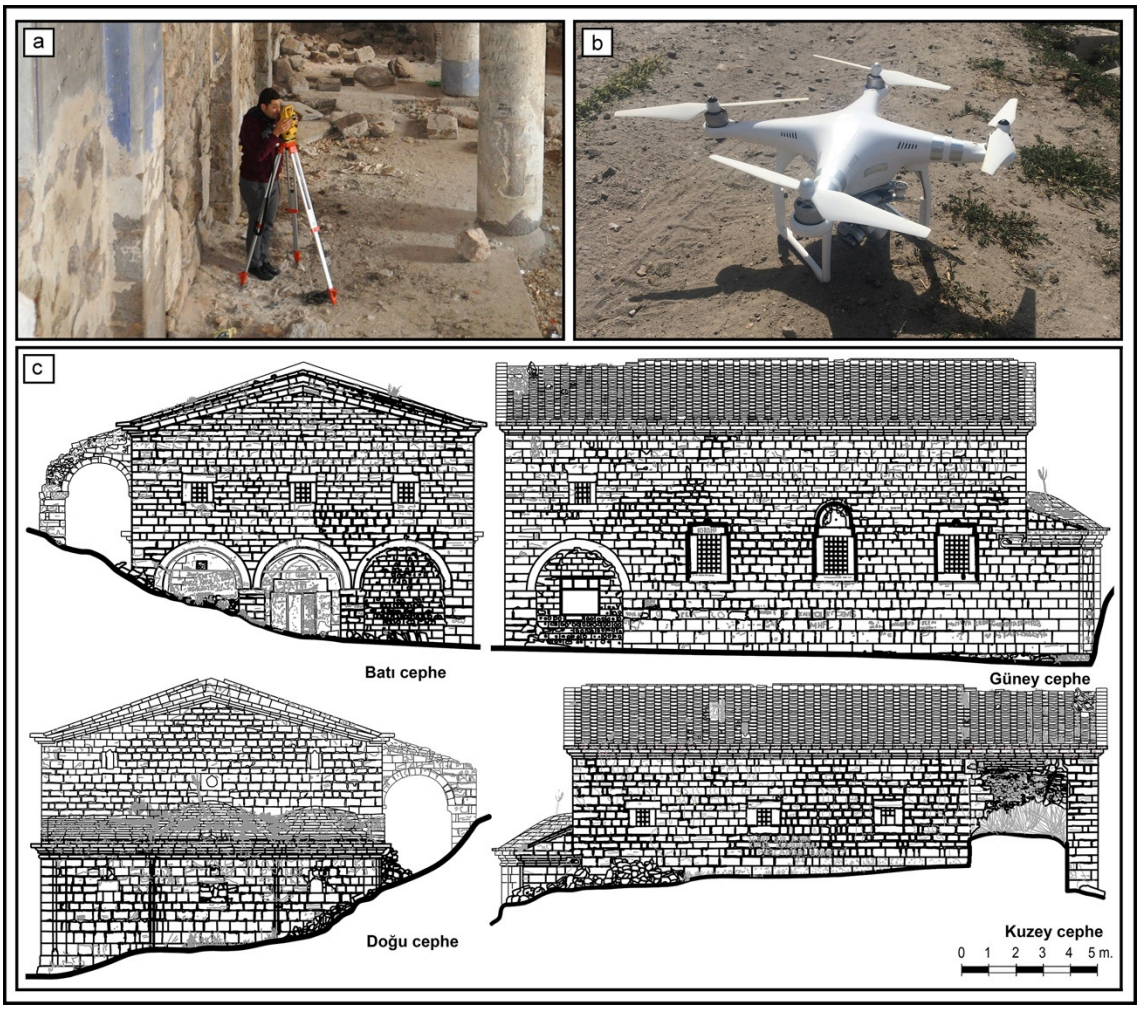
3.2.1.1. Grafik belgeleme

Küçükköy Kilisesi'nin grafik belgelenmesi, 3 kişilik ekip ile Temmuz 2015 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Yapı planlarının (+2.95 ve +5.85 kot planları) ölçümleri Topcon marka GTS-250 model total station ve geleneksel ölçüm metotları ile yapılmıştır. Yapının cephe rölövelerinin elde edilmesinde, öncelikle cephelerin ortofoğrafları hazırlanmıştır. Bu amaçla Nikon D80 fotoğraf makinesi ve DJI Phantom 3 advanced dron ile sıralı fotoğraflar çekilmiştir. Daha sonra fotoğraflar, Agisoft Photoscan Pro programında işlenerek, cephelerin ortofotoğrafları elde edilmiştir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Ortofotoğrafların elde edilme aşamaları; a) fotoğrafların birleştirilmesi, b) üç boyutlu modelin elde edilmesi, c) cephe ortofotoğraflarının görüntüleri.

Ortofotoğraflar, total station (Şekil 3.5.a) ve dron (Şekil 3.5.b) ile vaziyet planının ve cephelerin rölöve çizimleri hazırlanmıştır (Şekil 3.5.c). Çizimler üzerine bozunma tipleri, litolojik özellikler ve tahribatsız testlerden (yüzey nem ölçüm, Schmidt çekici, P-dalga hızı ve taşınabilir mikroskop) elde edilen sayısal veriler işlenerek haritalar oluşturulmuştur. Ayrıca kızılötesi termografi görüntüleri, cephe ortofografları üzerine işenerek yapının kızılötesi termografi haritaları hazırlanmıştır.



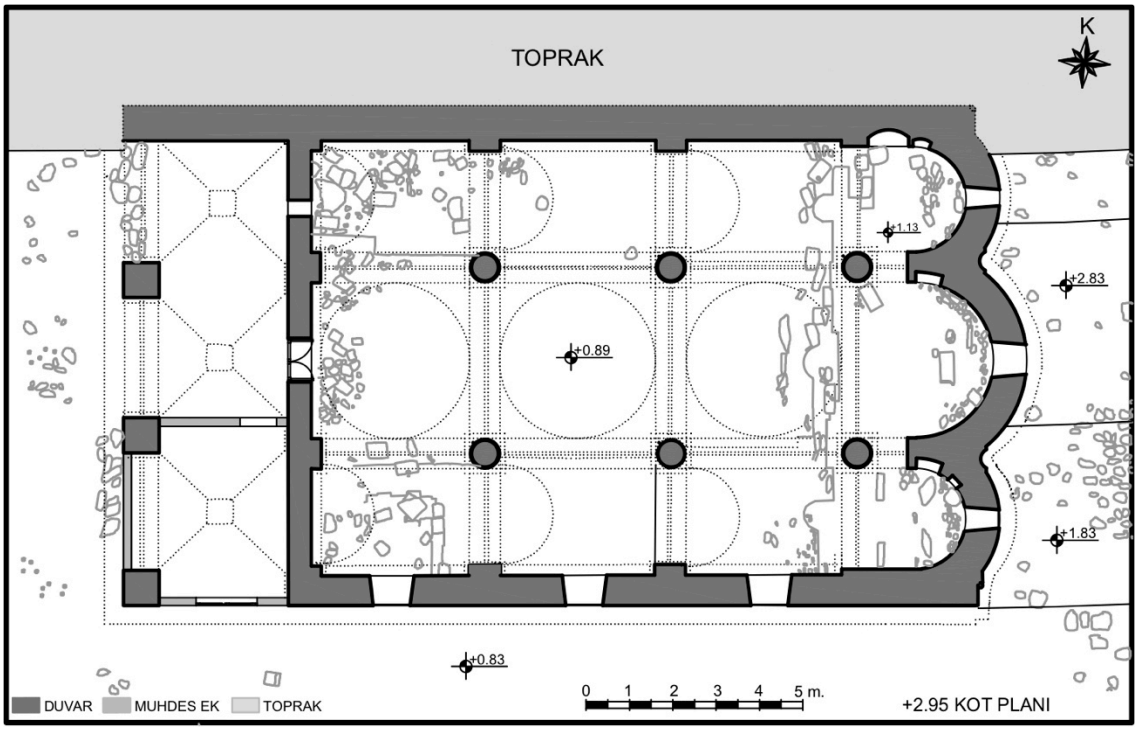
Şekil 3.5. Rölöve aşamaları; a) total station ile dijital ölçümlerin alınması, b) dron ile sıralı fotoğrafların çekilmesi, c) cephelerin rölöveleri.

3.2.1.2. Küçükköy Kilisesi'nin tanımı

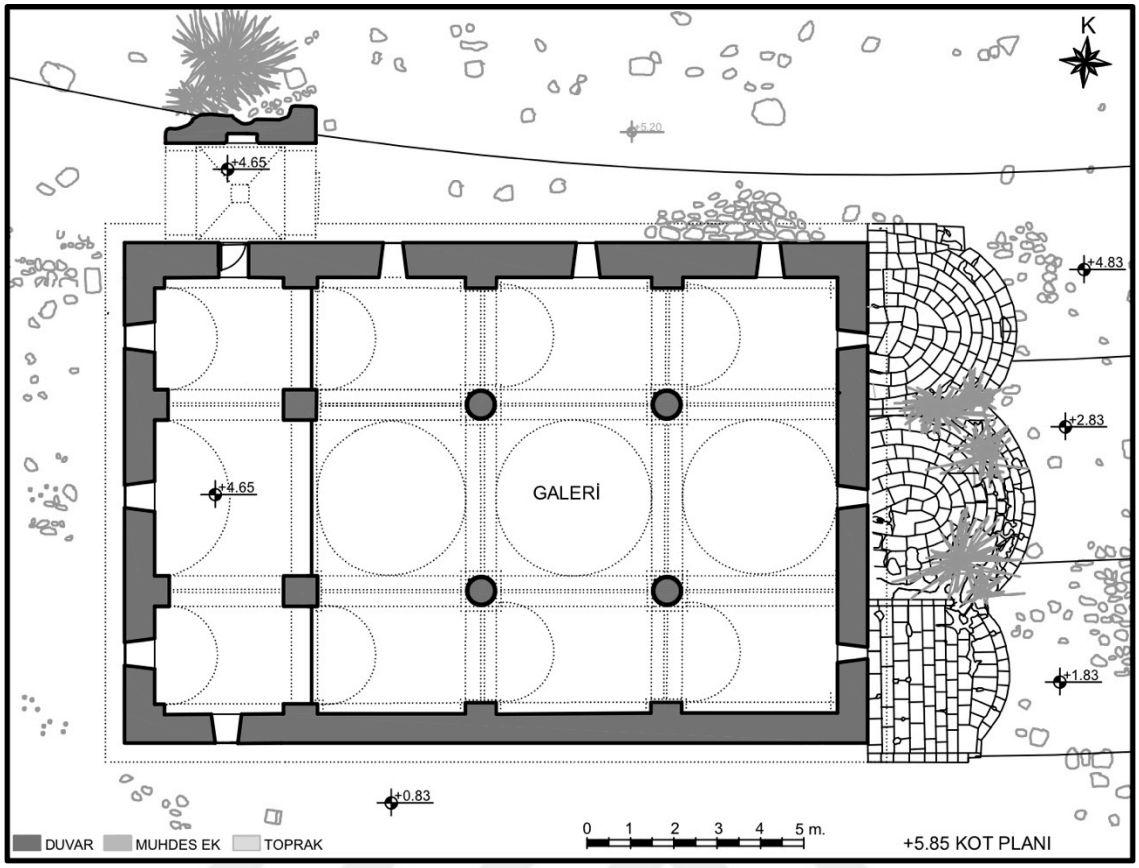
Küçükköy Kilisesi, Niğde ilinin yaklaşık 11 km batısında, Küçükköy köyünde yer almaktadır. Anıt 1834 yılında, Noel baba karakterinin ilham kaynağı olan Aziz Nicolaus'a ithafen yaptırılmıştır (Ekiz, 2015). Kilise eğimli bir arazi üzerinde doğu batı doğrultusunda konumlanmaktadır (Şekil 3.6).

Şekil 3.6. Küçükköy Kilisesi vaziyet planı.

Üç apsisli üç nefli bazilikal plan tipinde inşa edilmiş olan Küçükköy Kilisesi'nin, giriş katı (Şekil 3.7.) ve kuzey cepheden girişin sağlandığı galeri katı bulunmaktadır (Şeki 3.8.).



Şekil 3.7. Küçükköy Kilisesi +2.95 kot planı.

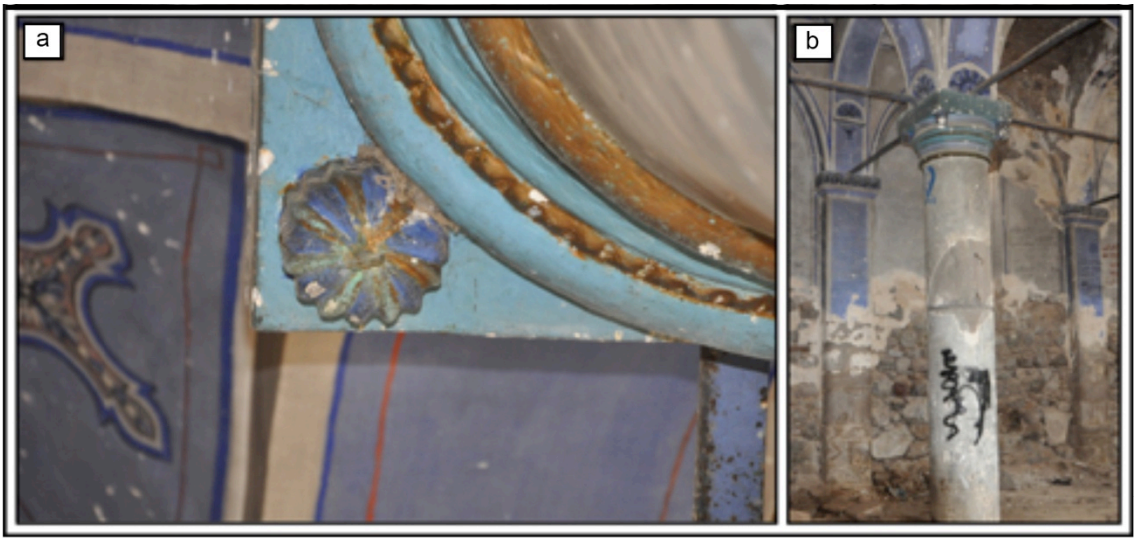


Şekil 3.8. Küçükköy Kilisesi +5.85 kot planı.

İki sıra sütun ile üç nefe ayrılan yapının orta nefi yan neflere göre daha yüksek ve geniştir. Nefler birbirinden üçer sıra sütunla ayrılmaktadır (Şekil 3.9.a). Apsisin önünde yer alan sütunlarda, alçak kaide ve sade sütun başlığı vardır (Şekil 3.9.b),

Şekil 3.9. Küçükköy Kilisesi'nin iç mekan görünüşleri; a) sütun sırasının görünüşü, b) apsis önünde yer alan alçak kaideli sütun görünüşü

Kilisenin diğer sütunlarında ise yüksek kaide ve köşeleri sarkıtlı impost başlıklar bulunmaktadır (Şekil 3.10.c ve d).



Şekil 3.10, a) yüksek kaideli sütun başlıklarında yer alan sarkıtlı impost görünüşü, b) yüksek kaideli sütun görünüşü.

Yapının yan neflerinin üzeri beşik tonoz (Şekil 3.11.a) ile örtülü iken, orta nefin üzeri kubbe ile örtülüdür (Şekil 3.11.b). Yapnın kubbeye geçiş elemanı olarak, üzerinde dört İncil yazarının fresklerinin, mavi renk ağırlıklı bitkisel süslemelerin ve vazodan çıkan çiçek motiflerinin yer aldığı pandantif bulunmaktadır (Kocaman, 2016) (Şekil 3.11.c ve d).

Şekil 3.11. Küçükköy Kilisesi'nin iç mekan görünüşleri; a) beşik tonoz görünüşü, b) kubbe görünüşü, c) ikon ve süslemelerin görünüşleri, d) İncil yazarının yerinden sökülmüş freski.

Yapının batı girişinde, cephe boyunca uzanan narteks yer alır (Şekil 3.12.a). Narteks üç bölümden oluşmakta olup, her bir bölümün üzeri çapraz tonozlar ile örtülüdür (Şekil 3.12.b). Anıtın giriş kapısı orta nartekstedir. Narteksin güneyi sonradan bölge halkı tarafından briket duvar ile kapatılmıştır. Yapının doğu cephesini şekillendiren apsisler, yarım daire formunda olup, üzeri basık koni çatı sistemindedir (Şekil 3.12.c). Doğu cephedeki apsislerin saçak hattını belirleyen silmeler, kuzey ve güney duvarlarına kadar devam etmekte ve birer yılan kafası figürü ile sonlanmaktadır (Şekil 3.12.d). Kilisenin güney ve kuzey cepheleri oldukça sadedir (Şekil 3.12.e ve f). Arazinin eğimi kuzey cepheye doğru arttığından kuzey cephedeki pencereler, güney cepheye göre daha yüksek yapılmıştır. Yapının çatısı, iki farklı kotta düzenlenen beşik çatı sistemindedir. Andezit kesme taşlar kullanılarak yığma tekniğinde yapılan kilise, 22,90x12.70m boyutlarındadır. Anıt 1992 yılında tescillenerek, yasal koruma statüsüne alınmıştır (Açıkgöz ve ark., 2009).

Şekil 3.12. Küçükköy Kilisesi'nin cephe görünüşleri; a) batı cephesi, b) narteks üzerindeki çapraz tonoz görünüşü, c) doğu cephe görünüşü, d) güney cephede yer alan yılan kafası figürü, e) güney cephe görünüşü, f) kuzey cephe görünüşü.

3.2.2. Bozunmaların görsel analizi

Tarihi anıtlardaki bozunma tespitine yönelik çalışmaların ilk aşaması sahada yapılan görsel analizdir. Görsel analiz, yapı taşlarında meydana gelmiş bozunma tiplerinin tanımlanması, sınıflandırılması ve birbirleri ile ilişkilerin kurulması için oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında incelenen Küçükköy Kilisesi'ndeki bozunma tipleri atmosferik, biyolojik ve insan etkileri olmak üzere üç ana başlıkta değerlendirilmiştir. Bu başlıklar altında görsel analiz ile tespit edilen yüzey kaybı, malzeme kaybı, su ile yıkanan bölge, biyolojik kolonizasyon, muhdes ek ve grafitiden kaynaklı tahribatlar, altı farklı renkte temsil edilerek, cephelerin rölöveleri üzerine işlenmiş ve bozunma haritaları oluşturulmuştur.

3.2.3. Litoloji analizi

Küçükköy Kilisesi'nde yapılan makro ve mikro gözlemler neticesinde, yapıda farklı dokusal özelliklere sahip iki tip andezit kayaç olduğu tespit edilmiştir. Bu taşlardan daha düşük mukavemet özelliği gösteren örneklere KC1, daha yüksek mukavemet özellikler sergileyen örneklere KC2 ismi verilmiştir. Cephelerde bulunan farklı litolojilerdeki yapı taşları, litoloji haritalarında gösterilmiştir.

3.2.4. Tahribatsız testler

Küçükköy Kilisesi yapı taşlarındaki bozunma mekanizmalarının etki dercesinin ve kökeninin tespitine yönelik olarak; yüzey nem ölçer, kızılötesi termografi, Schmidt çekici sertlik testi, P-dalga hızı testi ve taşınabilir mikroskop olmak üzere beş farklı tahribatsız yöntem uygulanmıştır.

3.2.4.1. Yüzey nem ölçüm testi

Test, yapı taşlarındaki bir çok bozunma sürecinin ana nedeni olan suyun, kökeninin ve varlığının oranını tespit etmek için hem sahada hem de laboratuvarda kullanılabilen tahribatsız bir yöntemdir (Halim ve Halim, 2010; Eklund ve ark., 2013). Yöntem, malzemedeki nem içeriğini, elektriksel direnç farkı ile ölçmektedir. Çalışmada

dielektrik ölçüm prensibi ile çalışan Trotect T660 el tipi yüzey nem ölçer cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.13.).

Şekil 3.13. Yüzey nem ölçüm testi uygulamasından bir görünüm.

Malzeme yüzeyinin 4 cm. kadar derinliğindeki bölgelerdeki nem dağılımını tespit edebilen cihazın ölçüm aralığı, 0-200 dijit olup -20 °C ile +60 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışabilmektedir.

Sahada yapılan testlerde, cihaz yüzeye dik konuma getirilmiş ve aynı yüzeyin 3 farklı noktasından ölçümler yapılarak değerler kaydedilmiştir. Daha sonra elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınmış ve cephe rölövelerindeki her bir taş üzerine işlenerek kilise cephelerinin yüzey nem haritaları oluşturulmuştur.

3.2.4.2. Kızılötesi termografi testi

Çalışma kapsamında incelenen yapıdaki bozunmaların tespiti için uygulanan tahribatsız yöntemlerden bir diğeri kızılötesi termografi testidir. Test, yapılarda gözle görülmeyen yapısal hataları, nem kaynaklarını ve sıcaklık farklılıklarından kaynaklı

bozunmaları tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir (Ambrosini ve ark., 2010; Paoletti ve ark., 2013). Cihaz, malzeme yüzeyinden çıkan kızılötesi radyasyonu toplayarak elektrik sinyallerine dönüştürür ve yüzeyin sıcaklık dağlımını farklı renk tonlarında bir görüntü elde edilmesini sağlar (Barreira ve de Freitas, 2007; Yardım ve Tuncoku, 2008; Spodek ve Rosina, 2009). Çalışmada termal görüntüleme için Flir C2 marka cihaz kullanılmıştır. Termal hassasiyeti 0.10 °C düşük olan cihaz, 7.5-14 μm spectral aralıkta ölçümler yapabilmektedir. Ayrıca cihazda bulunan 4800 piksel dedektör ile -10 °C ile +150 °C aralığındaki sıcaklıklar tespit edebilmektedir.

Termal görüntüleme işlemi yapılırken çevresel parametreler dikkate alınmalıdır. Gün içerisinde, yapı cepheleri güneşin doğması ile ısınmaya başlarken, güneşin batması ile ısınan cepheler soğur. Gün boyu meydana gelen ısı anomalilerindeki fark, yapı taşlarında bozunmaya neden olduğu için güneşin yörüngesinin takip edilip, cephenin en çok ısındığı ve soğuduğu anlarda çekimlerin yapılması, testin güvenilirliğinini arttırmaktadır. Önceki çalışmalar da termal çekimlerin yorumlanabilmesi için sabah gün doğmadan ve akşam güneş battıktan hemen sonra olmak üzere en az iki kere ölçüm yapılması önerilmektedir (Bisegna ve ark., 2014). Ayrıca güneşin neden olduğu yansımalar, gölgede kalan bölgeler, malzemenin rengi, çekim açısı ve uzaklığı gibi hata oluşturabilecek unsurlar dikkate alınarak yorumlanmalıdır (Lerma ve ark., 2011).

3.2.4.3. Schmidt çekici sertlik testi

Schmidt çekici sertlik testi, mühendislik tasarımında ana parametre olarak kullanılan tek eksenli basınç dayanımını dolaylı yoldan tespit etmek için kullanılan tahribatsız bir deneydir (Török ve Přikryl, 2010). Çekiç, silindirik gövde içerisinde yaylı bir pistondan oluşur. Yüzeye uygulandığı zaman piston yüzeye çarpar ve kadranda yüzeyin sertlik değeri okunur. L ve N tipi olmak üzere iki çeşit Schmidt çekici olmakla beraber, çalışmada Ele marka L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Testler ASTM-D5873 (2014)'de belirtildiği üzere, aynı yüzeyin 10 farklı noktasında ve yüzeye dik olarak uygulanmıştır. Daha sonra ölçülen en küçük 5 değer iptal edilmiş ve kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak, yapı taşının yüzey sertlik değeri elde edilmiştir. Test kilisedeki her bir yapı taşına uygulanmış ve elde edilen değerler rölöve çizimleri üzerine işlenerek, yapının Scmidt Çekici sertlik değeri haritaları oluşturulmuştur.

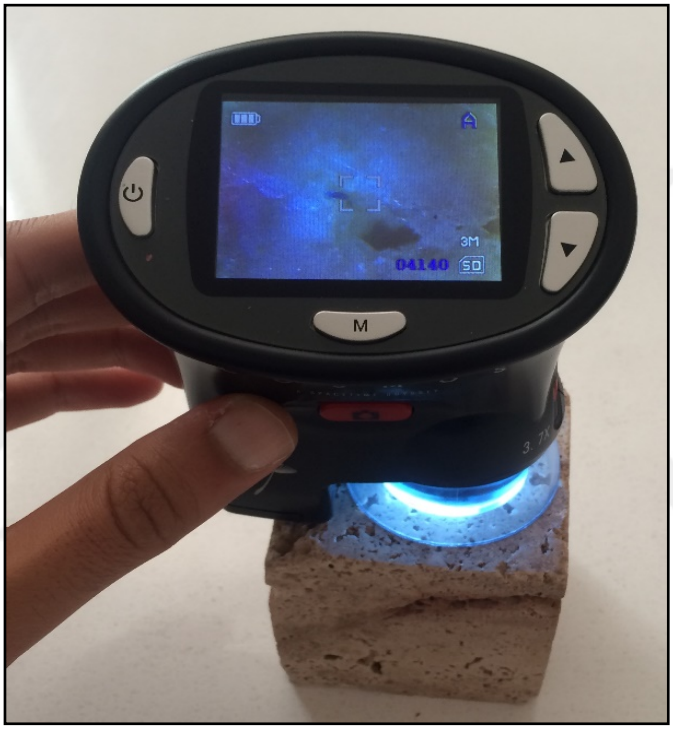
3.2.4.4. P-dalga hızı testi

P-dalga hızı testi, malzemenin yüzey ve yüzey altındaki kusurları (süreksizlikler, boşluk, çatlak, vb.) tespit etmek için hem laboratuvarda hem de sahada kullanılabilen tahribatsız bir deneydir (Vasconcelos ve ark., 2007; Litti ve ark., 2015). Testin çalışma prensibi, ses dalgasının katı malzemeler yoluyla iletilmesi ilkesine dayanmaktadır (Pascale ve Lolli, 2015). Çalışmada UK 1401 ultrasonic tester cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.14.). Cihazın propları yüzeye temas ettirildiğinde, gönderici proptan alıcı proba sonik hız gönderilir. Sonik hızın geçiş süresi cihaz ekranından okunarak değer kaydedilir. Çalışmada Küçükköy Kilisesi yapı taşlarının her birinde 3'er ölçüm gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmış ve sonuçta elde edilen değerler, yapı cephelerinin rölöveleri üzerine işlenerek, P-dalga hızı haritaları oluşturulmuştur. P-dalga hızı testleri ISRM (2007)'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Şekil 3.14. P-dalga hızı testi uygulamasından bir görünüm.

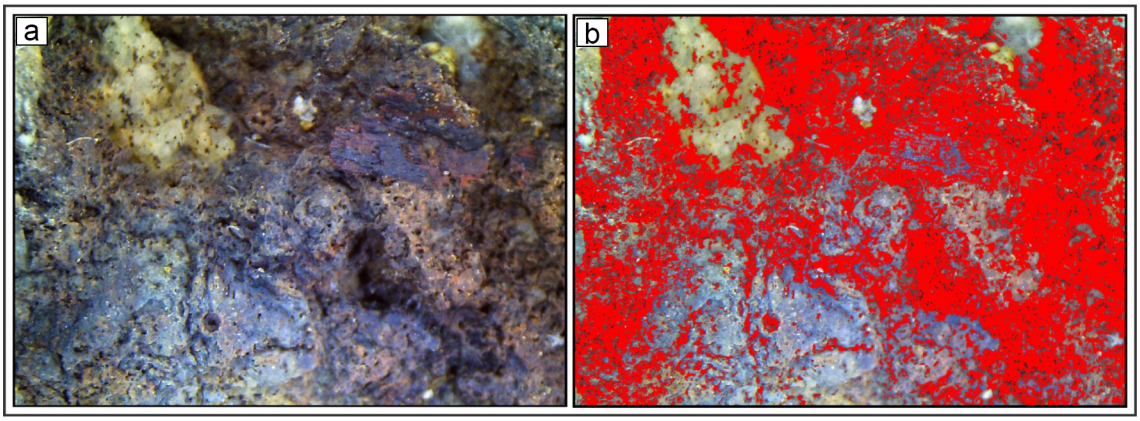
3.2.4.5. Taşınabilir mikroskop testi

Taşınabilir mikroskop ölçümü, yapı malzemelerini oluşturan makro minerallerin, gözeneklerin geometrisi ve boyutlarını tespit etmek için kulanılabilen tahribatsız bir yöntemdir. Çalışmada Celestron 44312 Cosmos marka taşınabilir mikroskop kullanılmıştır. Görüntüleme sensörü 1600x1200 piksel olan cihaz, 54x optik 216 x dijital yakınlaşma ile çekimler yapabilmektedir (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Taşınabilir mikroskop uygulamasından bir görünüm.

Ayrıca çalışmada incelenen yapı taşlarının yüzey kayıplarının belirlenmesinde, FİJİ görüntü işleme programı kullanılmıştır (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Görüntü işleme aşamaları; a) yapı taşı yüzeyinin mikroskop görüntüsü, b) yapı taşı yüzeyinin FİJİ programı ile görüntü işelenmesi.

3.2.5. Blok numune derleme

Laboratuvarda gerçekleştirilecek deneysel çalışmalar için yapıda kullanılmış yapısal ve dokusal özellikleri farklı iki andezit taşına birebir benzerlik sunan örnekler, çevredeki eski ocak alanlarından alınmıştır.

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

İki farklı litolojideki yapı taşının mühendislik özellikleri, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı, Abdullah Gül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı ve Merkez Laboratuvarında belirlenmiştir. Çalışmalar, "numune hazırlama aşaması", "laboratuvar deneyleri" ve "yapay taş ile plastik onarım uygulaması" olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür.

3.3.1. Numune hazırlama aşaması

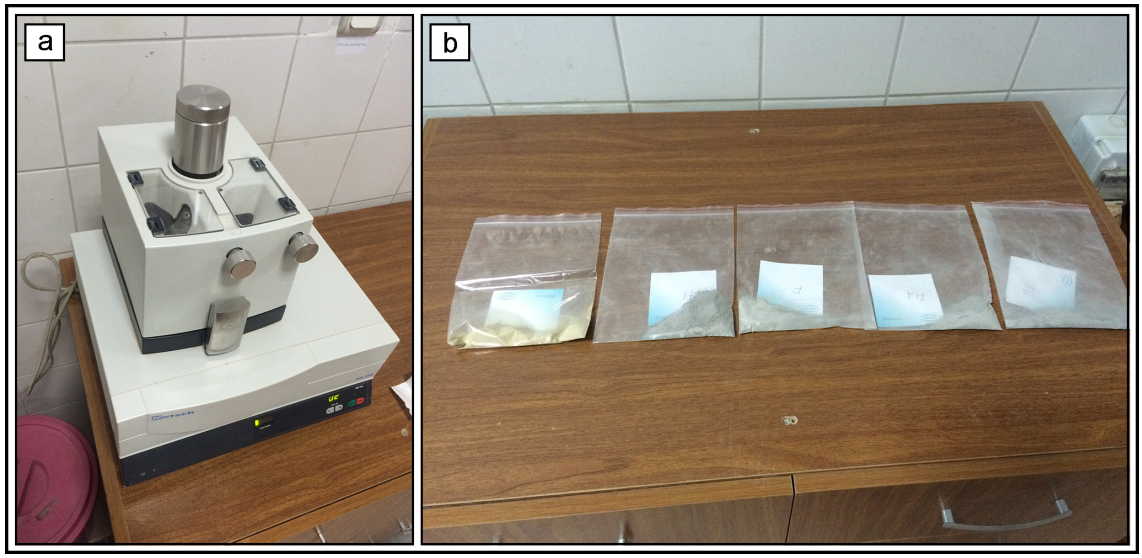
Kayacın mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılacak deneylerin, standartlarda belirtilen esaslara göre örneklerin hazırlanması son derece önemlidir. Bu çalışamada araziden derlenen blok örneklerin (Şekil 3.17.a ve b) deney için hazırlanmasında ISRM (1981) ve ASTM (1994) standartları dikkate alınmıştır. İndeks ve jeomekanik deneylerin ön hazırlığı için NX (54 mm) karotiyere sahip karot makinası ile silindirik örnekler elde edilmiştir (Şekil 3.17.c). Daha sonra örneklerin altı ve üstü taş kesme makinesi ile kesilmiş (Şekil 3.17.d) ve karot düzeltme makinası ile pürüzlülükleri giderilmiştir (Şekil 3.7.e). Hazırlanan karotlar içerisinde süreksizlik bulunduran örnekler deneylere tabi tutulmamıştır (Şekil 3.17.f).

Yapı taşlarının petrografik özelliklerinin belirlenmesi için öncelikle araziden derlenen andezit örnekleri, yaklaşık olarak 0,5 cm kalınlık, 2 cm en ve 1,5 cm boyunda kesilmiştir. Daha sonra kendi ekseninde dönebilen metal disk üzerine aşındırıcı toz dökülmüş ve örneğin bir yüzeyi aşındırılmıştır. Aşınmış yüzeyi pürüzsüz yapmak için bir cam üzerine aşındırıcı toz dökülmüş ve numunenin yüzeye sürtmesi ile parlatılmıştır. Numunelerin nemini almak için örnekler 3 saatlik süre ile 70 °C'lik etüvde bekletilmiştir. Nemi alınmış örnekler epoksi ile lam yüzeyine yapıştırılmıştır.

Lam üzerindeki örnek, ince kesit kesme cihazı ile 0,5 mm kalınlığa gelene kadar inceltilmiştir. Daha sonra cam yüzeyine dökülen parlatma tozu nemlendirilmiş ve örnek parlatma tozuna sürtülerek kalınlığı 0,02 mm olana kadar işlem devam etmiştir. İnce kesitler, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında hazırlanmıştır.

Şekil 3.17. Karot örneklerin elde edilme aşamaları; a) Araziden derlenen KC1 blok örneği, a) Araziden derlenen KC2 blok örneği, c) karot alma aşaması d) Karot kesme makinası, e) karotların alt ve üstlerinin düzeltilme aşaması f) elde edilen karotlar.

Sem-EDX analizi için numuneler küçük boyutlara getirilmiş ve mikroskopta incelemesi yapılmıştır. XRF analizi için numuneler öncelikle el numunesi boyutlarına gelene kadar kırılmış, daha sonra çeneli kırıcı cihazı ile belirli boyutlara getirilmiştir. Numuneler daha sonra öğütme makinasında öğütüldükten sonra elekten geçirilerek deney öncesi örnekler elde edilmiştir (Şekil. 3.18.). Plastik onarım harcı önerisi için öncelikle numuneler el numunesi boyutlarına gelene kadar kırılmış, daha sonra çeneli kırma cihazı ile belirli boyutlara getirilmiştir (Şekil. 3.19.a ve b) Elde edilen numuneler optimum malzeme önerisi için 250, 500, 1000, 2000 µm çaplı 4 farklı elekten geçirilmiş ve elekler arasında kalan malzemelerden, her örnek önerisi için 4'er kg hazırlanmıştır (Şekil 3.19.c ve d). Çalışmada kullanılan 4 farklı elek, kayaç içerisindeki minerallerin sertlikleri, büyüklükleri ve literatürde yapılmış önceki çalışmalar göz önüne alınarak seçilmiştir (Kalagri ve ark., 2010; Jorne ve ark., 2015; Luso ve Lourenço, 2017).



Şekil 3.18. XRF analizleri için numune hazırlama aşaması; a) öğütme makinası, b) analizler için hazırlanmış numune örnekleri.

Şekil 3.19. Plastik onarım malzemesi hazırlama aşamaları; a) numunelerin kırılması, b) çeneli kırma cihazı ile öğütme işlemi, c) eleme için kullanılan elek tipleri, d) elekler arasında kalan numuneler.

3.3.2. Laboratuvar deneyleri

Laboratuvar çalışmaları, yapı taşlarının "fiziksel özellikleri", " böhme aşınma özellikleri", "mekanik özellikleri", "donma çözünme özellikleri" ve "minerolojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin" belirlenmesi için beş ana başlıkta yürütülmüştür.

3.3.2.1. Fiziksel özellikler

Yapı taşlarının fiziksel özelliklerinden olan; kuru birim hacim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, efektif porozite ve kapiler su emme değerleri belirlemek için deneyler, RILEM (1980), ISRM (1981), ASTM (1994) ve TS-EN-1925 (2000)'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

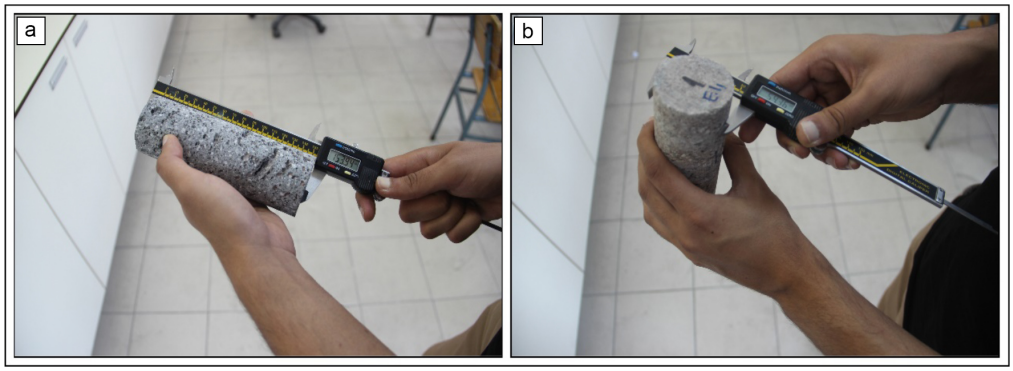
3.3.2.1.1. Birim hacim ağırlık ve yoğunluk

Birim hacim ağırlığının belirlenmesi için, standartlara göre hazırlanmış olan karot örneklerin boyu (L) ve çapı (D) kumpas ile birbirine dik iki yönde ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır (Şekil 3.20.). Karot örneğin çap ve boyu ile numunenin hacmi hesaplanmıştır. Karot numunenin kütlesi (M) hassas terazi ile belirlenmiştir. Elde edilen değerler aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanarak, numunelerin hacim ağırlığı (γ), yoğunluğu (P) ve hacmi (V) belirlenmiştir.

$$\rho = \frac{M}{V} \tag{3.1}$$

$$\gamma = 9{,}81\ \rho \tag{3.2}$$

$$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi\ L \tag{3.3}$$



Şekil 3.20. Karot ölçümleri; a) karot boyunun (L) dijital kumpasla ölçümü, b) karot çapının (D) dijital kumpasla ölçümü.

3.3.2.1.2. Kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk

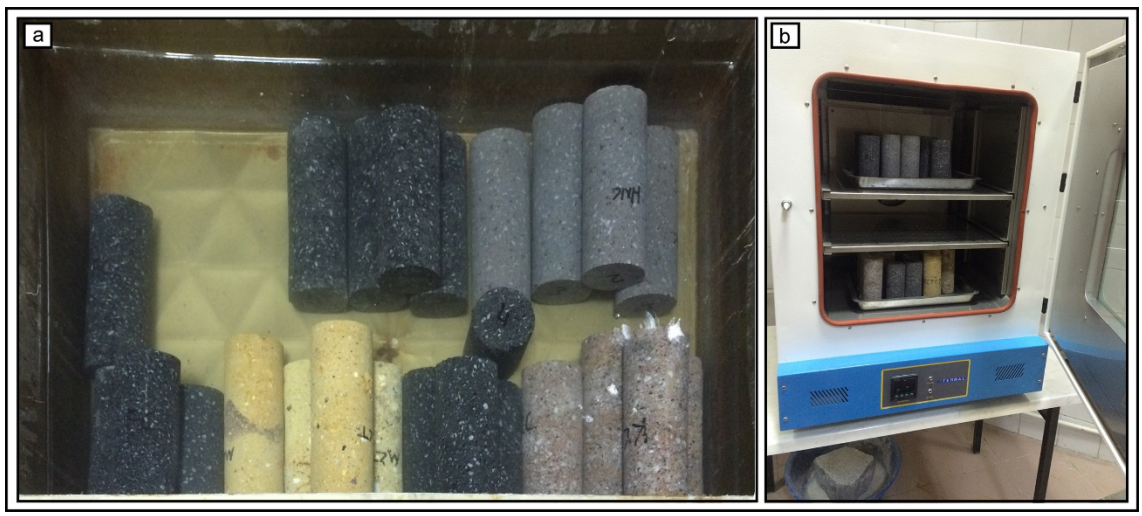
Kuru birim ağırlığın belirlenmesi için öncelikle standartlara göre hazırlanan numunelerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Elde edilen değerler ile örneklerin hacmi (V) hesaplanmıştır. Numuneler 105 °C' deki etüvde 24 saat kurutulmuştur. Etüvde kurutulan örnekler hava nemi almaması için desikatör içerisinde 30 dk. soğutulduktan sonra hassas terazi ile kuru kütle (M_k) değeri belirlenmiştir. Elde edilen değerler aşağıdaki eşitlikte yerine konularak kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) ve kuru yoğunluğu (Pk) hesaplanmıştır. Deney ISRM (1981)'de göre yapılmıştır.

