



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ TAŞ ANITLARDAKİ
BOZUNMALARIN TESPİTİNE VE
ÇÖZÜMLERİNE İLİŞKİN BİR MODEL
ÖNERİSİ: KARAMAN MADENŞEHİRİ
NEKROPOL ANITLARI ÖRNEĞİ**

Mehmet Bahadır TOSUNLAR

DOKTORA TEZİ

Nisan-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Bahadır Tosunlar tarafından hazırlanan “Tarihi Taş Anıtlardaki Bozunmaların Tespitine ve Çözümlerine İlişkin Bir Model Önerisi: Karaman Madenşehir Nekropol Anıtları Örneği” adlı tez çalışması 09/04/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmza****Başkan**

Prof. Dr. Mine ULUSOY

.....

Danışman

Doç. Dr. Arife Deniz OKTAÇ BEYCAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Bahtiyar EROĞLU

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi İlker Mete MİMİROĞLU

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ergün HATIR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

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 Bahadır TOSUNLAR

Tarih: 09.04.2021

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TARİHİ TAŞ ANITLARDAKİ BOZUNMALARIN TESPİTİNE VE ÇÖZÜMLERİNE İLİŞKİN BİR MODEL ÖNERİSİ: KARAMAN MADENŞEHİRİ NEKROPOL ANITLARI ÖRNEĞİ

Mehmet Bahadır TOSUNLAR

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

1. Danışman: Doç. Dr. Arife Deniz OKTAÇ BEYCAN

2. Danışman: Prof. Dr. Mustafa KORKANÇ

2021, 184 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Arife Deniz OKTAÇ BEYCAN

Prof. Dr. Mine ULUSOY

Dr. Öğr. Üyesi Bahtiyar EROĞLU

Dr. Öğr. Üyesi İlker Mete MİMİROĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ergün HATIR

Karaman il sınırları içerisinde bulunan Karadağ, diğer adıyla Binbirkilise, Hititler'den Doğu Roma İmparatorluğu'nun son dönemlerine kadar, önemli bir dini ve kültürel merkez olarak varlığını sürdürmüştür. Bölgede, bu dönemlere tarihlenen, birçok anıt bulunmaktadır. Bölge anıtları içerisinde; ait oldukları dönem, inşa sistemleri ve özgün formları ile iki mezar anıtı dikkat çekmektedir. Bu mezar anıtları, 2015 yılında Karaman Müzesi tarafından gerçekleştirilen arkeolojik kazılar ile tamamıyla ortaya çıkartılmışlardır. Arkeolojik kazılar sonrasında, bu mezar anıtlarında, bozunma problemleri görülmeye başlanmıştır. Anıtlarda gözlenen bozunma problemlerinin; atmosferik, biyolojik ve antropojenik kökenli oldukları belirlenmiştir. Bu anıtların, sürdürülebilir bir biçimde korunması ve gelecek nesillere aktarılması için, yapılarda ve yapı taşlarındaki bozunmalar ile bu bozunmalara neden olan mekanizmaların, doğru ve hassas bir biçimde teşhis edilmesi gerekmektedir. Bu teşhislerden sonra, bozunma mekanizmalarını durdurabilecek ve bozunmalara karşı çözüm oluşturabilecek, bir model önerisi geliştirmek mümkün olabilecektir. Bu amaçlarla; anıtların görsel ve mimari belgelemeleri yapılmış, anıtlarda gözlem yoluyla tespit edilen bozunmalar haritalandırılmış, anıtlardaki yapı taşlarının litolojik analizleri gerçekleştirilmiş, anıtların yapı taşları üzerinde NDT uygulamaları yapılmış ve anıtların yapı taşlarının elde edildiği antik taş ocağı bulunarak, buradan laboratuvar deneyleri için blok numuneler derlenmiştir. Derlenen numunelerden, laboratuvar çalışmaları ile yapılarda kullanılan kayacın karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Kayacın, laboratuvarda tespit edilen jeomekanik özellikleri ile sahada yapı taşları üzerinde gerçekleştirilen NDT uygulamalarından elde edilen veriler kıyaslanarak, yapı taşlarındaki bozunmalar belirlenmiştir. Anıtlarda, gözlem yoluyla tespit edilen ve haritalandırılan bozunmalar ve NDT uygulamaları ile tespit edilen bozunmalar karşılaştırılarak, yapı taşlarında bozunmaya neden olan faktörler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, mevsimsel olarak yapılan NDT ölçümleri ile de yapı taşlarında bozunmaya neden olan sıcaklık ve nem davranışları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda anıtlarda, en çok bozunma gösteren kesimlerin, arkeolojik kazılar ile topraktan kontrolsüzce çıkartılan ve yüzeylerinde beyaz kabuk bulunan yapı taşları ile üst örtüde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca; yapı özellikleri, yapı tahribatları, bakı ve mikroklimatik koşulların da, bozunma süreçleri üzerinde etkili oldukları görülmüştür. Bu çıkarımlar ışığında, anıtlarda gözlenen bozunmalara ve bozunma mekanizmalarına yönelik olarak; çevre iyileştirmesi, düzeltme, tamamlama, bütünleme, dolgu, enjeksiyon, drenaj ve temizlik müdahaleleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Andezit yapı taşı, Binbirkilise, bozunma, Karadağ, Karaman, tahribatsız test teknikleri (NDT), taş bozunması.

ABSTRACT**PhD THESIS****A MODEL SUGGESTION FOR DETERMINATION AND SOLUTIONS OF
DETERIORATION IN HISTORICAL STONE MONUMENTS: THE EXAMPLE
OF KARAMAN MADENŞEHİRİ NECROPOLIS MONUMENTS****Mehmet Bahadır TOSUNLAR****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY****THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ARCHITECTURE****1st Advisor: Assoc. Prof. Dr. Arife Deniz OKTAÇ BEYCAN****2nd Advisor: Prof. Dr. Mustafa KORKANÇ****2021, 184 Pages****Jury****Assoc. Prof. Dr. Arife Deniz OKTAÇ BEYCAN****Prof. Dr. Mine ULUSOY****Asst. Prof. Dr. Bahtiyar EROĞLU****Asst. Prof. Dr. İlker Mete MİMİROĞLU****Asst. Prof. Dr. Mehmet Ergün HATIR**

Karadağ, also known as Binbirkilise, which is located within the borders of the province of Karaman, had continued to exist as an important religious and cultural center, from the Hittites to the last periods of the Eastern Roman Empire. There are many monuments in the region that are dated to these periods. Among the region monuments; two tomb monuments are noteworthy for their period, construction systems and original forms. These tomb monuments were completely unearthed during the archaeological excavations carried out by the Karaman Museum in 2015. After archaeological excavations, deterioration problems started to appear in these tomb monuments. The deterioration problems observed in the monuments; It is determined that they have atmospheric, biological and anthropogenic origin. In order for these monuments to be sustainably protected and transferred to future generations, the deterioration in buildings and building stones and the mechanisms causing these deterioration must be accurately and precisely identified. After these diagnoses, it will be possible to develop a model proposal that will stop the deterioration mechanisms and create solutions against the deterioration. For these purposes; visual and architectural documentation of the monuments were made, the deterioration detected by observations in the monuments were mapped, lithological analysis of the building stones in the monuments were performed, NDT applications were made on the building stones of the monuments, and the ancient quarry where the building stones of the monuments were obtained was found and block samples were collected from there for laboratory experiments. From the collected samples, the characteristics of the rock used in the monuments were determined by laboratory studies. By comparing the geomechanical properties of the rock determined in the laboratory and data from NDT applications on building stones in the field, the deterioration of the building stones was determined. In the monuments, the deterioration detected and mapped by observation and the deterioration detected by NDT applications comparing, the factors causing the deterioration in the building stones were tried to be revealed. In addition, with seasonal NDT measurements, temperature and moisture behaviors that causing deterioration in the building stones were determined. As a result of the study, it has been determined that in the monuments, the sections showing the most deterioration are in the building stones that were uncontrollably uncovered from the soil by archaeological excavations and have the white crust on their surfaces, and are in the top cover of the monuments. In addition; building properties, building destructions, aspects and microclimatic conditions were also found to be effective on deterioration processes. In the light of these inferences, regarding the deterioration and deterioration mechanisms observed in the monuments; environmental improvement, stone correction, completion, integration, filling, injection, drainage and cleaning interventions have been proposed.

Keywords: Andesite building stone, Binbirkilise, deterioration, Karadağ, Karaman, non-destructive testing techniques (NDT), stone deterioration.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya konulmasında sayısız yardımları olan ve büyük emekleri geçen; Doç. Dr. Arife Deniz OKTAÇ BEYCAN, Prof. Dr. Mustafa KORKANÇ, Prof. Dr. Mine ULUSOY, Dr. Öğr. Üyesi İlker Mete MİMİROĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ergün HATIR, Dr. İsmail İNCE, Dr. Ali BOZDAĞ ve Ar. Gör. Mustafa TAŞÇI'ya,

Arkeolojik alanlarla ilgili bilimsel bir bakış açımın oluşmasını sağlayan; Prof. Dr. Ertekin DOKSANALTI, Prof. Dr. Zeynep Koçel ERDEM, Prof. Dr. Arzu ÖZTÜRK, Dr. Öğr. Üyesi Bahtiyar EROĞLU ve Öğr. Gör. İbrahim KARAOĞLAN'a,

Destek, görüş ve fikirleriyle beni yönlendiren; Restoratör Murat KARATAĞ, Öğr. Gör. Çetin ÇELEBİ, Restoratör-Mimar Emre SÖZEL ve Ressam Devrim Ömer ADA'ya,

Ve Değerli Aileme,

Sonsuz teşekkürlerimle.

Mehmet Bahadır TOSUNLAR

KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER TABLOSU	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın amacı	3
1.2. Çalışmanın kapsamı	5
1.3. Çalışmanın materyal ve yöntemi.....	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
2.1. Yapı Taşlarında Bozunma Sebepleri, Teşhis Yöntemleri ve Rehabilitasyon Uygulamaları	8
2.1.1. Yapı taşlarında bozunma sebepleri	8
2.1.2. Yapı taşlarındaki bozunmaların teşhis yöntemleri.....	14
2.1.3. Rehabilitasyon uygulamaları.....	20
2.2. Çalışma Bölgesi ve Konusu ile İlgili Gerçekleştirilmiş Çalışmalar	30
2.2.1. Çalışma bölgesi ile ilgili gerçekleştirilmiş çalışmalar	30
2.2.2. Çalışma konusu ile ilgili gerçekleştirilmiş önceki çalışmalar.....	40
3. MATERYAL	46
3.1. Bölge araştırmaları.....	46
3.1.1. Karaman ili fiziki konumu	46
3.1.2. Karadağ-Binbirkilise bölgesinin fiziki konumu.....	46
3.1.3. Madenşehir Köyü'nün fiziki konumu, nüfusu ve ekonomisi.....	47
3.1.4. Karaman bölgesinin iklim durumu	48
3.1.5. Karadağ bölgesinin jeolojisi.....	49
3.1.6. Karaman ve Karadağ bölgesinin tarihi.....	51
3.1.7. Karadağ bölgesindeki antik yerleşimler.....	61
3.1.8. Madenşehir'nde bulunan önemli anıtlar	61
3.1.9. Karadağ bölgesinde rastlanan mezar tipleri	62

4. YÖNTEM	63
4.1. Saha ve Büro Çalışmaları.....	63
4.1.1. Anıtların görsel ve mimari belgelemesi ile tanımı.....	63
4.1.2. Bozunmaların gözlem yoluyla analizi.....	73
4.1.3. Litolojik analiz	73
4.1.4. Tahribatsız test uygulamaları	74
4.1.5. Blok numune derleme çalışmaları.....	81
4.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	81
4.2.1. Numune hazırlama süreci.....	81
4.2.2. Laboratuvar deneyleri	83
4.3. Çözünebilir Bağlayıcılar ile Bütünleme Malzemesi Üretim Çalışmaları	93
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	98
5.1. Saha ve Büro Çalışmalarının Değerlendirilmesi.....	98
5.1.1. Anıtların görsel ve mimari belgelemesi ile tanımı değerlendirilmesi	98
5.1.2. Bozunmaların gözlem yoluyla analizi değerlendirilmesi.....	98
5.1.3. Litolojik analiz değerlendirilmesi	115
5.1.4. Tahribatsız test uygulamaları sonuçlarının değerlendirilmesi	116
5.2. Laboratuvar Çalışmaları Sonuçları	136
5.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneylerin sonuçları.....	136
5.2.2. Jeomekanik analizlerin sonuçları	136
5.2.3. Donma-çözülme deney sonuçları.....	138
5.2.4. Mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analiz sonuçları.....	138
5.3. Çözünebilir bağlayıcılar ile bütünleme malzemesi üretim çalışmaları sonuçları	141
6. SONUÇLAR VE REHABİLİTASYON ÖNERİLERİ.....	143
6.1. Sonuçlar	143
6.2. Rehabilitasyon önerileri	144
KAYNAKLAR	148

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1.1. M-1 ve M-2 mezar anıtları.	5
Şekil 3.1. Karaman ili konumu (Saygılı, 2020).	46
Şekil 3.2. Karadağ volkanizmasının konumu.	47
Şekil 3.3. Karadağ Volkanizması.	47
Şekil 3.4. Madenşehir Köyü'nün genel görünümü.	48
Şekil 3.5. Konya Çevresi Volkanik Yöresi (Sür, 1972).	49
Şekil 3.6. Orta Anadolu'daki Senozoyik yaşlı volkanitlerin dağılımı (Ercan, 1986).	50
Şekil 3.7. Karadağ jeoloji haritası (Gürsoy ve ark. (1998)'dan değiştirilerek alınmıştır).	51
Şekil 3.8. Eski Konya Gölü'nün sınırları (Tapur, 2009).	52
Şekil 3.9. Tarhuntassa Bölgesi içerisinde Karadağ'ın konumu (Bahar ve ark., 2007)...	53
Şekil 3.10. Barata'nın konumu (Calder ve Bean (1958)'dan değiştirilerek alınmıştır).	55
Şekil 3.11. Karadağ bölgesinin Roma İmparatorluğu döneminde dâhil olduğu idari bölümlenmeler (Bahar (2016)'dan tadilen alınmıştır).	56
Şekil 3.12. Léon de Laborde'nin 1826 yılında çizdiği gravürler (Marquis de Laborde, 1838).	57
Şekil 3.13. John Henry Haynes'in 1887 yılında çektiği fotoğraflar, a) 8 ve 13 No'lu kiliseler, b) 13 No'lu kilise, c) 32 ve 39 No'lu kiliseler, d) 10 No'lu kilise (Haynes, 2018).	59
Şekil 3.14. M-1 mezar anıtının 1967 yılındaki durumu (Konyalı, 1967).	60
Şekil 3.15. Karadağ-Binbirkilise bölgesinde bulunan antik yerleşimler ve konumları..	61
Şekil 3.16. Madenşehir'nde bulunan önemli anıtlar, a) 1 No'lu Bazilika, M.S. 5. yy., b) Exedra, M.S. 4-5. yy., c) 12 No'lu Şapel, erken Bizans dönemi, d) Anıt Mezarlar (Mausoleums), M.S. 2-5. yy.	62
Şekil 4.1. Anıtların görsel belgeleme ve çizim süreçleri; a) Agisoft Photoscan Pro programında oluşturulan ölçekli 3D nokta bulutu, b) Autodesk ReCap Photo programında oluşturulan ölçekli 3D model, c) CAD ortamında hazırlanan mimari plan, cephe ve kesit çizimleri.....	64
Şekil 4.2. a, b) M-1 mezar anıtının kazı öncesi (Kurt, 2011) ve sonrası durumu.....	64
Şekil 4.3. Anıt mezarların genel durumları; a) hava fotoğrafı, b) anıtların kuzeydoğu yönünden mevcut durumları, c) anıtların vaziyet planı.	65
Şekil 4.4. M-1 mezar anıtının ölçekli mimari çizimleri; a) çatı planı ve cepheler, b) iç plan ve kesitler.	66
Şekil 4.5. Anıt mezarın cephe ve iç mekân görünümleri ile detayları; a) kuzeydoğu cephesi, b) kuzeybatı cephesi, c) güneybatı cephesi, d) güneydoğu cephesi, e) "Tenon" adı verilen çıkıntılar, f) stilize bitkisel figürlerle süslenmiş ayaklar, g) üst yapı sistemi, h) güneybatı cephesindeki eksik bloklar ile köşelerde yer alan kaideler, i) mezarın giriş kapısı, j) kuzeydoğu duvarı, k) kuzeybatı duvarı, l) güneybatı duvarı, m) güneydoğu duvarı, n) toprak dolgu zemin, o) taş konsollar ve bindirme tavan.	68
Şekil 4.6. M-2 mezar anıtının ölçekli mimari çizimi.....	70
Şekil 4.7. M-2 mezar anıtı; a) kuzeydoğu cephesi, b) kuzeybatı cephesi, c) güneybatı cephesi, d) güneydoğu cephesi, e) profilli blok dizisi, f) tenon adı verilen çıkıntılar, g) kaide, h) kireçtaşı lahit parçası, i) harç kümeleri, j) kurşun-metal kenetler.	71
Şekil 4.8. a) IR termometre, b) yapı taşlarında yüzey sıcaklığı ölçüm testi.	76
Şekil 4.9. a) yüzey nem ölçer, b) yapı taşlarında yüzey nem ölçüm testi.....	77
Şekil 4.10. a) Schmidt çekici, b) yapı taşlarında Schmidt çekici sertlik testi.....	79
Şekil 4.11. a) P-Dalgası geçiş hızı (Vp) ölçüm cihazı, b) yapı taşlarında P-Dalgası geçiş hızı (Vp) testi.	80
Şekil 4.12. a, b) Madenşehir Köyü'nün kuzeyinde bulunan antik taş ocakları.	81

Şekil 4.13. Numunelerin hazırlanma süreçleri; a) araziden derlenen blok kayaçlar, b) ham silindirik karot örnekleri, c) boyu, çapının (54,7 mm) 2.0-2.5 katı olacak biçimde ölçülen karotların dairesel kesme makinesi ile kesilmesi, d) fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler ve jeomekanik deneyler için hazır hale getirilmiş silindirik karot örnekleri.	82
Şekil 4.14. Jeokimyasal analizler için numune hazırlama süreçleri; a) öğütülen malzemenin elek ile elenmesi, b) kabuk materyalin bisturi ile alınması.	83
Şekil 4.15. Kapiler su emme (kapilarite) deney süreci; a) silindirik numunelerin su içerisinde bekletildiği kap ve ızgara, b) temsil numunesinin 4320. dakikadaki durumu.	87
Şekil 4.16. Vp ölçüm deneyi.	89
Şekil 4.17. Türkiye'nin donma-çözülme şiddet döngüsü isoline haritası ve Karadağ'ın konumu (Binal (2009)'dan değiştirilerek alınmıştır).	91
Şekil 4.18. Temsil numunelerinin parçalanma süreci; a) kırma, b) çeneli kırıcıda ufaltma, c) çeneli kırıcı ve ufaltılan malzemenin bulunduğu hazne, d) elde edilen malzeme.	95
Şekil 4.19. Granül malzemenin elenmesi; a) elekler, b) eleme, c) farklı elek çap aralıklarındaki agregalar, d) numune kalıp sistemi.	96
Şekil 4.20. Hidrolik kireç esaslı bütünleme malzemesi döküm numuneleri.	97
Şekil 4.21. Primal AC-33 esaslı bütünleme malzemesi döküm numuneleri.	97
Şekil 5.1. M-1 anıtının dış cephelerinde gözlenen bozunmalar.	99
Şekil 5.2. M-1 anıtının iç çeperlerinde gözlenen bozunmalar.	100
Şekil 5.3. M-2 anıtının dış cephelerinde gözlenen bozunmalar.	101
Şekil 5.4. M-1 anıtında gözlenen atmosferik kökenli bozunmalar; a) topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, b) üst örtüye yakın yerlerde dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, c) kapiler ve süzülme zonları, d, e) yapı taşlarının, uzun yıllardan bu yana, toprak altında kalması nedeniyle, yüzeylerinde oluşan beyaz kabuk, f, g) tuz kristalleşmesi (efflorescence), h, i) pul pul dökülme (flaking), j, k, l) tabaka halinde dökülme (scaling), m) pahlanma (erosion-rounding), n, o) çatlaklar (fracture), p, r) parçalanma (crumbling).	102
Şekil 5.5. M-2 anıtında gözlenen atmosferik kökenli bozunmalar; a) topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, b) üst kesimde dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, c) yapı taşlarının, uzun yıllardan bu yana, toprak altında kalması nedeniyle, yüzeylerinde oluşan beyaz kabuk, d, e, f) yapı taşı yüzeylerindeki tuz kristalleşmesi (efflorescence), g, h) pul pul dökülme (flaking), i, j) tabaka halinde dökülme (scaling), k) çatlaklar (fracture), l) parçalanma (crumbling).	107
Şekil 5.6. Mezar anıtlarında gözlenen biyolojik kökenli bozunmalar; a) podyum kesimindeki tek yıllık otsu bitki oluşumları, b) üst örtüdeki yosunlar ve likenler, c) üst örtüdeki tek yıllık otsu bitkiler, d) ağaççıklar, e) kama etkisi, f) M-2 anıtındaki yosun oluşumları.	109
Şekil 5.7. M-1 yapısındaki antropojenik kökenli bozunmalar; a, b) haç biçimli dini figürler, c) kırılmış basamaklar, d) basamakta malzeme kaybı, e) yapı taşlarının derz ve köşelerindeki kırılmalar, f) kurşun izleri, g) üst örtü detaylarındaki kırılmalar, h) strüktür içerisine ve mezar odasına yağış kaynaklı su girişi, i) üst örtü kesimindeki blok eksilmeleri, j) üst örtü kesimindeki blok kırılmaları, k) mezar odasına giren yağış etkisi, l, m) mezar odası duvarlarındaki yapı taşlarında görülen bozunmalar, n) trapez biçimli konsoldaki malzeme kaybı, o) kaçak kazılar sonucunda oluşmuş çukur.	112
Şekil 5.8. M-2 yapısındaki antropojenik kökenli bozunmalar; a, b) yapı taşlarının köşeleri ve derzlerindeki kırılmalar, c) kuzeydoğu cephesindeki eksik bloklar, d) kuzeybatı cephesindeki eksik bloklar, e) güneybatı cephesindeki eksik bloklar.	114

Şekil 5.9. Anıtlarda kullanılan (P) kayacı.....	115
Şekil 5.10. M-1 anıtının güneydoğu cephesindeki korniş bloğunda gözlenen çatlak. .	115
Şekil 5.11. Karaman bölgesi yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verilerine bağlı ayrışma grafiği (Fookes ve ark. (1971)'a göre hazırlanmıştır).....	116
Şekil 5.12. M-1 anıtının ST değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.....	118
Şekil 5.13. Üst örtünün kuzeybatı ve güneybatı yönleri arasındaki biyolojik kolonizasyon gelişim farkı.....	119
Şekil 5.14. M-1 anıtının SM değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.....	121
Şekil 5.15. Üst örtü bloklarında gözlenen süzülme zonu.	122
Şekil 5.16. Mezar odası iç çeperlerinin ST değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.	124
Şekil 5.17. Mezar odası iç çeperlerinin SM değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.	125
Şekil 5.18. M-2 anıtı kış dönemi ST değer haritası.	127
Şekil 5.19. M-2 anıtı yaz dönemi ST değer haritası.	128
Şekil 5.20. M-2 anıtı kış dönemi SM değer haritası.	128
Şekil 5.21. M-2 anıtı yaz dönemi SM değer haritası.	129
Şekil 5.22. M-1 anıtının yapı taşları üzerinde gerçekleştirilen NDT uygulamaları değer haritaları; a) SHR haritası, b) Vp haritası.	131
Şekil 5.23. Mezar odası iç çeperlerinin NDT uygulamaları değer haritaları; a) SHR haritası, b) Vp haritası.....	133
Şekil 5.24. M-2 anıtının SHR değer haritası.	135
Şekil 5.25. M-2 anıtının Vp değer haritası.	135
Şekil 5.26. (P) kayacının makro ve mikro ölçekte fotoğrafları; a) makro görünüm; b, c) ince kesit görüntüleri (Pl: plajioklas, Vk: volkanik cam, Pl Mk: plajioklas mikrolitleri, Hb: hornblend, Px: klinopiroksen) (çift nikol).	138
Şekil 5.27. (P) kayacının XRD pikleri (Ab: albit, Aug: augit, Bio: biyotit, Dio: diopsit, Hb: hornblend, SiO ₂ : quartz).	140
Şekil 5.28. (P) kayacının Toplam Alkaliye Karşı Silis (TAS) diyagramındaki yeri (Le Bas ve ark., 1986).	140
Şekil 5.29. Beyaz kabuğun XRD pikleri.	141
Şekil 6.1. Mezar anıtları için önerilen drenaj sistemi ve çevre düzenlemesi planı.....	145
Şekil 6.2. Beyaz kabuk katmanının yapı taşı yüzeylerinden temizleme uygulaması	146

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. 1951–2018 dönemi Karaman meteoroloji istasyonu kayıtları (MGM, 2019).	48
Çizelge 4.1. Kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk deneyi eşitlikleri ve birimleri.	84
Çizelge 4.2. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi eşitlikleri ve birimleri.	85
Çizelge 4.3. Porozite deneyi eşitlikleri ve birimleri.	86
Çizelge 4.4. Kapiler su emme (kapilarite) deneyi eşitlikleri ve birimleri.	88
Çizelge 4.5. Vp deneyi eşitlikleri ve birimleri.	89
Çizelge 4.6. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi eşitlikleri ve birimleri.	90
Çizelge 4.7. Donma-çözülme deneyi eşitlikleri ve birimleri.	92
Çizelge 4.8. Hidrolik kireç esaslı bütünleme malzemesi içerikleri.	97
Çizelge 4.9. Primal AC-33 esaslı bütünleme malzemesi içerikleri.	97
Çizelge 5.1. M-1 anıtında, gömülmemiş ve kazı sonrasında ortaya çıkartılmış (beyaz kabuk bulunan) yapı yüzeylerindeki atmosferik kökenli bozunma oranları.	103
Çizelge 5.2. M-1 anıtında cephelere göre atmosferik kökenli bozunma oranları.	104
Çizelge 5.3. Kesitlere göre atmosferik kökenli bozunma oranları.	105
Çizelge 5.4. M-2 anıtında cephelere göre atmosferik kökenli bozunma oranları.	107
Çizelge 5.5. M-1 anıtında gömülmemiş ve kazı sonrasında ortaya çıkartılmış (beyaz kabuk bulunan) yapı yüzeylerindeki biyolojik kökenli bozunma oranları.	110
Çizelge 5.6. Cephelere göre biyolojik kökenli bozunma oranları.	110
Çizelge 5.7. Kesitlere göre biyolojik kökenli bozunma oranları.	111
Çizelge 5.8. M-2 anıtında biyolojik kökenli bozunma oranları.	111
Çizelge 5.9. M-1 anıtında gömülmemiş ve kazı sonrasında ortaya çıkartılmış yapı yüzeylerindeki antropojenik kökenli bozunma oranları.	113
Çizelge 5.10. M-1 anıtında, kazı hattı üzerindeki ve altındaki yapı taşlarında, mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.	117
Çizelge 5.11. M-1 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.	119
Çizelge 5.12. M-1 anıtında, kazı hattı üzerindeki ve altındaki yapı taşlarında, mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.	120
Çizelge 5.13. M-1 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.	122
Çizelge 5.14. M-1 anıtının kesit çeperlerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.	123
Çizelge 5.15. M-1 anıtının kesit çeperlerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.	123
Çizelge 5.16. M-2 anıtının yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.	126
Çizelge 5.17. M-2 anıtının yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.	126
Çizelge 5.18. M-1 anıtında, kazı hattı üzerindeki ve altındaki yapı taşlarında ölçülen SHR ve Vp değerleri.	130
Çizelge 5.19. M-1 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında ölçülen SHR ve Vp değerleri.	132
Çizelge 5.20. M-1 anıtının kesit çeperlerindeki yapı taşlarında ölçülen SHR ve Vp değerleri.	132
Çizelge 5.21. M-2 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında ölçülen, SHR ve Vp değerleri.	134
Çizelge 5.22. (P) kayacının SHR değeri.	136
Çizelge 5.23. SHR değer sınıflandırması (De Beer, 1967).	137
Çizelge 5.24. (P) kayacının Vp değeri (m/s).	137

Çizelge 5.25. Ultrasonik hız değeri sınıflandırması (NBG, 1985).	137
Çizelge 5.26. Tek eksenli basınç dayanımı sınıflandırması (ISRM, 1979).	137
Çizelge 5.27. (P) kayacının donma-çözülme deneyi sonuçları.	138
Çizelge 5.28. (P) kayacı içerisindeki elementler ve oranları (ppm).	139
Çizelge 5.29. Beyaz kabuk içerisindeki elementler ve oranları (ppm).	139
Çizelge 5.30. (P) kayacı içerisindeki bileşikler ve oranları (%).	139
Çizelge 5.31. Beyaz kabuk içerisindeki bileşikler ve oranları (%).	140
Çizelge 5.32. Hidrolik kireç esaslı dolgu ve enjeksiyon malzemesinin, farklı agrega çap aralıklarına göre özellikleri.	142
Çizelge 5.33. Primal AC-33 esaslı bütünleme malzemesinin, farklı agrega çap aralıklarına göre özellikleri.	142



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Silindirik karot örneğinin yüzey alanı	m ²
A _{DC}	: Donma-çözülme deneyi öncesi kuru ağırlık	gr
A _w	: Ağırlıkça su emme	%
B _{DC}	: Donma-çözülme deneyi sonrası kuru ağırlık	gr
C	: Kapiler Su Emme değeri	gr/m ² .s ^{0.5}
D	: Silindirik karot örneğinin çapı	mm
D _{CK}	: Donma-çözülme deneyi sonrası ağırlık kaybı	%
e	: Boşluk oranı	%
H _w	: Hacimce su emme	%
L	: Silindirik karot örneğinin boyu	mm
M	: Kütle değeri	gr
M _k	: Kuru kütle	gr
M _s	: Suyu doygun kütle	gr
n	: Porozite	%
P	: Örneğin kırılma anındaki yük değeri	kN
T _p	: P-Dalgasının geçiş süresi	μs
T _i	: Örneğin su emme ölçüm süreleri	s
V	: Silindirik karot örneğinin hacmi	cm ³
V _v	: Örnek içindeki boşlukların hacmi	cm ³
V _p	: P-Dalgasının geçiş hızı	m/s
ρ	: Yoğunluk	gr/cm ³
ρ _k	: Kuru yoğunluk	gr/cm ³
ρ _w	: Suyun yoğunluğu	gr/cm ³
γ _k	: Kuru birim hacim ağırlığı	kN/cm ³
σ _c	: Tek eksenli basınç dayanımı	MPa
σ _{c(50)}	: 50 mm çapındaki karot yüzeyine eşdeğer σ _c	MPa

Kısaltmalar

Hb	: Hornblend
IR	: Kızılötesi radyasyon
IRT	: Kızılötesi radyasyon termometresi
LOI	: Kızdırma kaybı
NDT	: Tahribatsız test teknikleri
NX	: 54,7 mm çapında karotiyer ile alınan silindirik örnek
Pl	: Plajioklas
Pl Mk	: Plajioklas mikrolitleri
Px	: Klinopiroksen
R ²	: Eğilim-regresyon
SHR	: Schmidt çekici sekme değeri
SM	: Yüzey nemi
ST	: Yüzey sıcaklığı
TAS	: Toplam Alkaliye Karşı Silis
XRD	: X Işını Kırınımı
XRF	: X Işını Floresan Spektroskopisi
Vk	: Volkanik cam
Vp	: P-Dalgasının geçiş hızı
YEBİM	: Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
µm	: Mikron

1. GİRİŞ

Arkeolojik alanlarda gerçekleştirilen kazılar, insanlığın sahip olduğu kültürel mirasın keşif alanlarıdır. Kazılarla ortaya çıkartılan kalıntılar, arkeolojik bulguların yanında, yapı taşlarındaki farklı bozunma süreçlerinin de keşfine olanak vermektedir. Dayanıklı oldukları düşünülmeyle birlikte, her kayaç bozunmaktadır (Korkanç ve Savran, 2010; Steiger ve ark., 2014). Bozunma; jeolojik ve çevresel faktörlerin etkisiyle kayaçlarda meydana gelen; fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişim süreçleri olarak tanımlanmaktadır (Selby, 1993; ANON, 1995; Esaki ve Jiang, 1999; Smith ve ark., 2008; Hall ve ark., 2012; Moses ve ark., 2014). Bozunma, kayaçların fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Dearman, 1975; Esaki ve Jiang, 1999; Siegesmund ve ark., 2002; Topal ve Sözmen, 2003; Akin, 2010; Hall ve ark., 2012; Heidari ve ark., 2017a; Heidari ve ark., 2017b).

Yapı taşlarında bozunma, kayacın ocaktan çıkartıldığı andan itibaren başlamakta (Luque ve ark., 2011; Küçükkaya, 2014; Korkanç ve Savran, 2015) ve kayacın bir yapıda kullanılması ile beraber artmaktadır (Siegesmund ve ark., 2002). Bu bozunmalar neticesinde, arkeolojik anıtlarda, geri dönüşü olmayan kayıplar meydana gelmekte ve insanlığın ortak değeri olan bu kalıntılar yok olmaktadır. Bu yok oluşun önüne geçmek için, arkeolojik alanlardaki bozunmalar ile bozunmaya neden olan mekanizmaların, doğru bir biçimde teşhis edilmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, teşhis sürecinde yaşanan en büyük zorluk, koruma gereksinimleri nedeniyle, bu alanlardaki her yapı taşından örnek alınamamasıdır. Elde edilen sınırlı sayıdaki örneğin ise, tüm alanı ya da anıtı temsil etmesi zordur (Hatır ve ark., 2018). Son yıllarda, mühendisliğin farklı alanlarında geliştirilen tahribatsız test (NDT) teknolojileri ile bu engel aşmaya başlanmıştır. Tahribatsız test (NDT) teknikleri ile yapı taşlarındaki bozunmalar ve bozunmaya neden olan faktörler, yapı taşlarına zarar vermeden, sadece temas yoluyla, güvenilir bir biçimde tespit edilebilmektedir.

Ayrıca bu teknikler, laboratuvar bulguları ile saha verilerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır (Christaras, 1996; Binda ve ark., 2001; Weiss ve ark., 2002; Török, 2003; Mitchell ve ark., 2005; Vasconcelos ve ark., 2007; Binda ve Saisi, 2009; Anzani ve ark., 2010; Fort ve ark., 2011; Viles ve ark., 2011; El-Gohary, 2013; Fort ve ark., 2013; Rivera-Gomez ve Galán-Marin, 2013; Cuccuru ve ark., 2014; Delgado Rodrigues, 2015; Cuccuru, 2017; Fais ve ark., 2017; Fais ve ark., 2018; Hatır ve ark.,

2018; Tosunlar ve ark., 2018; Theodoridou ve Török, 2019; Tosunlar ve ark., 2020). Bu olanaklar, arkeolojik alanlardaki anıtlara yönelik koruma önerilerinin, yapı taşı ölçeğine değin inen bir duyarlılıkta yapılabilmesine imkân vermektedir.

Karaman il sınırları içerisinde bulunan Karadağ, diğer adıyla Binbirkilise, Hititler'den Doğu Roma İmparatorluğu'nun son dönemlerine kadar, önemli bir dini ve kültürel merkez olarak varlığını sürdürmüştür (Ramsay ve Bell, 1909; Garstang, 1944; Eyice, 1971; Kurt, 2011; 2013; Turgut, 2013; Eyice, 2014; Turgut, 2015). Bölgede, bu dönemlere tarihlenen, birçok anıt bulunmaktadır. Bölgeye yönelik araştırmalar, 19. yy.'ın başlarına değin uzanmaktaysa da (Marquis de Laborde, 1838; Davis, 1879; Ramsay, 1890; Strzygowski, 1903; Ramsay ve Bell, 1909; Konyalı, 1967; Eyice, 1971; Texier, 2002; Hamilton, 2013; Eyice, 2014; Haynes, 2018), bilimsel ve sistematik kazılar, henüz çok sınırlı bir kesimde yapılmıştır.

Bölge anıtları içerisinde; ait oldukları dönem, inşa sistemleri ve özgün formları ile iki mezar anıtı dikkat çekmektedir. Bu mezar anıtları, 2015 yılında Karaman Müzesi tarafından gerçekleştirilen arkeolojik kazılar ile tamamıyla ortaya çıkartılmışlardır (Yıldız, 2016). Arkeolojik kazılar sonrasında, bu mezar anıtlarında, bozunma problemleri görülmeye başlanmıştır. Anıtlarda gözlenen bozunma problemlerinin; atmosferik, biyolojik ve antropojenik kökenli oldukları belirlenmiştir.

Bu anıtların, sürdürülebilir bir biçimde korunması ve gelecek nesillere aktarılması için, yapılarda ve yapı taşlarındaki bozunmalar ile bu bozunmalara neden olan mekanizmaların, doğru ve hassas bir biçimde teşhis edilmesi gerekmektedir. Bu teşhislerden sonra, bozunma mekanizmalarını durdurabilecek ve bozunmalara karşı çözüm oluşturabilecek, bir model önerisi geliştirmek mümkün olabilecektir.

Bu amaçlarla; anıtların görsel ve mimari belgeleri yapılmış, anıtlarda gözlem yoluyla tespit edilen bozunmalar haritalandırılmış, anıtlardaki yapı taşlarının litolojik analizleri gerçekleştirilmiş, anıtların yapı taşları üzerinde NDT uygulamaları yapılmış ve anıtların yapı taşlarının elde edildiği antik taş ocağı bulunarak, buradan laboratuvar deneyleri için blok numuneler derlenmiştir.

Derlenen numunelerden, laboratuvar çalışmaları ile yapılarda kullanılan kayacın karakteristik özellikleri belirlenmiştir.

Kayacın, laboratuvarda tespit edilen jeomekanik özellikleri ile sahada yapı taşları üzerinde gerçekleştirilen NDT uygulamalarından elde edilen veriler kıyaslanarak, yapı taşlarındaki bozunmalar belirlenmiştir.

Anıtlarda, gözlem yoluyla tespit edilen ve haritalandırılan bozunmalar ve NDT uygulamaları ile tespit edilen bozunmalar karşılaştırılarak, yapı taşlarında bozunmaya neden olan faktörler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, mevsimsel olarak yapılan NDT ölçümleri ile de yapı taşlarında bozunmaya neden olan sıcaklık ve nem davranışları tespit edilmiştir.

Bu çalışmalardan sonra, anıtlarda gözlenen bozunmalara ve bozunma mekanizmalarına yönelik çeşitli ölçeklerde müdahale önerileri geliştirilmiştir.

1.1. Çalışmanın amacı

Arkeolojik alanlardaki bozunma mekanizmaları, hem kazılar sonrasında ortaya çıkartılan taşlarda, hem de yüzeyde kalan taşlarda farklılıklar göstermektedir (Cronyn ve Robinson, 1990; Kaplan ve ark., 2013; Al-Omari ve ark., 2018; El-Gohary ve Redwan, 2018).

Toprağa gömülü olan taşlarda bozunma; kayaca bağlı etmenler (kayaç tipi ve bileşimi), iklime bağlı etmenler ve toprağa bağlı etmenler (toprak tipi ile toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, toprak horizonu ve gömülme derinliği, farklı tabakalardaki toprak sıcaklığı, toprağın parçacık büyüklüğü, topraktaki organik maddeler, toprakta çözünmüş karbon dioksit ve oksijen, çözülebilir tuzlar, asitlik ve alkalilik (pH), redoks potansiyeli, topraktaki su ve suyun durumu ile sudaki oksijen miktarı, hidroloji, bitki örtüsü, erozyon, topraktaki organizmalar, toprak yükü vb.) tarafından biçimlendirilmektedir (Cronyn ve Robinson, 1990; Curran ve ark., 2002; Thorn ve ark., 2002; Gauthier ve Burke, 2011; Kaplan ve ark., 2013; Kibblewhite ve ark., 2015; Kibblewhite, 2015).

Toprağın altındaki malzemeler, eğer hala mevcutlarsa, bunun nedeni, çevre etmenlerle malzemelerin, bir denge durumuna ulaşmış olmasıdır (Cronyn ve Robinson, 1990). Kazılar sonrasında ortaya çıkartılan yapı taşları, denge içerisinde bulundukları ortamdan, yeni bir ortama geçiş yapmakta, bu ortamda ise birçok bozunma faktörünün etkisi altında kalmaktadırlar (El-Gohary ve Redwan, 2018). Bu durum, taşların korunma koşullarını bozmakta, pasif durumda bulunan bozunma faktörlerini aktive edebilmekte ve yeni bozunma etmenlerini sürece dâhil edebilmektedir (Cronyn ve Robinson, 1990).

Yüzeyde kalan yapı taşlarında ise bozunma; atmosferik, biyolojik ve antropojenik kökenli faktörlere bağlı olarak gelişmektedir.

Atmosferik etkiler; donma-çözülme (Ondrasina ve ark., 2002; Siegesmund ve ark., 2002; Steindlberger, 2004; Fener ve Ince, 2015; Freire-Lista ve ark., 2015; Gökçe ve ark., 2016), termal etkiler (Paradise, 2000; Gómez-Heras ve ark., 2006; Bonazza ve ark., 2009; Yavuz ve ark., 2010; Korkanç, 2013; Freire-Lista ve ark., 2016; Wang ve ark., 2016), ıslanma-kuruma (Bell, 1993; Hall ve Hall, 1996; Matsukura ve Takahashi, 2000; Huggett, 2011; Goudie, 2016; Zhou ve ark., 2017; Zhao ve ark., 2018) ve tuz kristalizasyonu (Camuffo, 1995; Benavente ve ark., 1999; Benavente ve ark., 2001; Pope ve ark., 2002; Benavente ve ark., 2007; Ulusoy, 2007; Zedef ve ark., 2007; Doehne ve Price, 2010; Bozdağ, 2013; Korkanç, 2013; Özşen ve ark., 2017) olarak sıralanabilir.

Biyolojik etkiler; bakteriler, algler, mantarlar, likenler, bitkiler ve ağaç oluşumlarının, yapı taşlarında, fiziksel ve kimyasal olarak bozunmalara neden olmalarıdır (Warscheid, 2000; Warscheid ve Braams, 2000; Pope ve ark., 2002; Gaylarde ve Gaylarde, 2005; Lee ve Yi, 2007; Cutler ve Viles, 2010; Doehne ve Price, 2010; Korkanç ve Savran, 2010; Huggett, 2011; Cutler ve ark., 2013; Korkanç ve Savran, 2015; Goudie, 2016; Gaylarde ve ark., 2018).

Antropojenik etkiler; yapı taşlarına mekanik müdahaleler sonucunda oluşan tahribatlar ile doğrudan insan temas biçimleri sonucunda oluşan aşınmalardır (Ahunbay, 1996; Ashurst ve Dimes, 1998; Paradise, 2000; Pope ve ark., 2002; Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

Literatürde bulunan az sayıdaki çalışmada, kazılar sonrasında ortaya çıkartılan taşlardaki bozunmalar ile yüzeyde kalan taşlardaki bozunmalar, laboratuvar deneyleri ile kıyaslamalı olarak irdelenmiştir (Curran ve ark., 2002; Thorn ve ark., 2002; Warke ve ark., 2010; Kaplan ve ark., 2013; El-Gohary ve Redwan, 2018).

Bununla birlikte, literatür içerisinde, kültürel miras niteliğindeki anıtlarda, kazılar sonrasında ortaya çıkartılan yapı taşlarındaki bozunmalar ile yüzeyde kalan yapı taşlarındaki bozunmaların, hem laboratuvar deneyleri, hem de tahribatsız testlerle (NDT) tespit edilerek, birbirleriyle kıyaslandığı bir çalışma bulunmamaktadır.

Çalışma, literatürdeki bu eksiklikten yola çıkarak, kazılar sonrasında ortaya çıkartılan yapı taşlarında, bozunmaların ve bozunma mekanizmalarının teşhisine

yönelik bir sistematik inşa etmeyi hedeflemektedir. Bu sistematik üzerine de, mezar anıtlarındaki bozunmaları ve bozunma mekanizmalarını durdurabilecek ve bozunmalara karşı çözüm oluşturabilecek, bir model önerisi geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın, bölgede mevcut bulunan diğer anıtlara yönelik; kazı, koruma ve restorasyon uygulamaları için de bir altlık oluşturacağı düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın kapsamı

Karadağ, Karaman ili sınırları içerisinde. Bölge, Binbirkilise olarak da adlandırılmaktadır. Bölgedeki antik kalıntıların yoğunlaştığı merkezlerden en önemlisi, Madenşehir Köyü'dür. Köy içerisinde birçok anıt bulunmaktadır. Köyde, Karaman Müze Müdürlüğü tarafından, 2015 yılında yapılan arkeolojik kazılar sonucunda iki adet mezar anıtı ortaya çıkartılmıştır.

Bu anıtlar, Roma mezar mimarisinin Orta Anadolu'da rastlanan eşsiz örnekleri arasında sayılmaktadır. M-1 adı verilen anıt, podyumlu zemini ve piramidal çatı özellikleri ile neredeyse tümüyle ayakta kalmış eşsiz bir yapıdır. M-1 anıtının hemen bitişiğinde bulunan ve M-2 adı verilen anıt ise, üst yapısı tamamen tahrip edilmiş olmasına karşın, plan özelliklerini koruyabilmiş nadir bir yapıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. M-1 ve M-2 mezar anıtları.

Ait oldukları dönem, inşa sistemleri ve özgün formları ile dikkat çeken bu iki mezar anıtı, toprak altından çıkartıldıkları dönemden günümüze değin geçen kısa zamanda, çok hızlı bir bozunma sürecine maruz kalmıştır.

Tarihi, arkeolojik, mimari ve kültürel değeri çok yüksek olan bu anıtlar, karşılaştıkları bozunma problemleri nedeniyle, tez kapsamına alınarak incelenmişlerdir.

Yapılan incelemelerin, hiçbir bozunma sürecini atlamaması için, her yapı taşı özelinde değişen; bozunma durumlarının, derecelerinin ve bozunma mekanizmalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmanın kapsamında, NDT uygulamaları bir ağırlık kazanmıştır. NDT uygulamaları ile beraber; saha gözlemleri, taş ocağı araştırmaları ve laboratuvar çalışmaları da, kapsam içerisinde ele alınan diğer önemli bileşenler olmuştur.

1.3. Çalışmanın materyal ve yöntemi

Mezar anıtlarına yönelik sürdürülebilir bir koruma modeli geliştirilebilmesi amacıyla, 2016-2020 yılları arasında; “Bölge Araştırmaları”, “Saha ve Büro Çalışmaları” ile “Laboratuvar Çalışmaları” ana başlıkları altında üç aşamalı bir çalışma süreci takip edilmiştir.

Bölge araştırmaları ile Karadağ (Binbirkilise) bölgesinin; fiziki konumu, nüfusu ve ekonomisi, bölgenin iklim durumu, bölge jeolojisi, bölge tarihi, bölgedeki antik yerleşimler, önemli anıtlar ve bölgede rastlanan mezar tipleri bilimsel literatür içerisinde taranmıştır.

Saha ve büro çalışmalarında ilk olarak, anıtların görsel ve mimari belgelenmeleri yapılmıştır. Görsel ve mimari belgelenmede, klasik yapı ölçüm teknikleri ve dijital fotogrametri yazılımları birlikte kullanılarak, anıtların planar düzlem, dış ve iç cephelerinin mevcut durumları belgelenmiş, CAD ortamında da mimari plan, cephe ve kesit çizimleri hazırlanmıştır.

Anıtlardaki bozunma tipleri ve bozunmuş alanlar; yerinde inceleme ve dijital fotogrametri yazılımları yardımıyla mimari çizimler üzerine haritalandırılmıştır.

Anıtlardaki yapı taşlarının litolojik analizleri, yapı taşı ölçeğinde jeolojik gözlemlerle gerçekleştirilmiştir.

Yapı taşları üzerindeki NDT uygulamaları; jeomekanik özelliklerin belirlenmesine yönelik SHR ve Vp ölçümleri ile ana bozunma etmenleri olan ST ve SM ölçümlerinden oluşmaktadır.

Anıtların yapı taşlarının elde edildiği, antik taş ocağını bulmak amacı ile arazide jeolojik gözlemler yapılmıştır. Gözlemler sonucunda, taş ocağının, Madenşehir Köyü’nün kuzeyinde olduğu belirlenmiştir. Belirlenen taş ocağından, laboratuvar deneyleri için blok numuneler derlenmiştir.

Derlenen numunelere yönelik laboratuvar çalışmaları; fiziksel özelliklerin belirlenmesi, jeomekanik analizler, donma-çözülme deneyleri, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analizler kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik olarak; kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite ve kapiler su emme (kapilarite) deneyleri yapılmıştır. Jeomekanik analizler kapsamında; SHR, Vp ve tek eksenli basınç dayanımı testleri numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme döngülerinin, yapı taşlarında meydana getirdiği tahribatı anlayabilmek için numunelere donma-çözülme testleri yapılmıştır.

Kayacın; mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerini tespit etmek amacı ile yapılan analizler; ince kesit incelemesi, XRF ve XRD işlemlerini kapsamaktadır.

Laboratuvarda, numuneler üzerinden elde edilen SHR ve Vp test sonuçları ile sahada anıtların yapı taşlarından elde edilen SHR ve Vp verileri kıyaslanarak, yapı taşlarındaki bozunmalar belirlenmiştir. Anıtların yapı taşlarından elde edilen SHR ve Vp verileri ayrıca, renk tonları ve renk değer paletleri ile birlikte işlenerek NDT haritaları oluşturulmuştur.

Anıtlarda, gözlem yoluyla tespit edilen bozunma tipleri ve bozunmuş alan haritaları ile SHR ve Vp haritaları karşılaştırılarak, yapı taşlarında bozunmaya neden olan faktörler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, kış ve yaz dönemlerinde yapılan ST ve SM ölçümleri haritalandırılarak, yapı taşlarında bozunmaya neden olan sıcaklık ve nem davranışları tespit edilmiştir.

Bu çalışmalardan sonra, anıtlarda gözlenen bozunmaların rehabilitasyonuna yönelik bütünleme malzemesi önerileri geliştirilmiştir.

Geliştirilen bütünleme malzemelerinin, anıtlarda mevcut bulunan yapı taşları ile uyum durumlarının tespit edilmesi amacıyla, fiziksel özelliklerin belirlenmesi deneyleri ve jeomekanik analizler yapılmıştır. Deney sonuçları kıyaslanarak, yapı taşlarına optimum uyum sağlayan bütünleme malzemeleri seçilmiştir.

Atmosferik, biyolojik ve antropojenik faktörlere bağlı bozunmalara yönelik önlemler ve rehabilitasyon önerileri, her ölçekte geliştirilerek, anıtların sürdürülebilir bir biçimde korunması ve gelecek nesillere aktarılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yapı Taşlarında Bozunma Sebepleri, Teşhis Yöntemleri ve Rehabilitasyon Uygulamaları

Çalışmanın bu bölümünde; yapı taşlarının bozunmasına sebep olan etmenler araştırılmış, bozunmaların teşhisine ilişkin yöntemler irdelenmiş ve meydana gelen bozunmaların rehabilitasyonuna ilişkin yaklaşımlar ve uygulamalar ele alınmıştır.

2.1.1. Yapı taşlarında bozunma sebepleri

Taş, binlerce yıldır kullanılan temel ve önemli bir yapı malzemesidir. Taş kullanılarak üretilen sanat eserleri ve inşa edilen mimari, binlerce yıllık kültürel mirasımızın önemli bir kesimini temsil etmektedir (Scheerer ve ark., 2009; Cutler ve Viles, 2010; Fitzner, 2014). Taş, en dayanıklı inşa malzemelerinden birisi olarak düşünülmekle birlikte, gerçekte bozunmaya yatkın bir malzemedir (Steiger ve ark., 2014).

Yapı taşlarındaki bozunma, eski çağlardan bu yana, yapılı çevre ile ilgili tarihçilerin ve mimarların dikkatini çeken bir husus olmuştur. Tarihçi Herodot, daha Antikçağ'da, piramitlerin yapı taşlarındaki bozunmaları tuz varlığına bağlamış (Herodotos, 1973), Romalı mimar Vitruvius ise yumuşak kayaçlardaki bozunmaları, tuz etkisi ile beraber atmosferik faktörlerle de ilişkilendirmiştir (Vitruvius, 1990). Günümüzde yapılan bilimsel çalışmalar, Herodot ve Vitruvius'un görüşlerini fazlasıyla doğrulamakta, bozunma olgusunu, onlarca hatta yüzlerce faktör ile birlikte ele almaktadır.

Yapı taşlarının bozunması; kayaç bozunmasının jeolojik süreci ile yakından ilişkili olup, bozunma neredeyse tamamen yer yüzeyinin üzerinde meydana gelmektedir (Winkler, 1966). Doğal ortamlarda olağan biçimde gelişen bozunma süreçleri; kayaçların ocaklardan çıkartılıp yapılarda kullanılmasıyla birlikte çeşitlenmekte ve artmaktadır (Siegesmund ve ark., 2002).

Yapı taşlarında bozunma, içsel ve dışsal kaynaklı faktörler tarafından biçimlendirilmektedir (Benito ve ark., 1993; El-Gohary, 2017). İçsel faktörler; bileşim, yapı, doku, porozite, parçacık büyüklüğü ve mineralojik kompozisyon olarak sıralanabilir (Rosado ve ark., 2016; Korkanç, 2018). Dışsal faktörler; atmosferik etkiler, iklim, çevresel koşullar, anıttaki taşların pozisyonu, cephe yönlenmesi gibi olgulardır

(Ulusoy, 2007; Herrera ve Videla, 2009; Al-Omari ve ark., 2015; Hatır ve ark., 2018; Medini ve Arbi, 2018). Bu faktörlerin etkisiyle, yapı taşlarında bozunmalar meydana gelmektedir. Bozunma, hem fiziksel hem de kimyasal yönleri içeren bir süreçtir (Esaki ve Jiang, 1999).

Fiziksel bozunma, kayaçların mekanik olarak kırılması ve ayrışmasıdır (Selby, 1993; Esaki ve Jiang, 1999; Topal ve Sözmén, 2003; Ulusoy, 2007). Fiziksel bozunma etmenleri büyük oranda atmosferik kökenlidir. Donma-çözülme (Fener ve Ince, 2015), termal döngülerle oluşan genleşme-büzülme (Gómez-Heras ve ark., 2006; Smith ve ark., 2008; Bonazza ve ark., 2009), ıslanma-kuruma (Zhao ve ark., 2018), higrik ve hidrik şişme (Demarco ve ark., 2007; Steiger ve ark., 2014) ve tuz kristali büyümesi (Ulusoy, 2007) başta gelen atmosferik kökenli bozunma etmenleridir. Atmosferik etmenler, bir döngüde önemli bir tahribat oluşturmamakla birlikte, uzun süreler boyunca günlük olarak tekrarlandıkları zaman, yıkıcı etkiler ortaya çıkarabilmektedir (Al-Omari ve ark., 2018).

Kayaçalarda fiziksel bozunma süreçleri ile beraber, kimyasal ayrışma süreçleri de meydana gelmektedir. Kimyasal ayrışma; hidroliz, oksidasyon ve asit çözünümü gibi mineral alterasyon süreçlerinden kaynaklanan kaya bozunmasıdır (Ulusoy, 2007). Daha geniş anlamıyla kimyasal ayrışma; kayaç bünyesindeki mineraller ile su, oksijen ve karbondioksit arasındaki kimyasal reaksiyon sürecidir (Esaki ve Jiang, 1999; Siegesmund ve ark., 2002). Çözünmüş CO_2 , SO_2 , SO_3 ve Cl kimyasal ayrışmada en etkili maddelerdir (Winkler, 1966).