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \tag{3.4}$$

$$\gamma_k = 9{,}81\ \rho \tag{3.5}$$

3.3.2.1.3. Ağırlıkça su emme

Ağırlıkça su emme değerinin belirlenmesi için öncelikle hazırlanan numunelerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Ölçüleri belirlenen karot örnekler saf su ile dolu bir kap içerisinde 12 saat bekletilmiştir (Şekil 3.21.a).



Şekil 3.21. ağırlıkça su emme deney aşamaları; a) numunelerin saf su altında bırakılma işlemi, b) numunelerin etüvde kurutulma işlemi.

Suya doymuş numunelerin üzeri kurulanmış ve hassas terazide tartılarak doygun kütlesi (M_s) belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 105 °C' deki etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur (Şekil 3.21.b). Kurutulan numuneler hava nemi almaması için desikatör

içerisinde 30 dk. soğutulduktan sonra hassas terazi ile kuru kütle değeri (M_k) belirlenmiştir. Elde edilen değerler 3.6. ve 3.7.'deki eşitlikte yerine konularak örneklerin değeri belirlenmiştir. Deneyler RILEM (1980) standartlarına göre yapılmıştır.

$$A_w = \frac{M_s - M_k}{M_k} x100 \quad (3.6)$$

3.3.2.1.4. Porozite

Porozite deneyi için öncelikle standartlara göre hazırlanan örneklerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Elde edilen değerler ile örneklerin hacmi (V) hesaplanmıştır. Ölçüleri hesaplanan numuneler 105 °C' deki etüvde 12 saat kurutulmuştur. 12 saat sonra etüvden çıkarılan örnekler, hava nemi almaması için desikatör içerisinde 30 dk soğutulmuş ve hassas terazi ile kuru kütle (M_k) değeri belirlenmiştir. Kuru kütlesi belirlenen örnekler, saf su ile dolu bir kap içerisinde 48 saat bekletildikten sonra yüzeyleri kurulanmış ve hassas terazide tartılarak doygun kütlesi (M_s) belirlenmiştir. Elde edilen değerler aşağıdaki eşitlikte yerine konularak, örneklerin boşluk oranı (e), Boşlukların hacmi (v) ve porozite (n) değeri hesaplanmıştır. Deney ISRM (1981) standartlarına göre yapılmıştır.

$$V_v = \frac{M_s - M_k}{\rho_w} \quad (3.7)$$

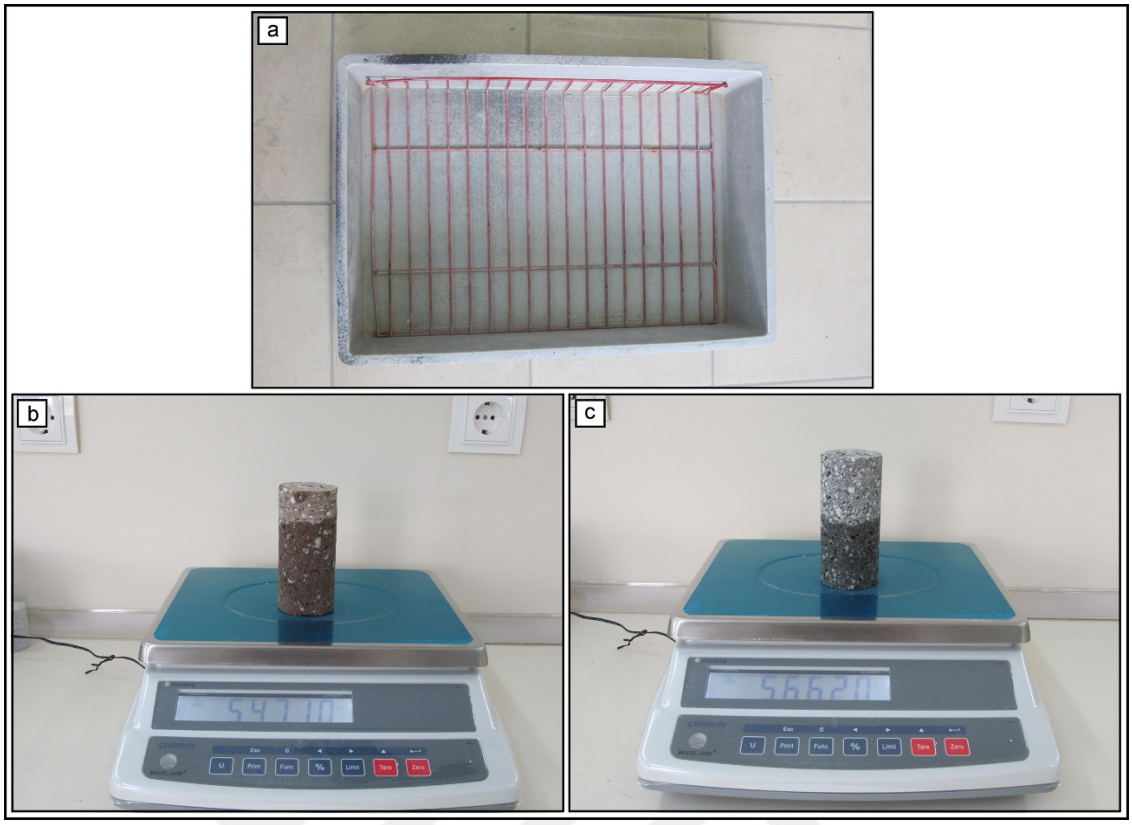
$$n = \frac{V_v}{V} x100 \quad (3.8)$$

$$e = \frac{n}{1-n} x100 \quad (3.9)$$

3.3.2.1.5. Kapilerite deneyi

Kapilerite deneyi için öncelikle standartlara göre hazırlanan numunelerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Daha sonra örnekler, sabit kütleye ulaşıncaya kadar havalandırmalı etüvde (70±5 °C'de) kurutulmuş ve hassas terazi ile kuru kütle (M_d) değeri belirlenmiştir.

Deneye başlamadan önce içerisi boş su tankına demir ızgara yerleştirilmiş ve karot örnekler ızgara üzerine konulmuştur (Şekil 3.22.a).



Şekil 3.22. Kapilerite deney aşamaları; a) su tankı, b) KC1 örneğindeki su yükselimi, c) KC2 örneğindeki su yükselimi.

Örneklerin alt kısmı 3±1 mm suda kalacak şekilde tanka su eklenmiştir. Örnekler su ile temas ettikleri anda kronometre başlatılmış ve 30, 60, 480, 1440, 2880 ila 4320. dakikalarda hassas terazi ile ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.22.b ve c). 30-2880. dakikalar arasında ölçülen ağırlıklar (M_i), 4320. dakikada yapılan ölçümün kütlesi (M_f) olarak belirlenmiştir. Deney sonucundan elde edilen değerler aşağıdaki eşitlikte yerine konularak su emme değeri düşük olan örneklerdeki kılcal su emilim (C_d) değerleri bulunmuştur. Deney TS-EN-1925 (2000)'de standartlarına göre yapılmıştır.

$$C_d = \left(\frac{M_f - M_d}{A}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{t_i}}\right) \tag{3.10}$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{3.11}$$

3.3.2.2. Böhme aşınma deneyi

Böhme deneyi için öncelikle standartlara göre hazırlanan örneklerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Daha sonra örnekler etüvde kurutularak kuru kütle (m_i) değeri

belirlenmiştir. Soğuyan örnekler, Böhme cihazına yerleştirilmiş ve sürtünme yolu üzerine 20±0,5 gr aşındırma tozu serpilmiştir (Şekil 3.23.).

Şekil 3.23. Böhme deney cihazı (1-disk, 2-sürtünme şeridi, 3-ağırlık, 4- numunenin yerleştirildiği hücre).

Örneklerin üst yüzeyine 294±3 N'luk ağırlıklar bağlanarak cihaz çalıştırılmıştır. Cihazda bulunan diskin 22 devir tamamlaması ile 1 döngü sonlanmaktadır. Döngü sonrasında disk üzerindeki aşındırma tozu temizlenmiş ve karot düşey eksende 180 derece döndürüldükten sonra tekrar cihaza yerleştirilmiştir. Aşındırma tozu sürtünme yoluna serpildikten sonra cihaz tekrar çalıştırılmıştır. Cihaz 22 devir döndükten sonra durur ve döngü tamamlanmış olmaktadır. Bu işem 11 kez uygulandıktan sonra numuneler, kumpas ile ölçülmüş ve hassas terazi ile tartılarak kütle (m_f) değeri bulunur. Aşağıda bulunan eşitlik ile örneklerin hacminde meydana gelen azalmalar (ΔV) hesaplanmıştır. Deneyler ISRM (1981) standartlarına göre yapılmıştır.

$$\Delta V = \frac{m_i - m_f}{\rho_d} \qquad (3.12)$$

3.3.2.3. Mekanik analizler

Örneklerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla örnekler üzerinde, Schmidt Çekici sertlik deneyi, P-dalga hızı deneyi ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

3.3.2.3.1. Schmidt çekici sertlik testi

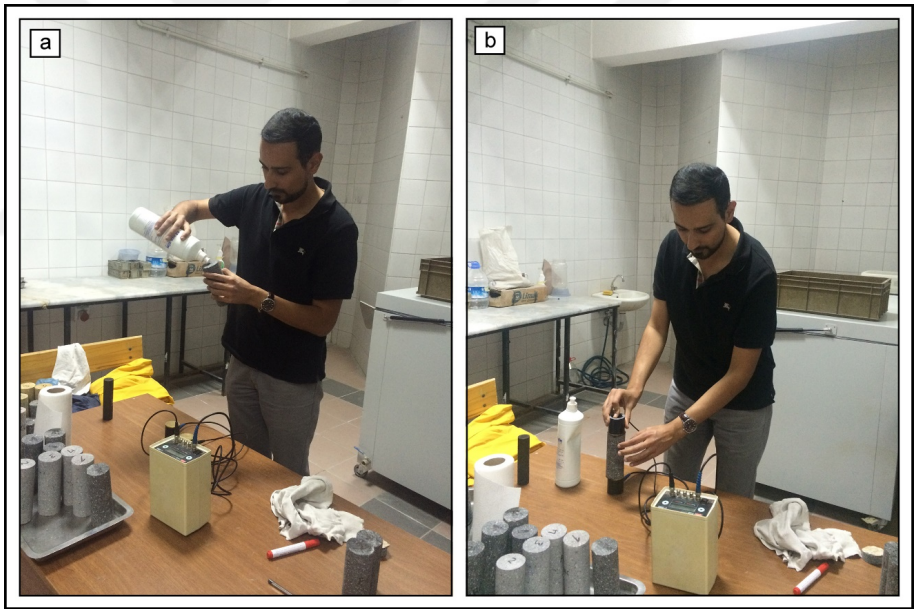
Schmidt çekici sertlik testi hem saha çalışmalarında, laboratuvarda uygulanılabilen tahribatsız bir deneydir Testin çalışma ve prensibi 3.2.4.3. Schmidt çekici sertlik testi bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır. Laboratuvar testlerinde, araziden derlenen temsilci blok numuneler (KC1 ve KC2) üzerinde, birbirinden farklı bölgelerde 10 ölçüm yapıldıktan sonra en küçük 5 değer iptal edilmiş ve kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak örneklerin Schmidt çekici sertlik değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.24.)

Şekil 3.24. Schmidt çekici deneyinden bir görünüm.

3.3.2.3.2. P-dalga hızı deneyi

P-dalga hızı testi için öncelikle standartlara göre hazırlanmış karot örneklerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Elde edilen değerler ile örneklerin hacmi (V) hesaplanmıştır. Deneye başlamadan önce cihaz kalibre aparatı ile kalibre edilir. Daha sonra cihazın propları arasındaki teması arttırmak için karot örneklerin alt ve üst kısımlarına ultrasonik jel sürülerek (Şekil 3.25.a), cihazın gönderici ve alıcı propları arasına yerleştirilmiştir. Sonik hızın karot örnekten geçiş süresi (Tp) ölçülmüş Şekil 3.25.b) ve aşağıda bulunan eşitlik yardımıyla P-dalga hızı (Vp) değeri hesaplanmıştır. Deneyler ISRM (1981) standartlarına göre yapılmıştır.

$$V_p = \frac{L}{T_P} \tag{3.13}$$



Şekil 3.25. P-dalga hızı testi; a) cihazın propları arasındaki teması arttırmak için jel sürümü, b) P-dalga hızı ölçümü.

3.3.2.3.3. Tek eksenli basınç deneyi

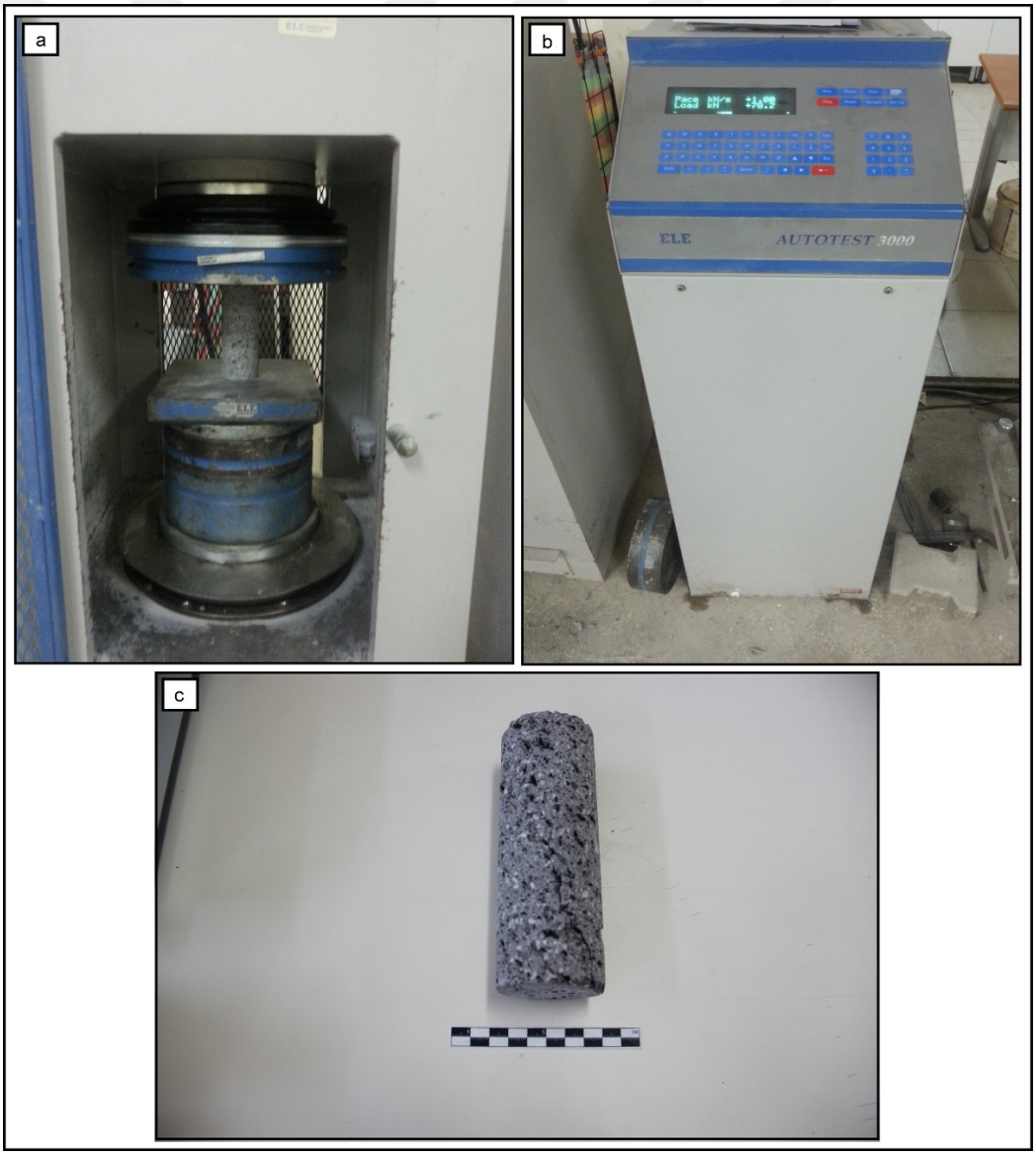
Tek eksenli basınç testi için öncelikle standartlara göre hazırlanan örneklerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Her blok numune için 5 karot üzerinde gerçekleştirilen deneyde, karotlar presin sabit olan alt tablası ile oynar üst başlığı arasına yerleştirilmiştir (Şekil 3.26.a). Örneklerin 5-10 dk arasında kırılabilmesi için, yükleme hızı seçilmiş ve numuneye yüklenmiştir (Şekil 3.26.b). Numunenin yükü

taşıyamayıp yenildiği andaki yük değeri (P) belirlenmiştir (Şekil 3.26.c). Elde edilen değer aşağıdaki eşitlikte yerine konularak, örneğin tek eksenki basınç dayanımı (σ_c) bulunmuştur. Hoek ve Brown (1980)'de önermiş olduğu 50 mm çapındaki eşdeğer tek eksenli basınç dayanım ($\sigma_{c(50)}$) değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır. Deneyler ISRM (1981) standartlarına göre yapılmıştır.

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{3.14}$$

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \tag{3.15}$$

$$\sigma_{c(50)} = \frac{\sigma_c}{\left(\frac{50}{D}\right)^{0,18}} \tag{3.16}$$

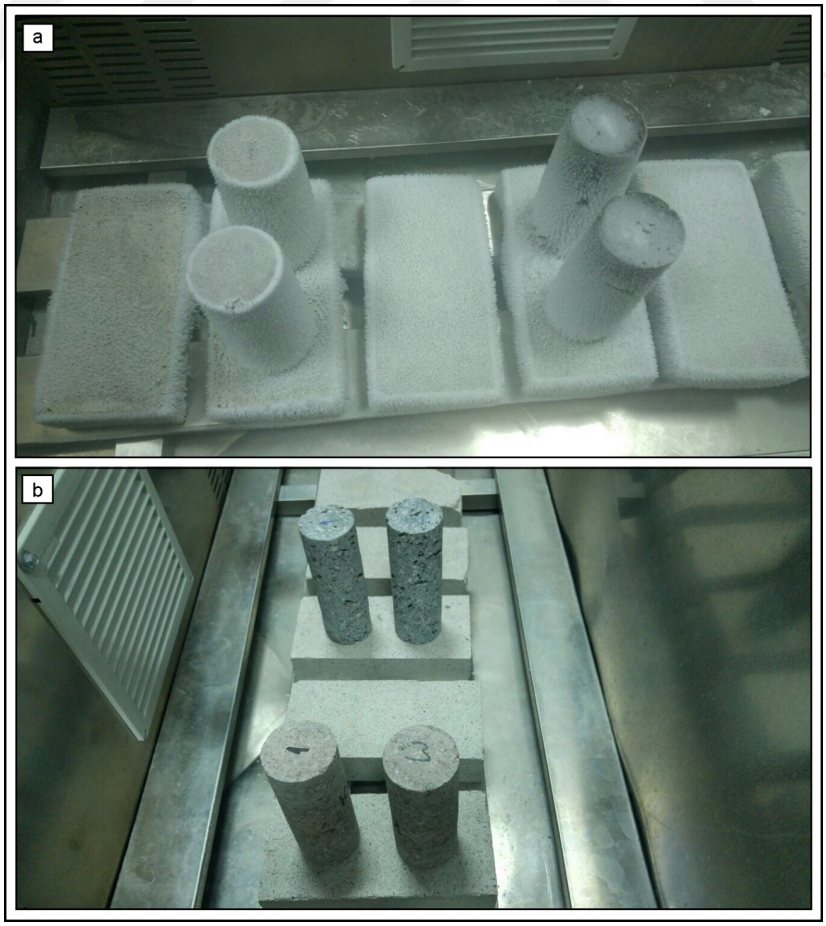


Şekil 3.26. Tek eksenli basınç deney aşamaları; a) deneyde kullanılan yükleme başlıkları ve pres, b) yükleme hız seçimi, c) örneğin deney sonrası görünümü.

3.3.2.4. Donma-çözünme deneyi

Donma-çözünme deneyi için için öncelikle standartlara göre hazırlanan karot numunelerin boyu (L) ve çapı (D) ölçülmüştür. Daha sonra örnekler, havalandırmalı etüvde (70±5 °C'de) sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuş ve hassas terazi ile kuru kütle (M_d) değeri belirlenmiştir. Daha sonra numuneler donma çözünme cihazı içerisine bırakılmış ve cihaz çalıştırılmıştır. Numuneler donma süreci için -18 °C sıcaklıkta (Şekil 3.27.a) 12 saat, çözülme süreci için +32 °C sıcaklıkta (Şekil 3.27.b) 12 saat süreyle bekletilir. Birbirini izleyen 12 saat donma ve 12 saat çözülme süreci ile numuneler bir çevrimlik donma-çözünme döngüsünde kalır. Döngü bittiği zaman numuneler hassas terazi ile tartılarak yüzdelik kaybı hesaplanır. Çalışmada numunelere 20 çevrim uygulanmıştır. Deneyler ASTM-D5312-04 (2004) standartlarına göre yapılmıştır.

$$DÇ_k = \frac{A-B}{A} x100 \qquad (3.17)$$



Şekil 3.27. Donma-çözünme test aşamaları; a) donma süreci, b) çözünme süreci.

3.3.2.5. Minerolojik, petrografik ve jeokimyasal özellikler

Küçükköy Kilisesi'nin yapımında kullanılan yapı taşlarının minerolojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla optik mikroskopi, X-ışını floresan spektrometresi ve taramalı elektron mikroskop analizleri olmak üzere üç farklı ileri analiz yöntemi uygulanmıştır.

3.3.2.5.1. Petrografik analizler

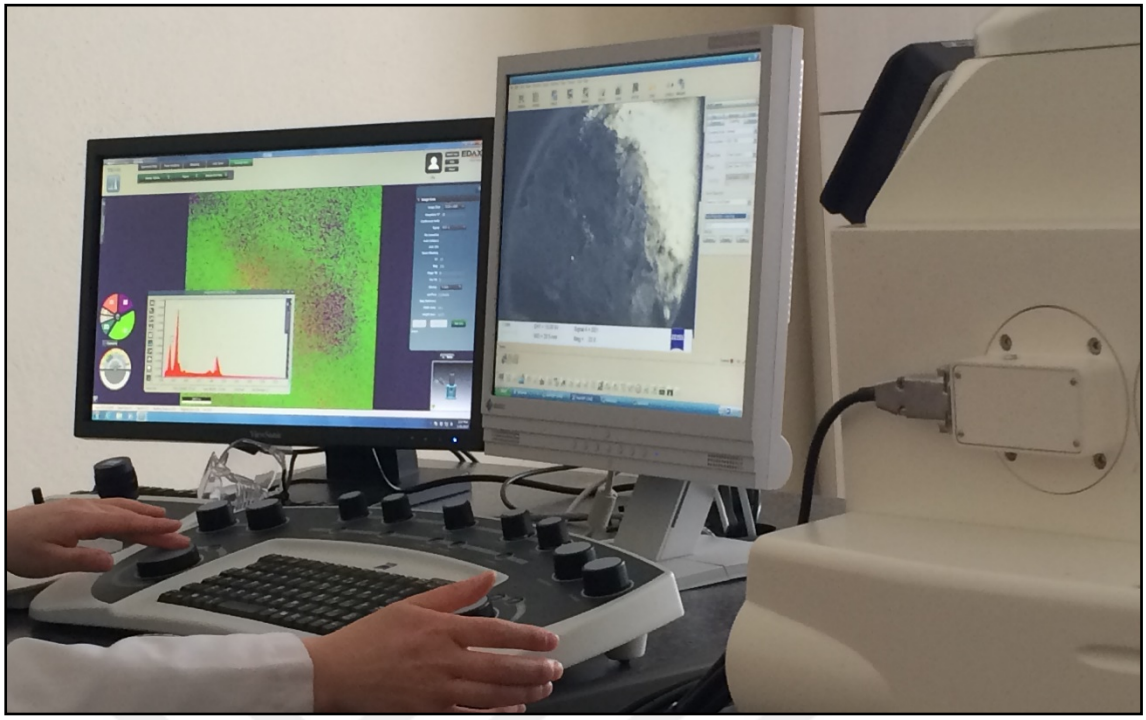
Petrografik analizler, kayaç içerisindeki boşluk (gözenekler ve çatlaklar), doku ve mineral özelliklerini belirlenmesini sağlar (Sousa ve ark., 2005). Petrografik özelliklerin değerlendirilmesi için hazırlanan ince kesitler, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan polarizan mikroskobu altında incelenmiş ve fotoğraflandırılmıştır.

3.3.2.5.2. X-ışını floresan spektrometresi (XRF) analizi

Kayaç içerisinde bulunan kristallerin kimliğinin belirlenmesi ve sayısal özelliklerinin tespiti için uygulanan XRF analizi, ayrıca kayaçlardaki erimiş tuz ve siyah kabuğun minerolojik içeriğinin belirlenmesinde kullanılır. (Küçükkaya, 2004). Bu amaçla, hazırlanan numunelerin XRF analizleri, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen kimyasal özellikler, analizler yapıldıktan sonra değerlendirilmiştir.

3.3.2.5.3. Taramalı elektron mikroskop (Sem-EDX) analizi

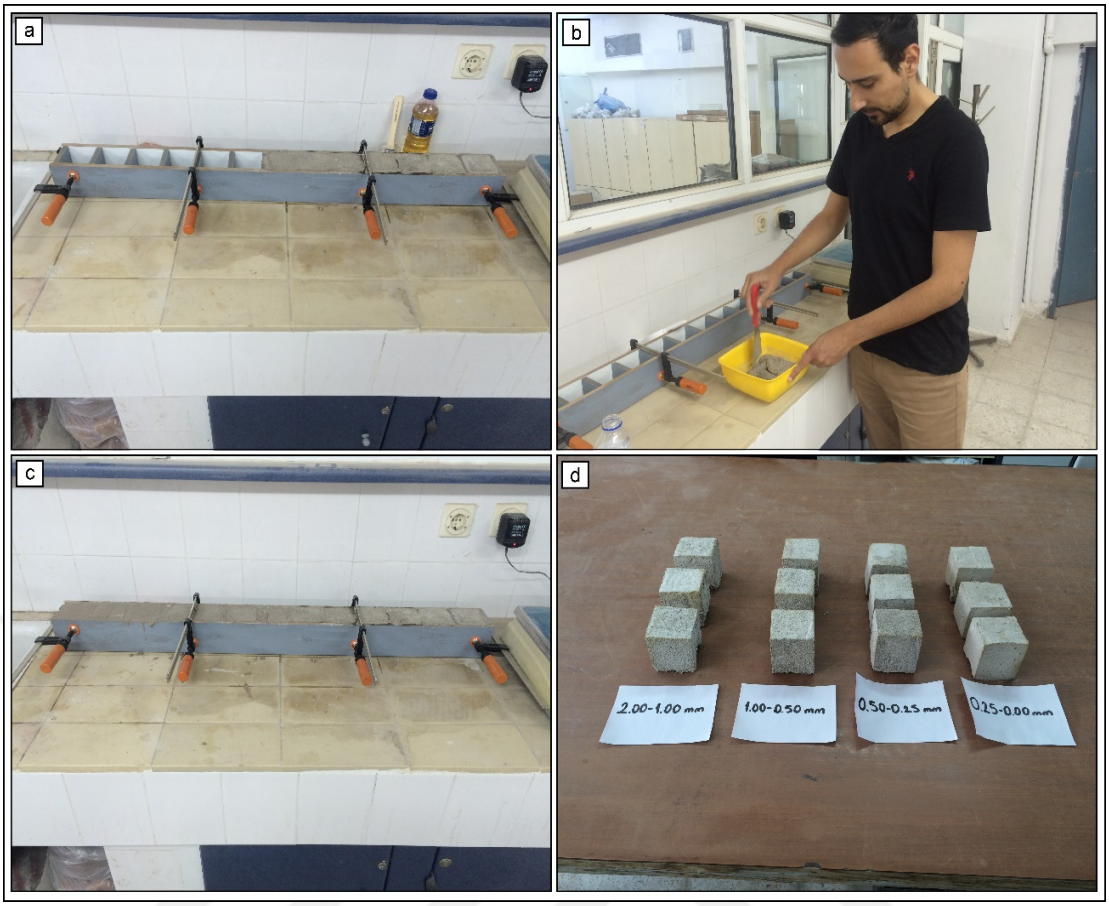
Atomik ölçeğe kadar görüntü veren taramalı elektron mikroskobu, kayaçları oluşturan bileşenlerin dağılımının ve mikro yapısının tespit edilmesini sağlar (Sousa ve ark., 2005). Bu amaçla laboratuvarda hazırlanmış örnekler mikroskopta incelenmiş ve uygun görülen yerlerden Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) görüntüleri çekilmiştir (Şekil 3.28.). Analizler, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Laboratuvarında incelerek değerlendirilmiştir.



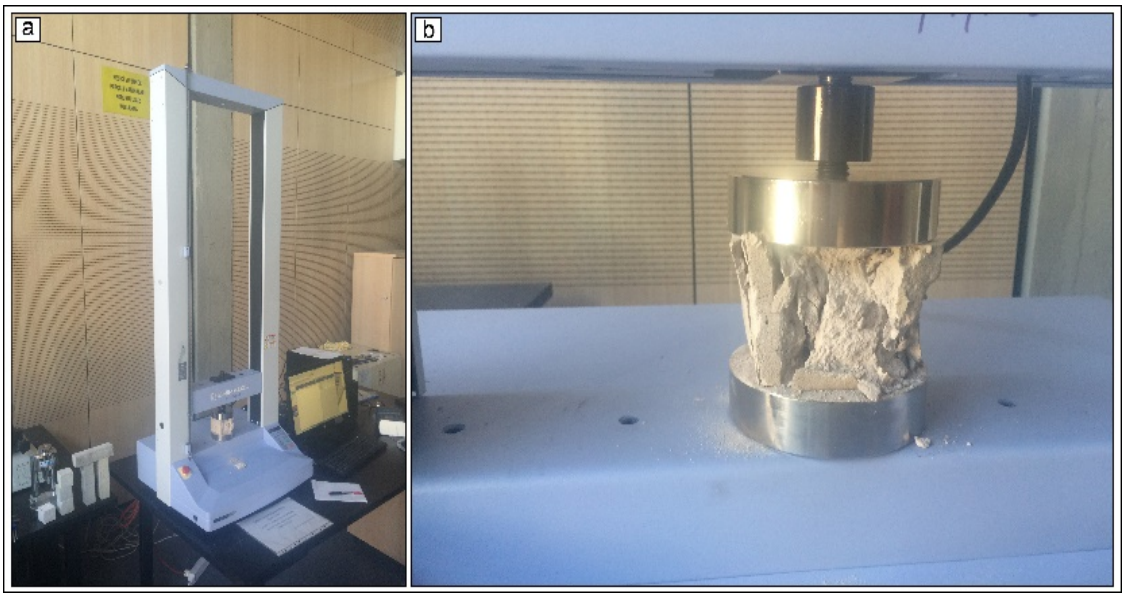
Şekil 3.28. EDX görüntü çekimleri.

3.3.3. Yapay taş ile plastik onarım uygulaması

Küçükköy Kilisesi'nde, kavlaklanma, parçalanma ve jeolojik zayıflıklardan kaynaklı dikey veya yatay boşluk oluşum tiplerindeki bozunmaların tespit edildiği KC1 yapı taşlarının rehabilitasyon önerisi için, literatürdeki kimyasallar değerlendirilmiş ve Teknorep 510/520 hidrolik kireç kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla öncelikle 4 farklı tane çapında öğütülmüş numunelerden %60, su %20 ve hidrolik kireç %20 oranlarında karıştırılmıştır. Dört farklı elek altı granülometrede karıştırılmış numunelere M1 (0-250 µm), M2 (250-500 µm), M3 (500-1000 µm) ve M4 (1000-2000 µm) isimleri verilmiştir. Öneri tedavi numunelerinin standartlara uygun analizlerinin yapılabilmesi için her elek aralığı için 3'er numune, 7x7x7cm. ebatlarındaki kalıplara dökülmüş ve malzemelerin priz alması için üç hafta süre ile kalılarda bekletilmiştir (Şekil 3.29.). Karışımlar kalıptan çıkarıldıktan sonra, örneklerin fiziksel (kuru birim hacim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık, su emme ve porozite) ve mekanik özellikleri (Schmidt çekici sertlik değerleri, P-dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı) belirlenmiştir. Öneri malzemelerin tek eksenli basınç dayanımının tespiti, Abdullah Gül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan hassas tek eksenli basınç test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.30.).



Şekil 3.29. Plastik onarım malzemelerinin elde edilme aşamaları; a) numunelerin kalıplara dökülmesi, b) elek altı granülometre, su ve hidrolik kirecin karıştırılması, c) numunelerin mukavemetini kazanabilmesi için kalıplarda bekletilme süreci, d) kalıplardan çıkartılmış öneri malzemeleri.



Şekil 3.30. Tek eksenli basınç deneyi aşamaları; a) örneğin pres arasına yerleştirilmesi, b) örneğin deney sonrası görünümü.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde öncelikle araziden derlenen blok numunelerin mühendislik özellikleri, görsel analizlerden elde edilen veriler ve Küçükköy Kilisesi blok taşlarının tamamına uygulanan tahribatsız testlerden elde edilen sonuçlar verilecektir. Daha sonra çalışma konusu kilisede, bozunmuş yapı taşlarının rehabilitasyonu için öneriler tartışılacaktır.

4.1. Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri bölümünde, yapı taşlarının fiziksel, aşınma, mekanik, donma çözünme, minerolojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

4.1.1. Fiziksel özellikler

Fiziksel özellikler bölümünde, araziden derlenen blok numunelerin (KC1 ve KC2), kuru birim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, porozite ve kapiler su emme değerleri belirlenmiş ve alt başlıklarda sunulmuştur.

4.1.1.1. Kuru birim ağırlık

Kayaç içerisindeki yapı ve boşluk miktarı, malzemenin kuru birim ağırlığını etkiler. Kuru birim ağırlığı yüksek olan yapı taşları genellikle düşük porozite değerine sahip olduğu için, yapılarda tercih edilmektedir (Erguvanlı, 1975). Çalışmada her iki blok numuneden (KC1 ve KC2), alınan on temsilci karot numunenin kuru birim ağırlık değerleri Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Örneklerin kuru birim ağırlık değerleri.

	Kuru birim ağırlık, γ_d (kN/m^3)				
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Minimum**	**Maksimum**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	19,42	21,28	0,79	**20,53**
KC2	10	21,10	21,47	0,16	**21,26**

Çizelge 4.1. incelendiğinde KC2 örneğinin kuru birim ağırlık değeri, KC1'e göre daha fazladır. Kuru birim ağırlığın değerlendirilmesinde TSE-699 (1987)'de herhangi bir sınıflama olmamasına rağmen, kayaçların yüksek kuru birim ağırlığa sahip olması istenmektedir.

4.1.1.2. Doygun birim ağırlık

Kayaç içersindeki boşluk miktarı ve kimyasal bileşim, kayacın birim ağırlık değerini etkiler. Özellikle kayaç içerisindeki boşluk yapısı içerisinde bulunan su, doygun ağırlığı değiştirdiği için doygun birim ağırlığın belirlenmesi oldukça önemlidir (McNally, 2002). Çalışmada, 10 temsilci karot üzerinden yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Örneklerin doygun birim ağırlık değerleri.

	Doygun birim ağırlık, γ_s (kN/m^3)				
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Min.**	**Max.**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	20,97	22,31	0,56	**21,77**
KC2	10	21,49	22,21	0,26	**21,83**

Çizelge 4.2. incelendiğinde her iki örneğin de doygun birim ağırlıkları yakın olmasına rağmen, KC2 örneğinin birim ağırlığı KC1'e göre daha fazladır. İncelenen örneklerin doygun birim ağırlıkları NBG (1985)'e göre değerlendirildiğinde, her iki numune de "çok düşük birim ağırlıklı" kayaç sınıfında yer almaktadır.

4.1.1.3. Ağırlıkça su emme

Kayaç içerisindeki boşluklar ve bu boşluklar arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde su emme değeri oldukça önemlidir. Ayrıca su emme değeri ile kayaçlardaki don ve termal genleşme etkileri dolaylı yoldan tespit edilebilmektedir (Postacıoğlu, 1987; McNally, 2002). Su emme değerinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmalar hacimce ve ağırlıkça su emme olarak iki farklı şekilde belirlenmektedir. Efektif porozite değeri suya doyurma yöntemi ile belirlendiğinden

dolayı, hacimce su emme değerine değinilmemiştir. Çalışmada blok örneklerden alınan on temsilci karot numunenin ağırlıkça su emme değerleri Çizelge 4.3.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Örneklerin ağırlıkça su emme değerleri.

Ağırlıkça su emme, A_w (%)					
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Minimum**	**Maksimum**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	4,84	8,01	1,36	**6,07**
KC2	10	1,83	3,07	0,57	**2,68**

Su emme değerinin elde edilmesi için, TSE-699 (1987)'de belirtilen esaslar baz alınmış ve TS-2513 (1977) göre değerlendirilmiştir. TS-2513 (1977) göre yapılarda kullanılacak taşların, su emme değeri en fazla %1,8 olması gerekmektedir. Çizelge 4.3. incelendiğinde her iki örnekte, sınır değerinin üzerinde olup, KC1 numunesi KC2'ye göre daha fazla su emme değerine sahiptir.

4.1.1.4. Porozite

Kayaçların porozite değerlerindeki değişim, malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilediği için, taşların porozitelerinin bilinmesi önemlidir (Goodman, 1989). Çalışmada deney için hazırlanan on karot numunenin, efektif porozite değerileri Çizelge 4.4.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Örneklerin efektif porozite değerleri.

Porozite, n_e (%)					
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Minimum**	**Maksimum**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	10,50	15,85	2,28	**12,63**
KC2	10	3,94	6,63	1,26	**5,81**

Çizelge 4.4. incelendiğinde kısmen daha ince taneli ve az boşluklu olan KC2 örneğinin porozite değeri KC1'e göre daha azdır. Örneklerin porozite değerileri (NBG, 1985)'e göre değerlendirildiğinde, her iki numune de "yüksek poroziteli" kayaç sınıfında yer almaktadır. Bu durum andezitlerin oluşumları sırasında ve ikincil olarak meydana gelen boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Porozite değeri yüksek olan kayaçlar, atmosferik etkilere karşı düşük direnç gösterir. Kapilerite ve süzülme yolu ile suya maruz kalan taş yüzeylerinde dökülme, patlama, kavlaklanma gibi bozunma tipleri meydana gelir. Küçükköy Kilisesi'nde daha yüksek poroziteli KC1 yapı taşlarında, suyun belirgin olduğu bölgelerde donma-çözünme ve ıslanma-kuruma etkileri ile bozunmalar daha belirgindir.

4.1.1.5. Kapiler su emme deneyi

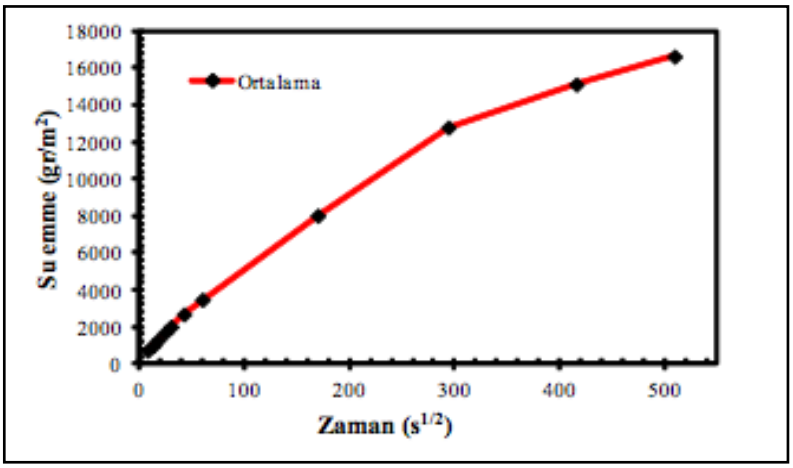
Yapı taşına nüfus etmiş su, kılcal kuvvetlerin etkisi ile yer çekimi kuvvetinin ters yönüne hareket ederek, kayacın doygun hale gelmesine yardımcı olur. Bu olay donma-çözünme, ıslanma-kuruma gibi kayaçlarda bozunmaya neden olan süreçlerde önemli olan suyun yapı taşı bünyesine girmesine sebep olur. Kayaç içerisindeki boşluk boyutu ve boşlukların birbiriyle olan ilişkisi kapileriteyi etkilemektedir. Boşluk oranı yüksek olan kayaçların kapiler su emme katsayıları fazladır (Küçükkaya, 2004). Çalışmada her iki temsilci blok numuneden (KC1 ve KC2) elde edilen kapiler su emme değerleri Çizelge 4.5.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Örneklerin kapiler su emme değerleri.