Yapı taşlarında, hem fiziksel hem de kimyasal açılardan bozunmaya sebep olan bir diğer unsur, biyolojik aktivitelerdir. Bakteriler, algler, mantarlar, likenler ve bitkiler, kayaların fiziksel ve kimyasal olarak parçalanmasına, doğrudan veya dolaylı olarak katkıda bulunmaktadırlar (Cutler ve Viles, 2010; Korkanç ve Savran, 2015; Gaylarde ve ark., 2018).

Antropojenik etkiler, yapı taşlarında, doğrudan ya da dolaylı yönlerden, fiziksel ve kimyasal bozunmalar oluşturmaktadır (Paradise, 2000; Pope ve ark., 2002). Antropojenik bozunma, taşın ocaktan çıkartılıp işlenme süreci ile beraber başlayabilmektedir. Yapı taşları, oyulurken ya da biçim verilirken, kendi orijinal dokularını kaybedebilmekte ve bünyesinde yeni çatlaklar oluşabilmektedir (Fener ve Ince, 2015). Bu durum, çatlaklara giren suyun, donma-çözülme döngüleri ile taşı

parçalamasına veya tuz kristali büyümesi yoluyla taşı ayrıştırmasına sebep olabilmektedir.

2.1.1.1. Atmosferik faktörler

Gerek doğal konumlarında bulunsun, gerekse yapılarda yer alsın, tüm taş yüzeyleri, açık havaya maruz kaldıkları andan itibaren, çeşitli ayrışma süreçlerine maruz kalmakta (Korkanç ve Savran, 2015) ve atmosferik etkiler nedeniyle, kısmen veya tamamen bozunmaktadırlar (Fener ve Ince, 2015).

Donma-çözülme döngüleri, yapı taşlarında bozunmaya sebep olan atmosferik faktörlerin başında gelmektedir. Kapilarite (kılcallık) yoluyla, yapı taşı içerisine giren su, hava sıcaklığı 0°C altına düştüğünde, gözeneklerde ve küçük çatlaklarda donarak hacimce genleşmekte ve bir basınç oluşturmaktadır (Giesen ve ark., 2014; Fener ve Ince, 2015). Bu basınç neticesinde, yapı taşlarında ayrışmalar meydana gelmektedir. Yapı taşı bünyesinde bulunan suyun oranı arttıkça, donma-çözülme faktörüne bağlı bozunma etkileri de artmaktadır.

Atmosfer nemi, yapı taşları üzerinde etkili, çevresel bir faktördür. Tüm gözenekli malzemeler, atmosferden su buharını emerek genişlemektedirler (Steiger ve ark., 2014). Bu davranışa, “Higrik genleşme” adı verilmektedir. Higrik genleşme, havadaki bağıl nem (RH) oranına bağlıdır (Ruedrich ve ark., 2011; Siegesmund ve Dürrast, 2014).

Neme bağlı bir diğer malzeme davranışı, hidrik genleşmedir. Hidrik genleşme, yapı taşlarının doğrudan su ile teması sonucunda meydana gelmektedir (Siegesmund ve Dürrast, 2014). Hidrik genleşmenin yapı taşlarını etkileme derecesi, higrik genleşmeye göre çok daha yüksektir (Steindlberger, 2004; Ruedrich ve ark., 2011; Siegesmund ve Dürrast, 2014).

Suya bağlı genleşme ve büzölmeler, özellikle kil içeren kayaçlarda etkindirler. Kil içeren kayaçlar, ıslandığında şişmeye, kurduğunda ise büzölmeye eğilimlidirler (Demarco ve ark., 2007; Mottershead, 2013). Kil içermeyen kayaçlarda, “Disjoining pressure” ya da “Ayrışma basıncı” adı verilen mekanizma, şişmeye neden olan bir başka etmendir (Ruedrich ve ark., 2011; Steiger ve ark., 2014). Higrik ve hidrik kökenli genleşme ve büzölmeler sonucunda, yapı taşlarında, hacim ve boyut değişimleri olmaktadır (Siegesmund ve Dürrast, 2014). Bu hacim ve boyut değişimleri, uzun

döngüler sonunda, yapı taşlarında, yıpranmaya bağlı bozunmalar meydana getirmektedir.

Islanma-kuruma döngüleri, yapı taşlarında doyma katsayılarının artmasına, gözeneklerin ve mikro çatlakların boyutlarının büyümesine neden olmaktadır (Nicholson, 2001; Bland ve Rolls, 2016). Porozitenin artışı, kayaçların bozunma derecelerinin artışı ile doğrudan ilişkilidir (Tamura ve Suzuki, 1984; Esaki ve Jiang, 1999). Ayrıca, ıslanma-kuruma döngüleri, kayaçların bünyesindeki minerallerin bağlanma mukavemetlerini de azaltmaktadır (Hall ve Hall, 1996).

Atmosferik etkilere bağlı, diğer bir önemli bozunma biçimi, tuz bozunmasıdır. Tuz bozunması, kayaçların ayrışmasında etkin bir rol oynamaktadır (Benavente ve ark., 2001; Mottershead, 2013; Ludovico-Marques ve Chastre, 2016; Sun ve Zhang, 2019). Anıtlara tuzun ulaşımında, yeraltı suyunun kılcal etki ile yükselmesi (kapiler etki) ve yağmur suyunun sızması (süzülme) önemli rol oynamaktadır (Menéndez, 2016). Zemine yakın yapı taşlarında, tuzlu su çözeltisi, kapilarite ile taşlara ilerlemektedir (Benavente ve ark., 2001). Buharlaşıma ile beraber, yapı taşlarının boşluklarındaki ve çatlaklarındaki tuzlar kristallenmektedir. Kristalleşme sonucunda ortaya çıkan basınç, gözenek genişlemesine ve gözeneklerin birbiri ile birleşmesine neden olmaktadır (Benavente ve ark., 1999). Kayaçlar, tuzların bu zararlı etkilerine bağlı olarak, kütlelerini kaybetmekte ve görünür yüzey bozunmaları meydana gelmektedir (Zedef ve ark., 2007; Dakal ve Cameotra, 2012).

Termal döngüler ile meydana gelen stres, yapı taşlarında bozunmaya neden olan bir başka önemli atmosferik faktördür. Termal döngüler, yapı taşlarının bünyesinde bulunan mineral tanecikleri ile yüzey ve yüzey altı katmanlarının, farklı oranlarda genleşme ve büzölmelerine sebep olmaktadır (Bonazza ve ark., 2009). Taş bünyesindeki mineraller, farklı genleşme davranışları sebebiyle granüler olarak ayrışmaktadır (Gómez-Heras ve ark., 2006). Yüzeye yakın tabakaların, iç kesimlere göre daha hızlı genleşmesi ise kırılmalara ve iç kesimden kopmalara neden olmaktadır (Smith ve ark., 2008).

Rüzgârlar, yapı taşlarını etkileyen, bir başka atmosferik kökenli bozunma faktörüdür (El-Gohary ve Al-Shorman, 2010). Rüzgârlar, yapı taşlarında ayrışmaya sebep olmamakla birlikte; gevşemiş-bozuşmuş taş malzemenin erozyonuna, eriyik tuzlu

suların buharlaşmasına ve tuzların kayaçlara taşınmasına katkıda bulunmaktadır (Heinrichs, 2008).

Dolu tipi yağışlar, yapı taşlarında fiziksel bozunmalara sebep olmaktadır. Su, kayaçların mukavemetini düşürmektedir (Deere ve Miller, 1966; Demarco ve ark., 2007). Yapı taşları, doygun durumdayken gerçekleşen dolu tipi yağışlar, oluşturdıkları darbeler yoluyla, yüzey bozunmaları meydana getirmektedirler.

Anıtların bulunduğu bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak, bu atmosferik bozunma etmenleri, tekil ya da kompleks biçimlerle, yapı taşlarına etki edebilmektedirler (El-Gohary ve Al-Shorman, 2010; Viles, 2013; Heidari ve ark., 2017b).

2.1.1.2. Biyolojik faktörler

Biyolojik bozunma; canlı organizmaların hayati faaliyetlerinden kaynaklanan ve bir malzemede istenmeyen fiziksel, kimyasal, mekanik ve estetik değişikliklerle sebep olan, bu yolla da tarihi anıtlara ve sanat eserlerine zarar veren, jeofiziksel ve jeokimyasal bir süreç olarak tanımlanabilir (Kumar ve Kumar, 1999; Cutler ve Viles, 2010; Dakal ve Cameotra, 2012; Korkanç ve Savran, 2015).

Biyolojik bozunma; taş ve yaşayan organizmaların, etkileşim yüzeyindeki fiziksel ve kimyasal süreçlerinin bir kombinasyonudur (Siegesmund ve Török, 2014). Biyolojik bozunma; biyolojik aktivitenin, taş yapısının fiziksel olarak bozunmasına doğrudan doğruya katkıda bulunduğu meydana gelmektedir (Cutler ve Viles, 2010).

Mantarlar, yosunlar, siyanobakteriler ve foto sentetik olmayan bakterilerin yanı sıra, likenler gibi serbest yaşayan mikroorganizmalar, taş yüzeylerindeki temel biyolojik bozunma ajanlarıdır (Warscheid, 2000; Sanz ve ark., 2017). Likenlerin ve diğer litobiyotik mikroorganizmaların ürettikleri organik bileşikler ve birikim yapıları, karmaşık bir biyofilm tabakası oluşturmaktadır (Ascaso ve ark., 2002). Bu biyofilm tabakası, taş yüzeyindeki hareketsiz mikrobiyal hücrelerden oluşmaktadır (Warscheid ve Braams, 2000).

Yapı taşları üzerindeki biyofilm tabakası, çeşitli açılardan kayaçlara zarar vermektedir. Bu zararlardan en göze çarpanı, renk değişiklikleridir (Warscheid ve Braams, 2000; Küçükkaya, 2014). Renk değişiklikleri, yapı taşlarının termal davranışlarını değiştirebilmektedir (Garty, 1990). Ayrıca biyofilm tabakası, malzemenin

mekanik özelliklerini, yüzey emiciliğini ve suya direncini de etkilemektedir (Warscheid, 2000).

Biyolojik oluşumların geneli, yapı taşları yüzeylerinde farklı ölçeklerde tahribatlara neden olmaktadır (Caneva ve ark., 1991; Küçükkaya, 2014). Bozunmaya sebep olan biyolojik oluşumlar içerisinde, likenler özel bir yere sahiptirler. Likenler, taş yüzeylerinde kolonileşmekle beraber, aynı zamanda taş bünyesindeki mineraller ile de etkileşerek, fiziksel ve kimyasal değişimlere sebep olmaktadır (Rivas ve ark., 2018).

Likenler, kayalara mekanik hasarı, “Hyphae” adı verilen kök kısımlarının taşın gözeneklerine ve çatlaklarına girmesi ile “Thallus” adı verilen gövde kısımlarının da nem değişimleri ile genişleme-büzülme yapması ile vermektedirler (Rivas ve ark., 2018). Likenler, kayalara kimyasal hasarı, ürettikleri taşları çözebilen asitlerle (lekanorik asit, jiroforik asit, psoromik asit, stiktik asit, oksalik asit, karbonik asit vb.) vermektedirler (DeCruz ve ark., 2009; Siegesmund ve Török, 2014; Steiger ve ark., 2014; Rivas ve ark., 2018). Likenler ayrıca, taş yüzeylerinde, ince toprak tabakaları oluşturarak, daha yüksek bitkilerin gelişimine olanak sağlamaktadırlar (Küçükkaya, 2014).

Yüksek bitkiler olan çalılar ve ağaçlar, kök büyümeleri ile kayalara nüfuz etme ve çatlatma gücüne sahiptirler (Bakkevig, 2004). Yüksek bitkiler, köklerinin salgıladığı asitler ile yapı taşlarının kimyasal bakımdan bozunmasına yol açarken, bu köklerin büyümesi ile ortaya çıkan kuvvetler, yapı taşları üzerinde baskı uygulayarak, blokları hareket ettirebilmekte ya da kama etkisi (wedge effect) oluşturarak yapı taşlarında çatlaklara sebep olabilmektedirler (Siegesmund ve Török, 2014; Steiger ve ark., 2014; Korkanç ve Savran, 2015).

2.1.1.3. Antropojenik faktörler

Kültürel mirasımızın önemli bir bölümü, bazısı doğal, bazısı ise insan etkileri tarafından oluşturulmuş ciddi bozunma etmenleri altındadır (Pope ve ark., 2002). Yapı taşlarında bozunmalara sebep olan antropojenik (insan kökenli) etmenler; hatalı tasarım, yanlış ya da kötü kullanım, yanlış onarımlar, bakımsızlık, terk, hava kirliliği, yangın, savaş ve vandalizm olarak sıralanabilir (Erder, 1975; Ahunbay, 1996; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). İnsana bağlı bozunma faktörleri, büyük ölçekli mekanik müdahaleler yanında, doğrudan insan temas biçimleri (dokunma, yaslanma, sürtünme, yürüme, turizm faaliyetleri, kapalı mekânlarda nem oluşumunu arttırma vb.) ile de taşların bozunmasını hızlandırmaktadır (Ashurst ve Dimes, 1998; Paradise, 2000; Pope ve ark.,

2002; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). İnsan etkileri sebebiyle, tahrip olan yapı taşlarının, mühendislik özellikleri niceliksel açıdan azalacağından, bozunma hızları da artacaktır (Korkanç, 2018; Hatır, 2019).

Bozunma süreçlerinde drenaj koşulları önemli bir yerel faktördür (Curran ve ark., 2002). Anıtların ilk yapıldıkları zamanlardaki, orijinal drenaj sistemlerinin (çatılar, oluklar, kanallar, kuyular vb.) insanlar tarafından tahrip edilmesi, yapılarda ve yapı taşlarında nem sorununu ortaya çıkartmaktadır. Nem sorunu ise fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma süreçlerini hızlandırmaktadır.

2.1.2. Yapı taşlarındaki bozunmaların teşhis yöntemleri

Tarihi anıtlardaki yapı taşı bozunmalarının teşhis edilmesi, çeşitli zorluklar ve kısıtlamalar içeren bir konudur. Teşhislerdeki en büyük zorluk, koruma gereksinimleri nedeniyle, her yapı taşından örnek alınamamasıdır. Alınan kısıtlı sayıdaki numune, bozunma durumlarının ve derecelerinin tespiti için yetersiz olmakta, ayrıca yapı taşlarını etkileyen bozunma faktörlerinin belirlenmesi için de gerekli verileri sunamamaktadır. Tahribatsız test (NDT) teknikleri; yapı taşlarındaki bozunma durumlarını, strüktür içerisinde mukayeseler yoluyla ya da ocaktan çıkartılan bozunmamış örneklerin, yapıda kullanılan kayaçlarla karşılaştırılması aracılığıyla, tespit edebilmeye olanak vermektedir. NDT teknikleri ile ayrıca, bozunmaya neden olan atmosferik ve çevresel faktörler de tespit edilebilmektedir.

Bozunma durumlarının, derecelerinin ve bozunma faktörlerinin tespitine yönelik, birçok NDT tekniği bulunmaktadır. Tespit edilecek bozunma durumu, derecesi veya faktörüne duyarlılık, uygun NDT tekniğinin seçimi için son derece önemlidir. Ayrıca, tek bir NDT tekniğinin kullanımı, gerekli verilerin elde edilmesi için yetersiz olup, tekniklerin melez olarak kullanılması önerilmektedir (Livingston, 1999; Binda ve ark., 2004; Svahn, 2006; Binda ve Saisi, 2009; Lim ve Cao, 2013; Menéndez, 2016; Fais ve ark., 2017; Fais ve ark., 2018; Korkanç ve ark., 2018; Török, 2018).

NDT teknikleri, farklı alanlarda tespit olanakları sağlamaktadır. Bu tespit olanakları; “Fiziksel Özellikler” ile “Kimyasal ve Mineralojik Özelliklerin Belirlenmesi” ve “Bozunmaya Neden Olan Çevresel Faktörlerin Gözlem ve Teşhisleri” üst başlıklarında incelenmektedir. Bu çalışmada, anıt mezarların, yapı taşlarındaki fiziksel bozunmalar ve bozunma faktörleri incelendiğinden dolayı, “Kimyasal ve Mineralojik Özelliklerin Belirlenmesi”ne yönelik NDT tekniklerine değinilmemiştir.

Yapı taşlarının, “Fiziksel Özellikleri”nin belirlenmesinde kullanılan teknikler, yüzey ve yüzey altı bozunmalarının tespitine yönelik olanlar biçiminde, iki grupta toplanmaktadır.

Yapı taşı yüzeylerinin, “Fiziksel Özellikleri”nin tespitinde kullanılan NDT tekniklerinden ilki, gözlem ve belgelemedir. Her anıt özelinde, bozunma problemlerini doğru bir biçimde tanımlayabilmek için, dikkatli gözlemler ve analizlere dayalı, kapsamlı bir durum araştırması yapmak gerekmektedir (Charola, 2017). Haritalandırma, mevcut durum araştırmaları ve koruma çalışmaları için önemli bir araçtır (Lu ve Pan, 2011).

Anıt haritalandırma; taş yüzeylerindeki bozunma formlarının dağılımını, yoğunluğunu ve türünü, kesin ve tekrarlanabilir olarak tanımlama ve değerlendirme imkânı veren bir metottur (Fitzner ve ark., 2003). Haritalandırmada, iki harita tipi bulunmakta olup, bu tipler, kayaç türlerine göre litolojik haritalar ve bozunma formu haritalarıdır (Fitzner ve Heinrichs, 2002). Haritalandırma işlemine, kayaç türlerinin ve bozunma formlarının fotoğraf dokümantasyonu (bozunma atlası) eşlik eder (Fitzner ve Heinrichs, 2002). Taş anıtlardaki bozunma formları, bozunma süreçlerinin görünür sonuçlarını temsil etmektedir (Fitzner, 2014). Bozunma formlarının, kayıt altına alınarak değerlendirilmesi, yapı taşlarını etkileyen bozunma faktörlerini ve bozunma süreçlerini, doğru olarak anlayabilmeyi sağlamaktadır.

Yüzey bozunmalarının, nicel ve nitel olarak tespitine yönelik teknikler, yüzey sertliğinin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır.

Yüzey sertliği ölçümünde kullanılan, en yaygın teknik, Schmidt çekici ile yüzey sertliği ölçümüdür. Schmidt çekici, Ernst Schmidt tarafından geliştirilmiştir (Katz ve ark., 2000; Hannachi ve Guetteche, 2014; Török, 2018). Bu test cihazına bağlı teknikler, 1960’lı yıllardan itibaren, jeomorfolojik bağlamda kullanılmaya başlanmıştır (Saptono ve ark., 2013; Moses ve ark., 2014). Schmidt çekici ile kayaçların sertlik durumları sınıflandırılabilen (De Beer, 1967; ISRM, 1979), tek eksenli basınç dayanımları tahmin edilebilmekte (Yılmaz ve Sendir, 2002; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Aydın ve Basu, 2005) ve bozunma durumları tespit edilebilmektedir (İrfan ve Dearman, 1978; Török, 2003; Koca ve ark., 2006; Török, 2006; Viles ve ark., 2011; Menéndez, 2016; Török, 2018).

Yüzey sertliği ölçümünde yararlanılan, diğer bir teknik, duroskop kullanımıdır. Duroskep başlangıçta, metallerin sertliklerinin ölçümü için geliştirilmiş olup, daha sonraki zamanlarda, kayaç testleri için de kullanılmıştır (Török, 2018). Cihaz, yüzeye çarpıp geri dönen, küçük bir sivri kütlenin, sekme değerine göre, küçük yüzey dayanım değişikliklerini ölçmektedir (Török, 2003; 2010; Török, 2018). Bu teknik, düşük mukavemetli yüzeylerde kullanılabilir (Menéndez, 2016). Duroskep ile yapı taşlarındaki yüzey sertlik değişimleri ve bozunmalar ölçülebilmektedir (Török, 2003; 2008; 2010; Menéndez, 2016; Török, 2018).

Kayaç yüzeylerinin, mekanik özelliklerinin belirlenmesinde faydalanılan, bir başka teknik, Equotip kullanımıdır (Menéndez, 2016). Cihaz, yüzeye sabit bir enerji ile fırlatılan bilyenin, sekme hızını hesaplayarak, bunu bir sertlik değerine dönüştürür (Coombes ve ark., 2013; Menéndez, 2016). Teknik, yumuşak materyaller için uygundur (Moses ve ark., 2014). Teknik ile yüzey sertliklerindeki değişimler ve bozunmalar ölçülebilmektedir (Matsui ve ark., 2014; Moses ve ark., 2014; Wedekind ve ark., 2014; Menéndez, 2016).

Pürüzlülük, kayaçların temel fiziksel özellikleri arasındadır. Genel olarak, yüzey pürüzlülüğü arttıkça, malzemelerin spesifik yüzeyleri de artmakta ve malzemeler, çevresel bozunma ajanlarına daha fazla maruz kalmaktadırlar (Vazquez-Calvo ve ark., 2012). Yapı taşlarının pürüzlü yüzeylerinde; biyolojik aktivite katmanları oluşmakta, su, daha uzun süre taş yüzeyinde kalmakta ve güneş ışınlarının emilim değerleri dolayısıyla, yüzey sıcaklığı değişmektedir (Korkanç ve Savran, 2015). Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü, yüzey bozunmalarına ilişkin kantitatif veriler sağlamaktadır (Snethlage ve Sterflinger, 2011). Sahada, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, farklı duyarlılık ölçeklerindeki profilometreler ile yapılabilen (Moses ve ark., 2014; Korkanç ve Savran, 2015), ayrıca optik mikroskop incelemeleri ile de gerçekleştirilebilmektedir (Vazquez-Calvo ve ark., 2012).

Yapı taşları, atmosferik ve çevresel etkiler nedeniyle, orijinal renklerini kaybetmektedirler (Fort ve ark., 2000; Grossi ve ark., 2015; Freire-Lista ve ark., 2016; Sun ve Zhang, 2019). Ayrıca, yapı taşları üzerine uygulanan temizlik müdahalelerinde, taşın renginin değişimi söz konusudur (Pérez-Monserrat ve ark., 2011; Vazquez-Calvo ve ark., 2012). Ek olarak, yapı taşlarına uygulanan yüzey koruyucu ve sağlamlaştırıcı maddelerin, meydana getirdiği renk değişimlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Akoğlu, 2011). Bu gereksinimler dolayısıyla, laboratuvar ve sahada, spektrometre ölçümleri

yapılmaktadır. Bu teknik sayesinde; karotların hızlı bozunma testlerinde kaybetmiş oldukları renkler, örneklerde sağlamlaştırıcı ve koruyucu malzeme uygulamaları ile oluşan farklılıklar ve yapı taşlarında süreç içerisinde meydana gelmiş renk değişimleri belirlenebilmektedir.

Taşınabilir dijital mikroskop, yapı taşı yüzeylerinde, mikroskobik ölçekte tespit yapmaya olanak veren, pratik bir tekniktir. Dijital mikroskop ile değişen oranlarda aşınmış yüzeyler, yüzey pürüzlülüğü, mineral birikimleri, çiçeklenme, ayrışma, çatlaklar ve liken büyümeleri tespit edilebilmektedir (Moses ve ark., 2014; Burton ve ark., 2017; Hatır, 2019). Ayrıca, yüzey görüntüleri, dijital olarak kayıt altına alınabilmekte ve daha ileri işlemler için saklanabilmektedir (Moropoulou ve ark., 2013).

Yapı taşlarındaki bozunma, yalnız açıkta kalan yüzeylerde değil, yüzeyin altındaki katmanlarda da çeşitli değişiklikler oluşturmaktadır (Moses ve ark., 2014). Yüzey altı bozunmalarının tespitine yönelik teknikler, gönderilen bir ses ya da darbenin, geri dönme ya da iletim hızının ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu testlerden en yaygın olanı, P-Dalga hızı ölçümleridir.

P-Dalga hızı testi, akustik darbelerin, hareket sürelerini ölçerek, malzemelerin özelliklerini tahmin etmek için kullanılan bir tekniktir (Sun ve Zhang, 2019). P-Dalga hızı ölçümleri ile kayaçların dayanım özellikleri, bozunma durumları, porozite artışı, yüzeydeki ve alt katmanlardaki süreksizlikler ile çatlaklar tespit edilebilmektedir (Christaras, 1996; Livingston, 1999; Binda ve ark., 2001; Weiss ve ark., 2002; Török, 2003; Siegesmund ve ark., 2004; Vasconcelos ve ark., 2007; Binda ve Saisi, 2009; Anzani ve ark., 2010; Akoğlu, 2011; Fort ve ark., 2011; Yavuz, 2011; El-Gohary, 2013; Fort ve ark., 2013; Rivera-Gomez ve Galán-Marin, 2013; Cuccuru ve ark., 2014; Kunz ve ark., 2014; Moses ve ark., 2014; Siegesmund ve Dürrast, 2014; Christaras ve ark., 2015; Menéndez, 2016; Cuccuru, 2017; Fais ve ark., 2017; Yavuz ve ark., 2017; Fais ve ark., 2018; Hatır ve ark., 2018; İnce ve ark., 2018; Sun ve Zhang, 2019; Bozdağ ve ark., 2020; Tosunlar ve ark., 2020).

Yüzey altı bozunmaların tespitinde kullanılan bir diğer teknik, sonik ya da ultrasonik tomografi olarak adlandırılmaktadır. Teknik, nesnenin iç kısımlarına yönelik 3D dalga hızı dağılımları elde etme prensibine dayanmaktadır (Menéndez, 2016). Bu teknik ile malzemelerin yapısal süreklilikleri incelenebilmekte, incelenen hacim

dâhilinde; olası homojen olmayan yapısal alanlar, çatlaklar veya hasarlar tespit edilebilmektedir (Capizzi ve ark., 2013).

Yapı taşlarında “Bozunmaya Neden Olan Çevresel Faktörlerin Gözlem ve Teşhisleri”ne yönelik NDT teknikleri; sıcaklık, nem, ortam atmosferi gibi makroklimatik ve mikroklimatik etmenleri tespit eden tekniklerdir.

Çevresel faktörlerin gözlem ve teşhislerine yönelik NDT tekniklerinden en çok kullanılanı, IR kameralar ile yapılan görüntülemelerdir. Sahip olduğu sıcaklık, mutlak sıfırdan (-273.16°C -0 Kelvin), daha yüksek olan her nesne, çevresine termal radyasyon ya da kızılötesi radyasyon (Infrared Radiation (IR)) adı verilen, elektromanyetik bir radyasyon ışıınımı yaymaktadır (Combs ve ark., 1965; Tokmanoğlu, 1987; Oke, 2002; Ocaña ve ark., 2004; Moustafa ve ark., 2013; Savaşçı ve Ceylan, 2018).

Yayılan kızılötesi miktarı, Steffan-Boltzmann yasası tarafından açıklanan biçimiyle, nesne sıcaklığının bir fonksiyonu olup (Al-Habaibeh ve ark., 2006), yayılan radyasyonun yoğunluğu, cisimlerin sıcaklığına bağlıdır (İrshad ve Haque, 2018). Bir başka deyişle, maddelerin sıcaklıkları yükseldikçe, yaydıkları radyasyonun yoğunluğu da artmaktadır. Yayılan bu termal radyasyonun izlenmesi ile sıcaklık ölçümleri yapılabilmektedir (Childs ve ark., 2000). Termal radyasyonun izlenmesi, IR kameralar yoluyla gerçekleştirilir.

IR kameralar ile yapılan gözlemler, tarihi anıtlardaki bozunma durumlarının ve bozunmaya neden olan faktörlerin tespit edilmesinde başarılı sonuçlar vermektedir (Grinzato ve ark., 1998; Avdelidis ve Moropoulou, 2004; Tavukçuoğlu ve ark., 2005; Kandemir-Yucel ve ark., 2007; Tavukcuoglu ve ark., 2007; Arndt, 2010; Kandemir, 2010; Karadayı Yenice, 2012; İnce ve ark., 2018; Korkanç ve ark., 2018). Teknik, kültürel eserlere yönelik çalışmalarda; teşhis, önleyici bakım ve restorasyon uygulamalarının sonuçlarını incelemek için kullanılmaktadır (Menéndez, 2016).