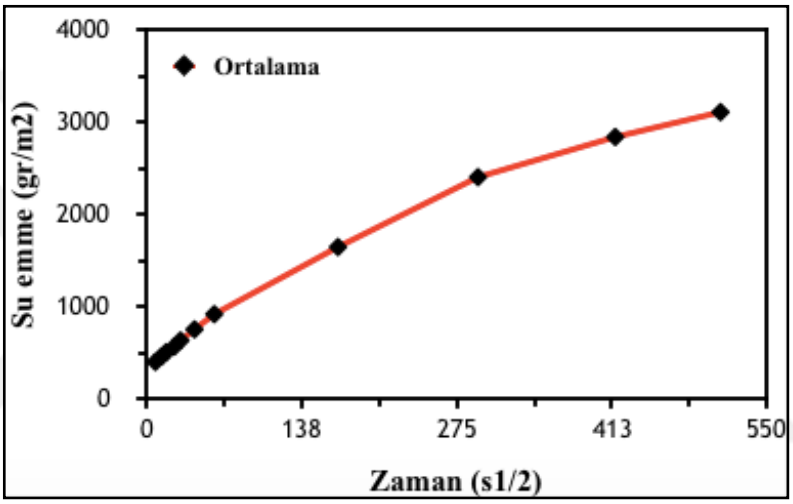
	Kapiler su emme değeri, C ($gr/m^2s^{0,5}$)				
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Minimum**	**Maksimum**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	29,319	35,431	5,836	**32,662**
KC2	10	4,358	7,418	0,157	**6,104**

Çizelge 4.5. incelendiğinde KC1 örneği KC2'ye göre daha fazla kapiler su emme değerine sahiptir. Çalışmada kullanılan kayaç örneklerinin yüzey alanlarına bağlı kapiler su emme değerlerinin zaman ile değişim grafikleri Şekil 4.1. ve 4.2.'de gösterilmiştir.

Şekil 4.1. ve 4.2. incelendiğinde daha yüksek su emme değerine sahip olan KC1 örnekleri, kısa zamanda maksimum su emdiği, KC2 örneklerinin ise daha az su emdiği belirlenmiştir. Numunelerin kapiler su emme değerleri Snethlage (2005)'de belirtmiş olduğu sınıflamaya göre değerlendirildiğinde, KC1 örnekleri "orta derecede" de yer alırken, KC2 örnekleri "düşük derecede" kapiler su emme grubunda yer almaktadır.



Şekil 4.1. KC1 örneklerinin kılcal etki ile su emme ve zaman değişim grafiği.



Şekil 4.2. KC2 örneklerinin kılcal etki ile su emme ve zaman değişim grafiği.

4.1.2. Böhme aşınma deneyi

Böhme aşınma deneyi, kayaç yüzeylerinin sürtünmeye karşı dirençlerini tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir (Bozdağ, 2013). Çalışmada deney için hazırlanan örneklerin, Böhme aşınma değerleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Böhme aşınma değeri.

Böhme aşınma deneyi, ΔV ($cm^2/50cm^3$)					
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Minimum**	**Maksimum**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	5	51,16	55,96	3,39	**53,56**
KC2	5	45,83	46,81	0,69	**46,32**

Çizelge 4.6. incelendiğinde, KC1 örneğinin ortalama yüzey aşınma dayanımı KC2'ye göre fazladır.

4.1.3. Mekanik analizler

Bu bölümde, araziden derlenen temsilci blok örneklerin Schmidt çekici sertlik değeri, P-dalga hızı ve tek eksenli basınç deney sonuçları verilmiştir.

4.1.3.1. Schmidt çekici sertlik testi

Schmidt çekici sertlik testi yapı taşlarının tek eksenli basınç dayanımı ve diğer mekanik özelliklerinin tahmini için sıklıkla kullanılmaktadır (Aydin ve Basu, 2005; İnce ve ark., 2018). Çalışmada blok numuneler üzerinden yapılan deneyin sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Çizelge 4.7. incelendiğinde, KC1 örneğinin Schmidt çekici sertlik değeri ortalama 37 değerinde iken, KC2 örneğinin değeri ortalama 41 olarak tespit edilmiştir. Örnekler sertlik değeri De Beer (1967) göre değerlendirildiğinde, her iki yapı taşı da "sert kayaç" olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.7. Örneklerin Schmidt çekici sertlik değerleri.

Schmidt çekici sertlik değeri (SHR)					
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Minimum**	**Maksimum**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	35	39	3,58	**37**
KC2	10	37	44	2,07	**41**

Çizelge 4.8. Schmidt çekici sertlik değeri sınıflaması (De Beer, 1967).

Schmidt çekici sertlik değeri	**Schmidt çekici sertlik sınıflaması**
16-20	çok zayıf
20-24	zayıf
24-30	orta
30-45	sert
45-60	çok sert

4.1.3.2. P-Dalga hızı testi

P-dalga hızı, yapı taşlarının boşluk, çatlak, ayrışma etkilerinin belirlenmesi ve kayacın dayanım özelliklerini tahmin etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Török, 2010; Fener ve İnce, 2015; Gökçe ve ark., 2016; İnce ve ark., 2018). Çalışmada her iki blok numuneden (KC1 ve KC2) hazırlanan on temsilci örneğin P-dalga hızı değerleri, Çizelge 4.9.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Örneklerin P-dalga hızı değerleri.

	P-Dalga hızı değeri, V_p (m/sn)				
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Min.**	**Max.**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	2180,69	2481,87	139,60	**2348,74**
KC2	10	2760,54	2862,78	46,1	**2823,50**

Çizelge 4.9. incelendiğinde boşluk oranı daha fazla olan KC1 örneğinin P-dalga hızı değeri (2348,74 m/sn), KC2'ye (2823,50 m/sn) göre daha düşüktür. Deney sonucunda KC1 numunesinin yüksek standart sapma değerine sahip olmasında, kayacın homojenliğinin düşük olması ve ayrışma etkilerinin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.10. P-dalga hızı sınıflaması (NBG, 1985).

P-dalga hızı değeri, (m/sn)	**P-dalga hızı sınıflaması**
< 2500	çok düşük
2500-3500	düşük
3500-5000	orta
5000-7000	yüksek
7000>	çok yüksek

Örneklerin P-dalga hızları NBG (1985)'e göre değerlendirildiğinde, KC1 "çok düşük sismik hız" gurubunda yer alırken, KC2 "düşük sismik hız" sınıflamasında bulunmaktadır (Çizelge 4.10.).

4.1.3.3. Tek eksenli basınç testi

Yapı taşlarının dayanım özellikleri belirlemede, tek eksenli basınç deneyi son derece önemli bir parametredir. Yapılarda kullanılacak taşların yüksek mekanik mukavemette olması istenmektedir. On temsilci karot örnek ile yapılan tek eksenli basınç dayanım test sonuçları Çizelge 4.11.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri.

	Tek eksenli basınç değeri, MPa (σ_c)				
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Minimum**	**Maksimum**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	10	14,34	16,89	1,22	**15,20**
KC2	10	32,17	37,62	2,17	**35,60**

Çizelge 4.11. incelendiğinde KC2 örneğinin tek eksenli basınç dayanımı KC1'e göre fazladır. Bu durumun KC2 örneği içerisinde yer alan boşlukların az olmasından kaynaklanmaktadır. İncelenen örneklerin her ikisi de, ISRM (1981)'e göre, **"**orta dirençli**"** kayaç sınıfında yer almaktadır.

4.1.4. Donma-çözünme test sonuçları

Deney, atmosferik etkilerden birisi olan donma-çözülme döngüleri sonucunda, yapı taşlarında meydana gelen bozunmaların tahmini için yapılmaktadır (Ulusay ve ark., 2001). Kayaç içerisindeki boşluk boyutu ve oranı, donma-çözünme sonucunda meydana gelen bozunmaları etkiler (Esaki ve Jiang, 2000). Blok numunelerden 5'er temsilci karot numune ile yapılan donma-çözünme deneyinin sonuçları, Çizelge 4.12.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Örneklerin donma-çözünme değerleri.

	Donma Kaybı Değeri, Dk (%)				
Örnek No	**Deney Sayısı**	**Min.**	**Max.**	**S. Sapma**	**Ortalama**
KC1	5	4,79	5,2	0,29	**4,59**
KC2	5	1,94	2,32	0,27	**2,13**

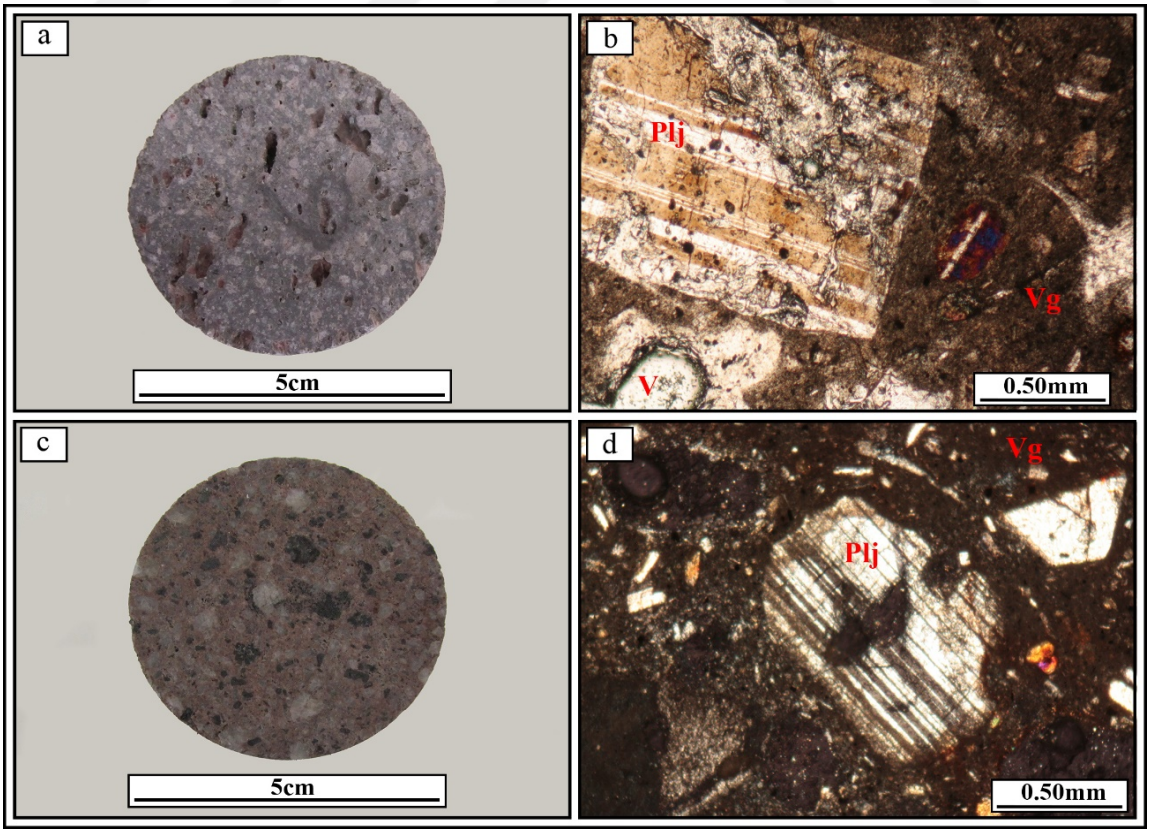
Çizelge 4.12. incelendiğinde KC1 örneğinde %4,59, KC2 örneğinde %2.13 ağırlık kaybı tespit edilmiştir.

4.1.5. Minerolojik, petrografik ve jeokimyasal analizlerin sonuçları

Bu bölümde, Küçükköy Kilisesi'nde kullanılan yapı taşlarının minerolojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri optik mikroskopi, X-ışını floresan spektrometresi ve taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında tartışılmıştır.

4.1.5.1. Petrografi analizi

Kayaçların petrografik özelliklerinin belirlenmesi bozunma teşhisi için son derece önemlidir. Petrografik özellikleri birbirinden farklı olan yapı taşları, aynı iklim şartları altında farklı dercelerde bozunabilir (Heidari ve ark., 2017b). Çalışmada kapsamında incelenen KC1 ve KC2 örneklerinin boşluk, doku ve mineral özelliklerinin belirlenebilmesi için yapılan makro ve ince kesit görüntüleri Şekil 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. KC1 örneği a) makro gürünüşü, b) ince kesit görünüşü (Çift nikol), KC2 örneği c) makro görünüşü, d) ince kesit görünüşü (Çift nikol) (Plj: plojioklas, Vg: volkanik cam, V: boşluk).

Şekil 4.3.'deki ince kesit görüntüleri incelendiğinde kayaçların içeriğinde, mikrolitik plajioklas matrikte, farklı boyutlarda iri kristalli mineraller tespit edilmiştir. Ayrıca KC1 örneği KC2 örneğine göre daha boşlukludur.

KC1 örneğinden yaptırılan ince kesitin, polarizan mikroskopta incelenmesi sonucunda kayaç içerisinde; plajioklas (~ % 14), plajioklas mikrolitleri (~% 20), hornblend (~% 18), biyotit (~% 11), klinoproksen (~% 3), kuvars (~% 5), opak mineral (~% 3) ve volkanik cam (~% 26) belirlenmiştir. KC2 kayaç örneğinin polarizan mikroskopta incelenmesi sonucunda ise kayaç içerisinde; plajioklas (~ % 16), plajioklas mikrolitleri (~% 21), hornblend (~% 17), biyotit (~% 12), klinoproksen (~% 1), kuvars (~% 6), opak mineral (~% 2) ve volkanik cam (~% 25) izlenmektedir.

Mikro incelemelerde kayaç içerisindeki plajioklaslar hem fenokristal hem de mikrolit fazında izlenmektedir. Plajioklas fenokristalleri gelende yarı özşekilli prizmatik kristaller halinde olup albit ve karlsbad ikizlenmeleri ile belirgindir. Bu plajioklaslarda yer yer zonlanma da gözlenmektedir. Plajioklaslarda yapılan sönme açısı tayinlerine göre bunların oligoklas ($Ab_{72}An_{28}$) ve andezin ($Ab_{67}An_{33}$, $Ab_{60}An_{40}$) bileşiminde oldukları görülmektedir. Mikrolit fazındaki plajioklaslar ise kayacın hamur fazında gözlenir. Plajioklas mikrolitleri oldukça küçük boyutlu uzun prizmatik şekilli kristaller halinde olup yaygın olarak albit ikizlenmeleri gösterir. Hornblendler kısa-uzun prizmatik şekiller sunar. Kısa prizmatik olan hornblendlerde altıgen şekiller oldukça belirgindir. Kahverengi olarak gözlenen hornblendler yer yer oksitlenmiştir. Yine kahverengi olarak gözlenen biyotit fenokristalleri levhamsı şekiller sunar. Bazı biyotitlerde de oksitlenme izlenmektedir. Kayaç içerisindeki proksenler yarı özşekilli kısa-uzun prizmatik kristaller halindedir. Kısa prizmatik proksenlerde çift yönlü birbirine dik dilinimler belirgindir. Bu proksenler eğik sönme (klinoproksen) gösterir. Renksiz-çok soluk yeşil renk ve yaklaşık 40^o-45^o eğik sönme gösteren klinoproksenler muhtemelen "diyopsit/ojit" bileşimindedir.

Bazı hornblend ve biyotitlerde gözlenen oksitlenme yaklaşık % 3 oranındadır. Oksitlenme sonucu kayaçta oksihornblendler açığa çıkmıştır. Kristallerden ve volkanik camdan oluşan bu kayaç, kristallenme derecesine göre "hipokristalin doku" gösterir. Kayaç içerisinde hem fenokristaller ve hem de hamur fazı birlikte gözlendiğinden, kayaç tane durumuna göre "porfirik doku" sunar. Hamur fazı volkanik cam ve mikrolitlerden oluştuğu için, kayaç ayrıca "hipokristalin porfirik doku"ludur.

Mineralojik bileşimi gözönüne alındığında, Streckeisen (1967) sınıflamasına göre kayaç "andezit" bileşimindedir. Kayaç içerisinde mafik minerallerden yaygın olarak hornblend yer alır. Dolayısıyla, kayaç "hornblend andezit" olarak isimlendirilmiştir.

4.1.5.2 X-ışını floresan spektrometresi (XRF) analizi

Çalışma kapsamında derlenen blok örnekler içerisindeki kristallerin kimliklerinin belirlenmesi ve sayısal özelliklerinin tespit edilebilmesi için X-ışını floresan spektrometresi analizi yapılmıştır. Örneklerin X-ışını floresan spektrometresi analizleri Çizelge 4.13.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Örneklerin major oksit değerleri.

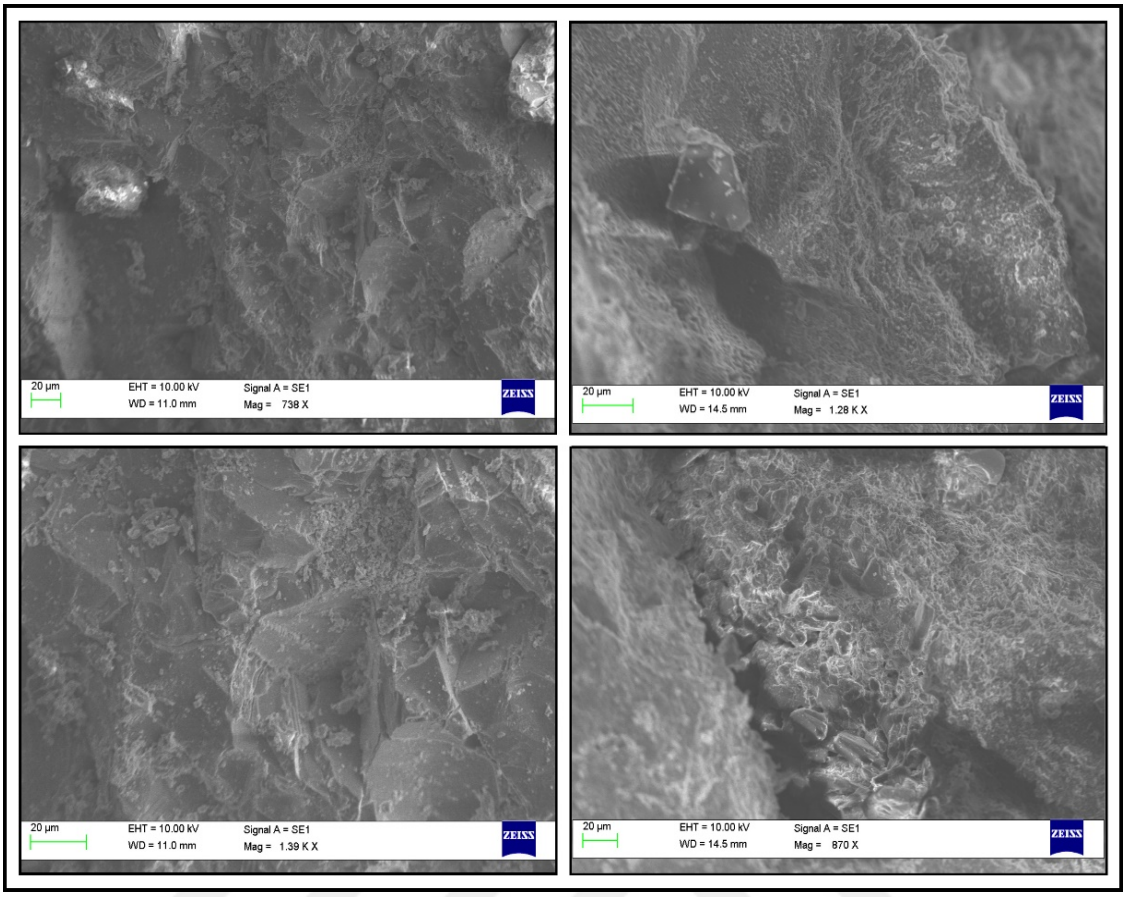
	Major okist değerleri											
Örnek no	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	MnO	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	LOI
KC1	60,348	16,934	4,869	3,244	2,513	2,604	6,007	0,080	0,582	0,202	0,019	2,12
KC2	62,23	14,17	4,798	3,24	2,786	1,864	5,84	0,0077	0,531	0,238	0,11	4,92

Çizelge 4.13. incelendiğinde KC1 ve KC2 örnekleri benzer elementel özellikler göstermektedir. Ayrışma (bozunma) çalışmalarında kimyasal analizlerdeki farklılıklar önemlidir. Bu örnekler içersinde de KC1 örneğinni ateşte kayıp (LOI) değeri belirgin olarak diğer örneğe göre farklıdır. Ayrıca KC1 örneğinin silis içeriği daha düşük bulunmuştur.

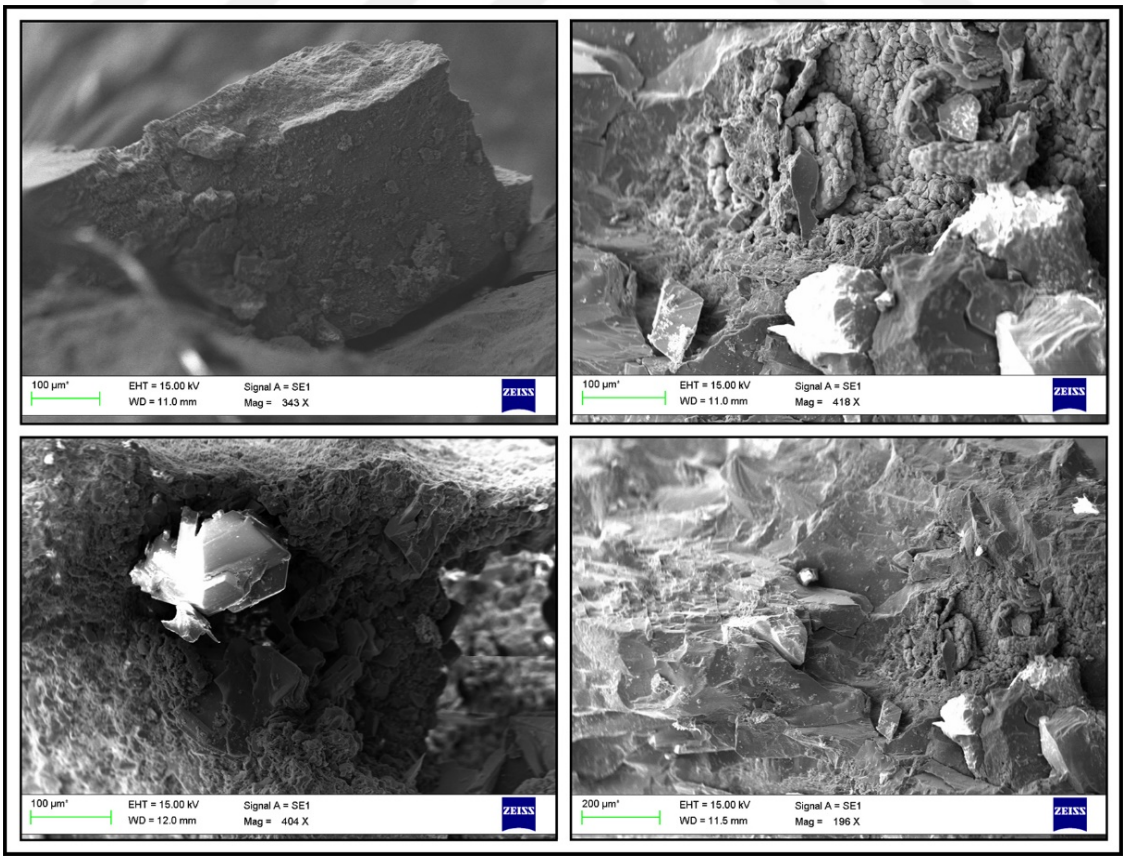
4.1.5.3. Taramalı elektron mikroskop (Sem-EDX) analizi

Çalışmada incelenen KC1 ve KC2 yapı taşlarının içerisindeki minerallerinin (kiristallerin düzeni, süreksizlik ve boşluklar ile yüzey geometrisinin belirlenebilmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları yapılarak Şekil 4.4. ve 4.5.'de sunulmuştur.

Şekil 4.4. ve 4.5'deki görüntüler incelendiğinde, KC1 örneği daha iri kristalli yapıda olduğu, KC2 örneğinin ise daha homojen dokulu ve ince taneli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her iki örneğin boşluk yapıları da birbirlerinden oldukça farklıdır.



Şekil 4.4. KC1 örneğinin Sem-EDX görüntüleri.



Şekil 4.5. KC2 örneğinin Sem-EDX görüntüleri.

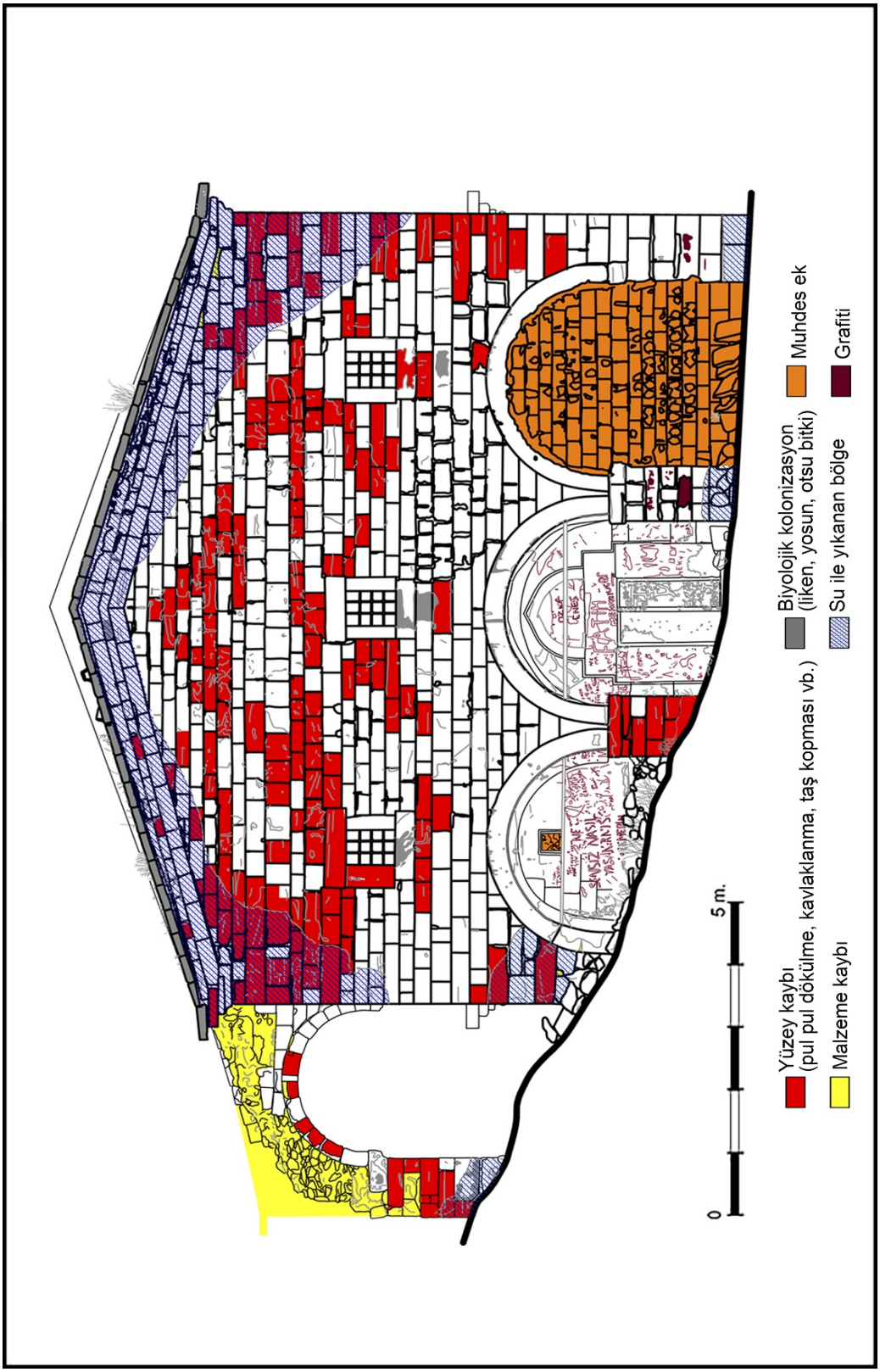
4.2. Saha Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Yapı taşlarında meydana gelen bozunmaların tespit edilme aşamasında, tarihi yapılara verilecek hasar boyutu minimuma indirgenmelidir (Karadayı Yenice, 2012). Bu amaçla Küçükköy Kilisesi yapı taşlarında gözlemlenen bozunma mekanizmalarının tipleri ve kökenlerini belirlemek için görsel analiz, litoloji analizi ve tahribatsız test tekniklerinden oluşan bir bütüncül bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca laboratuvarda bozunmamış örnekler ile yapılan deneylerden elde edilen veriler ile yerinde uygulanan tahribatsız testlerden elde edilen veriler karşılaştırılarak bozunmaların etki derceleri belirlenmiştir. Saha çalışmaları "görsel analizlerin değerlendirilmesi", "litoloji değerlendirmesi" ve "tahribatsız testlerin değerlendirilmesi" olmak üzere dört alt başlıkta incelenmiştir.

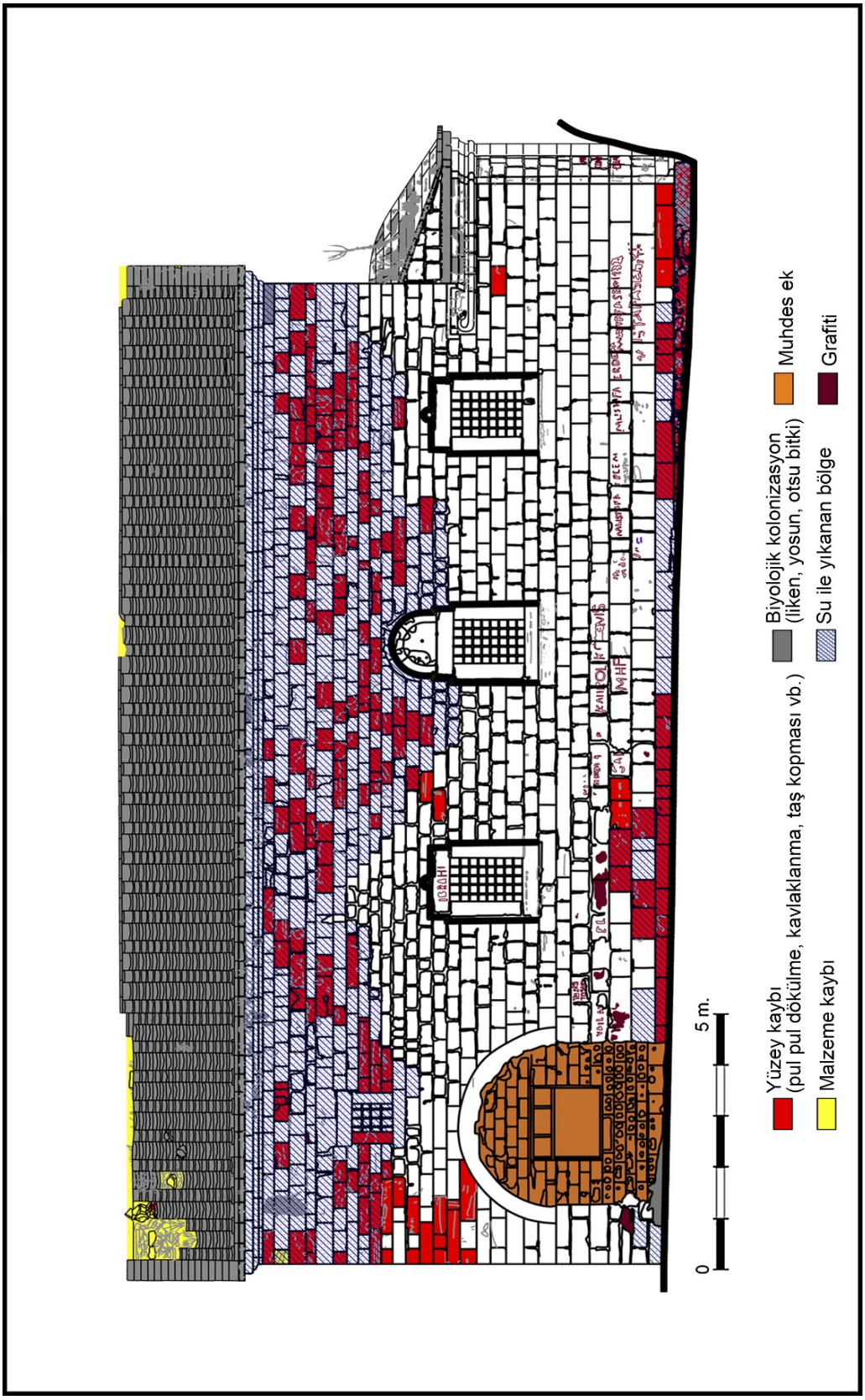
4.2.1. Görsel analizlerin değerlendirilmesi

Sahada yapılan görsel analizler neticeside, Küçükköy Kilisesi cephelerinde atmosferik etkilerden dolayı "yüzeysel kayıplar" ve "su ile yıkanan bölge", biyolojik etkilerden kaynaklı "biyolojik kolonizasyon" ve insan etkilerinden dolayı "malzeme kaybı", "muhdes ek" ve "garafiti" tahribatları tespit edilmiştir. Cephelerde belirlenen bu tahribatlar, bozunma haritalarında altı farklı renkte temsil edilerek belgelenmiştir.

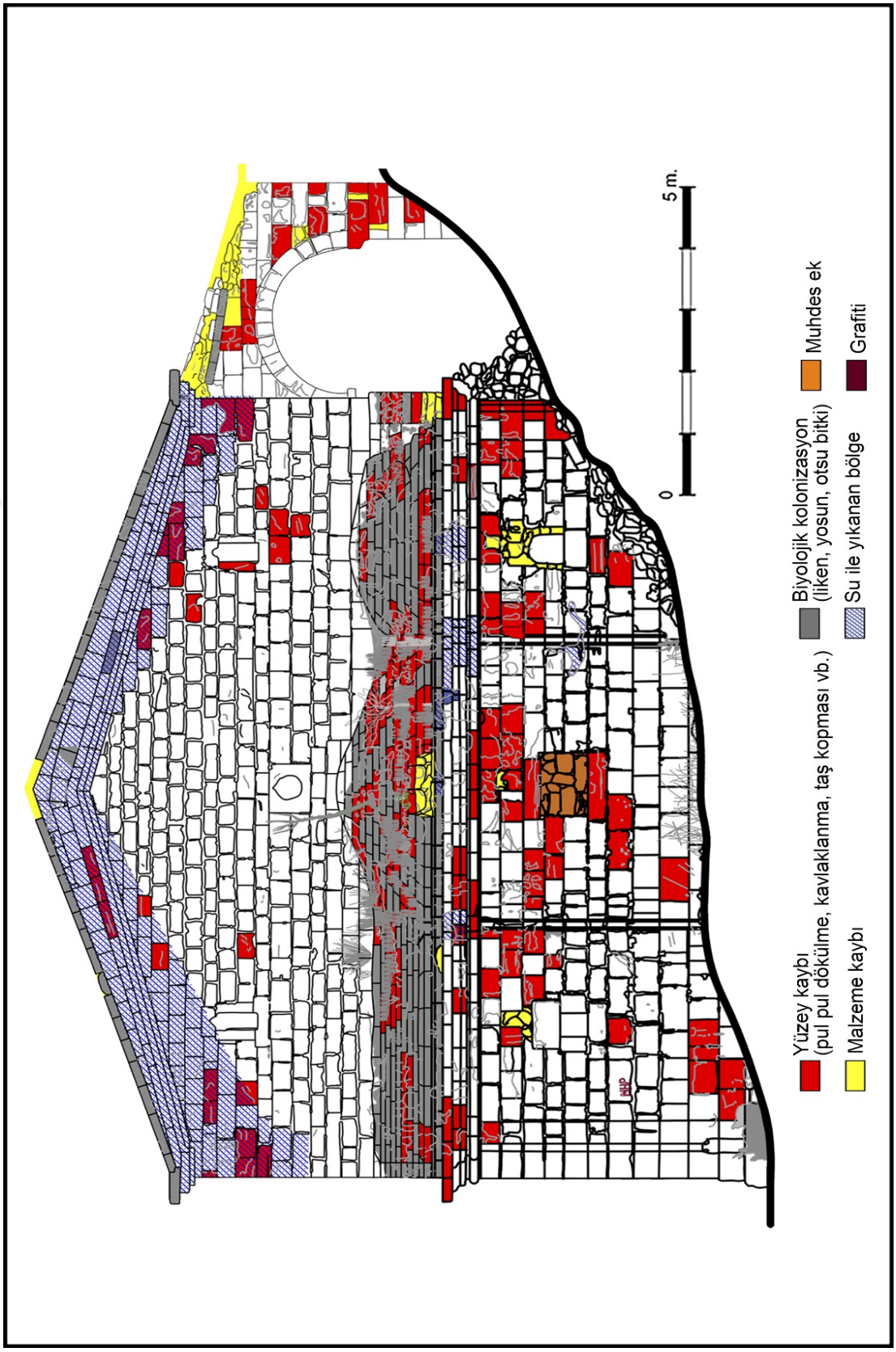
Bozunma haritaları, bozunmaların tiplerini ve dağılımını belgelemek için geliştirilmiş tahribatsız bir yöntemdir (Heinrichs ve Fitzner, 2007). Heykelden kompleks yapılara kadar tüm taş anıtlarda uygulanabilen haritalama yöntemi ile bozunma tipleri arasında ilişkiler kurulup tahribatların nedenleri değerlendirilebilmektedir (Fitzner ve ark., 2003). Bu amaçla oluşturulan bozunma haritaları Şekil 4.6.-9.'da verilmiş ve kilisedeki bozunma nedenleri atmosferik, biyolojik ve insan etkileri başlıkları altında değerlendirilmiştir.



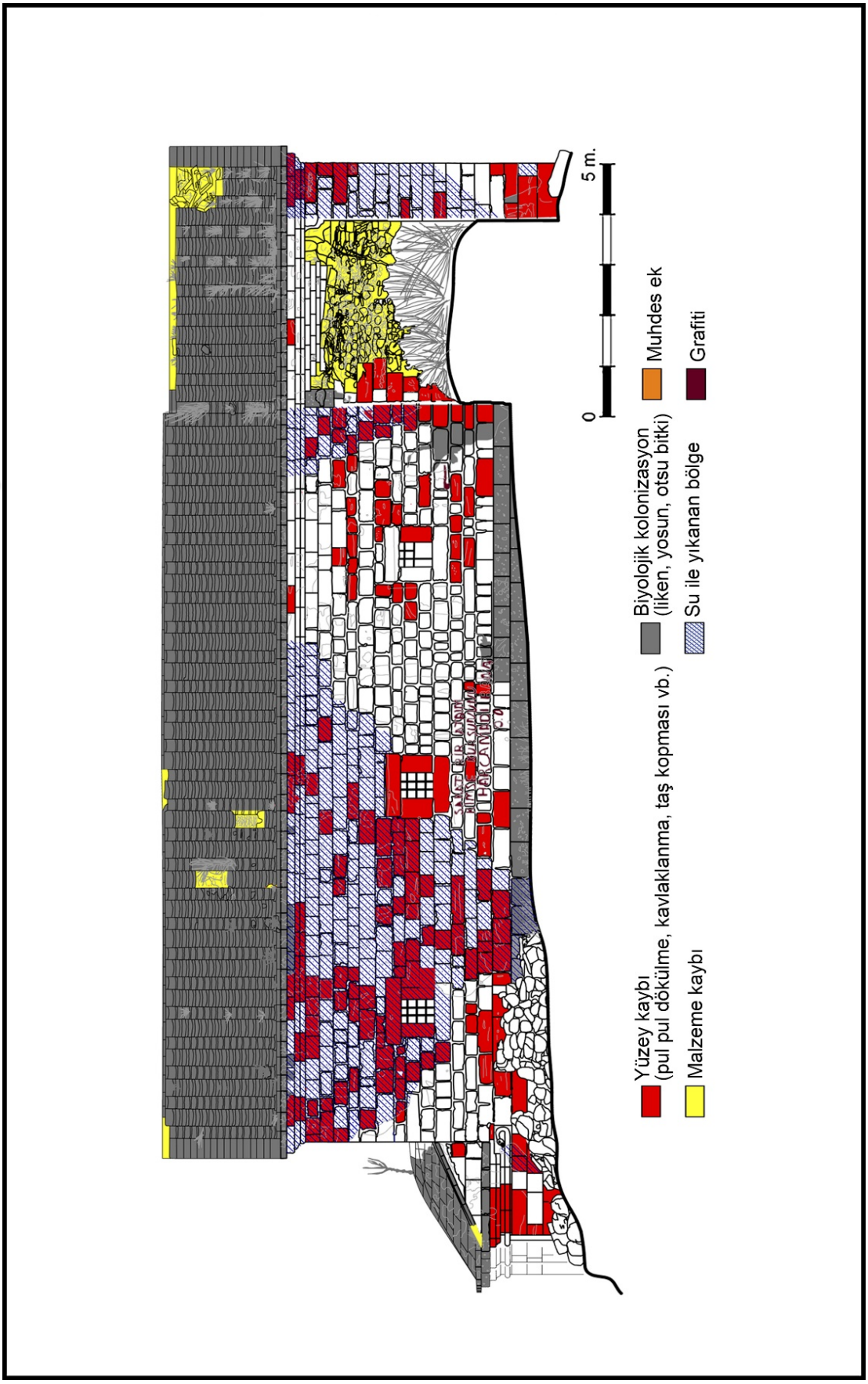
Şekil 4.6. Batı cephe bozunma haritası.