IR termometreler de, IR kameralarla benzer prensipler çerçevesinde çalışmaktadır. Kızılötesi termometreler (IRT), bir yüzeyden gelen termal parlaklığı ölçmektedirler (Norman ve Becker, 1995). Bu ölçüm, kızılötesi bölgedeki, radyasyon bandına duyarlı bir dedektör tarafından gerçekleştirilmektedir (Rohsenow ve ark., 1998). IR termometreler, küçük ölçeklerde (yapı taşı özelinde) detaylı sıcaklık değerleri elde etme imkânı sunmaktadır. IR termometreler ile kültürel anıtlarda ve yapı taşlarında; sıcaklık davranışları (Gómez-Heras ve ark., 2008; Tosunlar ve ark., 2020),

nem bölgeleri (Spathis ve ark., 2015), yoğunlaşma sorunları (Cañaveras ve ark., 2015), bozunma eğilimleri (Smith ve ark., 2011) ve biyolojik aktiviteler (De la Rosa ve ark., 2013) incelenebilmektedir.

Yapı taşlarının; fiziksel, kimyasal ve biyolojik açılardan bozunmasındaki en önemli faktör, kayaçlardaki su varlığı ve hareketleridir (Korkanç ve Savran, 2010; Mol ve Preston, 2010; Cutler ve ark., 2013; Korkanç, 2013; Moses ve ark., 2014; Siegesmund ve Dürrast, 2014; Cañaveras ve ark., 2015; Korkanç ve Savran, 2015; Goudie, 2016; Wilhelm ve ark., 2016; İnce ve ark., 2018; Tosunlar ve ark., 2020). Ayrıca, kayaçtaki yüksek doyum kapasitesi ve yüksek porozite, düşük duraylılık emarelerinden birisidir (Jefferson, 1993; Esaki ve Jiang, 1999). Kayaçların içerisinde bulunan suyun; oranı, hareketleri ve yoğunlaştığı bölgeleri tespit etmek amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir.

Bu teknikler içerisinde en geleneksel olanı, Karsten Tüpü adı verilen bir düzendir. Üzerinde kademe çizgileri olan, cam bir tüpten oluşan bu düzener, yatay ya da dikey biçimde kaya yüzeyine sabitlenerek, belirli bir zamandaki, su seviyesindeki değişimi ve göreceli su emiş oranlarını ölçmektedir (Svahn, 2006; Moses ve ark., 2014; Siedel ve Siegesmund, 2014). Teknik, bozunmuş yapı taşları ile bozunmamış kayaç örneklerinin, su emiş oranlarını karşılaştırma olanağı sunmaktadır (Török, 2003; Zoghlami ve ark., 2016).

Farklı biçimlerde elektrik iletim prensipleri ile çalışan nem ölçerler, kayaçlardaki nem miktarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu cihazlar, bir malzemenin doğru akım direncini (veya iletkenliğini) ölçen direnç ölçer ya da bir malzemenin dielektrik sabitini ölçen kapasitans ölçer olarak adlandırılır (Eklund ve ark., 2013; Wilhelm ve ark., 2016). Bu teknikte; nemin, yapı taşı içerisindeki mutlak değeri (yüzde) sağlanamamakla birlikte, tespit edilen sayısal değerler, diğer ölçüm noktaları ile karşılaştırılarak, kullanılabilir veriler elde edilebilmektedir (Török, 2010).

Rüzgârlar; kayaç tipine, kayacın kimyasal bileşimine ve bulunulan bölgenin atmosferik ve iklimsel şartlarına bağlı olarak, yapı taşlarının aşınması üzerinde etkilidir (Emery, 1960; Camuffo, 1995; Rodriguez-Navarro ve ark., 1999; Bell, 2004; El-Gohary ve Al-Shorman, 2010; Korkanç, 2013; El-Gohary, 2017). Ayrıca, rüzgârla gelen; toz, bitki lifleri, tohumlar ve organik kalıntılar, yapı taşları üzerinde toprak oluşumuna katkıda bulunmaktadırlar (Küçükkaya, 2014). Bu toprak oluşumları, biyolojik

aktiviteler için de elverişli bir zemin oluşturmaktadır. Yapı taşlarını etkileyen rüzgâr aktiviteleri, Anemometre adı verilen bir cihazla ölçülmektedir. Bu teknikle yapı taşlarını; yön, cephe ve pozisyonlara göre etkileyen hava akımı dinamikleri belirlenebilmektedir.

Kültürel anıtlarda bulunan yapı taşları incelenirken, taşların bulunduğu mikro çevre, göz önüne alınması gereken önemli bir noktadır (Steiger ve ark., 2014). Veri kaydedici (data logger) kullanımı; tarihi anıtlarda, günlük ve mevsimsel periyotlarda, sıcaklık ve nem değişimlerini takip etmemizi sağlayan önemli bir tekniktir. Yapı taşlarının bozunmasında en önemli çevresel faktörler olan, sıcaklık ve nem döngüleri (Winkler, 1996; Mitchell ve ark., 2000; Warscheid ve Braams, 2000; Camuffo ve Sturaro, 2001; Weiss ve ark., 2004; El-Gohary ve Al-Shorman, 2010; Huggett, 2011; Smith ve ark., 2011; Steiger ve ark., 2014; Tschegg, 2016), bu kayıt cihazları tarafından, belirli bir zaman periyodu içerisinde izlenebilmektedir.

Teknik, yapı taşlarında bozunmaya neden olan; mekânsal (iç-dış), mikroklimatik ve makroklimatik etkileri, somut veriler biçiminde elde etmemize ve böylece bozunmaya neden olan faktörleri, geniş bir perspektifte değerlendirmemize olanak sunmaktadır.

2.1.3. Rehabilitasyon uygulamaları

Anıtlarda kullanılan taşların; bozunma durumlarının, derecelerinin, tiplerinin, derinliklerinin ve bunlara neden olan bozunma faktörlerinin belirlenmesinden sonra, rehabilitasyona ilişkin proje ve öneriler geliştirilebilmektedir. ICOMOS_Charter (2003) rehabilitasyon uygulamalarında, belirtilerden (symptoms-bozunmalar) ziyade, faktörlerin (root causes-bozunma etmenleri) ele alınması gerekliliğine vurgu yapmaktadır. Viles (2013) bu durumu, önleyici taş koruma içerisinde ele almış; hedefin, saldırı kuvvetlerini azaltmak (risk altındaki nesneyi veya yapıyı çevreleyen yerel ortamın değiştirilmesi) ve-veya bu kuvvetlere karşı, kayacın direncini arttırmak (konsolidasyon maddeleri vb.) olduğunu belirtmiştir.

Oddy ve Linstrum (2002) ise koruma ve rehabilitasyon uygulamalarında göz önüne alınması gereken evrensel ilkeleri; tüm rehabilitasyonların kayıt altına alınması, yapısal ve dekoratif tahrifattan kaçınılması, rehabilitasyonun geriye dönüşlülüğü (reversibility), özgün olan öğelerin korunması ve değiştirilmemesi ile orijinal malzemelerin yaşlanma sonuçlarının (örneğin “Patina”) kaldırılmaması olarak

sıralamaktadır. Bu ilkeler göz önüne alındığında, yapı taşlarında meydana gelmiş bozunmaların rehabilitasyonu için; yüzey temizleme, sağlamlaştırma, estetik ve plastik onarım (bütünleme) ve yüzey koruma uygulamaları gerçekleştirilmektedir (Küçükaya, 2014; Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

2.1.3.1. Atmosferik faktörlere bağlı olan bozunmaların rehabilitasyonu

Yapı taşlarının bozunma süreçlerinde etkili olan faktörler, içsel ve dışsal kaynaklı olmak üzere, iki kesimde ele alınmaktadır (Paradise, 2000; Török ve Pşikryl, 2010; Warke ve ark., 2010; Rosado ve ark., 2016; El-Gohary, 2017; El-Gohary ve Redwan, 2018; Hatır ve ark., 2018; Korkanç, 2018; Tosunlar ve ark., 2019).

İçsel faktörler; litoloji, mineraloji, petrografi, bileşim, yapı, doku, porozite, parçacık büyüklüğü, süreksizlikler gibi kayaç özellikleridir (Paradise, 2000; Akin, 2010; Warke ve ark., 2010; Rosado ve ark., 2016; El-Gohary ve Redwan, 2018; Hatır ve ark., 2018; Korkanç, 2018).

Dışsal faktörler; atmosferik koşullar, iklim ve iklim karakteri, güneşliği açısı, mikroklimatik ortam, yapının konumu, yönelme, cephe doğrultuları, taşların anıttaki pozisyonu vb. olarak sıralanmaktadır (D'ossat, 1982; Paradise, 2000; Mottershead ve ark., 2003; Moropoulou ve ark., 2006; Ulusoy, 2007; Herrera ve Videla, 2009; Warke ve ark., 2010; Steiger ve ark., 2014; Rosado ve ark., 2016; El-Gohary ve Redwan, 2018; Hatır ve ark., 2018; Korkanç, 2018; Medini ve Arbi, 2018).

Bozunma süreçlerinde etkili olan dışsal faktörler içerisinde, atmosferik koşullar önemli bir yer tutmaktadır. Atmosferik koşullar; farklı biçimlerde, ölçeklerde ve bir aradalıklarda bozunma formları meydana getirmektedir. Farklı biçimlerde, ölçeklerde ve bir aradalıklarda gelişen bu formlar, süreç içerisinde ilerleyerek, yapı taşlarının kısmen ya da tamamen bozunmasına neden olmaktadır.

Bozunma etmenleri ve biçimleri, uygulanacak rehabilitasyon müdahalelerinin; yaklaşımını, sınırını ve ölçeğini belirlemektedir. ICOMOS_Charter (2003) rehabilitasyon uygulamalarında, belirtilerden (symptoms/bozunmalar) ziyade, faktörlerin (root causes/bozunma etmenleri) ele alınması gerekliliğine vurgu yapmaktadır. Ayrıca ICOMOS_Charter (2010), bozunma süreçlerinin, tedavi veya destek sağlanarak yavaşlatılmasını tavsiye etmektedir. Bu normlar ışığında, atmosferik kökenli bozunmaların rehabilitasyonunda atılacak adımlar:

- Bozunma etmenlerinin ortadan kaldırılması,
- Temizlik müdahaleleri,
- Bozunma süreçleri sonucunda oluşan ayrışmaların rehabilitasyonu,
- Bozunma etmenleri ile etkileşimin azaltılması, aşamalarından oluşmaktadır.

Bozunma etmenlerinin ortadan kaldırılması süreci, mikroklimatik ortamdan, yapı taşı özeline doğru bir çizgide ilerlemektedir. Bu süreç, çevresel iyileştirme ile strüktürel onarım adımlarını kapsamaktadır.

Çevresel iyileştirme, anıtları ve yapı taşlarını olumsuz etkileyen mikroklimatik faktörlerin, rehabilite edilmesi anlamını taşımaktadır. Bu olumsuz mikroklimatik faktörler arasında başlıca olarak; sıcaklık düşüşlerine ve nem yükselmelerine neden olan çevresel peyzaj ve yapılanmalar ile yeraltı sularının anıtları ve yapı taşlarını etkilemesine sebep olan drenaj sorunları gelmektedir.

Sıcaklık ve nem döngüleri, yapı taşlarında bozunmaya neden olan faktörlerin başında gelmektedir (Camuffo, 1995; Camuffo ve Sturaro, 2001; Blows ve ark., 2003; Mottershead ve ark., 2003; Pouli ve ark., 2012; Camuffo, 2014). Sıcaklık ve nem döngülerinin, yapı taşlarını etkilemesinde, mikroklimatik ortam çok önemlidir.

Aynı türdeki yapı taşları, aynı atmosferik koşullar altında olsalar dahi, mikroklimatik ortam farklılıkları (yapının konumu, yönlenme, cephe doğrultuları, taşların anıttaki pozisyonu, çevre topografyası, egemen rüzgâr ve rüzgâr koridorları, çevredeki bitki örtüsü, çevredeki yapılaşmalar, yol ve trafik ağları vb.) sebebiyle, sıcaklık ve nem döngülerinden farklı biçimlerde etkilenmektedirler (D'ossat, 1982; Williams ve Robinson, 2000; Blows ve ark., 2003; Mottershead ve ark., 2003; Ulusoy, 2007; Smith ve ark., 2008; Hatır ve ark., 2018; Medini ve Arbi, 2018).

Sıcaklık ve nem döngüleri ile oluşan bozunma süreçlerinin, şiddetlerinin azaltılmasında, çevre kontrolü ve çevre düzenlemesi etkili bir araçtır.

Sıcaklık düşüşleri, yapı taşlarında buharlaşma hızının azalmasına ve nemin taşın bünyesinde daha uzun süre kalmasına neden olmaktadır. Taşın bünyesinde, uzun süre kalan nem; taşın mukavemet kapasitesini düşürmekte, suda çözülen tuzların taş içerisinde daha rahat hareket etmesini sağlamak ve taşın donma-çözülme döngülerinden daha fazla etkilenmesine neden olmaktadır. Yapı taşlarında gölgelenme oluşturarak, olağan dışı sıcaklık düşüşlerine neden olan çevresel peyzaj ve yapılanmaların ortadan kaldırılması, bu taşlardaki bozunma hızının olağan dereceye indirilmesi açısından gerekli bir müdahaledir.

Zemin hidrolojisi, yapı taşlarının bozunma sürecinde etkili olan bir başka önemli faktördür. Yapının üzerinde yer aldığı düzlemden, kapiler etkiyle yükselen zemin suları, çözülebilen asit ve tuzları yapı taşlarına taşıyarak, bozunma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu sürecin yavaşlatılmasında, drenaj önlemleri, geleneksel fakat etkin bir yöntemdir. Sözlük anlamı olarak drenaj, zeminde ya da su olması istenmeyen yerde, suyu toplayan ve uzaklaştıran bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Ünal, 2016).

Anıtların korunma uygulamalarında drenaj, önemli bir mikroklimatik rehabilitasyon müdahalesidir (Ashurst ve Dimes, 1998; Topal ve Sözmen, 2003; Tavukçuoğlu ve ark., 2005; Fernandes ve Rodrigues, 2008; Doehne ve Price, 2010; Karadayı Yenice, 2012; Zakar ve Eyüpgiller, 2015; Hatır, 2019). Geleneksel koruma önlemleri içinde de yeri olan bu müdahale, yapı taşlarını, ana bozunma etmeni olan sudan koruma üzerine kurgulanmaktadır (Siegesmund ve ark., 2002; Bozdağ ve ark., 2016).

Anıtların mevcut drenaj sistemlerinin onarılması, bunun yetmediği durumlarda ise yardımcı drenaj sistemleri oluşturulması, bozunma süreçlerinde etkili olan zemin sularının, kontrol altına alınması için gerekli bir müdahaledir.

Bozunma etmenlerinin ortadan kaldırılması için atılacak adımlarda, diğer bir önemli müdahale, anıt bünyesinde bulunan, hasar görmüş ya da yok olmuş atmosferik koruma sistemlerinin, onarılması ve yeniden işler hale getirilmesidir.

Anıtların, yüzyıllar boyunca, zorlu iklim şartları altında ayakta kalabilmeleri için, oldukça iyi tasarlanmış, çatı drenaj sistemlerine sahip olmaları gerekmektedir (Tavukcuoglu ve ark., 2007). Birçok anıt, bu yeterlilikte sistemlere sahip olabildiği için, günümüze kadar ulaşabilmiştir. Çatı drenaj sistemlerinin, asli parçaları olan; örtü, oluk ve kanal öğelerinin tahribatı, anıt strüktürü ve yapı taşlarına, suyun ulaşımını kolaylaştırmaktadır. Su ulaşımı ise, atmosferik etkilerle birlikte, yapı taşlarındaki bozunma sürecini hızlandırmaktadır (Ashurst ve Dimes, 1998). Bu durumun önüne geçmek için, anıtların özgün örtü ve su tahliye sistemlerinin onarılarak, yeniden işler hale getirilmesi gerekmektedir.

Anıtları, atmosferik etkilere karşı koruyan, üst örtü yapılarının bulunmadığı-yıkıldığı durumlarda, anıtları korumak için strüktürler inşa edilebilir. Önleyici konservasyon-pasif konservasyon olarak nitelendirilen bu işlemde, bozunmaya neden olabilen çevre ve iklim koşullarına karşı, koruma örtüleri oluşturulmaktadır (Yılmaz ve ark., 2019).

Temizlik, genel olarak, bir sanat eserini restore etmek için atılan adımlardan ilkidir (Asmus ve ark., 1974). Yüzey temizliği, dikkatle uygulanması gereken bir müdahaledir (Pouli ve ark., 2012; Tintin, 2012). Dikkatle uygulanmadığında, yüzeylere zarar verebilmekte ve bozunmayı hızlandırabilmektedir (Ahunbay, 1996; Leisen ve ark., 2008; Erköseoğlu, 2012).

Temizlik işlemine başlanılmadan önce; malzeme türü, kir tabakasının niteliği, yüzey bozunmaları ve yapının yer aldığı ortamın özellikleri incelenmelidir (Ahunbay, 1996; Tintin, 2012; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Bu inceleme sonrasında, taş yüzeyine uygun temizlik teknikleri seçilebilmektedir.

Temizlik işleminde, yüzeydeki istenmeyen birikimlerin ve tabakaların (kirlilik, toprak izleri, karbon, kil, kurum, boya tabakaları, kirli kabuklar, tuzlar vb.) uzaklaştırılması amaçlanmaktadır (Topal ve Sözmen, 2003; Leisen ve ark., 2008; Pouli ve ark., 2012; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Bu uzaklaştırma yapılırken, malzeme yaşlanmasının bir sonucu olan patina'ya zarar verilmemesi gerekmektedir.

Temizlik müdahalesi, bozunma süreçleri sonucunda oluşan ayrışmaların rehabilitasyonu ve bozunma etmenleri ile etkileşimin azaltılması işlemleri için de, yapı taşlarını hazırlamaktadır. Kirlilik sonucunda, yapı taşlarının daralan ya da kapanan gözenekleri sebebiyle, yapılan kimyasal ve nano-partikül uygulamalar, yapı taşlarının içerisine işleyememekte ve yüzeyde kalabilmektedir. Uygulanan temizlik müdahaleleri, bu gözenekleri açarak, kimyasal ve nano-partikül uygulamalar için olanaklı bir zemin hazırlamaktadır.

Temizlik müdahalelerinde kullanılan yöntemler:

- Mekanik temizlik,
- Kimyasal temizlik,
- Biyolojik temizlik,
- Suyla yıkama (normal, yüksek basınçlı, atomize),
- Buharla temizlik,
- Emici kil, kâğıt hamurları ve jel uygulamaları,
- Latex lapa uygulaması,
- Tuz çıkarma,
- Lazer ile temizleme, olarak sıralanmaktadır (Ahunbay, 1996; Doehne ve

Price, 2010; Erköseoğlu, 2012; Tintin, 2012; Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

Bozunma süreçleri sonucunda oluşan ayrışmaların rehabilitasyonu, yapı taşı özelinde ve yapı taşı yüzeyinde müdahalelerde yoğunlaşmaktadır. Bu durum, atmosferik davranışların, taş yüzeyini önemli ölçüde etkilemesi (Esaki ve Jiang, 1999; Pope ve ark., 2002; Mottershead ve ark., 2003; Moses ve ark., 2014; Borsoi ve ark., 2017) ve anıtların sanatsal değerini yansıtan katmanının, yüzey kısmında olması ile ilişkilidir (Camuffo, 2014).

Ayrışmaların rehabilitasyonu amacıyla kullanılan malzemeler;

- İnorganik sağlamlaştırıcılar,
- Organik sağlamlaştırıcılar,
 - Doğal organik sağlamlaştırıcılar,
 - Sentetik-organik sağlamlaştırıcılar, olarak sınıflandırılmaktadır

(Acun Özgünler, 2007).

İnorganik sağlamlaştırıcılar; Ba (OH)₂, Ca (OH)₂, Sr (OH)₂ gibi hidroksit bileşikler ile soda silikatı ve suda çözünen fluosilikatlar olarak sıralanmaktadır (Acun Özgünler, 2007). Bu maddeler, bozunmuş kayaç kristallerini sağlamlaştıran ve bir arada tutan bileşiklerdir (Küçükkaya, 2014).

İnorganik sağlamlaştırıcılar; derin penetrasyon sağlayamamaları, daha az elastiki olmaları, sert, kırılgan ve ince tabakalar oluşturmaları, sağlamlaştırıcı tepkimeleri kaynaklı çözünebilen tuzlar oluşturmaları, yüzeyde su buharını geçirmeyen bir tabaka oluşturmaları ve renk değişimleri meydana getirmeleri nedeniyle tercih edilmemektedirler (Eskici, 1997; Acun Özgünler, 2007; Küçükkaya, 2014).

Organik sağlamlaştırıcılar grubu içerisindeki, doğal organik sağlamlaştırıcılar; geleneksel olarak kullanılan, parafin ve balmumu malzemelerdir. Bu malzemeler; derin penetrasyon sağlayamamaları, yüksek sıcaklıklarda yumuşamaları, kir toplamaları, renk değişimi oluşturmaları ve yüzeyden zor temizlenmeleri nedeniyle artık kullanılmamaktadırlar (Acun Özgünler, 2007).

Sentetik-organik sağlamlaştırıcılar; etil silikatlar, alkil-alkoksi silanlar, alkil-aril polisiloksanlar (silikon reçineler) ve akrilik reçineler (monomer ya da polimer) olarak sıralanmaktadır (Küçükkaya, 2014). Bu malzemeler, derin penetrasyon potansiyelleri ve dayanımları nedeniyle tercih edilmektedirler (Çiftçi, 2018).

Bozunma etmenleri ile etkileşimin azaltılması müdahalesinde beklentiler; işlemin taş yüzeyini koruyarak, bozunma ajanları ile etkileşimi azaltması ve önlemesidir (Gherardi ve ark., 2017).

Bozunma ajanları içerisinde, en etkili olgu, su varlığı ve hareketleridir. Suyun, yapı taşı içerisine nüfuz etmesini geciktirici ve azaltıcı maddeler, su iticiler olarak adlandırılmaktadır. Su itici malzemeler; alkoksi silanlar, silikonlar ve floro polimerler olarak sıralanmaktadır (Doehne ve Price, 2010). Bu malzemeler, su iticilik konusunda başarı sağlamakla birlikte, kimyasal birer madde olmaları dolayısıyla, kayaçlar ile etkileşimleri, ancak uzun yaşlandırma testleri neticesinde anlaşılabilmektedir.

Su itici materyaller konusunda gerçekleştirilen çalışmalar, son yıllarda nano malzemeler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu malzemeler içerisinde, TiO_2 ve SiO_2 öne çıkmaktadır (Ersen, 2013; Kapridaki ve Maravelaki-Kalaitzaki, 2013; La Russa ve ark., 2014; Gherardi ve ark., 2017; Vasanelli ve ark., 2018; Sansar ve Akyol, 2019; Vasanelli ve ark., 2019; Zornoza-Indart ve ark., 2019).

TiO_2 (titanyum dioksit), kendi kendini temizleyebilme olanağı ile yüzey bozunması olmayan düşük poroziteli taşlarda, yüzey koruma imkânı sağlamaktadır (Ersen, 2013). Maddenin foto katalitik özellikleri, yağmurla kolayca yıkanabilen kirleticilerin, yüzeylerden uzaklaşabilmesini sağlamaktadır (Gherardi ve ark., 2017). Bu madde ayrıca, mikroorganizmalar ile biyolojik aktivite gelişimini, organik maddeleri parçalama kabiliyeti sayesinde engelleyebilmektedir (Kapridaki ve Maravelaki-Kalaitzaki, 2013; La Russa ve ark., 2014).

SiO_2 (silisyum dioksit), su itici özelliği ile ön plana çıkan bir malzemedir. Bu malzeme ile ilgili yapılan yaşlandırma testleri; kayaç türüne, bozunma faktörüne ve iklimlendirme koşullarına göre, olumlu ya da olumsuz sonuçlar verebilmektedir (Vasanelli ve ark., 2018; Sansar ve Akyol, 2019; Vasanelli ve ark., 2019; Zornoza-Indart ve ark., 2019). Bu manada, SiO_2 'nin, yapı taşlarında yüzey koruma özelliği ile ilgili çalışmaların, daha geniş kayaç örneklerinde araştırılması gerekmektedir.

2.1.3.2. Biyolojik faktörlere bağlı olan bozunmaların rehabilitasyonu

Yapı taşları üzerinde gelişen biyolojik oluşumların temizlenmesinde ilk yöntemler, bu oluşumları mekanik olarak uzaklaştırma prensibine dayanmaktaydı. Bisturi, tel fırça, zımpara kâğıdı gibi yüzey aşındırıcıları ile yapılan bu işlemler, yapı taşı yüzeylerini zedelemelerinden ötürü kullanılmamalıdır (Ahunbay, 1996).

Yapı taşlarının, biyolojik oluşumlardan temizlenmesinde kullanılan kimyasal maddeler, biyosit olarak adlandırılmaktadır. Biyosit kullanımında, birçok kriterin birlikte sağlanması gerekmektedir. Bu kriterler arasında; var olan oluşumları yok etme ve yeni oluşumları engelleme, taşın özellikleri, görünümü ve rengini bozmama, taş yüzeyine tutunma, yağmurla yıkanmama, uygulayan kişi ve çevreye zarar vermeme; yer almaktadır (Doehne ve Price, 2010; Speranza ve ark., 2013; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Herhangi bir biyosit türünün, bu kriterlerin tümünü karşılaması oldukça güçtür. Ayrıca, çevreye verdiği zararlar, biyositlerin kullanımında önemli kısıtlamalar ve yasaklamalar getirmiştir (Speranza ve ark., 2013).

Yapı taşlarının biyolojik temizliğinde kullanılan en güncel yaklaşım, lazer tekniğidir. Teknik, 1970'li yılların ilk dönemlerinde, taş heykellerin yüzeylerinde oluşan kabukların temizlenmesi amacı ile kullanılmıştır (Asmus ve ark., 1974; Pereira-Pardo ve Korenberg, 2018). Bu tekniğin yaygınlaşmasında, 1995 yılında Girit'te toplanan LACONA (Laser in the Conservation of Artworks) konferansı oldukça etkili olmuştur (Siano, 2008). Günümüzde lazerler; mükemmel hassasiyet ve kontrol sunan, temassız ve çevre dostu araçlardır (Pereira-Pardo ve Korenberg, 2018). Taşınabilir lazer temizleme sistemleri ile yüzeylere zarar vermeden, yüzeylerden kirletici maddeler uzaklaştırılabilmektedir (Speranza ve ark., 2013).

Lazer tekniği, tarihi yapıların taşlarında, biyolojik temizlik amacıyla da yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer uygulaması, taş yüzeylerinde gelişen likenlerin, bazal katmanını oluşturan mantarları (Speranza ve ark., 2013) ve likenlerin hücre yapılarını yok etmektedir (DeCruz ve ark., 2009). Bu avantajlarla birlikte, lazer ile temizlik müdahalesinde; doğru kullanım, optimal miktar ve kontrollü uygulama gereklidir (Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

Yapı taşı derzlerinde ve taşların yüzeylerinde, tek yıllık ve çok yıllık bitki gelişimlerinin önüne geçilmesinde, düzenli bakım oldukça önemlidir. Yapı taşı derzlerinde büyüyen, tek yıllık otsu bitkiler, köklerinin mekanik baskıları ile harçları bozmakta, düzenli bakım yapılmadığı takdirde de, gelişen çalılar ve ağaçlar, yapı duvarlarının parçalanmasına neden olmaktadır (Steiger ve ark., 2014). Bu durumun önüne geçmek için, yapı taşları arasında gelişen biyolojik oluşumların, düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, yapı taşlarının kırık ve pürüzlülüğü artmış bölümlerinin onarılması, bu biyolojik oluşumların gelişimleri için elverişli noktaları ortadan kaldıracaktır.