Şekil 4.7. Güney cephe bozunma haritası.



Şekil 4.8. Doğu cephe bozunma haritası.



Şekil 4.9. Kuzey cephe bozunma haritası.

4.2.1.1. Atmosferik etkilerin değerlendirilmesi

Sıcaklık, nem ve rüzgar gibi atmosferik etkiler, yapı taşlarındaki bozunma mekanizmalarının etkin bir şekilde çalışmasına tetikleyerek, pul pul dökülme, kavlaklanma, patlama, taş kopması gibi tahribatların meydana gelmesine neden olur. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarındaki atmosferik etkilere bağlı bozunmalar incelendiğinde, cephelerde pul pul dökülme, kavlaklanma, yuvarlanma, patlama ve kopma tiplerindeki yüzeysel kayıplar belirgindir. Yapı taşlarındaki yüzeysel kayıpların, cephelere göre yüzdelik dağılımı çizelge 4.14.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Yapı taşlarındaki yüzeysel kayıp oranlarının cephelere göre dağılımı

Cephe	Yüzeysel kayıp (%)
Kuzey	19,3
Güney	11,5
Doğu	9,8
Batı	20,9

Çizelge 4.14.'e göre, yüzeysel kayıplar en fazla batı cephede, en az ise doğu cephede tespit edilmiştir. Bozunmanın en fazla batı cephede görülmesinin nedeninin çatıda meydana gelen taş kayıplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yağmur suları taş kayıpları nedeniyle cepheye süzülmekte ve bozunma sürecini hızlandırmaktadır. Yapının diğer cephelerindeki bozunmalar, kapiler ve süzülme bölgelerindeki su hareketlerinden kaynaklanmaktadır.

Su, kayaçlarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma süreçlerinin ana etkenidir (Franzoni ve ark., 2014). Şekil 4.6.-9.'daki bozunma haritaları incelendiğinde, cephelerin kapiler ve süzülme bölgelerinde, sudan kaynaklı renk değişimleri belirgindir. Bozunma haritalarında da görüleceği üzere nem sorunun olduğu alanlardaki yapı taşlarında bozunma oranı oldukça yüksektir. Cephelerdeki sudan kaynaklı renk değişikliğinin cephelere göre yüzdelik dağılımı Çizelge 4.15. sunulmuştur.

Çizelge 4.15. incelendiğinde kuzey ve güney cephelerde sudan kaynaklı renk değişiklikleri diğer cephelere göre oldukça fazladır. Güney ve kuzey cephelerdeki bu yüksek oran, saçaklarda kullanılan yapı taşları arasında zamanla gelişen boşluklardan kaynaklanmaktadır (Şekil 4.10.).

Çielge 4.15. Yapı taşlarındaki sudan kaynaklı renk değişikliğinin, cephelere göre yüzdelik dağılımı.

Cephe	Sudan kaynaklı renk değişikliği (%)
Kuzey	37,9
Güney	29,8
Doğu	7,58
Batı	16,26

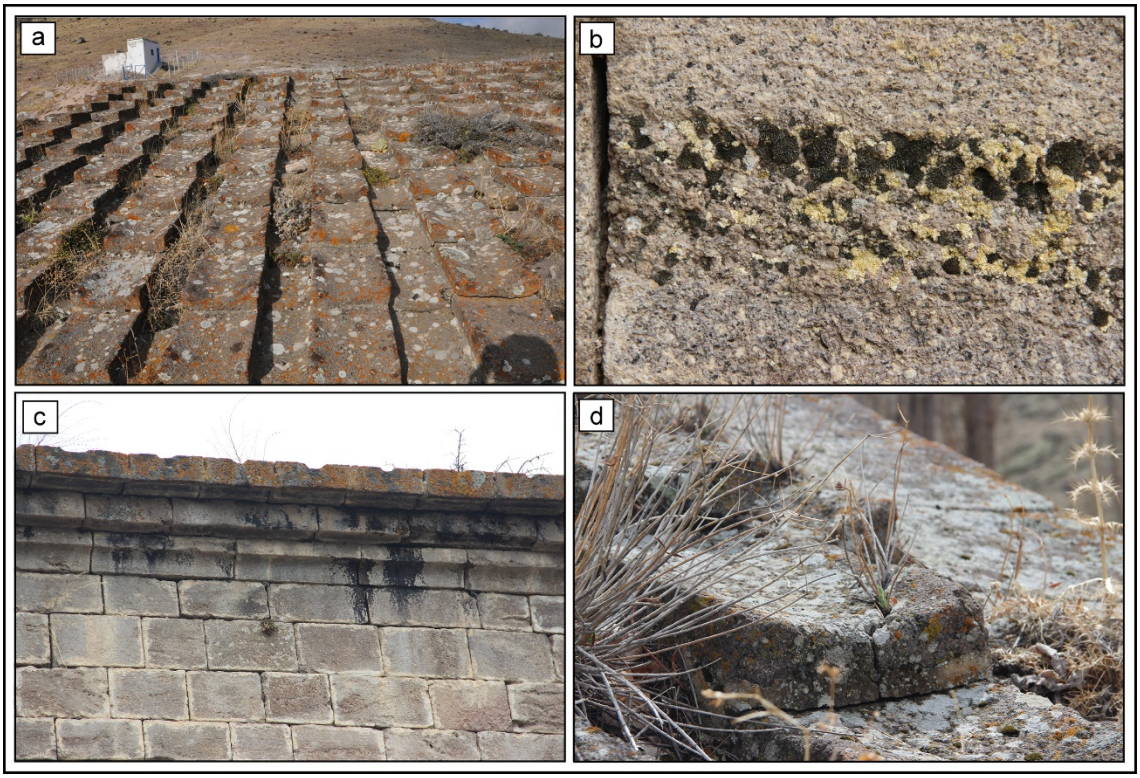
Nispeten daha düşük yüzdelere sahip doğu ve batı cephelerdeki sudan kaynaklı renk değişiklikleri ise, yapının çatısında meydana gelmiş olan taş kayıplarından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.10. Çatıdaki yapı taşları arasında zamanla gelişen boşluk.

4.2.1.2. Biyolojik etkilerin değerlendirilmesi

Biyolojik oluşumlar, pürüzlülüğün fazla olduğu yapı taşlarına ve derz aralarına yerleşerek, taşlarda fiziksel ve kimyasal tahribatlara neden olur (Korkanç ve Savran, 2015). Ayrıca suyun varlığı biyolojik ajanların gelişimini arttırmaktadır (Papida ve ark., 2000). Şekil 4.6.-9.'daki bozunma haritaları incelendiğinde, kilise çatısının tamamında likenlere bağlı biofilm tabakası ve otsu bitki oluşumları görülmektedir (Şekil 4.11.a).

Bu durum yağmur sularının, yapının üst örtüsüne direkt etki etmesinden kaynaklanmaktadır. Yapının kapiler (Şekil 4.11.b) ve süzülme bölgelerinde (Şekil 4.11c) ise yer yer liken oluşumları vardır. Ayrıca taş aralarına yerleşen bitki köklerinin mekanik etkileri ile taşlarda parçalanmalar tespit edilmiştir (Şekil 4.11.d).



Şekil 4.11. Küçüllöy Kilise'sindeki biyolojik aktivitelerin görünüşleri; a) çatının tamamında gözlemlenen biyofilm tabakası, b) kapiler bölgede gelişen biyolojik vejetasyon, c) süzülme bölgesinde gelişen biyolojik kolonizasyon, d) otsu bitkinin neden olduğu kama etkisi.

Kilisenin cephelerinde oluşan biyolojik kolonizasyonun cephelere göre yüzdelik dağılımı Çizelge 4.16.'da verilmiştir.

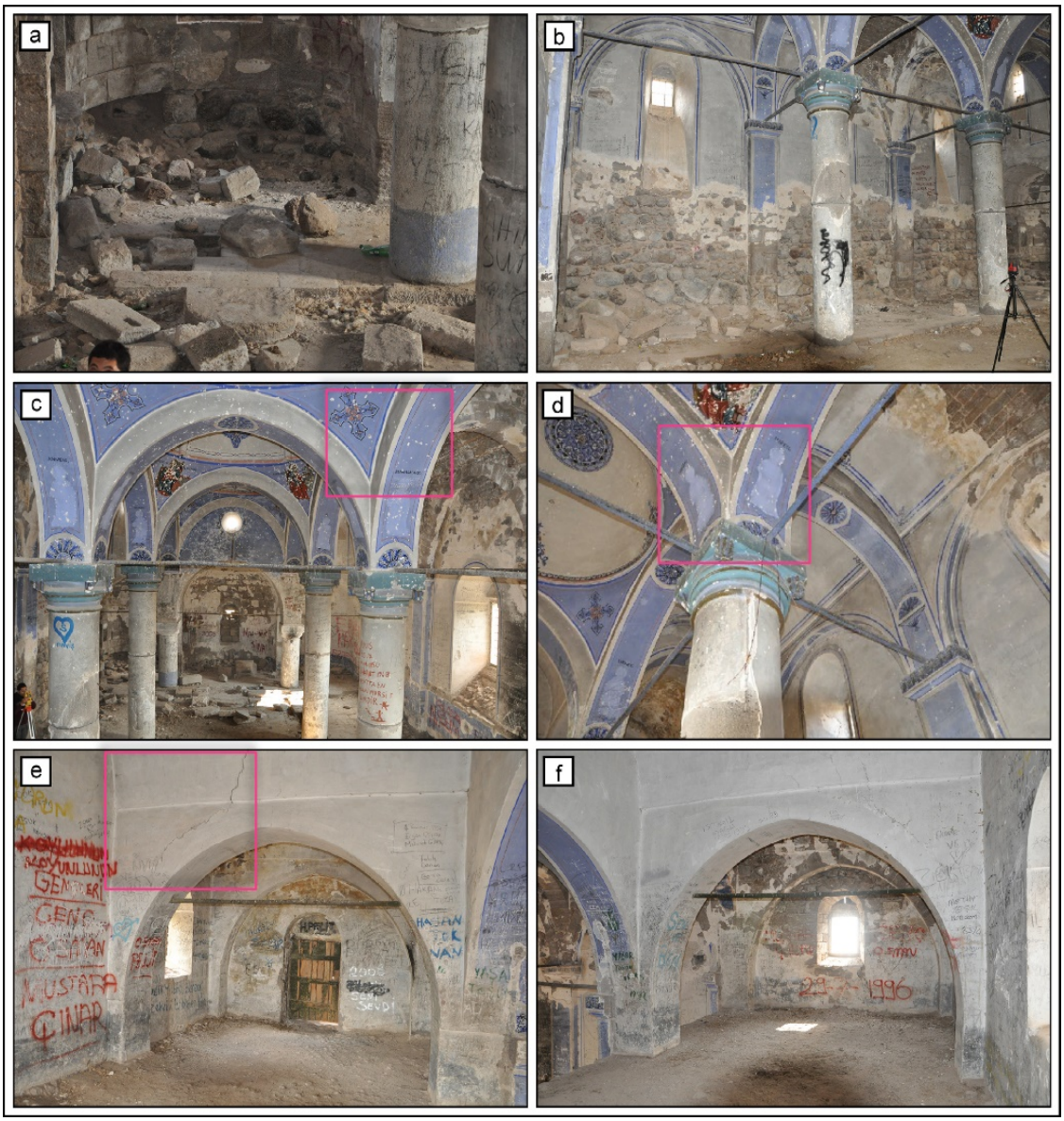
Çizelge 4.16. Biyolojik kolonizasyonun cephelere göre dağılımı

Cephe	Biyolojik kolonizasyon (%)
Kuzey	39,3
Güney	21,8
Doğu	8,13
Batı	2,68

Çizelge 4.16. incelendiğinde biyolojik etki en fazla kuzey cephede, en az batı cephede tespit edilmiştir. Cephelerdeki bu oran değişimleri yapının beşik çatı sisteminden kaynaklanmaktadır.

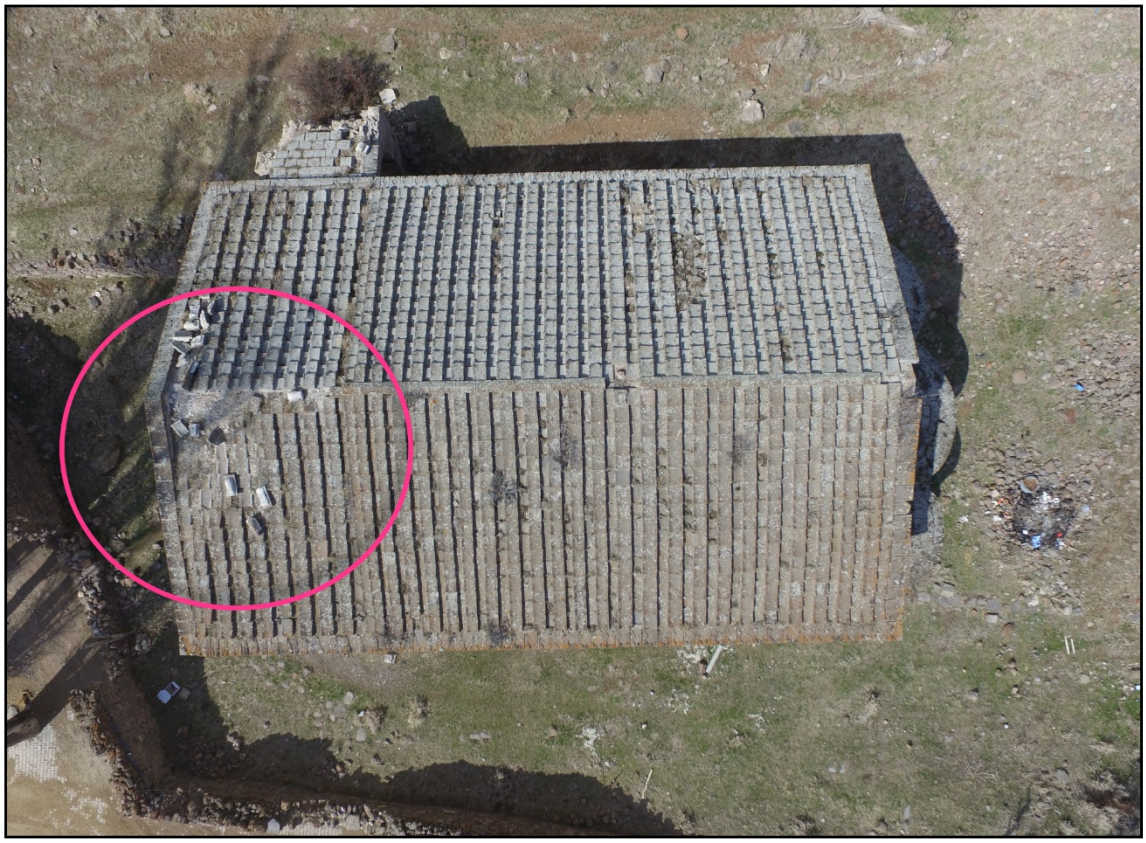
4.2.1.3. İnsan etkilerinin değerlendirilmesi

Tarihi yapılar; tasarım hataları, bakımsızlık, vandalizm, kirlilik, yangın, savaş ve tarihi yapı yönetimindeki hatalar gibi insan etkenlerinden dolayı tahribatlara uğrar (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Küçükköy Kilisesi'ndeki insanlardan kaynaklı etkiler incelendiğinde, bakımsızlık, yanlış ek ve vandalizm gibi tahribatlar yapı içinde ve dışında görülmektedir. Yapı içerisinde; malzeme kayıpları (Şekil 4.12.a), sıva kayıpları (Şekil 4.12.b), kurşun (mermi) izleri (Şekil 4.12.c), duvarlarda bulunan ikonların yerlerinden sökülmesi (Şekil 4.12.d), ve grafiti (Şekil 4.12.e ve f) tahribatları bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Kilise'si içerisindeki insan etkilerinden kaynaklı tahribatlar; a) malzeme kaybı, b) sıva kaybı, c) kurşun (mermi) izleri, d) ikonların sökülmesi, e) grafiti ve kurşun izleri, f) grafiti.

Yapının dışında ise, tüm cephelerde grafiti tahribatları vardır. Ayrıca kilisenini çatısında bulunan taş blokların bir kısmı yerlerinden sökülmüş, bir kısmı ise yok olmuştur (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Küçükköy Kilisesi çatısındaki malzeme kaybı.

Kilisenin cephelerindeki taş kayıplarının yüzdesel dağılımı Çizelge 4.17'de verilmiştir.

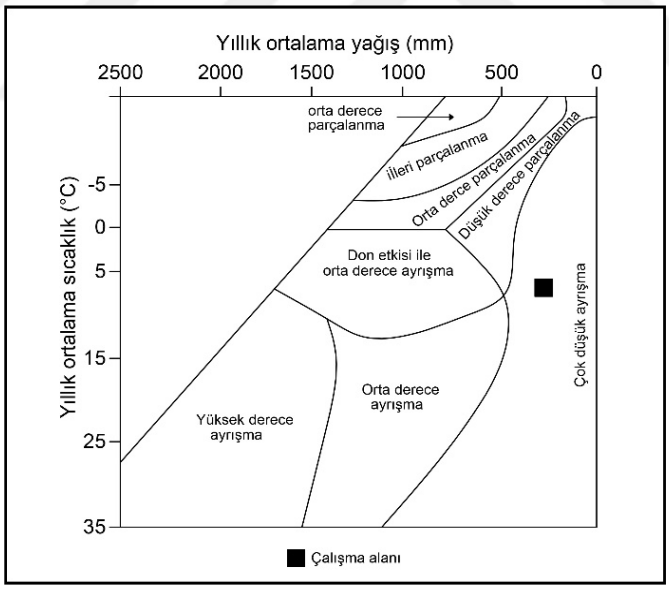
Çizelge 4.17. Kilisedeki taş kayıp oranlarının cephelere göre dağılımı.

Cephe	Taş kaybı (%)
Kuzey	4,86
Güney	1,68
Doğu	0,89
Batı	4,4

Çizelge 4.17. incelendiğinde taş kayıpları en fazla kuzey cephede, en az ise doğu cephededir. Yapı içinde ve dışında gözlemlenen insanlardan kaynaklı tahribatların, kilisenin bozunma sürecini hızlandırdığı düşünülmektedir.

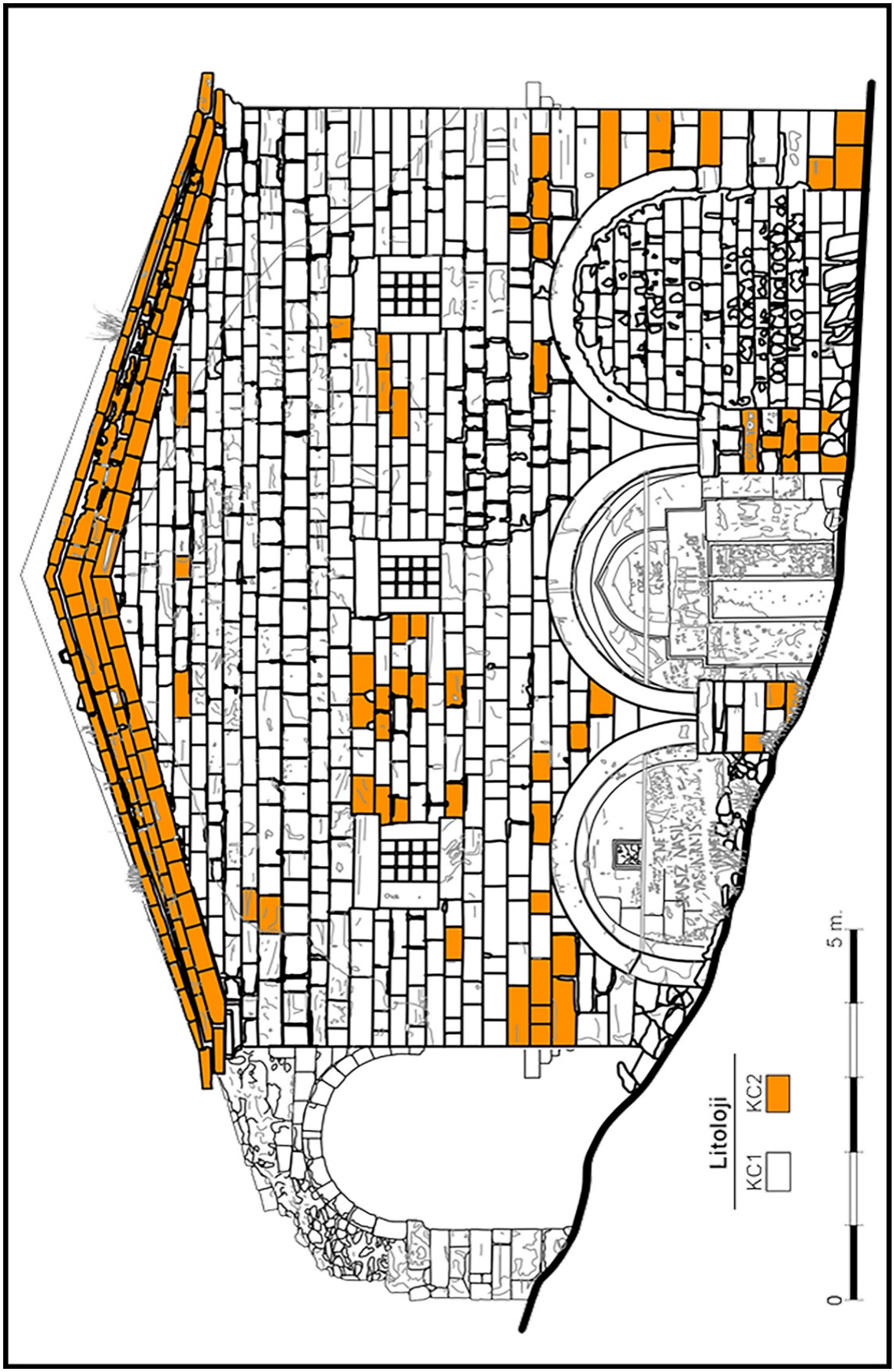
4.2.2. Litoloji değerlendirmesi

Küçükköy Kilisesi'nin yapı taşı olan andezitik kayaçlar, Türkiye'deki birçok tarihi yapıda yaygın olarak kullanılmıştır (yapı taşı, mezar taşı, su kemeri, agrega ve diğer uygulamalar) (Koca ve Kıncal, 2004; Orhan ve ark., 2006; Zedef ve ark., 2007; Ozden ve Topal, 2009; Ozcelik, 2011; Özvan ve ark., 2011; Yavuz, 2011; Kaplan ve ark., 2013; Korkanç, 2013; Fener ve İnce, 2015; Yavuz ve ark., 2017). Son yıllarda yapılan araştırmalarda, tarihi yapılarda kullanılan andezitlerin atmosferik etkilere karşı oldukça iyi korunmuş olduğu, sadece sınırlı parçalanma ve hafif derecede bozunma olduğu belirlenmiştir (Yavuz ve ark., 2017). Ayrıca Niğde bölgesi tarihi yapılarında kullanılan taşlarda en az bozunma, yüksek dayanımları ile andezitlerde gerçekleşmiştir (Korkanç, 2013). Ancak yapı malzemesinin jeomekanik özellikleri bozunma sürecinin hızlanmasına neden olabilir (Turkington ve Paradise, 2005). Çalışma alanında yıllık sıcaklık ve yağış ortalamasına göre düşük bozunma (fiziksel ve kimyasal) etkileri beklenmektedir (Şekil 4.14.).

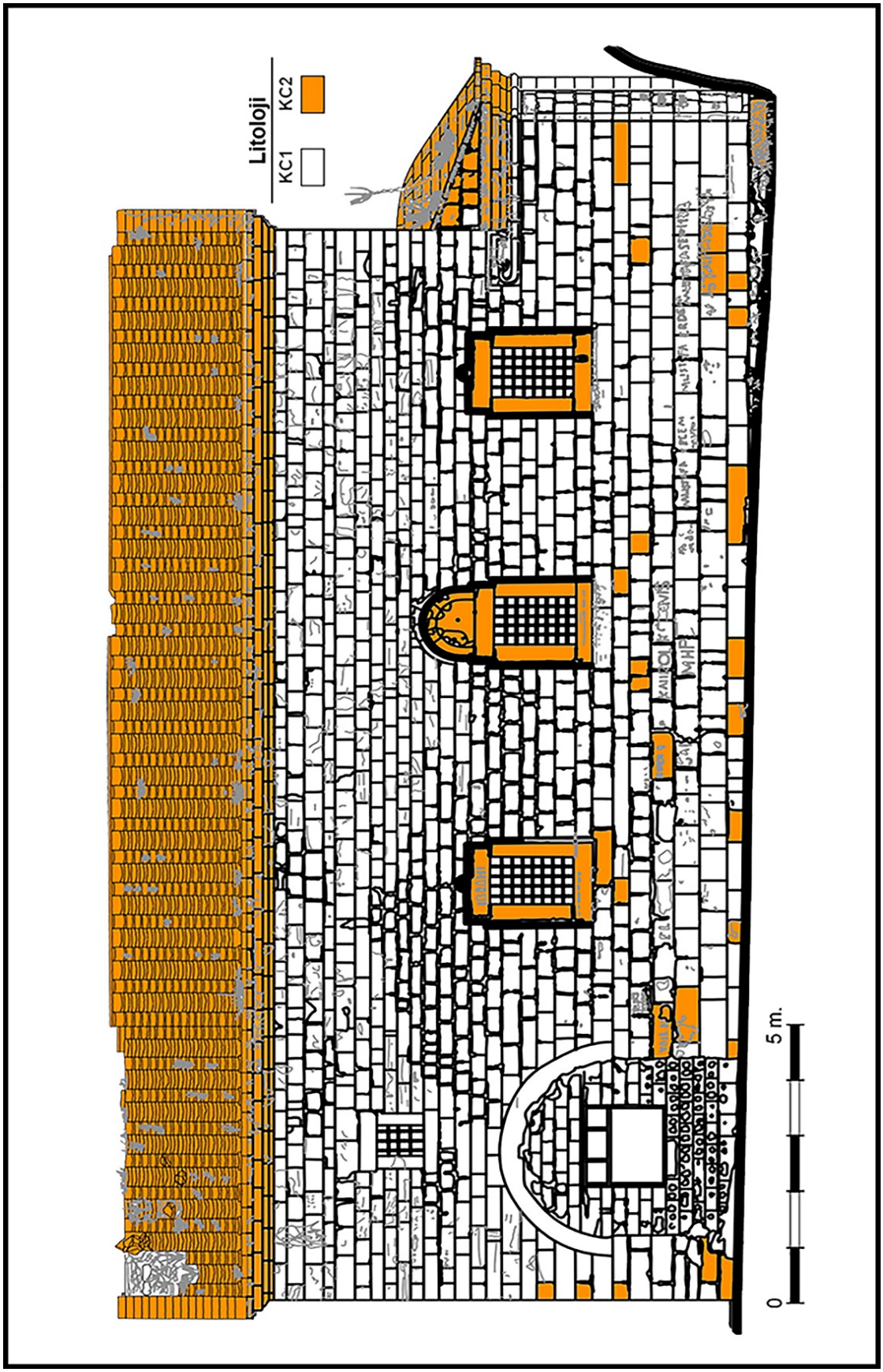


Şekil 4.14. Niğde bölgesi yıllık ortalama sıcaklık ve yağışa bağlı ayrışma grafiği (Fookes ve ark. (1971)'e göre hazırlanmıştır).

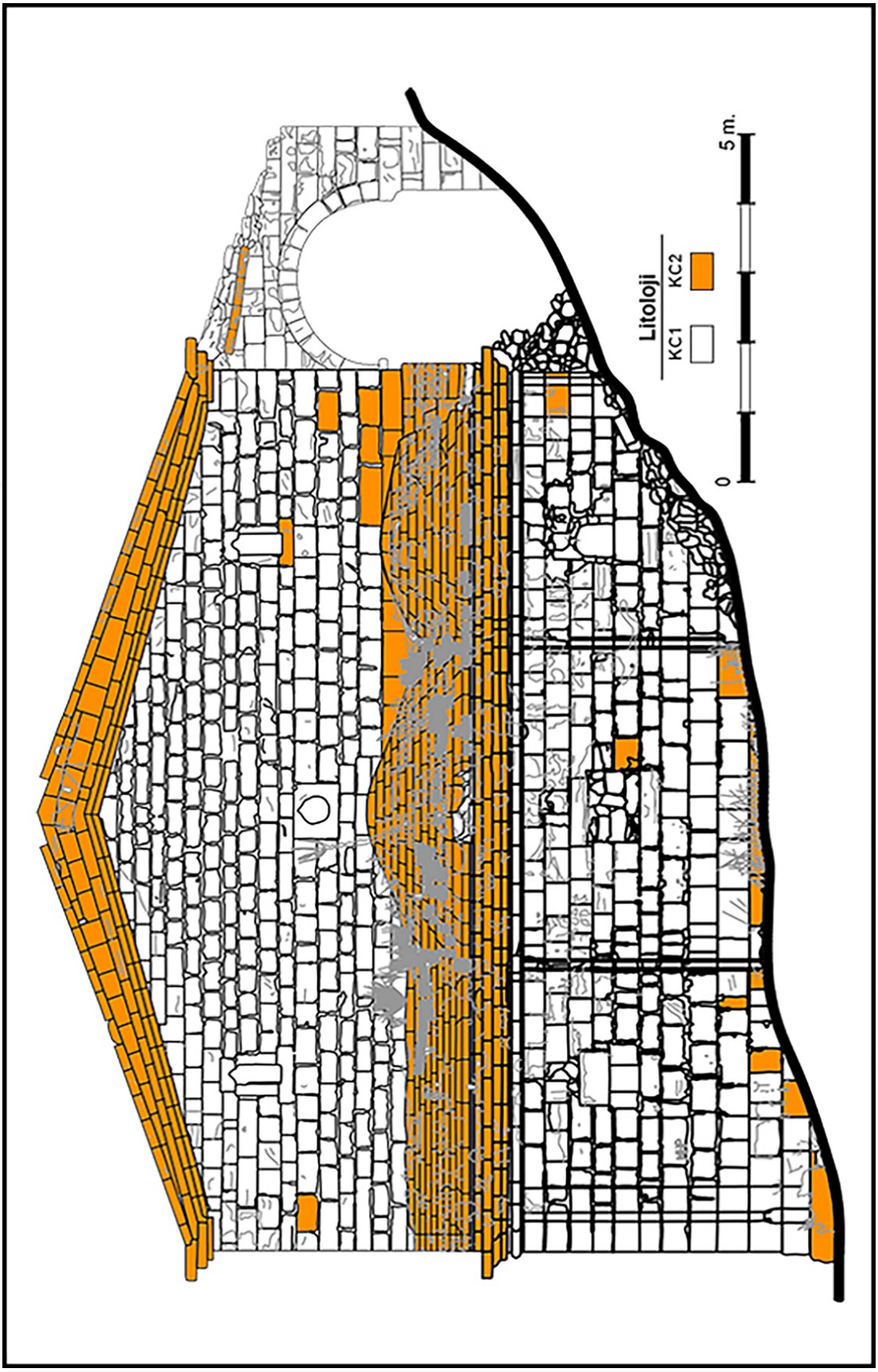
Fakat kilisesinin terk edilmesi, bakımsızlık ve yapı taşlarının düşük mühendislik özellikleri sergilemesinden dolayı, ayrışma etkileri oldukça fazladır. Küçükköy Kilisesi'nde kullanılan iki farklı dokusal özellikteki andezit yapı taşının, fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden farklıdır. Yapıda kullanılan taşların litoloji haritaları Şekil 4.15.-18.'de verilmiştir.



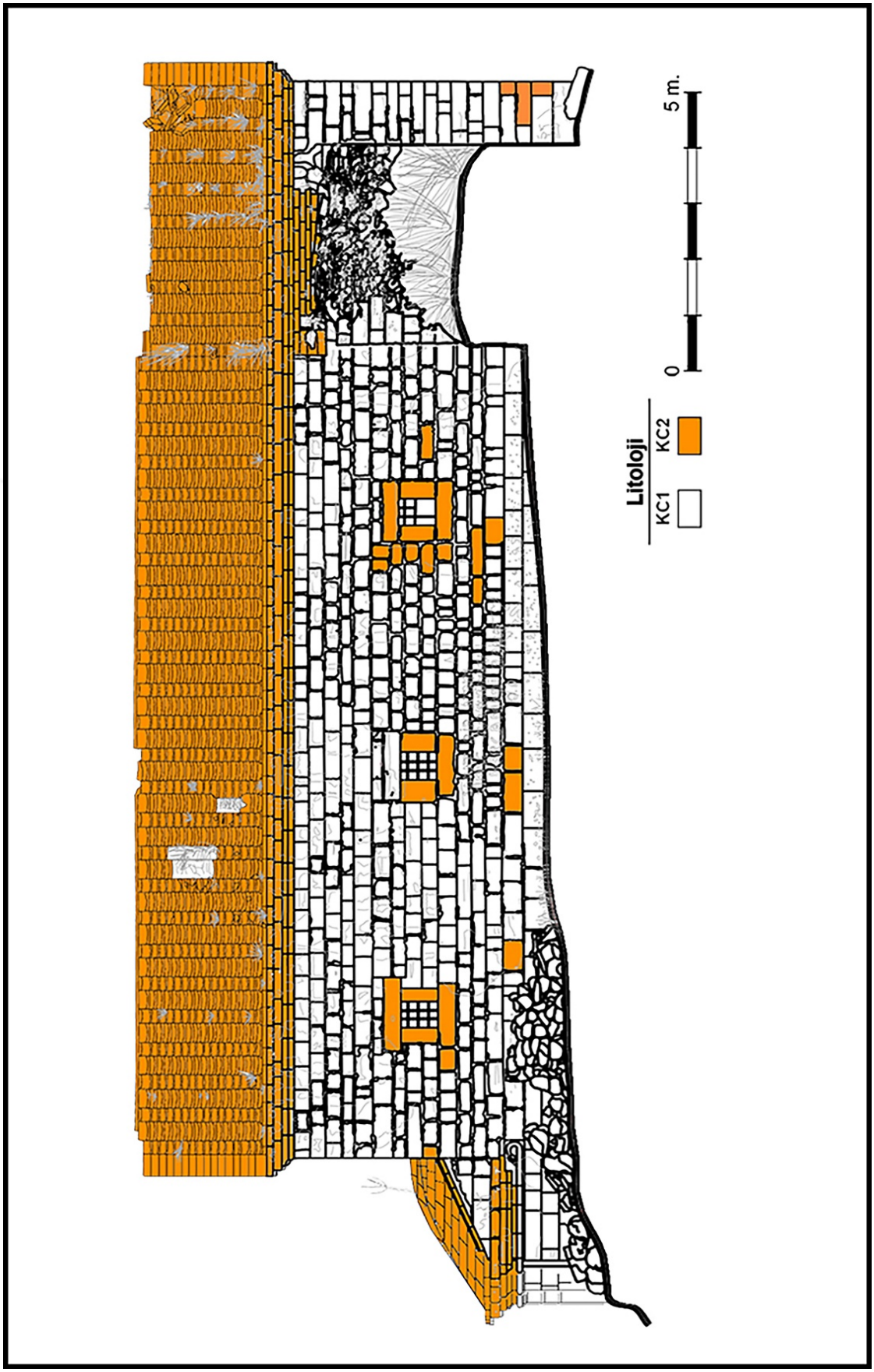
Şekil 4.15. Batı cephe litoloji haritası.



Şekil 4.16. Güney cephe litoloji haritası.

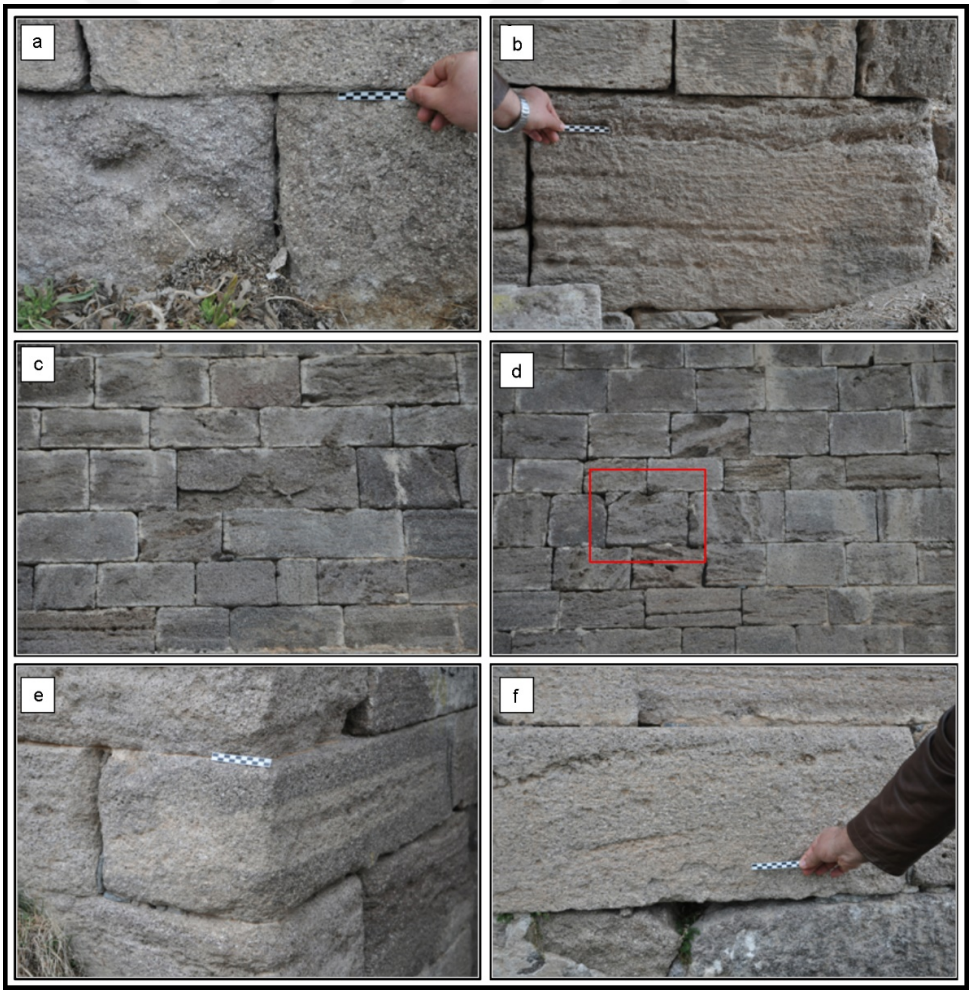


Şekil 4.17. Doğu cephe litoloji haritası.



Şekil 4.18. Kuzey cephe litoloji haritası.

Şekil 4.15.-18.'deki litoloji haritaları incelendiğinde KC1 örneğine benzer özellikteki yapı taşları, yapının cephe duvarlarının büyük çoğunluğunda kullanılmış olup, KC2 taşları daha çok çatıda kullanılmıştır. KC2 taşlarının daha düşük boşluklu olmasından dolayı, çatıda tercih edildiği düşünülmektedir. Mühendislik özellikleri birbirinden nispeten farklı olan bu iki yapı taşı, kilisede herhangi bir strüktürel olumsuzluk oluşturmazken, bozunma sürecinde taşlarda farklı etkilerin gelişmesine neden olmuştur (Şekil 4.19.). Şekil 4.19.'daki bozunma tipleri incelendiğinde; daha yüksek boşluğa sahip olan KC1 taşlarında pul pul dökülme (Şekil 4.19.a), jeolojik oluşumuna bağlı zayıf kesimlerinde yüzeysel kayıplar (Şekil 4.19.b), kavlaklanma (Şekil 4.19.c) ve taş kopması (Şekil 4.19.d) tiplerinde bozunmalar görülmektedir. Daha düşük boşluklu KC2 taşlarında ise yapı genelinde belirgin bozunmalar görülmezken, suyun etkin olduğu bölgelerde pul pul dökülme (Şekil 4.19.e) ve zayıf kesimlerinde yüzeysel kayıplar gözlenmiştir (Şekil 4.19.f).



Şekil 4.19. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarında gözlemlenen bozunma tipleri; a) pul pul dökülme, b) jeolojik oluşuma bağlı zayıf kesimlerinde yüzeysel kayıplar, c) kavlaklanma, d) taş kopması, e) pul pul dökülme, f) zayıf kesimlerde yüzeysel kayıplar.

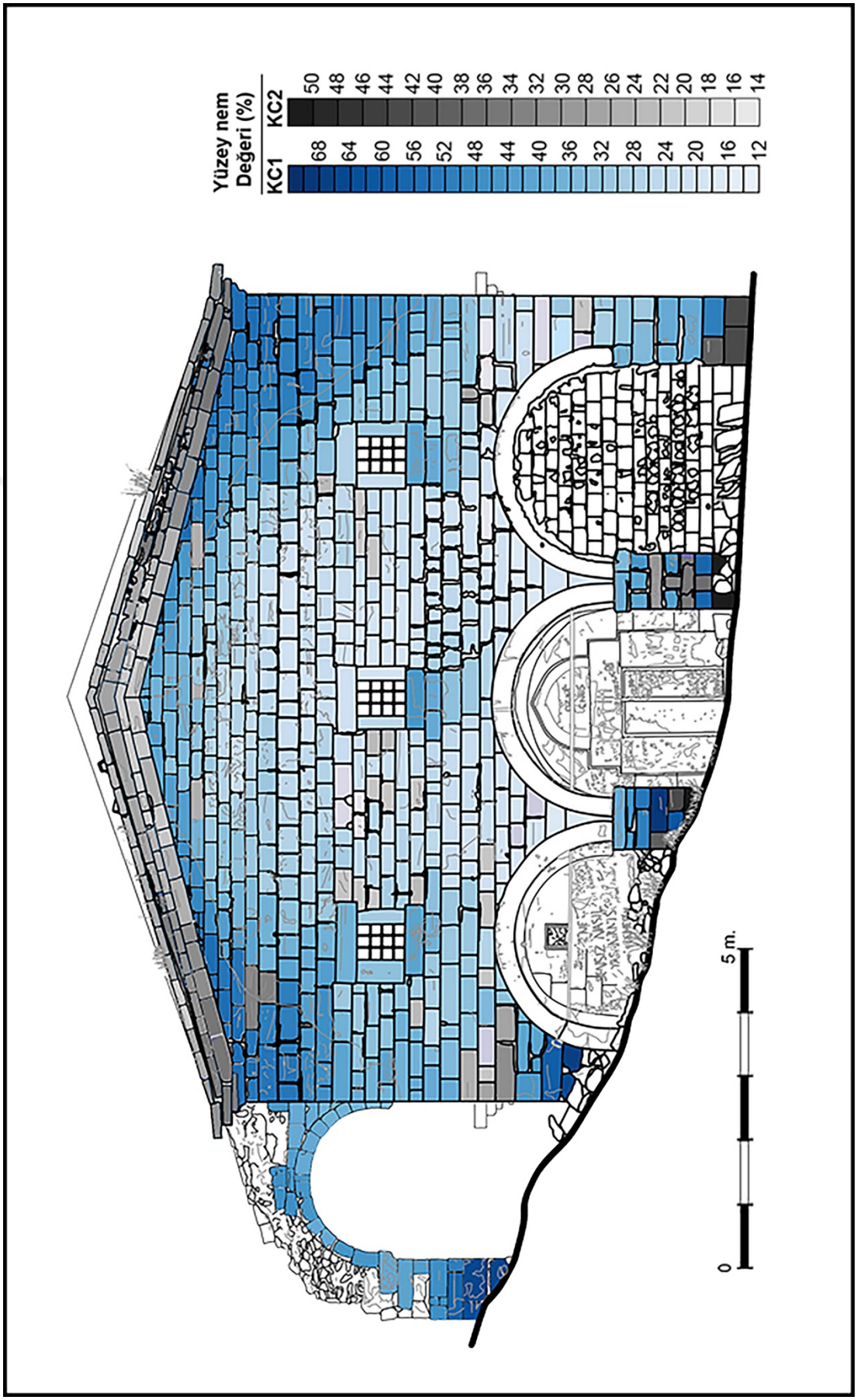
4.2.3.Tahribatsız test sonuçlarının değerlendirilmesi

Görsel analiz ile tespit edilen bozunmaların kökeninin ve etki derecesinin belirlenmesi, rehabilitasyon uygulamaları için son derece önemlidir. Özellikle yapı taşlarının yüzey altındaki bozunmalar (jeolojik oluşumlara bağlı boşluk, çatlak, çiçeklenme vb.) gözle görülemediği için koruma uygulamaları geliştirilemez (Jo ve Lee, 2014). Tahribatsız test yöntemleri ile yapı taşlarının yüzey üstü ve yüzey altı kusurları tespit edilip bozunmaların etki dereceleri tahmin edilebilir. Küçükköy Kilisesi'nde kullanılan yapı taşlarındaki bozunmaların kökeninin ve etki derecelerinin teşhisine yönelik olarak "yüzey nem ölçer", "kızılötesi termografi", "Schmidt çekici", "P-dalga hızı" ve "taşınabilir mikroskop" testleri olmak üzere beş farklı tahribatsız test tekniği uygulanmış ve aşağıdaki başlıklarda değerlendirilmiştir.

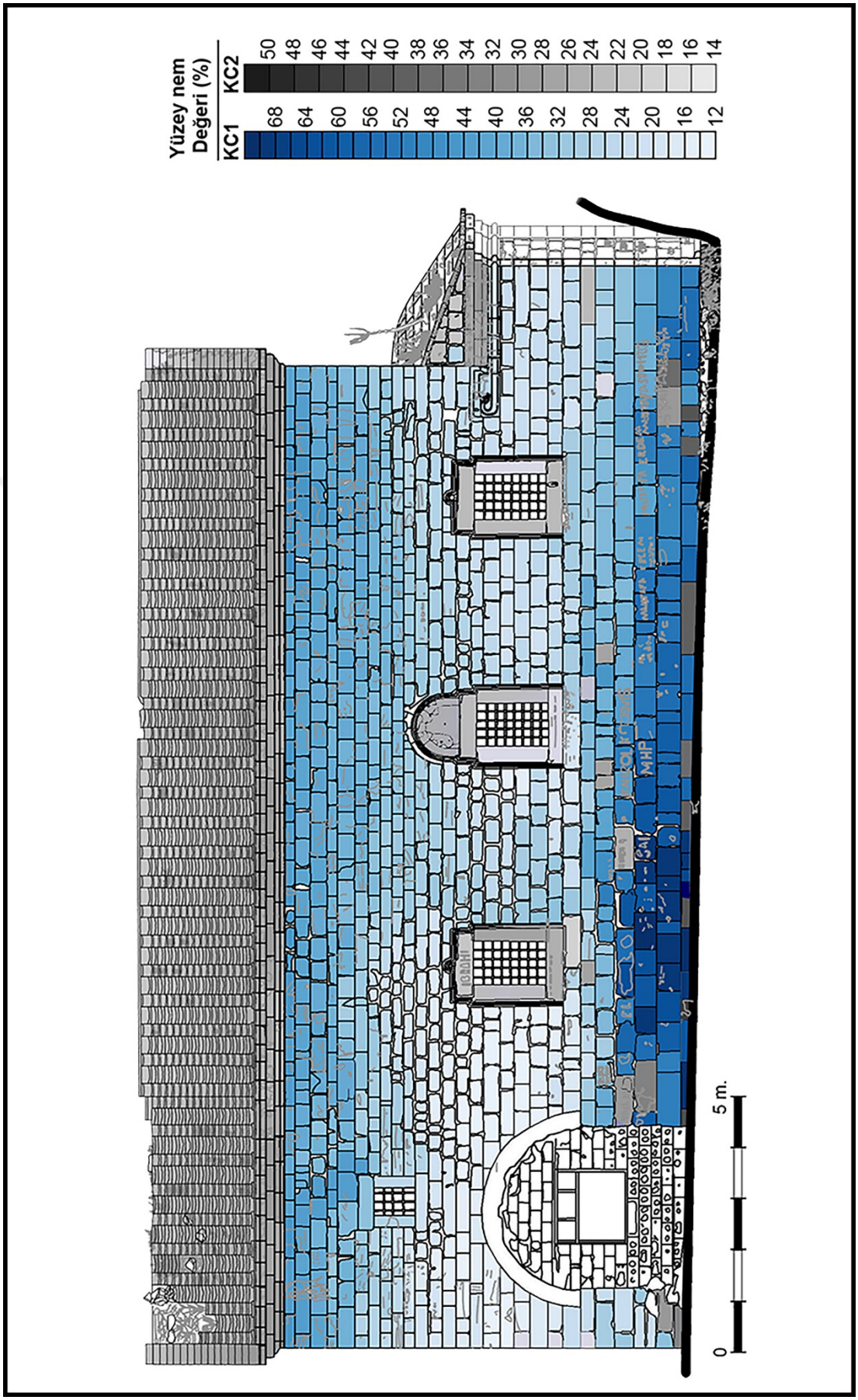
4.2.3.1. Yüzey nem ölçüm testi

Yapı taşlarında donma çözünme, ıslanma kuruma ve tuz kristalleşmesi gibi bozunma süreçlerinin ana etkeni olan suyun, kökeninin ve varlığının belirlenmesi son derece önemlidir. Yüzey nem ölçüm cihazları, suyun etkin olarak dolaştığı bölgeleri tespit etmek için kullanılan tahribatsız bir yöntemdir (Hoła ve ark., 2017). Bu testten elde edilen değerler, diğer ölçüm noktaları ile kıyaslanarak malzemelerin nem içerikleri hakkında kıyaslanabilir sayısal veriler elde edilmesini sağlamaktadır (Török, 2010). Küçükköy Kilisesi'ndeki bozunma sürecinde etkin rol oynayan suyun, yapı taşlarındaki dağılımını belirlemek amacıyla her bir yapı taşının yüzey nem ölçümleri yapılmış ve yüzey nem haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.20.-23.). Ayrıca cephelere göre nem dağılımı Çizelge 4.18'de verilmiştir.

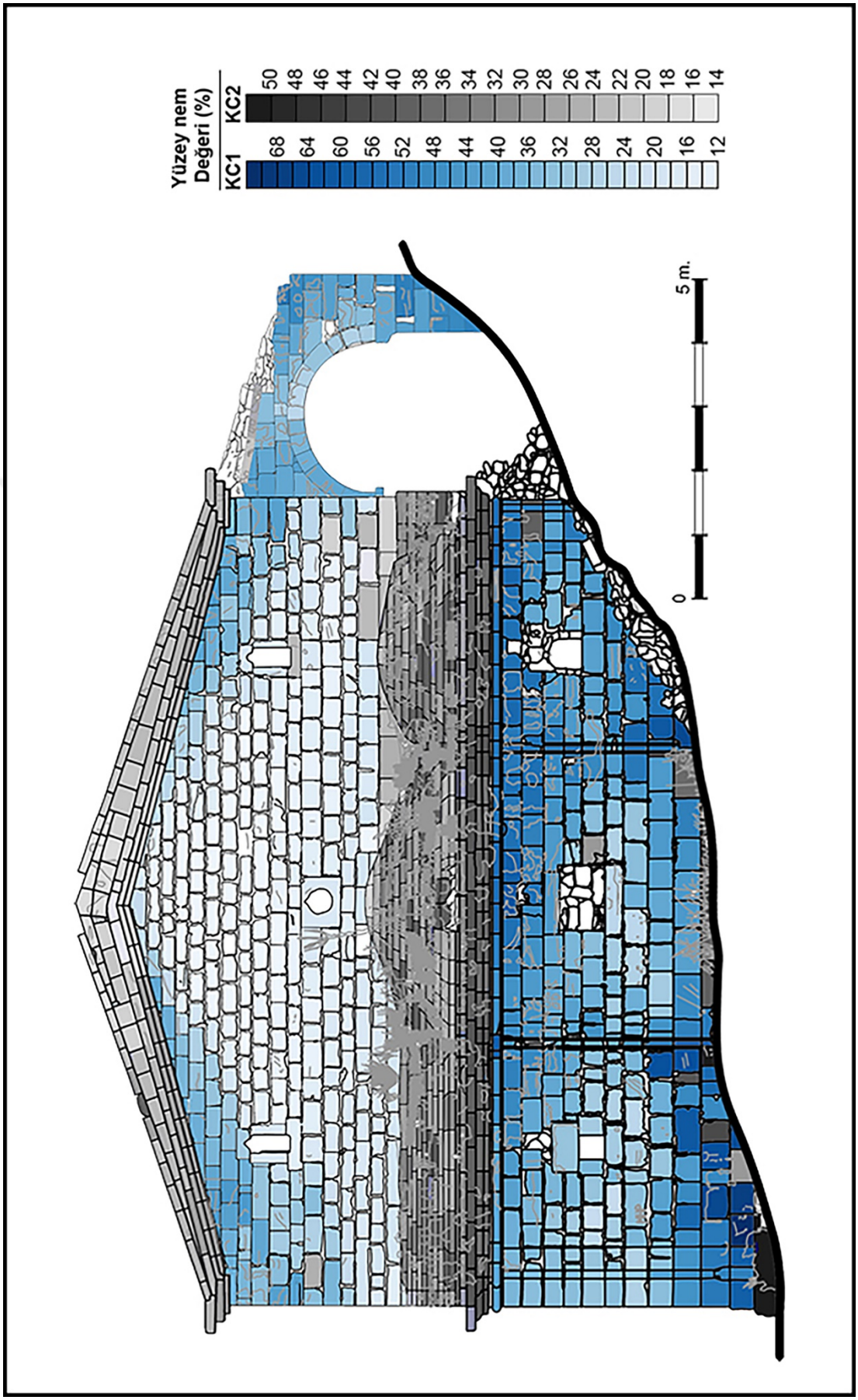
Şekil 4.26.-29. ve Çizelge 4.18. incelendiğinde; KC1 ve KC2 yapı taşlarındaki en yüksek nem değerleri, kuzey cephede sırasıyla % 68, % 50 olarak ölçülmüştür. En düşük değerler ise güney cephede sırasıyla % 12, % 14 olarak ölçülmüştür. Kuzey cephedeki yapı taşlarının genelinin nem değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebinin güneşlenme süresi ile arazinin eğiminin bu cephede yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer cephelerde ise yüzey nem değerleri iki bölgede (kapiler ve süzülme) yoğunlaşmaktadır. Bu bölgelerdeki nem yoğunluğunun, kapiler yükselim etkisi ile çatı malzemelerindeki tahribatlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



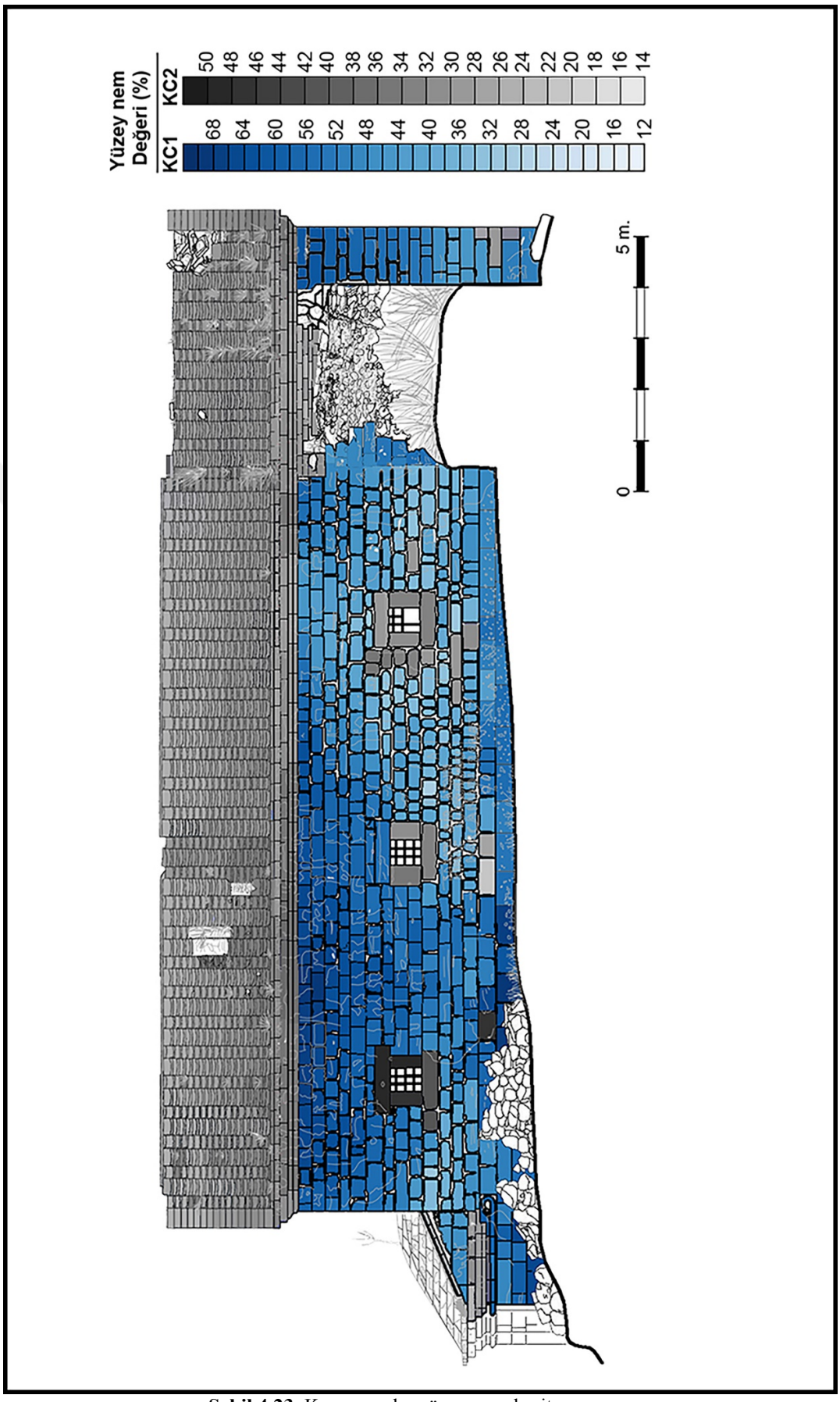
Şekil 4.20. Batı cephe yüzey nem haritası.



Şekil 4.21. Güney cephe yüzey nem haritası.



Şekil 4.22. Doğu cephe yüzey nem haritası.



Şekil 4.23. Kuzey cephe yüzey nem haritası.

Çizelge 4.18. Yapı taşlarındaki yüzey nem değerlerinin cephelere göre dağılımı.

Cephe	Yüzey Nem Değeri (%)							
	KC1				KC2			
	min.	max.	ortalama	S.S.	min.	max.	ortalama	S.S.
Batı	20	62	33.59	8.91	18	46	26.52	5.71
Doğu	14	62	25.12	9.12	16	42	21.24	6.29
Kuzey	28	68	46.21	8.09	24	50	27.57	3.58
Güney	12	64	31.81	9.75	14	40	23.87	3.31

Not: S.S.: Standart Sapma

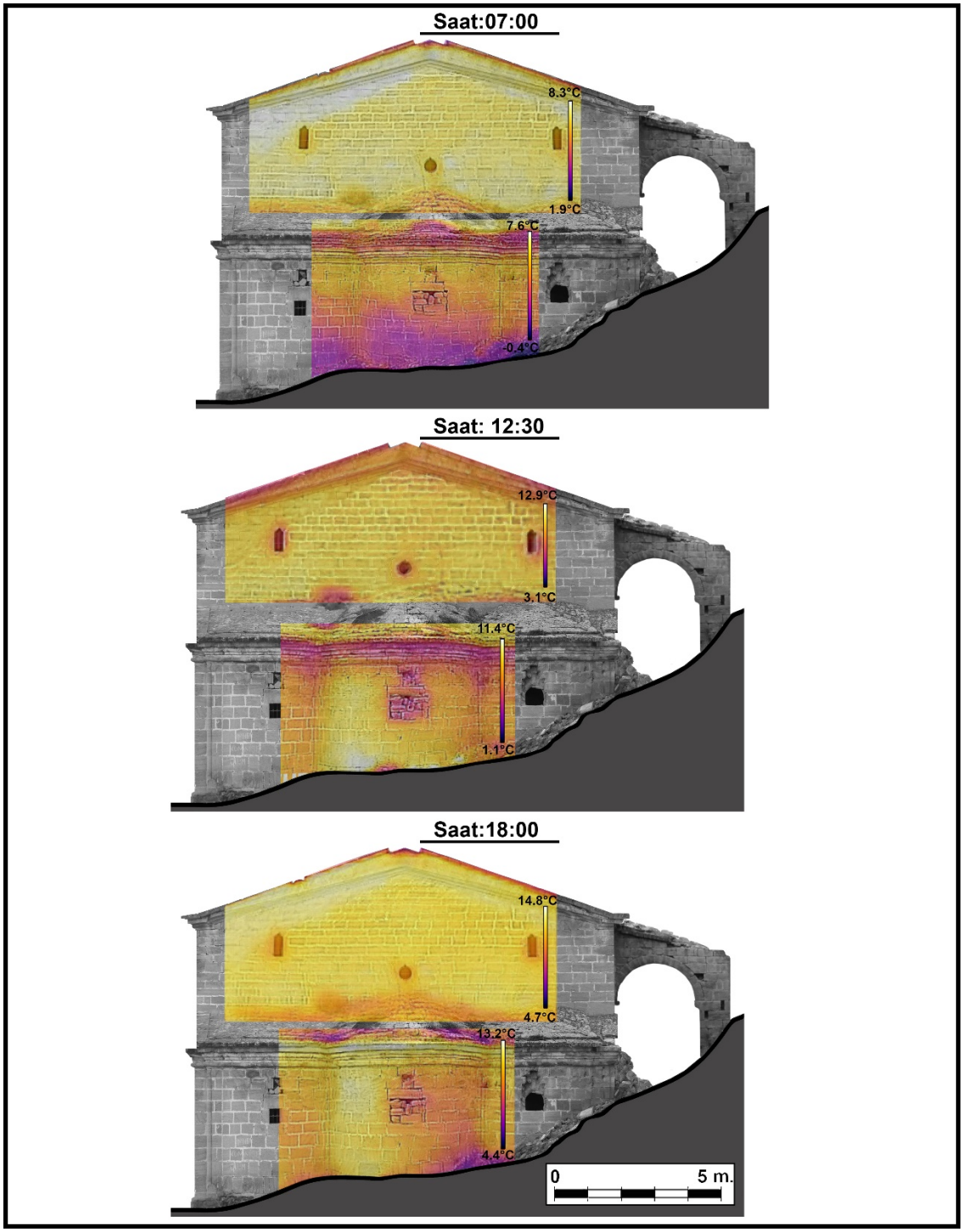
4.2.3.2. Kızılötesi termografi

Termal şok, ıslanma-kuruma ve donma-çözünme süreçleri, yapı taşlarının dayanımını zayıflatarak, kimyasal, fiziksel ve biyolojik bozunma süreçlerinin etkin bir şekilde çalışmasına neden olur (Yaldız, 2010; Heidari ve ark., 2017a; Heidari ve ark., 2017b; Pápay ve Török, 2018). Yapı taşlarındaki nem ve sıcaklık parametreleri birbirleriyle ilişkili olup, birindeki değişim diğerini etkilemektedir (McAllister ve ark., 2017). Kızılötesi termografi yöntemi, sıcaklık ve nem kaynaklı bozunmaların tespitinde bir çok araştırmacı tarafından önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır (Balaras ve Argiriou, 2002; Grinzato ve ark., 2004; Barreira ve de Freitas, 2007; Binda ve ark., 2007; Yardım ve Tuncoku, 2008; Spodek ve Rosina, 2009; Lerma ve ark., 2011; Paoletti ve ark., 2013; Bisegna ve ark., 2014; Cappa ve ark., 2016; İnce ve ark., 2018; Korkanç ve ark., 2018).

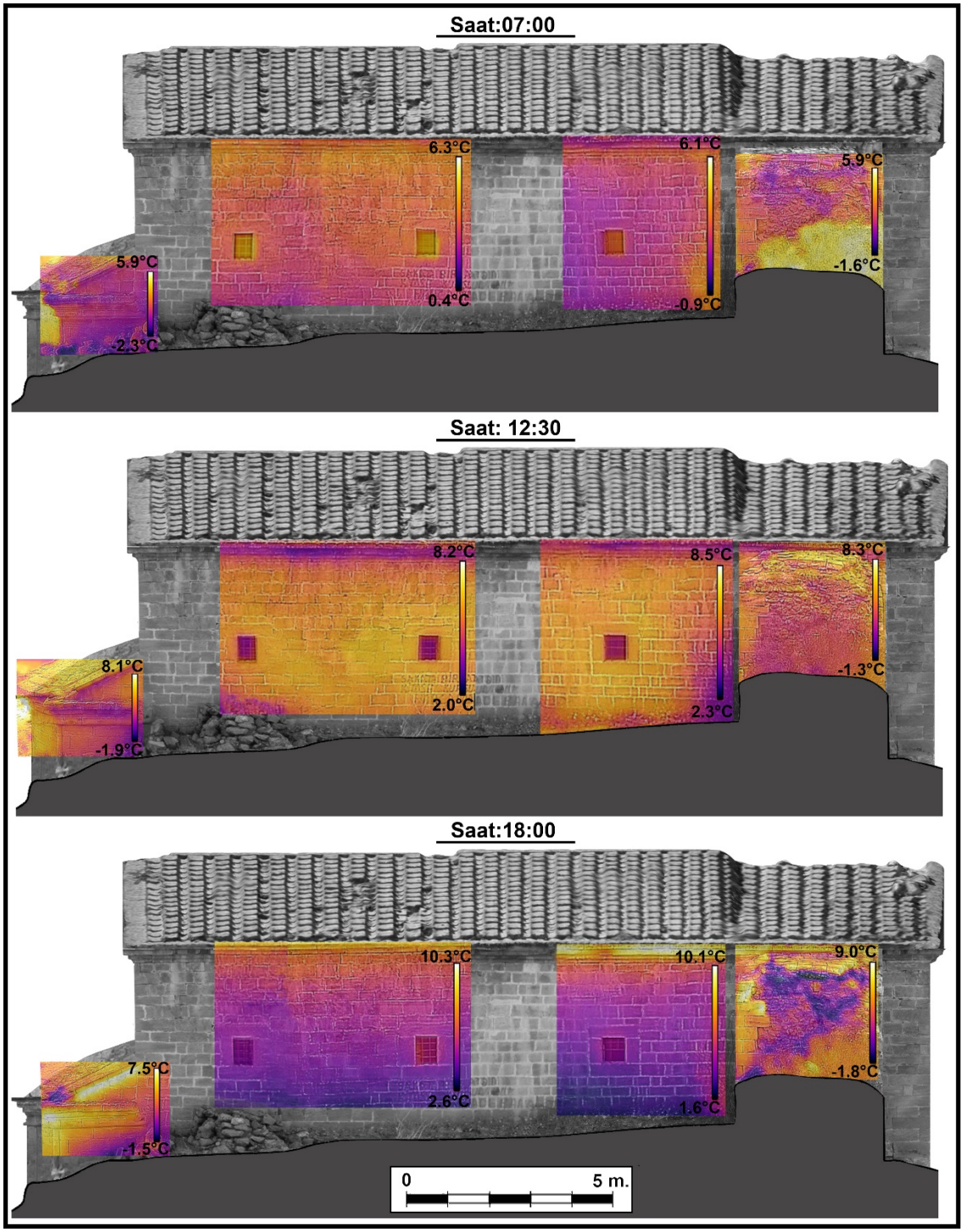
Çalışma kapsamında Küçükköy Kilisesi'ndeki nem ve ısı farklarından kaynaklı bozunmaların tespiti için kızılötesi termografi yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla ölçümler, yıllık ortalama yağışın en fazla olduğu mayıs ayında (Çizelge 3.1) gerçekleştirilmiştir. Gün içerisindeki ısı anomalilerindeki farkları tespit edebilmek için sabah (saat:07.00), öğle (saat:12.30) ve akşam (saat:18.00) olmak üzere üç farklı zaman diliminde ölçümler yapılmış ve elde edilen görüntüler, cephe ortofografları üzerine işlenerek Şekil 4.24.-27.'de verilmiştir.

Şekil 4.24. Batı cephe kızılötesi termografi görüntüleri.

Şekil 4.25. Güney cephe kızılötesi termografi görüntüleri.



Şekil 4.26. Doğu cephe kızılötesi termografi görüntüleri.

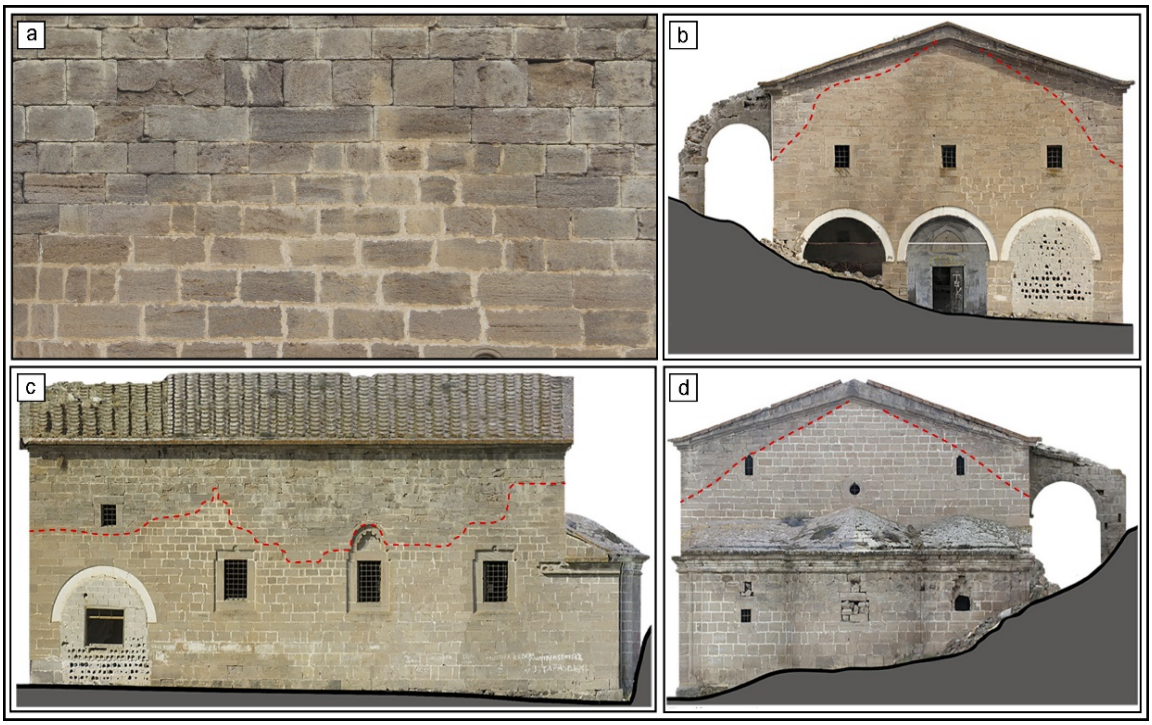


Şekil 4.27. Kuzey cephe kızılötesi termografi görüntüleri.

Şekil 4.24.-27.'deki termal görüntüler incelendiğinde gün içerisindeki sıcaklık farkı en fazla güney cephede iken en az kuzey cephede tespit edilmiştir. Kuzey cephede ısıl farklar fazla olmadığından dolayı bu cephedeki bozunmalar, kapiler ve süzülme bölgelerindeki su hareketlerinden kaynaklanmaktadır.

Nem içeriği yüksek olan malzemeler ısıyı kuru malzemelere göre daha uzun süre hapseder (Balaras ve Argiriou, 2002). Ayrıca gece ve gündüz arasındaki ısıl farklar ve

güneş etkisi ile yapı taşları zamanla renk değiştirebilir (Korkanç ve Savran, 2010). Rengi atmış taşların yüzeyleri, genellikle soluk ve mat bir görünüme sahiptir. Koyu renkli taşlar ısıyı daha fazla hapsedeceği için, termal şok etkilerinden kaynaklı bozunmalar daha fazla gelişir (Bonazza ve ark., 2009). Küçükköy Kilisesi'nde nem ve ısıl farklardan dolayı, süzülme bölgelerindeki taşlarda renk değişikliği meydana gelmiştir (Şekil 4.28.). Bu bölgelerdeki taşların renkleri, daha koyu bir renge dönmüştür. Koyu renkli yapı taşları, ısıyı diğer bölgelerdeki taşlara göre daha fazla tuttuğundan dolayı, bu taşlarda temel şok etkileri gözlenmektedir. Ayrıca bu bölgelerde nem içeriğininde fazla olmasından dolayı yapı taşlarının ıslanma-kuruma ve donma-çözünme döngülerinden farklı derecelerde etkilenmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.28. Isıl farklar ve nemden kaynaklı renk değişikliği; a) güney cephe süzülme bölgesindeki renk değişikliğine örnek, b) batı cephe süzülme bölge sınırı, c) güney cephe süzülme bölge sınırı, d) doğu cephe süzülme bölge sınırı.

4.2.3.3. Schmidt çekici sertlik testi

Küçükköy Kilisesi yapı taşlarının mühendislik özelliklerini dolaylı yoldan tahmin etmek için her yapı taşında Schmidt çekici yüzey sertlik testi uygulanmıştır. Schmidt Çekici yüzey sertlik testi, yapı taşlarının dayanım parametrelerini (Kahraman, 2001; Aydin ve Basu, 2005; Çobanoğlu ve Çelik, 2008) ve bozunma süreçlerini belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır (Laurie ve ark., 1986; Raymahashay ve

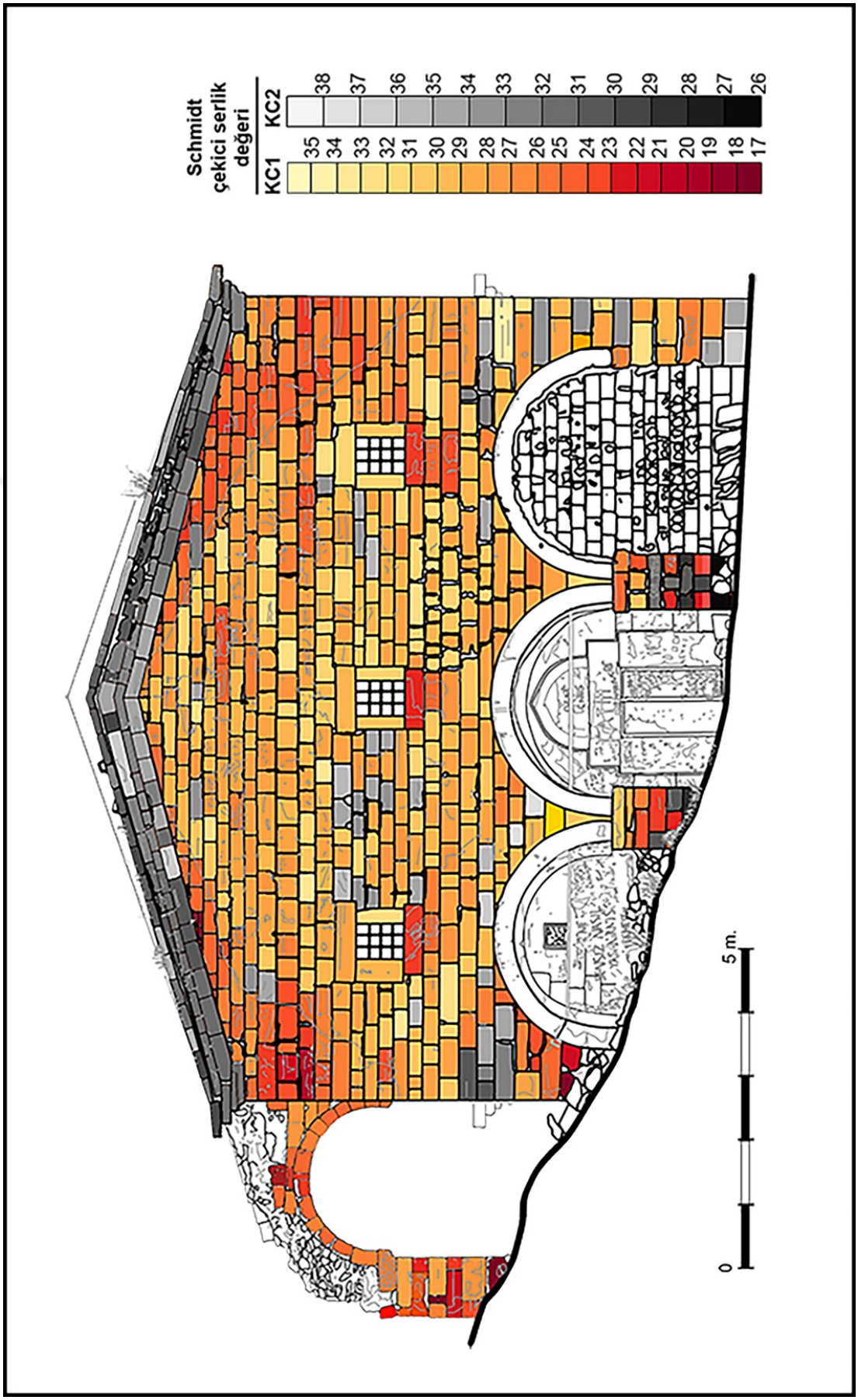
Sharma, 1993; Christaras ve ark., 1994; Török ve Přikryl, 2010; Stück ve ark., 2011; Cultrone ve ark., 2012; İnce ve ark., 2018; Korkanç ve ark., 2018). Yapıda her bir taşta uygulanan Schmidt çekici testlerinden elde edilen verilere göre hazırlanan haritalar, Şekil 4.29.-32.'de sunulmuştur.

Şekil 4.29.-32.'deki haritalar incelendiğinde, KC1 örneklerine benzer yapı taşlarının Schmidt çekici sertlik değerlerinin 17 ile 35 arasında değiştiği belirlenmiştir. KC2 örneğine benzer taşlarda ise sertlik değerleri 26 ile 38 arasında olduğu tespit edilmiştir.

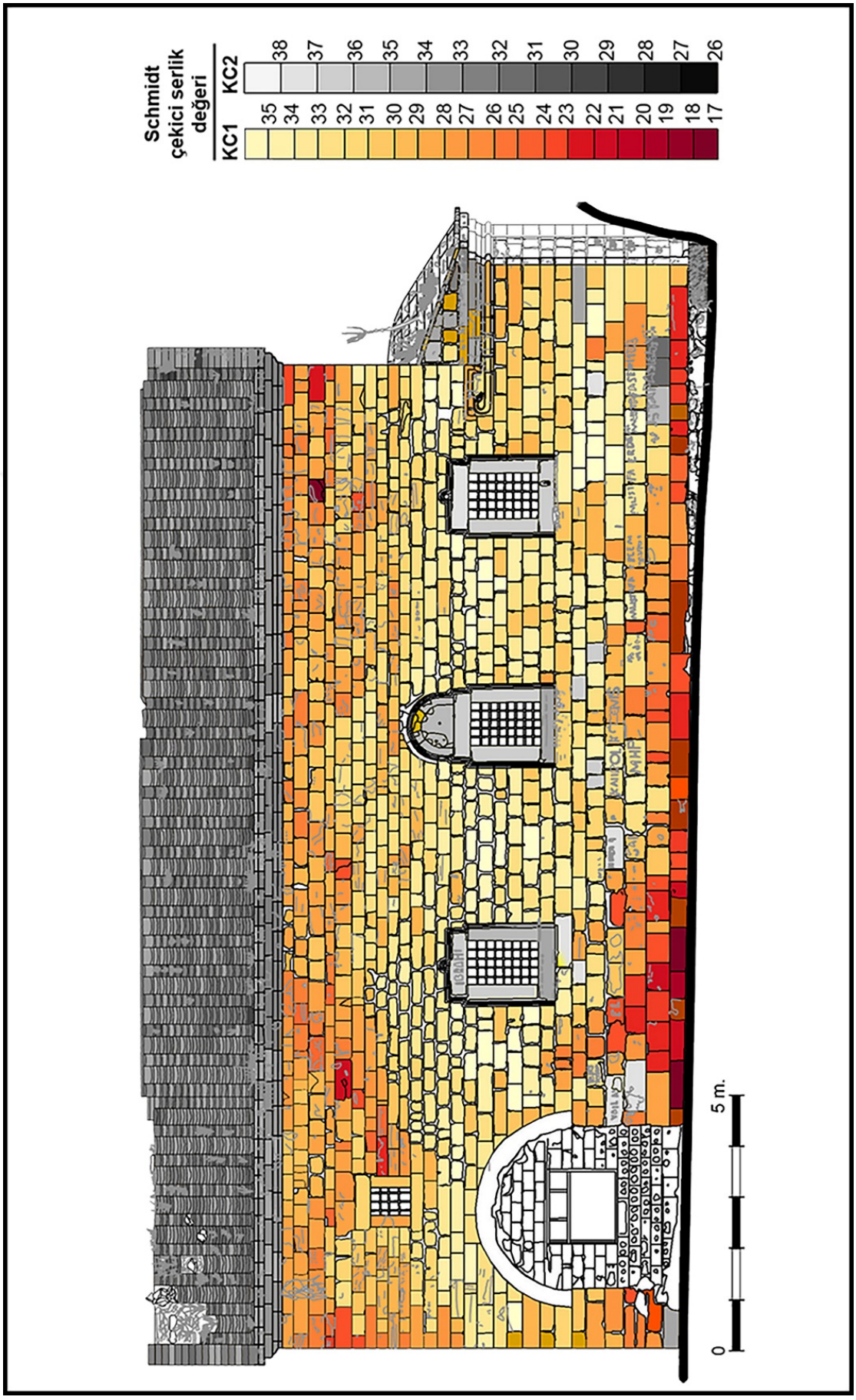
Kilisedeki yapı taşlarının Schmidt çekici sertlik değerleri De Beer (1967)'deki sınıflandırmaya göre değerlendirildiğinde; KC1 örnekleri "çok zayıf kayaç (49 yapı taşı)", "zayıf kayaç (138 yapı taşı)", "orta sertlikte kayaç (1350 yapı taşı)" ve "sert kayaç (950 yapı taşı)" olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.19.). KC2 yapı taşları ise yapı genelinde "orta sertlikte kayaç (2228 yapı taşı)" ve "sert kayaç (158 yapı taşı) sınıflamalarında yer almaktadır (Çizelge 4.19.). "Çok zayıf kayaç" sınıfında yer alan yapı taşlarında, kopma ve parçalanma tiplerinde bozunmalar görülmektedir. "zayıf kayaç" sınıfında yer alan yapı taşlarında yuvarlanma, kavlaklanma ve jeolojik zayıflıklara bağlı bozunmalar belirlenmiştir. "orta kayaç" sınıflamasında bulunan yapı taşlarında ise pul pul dökülme tipinde bozunmalar tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarının Schmidt çekici sertlik değerlerine göre sınıflaması (De Beer, 1967).