2.1.3.3. Antropojenik faktörlere bağlı olan bozunmalara karşı önlemler ve rehabilitasyon

Yapı taşlarında gerçekleşen, antropojenik kökenli bozunmaların rehabilitasyonunda ilk adım, bozunmaya sebebiyet veren insan etkilerinin ortadan kaldırılmasıdır. Çünkü bozunma sistemleri, insan aktiviteleri ile iç içedir (Pope ve Rubenstein, 1999). İnsan aktivitelerinin sınırlandırılması ve denetlenmesi, antropojenik kökenli bozunmaların da durdurulmasını sağlayacaktır.

Yapı taşlarında, insanların yarattığı bozunmalarda ilk sırada, hatalı tasarım gelmektedir. Hatalı tasarım; yanlış konum, zemin sorunları, strüktür tasarım hataları, hatalı malzeme ve teknik kullanımı ile kötü işçilik ve detay kullanımı başlıkları altında gruplanmaktadır (Ahunbay, 1996).

Bu sorunların rehabilitasyonunda, mimarlar ve korumacılar ile mühendisliğin farklı alanlarındaki disiplinlerin, her yapı özelinde, ünik çözümler geliştirmesi gerekmektedir.

Yanlış ya da kötü kullanım, bozunmayı hızlandıran önemli bir etmendir (Ahunbay, 1996). Yanlış ya da kötü kullanımın önüne geçmek için, anıtları mümkün olduğu kadar, orijinal işlevine ve orijinal planlamasına uygun olarak kullanmak gerekmektedir.

Bakımsızlık ve terk, tarihi anıtları etkileyen en önemli sorunlar arasındadır. Sürekli kullanımda olan anıtlarda, kullanım gereklilikleri nedeniyle, çeşitli ölçeklerde ve rutinlerde bakım faaliyetleri yürütülmektedir. Terk edilen anıtlarda ise, kullanım dışı kalma sebebiyle, bakım faaliyetleri de durmaktadır.

Bakım kavramının önemi, çağdaş koruma düşüncesinin çok erken bir döneminde, John Ruskin (1819-1900) tarafından yazılan “The Seven Lamps of Architecture” (1849) adlı çalışmada vurgulanmıştır (Erder, 1975). Bakımsızlık, anıta meydana gelen küçük ölçekli bozunmaların, önlem alınmadığı takdirde ilerleyerek, yapı bütünlüğü için tehdit oluşturması olarak tanımlanmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Anıtların bakımsız kalmamaları ve terk edilmemeleri için, bu anıtlarda yaşayanlara yönelik sosyal ve ekonomik önlemler alınması gerekliliğine vurgu yapılmaktadır (Ahunbay, 1996).

Yangın, yapı taşlarında bozunma meydana getiren önemli etmenlerden birisidir (Gomez-Heras ve ark., 2009). Yüksek sıcaklık, yapı taşlarında fiziksel ve kimyasal

değişimlere sebep olmaktadır (Pope ve Rubenstein, 1999; Koca ve ark., 2006; Brotóns ve ark., 2013). Kayaçlar; mineraller, sınırlayıcı matris ile çatlaklar ve boşluklardan oluşmaktadır (Yavuz ve ark., 2010). Kayaçların fiziksel özellikleri, büyük ölçüde, bu boş alanların özelliklerine bağlıdır (Darot ve Reuschlé, 2000).

Yapı taşlarını, kısa süre içerisinde etkileyen sıcaklık değişimleri, termal gerilmelerle (genleşme katsayısı farkları), tane yapıları arasında çatlakların gelişmesine neden olmaktadır (Jansen ve ark., 1993; Brotóns ve ark., 2013). Bu çatlaklar da zamanla açılmakta ve bozunmalar hızlanmaktadır. Bu durum, yapı taşlarının dayanımlarını ve görünümelerini olumsuz etkilemektedir.

Yangına maruz kalmış yapı taşlarında rehabilitasyon, dayanım ve görünümüne yönelik olmak üzere, iki başlık altında incelenmektedir. Kritik taşıyıcı pozisyonunda olan taş elemanlarda, dayanımı arttırmak için, metal elemanlarla çemberleme ya da FRP (Fiber Takviyeli Polimer-Plastik) esaslı, çubuk ve bant elemanlar ile güçlendirme uygulanabilmektedir (Aydın ve ark., 2007; Yıldız ve ark., 2011; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Yangın sonucunda oluşmuş renk değişimlerinin rehabilitasyonu için ise, lazer ile temizlik teknikleri kullanılmaktadır.

Vandalizm ve savaş, anıtlar bütününde ve yapı taşlarında bozunmalar meydana getiren bir başka önemli faktördür. Erder (1975) tarafından, Almanca “Schadenfreude” kelimesi ile tanımlanan vandalizm, anıtlara ve eserlere bilinçli olarak zarar verme davranışlarıdır. Bu durum, uluslararası sözleşmelerle yasaklanmış olmakla birlikte, konu ile ilgili önlemler, ancak bireylerin bilinçlendirilmesiyle alınabilir.

Yanlış onarımlar, yapı taşlarına zarar veren bir başka önemli antropojenik etmendir. Mevcut yapı taşları ile uyumsuz malzeme (çimento vb.) kullanımı, taşlarda tuz oluşumuna dayalı bozunmalar meydana getirmektedir (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Taşları, stabil hale getirmek için kullanılan metal aksamlar, genleşme ve korozyon etkisiyle, yapı taşlarında bozunmalar oluşturmaktadır (Ahunbay, 1996; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Yanlış onarım müdahalelerinin rehabilitasyonunda; tuzlara kaynaklık eden malzemelerin, yapı taşlarından mekanik olarak ayrılması gerekmektedir. Ayrıca, genleşme ve korozyon etkisiyle, yapı taşlarına zarar veren metal elemanların, genleşme ve korozyon özelliği bulunmayan elemanlarla değiştirilmesi önemlidir.

Çeşitli ölçeklerde insan temas biçimleri (dokunma, yaslanma, sürtünme, yürüme, turizm faaliyetleri, vb.), yapı taşlarında, fiziksel ve kimyasal bozunmalar

oluşturmaktadır (Pope ve Rubenstein, 1999; Paradise, 2000; Pope ve ark., 2002). İnsan temas biçimleri sonucunda, yapı taşlarının yüzeylerinde, vücut yağı ve kir birikimleri ile sürtünmeye bağlı aşınmalar meydana gelmektedir (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Ziyaretçilerin, belirlenen sınırlı rotalarda ziyaretlerini gerçekleştirmeleri ve yapı taşlarına mümkün olduğunca az temas etmeleri, bu bozunmalara karşı alınacak önlemlerin başında gelmektedir.

Anıtların kapalı mekânlarında, ziyaretçi aktivitelerine bağlı olarak, yapı taşı yüzeylerinde, nem birikimi meydana gelebilmektedir. Özellikle, yoğun insan varlığı, iç mekânın havasındaki, bağıl nem oranını arttırmaktadır (Ashurst ve Dimes, 1998). Havadaki nem oranı, yoğuşma için yeterli seviyeye geldiğinde, soğuk yüzeylerde yoğuşma ortaya çıkmaktadır (Ashurst ve Dimes, 1998). Yoğuşma nemi, yapı taşlarındaki bozunma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için, mekânlarda, ortam nemini dengeleyici sistemler kullanılabilmektedir.

Anıtların, insan etkileriyle bozulan drenaj sistemlerine (kanallar, kuyular, çatılar, oluklar vb.) yönelik temel rehabilitasyon yaklaşımı, bu sistemlerin mümkünse, orijinal biçimleriyle yeniden işlev görür hale getirilmesidir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, anıtların çevresinde gerçekleştirilecek arkeolojik kazılar sonrasında, anıtların zemin bölgelerini saran yardımcı drenaj sistemlerinin oluşturulması, topraktan kapilarite ile yapı taşlarına yükselen suyun engellenmesi için etkin bir yöntemdir. Zemin suyunun yüksek olduğu bölgelerde de, kuyu açılarak, zemin su seviyesinin düşürülmesi, geleneksel bir yöntem olarak uygulanabilmektedir.

Anıtların, vandalizm ile yok edilen çatı ve oluk sistemleri, elde yeterli veri olduğu durumlarda, orijinal formları ile tamamlanmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, anıtları atmosferik etkilerden koruyucu üst örtü sistemleri tasarlanabilmektedir.

2.2. Çalışma Bölgesi ve Konusu ile İlgili Gerçekleştirilmiş Çalışmalar

2.2.1. Çalışma bölgesi ile ilgili gerçekleştirilmiş çalışmalar

2.2.1.1. Bölgenin tarihi ile ilgili çalışmalar

Erol (1980)'un "Anadoluda Kuaterner Pluvial ve İnterpluvial Koşullar ve Özellikle Güney-İç Anadolu'da Son Buzul Çağından Bugüne Kadar Olan Çevresel Değişmeler" ve Biricik (1992)'in "Büyük Konya Kapalı Havzası ve Hotamış Gölü" adlı

çalışmaları; Konya kapalı havzasında, Kuaterner'in Pluvial döneminde bulunmuş olan büyük göl hakkında bilgiler veren önemli kaynaklardır.

Bahar (1998)'in "Konya Araştırmaları III; Lykaonia" adlı çalışması; Konya havzasında, günümüzden 23.000 ile 17.000 yıl önce bulunan büyük bir gölden bahsederek, bu gölün günümüzden 8600 ile 7500 yıl önce çekilmeye başladığını, çekilen göl suları çevresinde de tarih öncesi yerleşimlerin oluşmaya başladığını aktarmaktadır.

Tapur (2009)'un "Eski Konya Gölü'nün İlk Yerleşmelere Etkileri" adlı çalışması, Eski Konya Gölü'nün çevresinde yer alan tarihi yerleşimlere ilişkin bilgiler veren bir kaynaktır. Çalışmada, Karadağ bölgesinin, Eski Konya Gölü ile olan coğrafi ilişkisi, haritalarla gösterilmektedir.

Akurgal (2014)'in "Anadolu Uygarlıkları" adlı eseri, Anadolu'da hüküm sürmüş ya da etkili olmuş uygarlıklara ilişkin bilgiler içeren önemli bir eserdir. Çalışmadan, Konya ve Karaman bölgesinde etkin olmuş uygarlıkların tarihleri ve kültürlerine ilişkin araştırmalarda istifade edilmiştir.

Bahar (2014)'in "Eskiçağ Uygarlıkları" adlı eseri, Dünya tarihinde var olmuş eskiçağ uygarlıklarının tarihleri ve kültürlerine ilişkin bilgilerin kaleme alındığı önemli bir kaynaktır. Eser, Konya ve Karaman bölgesinde hüküm sürmüş olan uygarlıklara ilişkin haritalar ile siyasi ve tarihi bilgiler içermesi bakımından önemlidir.

Gündüz (2016)'ün "Neolitikten Kalkolitik Döneme Kadar Bozkır ve Çevresindeki Yerleşmeler" adlı çalışması, Konya ve Karaman çevresinde yer alan, tarih öncesi dönemlere ait yerleşimlere ilişkin bilgiler veren önemli bir kaynaktır.

Bahar (1991), Bahar (1996), Bahar (2016)'in "İsauria Bölgesi Tarihi", "İsauria Bölgesi'nin Antik Çağdaki Yerleşim Merkezleri" ve "Antik Dönemde Bozkır Jeopolitiği" konulu çalışmaları; İsauria Bölgesi'nin, daha geniş tabirle Konya ve Karaman'ın güney bölümünün, tarihine ilişkin yapılmış önemli araştırmalardandır. Çalışmalarda, İsauria Bölgesi'nde bulunan yerleşimler ve bunların özellikleri ile bölgede gerçekleşen önemli tarihi olaylar ele alınmıştır.

Hrozný (1936)'nin "Les Inscriptions Hittites Hiéroglyphiques de Karakuyu, Fraktin, Kara Dag et La Stèle de Boghazkeui" adlı eseri, Orta Anadolu'daki Hitit hiyeroglifleri üzerine yapılmış önemli bir çalışmadır. Çalışmada, Karadağ bölgesine

konumlandırılan, antik dönemdeki “Barata” isminin, Hitit hiyerogliflerinde geçen “Barmeta” ya da “Barueta”dan gelmiş olabileceği aktarılmaktadır.

Karauğuz ve ark. (2002)’un “Kızıldağ Üzerine Yeni Bazı Gözlemler” adlı çalışması, Karadağ bölgesinin kuzey kesiminde, Kızıldağ üzerinde yer alan Hitit rölyef ve hiyeroglifleri hakkında bilgiler vermektedir.

Bahar ve ark. (2007)’ın “The Land and City of Tarhuntašša Geodetic Researches Around İt” adlı çalışması; Hitit İmparatorluğu’nun, Orta Anadolu’daki merkezinin zayıflaması ile beraber ortaya çıkan, yönetsel problemlerin ve nüfuz bölgesi sorunlarının, Hitit idari coğrafyasına yansması üzerine değinen bir çalışmadır. Çalışmada; Karadağ bölgesinin, Tarhuntašša sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir.

Turgut (2013)’un “Konya ve Karaman Çevresinde Hitit Dağ Kültünün Yansımaları” adlı çalışması; Hitit uygarlığının inanç sistemi içerisinde, kutsal mekânlar olarak tanımlanan dağlar üzerine yapılmış bir araştırmadır. Araştırmada; Karadağ’ın en yüksek noktası olan Mahalaç Tepesi ile diğer tepelerde bulunan Hitit yazıtları ve sunaklarından hareketle, bölgenin, Hititler döneminde kutsal sayılan bir dağ olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca, Karadağ’ın Hitit metinlerinde geçen isminin, Garstang (1944)’a referans verilerek, “Šarlaimi Dağı” olabileceğine vurgu yapılmıştır.

Kurt (2013)’un “Karadağ-Mahalaç Tepesi (Karaman) Üzerine Bir Araştırma” adlı çalışması; Karadağ bölgesinin en yüksek noktası olan Mahalaç Tepesinde yer alan, tarihi kalıntılar üzerine kaleme alınmış bir araştırmadır. Çalışmada, bu tepe üzerinde bulunan, Hititler dönemine ait hiyeroglif yazıtlar ve sunağa ilişkin bilgiler verilmektedir.

Turgut (2015)’un “Tarhuntašša’daki Su Kültü Mekânları” adlı makalesi, Anadolu’da, M.Ö. II. Binyıl’da, önemli bir medeniyet kuran Hititler’in; suya bağlı inançları ve bu inançlar çerçevesinde oluşturdıkları mekânları konu eden bir çalışmadır. Çalışma, Hititler’in Tarhuntašša bölgesinin coğrafi sınırları ile bu bölge içerisinde bulunan su kültü mekânlarının bir haritasını içermektedir.

Kurt (2010a)’un “Tabal Ülkesi’nin Politik ve İdari Yapısı”, Dönmez (2012)’in “Tabal Ülkesi’nin Metal Kaynakları Açısından Önemi” ve Akçay (2014)’ın “Tabal Ülkesinin Tarihsel Süreci Üzerine Bir Değerlendirme” adlı çalışmaları, Hititler’in yıkılmasından sonra kurulan, Tabal Ülkesinin; tarihine, coğrafyasına, sınırlarına ve idari yapısına ilişkin bilgiler içeren kaynaklardır. Konya ve Karaman bölgesinin, Hitit sonrası

dönemde, Tabal Konfederasyonu sınırları içerisinde olması nedeniyle, bu çalışmalardan istifade edilmiştir.

Yılmaz (2005)'ın "Bozkır Çevresinin (Hadim-Ahırlı-Yalıhüyük) Antik Tarihi ve Eserleri: İsaoria" adlı kitabı, geçmişte Konya ve Karaman illerinin güney kesimlerini kapsayan İsaoria bölgesinin; tarihi, coğrafyası, yerleşimleri ve ulaşım sistemlerine ilişkin bilgiler içeren önemli bir kaynaktır. Antik çağlarda, Karadağ bölgesinin, kimi dönemlerde İsaoria coğrafi ve idari sistemi sınırları içerisine alınması dolayısıyla, bu çalışmadan yararlanılmıştır.

Doğanay (2005)'ın "Ermenek ve Yakın Çevresindeki Antik Yerleşim Birimleri" adlı kitabı, M.Ö. III. Binyıl'dan M.S. 16. yy.'a kadar olan süreçte, Konya ve Karaman illerinin güney kesimlerini kapsayan İsaoria bölgesinin, tarihine ve yerleşimlerine ilişkin bilgiler içeren önemli bir kaynaktır. Antik çağlarda İsaoria bölgesi, yönetsel ve coğrafi bakımlardan farklı sınırlarla tanımlanıyordu. Ayrıca, bölgenin yönetsel sınırları da, çeşitli sebeplerle değişikliğe uğruyordu. Eserden, anılan hususlarda yol gösterici bir kaynak olarak istifade edilmiştir.

Umar (2008)'ın "Pamphylia İsaoria Lykaonia" adlı kitabı; M.Ö. 2. Binyıl'dan M.S. 15. yy.'a kadar olan süreçteki, bölge tarihini anlatan önemli bir eserdir. Eser; Pamphylia, İsaoria ve Lykaonia bölgelerinde bulunan, tarih öncesi ve antik dönem yerleşimlerinin isim kökenleri, coğrafi konumları ile tarihçeleri konularında detaylı bilgiler vermektedir. Yerleşimlerin haritaları ve yerleşimlerde bulunan kalıntıların fotoğrafları da, eserde değinilen diğer önemli hususlardandır. Çalışmada; Barata/Madenşehir başlığı altında, yerleşim tarihinden kısaca bahsedilerek, bölgedeki kalıntılarla ilgili bilgiler verilmiştir.

Kurt (2010b)'un "Antik Lykaonia'da Yönetim ve Şehirleşme" adlı çalışması; Antikçağ'da, Konya ve Karaman illerini içerisine alan Lykaonia bölgesinin, süreç içerisinde değişen sınırlarını ve idari yapılanmalarını konu eden bir araştırmadır. Çalışmadan, Karadağ bölgesinin antik dönem tarihi araştırmalarında yararlanılmıştır.

Bahar (2015)'ın "Eskiçağ'da Konya" adlı çalışması; Konya ve Karaman bölgelerinin tarih öncesi dönemlerden, Bizans İmparatorluğu'nun sonuna değin uzanan sürecine ilişkin kronolojik ve bütünsel bilgiler veren bir eserdir.

Calder ve Bean (1958)'ın "A Classical Map of Asia Minor" adlı haritası, Anadolu'da bulunan antik yol güzergâhlarını ve yerleşim yerlerinin coğrafi konumlarını

göstermektedir. Åhlfeldt (2018)'in "Digital Atlas of the Roman Empire" adlı internet atlası, geçmişte Avrupa, Asya ve Afrika kıtalarında bulunan, Roma İmparatorluğu yerleşimlerinin, günümüzdeki konumlarını gösteren online bir atlasıdır. Bu kaynaklardan, Karadağ bölgesi ve çevresinde bulunan antik yerleşim yerlerinin tespiti hususlarında istifade edilmiştir.

Konyalı (1964)'nın "Abideleri ve Kitabeleri ile Konya Tarihi" adlı kitabı ile Konyalı (1967)'nin "Abideleri ve Kitabeleri ile Karaman Tarihi, Ermenek ve Mut Abideleri" adlı kitabı; Konya ve Karaman bölgelerinin, Türk-İslam etkisine girdikten sonraki tarihine ilişkin kaleme alınmış iki önemli kaynaktır. Konyalı (1967)'nin; "Karaman ve Çevresinde Kiliseler ve Manastırlar" isimli kitap bölümünde, Karadağ bölgesinde bulunan ören yerlerine ilişkin tarihi bilgiler verilmiş, bölgedeki kalıntılara dair izlenimler, döneminin fotoğrafları ile bir arada sunulmuştur.

Dülgerler (1995)'in "Karamanoğulları Dönemi Mimarisi" adlı çalışması, tarih öncesi dönemlerden, 15. yy.'a değin uzanan süreçte, Karaman bölgesi tarihine ilişkin bilgilerin kaleme alındığı, önemli bir kaynaktır. Söz konusu kaynak, Türk Tarih Kurumu tarafından kitaplaştırılmıştır (Dülgerler, 2006).

2.2.1.2. Bölgeyi ziyaret eden seyyahların çalışmaları

Leake (1824)'ın "Journal of a Tour in Asia Minor" adlı eseri, seyyahın Anadolu'da ziyaret ettiği yerler ile ilgili gözlem ve izlenimlerini kaydettiği önemli bir seyahatnamedir. Eserin, "Chapter III-Continuation of the Journey-from Konia to Cyprus, Alaia, and Shughut" bölümünde Leake, Karadağ bölgesinden kısaca bahsetmiştir. Çalışma, bölgeden erken dönemde bahseden bir kaynak olması bakımından önemlidir.

Hamilton (2013)'ın "Küçük Asya" adlı seyahatnamesi, seyyahın Anadolu'daki izlenimlerini gerek yazılı, gerekse çizimler biçiminde kaydettiği nadide bir eserdir. Seyyah, Karadağ bölgesini ziyaret etmiş ve buraya dair izlenimlerini aktarmıştır. Yapıt, Karadağ bölgesinin 19. yy.'daki durumunu ve o dönemde ayakta olan tarihi anıtları yazılı olarak tasvir etmesi bakımından önemlidir.

Marquis de Laborde (1838)'nin "Voyage de L'asie Mineure" adlı eseri, Karadağ bölgesinde bulunan antik kalıntılarla ilgili kaleme alınmış en önemli çalışmalardan birisidir. Eserin "Madenscher" bölümünde bulunan, bölge betimlemeleri ve çizilmiş

gravürler, bölgede yer alan anıtların, 19. yy.'ın hemen başındaki durumlarını belirtmesi bakımından önemlidir.

Davis (1879)'ın "Life in Asiatic Turkey: A Journal of Travel" adlı kitabı, seyyahın, Anadolu'da ziyaret ettiği yerlere ilişkin dönem bilgileri veren, bir seyahatnamedir. Seyahatnamenin "Chapter XII" bölümünde; Madenşehir'nde yer alan anıtlara ilişkin kısa bilgiler bulunmaktadır.

Texier (2002)'in "Küçük Asya I-II-III" adlı seyahatnamesi; Anadolu'nun coğrafyası, tarihi ve arkeolojisi üzerine kaleme alınmış önemli bir eserdir. Yazar, Anadolu'ya düzenlediği seyahatlerde, ziyaret ettiği yerlere ilişkin izlenimlerini, detaylı olarak aktarmıştır. Eserin "Üçüncü Cilt, İsaurya (İsaurie) Şehirleri" bölümünde, Karadağ bölgesinde bulunan kalıntılara ilişkin kısa bilgiler yer almaktadır.

Haynes (2018)'in "John Henry Haynes Photographs Archive (1884-1887)" adlı dijital fotoğraf arşivi; John Henry Haynes'in, 1884-1887 yılları arasında çekmiş olduğu fotoğrafların bulunduğu online bir arşivdir. Arşivde, Madenşehir bölgesindeki bazı yapıların, 1887 yılına ait fotoğrafları bulunmaktadır.

Holzmann (1904)'in "Binbirkilise: Archäologische Skizzen aus Anatolien" adlı kitabı, Karadağ bölgesinde bulunan anıtların; planları, görünüşleri, kesitleri ve süsleme detaylarına ilişkin çizimlerin olduğu nadir bir eserdir.

2.2.1.3. Bölgede çalışma yapan modern araştırmacılar

Ramsay (1890)'ın "The Historical Geography of Asia Minor" adlı kitabı, Anadolu'da yer alan antik bölgeler ve yerleşimlerle alakalı önemli bilgilerin olduğu bir eserdir. Ramsay çalışmasında; Anadolu'da bulunan antik dönem yollarının izlerini sürerken, antik kaynaklardaki yerleşimler arası mesafe değerlerinden de faydalanarak, bu yerleşimlerin yerlerini tespit etmeye çalışmıştır. Ramsay'a göre, antik kaynaklarda Barata olarak geçen yerleşim, Karadağ'daki Madenşehir Köyü'nün bulunduğu yerdedir. Çalışmanın Türkçeye çevirisi "Anadolu'nun Tarihi Coğrafyası" ismiyle, 1960 yılında yayınlanmıştır (Ramsay ve Pektaş, 1960).

Strzygowski (1903)'nin "Kleinasien Ein Neuland der Kunstgeschichte" adlı kitabı, Karadağ bölgesinin 20. yy. başındaki durumunu anlatan bilimsel bir eserdir. Çalışmada; bölge topografyası, yerleşim özellikleri, yerleşimde bulunan anıtların

mimari özellikleri, bazı anıtların planları ve yapı fotoğrafları gibi önemli bulgular yer almaktadır.

Ramsay ve Bell (1909)'in "The Thousand and One Churches" adlı kitabı, William M. Ramsay ile Gertrude Bell'in yayınlamış oldukları önemli bir eserdir. Eserde; Karadağ bölgesinin coğrafyası ve tarihi, bölgedeki anıtlara ilişkin tanımlar, çizimler ve fotoğraflar ile yerleşim haritaları bulunmaktadır.

Bell (2020)'in "Gertrude Bell Archive" adlı internet sitesi; Gertrude Bell (1868-1926)'in yaptığı araştırmalar, incelemeler ve gerçekleştirdiği gezilerle alakalı bilgiler ile fotoğrafların bulunduğu online bir arşivdir. Bell'in 1905, 1907 ve 1909 yıllarında ziyaret edip, arkeolojik çalışmalar yaptığı Karadağ bölgesine ilişkin fotoğraflara, bu arşivden ulaşılabilir.

Eyice (1971)'nin "Karadağ (Binbirkilise) ve Karaman Çevresinde Arkeolojik İncelemeler" adlı kitabı, Karadağ bölgesine ilişkin yapılmış en önemli çalışmalardan birisidir. Çalışmada, bölgeyi ziyaret eden seyyahlara ve daha önceki dönemlerde bölgede yapılmış bilimsel araştırmalara detaylıca yer verilmiştir. Çalışma, Karadağ bölgesini; Madenşehir Öreni, Yukarı Ören, Değle Öreni ve Dağlardaki Kalıntılar olmak üzere dört kesimde ele almıştır. Ele alınan kesimlerdeki eserler detaylıca tanımlanmış, ayrıca fotoğraflar ve çizimlerle de belgelenmiştir. Kitabın, sadece Karadağ bölgesi ile sınırlandırılmış yenilenen baskısı, İlker Mete Mimiroğlu editörlüğünde, 2014 yılında yayınlanmıştır (Eyice, 2014).

Topal (2000)'in "Derbe Binbir Kilise Manazan Mağaraları Alahan Manastırı" adlı kitabı, Karaman bölgesinde yer alan önemli tarihi bölgeleri anlatan bir eserdir. Çalışmada, eski yerleşimler ve önemli anıtlar; konumları, tarihleri ve mimari özellikleri açılarından incelenmiştir. Özgen (2006)'in "Zamanın Kapıları Karaman" adlı kitabında da, Karadağ bölgesine ilişkin çeşitli bilgiler yer almaktadır.

Kurt (2009)'un "Karaman'da Eski Çağlara Ait Kültürel Unsurlar ve Turizm Açısından Önemi" adlı çalışması, Karaman bölgesinde bulunan tarihi yerleşimlere ilişkin detaylı bilgiler veren bir araştırmadır.

Doğan (2012), "Karaman Merkezdeki Kiliseler" konulu yayınlanmamış yüksek lisans tezinde, Karaman il merkezi ve Binbirkilise bölgesinde bulunan, bazilikal planlı kiliseleri incelemiş ve günümüzdeki durumlarını tespit etmiştir.

Ousterhout (2013)'un "Binbirkilise Revisited: the 1887 Photographs of John Henry Haynes" adlı makalesi, Karadağ bölgesinde yer alan bazı anıtların, farklı zamanlarda çekilen fotoğrafları üzerine yapılmış bir değerlendirmedir. Binbirkilise bölgesini, 1887 yılında ziyaret eden ve bölgedeki anıtları fotoğraflayan John Henry Haynes, çektiği fotoğrafları bir kitap olarak yayınlamıştır (Haynes, 1892). Ousterhout makalesinde; Haynes'in 1887 yılında çektiği fotoğrafları, 1905, 1907 ve 1909 yıllarında bölgede çalışma yapan, William M. Ramsay ve Gertrude Bell'in çektiği fotoğraflar ile kıyaslayarak, aradan geçen zamanda oluşan yapı hasarlarına ve kaybolan yapı detaylarına dikkat çekmiştir.