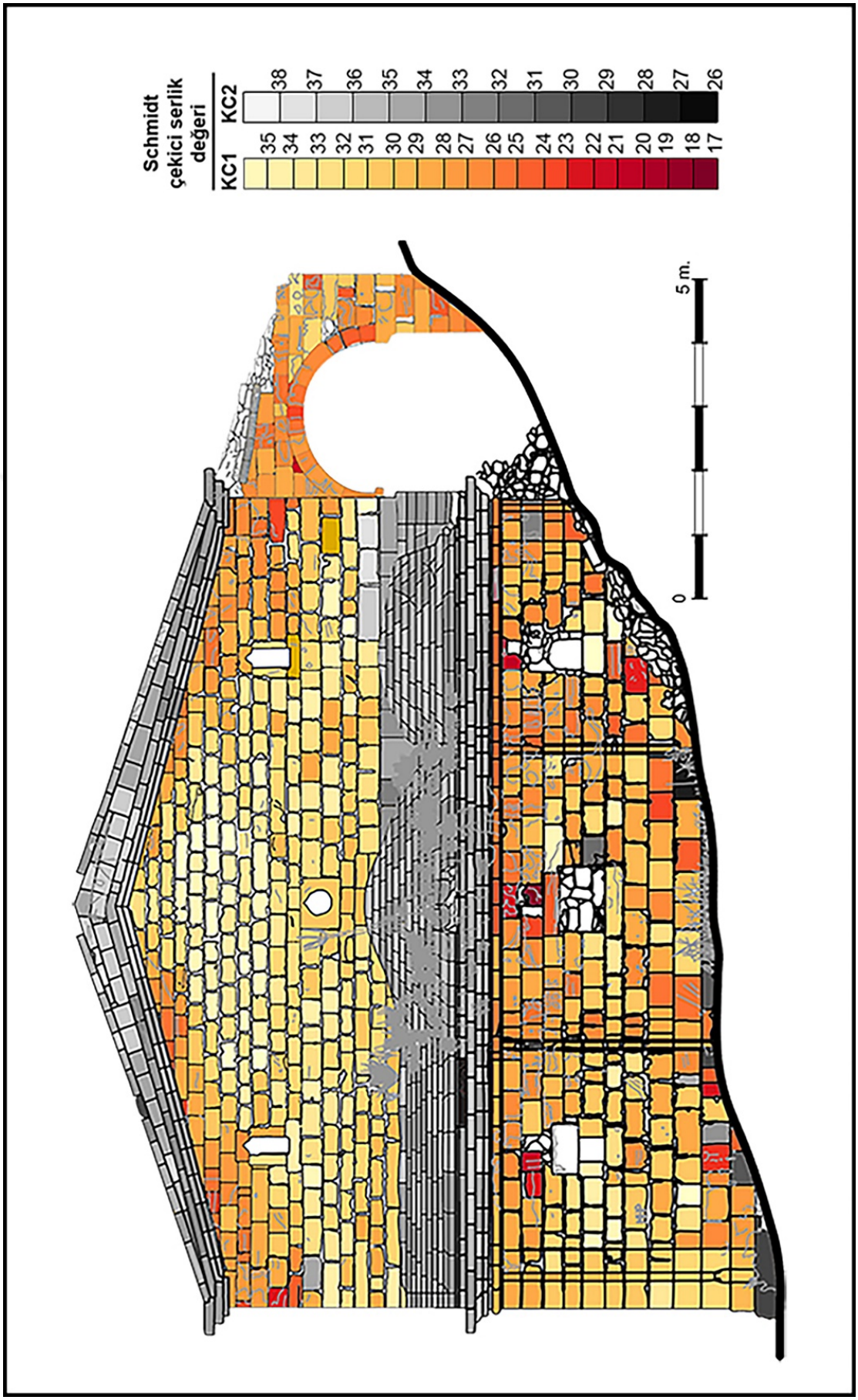
Cephe	**Schmidt çekici sertlik değeri (SHR)**					
	KC1				**KC2**	
	çok zayıf (16-20)	zayıf (20-24)	orta (24-30)	sert (30-45)	orta (24-30)	sert (30-45)
Batı	22	41	357	98	104	32
Doğu	3	32	254	278	332	24
Kuzey	9	31	337	156	906	56
Güney	15	34	402	418	886	46
Toplam	49	138	1350	950	2228	158



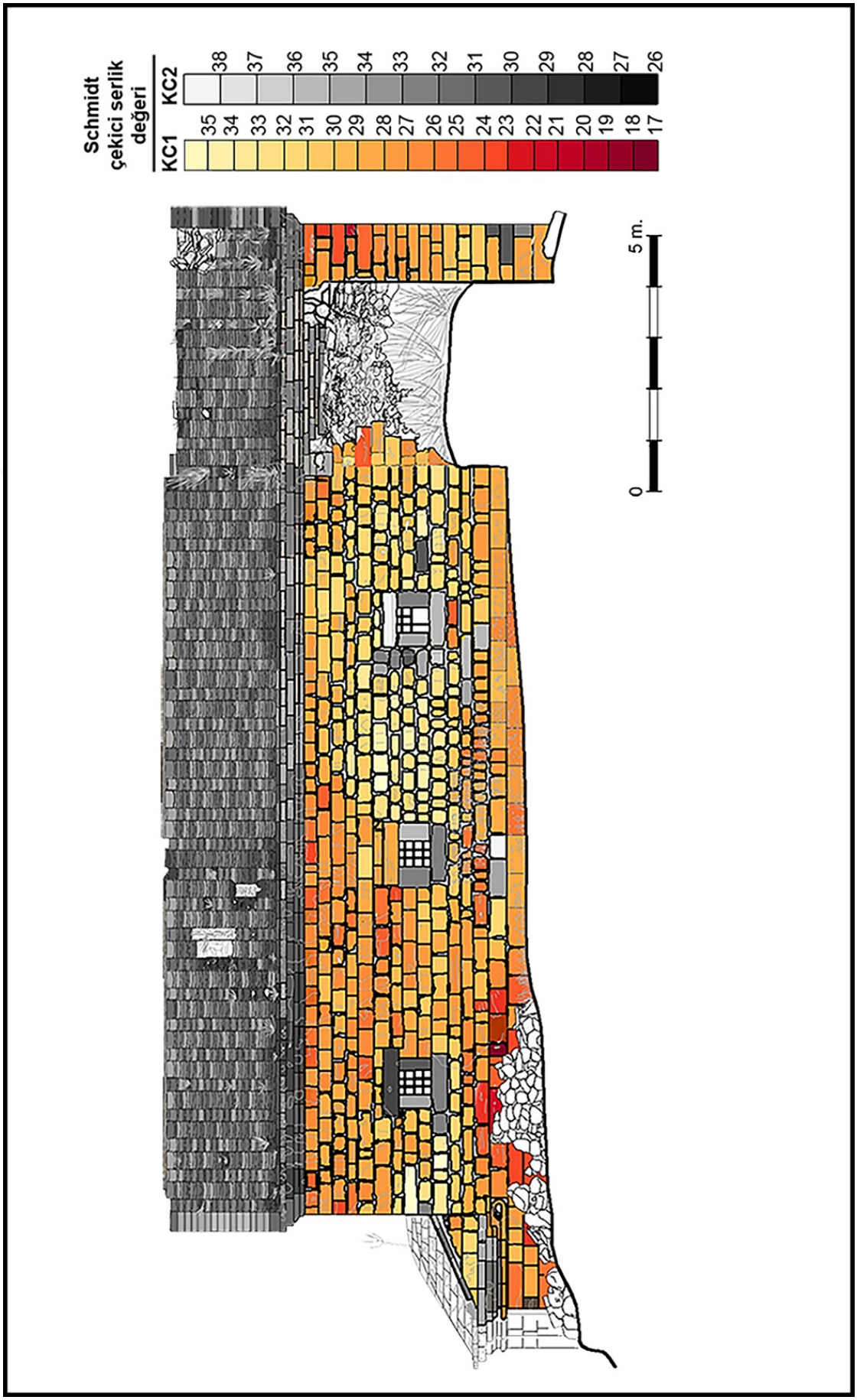
Şekil 4.29. Batı cephe Schmidt çekici haritası.



Şekil 4.30. Güney cephe Schmidt çekici haritası.



Şekil 4.31. Doğu cephe Schmidt çekici haritası



Şekil 4.32. Kuzey cephe Schmidt çekici haritası.

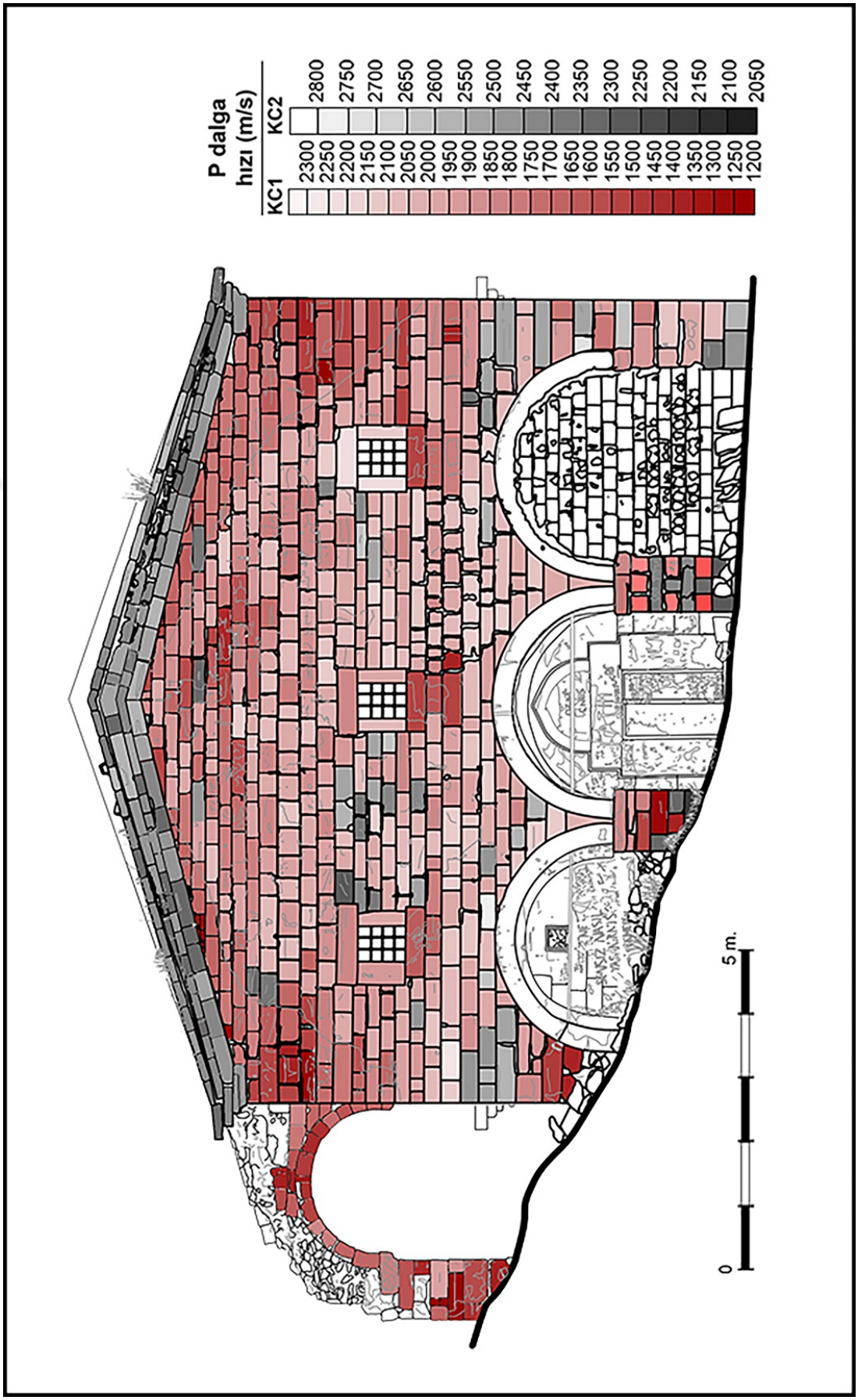
4.2.3.4. P-dalga hızı testi

Küçükköy Kilisesi yapı taşlarının bozunma süreci sonrasında gelişen boşluklu yapıyı tahmin etmek için P-dalga hızı testi yapılmıştır. P-dalga hızı testi, yapı taşlarının bozunma süreçlerini belirlemek için daha önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır (Christaras ve ark., 1994; Abbaneo ve ark., 1995; Fais ve ark., 1999; Fais ve ark., 2002; Nicholson, 2002; Moropoulou ve ark., 2003; Grinzato ve ark., 2004; Yasar ve Erdogan, 2004; Casula ve ark., 2007; Fais ve Casula, 2010; Akin ve Özsan, 2011; Fort ve ark., 2013; Vasanelli ve ark., 2013; Concu ve ark., 2014; Cuccuru ve ark., 2014; Jo ve Lee, 2014; Christaras ve ark., 2015; Fener ve İnce, 2015; Litti ve ark., 2015; Ercikdi ve ark., 2016; Gökçe ve ark., 2016; Korkanç ve Solak, 2016; Özşen ve ark., 2017; Heidari ve ark., 2017b; İnce ve ark., 2018). Yapıdaki blok taşların tamamına uygulanan P-dalga hızı testlerinden elde edilen değerlere göre hazırlanan haritalar, Şekil 4.33.-36.'da sunulmuştur.

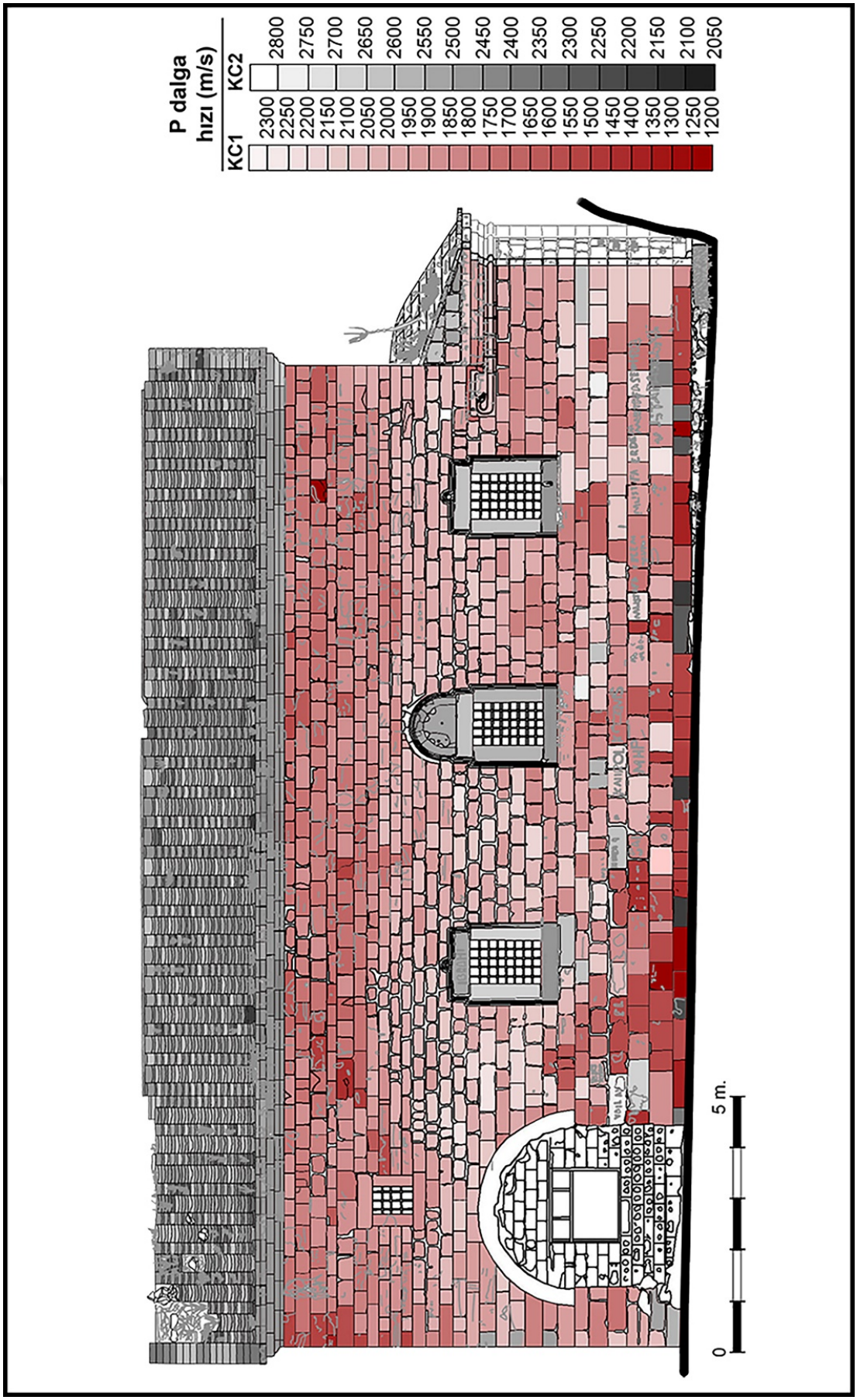
Şekil 4.33.-46.'daki haritalar incelendiğinde, en düşük P-dalga hızı değerleri kuzey cephede (KC1: 1200 m/s ve KC2: 2050 m/s) tespit edilmiştir. En yüksek değerler ise güney cephede, KC1 taşlarında 2300 m/s ve KC2 taşlarında 2800 m/s olarak ölçülmüştür. Kilisede kullanılan andezitlerin P-dalga hız değerleri NBG (1985)'e göre değerlendirildiğinde, KC1 taşlarının tamamı "çok düşük" sisimik hıza sahip kayaç grubunda yer alırken, KC2 yapı taşlarının 1278'si "çok düşük" ve 1108'si "düşük" sisimik hıza sahip kayaç sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.20.).

Çizelge 4.20. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarının P-dalga hızı test değerlerine göre sınıflaması (NBG, 1985).

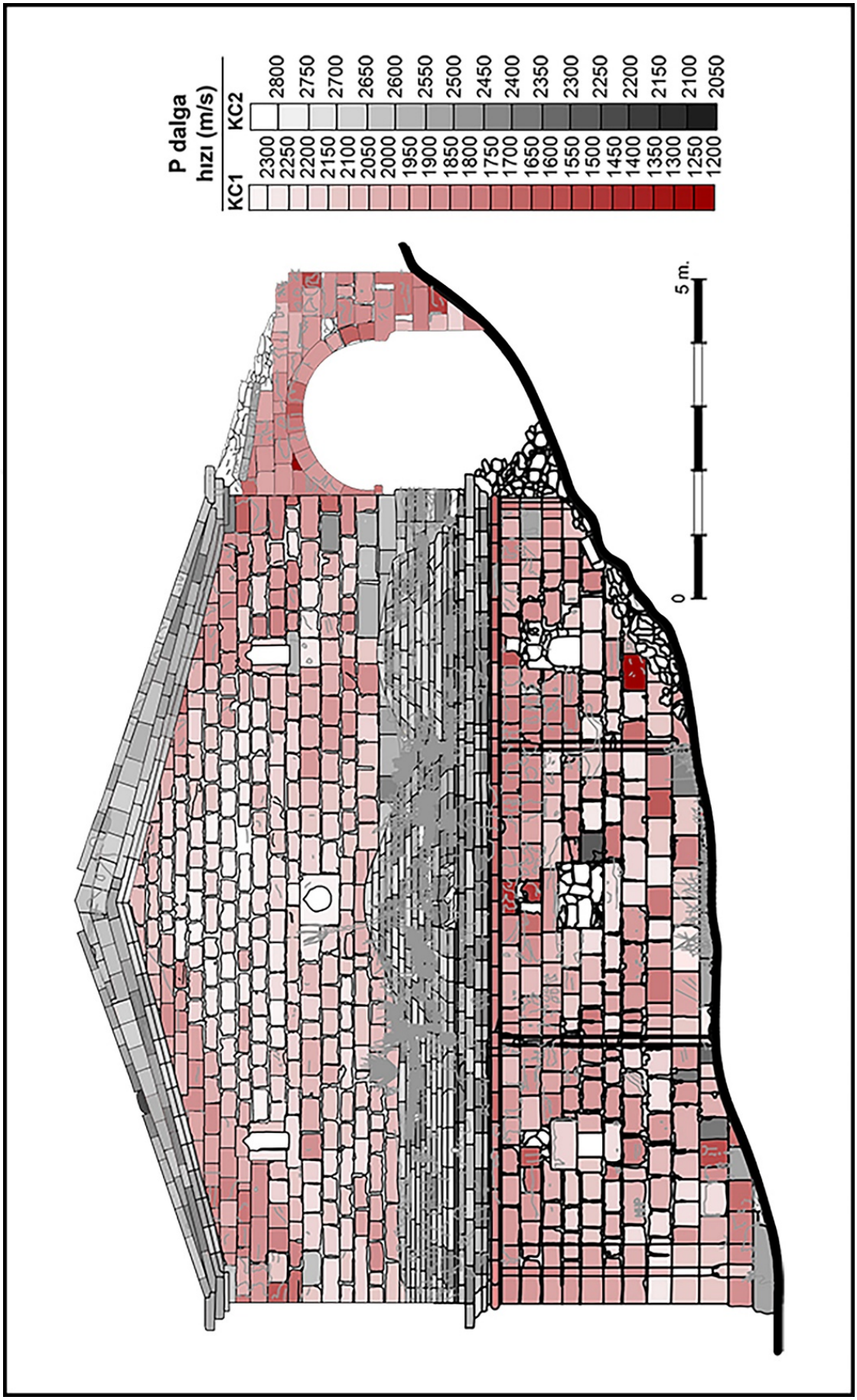
Cephe	**P-Dalga Hızı, V_p (m/sn)**		
	KC1	**KC2**	
	çok düşük (0-2500 m/s)	çok düşük (0-2500 m/s)	düşük (2500-3500 m/s)
Batı	518	62	74
Doğu	567	102	254
Kuzey	533	591	371
Güney	869	523	409
Toplam	2487	1278	1108



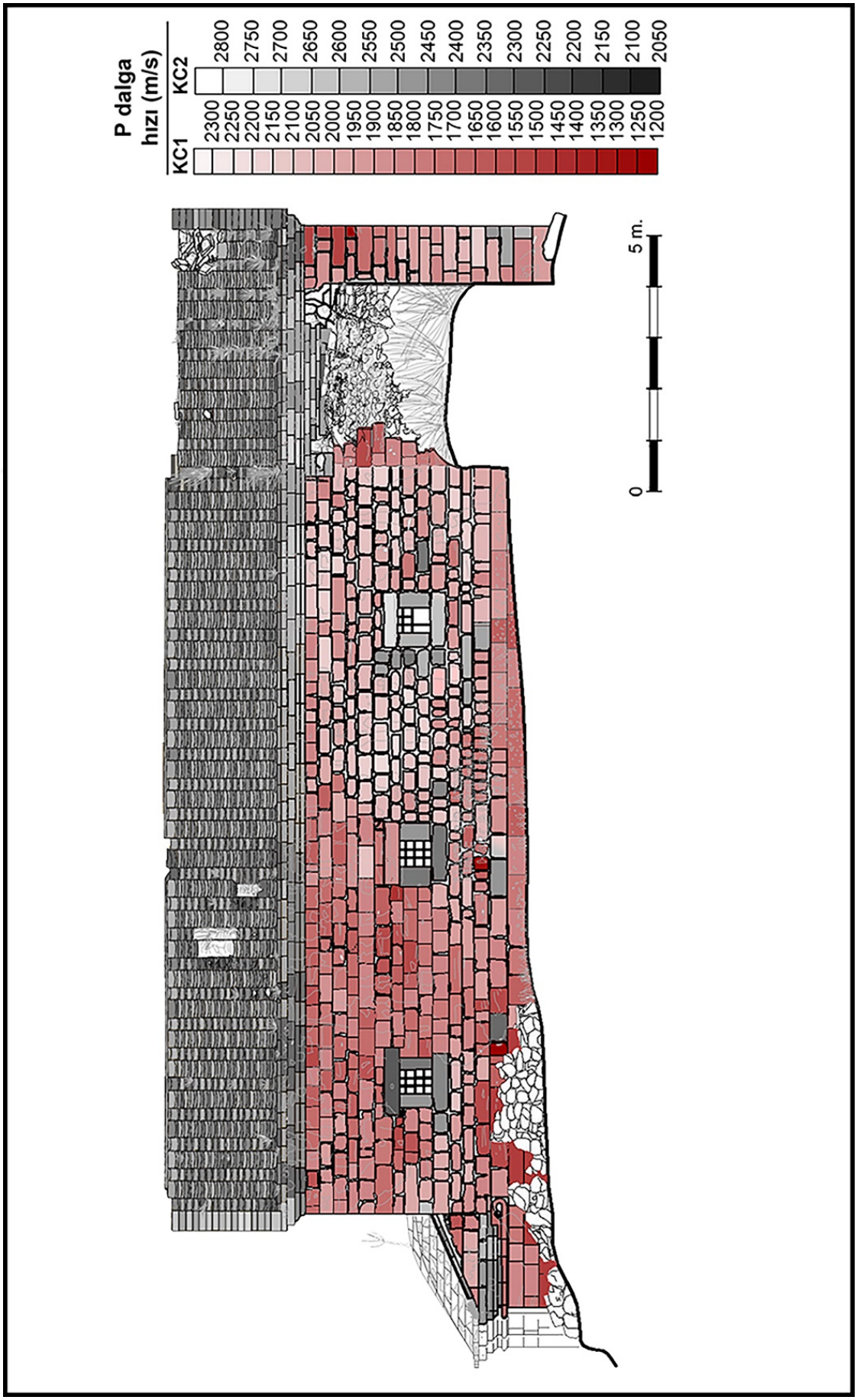
Şekil 4.33. Batı cephe P-dalga hızı haritası.



Şekil 4.34. Güney cephe P-dalga hızı haritası



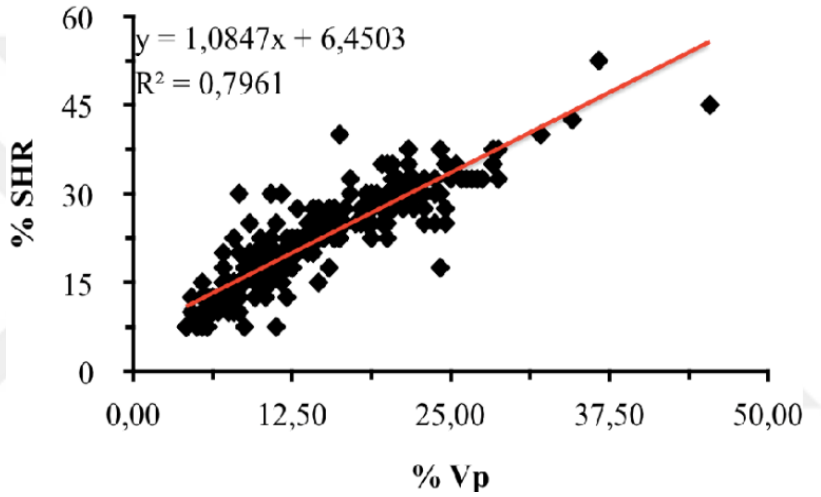
Şekil 4.35. Doğu cephe P-dalga hızı haritası



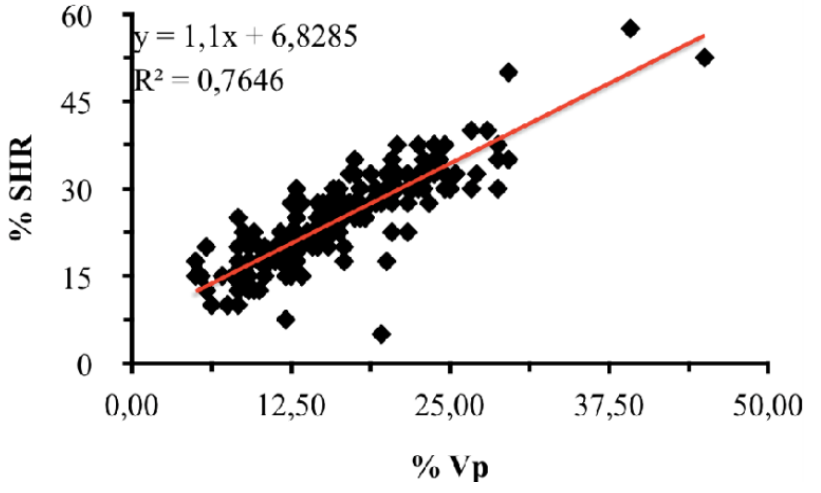
Şekil 4.36. Kuzey cephe P-dalga hızı haritası.

P-dalga hızı değerleri ile bozunma haritaları ilişkilendirildiğinde, bozunmaların (parçalanma, kavlaklanma, taş kopması, pul pul dökülme, jeolojik zayıflık, yuvarlanma) yoğun olduğu bölgelerde, P-dalga hızı değerlerinin de düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.6.-9.).

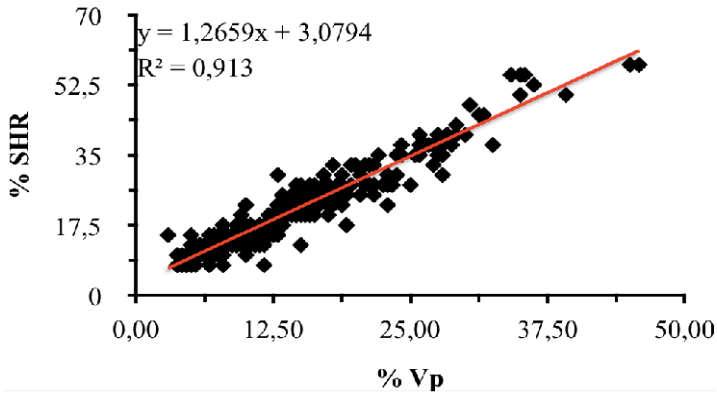
Yapı taşlarındaki mekanik özelliklerin tahmini için yapılan P-dalga hızı ve Schmidt çekici sertlik testleri incelendiğinde, her iki testte de düşük sonuçlar genellikle suyun daha etkin olarak dolaştığı bölgelerde (kapiler ve süzülme) tespit edilmiştir. Bu bölgeler bozunma haritalarında da belirgin olarak izlenebilmektedir. Bu iki test arasındaki istatistiksel ilişkiler, Şekil 4.37.-41.'de verilmiştir.



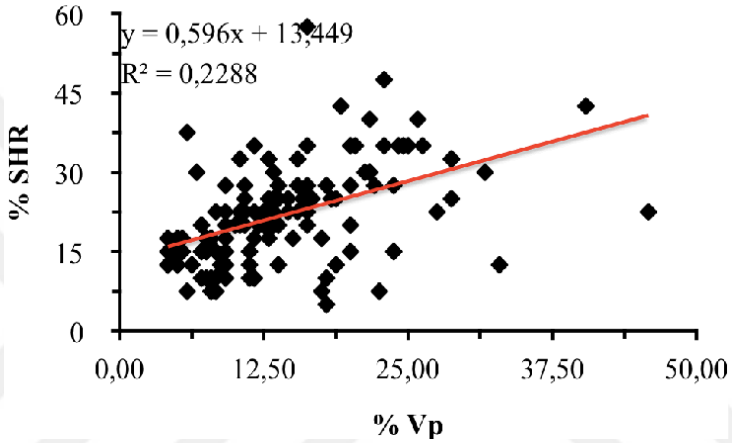
Şekil 4.37. Doğu cephedeki yapı taşlarının P-dalga hızı ile Schmidt çekici sertlik değerleri arasındaki regresyon analizi.



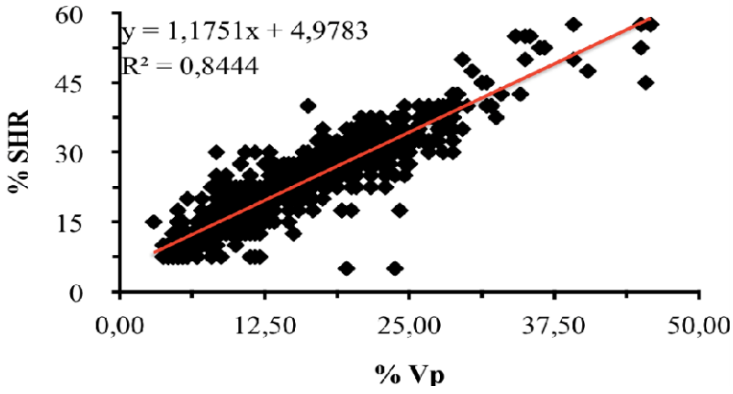
Şekil 4.38. Kuzey cephedeki yapı taşlarının P-dalga hızı ile Schmidt çekici sertlik değerleri arasındaki regresyon analizi.



Şekil 4.39. Güney cephedeki yapı taşlarının Schmidt çekici ile P-dalga hızı arasındaki regresyon analizi



Şekil 4.40. Batı cephedeki yapı taşlarının Schmidt çekici ile P-dalga hızı arasındaki regresyon analizi



Şekil 4.41. Küçükköy Kilisesi'ndeki yapı taşlarının schmidt çekici ile P-dalgası arasındaki regresyon analizi.

Şekil 4.37.-41'deki Schmidt çekici ile P-dalgası testleri arasındaki yüzdesel kayıpların istatistiksel ilişkisi incelendiğinde, en yüksek ilişki güney cephede (R^2:0,913), en az ise batı cephede (R^2:0,2288) tespit edilmiştir. Batı cephedeki taşların farklı fasiyeslerden alınması bozunma süreçlerininde farklı gelişmesine sebep olmaktadır. Bu durumdan dolayı diğer cephelerdeki istatistiksel ilişki yüksek iken batı

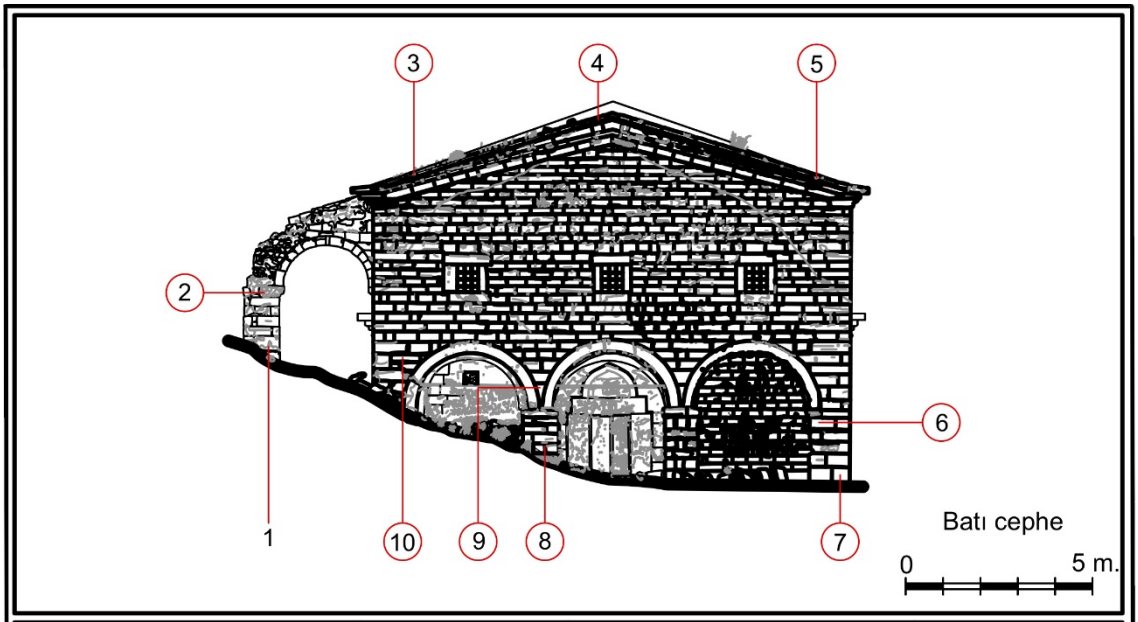
cephesinde oldukça düşüktür. Ayrıca Şekil 4.41.'deki ilişki incelendiğinde, veri sayısı arttığından dolayı istatistiksel hatalar daha minimize olmuş ve R^2 değeri 0,8444 olarak tespit edilmiştir. Bu değer iki test arasındaki ilişkinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

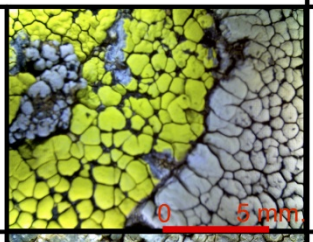
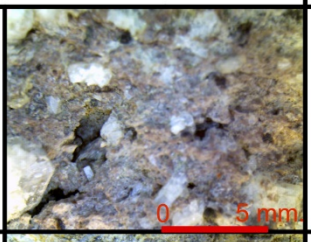
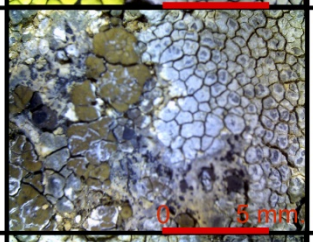
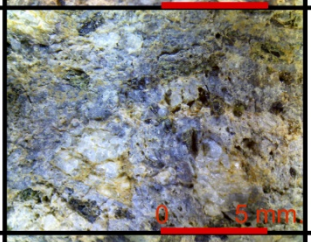
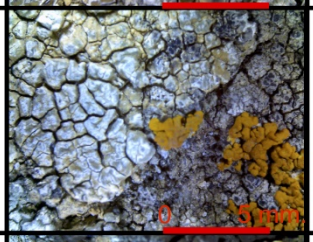
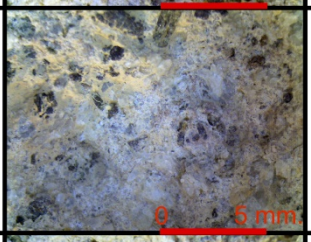
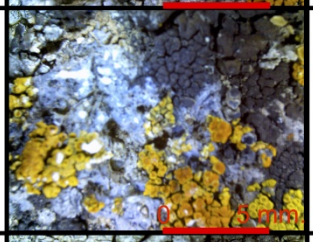
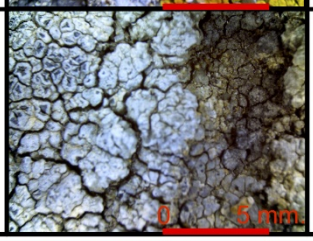
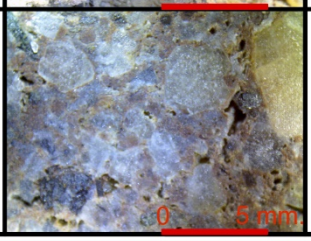
4.2.3.5. Taşınabilir mikroskop testi

Taşınabilir mikroskop, yapı taşlarınındaki yüzey pürüzlülüğü, ayrışma, çatlak, çiçeklenme gibi bozunma durumlarını belirlemek için hem yerinde hem de laboratuvarda uygulanabilen tahribatsız bir cihazdır. Mikroskop testlerinin incelenmesinde, görüntü işleme yönteminin kullanılması ile malzeme yüzeyinin rengi (Thornbush ve Viles, 2004; Svahn, 2006), çiçeklenme (Vázquez ve ark., 2011) ve çatlak tespitleri gibi teşhis çalışmaları yapılabilmektedir. Bu amaçla, Küçükköy Kilisesi yapı taşlarındaki yüzeysel ayrışmalar ve biyolojik oluşumlar, taşınabilir mikroskopta incelendikten sonra görüntü işleme programı ile taşların yüzdelik kayıpları ve biyolojik aktivite yükseklikleri tespit edilmiştir. Ayrışma etkilerinin belirlenmesi amacıyla, mikroskop çekimleri yüzeysel kayıpların en fazla olduğu kapiler bölgedeki yapı taşlarında gerçekleştirilmiştir. Biyolojik aktivitenin incelenmesi için ise gelişimin en fazla olduğu çatı ve süzülme bölgelerinde çekimler yapılmıştır. Biyolojik gelişim ve yapı taşlarının yüzeysel kayıpları Şekil 4.42.-47.'de sunulmuştur.