Tapur (2017)'un "Karaman Çevresindeki Tarihi Yerleşim Alanları" adlı çalışması, Karadağ bölgesi ve çevresinde bulunan, tarihi yerleşimlere ilişkin bilgiler veren bir kaynaktır. Çalışmada; "Madenşehir (Binbirkilise)" ve "Karadağ Üzerindeki Diğer Yapılar" başlıkları altında, bölgede bulunan kalıntılara dair bilgiler verilmiştir.

2.2.1.4. Bölgenin jeolojisi, coğrafyası ve iklimi üzerine yapılan çalışmalar

Fookes ve ark. (1971)'in "Some Engineering Aspects of Rock Weathering with Field Examples from Dartmoor and Elsewhere" adlı çalışması, iklim koşulları ile kayaçların ayrışması ilişkisine değinen bir araştırmadır. Bu araştırma; dünyada herhangi bir bölgeye ait, yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verileri bilindiği takdirde, o bölgedeki kayaçların maruz kaldığı-kalacağı fiziksel ve kimyasal ayrışma şiddetini gösteren, bir değerlendirme grafiği içermektedir. Söz konusu grafik, Karadağ bölgesindeki tarihi anıtlarda meydana gelen bozunmaların, bölge iklim şartları ile ilişkilendirilmesinde kullanılmıştır.

Schleicher ve Schwarz (1977)'in "Zur Geologie und Petrologie des Karadağı, Zentralanatolien" adlı çalışması, Karadağ volkanizmasının 5 evrede oluştuğunu, volkanitleri ortaya çıkartan magmanın yüksek basınç altında meydana geldiğini, bu durumun kabuk biçimli bir plakanın çökmesi ile açıklanabileceğini savunmuştur.

Besang ve ark. (1977)'in "Radiometrische Altersbestimmungen an Neogenen Eruptivgesteinen der Türkei" adlı çalışmasında, Karaman volkanitlerinin radyometrik yaş testleri; 3.21 ± 0.09 , 3.13 ± 0.08 , 2.05 ± 0.20 , 1.95 ± 0.40 ve 1.13 ± 0.07 milyon yıl sonuçlarını vermiştir. Bu sonuçlardan hareketle volkanitlerin, Üst Pliyosen yaşlı oldukları belirlenmiştir.

Ercan (1986)'ın "Orta Anadolu'daki Senozoyik Volkanizması" konulu makalesi, Orta Anadolu Bölgesinde bulunan ve Paleosen dönemden tarihsel çağlara değin uzanan süreçte, değişik evrelerde etkin olan volkanizmaları incelemiştir. Çalışmada, volkanizmalar yaşları bakımından, altı farklı gruba ayrılmıştır. Bu gruplar; Paleosen, Eosen, Oligosen, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlarına aittir. Karaman (Karadağ) volkanitleri; Pliyosen yaşlı, kalkalkalen andezitik ve dasitik bir volkanizma olarak tanımlanmış, Konya volkanitlerinin doğuya doğru uzanan bir parçası olarak kabul edilmiştir.

Işık (1994)'ın "Karadağ (Karaman) Civarının Jeolojisi ve Mineralojik-Petrografik İncelemesi" konulu yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Karadağ bölgesinin jeolojik yapısı üzerine yapılmış önemli bir çalışmadır. Çalışmada, bölgede rastlanan volkanitlerin, genellikle andezitik bileşimli olduğu, fakat kimyasal analizlerde, bazı kayaların, diyagramlarda dasit sınırlarına düştüğü gözlenmiştir. Çalışmaya göre bölge andezitleri; Mercik Andeziti, Kartallık-Sızak Andeziti, Karadağ Andezitleri, Değle Dağ-Bozdağ Andezitleri olarak sınıflandırılmaktadır. Çalışmada ayrıca, Karadağ bölgesinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası bulunmaktadır.

Gürsoy ve ark. (1998)'un "Palaeomagnetic Study of the Karaman and Karapınar Volcanic Complexes, Central Turkey: Neotectonic Rotation in the South-Central Sector of the Anatolian Block" adlı makalesinde; Karadağ volkanik kompleksinin, jeoloji haritası ve bu haritaya bağlı açıklamalar bulunmaktadır. Haritada; kompleks içerisinde bulunan birimlerin türleri, açıklamada ise bu birimlerin ait oldukları jeolojik dönemler yer almaktadır. Çalışmaya göre; Madenşehir Köyü'nün çevresinde bulunan ve bölgedeki anıtların taş ocağı olarak kullanılan tepelerdeki jeolojik birimler; porfirik andezit, porfirik bazalt ve bazalt olarak değerlendirilmiştir. Bu birimler, Geç Pliyosen döneme tarihlendirilmektedir.

Ermin (2005)'in "Karadağ Volkanının (Karaman) Jeomorfolojik Özellikleri" konulu yayınlanmamış yüksek lisans tezi; Karadağ bölgesinin jeolojisi ve jeomorfolojisi üzerine yapılmış, detaylı bir çalışmadır. Çalışmada, bölgede bulunan jeolojik birimler, sedimanter kayalar ve volkanik kayalar olmak üzere, iki ana başlıkta değerlendirilmiştir. Sedimanter kayalar; kristalize kireçtaşları ve Neojen sedimanter kayalar olmak üzere, iki alt başlıkta tanımlanmıştır. Volkanik kayalar; Mercik Volkanitleri, Sızak-Kartallık-Kızıldağ Volkanitleri, Merkez Volkanitleri ile Genç

Andezitler (Bozdağ ve Değle Dağ Volkanitleri) olmak üzere, dört alt başlıkta tanımlanmıştır.

Binal (2009)'ın "A New Laboratory Rock Test Based on Freeze-Thaw Using a Steel Chamber" adlı çalışması, taş malzemenin atmosfer şartları karşısındaki davranışlarını tahmin etmek amacıyla, malzemeye uygulanan donma-çözülme testleri üzerine yazılmış bir makaledir. Makalede, "Türkiye İklim Haritası" ve "Türkiye'nin Donma-Çözülme Şiddet Haritası" bulunmaktadır. Bu haritalara göre Karadağ bölgesi; karasal iklim şartları etkisi altında olup, bölgedeki hava sıcaklığı, bir yıl döngüsü içerisinde, 14 ile 18 defa arasında, 0°C'nin altına inmektedir. Bölgede bulunan tarihi anıtlarda meydana gelmiş bozunmaların, büyük ölçüde bölge iklim şartları kaynaklı olması sebebiyle, bu çalışmadan istifade edilmiştir.

Özaytekin ve Karakaplan (2011)'ın "Orta Anadolu'da Karaman Karadağ Andezitik Materyali Üzerinde Oluşan Toprakların Mineralojik Yönünden Değerlendirilmesi" konulu makalesi, Karadağ bölgesi topraklarının, mineralojik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, yarı-kurak (kısa yağışlı dönem-uzun kuru sezon) olarak tanımlanan yerel iklimsel koşulların, düşük yıkanmaya sebep olarak, toprak oluşumunu yavaşlattığına vurgu yapılmıştır. Bölgedeki toprak yapısının ve iklim koşullarının anlaşılması bağlamında, bu çalışmadan istifade edilmiştir.

2.2.1.5. Antik mezar mimarisi üzerine yapılan çalışmalar

Fedak (1990)'ın "Monumental Tombs of the Hellenistic Age: A Study of Selected Tombs from the Pre-Classical to the Early Imperial Era" adlı çalışması, Eski Yunan ve Roma dönemi mezar anıtları üzerine yazılmış önemli bir eserdir. Çalışmada, antik mezar anıtlarının plan şemaları ve mimari özellikleri, farklı dönemler ve coğrafi bölgelerden örneklerle verilmiştir.

Adam (2005)'ın "Roman Building: Materials and Techniques" adlı kitabı; Roma'da kullanılan yapı malzemeleri ve inşa tekniklerine ilişkin, detaylı bilgiler veren bir kaynaktır. Çalışmada; taş anıtlarda kullanılan malzemelerin ocaktan çıkarılması, işlenmesi ve yapıya yerleştirilmesi süreçlerine ilişkin teknik bilgiler bulunmaktadır.

Doğanay (2009)'ın "İsauria Bölgesi Kaya Mezarları ve Ölü Gömme Gelenekleri" adlı kitabı, Konya ve Karaman illerinin güney kesimlerini kapsayan İsauria bölgesinde rastlanan, antik çağa ait mezar tipleri ve ölü gömme geleneklerine

ilişkin tarihsel, arkeolojik, sanatsal ve mekânsal bilgiler veren önemli bir kaynaktır. Çalışma, Doğanay (2008)'in doktora tezinden oluşturulmuştur.

Kurt (2011)'un "Karaman-Binbir Kilise Mezarları" isimli makalesi; Binbirkilise tarihine ilişkin detaylı bilgiler veren bir çalışmadır. Çalışmada, bölgede rastlanan mezar türleri; anıt mezar (mausoleum), kaya ostoteki, yeraltı örgü mezarlar, oygu tekne mezarlar ve lahitler olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma, Madenşehir'inde bulunan Mausoleum (Anıt Mezar) yapısının, arkeolojik kazılar gerçekleştirilmeden önceki durumuna değinmesi ve 2011 tarihli yapı fotoğrafını içermesi bakımından önemlidir.

Akçay (2017)'in "Yunan ve Roma'da Ölü Kültü" adlı kitabı, antik dönemde algılanan ölüm kavramı, ölüme dair inanış, ritüel ve gelenekler ile bunların somut yansımaları olan gömü biçimlerine ilişkin bilgiler veren önemli bir kaynaktır.

2.2.2. Çalışma konusu ile ilgili gerçekleştirilmiş önceki çalışmalar

Fitzner ve Heinrichs (2004)'in "Photo Atlas of Weathering Forms on Stone Monuments" adlı çalışması, anıtlarda kullanılan yapı taşlarında rastlanan, bozunma biçimleri üzerine hazırlanmış bir atlasır. Çalışma, dünyanın farklı coğrafyalarında gözlenen taş bozunma biçimlerini, örnek fotoğraflarla tanımlamıştır.

Heinrichs ve Fitzner (2007)'in "Stone Monuments of the Nemrud Dag Sanctuary/Turkey" adlı makalesinde, Nemrut Dağında yer alan heykel ve stellerde, bozunma formları ve hasar durumlarına göre ayrıntılı haritalar oluşturulmuş, bu haritalar üzerinden, hasar kategorilerinin eser yüzölçümüne oranları belirlenmiştir.

Heinrichs (2008)'in "Diagnosis of Weathering Damage on Rock-Cut Monuments in Petra, Jordan" adlı makalesi, Ürdün-Petra antik kentinde bulunan tarihi anıtların; litolojik durumları, bozunma formları ve hasar kategorilerine dair ayrıntılı haritaların bulunduğu bir çalışmadır.

Bilen ve ark. (2016)'in "Deterioration Types of Stones Used in Suleymaniye Mosque (Istanbul, Turkey)" adlı çalışması, Süleymaniye Cami inşasında kullanılan taşlar ve bu taşlarda gözlemlenen bozunma biçimlerine ilişkin yapılmış bir araştırmadır. Çalışmada; taşlarda gözlemlenen bozunmalar, sebepleri ve bilimsel literatürde geçen isimleri ile birlikte ele alınmıştır.

Hatır ve ark. (2018)'in "Evaluating the Deterioration Effects of Building Stones Using NDT: the Küçükköy Church, Cappadocia Region, Central Turkey" adlı

çalışmasında, makaleye konu olan yapının, cephe taşlarına ilişkin, renk değişimi ve bozunma tipleri esaslı haritalandırmalar yapılmıştır.

İnce ve ark. (2018)'nin "Determination of Deterioration of the Main Facade of the Ferit Paşa Cistern by Non-Destructive Techniques (Konya, Turkey)" adlı makalesinde, anıt cephesinde oluşmuş olan bozunma tiplerine dair haritalandırma ve bu bozunmaların kapladıkları yüzey alanlarına ilişkin oransal dökümler yapılmıştır. Söz konusu haritalandırmalar; çevresel, pozisyonel ve mimari olguların, taş bozunma tipleri ve oranları ile olan ilişkilerini ortaya koyması bakımından önemlidir.

Aydin ve Basu (2005)'nin "The Schmidt Hammer in Rock Material Characterization" adlı çalışması; farklı vuruş enerjilerine sahip olan "L" ve "N" tipi Schmidt çekiçlerinden elde edilen değerlerin, aynı kayaçlardan laboratuvar ortamında elde edilen diğer değerlerle (tek eksenli basınç dayanımı ve diğer fiziksel özellikler) olan ilişkilerine değinen bir araştırmadır.

Koca ve ark. (2006)'nın "Changes in the Engineering Properties of Marble in Fire-Exposed Columns" ve Erkal ve Ozhan (2014)'in "Value and Vulnerability Assessment of a Historic Tomb for Conservation" adlı çalışmaları, tarihi yapılarda bulunan taş malzemelerin, sertliklerinin ve dayanımlarının, Schmidt çekici kullanılarak tespit edildiği önemli araştırmalardandır.

Korkanç ve Savran (2010)'ın "Niğde Yöresindeki Tarihi Yapılarda Kullanılan Taşlar ve Sorunları" adlı çalışması, Niğde yöresinde yer alan, farklı dönemlere ait 14 tarihi yapıda bulunan taşların, mühendislik özelliklerini ve karşılaştıkları sorunları konu alan kapsamlı bir araştırmadır. Çalışma; İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan, tarihi taş anıtların, genel olarak karşılaştığı sorunları ortaya koymaktadır. Bu araştırma ayrıca, tarihi yapılarda kullanılan taşların sertlik değerlerinin, Schmidt çekici kullanılarak ölçüldüğü bir çalışma olması bakımından önemlidir.

Anzani ve ark. (2010)'nin "A Multilevel Approach for the Damage Assessment of Historic Masonry Towers" adlı makalesinde, Arcisate Kulesinin, kuzey ile güney cephelerinde seçilen noktalardan, ultrasonik hız testleri yapılmış ve elde edilen veriler haritalandırılmıştır. Ultrasonik hız testlerinden elde edilen verilerden, teşhis haritaları oluşturulması, çalışmayı önemli kılmaktadır.

Akoğlu (2011)'nin "Deterioration of Nemrut Sandstone and Development of Its Conservation Treatments" adlı çalışması; Nemrut Dağı'nda bulunan, antik döneme ait

anıtlardaki bozunma mekanizmalarını incelemiş ve bunları kontrol altına alacak yöntemler geliştirmeye çalışmıştır. Çalışmada, bölge anıtlarının farklı bölümlerinde, ultrasonik hız tetkikleri yapılmış ve elde edilen sonuçlarda, çatlak bulunan ya da bozunmuş bölümlerde, ultrasonik hız değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Pascale ve Lolli (2015)'nin "Crack Assessment in Marble Sculptures Using Ultrasonic Measurements: Laboratory Tests and Application on the Statue of David by Michelangelo" adlı makalesi, Michelangelo'nun Davut Heykeli üzerine yapılmış bir çalışmadır. Çalışmada, heykelin sol ayağında bulunan yüzeysel çatlağın derinliği ve yönü, ultrasonik hız testleri ile belirlenmiştir.

Eklund ve ark. (2013)'ün "Using Handheld Moisture Meters on Limestone: Factors Affecting Performance and Guidelines for Best Practice" adlı çalışması; tarihi anıtlarda, nem kaynaklı problemlerin tespitinde kullanılan nemölçerlerin, ölçüm performanslarını, farklı cihazlarla test etmiştir. Araştırma, nem ölçüm değerlerini etkileyen faktörlere ve ölçümde dikkat edilecek hususlara dair çıkarımlar sunmaktadır.

Moses ve ark. (2014)'in "Methods for Measuring Rock Surface Weathering and Erosion: a Critical Review" adlı çalışması; nem varlığı ve hareketlerinin, taşların bozunma süreçlerindeki etkilerine işaret etmektedir.

Guo ve Jiang (2015)'in "Investigation into Rock Moisture and Salinity Regimes: Implications of Sandstone Weathering in Yungang Grottoes, China" adlı çalışması, Çin'de bulunan, tarihi ve sanatsal değeri oldukça yüksek, Yungang Mağaraları'nda, meydana gelen bozunmaların nedenlerine ilişkin kaleme alınmış bir araştırmadır. Çalışma kapsamında, üç adet mağarada, kayaç yüzeylerinin sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen verilerle, mağara çeperlerindeki nem hareketleri belirlenmiş ve haritalandırılmıştır. Çalışma sonucunda, su ve suya bağlı tuz hareketlerinin, mağaralarda meydana gelmekte olan tahribatın, ana aktörleri olduğu görülmüştür.

Wilhelm ve ark. (2016)'in "The Influence of Salt on Handheld Electrical Moisture Meters: Can They be Used to Detect Salt Problems in Porous Stone?" adlı çalışması; nem ölçümlerinde, tuzlanma faktörünün, ölçümler üzerindeki etkilerine ilişkin yapılmış deneysel bir araştırmadır.

Tavukçuoğlu ve ark. (2005)'nin "Use of IR Thermography for the Assessment of Surface-Water Drainage Problems in a Historical Building, Ağzıkarahan (Aksaray),

Turkey” adlı çalışması; 13. yy.’a ait bir kervansaray yapısı olan Ağzıkarahan’da, zemin suyu ve drenaj kökenli bozunmaları, Kızılötesi Termografi (IR) yöntemi kullanarak tespit etmiştir.

Bonazza ve ark. (2009)’nın “Climate Change İmpact: Mapping Thermal Stress on Carrara Marble in Europe” adlı çalışması, kayaçlar üzerinde oluşan termal stres konusunda bilgiler vermektedir. Sıcaklık döngülerinin sebep olduğu, ısıl genleşme ve daralmaların, taşlarda meydana getirdiği yüzey ve yüzey-altı tahribatlarına değinen çalışma, hava sıcaklığı ile taşların yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkileri irdelemesi bakımından önemlidir.

Karadayı Yenice (2012)’nin “Geleneksel Aksaray Evlerinin Korunmasına İlişkin Bir Yöntem Araştırması” adlı çalışması; Aksaray’da geleneksel konut dokusu içerisinde yer alan evlerdeki bozunmaları, Kızılötesi Termografi (IR) yöntemi kullanarak tespit etmiştir.

De la Rosa ve ark. (2013)’nin “Mapping Stone Surface Temperature Fluctuations: İmplications for Lichen Distribution and Biomodification on Historic Stone Surfaces” adlı çalışması, infrared termometre ölçüm tekniğinin, yapı taşları üzerine uygulandığı önemli bir araştırmadır. Çalışma, Granada’da Cartuja Manastırının ana merdivenlerindeki biyolojik oluşumları, taşların kış ve yaz dönemlerindeki sıcaklıkları ile ilişkilendirerek, biyolojik oluşumların kökenlerine eğilmiştir.

Cutler ve ark. (2013)’in “Algal ‘Greening’ and the Conservation of Stone Heritage Structures” adlı çalışması, tarihi anıtlar üzerinde oluşan alglerin, yapı taşlarında sebep olduğu bozunmalara ilişkin yapılmış bir araştırmadır. Araştırmada, yapı taşları üzerindeki biyolojik oluşumların, sıcaklık ve nem koşullarına bağlı geliştiği belirlenmiştir.

Kandemir-Yucel ve ark. (2007)’in “In Situ Assessment of Structural Timber Elements of a Historic Building by İnfrared Thermography and Ultrasonic Velocity”, Kandemir (2010)’in “Soundness Assessment of Historic Structural Timber by the Use of Non-Destructive Methods” ile Akoğlu (2011)’nin “Deterioration of Nemrut Sandstone and Development of Its Conservation Treatments” adlı çalışmaları, tarihi anıtlar üzerinde, Kızılötesi Termografi (IR) yöntemi ile ultrasonik dalga hızı ölçümlerinin bir arada ve birbirini bütünler biçimde kullanıldığı önemli çalışmalardandır.

Korkanç ve ark. (2018)'in "Historical Granaries at Taşkale (Turkey) Under Risk: A Geotechnical Analysis" adlı çalışması; Karaman'ın Taşkale Köyünde, tarihi tahıl ambarlarının bulunduğu kayaçlar üzerine yapılmış bir çalışmadır. Çalışmada; ambarların bulunduğu yamaçta yer alan, tarihi Taş Cami'nin cephesi, birbirini bütünler tahribatsız test teknikleri ile incelenmiş ve haritalandırılmıştır.

İnce ve ark. (2018)'in "Determination of Deterioration of the Main Facade of the Ferit Paşa Cistern by Non-Destructive Techniques (Konya, Turkey)" adlı makalesi; tahribatsız test tekniklerinin, bir bütün halinde, tarihi bir anıta uygulandığı, önemli bir çalışmadır. Makalede; Konya Alaaddin Tepesinde bulunan, Ferit Paşa Su Sarnıcı'nın, cephesinde oluşan bozunmaların tespitleri, laboratuvar çalışmaları ile tahribatsız test teknikleri bir arada kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Hatır ve ark. (2018)'in "Evaluating the Deterioration Effects of Building Stones Using NDT: the Küçükköy Church, Cappadocia Region, Central Turkey" adlı makalesi, tahribatsız test tekniklerinin, dört cepheli bir anıta, anıtın her yönüne uygulandığı önemli bir çalışmadır. Çalışmada, Niğde Küçükköy'de bulunan ve 19. yy.'a tarihlenen bir kilise yapısındaki taş bozunmaları incelenmiştir. Araştırma, laboratuvar çalışmaları ile tahribatsız test tekniklerinden elde edilen veriler arasında mantıksal ilişkiler kurmaktadır.

Gökçe (2010)'nin "Diyatomit Esaslı Hafif Yapı Elemanı Üretiminde Üre-Formaldehitin Bağlayıcı Olarak Kullanılması"; İnce (2013)'nin "Donma-Çözülme Döngüsünün Kayaçların Mühendislik Parametreleri Üzerine Etkisi" ve Bozdağ (2013)'in "Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Mühendislik Parametreleri Üzerine Etkisi" konulu lisansüstü çalışmaları, kaya birimlerine uygulanacak deneyler ve deney standartları konularında, yol gösterici kaynaklar olarak kullanılmışlardır.

Ahunbay (1996)'in "Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon" adlı kitabı; koruma düşüncesinin gelişimi ve kuramsal temeli, korunacak değerler ve değerlendirme ölçütleri, restorasyon öncesinde yapılan çalışmalar, belgeleme ve projelendirme işlemleri, tarihi çevre koruma ve planlama, koruma ile ilgili ulusal ve uluslararası örgütlenmeler ile koruma kabulleri gibi konularda detaylı bilgiler veren bir çalışmadır.

Ashurst ve Dimes (1998)'in "Conservation of Building and Decorative Stone" adlı çalışması; yapılarda kullanılan taşları, oluşumlarından bozunma süreçlerine değin geniş bir yelpazede ele almaktadır. Çalışma, bozunmuş taşlara uygulanabilecek

temizleme, sağlamlaştırma ve onarım müdahalelerinden bahsetmesi bakımından önemlidir.

Küçükkaya (2014)'nın “Yapı Taşlarının Restorasyonu” adlı kitabı, tarihi anıtlarda kullanılan taşlar üzerine gerçekleştirilmiş bir çalışmadır. Çalışma; kayaç türleri, taşın doğadan alınma teknikleri, tahrip nedenleri ve bozunma biçimleri konularında detaylı bilgiler vermektedir. Çalışma ayrıca; restorasyon yöntemleri, restorasyon için taş seçim kriterleri, doğal yapı taşlarına uygulanacak deneyler ve bilimsel analiz metotları hususlarında da referans alınan önemli bir kaynaktır.

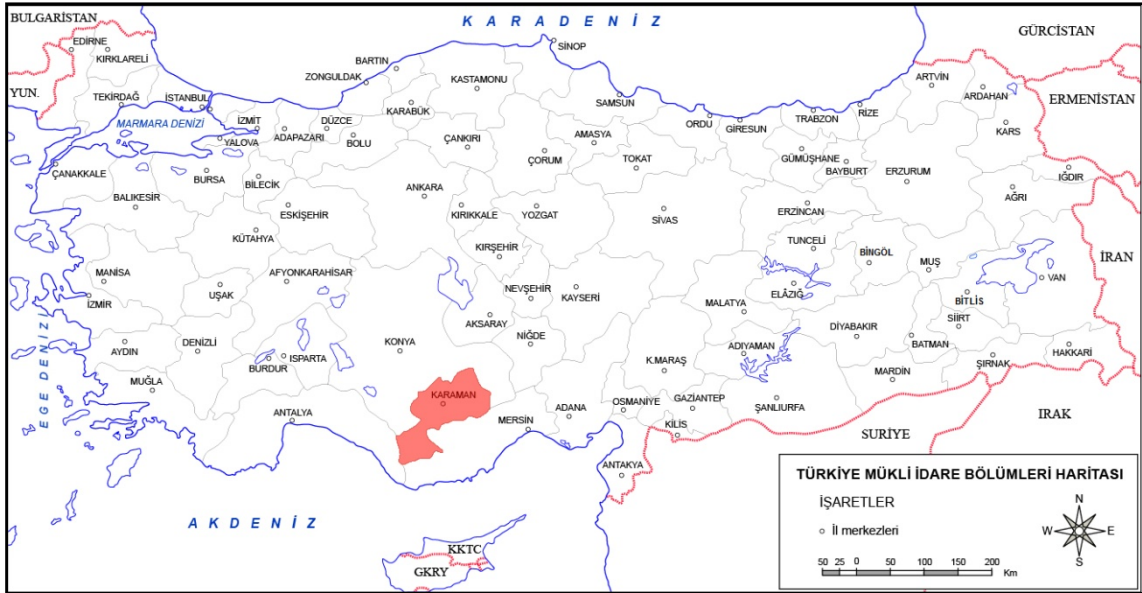
Zakar ve Eyüpgiller (2015)'in “Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri” adlı kitabı, mimaride koruma ve restorasyon üzerine kaleme alınmış, önemli bir eserdir. Çalışmada; koruma ile ilgili temel kavramlar, malzeme ve strüktürde bozunmaya neden olan etkenler, yapısal sorunlar ve müdahale yöntemleri ile malzeme sorunları ve müdahale yöntemleri konularında detaylı bilgiler verilmektedir. Çalışmanın taş ile ilgili bölümünde, taşların bozunma türleri ve bunlara yönelik gerçekleştirilecek müdahalelere ilişkin zengin bilgiler bulunmaktadır.