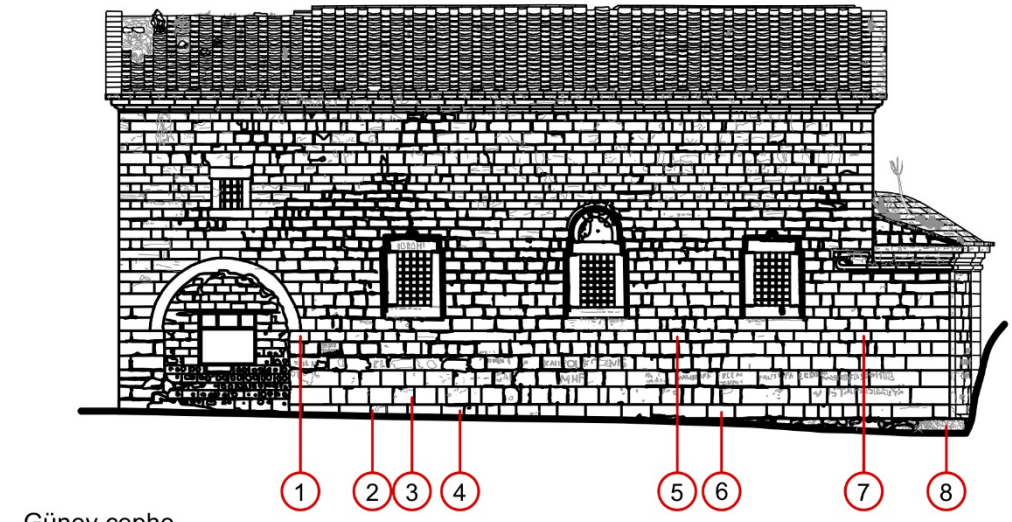
Şekil 4.42.-47. incelendiğinde, yüzeysel kayıplar sırasıyla güney (%87,25), batı (%70,75), doğu (%62,80) ve kuzey (%42,51) cephelerde tespit edilmiştir. Cephelerin kapiler seviyesindeki yüzey kayıpların ana nedeninin, drenaj probleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapı taşlarındaki ayrışma etkileri, yüzeyi arttırdığı ve nemi hapsettiği için kapiler bölgedeki bozunma süreci oldukça hızlıdır.

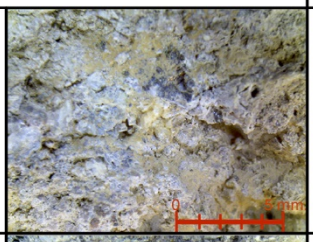
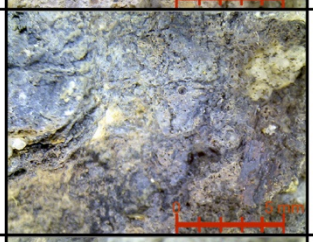
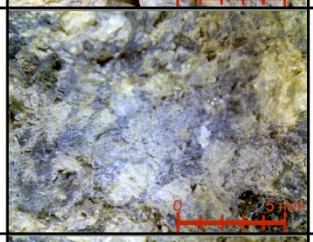
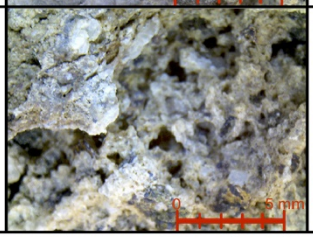
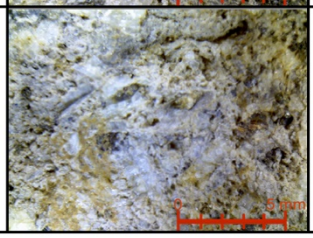
Şekil 4.42., 44., 46. ve 47.'deki biyolojik aktiviteler incelendiğinde, vejetasyonların gelişimleri cephelere göre farklılık göstermektedir. En fazla gelişim doğu cephe apsisinin üst örtüsünde 3.77 mm yüksekliğinde tespit edilmiştir. Çatıdaki taş kayıpları arasına yerleşen organik maddeler ve suyun tahliye olamamasından dolayı biyolojik gelişim bu bölgede oldukça fazladır. Doğu cepheden sonra en fazla liken gelişmeleri sırasıyla kuzey (2,3 2mm), batı (2,06 mm) ve güney (1,87 mm) cephelerde tespit edilmiştir. Güney cephede biyolojik etkinin diğer cephelere göre daha az olması, çatıdaki tahribatın diğer cephelere göre düşük olması ve güneşlenme süresinin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



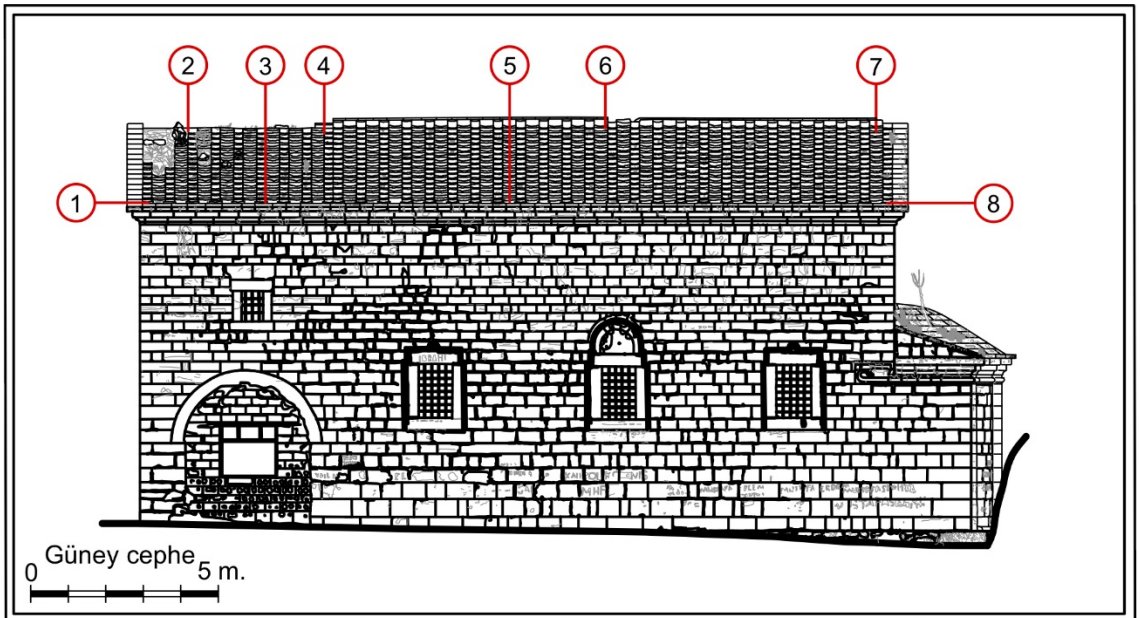
Fotoğraf		Yükseklik (mm)	Fotoğraf		Yüzey kaybı (%)
1		1.91	6		6.84
2		0.57	7		5.01
3		2.03	8		0
4		1.47	9		70.75
5		2.06	10		0.88

Şekil 4.42. Batı cephe biyolojik gelişim ve yüzeysel ayrışma görüntüleri.



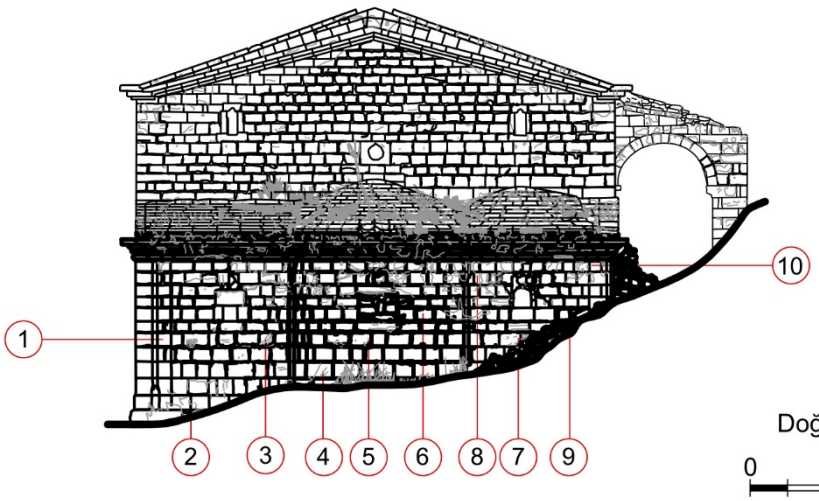
Fotoğraf		Yüzey kaybı (%)	Fotoğraf		Yüzey kaybı (%)
1		10.09	5		16.52
2		15.19	6		87.25
3		74.52	7		4.83
4		70.48	8		14.97

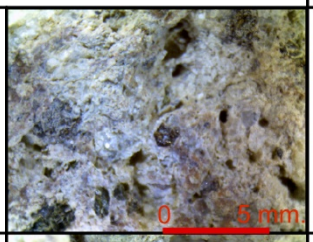
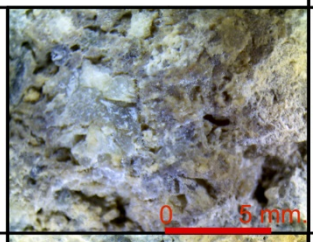
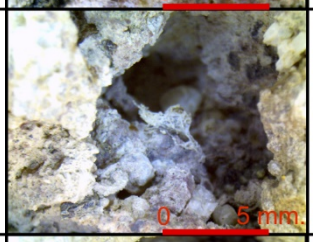
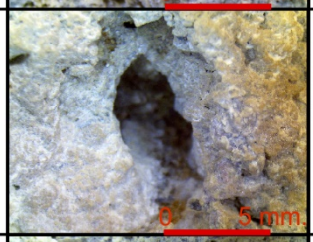
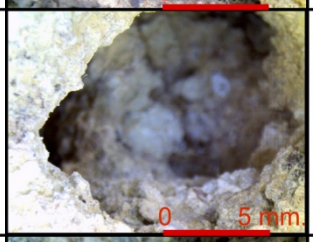
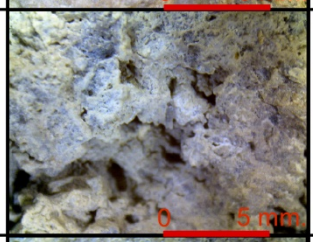
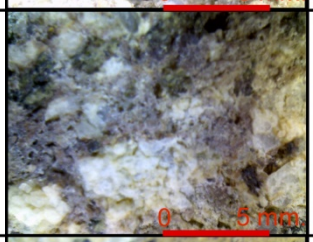
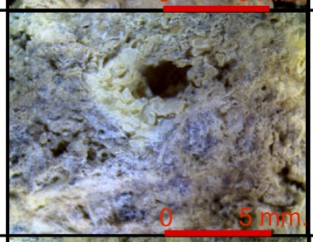
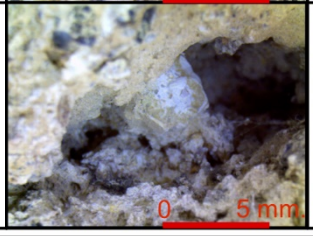
Şekil 4.43. Güney cephe yüzeysel ayrışma görüntüleri.



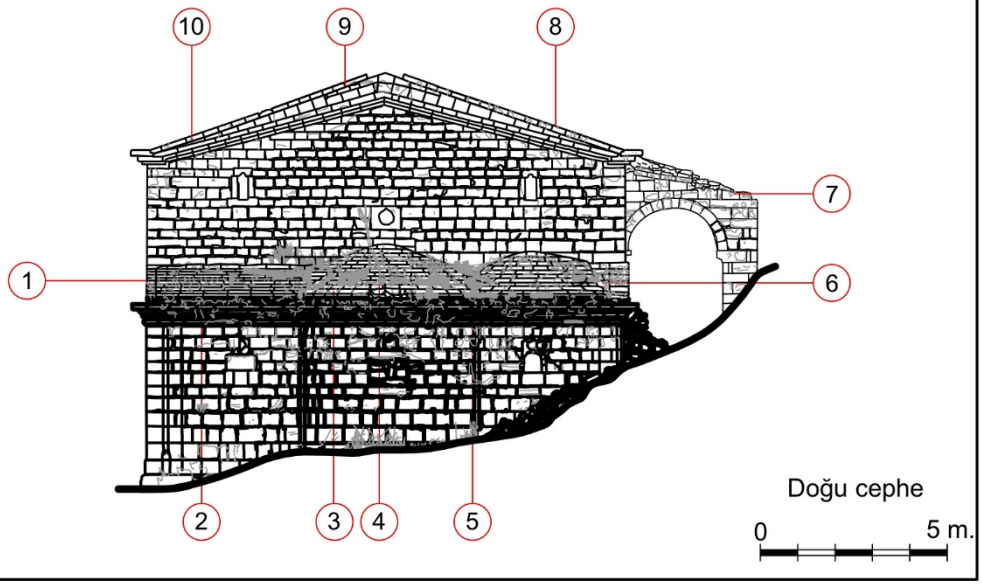
Fotoğraf	Yükseklik (mm)	Fotoğraf	Yükseklik (mm)
1	1.28	5	1.29
2	1.68	6	1.63
3	0.78	7	1.67
4	1.39	8	1.87

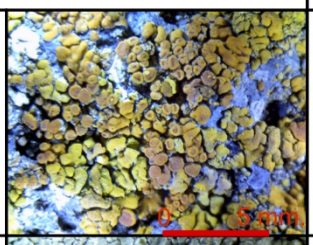
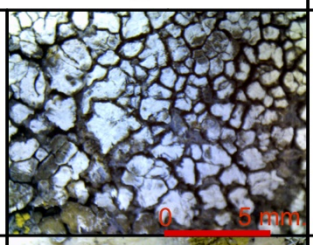
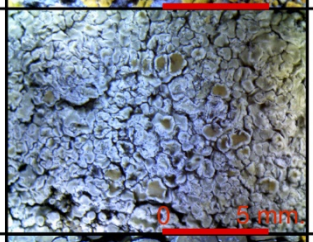
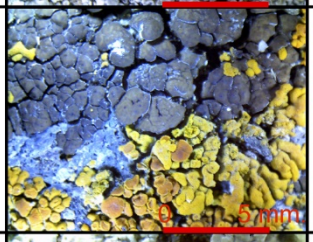
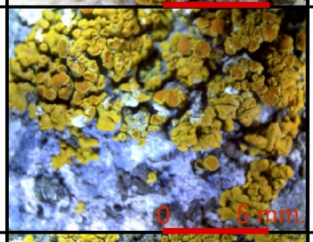
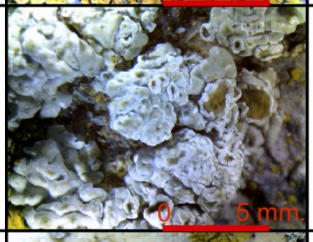
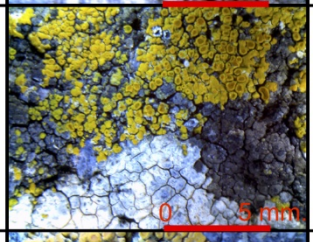
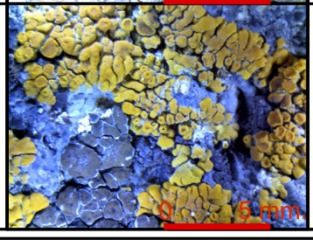
Şekil 4.44. Güney cephe biyolojik gelişim görüntüleri.



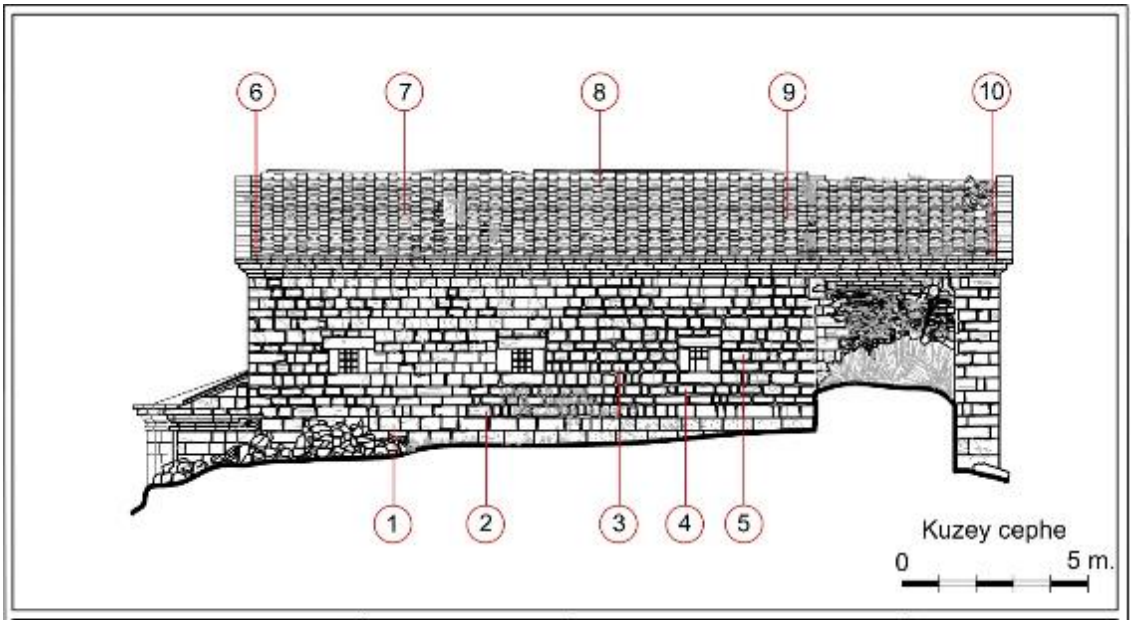
Fotoğraf		Yüzey kaybı (%)	Fotoğraf		Yüzey kaybı (%)
1		4.82	6		14.83
2		62.80	7		33.49
3		66.83	8		42.06
4		4.59	9		15.78
5		43.28	10		10.54

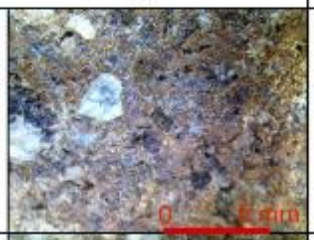
Şekil 4.45. Doğu cephe yüzeysel ayrışma görüntüleri.



Fotoğraf	Yükseklik (mm)	Fotoğraf	Yükseklik (mm)
1 	1.21	6 	3.75
2 	0.33	7	0.86
3 	1.34	8 	1.27
4 	3.77	9 	1.03
5	0.81	10 	1.81

Şekil 4.46. Doğu cephe biyolojik gelişim görüntüleri.



Fotoğraf		Yüzey kaybı (%)	Fotoğraf		Yükseklik (mm)
1		0	6		2.07
2		5.09	7		2.63
3		3.98	8		1.47
4		42.51	9		1.13
5		22.15	10		2.32

Şekil 4.47. Kuzey cephe yüzeysel ayrışma ve biyolojik gelişim görüntüleri.

4.3. Rehabilitasyon Önerileri

Küçükköy Kilisesi yapı taşlarındaki bozunmaların rehabilitasyon önerileri için, minimum müdahaleler ile bütüncül bir koruma yaklaşımı sunulmuştur. Bu amaçla önerilen müdahaleler "atmosferik ve insan etkilerinin rehabilitasyon önerisi" ve biyolojik etkilerin rehabilitasyon önerisi" olmak üzere iki başlıkta değerlendirilmiştir.

4.3.1. Atmosferik ve insan etkilerine karşılık rehabilitasyon önerileri

Rehabilitasyon çalışmalarında yapı taşlarındaki bozunmaların tipleri, kökenleri ve derecelerini tespit etmek, yapılacak müdahale önerileri için son derece önemlidir. Bu çalışmada Küçükköy Kilisesi yapı taşlarına önerilecek tedavilerin seçilmesi için öncelikli olarak görsel analiz yapılmış ve daha sonra bozunmaların etki dereceleri tahribatsız test teknikleri ile belirlenmiştir. Kilise yapı taşları, SHR ve P-dalga hızı testlerine göre değerlendirildiğinde, KC2 taşlarının mühendislik özelliklerinde belirgin değer kayıpları görülmezken, KC1 yapı taşlarının 49'u "çok zayıf" ve 138'i "zayıf kayaç" sınıflamasında yer alarak, andezitik kayaçlara göre oldukça düşük mühendislik özellikler sergilemektedir. Ayrıca "çok zayıf" ve "zayıf kayaç" sınıflamasında yer alan yapı taşlarında, jeolojik oluşumlara bağlı ayrışma, kavlaklanma ve kopma tiplerinde gelişen bozunmalar, görsel analizler ile belirlenmiştir. Bozunma dereceleri oldukça yüksek olan 187 adet KC1 yapı taşının tahribat hızı, yapıdaki diğer taşlara göre çok daha yüksek olacağı için ileride geri dönüşü olmayan tahribatlar meydan gelebilir. Bu amaçla kilisedeki 187 adet KC1 yapı taşına, yapay taş ile plastik onarım tedavisi önerilmiştir. Plastik onarım için öncelikle temsilci blok örneklerin laboratuvar analizleri yapılarak, temel fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra önerilen plastik onarım malzemesinin fiziksel özellikleri belirlenmiş ve temsilci KC1 yapı taşının özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında önerilen plastik onarım malzemesinin fiziksel özellikleri, Çizelge 4.21.'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. incelendiğinde, KC1 yapı taşlarına en yakın mühendislik özellikler, düşük porozite değeri ile daha yüksek P-dalga hızı, Schmidt çekici sertlik değeri ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri sunan M1 örneğinden elde edilmiştir. M1 plastik onarım malzeme önerisi, yapıdaki KC1 andezitlerine yakın fiziksel ve mekanik özellikler sergilemesinden dolayı Küçükköy Kilisesi'nde kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 4.21. Plastik onarım malzeme önerilerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Örnek kodu	Test sayısı	γ_d (kN/m³)	γ_s (kN/m³)	n (%)	Wa (%)	Vp (km/s)	SHR	σ_c (MPa)
M1	3	11.98±1.37	13.43±0.46	14.80±0.87	12.11±0.34	1.83±0.41	27±2.24	11,52±1.7
M2	3	12.03±0.34	13.56±0.43	15.53±3.75	12.68±3.20	1.67±0.55	25±3.62	9.54±2.7
M3	3	11.97±0.26	14.52±0.62	25.97 ± 5.33	21.28±4.27	1.33±0.46	19±2.07	6.41±2.2
M4	3	11.97±0.26	15,48±0.65	35.71±2.81	29.22±1.39	0.82±0.76	14±2.07	2.58±5.8

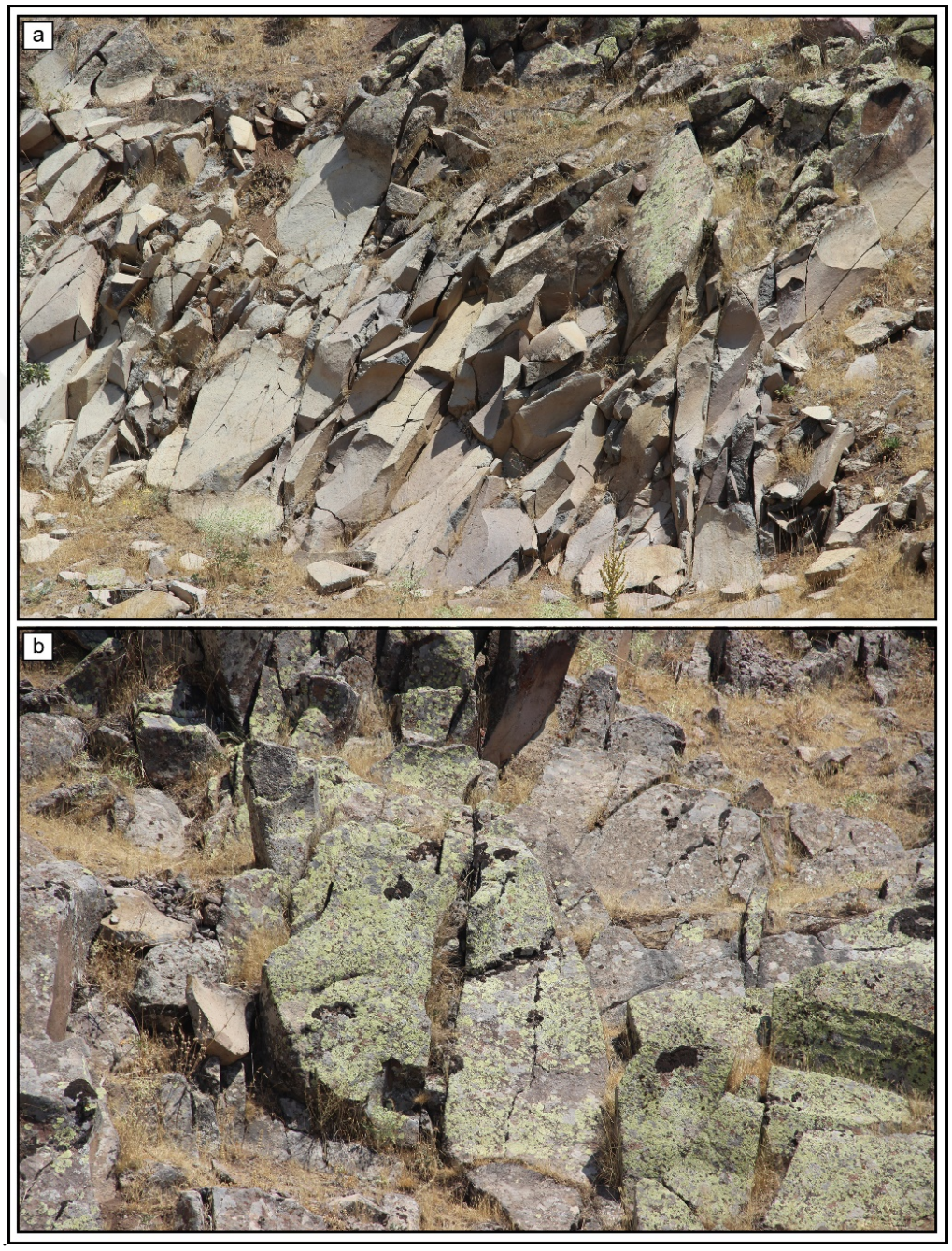
Andezit yapı taşlarının ayrışabilirlik özellikleri düşük olduğu için pul pul dökülme, tozlanma ve yüzeysel erezyon tiplerinde bozunmalar beklenmemektedir. Ancak Küçükköy Kilisesi'nin kapiler ve süzülme bölgelerindeki yapı taşlarında, su hareketlerinden dolayı bazı taşlarda pul pul dökülme tipinde yüzeysel ayrışmalar tespit edilmiştir. Yapıdaki yüzeysel ayrışmaların oldukça az olması ve kapiler bölgedeki su aktivitelerinin engellenmesi ile bozunmaların kontrolü sağlanacağı için çalışmada herhangi bir sağlamlaştırma tedavisi önerilmemiştir. Yüzeysel ayrışmaların önüne geçmek için yapı çevresine drenaj yapılması ve yok olan taşların tamamlanması önerilmektedir.

Anıtta bir başka problem olan insan etkileri nedeniyle, kuzey cephede % 4,86, batı cephede % 4,4, güney cephede % 1,68 ve doğu cephede % 0,89 oranında taş malzeme kaybı tespit edilmiştir. Kilisede yok olmuş (alınmış) taş malzemelerin tamamlanması için yörede yakın alanlarda muhtemel taş alınan ocak alanları da araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan saha incelemeleri neticesinde, yapı taşlarının kilise çevresinden getirildiği belirlenmiştir (Şekil 4.48). Bölgede kayaçlar, sertlik, doku, renk ve pürüzlülük olarak yapıda kullanılan taşlara birebir benzerlikler sunmaktadır.

4.3.2. Biyolojik etkilerin rehabilitasyon önerisi

Küçükköy Kilisesi'nin bozunma haritaları incelendiğinde, kuzey cephede % 39,3, güney cephede % 21,8, doğu cephede % 8,13 ve batı cephede % 2,69 oranlarında biyolojik aktivite tespit edilmiştir. Ayrıca Şekil 4.42, 44, 46. ve 47.'deki taşınabilir mikroskop görüntüleri incelendiğinde, biyofilm tabakasının yüksekliğinin 3,77 mm.'ye kadar geliştiği belirlenmiştir. Yapıdaki taş malzemelerdeki biyolojik bozunma etkilerinin kontrolü ve anıtın estetik değerinin korunması için Scheerer ve ark. (2009) ve Sanz ve ark. (2015)'deki çalışmalarında uyguladığı sıralı kızılötesi (IR) ve ultraviyole

(UV) lazer temizleme yöntemi, Küçükköy Kilisesi'ne de ugulanması önerilmiş olup, söz konusu yöntemin yapı taşlarına herhangi bir zarar vermeden biyolojik kolonizasyonları tamamen temizleyeceği düşünüldüğünden tercih edilmiştir.



Şekil 4.48. Küçükköy Kilisesi yapı taşlarının benzer özellikler sunan taş ocağı.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Andezitler dünyanın farklı bölgelerinde birçok mimari yapıda yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmış ve halen kullanılmaktadır. Yapılarda kullanılan taşlar; atmosferik, biyolojik, insan etkileri sonucu bozunmaya uğramaktadır. Tarihi yapılarda kullanılan yapı taşlarındaki bozunmaların tahribatsız testler ile belirlenmesi, restorasyon ve koruma çalışmaları için pratik ve hızlı veri sağlaması nedeniyle önemli altlıklar oluşturur. Bu çalışmada Küçükköy Kilisesi'ndeki bozunmalar laboratuvar ve yerinde yapılan tahribatsız test teknikleri ile incelenerek, yapının gelecek kuşaklara güvenle aktarılabilmesi için de rehabilitasyon önerilerinde bulunulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

Kullanılan yapı taşlarının jeolojik özellikleri, bozunma sürecinde en etkili parametrelerden biridir. Boşlukları yüksek ve P-dalga hızı ile SHR değeri düşük olan KC1 örneklerine benzer özelliklerdeki yapı taşlarında bozunma etkileri daha fazla gelişmiştir.

KC1 taşlarında pul pul dökülme, jeolojik oluşumuna bağlı zayıf kesimlerde daha belirgin olmak üzere, kavlaklanma ve parçalanma tiplerinde bozunma görülmektedir. KC2 yapı taşlarında ise pul pul dökülme ve zayıf kesimlerde yüzeysel kayıplar görülmektedir.

Kilisenin yüzey nem haritaları incelendiğinde, cephelerdeki ortalama nem dağılımı en fazla kuzey cephede (% 46.21) iken, en az ise doğu cephede (% 25.12) olduğu belirlenmiştir. Bunda güneşlenme süresi yanında bölgesel topografya, drenaj sorunları ile çatı kaplama malzemesi olarak kullanılan andezitlerin alınmasının (kayıpların) etkisi de unutulmamalıdır.

Yapıda kullanılan andezitlerde, kilisenin cephelerine göre bozunma miktarı değişmektedir. En çok bozunma batı ve kuzey cephelerdeki yapı taşlarında görülmektedir. Bu durum batı ve kuzey cephelerdeki andezit taşlarda bulunan nemin, diğer cephelere göre daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapı taşlarında gözlenen bozunmalar, kapiler ve süzülme bölgelerinde daha belirgin olarak gelişmiştir.

Kızılötesi termografi verilerine göre gün içerisindeki sıcaklık farkı en fazla güney cephede iken en az kuzey cephede olduğu belirlenmiştir. Kuzey cephedeki bozunmaların ana kaynağı nem iken, güney cephedeki bozunmaların kaynağı ise gün içerisindeki yüksek sıcaklık farkları ile nemin olduğu düşünülmektedir.

P-dalga hızı ve Schmidt çekici sertlik testlerinden elde edilen veriler ile kilise yapı taşlarındaki bozunmaların derecelendirilmesi yapılarak, rehabilitasyon uygulamaları için önemli bulgular elde edilmiştir.

Biyolojik ve atmosferik etkilerin yapı taşları üzerinde meydana getirdiği tahribatlar taşınabilir mikroskop testi ile incelenerek, yüzeysel kayıplar en fazla güney cephenin kapiler bölgesinde (% 87,25) olduğu belirlenmiştir. Bu durumun drenaj probleminden kaynaklı nem etkisi ve ısı anomali farklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kilisedeki biyolojik vejetasyonların gelişimi, en fazla doğu cephe apsisinin üst örtüsünde tespit edilmiştir.

Tahribatsız test verilerinden elde edilen haritalar, bozunma haritaları ile uyum içerisindedir.

Tez kapsamında uygulanmış olan tahribatsız testlerin tamamı, teşhis aşamasında her bir yapı taşının bozunma etkilerinin değerlendirmesinde hızlı, ekonomik, güvenilir ve ayrıntılı veriler elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca testlerin sonuçları, rehabilitasyon önerilerine önemli altlıklar oluşturmuştur. Kilisede gözlenen atmosferik etkilerden kaynaklı bozunmaların rehabilitasyonu için 187 yapı taşına plastik onarım tedavisi önerilmiştir. Değerlendirilen malzemeler arasında M1 malzemesi, yapının özgün taşlarının fiziksel (birim hacim ağırlık, porozite, P-dalga hızı) ve mekanik özelliklerine (Schmidt çekici sertlik değeri ve tek eksenli basınç dayanımı) benzerlik sergilediğinden dolayı yapıda rehabilitasyon uygulamalarında yapay plastik onarım malzemesi olarak önerilmiştir.

Yapıdaki insan etkileri nedeniyle meydana gelmiş taş kayıpları için kilisenin muhtemel taşı ocağı tespit edilmiş olup, tümleme çalışmalarında bu bölgeden taş tedarik edilebileceği düşünülmüştür.

Kilisede gözlemlenen biyolojik aktivitelerin önüne geçilebilmesi için sıralı kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV) lazer temizleme yönteminin yapıda uygulanması önerilmektedir.

Kilisenin kapiler ve süzülme bölgesinde gözlenen bozunmaların kontrolü için yapıya drenaj ve tümlemele çalışmalarının yapılması önerilmiştir.

Kilisedeki grafiti, ikonların sökülmesi, is kirlenmesi, taş kayıpları gibi insan kaynaklı tahribatların önüne geçilebilmesi için de bölge halkına taşınmaz kültür varlıklarımızın korunması konusunda eğitimlerin verilmesi gereklidir. Çalışma kapsamında önerilen model ve bölge halkının bilinçlendirilmesi ile yapının sürdürülebilir olarak korunması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Abbaneo, S., Berra, M., Binda, L., Fatticcioni, A., Schickert, G. ve Wiggenhauser, H., 1995, Non-destructive evaluation of bricks-masonry structures: Calibration of sonic wave propagation procedures, *International Symposium of Non Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), Berlin, Germany*, 253-260.

Acar Ata, İ., 2017, Mübadelenin mimari tanıkları: Niğde Yeşilburç (Tenei) Köyü Fatma-İbrahim Oral Konağı örneği, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, 178.

Açıkgöz, F., Demir, F., Eryaman, M. ve Tektaş, M., 2009, Niğde kültür envanteri (1), *Tekten Basın Yayın Ltd. Şti.*, Niğde, p. 463.

Adem, Ö. ve Türk, A. T., 2013, Kültürel Bağlamda Kapadokya bölgesinde Bulunan Grek Harfli Türkçe Kitabelerin Dili, *International Journal of Social Science (JASSS)*, 6 (8), 1137-1151.

Akin, M. ve Özsan, A., 2011, Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70 (1), 101-114.

Ambrosini, D., Daffara, C., Di Biase, R., Paoletti, D., Pezzati, L., Bellucci, R. ve Bettini, F., 2010, Integrated reflectography and thermography for wooden paintings diagnostics, *Journal of Cultural Heritage*, 11 (2), 196-204.

Anonim, 2018, Niğde merkez haritası, https://www.haritatr.com/nigde-haritasi-i2a5, [20.08.2018].

Anzani, A., Binda, L., Carpinteri, A., Invernizzi, S. ve Lacidogna, G., 2010, A multilevel approach for the damage assessment of Historic masonry towers, *Journal of Cultural Heritage*, 11 (4), 459-470.

Aoki, H. ve Matsukura, Y., 2007, A new technique for non-destructive field measurement of rock-surface strength: an application of the Equotip hardness tester to weathering studies, *Earth Surface Processes and Landforms*, 32 (12), 1759-1769.

ASTM, 1994, Annual book of ASTM standart-construction: soil and rock, *ASTM Publication*, p. 978.

ASTM-D5312-04, 2004, Standard test method for evaluation of durability of rock for erosion control under freezing and thawing conditions**:** 4.

ASTM-D5873, 2014, Standart test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. ASTM International, West Conshohocken.

Atabey, E., Göncüoğlu, M. C. ve Turhan, N., 1990, 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli türkiye jeoloji haritaları serisi KOZAN-J 19 paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Aydin, A. ve Basu, A., 2005, The Schmidt hammer in rock material characterization, *Engineering Geology*, 81 (1), 1-14.

Balaras, C. A. ve Argiriou, A. A., 2002, Infrared thermography for building diagnostics, *Energy and Buildings*, 34 (2), 171-183.

Barreira, E. ve de Freitas, V. P., 2007, Evaluation of building materials using infrared thermography, *Construction and Building Materials*, 21 (1), 218-224.

Batum, I., 1978, Nevsehir guney batisindaki Gollu Dag ve Acigol volkanitlerinin jeokimyasi ve petrolojisi.[Geochemistry and petrology of Gollu Mountain and Acigol Volcanics of southwest Nevsehir.], *J Earth Sci*, 4 (1-2), 70-88.

Beekman, P., 1966, The pliocene and quaternary volcanism in the Hasan Dağ-Melendiz Dağ region, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Bülteni*, 66, 99-106.

Binda, L., 1997, A role of riles committee: calibration of proposed test methods, In: Evaluation and Strengthening of Existing Masonry Structures, Eds: Binda, L. ve Modena, C., *Padua*: RILEM Publications, p. 1-24.

Binda, L., Lualdi, M. ve Saisi, A., 2007, Non-Destructive Testing Techniques Applied for Diagnostic Investigation: Syracuse Cathedral in Sicily, Italy, *International Journal of Architectural Heritage*, 1 (4), 380-402.

Bingöl, A. ve Üngör, İ., 2015, İskender'in Rüyası: Persler, *Düşünce Dünyasında Türkiz*, 35, 31-84.

Bisegna, F., Ambrosini, D., Paoletti, D., Sfarra, S. ve Gugliermetti, F., 2014, A qualitative method for combining thermal imprints to emerging weak points of ancient wall structures by passive infrared thermography – A case study, *Journal of Cultural Heritage*, 15 (2), 199-202.

Bonazza, A., Sabbioni, C., Messina, P., Guaraldi, C. ve De Nuntiis, P., 2009, Climate change impact: Mapping thermal stress on Carrara marble in Europe, *Science of The Total Environment*, 407 (15), 4506-4512.

Borsoi, G., Lubelli, B., van Hees, R., Veiga, R. ve Santos Silva, A., 2017, Evaluation of the effectiveness and compatibility of nanolime consolidants with improved properties, *Construction and Building Materials*, 142, 385-394.

Bortz, S., Stecich, J., Wonneberger, B. ve Chin, I., 1993, Accelerated weathering in building stone, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 30 (7), 1559-1562.

Bozdağ, A., 2013, Tuz (NaCl) Kristallenmesinin kayaçların mühendislik parametreleri üzerine etkisi, Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Selçuk Üniversitesi, 197.

Bras, A. ve Henriques, F. M. A., 2012, Natural hydraulic lime based grouts – The selection of grout injection parameters for masonry consolidation, *Construction and Building Materials*, 26 (1), 135-144.

Bugani, S., 2007, Evaluation of the Impact of Nitrogen Oxides (NOx) and Conservation Treatments on Stone Building Materials, Phd thesis, Industrial Chemistry, University of Bologna, 125.

Buj, O., Gisbert, J., Franco, B., Mateos, N. ve Bauluz, B., 2010, Decay of the Campanile limestone used as building material in Tudela Cathedral (Navarra, Spain), *Geological Society, London, Special Publications*, 331 (1), 195-202.

Caner, E., 2011, Limestone decay in historic monuments and consolidation with nanodispersive calcium hydroxide solutions, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 136.

Cappa, M., De Angelis, D., Pecci, A., Barba, L., Cura, M., Crisci, G. M., Blancas, J., Yavuz, H. B. ve Miriello, D., 2016, Thermographic survey at Hagia Sophia: main arches, pendentives and tympana, *International Journal of Architectural Heritage*, 10 (6), 726-734.

Casula, G., Fais, S., Ligas, P. ve Mora, P., 2007, Experimental application of 3-D terrestrial laser scanning and acoustic techniques in assessing the quality of stones used in monumental structures, *4th international conference on NDT*, 118-122.

Charola, A. E., 2000, Salts in the Deterioration of Porous Materials: An Overview, *Journal of the American Institute for Conservation*, 39 (3), 327-343.

Chen, W., Dai, P., Yuan, P. ve Zhang, J., 2016, Effect of inorganic silicate consolidation on the mechanical and durability performance of sandstone used in historical sites, *Construction and Building Materials*, 121, 445-452.

Christaras, B., Auger, F. ve Mosse, E., 1994, Determination of the moduli of elasticity of rocks. Comparison of the ultrasonic velocity and mechanical resonance

frequency methods with direct static methods, *Materials and Structures*, 27 (4), 222-228.

Christaras, B., Cuccuru, F., Fais, S. ve Papanikolaou, H., 2015, Application of Non Destructive Ultrasonic Techniques for the Analysis of the Conservation Status of Building Materials in Monumental Structures, Cham, 139-143.

Concu, G., De Nicolo, B. ve Valdes, M., 2014, Prediction of building limestone physical and mechanical properties by means of ultrasonic P-wave velocity, *The Scientific World Journal*, 2014.

Conti, C., Striova, J., Aliatis, I., Colombo, C., Greco, M., Possenti, E., Realini, M., Brambilla, L. ve Zerbi, G., 2013, Portable Raman versus portable mid-FTIR reflectance instruments to monitor synthetic treatments used for the conservation of monument surfaces, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405 (5), 1733-1741.

Coombes, M. A., Feal-Pérez, A., Naylor, L. A. ve Wilhelm, K., 2013, A non-destructive tool for detecting changes in the hardness of engineering materials: Application of the Equotip durometer in the coastal zone, *Engineering Geology*, 167, 14-19.

Corcione, C. E., Ingrosso, C., Petronella, F., Comparelli, R., Striccoli, M., Agostiano, A., Frigione, M. ve Curri, M. L., 2018, A designed UV–vis light curable coating nanocomposite based on colloidal TiO2 NRs in a hybrid resin for stone protection, *Progress in Organic Coatings*, 122, 290-301.

Cuccuru, F., Fais, S. ve Ligas, P., 2014, Dynamic elastic characterization of carbonate rocks used as building materials in the historical city centre of Cagliari (Italy), *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 47 (3), 259-266.

Cuevas, A. M., Bernardini, F., Gianoncelli, A. ve Tuniz, C., 2015, Energy dispersive X-ray diffraction and fluorescence portable system for cultural heritage applications, *X-Ray Spectrometry*, 44 (3), 105-115.

Cultrone, G., Luque, A. ve Sebastián, E., 2012, Petrophysical and durability tests on sedimentary stones to evaluate their quality as building materials, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 45 (4), 415-422.

Çoban, H., 2015, Kapadokya'da Kimmerler, *Cappadocia Journal of History and Social Science*, 4, 121-131.

Çobanoğlu, İ. ve Çelik, S. B., 2008, Estimation of uniaxial compressive strength from point load strength, Schmidt hardness and P-wave velocity, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67 (4), 491-498.

De Beer, J. H., 1967, Subjective classification of the hardness of rocks and the associated shear strength, *Proceedings of 4th reg. cong. Afr. soil mechanical found engineering, Capctawn*, 396-398.

Edwards, A. J., 2005, Properties of hydraulic and nonhydraulic limes for use in construction Doctor of Philosophy, School of the Built Environment, Napier University, 228.

Ekiz, M., 2015, Niğde ili ve ilçeleri arkeolojik yüzey araştırması raporu, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, http://www.ttk.gov.tr/ wp-content/uploads/2016/11/7-Nigde.pdf: [20.08.2018].

Eklund, J. A., Zhang, H., Viles, H. A. ve Curteis, T., 2013, Using handheld moisture meters on limestone: Factors affecting performance and guidelines for best practice, *International Journal of Architectural Heritage*, 7 (2), 207-224.

El-Gohary, M., 2012, The contrivance of new mud bricks for restoring and preserving the Edfa ancient Granaray-Sohaq, Egypt, *International Journal of Conservation Science*, 3 (2).

El-Gohary, M. A., 2017, Environmental impacts: Weathering factors, mechanism and forms affected the stone decaying in Petra, *Journal of African Earth Sciences*, 135, 204-212.

Ercikdi, B., Karaman, K., Cihangir, F., Yılmaz, T., Aliyazıcıoğlu, Ş. ve Kesimal, A., 2016, Core size effect on the dry and saturated ultrasonic pulse velocity of limestone samples, *Ultrasonics*, 72, 143-149.

Erguvanlı, K., 1975, Mühendislik Jeolojisi, *İTÜ Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul*.

Esaki, T. ve Jiang, K., 2000, Comprehensive study of the weathered condition of welded tuff from a historic stone bridge in Kagoshima, Japan, *Engineering Geology*, 55 (1), 121-130.

Fais, S., Tocco, R. ve Casula, G., 1999, ND Acoustic Techniques to Assess the Preservation of a Church Colonnade-a Case History, *61st EAGE Conference and Exhibition*.

Fais, S., Ligas, P., Palomba, M. ve Tocco, R., 2002, Evaluation of preservation state of monumental buildings by ND acoustic techniques and mineralogical studies, AA Balkema, p.

Fais, S. ve Casula, G., 2010, Application of acoustic techniques in the evaluation of heterogeneous building materials, *NDT & E International*, 43 (2), 62-69.

Fais, S., Cuccuru, F., Ligas, P., Casula, G. ve Bianchi, M. G., 2017, Integrated ultrasonic, laser scanning and petrographical characterisation of carbonate building materials on an architectural structure of a historic building, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76 (1), 71-84.

Fais, S., Casula, G., Cuccuru, F., Ligas, P. ve Bianchi, M. G., 2018, An innovative methodology for the non-destructive diagnosis of architectural elements of ancient historical buildings, *Scientific Reports*, 8 (1), 4334.

Fassina, V., Favaro, M., Naccari, A. ve Pigo, M., 2002, Evaluation of compatibility and durability of a hydraulic lime-based plaster applied on brick wall masonry of historical buildings affected by rising damp phenomena, *Journal of Cultural Heritage*, 3 (1), 45-51.

Fener, M. ve İnce, İ., 2015, Effects of the freeze–thaw (F–T) cycle on the andesitic rocks (Sille-Konya/Turkey) used in construction building, *Journal of African Earth Sciences*, 109, 96-106.

Fitzner, B., Heinrichs, K. ve Bouchardiere, D. L., 2003, Weathering damage on Pharaonic sandstone monuments in Luxor-Egypt, *Building and Environment*, 38 (9), 1089-1103.

Fookes, P. G., Dearman, W. R. ve Franklin, J. A., 1971, Some engineering aspects of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 4 (3), 139-185.

Fort, R., Alvarez de Buergo, M. ve Perez-Monserrat, E. M., 2013, Non-destructive testing for the assessment of granite decay in heritage structures compared to quarry stone, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 61, 296-305.

Franzoni, E., Bandini, S. ve Graziani, G., 2014, Rising moisture, salts and electrokinetic effects in ancient masonries: From laboratory testing to on-site monitoring, *Journal of Cultural Heritage*, 15 (2), 112-120.

Garijo, L., Zhang, X., Ruiz, G., Ortega, J. J. ve Wu, Z., 2018, The effects of dosage and production process on the mechanical and physical properties of natural hydraulic lime mortars, *Construction and Building Materials*, 169, 325-334.

Gaspar, P., Hubbard, C., McPhail, D. ve Cummings, A., 2003, A topographical assessment and comparison of conservation cleaning treatments, *Journal of Cultural Heritage*, 4, 294-302.

Gokceoglu, C., Zorlu, K., Ceryan, S. ve Nefeslioglu, H. A., 2009, A comparative study on indirect determination of degree of weathering of granites from some physical and strength parameters by two soft computing techniques, *Materials Characterization*, 60 (11), 1317-1327.

Goodman, R. E., 1989, Introduction to rock mechanics, Wiley New York, p.

Gökçe, M. V., İnce, İ., Fener, M., Taşkıran, T. ve Kayabali, K., 2016, The effects of freeze–thaw (F–T) cycles on the Gödene travertine used in historical structures in Konya (Turkey), *Cold Regions Science and Technology*, 127, 65-75.

Göze Akoğlu, K., 2011, Deterioration of Nemrut sandstone and development of its conservation treatments, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 188.

Grinzato, E., Marinetti, S., Bison, P. G., Concas, M. ve Fais, S., 2004, Comparison of ultrasonic velocity and IR thermography for the characterisation of stones, *Infrared Physics & Technology*, 46 (1), 63-68.

Halim, A.-H. A. ve Halim, A. Z. A., 2010, An Analysis of Dampness Study on Heritage Building: A Case Study Ipoh Old Post Office Building and Suluh Budiman Building, UPSI, Perak, Malaysia, *Journal of Sustainable Development*, 3 (4), 171.

Hall, K. ve Hall, A., 1996, Weathering by wetting and drying: some experimental results, *Earth Surface Processes and Landforms*, 21 (4), 365-376.

Han, X., Rong, B., Huang, X. ve Luo, H., 2016, Bridged siloxanes as novel potential hybrid consolidants for ancient Qin terracotta, *Progress in Organic Coatings*, 101, 416-422.

Harandi, D., Ahmadi, H. ve Mohammadi Achachluei, M., 2016, Comparison of TiO2 and ZnO nanoparticles for the improvement of consolidated wood with polyvinyl butyral against white rot, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 108, 142-148.

Heidari, M., Chastre, C., Torabi-Kaveh, M., Ludovico-Marques, M. ve Mohseni, H., 2017a, Application of fuzzy inference system for determining weathering degree of some monument stones in Iran, *Journal of Cultural Heritage*, 25, 41-55.

Heidari, M., Torabi-Kaveh, M., Chastre, C., Ludovico-Marques, M., Mohseni, H. ve Akefi, H., 2017b, Determination of weathering degree of the Persepolis stone under laboratory and natural conditions using fuzzy inference system, *Construction and Building Materials*, 145, 28-41.

Heinrichs, K. ve Fitzner, B., 2007, Stone monuments of the Nemrud Dag sanctuary/Turkey–petrographical investigation and diagnosis of weathering damage [Steinmonumente des Nemrud Dag Heiligtums/Türkei–petrographische Untersuchung und Diagnose der Verwitterungsschäden], *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158 (3), 519-548.

Hoek, E. ve Brown, E. T., 1980, Underground excavations in rock, Institution of Mining and Metallurgy, *Stephen Austin and sons ltd.*, Hertford, England, p. 577.

Hoła, A., Matkowski, Z. ve Hoła, J., 2017, Analysis of the Moisture Content of Masonry Walls in Historical Buildings Using the Basement of a Medieval Town Hall as an Example, *Procedia Engineering*, 172, 363-368.

ICOMOS, 2003, ICOMOS tüzük- Mimari mirasın analiz, koruma ve yapısal restorasyonu için ilkeler. ICOMOS Genel kurulunda kabul edilmiştir, Victoria Falls, Zimbabwe.

ISRM, 1981, Rock characterisation, testing and monitoring: ISRM suggested methods, *Pergamon, Oxford*, p. 211.

ISRM, 2007, The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. ISRM Turkish National Group, Ankara.

İnce, İ., Bozdağ, A., Tosunlar, M. B., Hatır, M. E. ve Korkanç, M., 2018, Determination of deterioration of the main facade of the Ferit Paşa Cistern by non-destructive techniques (Konya, Turkey), *Environmental Earth Sciences*, 77 (11), 420.

Jo, Y. H. ve Lee, C. H., 2014, Quantitative modeling and mapping of blistering zone of the Magoksa Temple stone pagoda (13th century, Republic of Korea) by graduated heating thermography, *Infrared Physics & Technology*, 65, 43-50.

Johnston, B., Ruffell, A., McKinley, J. ve Warke, P., 2018, Detecting voids within a historical building façade: A comparative study of three high frequency GPR antenna, *Journal of Cultural Heritage*, 32, 117-123.

Jorne, F., Henriques, F. M. A. ve Baltazar, L. G., 2015, Evaluation of consolidation of different porous media with hydraulic lime grout injection, *Journal of Cultural Heritage*, 16 (4), 438-451.

Kahraman, S., 2001, Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38 (7), 981-994.

Kalagri, A., Miltiadou-Fezans, A. ve Vintzileou, E., 2010, Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures, *Materials and Structures*, 43 (8), 1135-1146.

Kandemir-Yucel, A., Tavukcuoglu, A. ve Caner-Saltik, E. N., 2007, In situ assessment of structural timber elements of a historic building by infrared thermography and ultrasonic velocity, *Infrared Physics & Technology*, 49 (3), 243-248.

Kaplan, Ç. D., Murtezaoğlu, F., İpekoğlu, B. ve Böke, H., 2013, Weathering of andesite monuments in archaeological sites, *Journal of Cultural Heritage*, 14 (3), 77-83.

Karadayı Yenice, T., 2012, Geleneksel Aksaray evlerinin korunmasına ilişkin bir yöntem araştırması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, 212.

Karatasios, I., Theoulakis, P., Kalagri, A., Sapalidis, A. ve Kilikoglou, V., 2009, Evaluation of consolidation treatments of marly limestones used in archaeological monuments, *Construction and Building Materials*, 23 (8), 2803-2812.

Kim, E. K., Won, J., Do, J.-y., Kim, S. D. ve Kang, Y. S., 2009, Effects of silica nanoparticle and GPTMS addition on TEOS-based stone consolidants, *Journal of Cultural Heritage*, 10 (2), 214-221.

Koca, M. Y. ve Kıncal, C., 2004, Abandoned stone quarries in and around the Izmir city centre and their geo-environmental impacts—Turkey, *Engineering Geology*, 75 (1), 49-67.

Kocaman, M., 2016, Niğde'nin geç Dönem Osmanlı kiliseleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, 535.

Korkanç, M. ve Tuğrul, A., 2004, Evaluation of selected basalts from Niğde, Turkey, as source of concrete aggregate, *Engineering Geology*, 75 (3), 291-307.

Korkanç, M. ve Savran, A., 2010, Niğde Yöresindeki Tarihi Yapılarda Kullanılan Taşlar ve Sorunları, Tübitak Projesi, Proje No: 106Y220.

Korkanç, M., 2013, Deterioration of different stones used in historical buildings within Nigde province, Cappadocia, *Construction and Building Materials*, 48, 789-803.

Korkanç, M. ve Savran, A., 2015, Impact of the surface roughness of stones used in historical buildings on biodeterioration, *Construction and Building Materials*, 80, 279-294.

Korkanç, M. ve Solak, B., 2016, Estimation of engineering properties of selected tuffs by using grain/matrix ratio, *Journal of African Earth Sciences*, 120, 160-172.

Korkanç, M., 2018, Characterization of building stones from the ancient Tyana aqueducts, Central Anatolia, Turkey: implications on the factors of deterioration processes, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77 (1), 237-252.

Korkanç, M., İnce, İ., Hatır, M. E. ve Tosunlar, M. B., 2018, Historical granaries at Taşkale (Turkey) under risk: a geotechnical analysis, *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, 18 (1).

Küçükkaya, A. G., 2004, Taşların bozulma nedenleri ve koruma yöntemleri, Birsen Yayınevi Ltd. Şti. Ankara, p. 163.

La Russa, M. F., Macchia, A., Ruffolo, S. A., De Leo, F., Barberio, M., Barone, P., Crisci, G. M. ve Urzì, C., 2014, Testing the antibacterial activity of doped TiO2 for preventing biodeterioration of cultural heritage building materials, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 96, 87-96.

Laurie, J., Robertson, R. ve Vicente, M., 1986, The restoration of buildings constructed with Menorcan limestone, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 19 (3), 283-289.

Lerma, J. L., Cabrelles, M. ve Portalés, C., 2011, Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade, *Construction and Building Materials*, 25 (5), 2190-2197.

Lim, M. K. ve Cao, H., 2013, Combining multiple NDT methods to improve testing effectiveness, *Construction and Building Materials*, 38, 1310-1315.

Litti, G., Khoshdel, S., Audenaert, A. ve Braet, J., 2015, Hygrothermal performance evaluation of traditional brick masonry in historic buildings, *Energy and Buildings*, 105, 393-411.

López-Arce, P., Gómez-Villalba, L. S., Martínez-Ramírez, S., Álvarez de Buergo, M. ve Fort, R., 2011, Influence of relative humidity on the carbonation of calcium hydroxide nanoparticles and the formation of calcium carbonate polymorphs, *Powder Technology*, 205 (1), 263-269.

López-Doncel, R., Wedekind, W., Dohrmann, R. ve Siegesmund, S., 2013, Moisture expansion associated to secondary porosity: an example of the Loseros Tuff of Guanajuato, Mexico, *Environmental Earth Sciences*, 69 (4), 1189-1201.

Lourenço, P. B., Luso, E. ve Almeida, M. G., 2006, Defects and moisture problems in buildings from historical city centres: a case study in Portugal, *Building and Environment*, 41 (2), 223-234.

Luso, E. ve Lourenço, P. B., 2017, Experimental laboratory design of lime based grouts for masonry consolidation, *International Journal of Architectural Heritage*, 11 (8), 1143-1152.

Marini, A., Cominelli, S., Zanotti, C. ve Giuriani, E., 2018, Improved natural hydraulic lime mortar slab for compatible retrofit of wooden floors in historical buildings, *Construction and Building Materials*, 158, 801-813.

Martinho, E., Dionísio, A., Almeida, F., Mendes, M. ve Grangeia, C., 2014, Integrated geophysical approach for stone decay diagnosis in cultural heritage, *Construction and Building Materials*, 52, 345-352.

Martini, R., Carvalho, J., Barraca, N., Arêde, A. ve Varum, H., 2017, Advances on the use of non-destructive techniques for mechanical characterization of stone masonry: GPR and sonic tests, *Procedia Structural Integrity*, 5, 1108-1115.

Matsukura, Y. ve Takahashi, K. i., 2000, A new technique for rapid and non-destructive measurement of rock-surface moisture content; preliminary application to weathering studies of sandstone blocks, In: Developments in Geotechnical Engineering, Eds: Kanaori, Y., Tanaka, K. ve Chigira, M.: Elsevier, p. 47-54.

McAllister, D., Warke, P. ve McCabe, S., 2017, Stone temperature and moisture variability under temperate environmental conditions: Implications for sandstone weathering, *Geomorphology*, 280, 137-152.

McNally, G., 2002, Soil and rock construction materials, CRC Press, p.

Menéndez, B., 2016, Non-destructive techniques applied to monumental stone conservation, In: Non-Destructive Testing, Eds: InTech, p.

Menéndez, B. ve Petráňová, V., 2016, Effect of mixed vs single brine composition on salt weathering in porous carbonate building stones for different environmental conditions, *Engineering Geology*, 210, 124-139.

MGM, 2018, Meteoroliji Genel Müdürlüğü, https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve- ilceler-istatistik.aspx?m=NIGDE, [20.08.2018].

Morillas, H., García-Galan, J., Maguregui, M., García-Florentino, C., Marcaida, I., Carrero, J. A. ve Madariaga, J. M., 2016a, In-situ multianalytical methodology to evaluate the conservation state of the entrance arch of La Galea Fortress (Getxo, north of Spain), *Microchemical Journal*, 128, 288-296.

Morillas, H., García-Galan, J., Maguregui, M., Marcaida, I., García-Florentino, C., Carrero, J. A. ve Madariaga, J. M., 2016b, Assessment of marine and urban-industrial environments influence on built heritage sandstone using X-ray fluorescence spectroscopy and complementary techniques, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 123, 76-88.

Morillas, H., Maguregui, M., García-Florentino, C., Carrero, J. A., Salcedo, I. ve Madariaga, J. M., 2016c, The cauliflower-like black crusts on sandstones: A natural passive sampler to evaluate the surrounding environmental pollution, *Environmental Research*, 147, 218-232.

Morillas, H., Marcaida, I., Maguregui, M., Carrero, J. A. ve Madariaga, J. M., 2016d, The influence of rainwater composition on the conservation state of cementitious building materials, *Science of The Total Environment*, 542, 716-727.

Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E., Pineli, T. ve Prassianakis, I., 2003, Estimation of elastic constants of stones, used in historic monuments, using ultrasonic technique and correlation to their microstructure parameters, *Proceedings of the 3th International Conference on NDT. Organized by Hellenic Society of NDT (HSNT). NDT in antiquity and nowadays skills–applications–innovations, Chania, Crete*, 242-245.

Naidu, S., Liu, C. ve Scherer, G. W., 2015, Hydroxyapatite-based consolidant and the acceleration of hydrolysis of silicate-based consolidants, *Journal of Cultural Heritage*, 16 (1), 94-101.

Nascimbene, J. ve Salvadori, O., 2008, Lichen recolonization on restored calcareous statues of three Venetian villas, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62 (3), 313-318.

Nascimbene, J., Salvadori, O. ve Nimis, P. L., 2009, Monitoring lichen recolonization on a restored calcareous statue, *Science of The Total Environment*, 407 (7), 2420-2426.

Navrátilová, E. ve Rovnaníková, P., 2016, Pozzolanic properties of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars, *Construction and Building Materials*, 120, 530-539.

NBG, 1985, Engineering geology and rock engineering. Handbook No.2, Norwegian Group for Rock Mechanics, Oslo, p. 249.

Ngan-Tillard, D. J. M., Verwaal, W., Mulder, A., Engin, H. K. ve Ulusay, R., 2011, Application of the needle penetration test to a calcarenite, Maastricht, the Netherlands, *Engineering Geology*, 123 (3), 214-224.

Ngoma, M. K., 2009, Characterisation and Consolidation of Historical Lime Mortars in Cultural Heritage Buildings and Associated Structures in East Africa Doctor of Philosophy, Department of Structural Engineering, The Royal Institute of Technology 117.

Nicholson, D., 2002, Quantification of rock breakdown for experimental weathering studies-In: Understanding and managing stone decay Eds.: Přikryl, R. and Viles, H, Karolinum Press.

Orhan, M., Işık, N. S., Topal, T. ve Özer, M., 2006, Effect of weathering on the geomechanical properties of andesite, Ankara – Turkey, *Environmental Geology*, 50 (1), 85-100.

Ozcelik, Y., 2011, Determination of the regions used as facing and building stone according to the material characteristics in an andesite quarry, *Engineering Geology*, 118 (3-4), 104-109.

Ozden, U. A. ve Topal, T., 2009, Evaluation of andesite source as armourstone for a rubble mound breakwater (Hisarönü, Turkey), *Environmental Earth Sciences*, 59 (1), 39.

Özbek, A., 2014, Investigation of the effects of wetting–drying and freezing–thawing cycles on some physical and mechanical properties of selected ignimbrites, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73 (2), 595-609.

Özşen, H., Bozdağ, A. ve İnce, İ., 2017, Effect of salt crystallization on weathering of pyroclastic rocks from Cappadocia, Turkey, *Arabian Journal of Geosciences*, 10 (12), 258.

Öztürk, N., 2012, Büyük Mecidiye Camisi Hünkar Kasrı restorasyon ve konservasyon projesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 503.

Özvan, A., Dinçer, İ. ve Acar, A., 2011, Quality assessment of geo-materials for coastal structures (Yumurtalık, Turkey), *Marine Georesources & Geotechnology*, 29 (4), 299-316.

Pagès-Camagna, S., Laval, E., Vigears, D. ve Duran, A., 2010, Non-destructive and in situ analysis of Egyptian wall paintings by X-ray diffraction and X-ray fluorescence portable systems, *Applied Physics A*, 100 (3), 671-681.

Paoletti, D., Ambrosini, D., Sfarra, S. ve Bisegna, F., 2013, Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation, *Journal of Cultural Heritage*, 14 (2), 116-121.

Pápay, Z. ve Török, Á., 2018, Effect of Thermal and Freeze-thaw Stress on the Mechanical Properties of Porous Limestone, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62 (2), 423-428.

Papida, S., Murphy, W. ve May, E., 2000, Enhancement of physical weathering of building stones by microbial populations, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46 (4), 305-317.

Pascale, G. ve Lolli, A., 2015, Crack assessment in marble sculptures using ultrasonic measurements: Laboratory tests and application on the statue of David by Michelangelo, *Journal of Cultural Heritage*, 16 (6), 813-821.

Pincé, P., Vekemans, B., Vandenabeele, P., Haerinck, E. ve Overlaet, B., 2016, Analysis of pre-Islamic ceramics from the Kur River Basin (Fars, Iran) using handheld X-ray fluorescence spectrometry, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 123, 150-156.

Pinho, L., Elhaddad, F., Facio, D. S. ve Mosquera, M. J., 2013, A novel TiO2–SiO2 nanocomposite converts a very friable stone into a self-cleaning building material, *Applied Surface Science*, 275, 389-396.

Postacıoğlu, B., 1987, Beton, bağlayıcı maddeler, agregalar, beton, Cilt 2, *Teknik Kitaplar Yayınevi*, İstanbul, p. 404.

Pozo-Antonio, J. S., Rivas, T., López, A. J., Fiorucci, M. P. ve Ramil, A., 2016, Effectiveness of granite cleaning procedures in cultural heritage: A review, *Science of The Total Environment*, 571, 1017-1028.

Pranjić, A. M., Ranogajec, J., Škrlep, L., Škapin, A. S., Vučetić, S., Rebec, K. M. ve Turk, J., 2018, Life cycle assessment of novel consolidants and a photocatalytic suspension for the conservation of the immovable cultural heritage, *Journal of Cleaner Production*, 181, 293-308.

Raymahashay, B. ve Sharma, S., 1993, Decay of building stones: a mineralogical model for Konark Sun Temple, India, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 26 (2), 155-157.

Ricci, C., Miliani, C., Brunetti, B. G. ve Sgamellotti, A., 2006, Non-invasive identification of surface materials on marble artifacts with fiber optic mid-FTIR reflectance spectroscopy, *Talanta*, 69 (5), 1221-1226.

RILEM, 1980, Recommended test to measure the deterioration of stone and to asses the effectiveness of treatment methods, commission 25-PEM, *Material and Structures*, 13, 175-253.

Rirsch, E. ve Zhang, Z., 2010, Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties, *Construction and Building Materials*, 24 (10), 1815-1820.

Rivas, T., Pozo-Antonio, J., de Silanes, M. L., Ramil, A. ve López, A., 2018, Laser versus scalpel cleaning of crustose lichens on granite, *Applied Surface Science*, 440, 467-476.

Rivera-Gomez, C. ve Galàn-Marin, C., 2013, In situ assessment of structural timber elements of a historic building by moiture content analyses and ultrasonic velocity tests, *Int. J. Hous. Sci*, 37, 33-42.

Rodriguez-Navarro, C. ve Doehne, E., 1999, Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern, *Earth Surface Processes and Landforms*, 24 (3), 191-209.

Rodríguez-Rellán, C., 2016, Variability of the rebound hardness as a proxy for detecting the levels of continuity and isotropy in archaeological quartz, *Quaternary International*, 424, 191-211.

Rosa, J. P. M. d. l., Porcel, M. C. ve Warke, P. A., 2013, Mapping stone surface temperature fluctuations: Implications for lichen distribution and biomodification on historic stone surfaces, *Journal of Cultural Heritage*, 14 (4), 346-353.

Ruedrich, J., Kirchner, D. ve Siegesmund, S., 2011, Physical weathering of building stones induced by freeze–thaw action: a laboratory long-term study, *Environmental Earth Sciences*, 63 (7), 1573-1586.

Sandrolini, F. ve Franzoni, E., 2007, Repair Systems for the Restoration of Ancient Buildings-Dampness Rise Problem/Instandsetzungssysteme für das Restaurieren historischer Gebäude-Aufsteigende Feuchtigkeit, *Restoration of Buildings and Monuments*, 13 (3), 161-172.

Sanz, M., Oujja, M., Ascaso, C., de los Ríos, A., Pérez-Ortega, S., Souza-Egipsy, V., Wierzchos, J., Speranza, M., Cañamares, M. V. ve Castillejo, M., 2015, Infrared and ultraviolet laser removal of crustose lichens on dolomite heritage stone, *Applied Surface Science*, 346, 248-255.

Sanz, M., Oujja, M., Ascaso, C., Pérez-Ortega, S., Souza-Egipsy, V., Fort, R., de los Rios, A., Wierzchos, J., Cañamares, M. V. ve Castillejo, M., 2017, Influence of wavelength on the laser removal of lichens colonizing heritage stone, *Applied Surface Science*, 399, 758-768.

Scheerer, S., Ortega-Morales, O. ve Gaylarde, C., 2009, Chapter 5 Microbial Deterioration of Stone Monuments—An Updated Overview, In: Advances in Applied Microbiology, Eds: Academic Press, p. 97-139.

Siedel, H. ve Siegesmund, S., 2014, Characterization of Stone Deterioration on Buildings, In: Stone in Architecture: Properties, Durability, Eds: Siegesmund, S. ve Snethlage, R., *Berlin, Heidelberg*: Springer Berlin Heidelberg, p. 349-414.

Silva, B. A., Ferreira Pinto, A. P. ve Gomes, A., 2015, Natural hydraulic lime versus cement for blended lime mortars for restoration works, *Construction and Building Materials*, 94, 346-360.

Smith, B. J., Srinivasan, S., Gomez-Heras, M., Basheer, P. A. M. ve Viles, H. A., 2011, Near-surface temperature cycling of stone and its implications for scales of surface deterioration, *Geomorphology*, 130 (1), 76-82.

Snethlage, R., 2005, Leitfaden Steinkonservierung, *Fraunhofer IRB, Stuttgart*, 289.

Sousa, L., Siegesmund, S. ve Wedekind, W., 2018, Salt weathering in granitoids: an overview on the controlling factors, *Environmental Earth Sciences*, 77 (13), 502.

Sousa, L. M. O., Suárez del Río, L. M., Calleja, L., Ruiz de Argandoña, V. G. ve Rey, A. R., 2005, Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites, *Engineering Geology*, 77 (1), 153-168.

Soydan, O., 2016, Kültürel miras olarak Nahitiya Niğde, *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi* (54), 54-81.

Spodek, J. ve Rosina, E., 2009, Application of infrared thermography to historic building investigation, *Journal of Architectural Conservation*, 15 (1), 65-81.

Stockmann, U., Cattle, S. R., Minasny, B. ve McBratney, A. B., 2016, Utilizing portable X-ray fluorescence spectrometry for in-field investigation of pedogenesis, *CATENA*, 139, 220-231.

Streckeisen, A., 1967, Classification and nomenclature of volconic rock, lomprophyres, corbanatites and millitic rocks, *Geology*, 7, 331-335.

Stück, H., Siegesmund, S. ve Rüdrich, J., 2011, Weathering behaviour and construction suitability of dimension stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany), *Environmental Earth Sciences*, 63 (7), 1763-1786.

Svahn, H., 2006, Final report for the research and development project non-destructive field tests in stone conservation, literature study, *Riksantikvarieämbetet, Stockholm*, 63.

Tesser, E., Lazzarini, L. ve Bracci, S., 2018, Investigation on the chemical structure and ageing transformations of the cycloaliphatic epoxy resin EP2101 used as stone consolidant, *Journal of Cultural Heritage*, 31, 72-82.

Thornbush, M. ve Viles, H., 2004, Integrated digital photography and image processing for the quantification of colouration on soiled limestone surfaces in Oxford, England, *Journal of Cultural Heritage*, 5 (3), 285-290.

Tokgöz, S., 2008, Bahçeli Roma Havuzu ve Kemerhisar su kemerlerinin jeoarkeolojik incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, 96.

Török, Á., 2010, In situ methods of testing stone monuments and the application of nondestructive physical properties testing in masonry diagnosis, In: Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures, Eds: Springer, p. 177-193.

Török, Á. ve Přikryl, R., 2010, Current methods and future trends in testing, durability analyses and provenance studies of natural stones used in historical monuments, *Engineering Geology*, 115 (3), 139-142.

TS-2513, 1977, Doğal yapı taşları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS-EN-1925, 2000, Natural stone test methods determination of water absorption coefficient by capillarity. Turkish Standards Institution, Ankara.

TSE-699, 1987, Doğal yapı taşlarına uygulanan test yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü Yayınları, Ankara*, 82.

Turkington, A. V. ve Paradise, T. R., 2005, Sandstone weathering: a century of research and innovation, *Geomorphology*, 67 (1), 229-253.

Tülay, Ö., 2013, Niğde Gümüşler manastırı ve turizm potansiyeli, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23 (2).

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., 2001, Kaya mekaniği: laboratuvar deneyleri, no:58, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, p.

Vannini, A., Contardo, T., Paoli, L., Scattoni, M., Favero-Longo, S. E. ve Loppi, S., 2018, Application of commercial biocides to lichens: Does a physiological recovery occur over time?, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 129, 189-194.

Vařilová, Z., Přikryl, R. ve Cílek, V., 2011, Pravčice Rock Arch (Bohemian Switzerland National Park, Czech Republic) deterioration due to natural and anthropogenic weathering, *Environmental Earth Sciences*, 63 (7), 1861-1878.

Vasanelli, E., Sileo, M., Calia, A. ve Aiello, M. A., 2013, Non-destructive Techniques to Assess Mechanical and Physical Properties of Soft Calcarenitic Stones, *Procedia Chemistry*, 8, 35-44.

Vasanelli, E., Colangiuli, D., Calia, A., Sbartaï, Z.-M. ve Breysse, D., 2017, Combining non-invasive techniques for reliable prediction of soft stone strength in historic masonries, *Construction and Building Materials*, 146, 744-754.

Vasconcelos, G., Lourenço, P. B., Alves, C. ve Pamplona, J., 2007, Prediction of the mechanical properties of granites by ultrasonic pulse velocity and Schmidt hammer hardness.

Vázquez, M. A., Galán, E., Guerrero, M. A. ve Ortiz, P., 2011, Digital image processing of weathered stone caused by efflorescences: A tool for mapping and evaluation of stone decay, *Construction and Building Materials*, 25 (4), 1603-1611.

Vazquez-Calvo, C., de Buergo, M. A., Fort, R. ve Varas-Muriel, M. J., 2012, The measurement of surface roughness to determine the suitability of different methods for stone cleaning, *Journal of Geophysics and Engineering*, 9 (4), S108.

Viles, H., Goudie, A., Grab, S. ve Lalley, J., 2011, The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science: a comparative analysis, *Earth Surface Processes and Landforms*, 36 (3), 320-333.

Wedekind, W., Ruedrich, J. ve Siegesmund, S., 2011, Natural building stones of Mexico–Tenochtitlán: their use, weathering and rock properties at the Templo Mayor, Palace Heras Soto and the Metropolitan Cathedral, *Environmental Earth Sciences*, 63 (7), 1787-1798.

Yaldız, E., 2010, Climate effects on monumental buildings, *4 th International Scientific Conference on Water Observation and Information System for Decision Support (BALWOIS 2010), vol*, 1-10.

Yardım, B. ve Tuncoku, S., 2008, Dampness problems in a historic house in Izmir, Turkey, *International Journal of Architectural Heritage*, 3 (1), 1-23.

Yasar, E. ve Erdogan, Y., 2004, Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41 (5), 871-875.

Yavuz, A. B., Kaputoglu, S. A., Çolak, M. ve Tanyu, B. F., 2017, Durability assessments of rare green andesites widely used as building stones in Buca (Izmir), Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 76 (5), 211.

Yavuz, H., Altindag, R., Sarac, S., Ugur, I. ve Sengun, N., 2006, Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze–thaw and thermal shock weathering, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43 (5), 767-775.

Yavuz, H., 2011, Effect of freeze–thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite stone, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70 (2), 187-192.

Yıldız, D. E., 2013, Niğde ili Bor ilçesinin tarihi sosyo-kültürel ve ekonomik yapısı, Yüksek Lisans Tezi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, 525.

Yılmaz, F., 1999, Dünden Bugüne Niğde Tarihi, *Niğde Kültür kitabevi, Niğde*, p.

Zakar, L. ve Eyüpgiller, K. K., 2015, Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri, *Yapı Endüstri Merkezi Yayınları*, 193.

Zárraga, R., Cervantes, J., Salazar-Hernandez, C. ve Wheeler, G., 2010, Effect of the addition of hydroxyl-terminated polydimethylsiloxane to TEOS-based stone consolidants, *Journal of Cultural Heritage*, 11 (2), 138-144.

Zedef, V., Kocak, K., Doyen, A., Ozsen, H. ve Kekec, B., 2007, Effect of salt crystallization on stones of historical buildings and monuments, Konya, Central Turkey, *Building and Environment*, 42 (3), 1453-1457.

Zendri, E., Falchi, L., Izzo, F. C., Morabito, Z. M. ve Driussi, G., 2017, A review of common NDTs in the monitoring and preservation of historical architectural surfaces, *International Journal of Architectural Heritage*, 11 (7), 987-1004.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Mehmet Ergün HATIR
Uyruğu	**:**	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya, 05.08.1988
Telefon	**:**	
Faks	**:**	
e-mail	**:**	ergunhatir@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Selçuklu Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2006
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2011
Yüksek Lisans	:	Gazi Üniversitesi, Çankaya, Akara	2014
Doktora	:	Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2013-2013	Muş Alparslan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013-2014	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013-2014	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-2014	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-2018	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Restorasyon, taş yapı malzemesi, tahribatsız test teknikleri

YABANCI DİLLER

İngilizce (YDS: 65)

YAYINLAR

A. Makaleler

A1. SCI, SCI-Expanded, SSCI ve AHCI kapsamında taranan dergilerde yayımlanmış makaleler

1. Hatır Mehmet Ergün, Korkanç Mustafa, Başar Mehmet Emin (2018). Evaluating the deterioration effects of building stones using NDT: the Küçükköy Church, Cappadocia Region, central Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Doi **:** 10.1007/s10064-018-1339-x. (Doktora tezinden yapılmıştır).

2. İnce İsmail, Bozdağ Ali, Tosunlar Mehmet Bahadır, Hatır Mehmet Ergün, Korkanç Mustafa (2018). Determination of deterioration of the main facade of the Ferit

Paşa Cistern by non-destructive techniques (Konya, Turkey). Environmental Earth Sciences, 77(11), 1-10, Doi: 10.1007/s12665-018-7595-z.

3. Korkanç Mustafa, İnce İsmail, Hatır Mehmet Ergün, Tosunlar Mehmet Bahadır (2018). Historical Granaries at Taşkale (Turkey) Under Risk: A Geotechnical Analysis. Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 18(1), 149-162., Doi: 10.5281/zenodo.1161353.

A2. SCI, SCI-Expanded, SSCI ve AHCI dışındaki uluslararası indeksler tarafından taranan dergilerde yayımlanmış makaleler

1. Tosunlar Mehmet Bahadır, Hatır Mehmet Ergün, İnce İsmail, Bozdağ Ali, Korkanç Mustafa (2018). The determination of deteriorations on the Mısırlıoğlu Bridge (Konya, Turkey) by non-destructive techniques (NDT). International Journal of Architecture & Planning (ICONARP), 6(2), 399-412, DOI: 10.15320/ICONARP.2018.60

B. Uluslararası bildiriler

B1. Sempozyum, kongre ve konferanslarda sunulmuş ve bildiriler kitabında yayımlanmış bildiriler

1. Alkan Bala Havva, Hatır Mehmet Ergün, İnce Buse (2016) Bozkır'da kentsel kullanım kararlarının pazarlama değeri potansiyeli; Çarşamba Çayı çevre düzenlemesi. Uluslararası Sempozyum: Geçmişten Günümüze Bozkır, 1263-1293.

B2. Sempozyum, kongre ve konferanslarda sunulmuş ve özetler kitabında özet metin olarak yayımlanmış bildiriler

1. Hatır Mehmet Ergün, Başar Mehmet Emin, Korkanç Mustafa (2018). Documentation and destruction problems of Niğde Küçükköy Church. 3. Uluslararası Tarih ve Kültür Kongresi, 33-33. (Doktora tezinden yapılmıştır)

2. Hatır Mehmet Ergün, Urak Zehra Gediz (2018). Reconstruction proposal of three historical houses of late Ottoman period destroyed in the historical city center of Konya. 3. Uluslararası Tarih ve Kültür Kongresi, 39-39. (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır).

3. Hatır Mehmet Ergün, Korkanç Mustafa, Hüseyinca Mehmet Yavuz, Tosunlar Mehmet Bahadır, Bozdağ Ali, İnce İsmail (2018). Evaluation of Deteriorations Due to Air Pollution in Building Stones by non-Destructive Testings (NDT): Karatay Madrasa (Konya, Turkey). International Congress on Engineering and Life Science, 584-584.

4. Hatır Mehmet Ergün, Korkanç Mustafa, Tosunlar Mehmet Bahadır, Bozdağ Ali, İnce İsmail (2018). Determination of Deteriorations in the Portal of the İnce Minareli Madrasa. International Congress on Engineering and Life Science, 587-587.

5. İnce İsmail, Bozdağ Ali, Bozdağ Ayla, Tosunlar Mehmet Bahadır, Hatır Mehmet Ergün, Korkanç Mustafa (2018). Preliminary Studies in the Determination of

Deteriorations in Eflatunpınar Hitit Water Monument (Konya, Turkey) by Non-Destructive Tests. 20. World Academy of Science, Engineering and Technology Conference (WASET), 324-324.

6. Bozdağ Ali, İnce İsmail, Korkanç Mustafa, Tosunlar Mehmet Bahadır, Hatır Mehmet Ergün (2017). Determination of weathering in the Ferit Paşa Cistern (Konya, Turkey) by non-destructive tests. International Congress on Cultural Heritage and Tourism (ICCHT - 2017), 1127-1127.

C. Ulusal bildiriler

C1. Ulusal sempozyum, kongre ve konferansların bildiriler kitabında özet metin olarak yayımlanmış bildiriler

1. Korkanç Mustafa, Tosunlar Mehmet Bahadır, İnce İsmail, Hatır Mehmet Ergün (2018). Kireçtaşının Mühendislik Özellikleri Ve Sorunları: İvriz Kaya Anıtı. 71. Uluslararası Katılımlı Türkiye Jeoloji Kurultayı, 275-275.

2. Korkanç Mustafa, Hatır Mehmet Ergün, İnce İsmail, Tosunlar Mehmet Bahadır (2018). Fraktin Rölyefinin Bulunduğu Kayacın Mühendislik Özellikleri Ve Sorunları. 71. Uluslararası Katılımlı Türkiye Jeoloji Kurultayı, 277-277.