3. MATERYAL

3.1. Bölge araştırmaları

3.1.1. Karaman ili fiziki konumu

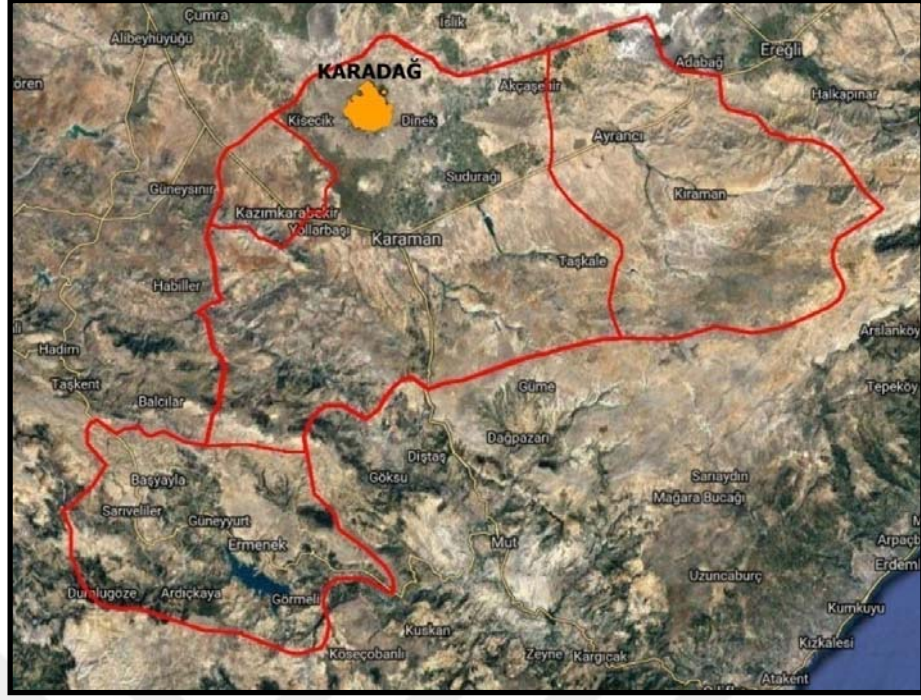
Karaman; İç Anadolu Bölgesi'nde, Konya ilinin güney kesiminde yer almaktadır (Şekil 3.1). İl, 37.11 kuzey enlem ve 33.15 doğu boylam bileşkesi üzerinde bulunmaktadır. Karaman ili, altı ilçeden oluşmakta olup bu ilçeler; Merkez ilçe, Ayrancı, Başyayla, Ermenek, Kâzımkarabekir ve Sarıveliler olarak sıralanmaktadır. İlin yüzölçümü 8.869 km² olup, ortalama olarak denizden yüksekliği 1.033 metredir (Karaman-Valiliği, 2018).



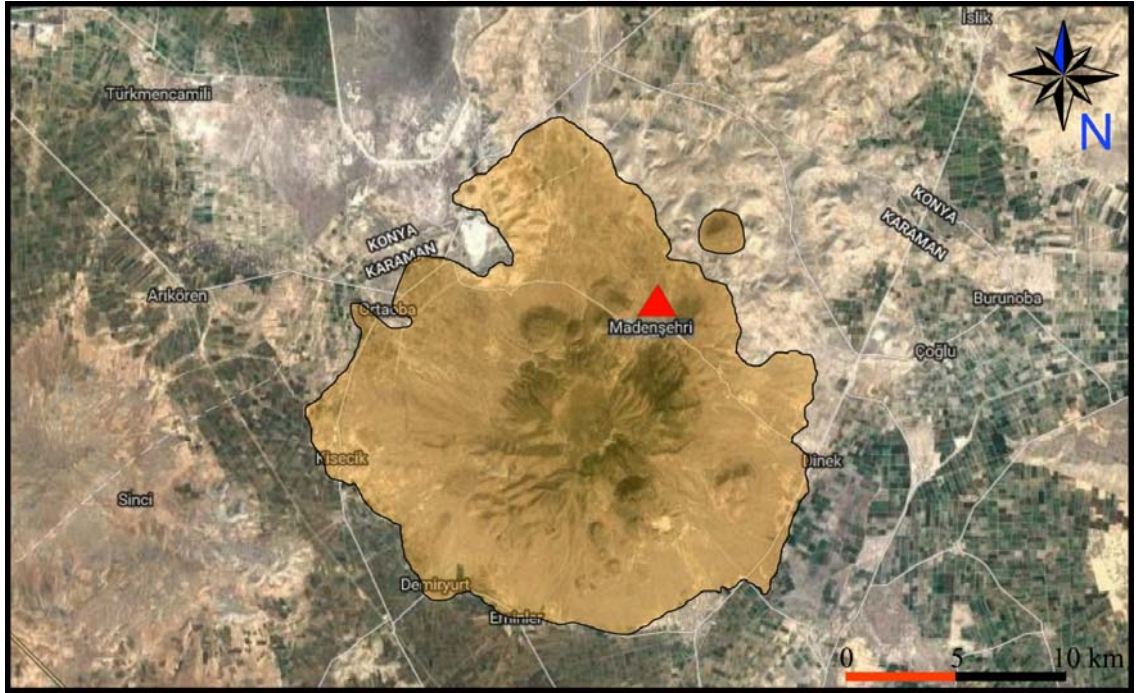
Şekil 3.1. Karaman ili konumu (Saygılı, 2020).

3.1.2. Karadağ-Binbirkilise bölgesinin fiziki konumu

Karadağ-Binbirkilise bölgesi, Karaman Merkez ilçe sınırları içerisindedir (Şekil 3.2). Bölgenin hudutlarını, Karadağ volkanizması tanımlamaktadır. Volkanizma, yaklaşık olarak 600 km²'lik bir yüzölçüme sahiptir (Koç, 1990) (Şekil 3.3). Volkanizma, bölgenin en hâkim kesimini oluşturmakta olup, en uç noktada denizden 2288 m. yüksekliktedir (Koç, 1990; Işık, 1994).



Şekil 3.2. Karadağ volkanizmasının konumu.



Şekil 3.3. Karadağ Volkanizması.

3.1.3. Madenşehir Köyü'nün fiziki konumu, nüfusu ve ekonomisi

Madenşehir Köyü, Karadağ volkanizmasının kuzeydoğu kesiminde, denizden yaklaşık olarak 1218 m. yükseklikte (Şekil 3.3). Köyün, 2019 yılı nüfusu, 313 kişi olup, köydeki temel ekonomik faaliyetler, tarım ve hayvancılıktır (Akci ve ark., 2016). Mevcut köy sahası, içerisinde bulunan antik kalıntılar nedeniyle, koruma altına alınmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Madenşehir Köyü'nün genel görünümü.

3.1.4. Karaman bölgesinin iklim durumu

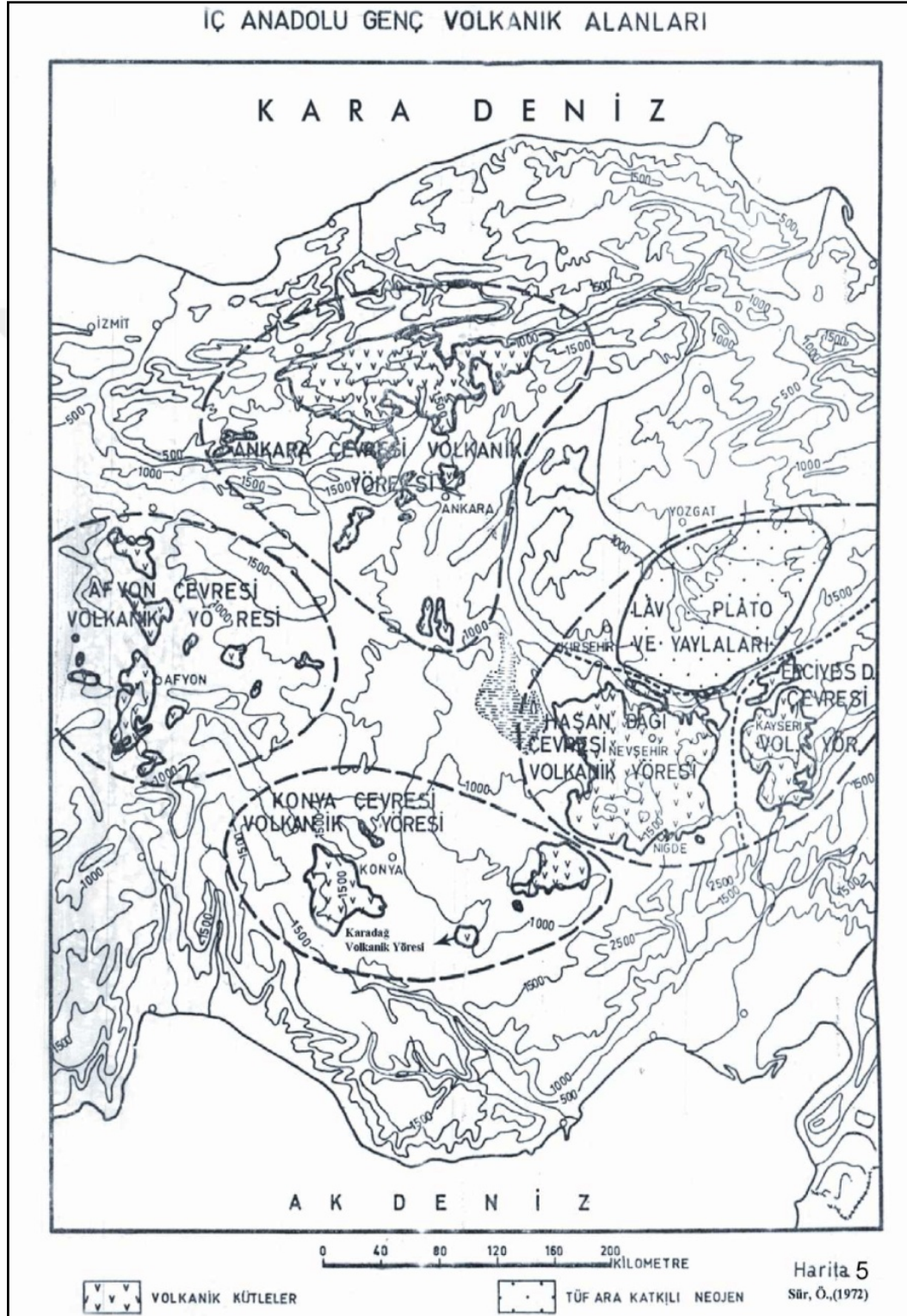
Karaman ili, karasal iklim karakterinin hâkim olduğu bir bölgedir. Bölge, yaz aylarında sıcak ve kurak, kış aylarında ise soğuk ve kar yağışlıdır (Çizelge 3.1). Bölgenin meteoroloji verilerine göre; en düşük ortalama sıcaklıklar ocak ayında, en yüksek ortalama sıcaklıklar ise temmuz ayında görülmektedir. Bölgeye düşen en düşük yağış miktarı ağustos ayında, en yüksek yağış miktarı ise aralık ayında ölçülmüştür (MGM, 2019).

Çizelge 3.1. 1951–2018 dönemi Karaman meteoroloji istasyonu kayıtları (MGM, 2019).

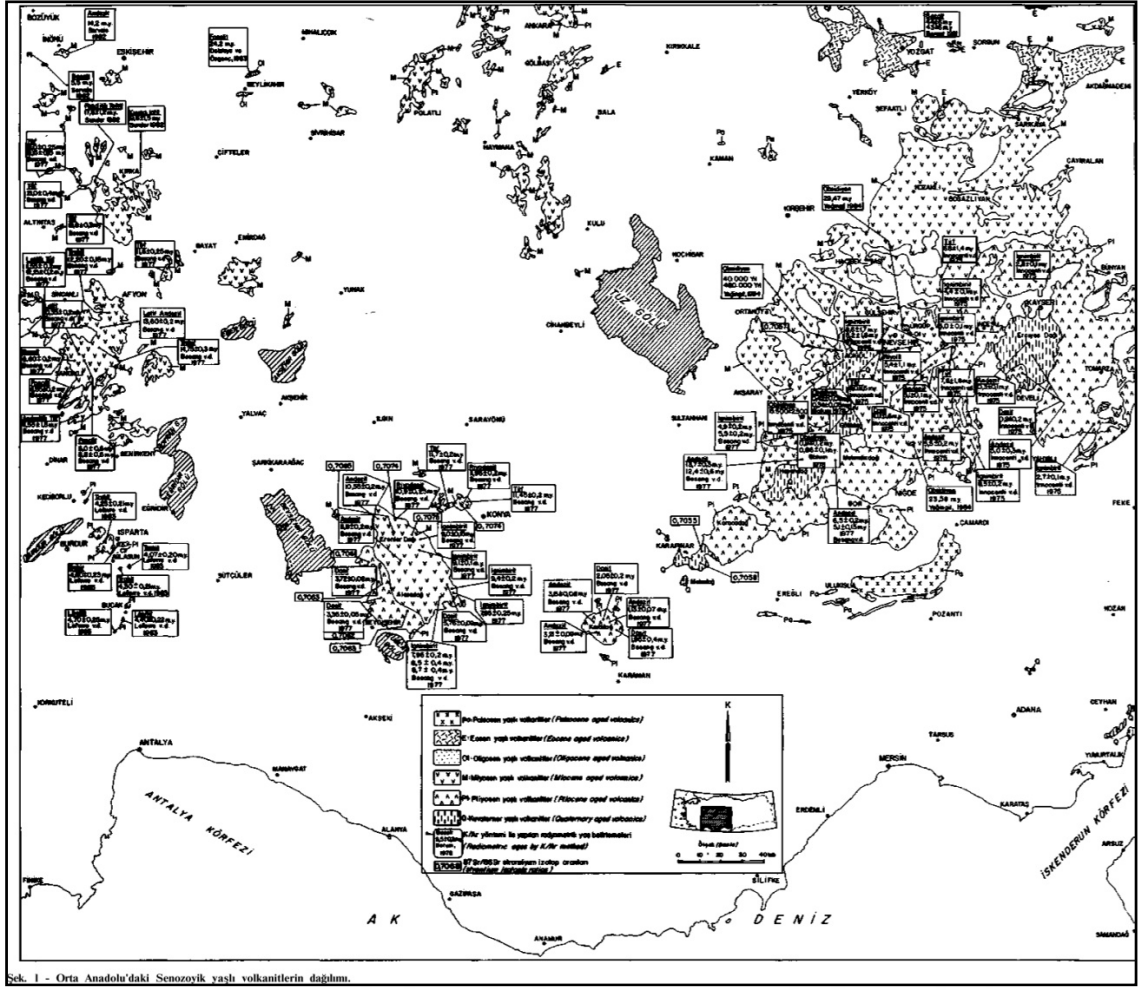
Ay	Sıcaklık (°C)			Aylık toplam yağış ortalamaları (kg/m ²)
	Ortalama	Minimum	Maksimum	
Ocak	0.5	-3.8	5.5	41.4
Şubat	1.9	-2.7	7.3	34.7
Mart	6.3	0.5	12.5	37
Nisan	11.5	5.0	18.2	36.1
Mayıs	16	8.8	23.2	36.5
Haziran	20.2	12.4	27.7	22.4
Temmuz	23.4	15.2	31.1	4.3
Ağustos	22.9	14.6	31.0	3.9
Eylül	18.7	10.3	27.1	7.5
Ekim	12.9	5.7	20.6	28
Kasım	6.9	1.1	13.6	33.4
Aralık	2.5	-1.8	7.5	46.5

3.1.5. Karadağ bölgesinin jeolojisi

İç Anadolu'nun güney kesimindeki volkanik saha "Konya Çevresi Volkanik Yöresi" olarak adlandırılmaktadır (Sür, 1972) (Şekil 3.5). Karaman volkanitleri, Konya volkanitlerinin doğuya doğru uzanan bir parçasıdır (Ercan, 1986) (Şekil 3.5 ve 3.6).



Şekil 3.5. Konya Çevresi Volkanik Yöresi (Sür, 1972).



Şekil 3.6. Orta Anadolu'daki Senozoyik yaşlı volkanitlerin dağılımı (Ercan, 1986).

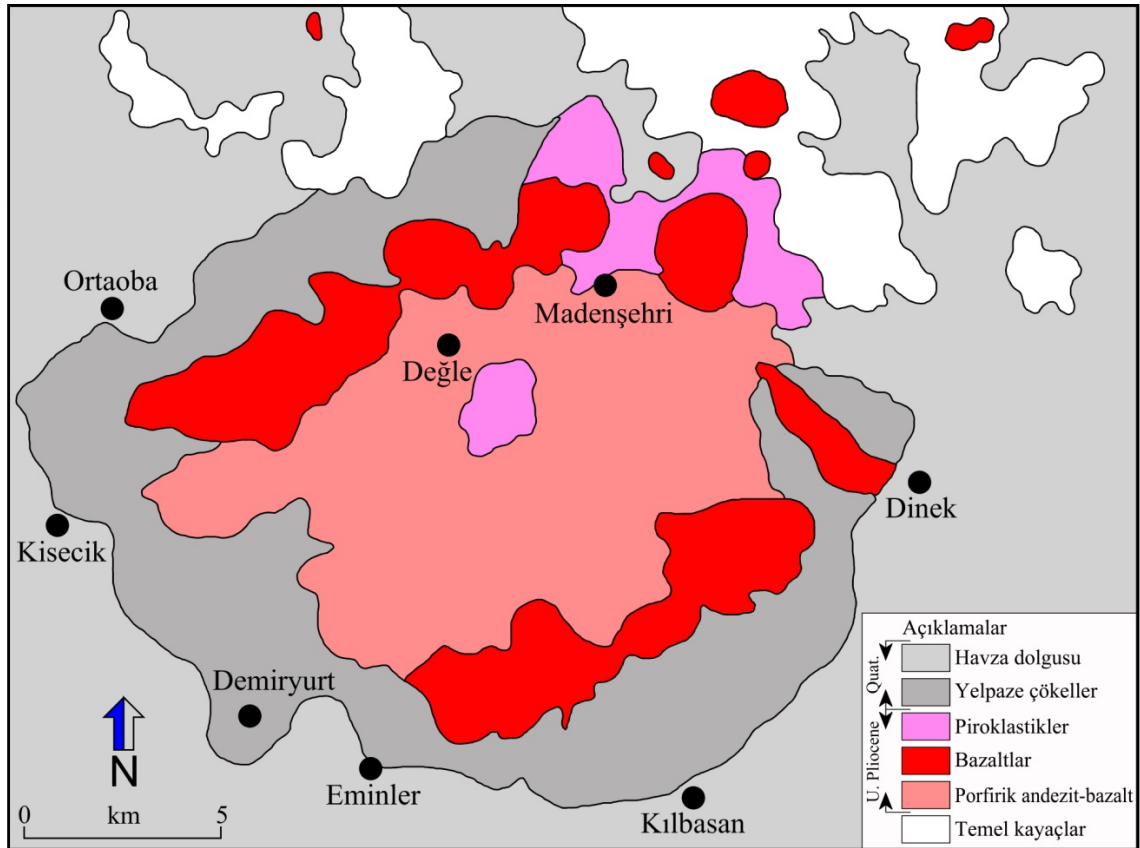
Karaman volkanitlerinin radyometrik yaş testleri; 3.21 ± 0.09 , 3.13 ± 0.08 , 2.05 ± 0.20 , 1.95 ± 0.40 ve 1.13 ± 0.07 milyon yıl sonuçlarını vermiş olup, bölgedeki volkanitlerin Üst Pliyosen yaşlı oldukları belirlenmiştir (Besang ve ark., 1977; Ercan, 1986). Gürsoy ve ark. (1998), Karadağ üzerinden aldıkları örneklerle göre, örnek dönemlerini, Geç Pliyosen olarak tespit etmiştir.

Karadağ volkanizması, kalkalkalen andezitik ve dasitik bir volkan olarak tanımlanmaktadır (Ercan, 1986). Schleicher ve Schwarz (1977)'a göre, Karadağ volkanizması; 5 evrede meydana gelmiş olup, volkanitleri oluşturan magmanın yüksek basınç altında oluştuğu, bu özelliğin, kabuksal bir plakanın çökmesi ile açıklanabileceği savunulmaktadır.

Ermin (2005)'e göre bölgedeki volkanik kayalar; Mercik Volkanitleri, Sızak-Kartallık-Kızıldağ Volkanitleri, Merkez Volkanitleri ile Bozdağ ve Değle Dağ Volkanitleri (Genç Andezitler) olmak üzere dört türdedir. Işık (1994)'a göre ise

bölgedeki volkanik kayaçlar; Mercik Andeziti, Milizli Proklastikleri, Kartallık-Sızak Andeziti, Karadağ Andezitleri ve Değle Dağ-Bozdağ Andeziti olmak üzere beş türdedir.

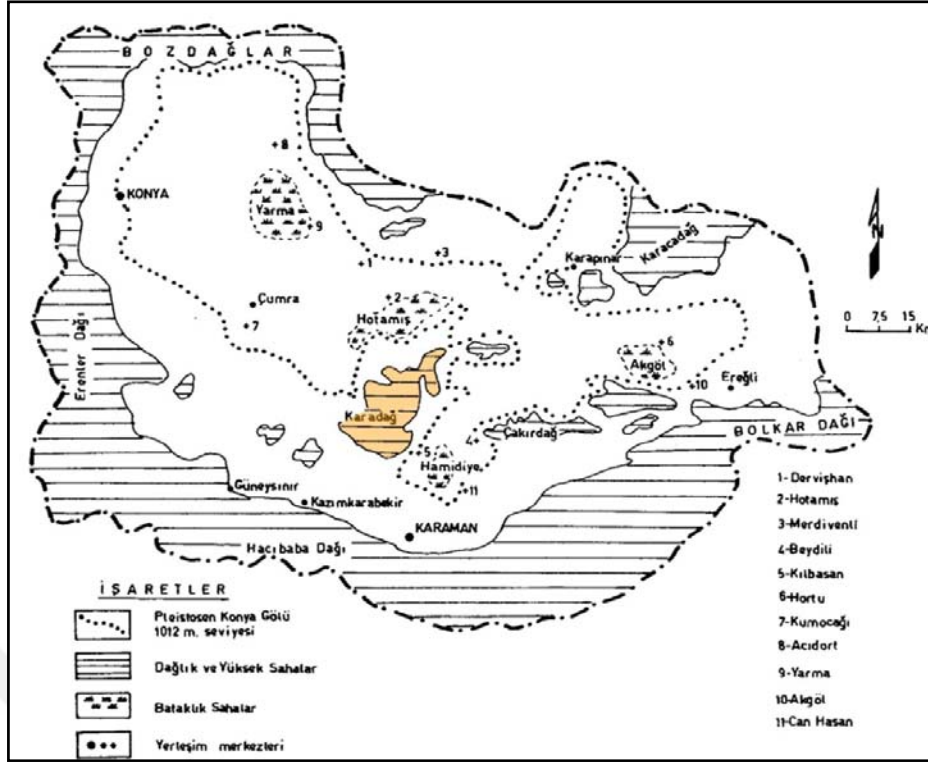
Madenşehir Köyü'nün çevresinde bulunan ve bölgedeki anıtların taş ocağı olarak kullanılan tepelerdeki, jeolojik birimlere ait detaylı haritalar, Işık (1994) ve Gürsoy ve ark. (1998) tarafından çizilmiştir. Gürsoy ve ark. (1998)'a göre, bu bölgelerdeki jeolojik birimler; porfirik andezit, porfirik bazalt ve bazalt olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Karadağ jeoloji haritası (Gürsoy ve ark. (1998)'dan değiştirilerek alınmıştır).

3.1.6. Karaman ve Karadağ bölgesinin tarihi

Karadağ-Binbirkilise bölgesi ve yakın çevresi, uygarlığın ilk dönemlerine değin tarihlenen, birçok yerleşime ev sahipliği yapmaktadır. Bölgede rastlanan ilk tarih öncesi yerleşimlerin biçimlenmesinde, Eski Konya Gölü'nün etkisi büyüktür. Konya kapalı havzasının tabanını, Kuaterner'in Pluvial döneminde kaplayan bu göl, oldukça geniş bir alana yayılmaktaydı (Biricik, 1992). Son Pluvial'in sonlarına doğru, Pluvial göller çekilmeye başlamış ve en sonunda da bu göl kurumuştur (Erol, 1980). Günümüzde, Karadağ'ın kuzey kesiminde bulunan, Hotamış Gölü ve Acıgöl, Kuaterner Konya Gölü'nün kalıntılarıdır (Biricik, 1992) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Eski Konya Gölü'nün sınırları (Tapur, 2009).

Bahar (1998)'a göre, günümüzden önce 8.600-7.500 yıl aralığında çekildiği düşünülen bu gölün etrafında, yerleşimler kurulmaya başlamıştır. Tapur (2009)'da, bir kısmı doğrudan bu gölün kenarında, bir kısmı ise gölün çekilmesine bağlı olarak ortaya çıkan, tarih öncesi yerleşimlerden bahsetmektedir. Bu tarih öncesi yerleşimlerden, Karadağ ve yakın çevresinde bulunan höyükler; Pınarbaşı, Canhasan, Boncuklu Höyük ve Çatalhöyük'tür. Söz konusu yerleşimler, Orta Anadolu'nun en erken Neolitik dönem yerleşimleri arasında sayılmaktadırlar (Mellaart, 2003; Gündüz, 2016).

Karadağ-Binbirkilise bölgesinin, Kalkolitik ve İlk Tunç Çağı dönemlerine ilişkin bilgiler oldukça sınırlıdır. Bölge, Orta Tunç Çağı ile beraber, Hititler'in (M.Ö. 1700-1200) yönetimi altına girmiştir. Başkentleri, Boğazköy (Hattuşaş) olan Hititler, Kral II. Muvattaliş döneminde, Mısırlılar ile yapılan Kadeş Savaşı öncesinde, başkentlerini Tarhuntassa'ya taşımışlardır (Bahar ve ark., 2007; Bahar, 2014; Turgut, 2015). Bahar (2014)'a göre, Tarhuntassa kenti, günümüzde Konya Hatip Kayalığı bölgesinde yer almaktadır. Burada, Kral II. Muvattaliş'in oğlu, Kral Kurunta'nın bir anıtı bulunmaktadır. Tarhuntassa, aynı zamanda, Hitit Devleti içerisinde yer alan, idari bir bölümlenmeydi (Bahar ve ark., 2007) ve Karadağ'da, bu bölgenin sınırları içerisinde ya da sınırında yer almaktaydı (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Tarhuntassa Bölgesi içerisinde Karadağ'ın konumu (Bahar ve ark., 2007).

Karadağ'ın, Hitit metinlerinde geçen, Sarlaimi Dağı olabileceğine dair görüşler vardır (Garstang, 1944; Turgut, 2013). Dağda yer alan, Mahalaç Tepesi ve dağın diğer kesimlerinde, Hitit dönemine ait çeşitli yazıtlar ve sunaklar yer almaktadır (Ramsay ve Bell, 1909; Kurt, 2013; Turgut, 2013). Yörede rastlanan kalıntılar üzerine fikir yürüten araştırmacılar, bölgenin Hititler döneminde, önemli bir merkez olduğunu düşünmektedirler (Ramsay ve Bell, 1909; Eyice, 1971; Turgut, 2013).

Hitit İmparatorluğu, batıdan gelen kavimlerin, Anadolu'yu istila etmeleri (Ege Göçleri) neticesinde, M.Ö. 1200 yılı dolaylarında yıkılmıştır (Akurgal, 2014; Aydınğün, 2014; Çapar, 2018). Hititler'in yıkılmasından sonra, 400 yıla yakın bir süre, Orta ve Batı Anadolu tarihi açısından, bilgilerin oldukça sınırlı olduğu bir dönemdir (Bahar, 2014). Asur metinlerine göre, Hitit İmparatorluğu yıkıldıktan sonra, ortaya çıkan yerel krallıklar, siyasi bir biçimde teşkilatlanarak, Tabal Ülkesini oluşturmuşlardır (Kurt, 2010a). Bu dönemde Karadağ bölgesi, Tabal Konfederasyonu sınırları içerisinde kalmaktaydı (Kurt, 2009; Dönmez, 2012).

Yine bu dönemde, Karadağ ve onun hemen kuzeyinde bulunan Kızıldağ, Hartapuş Krallığı'na ev sahipliği yapmıştır (Bahar, 2014). Bu krallığa dair bilgiler sınırlıdır. Karadağ ve Kızıldağ üzerinde bulunan, Kral Hartapuş'a ait hiyeroglif yazıtlar ve anıt, M.Ö. 12-8. yy.'lar arasına tarihlendirilmektedir (Karağuz ve ark., 2002; Bahar, 2014).

Karadağ bölgesi, M.Ö. 8. yy.'dan itibaren, Friglerin etki alanı içerisine girmiştir (Bahar, 1991; Akurgal, 2014; Bahar, 2014; 2016). Friglerin başkenti Gordion'un, M.Ö. 696-5 ya da 690 yıllarında, Kimmer akınları ile tahrip edilmesi üzerine, Frig Devleti eski gücünden uzaklaşarak sönükleşmiştir (Uçankuş, 2002; Bahar, 2014). M.Ö. 6. yy.'dan sonra bölge, Lidya Devleti'nin etki alanı içerisine girmiştir (Bahar, 1991; 2015). Lidyalılar, doğuda Asur İmparatorluğu'nu yıkarak yönetime gelen Medlerle, M.Ö. 590-585 yılları arasında, Kızılırmak dolaylarında savaşmış ve iki devlet M.Ö. 585 yılında bir barış anlaşması imzalayarak, sınırlarını Kızılırmak nehri olarak belirlemişlerdir (Bahar, 2014). İran'da, Medlerin yerine geçen Persler, Anadolu'yu işgale başlamış, M.Ö. 547 yılında Lidyalılar ile karşılaşmış, sonrasında Lidyalılar'ın Başkenti Sardes'i alarak, Lidya uygarlığına M.Ö. 546 yılında son vermişlerdir (Bahar, 2014).

Bölge, bütün Anadolu gibi, M.Ö. 546-333 yılları arasında, Pers egemenliğinde kalmıştır (Yılmaz, 2005; Akurgal, 2014). Makedonyalı Büyük İskender, Anadolu'daki Pers hâkimiyetine, M.Ö. 334 yılında Granikos, M.Ö. 333 yılında ise İssos'da, Persleri yenerek son vermiştir (Akurgal, 2014; Bahar, 2014). Böylece Karadağ bölgesi, Büyük İskender İmparatorluğu'nun yönetimi altına girmiştir.

Büyük İskender'in ölümünden sonra (M.Ö. 323), imparatorluğu, komutanları arasında bölünmüş, fakat komutanlar arasındaki mücadeleler sürmüştür. M.Ö. 281 yılında Seleukos, Büyük İskender İmparatorluğu'nun omurgası sayılabilecek önemli bir parçasında, büyük bir devlet kurmuştur (Bahar, 2014). Karadağ bölgesi de bu dönemde, Seleukoslar idaresi altına girmiştir.

M.Ö. 190 yılında, Roma İmparatorluğu ile müttefikleri Rodos ve Bergama ordularının, Magnesia'da, Seleukos Kralı III. Antiokhos'u yenmesi; Roma'nın da, M.Ö. 189 yılında Orta Anadolu'ya yaptığı Galat seferi ile Galat Boylarını yenmesi üzerine, M.Ö. 188 yılında, Apameia Barış Anlaşması yapılmıştır (Bahar, 2014). Bu anlaşmaya göre Karadağ bölgesi, Bergama Krallığı sınırları içerisine dâhil olmuştur (Doğanay, 2005; Yılmaz, 2005; Kurt, 2010b).

Bergama Kralı III. Attalos'un vasiyeti üzerine (M.Ö. 133), Bergama Krallığı'nın toprakları Roma'ya bağlanmış ve M.Ö. 129 yılında, Anadolu'da ilk Roma eyaleti kurulmuştur (Doğanay, 2005; Bahar, 2014). Bu düzenlemede, Lykaonia ve Kilikia bölgeleri, Kappadokia Krallığı'na bırakılmıştır (Doğanay, 2005).

Lykaonia bölgesi, M.Ö. 103/2 yılında kurulan Kilikia eyaleti ile Roma'ya bağlanmıştır (Bilgin, 2004; Doğanay, 2005; Yılmaz, 2005; Doğanay, 2009; Kurt, 2010b). Böylece Karadağ bölgesi de, Roma idaresi altına girmiştir. Hititler döneminin ardından, Karadağ bölgesinde rastlanan ilk antik kalıntılar, Roma dönemine tarihlendirilmektedir. Günümüzde, Madenşehri adıyla anılan yerleşimin, antikçağdaki adı Barata olup (Ramsay, 1890; Ramsay ve Bell, 1909; Calder ve Bean, 1958; Åhlfeldt, 2018), bu ismin, Hitit metinlerinde geçen Barmeta ismi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Hrozný, 1936; Kurt, 2011). Ayrıca, Umar (2008)'da bu ismi, Hitit metinlerinde geçen Waratta ile ilişkilendirir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Barata'nın konumu (Calder ve Bean (1958)'dan değiştirilerek alınmıştır).

Karadağ bölgesi; Roma İmparatorluğu idaresindeyken, kimi zaman Lykaonia, kimi zaman Kilikia, kimi zaman ise İsaoria idari bölgeleri içerisinde yer almıştır (Ramsay ve Bell, 1909; Doğanay, 2005; Yılmaz, 2005; Doğanay, 2009; Kurt, 2011; Bahar, 2016; Boran, 2018) (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Karadağ bölgesinin Roma İmparatorluğu döneminde dâhil olduğu idari bölümlenmeler (Bahar (2016)’dan tadilen alınmıştır).

Roma İmparatorluğu, M.S. 313 yılında, Milano Fermanı ile Hristiyanlığa yasal bir statü vermiş (Doğancı, 2017), ardından İznik Konsili M.S. 325 yılında toplanmıştır (Darcan, 2013). Bu yıllarda Barata, İsauria bölgesi içerisinde anılmaktadır (Ramsay, 1890). Bu veri dışında, bölgeye ilişkin bilgiler çok sınırlıdır. Bu dönem ile ilişkilendirilen, Hristiyan bir azize dair bir anlatı olan, “Kuyudaki Yahya-Joannes in the Well” öyküsü, Baratalılar Ormanı’nda geçmektedir (Ramsay, 1890; Ramsay ve Bell, 1909; Ramsay ve Pektaş, 1960).

M.S. 395 yılında, Roma İmparatorluğu’nun, Doğu ve Batı olmak üzere, ikiye ayrılması sonucunda, Karaman ve Karadağ bölgesi, Doğu Roma (Bizans) İmparatorluğu sınırları içerisinde kalmıştır.

Karaman ve Karadağ bölgesinde, Bizans egemenliği devam etmekle birlikte, bölge, M.S. 7. yy. ile 9. yy. arasında, Arap orduları tarafından, Anadolu’ya yapılan akınlarda, birkaç kere ve kısa süreli olarak işgal edilmiştir (Kılıç, 2004; Yılmaz, 2005; Dülgerler, 2006; Doğanay, 2009; Tapur, 2017). Binbirkilise bölgesinde bulunan yapılar, bu akınlardan zarar görmüştür (Ramsay ve Bell, 1909; Eyice, 1971; Doğan, 2012; Jackson, 2017).

Karaman, M.S. 1165 yılında, Anadolu Selçuklu Devleti’nin idaresi altına girmiştir (Konyalı, 1967; Tapur, 2017). Anadolu Selçuklular döneminde, Madenşehir’nde; 1259 ve 1275 yıllarında IV. Kılıçarslan, 1272 ve 1273 yıllarında III. Keyhusrev, 1288 yılında II. Mes’ud ve Ertanoğulları’ndan Alâeddin Ertana adına gümüş paralar kestirilmiştir (Konyalı, 1967; Eyice, 1971). Selçukluların bölgeyi fethinden sonra, Karaman’a yerleşen Türk boyları, 1243 Köseadağ Savaşı sonrasında

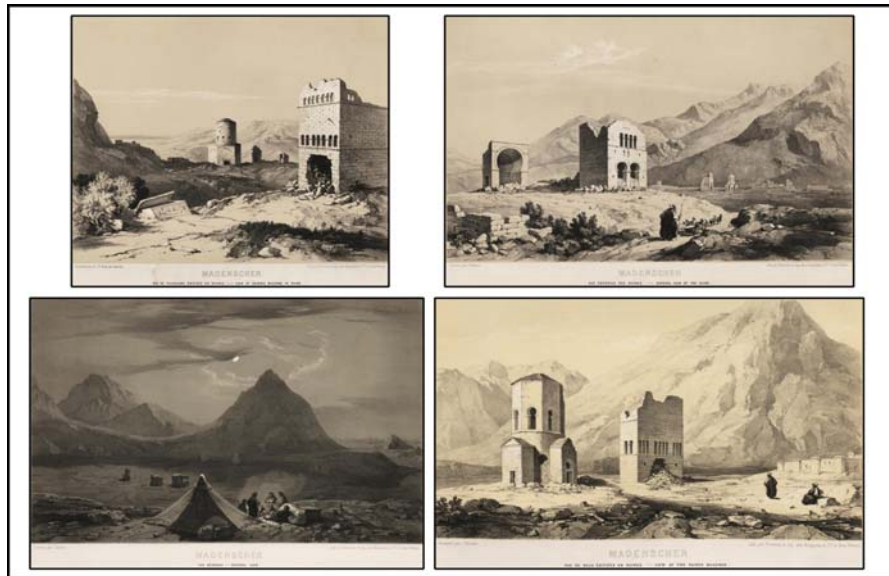
ortaya çıkan otorite boşluğu neticesinde, Karamanoğulları Beyliğini kurmuşlardır (Dülgerler, 1995; Kılıç, 2004; Dülgerler, 2006).

Karamanoğulları Beyliği ve toprakları, kesin olarak 1467 yılında, Osmanlı İmparatorluğu idaresi altına girmiştir (Konyalı, 1964; 1967). Osmanlı arşiv kayıtlarına göre bu dönemde, Karadağ bölgesindeki yerleşimler; İyne Devle (Aşağı Devle) ile Devle olarak belirtilmektedir (Konyalı, 1967).

Değinilen bu kaynaklar dışında, Karadağ bölgesinin 15. yy. ile 19. yy. arasındaki durumuna ilişkin bilgiler çok sınırlıdır. 19. yy.'ın başından itibaren, Anadolu'yu ziyaret eden batılı seyyahların kaleme aldığı izlenimler ve oluşturdukları görsel materyaller ile bölgenin durumuna dair genel bir çerçeve oluşturulabilmektedir.

William Martin Leake (1824), "Journal of a Tour in Asia Minor" adlı eserinde, "Chapter III-Continuation of the Journey from Konia" bölümünde, Binbirkilise bölgesinden kısaca bahsetmiştir. Seyyah, Binbirkilise bölgesi içerisine girmemiş, insanların anlatıları vasıtasıyla, yöredeki kalıntılardan kısaca bahsetmiştir.

Léon de Laborde; Madenşehir'i 1826 yılında ziyaret ederek, bölgedeki anıtların o zamanki durumlarını gösteren, dört adet gravür çizmiştir. Laborde; çizdiği gravürleri ve bölgeye dair izlenimlerini sonraki yıllarda yayınlamıştır (Marquis de Laborde, 1838). Çalışma, bölgedeki anıtların 1826 yılındaki durumlarını göstermekte olup, sonraki yıllarda bölgeye gelen araştırmacılar, bu gravürler üzerinden, tahrip olan ya da kaybolan yapıların konumlarını ve mimari özelliklerini belirleyebilmişlerdir (Şekil 3.12).



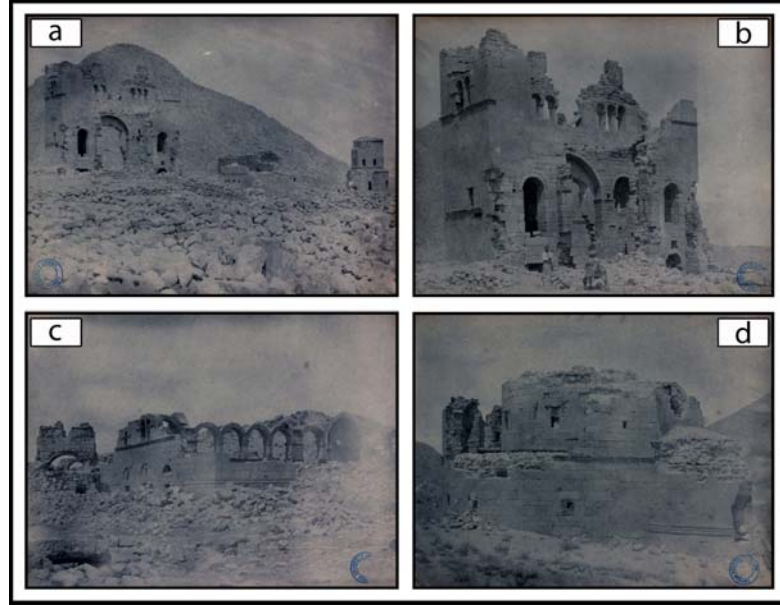
Şekil 3.12. Léon de Laborde'nin 1826 yılında çizdiği gravürler (Marquis de Laborde, 1838).

Karadağ bölgesini ziyaret eden bir başka Avrupalı, İngiliz Jeolog William John Hamilton'dur. Hamilton, Karadağ bölgesini, 1837 yılında ziyaret etmiş, bölge hakkındaki izlenimlerini ve bölgede yer alan anıtları detaylı olarak betimlemiştir (Hamilton, 2013). Hamilton, tarihi bölgeyi genel itibarıyla: *“Harabeler, değişik boyutlarda tümüyle gri ve kırmızı trakitle inşa edilmiş yirmiye yakın Bizans kilisesi, birkaç tarihi mezar ve lahitler ve pek çok derin yeraltı mahzenlerinden meydana geliyordu. Şehir özellikle hafif kuzeydoğuya doğru meyilli vadinin batı yakasına kurulmuş...”* biçiminde tanımlamış, sonrasında ise yapıları, konumları ve durumları bakımından tarif etmiştir (Hamilton, 2013).

Charles Texier, Karadağ bölgesine yapmış olduğu ziyarete ilişkin izlenimlerini, 1862 yılında yayınladığı *“KÜÇÜK ASYA-Coğrafyası, Tarihi ve Arkeolojisi”* adlı kitabında kaleme almıştır. Texier, çalışmasında bölgeden: *“Karaman'ın bir konak mesafesi kuzeyinde bulunan Karadağ'daki harabeler, Bin Bir Kiliseye benzeyen önemli eserdir. Bunlar, orta çağın hangi dönemine ait olduğu belirlenemeyen çok sayıda terk edilmiş ve harabe hâline gelmiş manastırlarıdır. Karadağ, lavları siyah renkli trakit cinsi eski bir yanardağdır. Adı da bundan dolayı Türkler tarafından böyle konulmuştur.”* biçiminde bahsetmiştir (Texier, 2002).

Davis, 1879 yılında yayınladığı *“Life in Asiatic Turkey”* adlı kitabında, Karadağ bölgesindeki izlenimlerine yer vermiştir. Davis, bölgede 25 ile 30 adet arasında olduğunu düşündüğü kilise yapılarından ve çeşitli mezar anıtlarından bahsetmiştir (Davis, 1879).

Bölgede çalışma yapan bir başka gezgin, John Henry Haynes'dir. Haynes, 1884-1887 yılları arasındaki Anadolu seyahatlerinde, bölgedeki anıtların fotoğraflarını çekmiştir (Haynes, 1892; Ousterhout, 2013; Haynes, 2018). Fotoğraflar, bölgedeki anıtların 1887 yılındaki durumlarını göstermekte olup, bu yapıların birçoğu günümüze ulaşamamıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. John Henry Haynes'in 1887 yılında çektiği fotoğraflar, a) 8 ve 13 No'lu kiliseler, b) 13 No'lu kilise, c) 32 ve 39 No'lu kiliseler, d) 10 No'lu kilise (Haynes, 2018).

Avrupalı gezginlerin, bölgeye ilişkin izlenimlerini yayınlamaya başlamasıyla, Karadağ bölgesi, sanat tarihi ve arkeoloji alanında çalışma yapan bilim insanlarının dikkatini çekmiştir. Bu sayede, bölgede yapılan çalışmalar, bilimsel disiplinle oluşturulmuş ürünler biçiminde kendisini göstermeye başlamıştır.

Sir William Mitchell Ramsay, Karadağ bölgesine gelerek incelemeler yapmış ve bu incelemelerden vardığı çıkarımlara, 1890 yılında yayınladığı kitabında yer vermiştir (Ramsay, 1890; Ramsay ve Pektaş, 1960). Ramsay, antik yol ve antik coğrafi referansları göz önüne alarak, bölgedeki kalıntıların, Barata antik kenti olduğu kanaatine varmıştır.

Josef Strzygowski, bölgedeki anıtlara yönelik, sanat tarihi ve arkeoloji disipliniinde detaylı çalışmalar yapmış ve bunları kitabında yayınlamıştır (Strzygowski, 1903). Rus epigrafi uzmanı E. Pridik ve arkeolog J. I. Smirnov'un 1895 yılında bölgede yaptığı çalışmalar ile İngiliz arkeolog J. W. Crowfoot'un 1900 yılında yaptığı çalışmalar, Avusturyalı sanat tarihçisi Strzygowski tarafından, Hristiyan sanatının oluşumu ve gelişimi perspektifinde yorumlanmıştır.

Holzmann, bölgede bulunan bazı anıtların; plan, kesit, görünüş ve süslemelerini detaylı olarak çizerek, 1904 yılında bir kitap halinde yayınlamıştır (Holzmann, 1904).

W. M. Ramsay ile G. Bell, Karadağ bölgesindeki anıtlara ilişkin, 1905 ile 1909 yılları arasında önemli çalışmalar yapmış ve yaptıkları çalışmaları bir kitap olarak yayınlamışlardır (Ramsay ve Bell, 1909). Çalışmada, bölgedeki anıtların fotoğrafları,

planları ve krokileri verilmiş, bulunan kitabeler okunmuş ve bölgenin antikçağdan itibaren süregelen tarihine ilişkin çıkarımlar yapılmıştır.

İbrahim Hakkı Konyalı, Karadağ bölgesinde bulunan anıtlara ilişkin izlenimlerini, 1967 yılında yayınladığı “*Abideleri ve Kitabeleri ile Karaman Tarihi, Ermenek ve Mut Abideleri*” adlı kitabında aktarmıştır (Konyalı, 1967). Çalışmada, bölgenin tarihine ilişkin bilgiler verilmiş, ayrıca bölgede bulunan anıtların durumları da fotoğraflarla belgelenmiştir (Şekil 3.14).



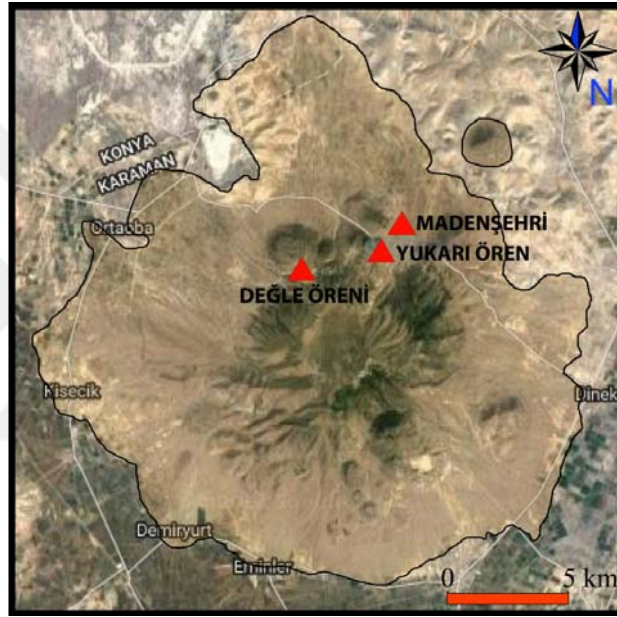
Maden şehrinde tarihî bir Bizans türbesi.

Şekil 3.14. M-1 mezar anıtının 1967 yılındaki durumu (Konyalı, 1967).

Semavi Eyice, 1967 ile 1970 yılları arasında, Karadağ bölgesinde bulunan anıtlara yönelik çalışmalar yapmıştır. Eyice, yaptığı bu çalışmaları bir kitap halinde yayınlamıştır (Eyice, 1971). Çalışma, W. M. Ramsay ile G. Bell'den yaklaşık 60 yıl sonra gerçekleştirilmiş ve bölgedeki anıtların, geçen zaman içerisinde maruz kaldığı tahribatı göstermiştir.

3.1.7. Karadağ bölgesindeki antik yerleşimler

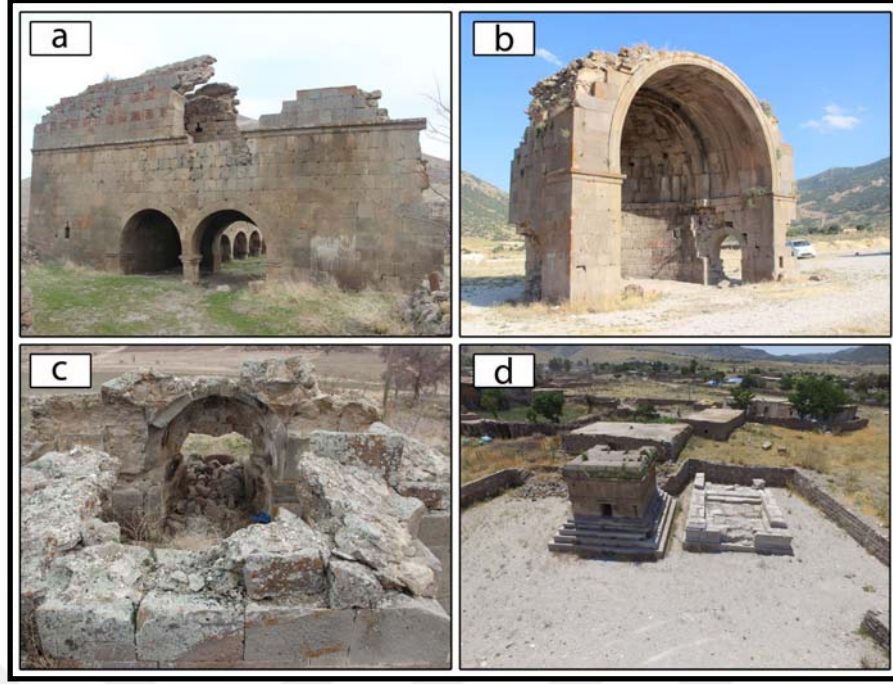
Karadağ-Binbirkilise bölgesinde bulunan antik yerleşimler, birbirlerinden ayrı biçimlerde kümelenmişlerdir. Bu kümelenişlerde, bölge coğrafyasının doğrudan etkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu yerleşimlerin antik dönemlerde birbirleri ile nasıl ilişkiler içerisinde oldukları, henüz tam anlamıyla bilinmemektedir. Araştırmacılar, bölgede bulunan kalıntıları, dört ana grup içerisinde ele almaktadırlar. Bu gruplar; Madenşehir Öreni, Yukarı Ören, Değle Öreni ve Dağlardaki Kalıntılar olarak sıralanmaktadır (Eyice, 1971; Topal, 2000; Kurt, 2009; 2011) (Şekil 3.15). Ayrıca, dağın krater çukurunda da, çeşitli dönemlere ait kalıntılar bulunmaktadır.



Şekil 3.15. Karadağ-Binbirkilise bölgesinde bulunan antik yerleşimler ve konumları.

3.1.8. Madenşehir’nde bulunan önemli anıtlar

Madenşehir’nde bulunan anıtlar, ilk olarak Léon de Laborde tarafından, 1826 yılında gravürlere çizilerek belgelenmiştir (Marquis de Laborde, 1838). Sonraki yıllarda çalışma yapan araştırmacılar, bölgedeki anıtlarla ilgili çeşitli yayınlar yapmışlardır (Strzygowski, 1903; Ramsay ve Bell, 1909; Eyice, 1971). Yayımlanan bu anıtların önemli bir kısmı, günümüze ulaşamamış ya da Madenşehir Köyü yerleşim sahasının altında kalmıştır. Günümüze ulaşabilmiş önemli anıtlar arasında; 1 No’lu Bazilika, Exedra, 12 No’lu Şapel ve Anıt Mezarlar (Mausoleums) sayılabilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Madenşehir’nde bulunan önemli anıtlar, a) 1 No’lu Bazilika, M.S. 5. yy., b) Exedra, M.S. 4-5. yy., c) 12 No’lu Şapel, erken Bizans dönemi, d) Anıt Mezarlar (Mausoleums), M.S. 2-5. yy.

3.1.9. Karadağ bölgesinde rastlanan mezar tipleri

Karadağ bölgesindeki antik mezarlar ve tipleri konularında yapılan araştırmalar, henüz yeterli seviyede değildir. Bölgede bulunan mezar tiplerini gruplayan tek çalışma, Kurt (2011)’a aittir. Bölgede yapılmış olan diğer çalışmalarda, mezarların tekil ölçekte mevcut durumları ile mimari, üslupsal ve sanatsal özellikleri konu edilmiştir (Strzygowski, 1903; Ramsay ve Bell, 1909; Konyalı, 1967; Eyice, 1971; Kurt, 2011; 2013; Yıldız, 2016). Anılan kaynaklarda geçen bilgiler sentezlendiğinde, bölgede dokuz tipte antik mezara rastlanmaktadır. Bu tipler;

- Podyumlu anıt mezar (Yunanca: Mausoleum)
- Tapınak planlı anıt mezar
- Aziz mezarları (Yunanca: Martyrion-Latince: Martyrium)
- Mezar şapelleri (Yunanca: Parekklesion)
- Kaya ostotekleri
- Yeraltı örgü mezarlar
- Arcosolium’lu mezarlar (kayaya oyulu, üzeri kemer biçiminde mezar)
- Oygu tekne mezarlar (Yunanca: Khamosorion)
- Lahit mezarlar olarak sıralanmaktadır.

4. YÖNTEM

Mezar anıtlarına yönelik, sürdürülebilir bir koruma modeli geliştirilebilmesi amacıyla, 2016-2020 yılları arasında; “Saha ve Büro Çalışmaları” ile “Laboratuvar Çalışmaları” ana başlıkları altında, iki aşamalı bir çalışma süreci takip edilmiştir. Bu süreçlere dair bilgi ve detaylara alt başlıklarda değinilmektedir.

4.1. Saha ve Büro Çalışmaları

Saha ve büro çalışmaları;

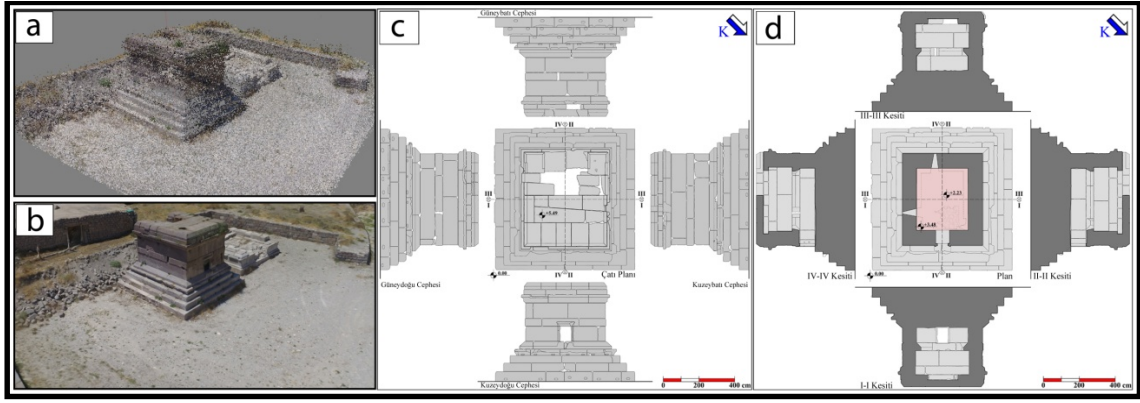
- Anıtların Görsel ve Mimari Belgelemesi ile Tanımı,
- Bozunmaların Gözlem Yoluyla Analizi,
- Litolojik Analiz,
- Tahribatsız Test Uygulamaları,
- Blok Numune Derleme Çalışmaları, olmak üzere beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Anıtların görsel ve mimari belgelemesi ile tanımı

4.1.1.1. Anıtların görsel ve mimari belgelemesi

Mezar anıtlarının, görsel ve mimari olarak belgelenmeleri için, 2016 yılının yaz ve kış dönemlerinde, fotoğraflama ve ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Fotoğraflama çalışmaları için, Cannon 600D fotoğraf makinesi ve DJI Phantom-3 Advanced hava aracı kullanılmıştır. Ölçüm çalışmalarında; lazer düzeç, lazer metre ve şerit metre kullanılarak, yapıların kotları ve mekânsal boyutları tespit edilmiştir.

Anıtların, mevcut durumlarının belgelenmesinde, dijital fotogrametri yazılımlarından yararlanılmıştır. Mezar anıtlarının, Cannon 600D fotoğraf makinesi ve DJI Phantom-3 Advanced hava aracı ile farklı konum ve yüksekliklerden çekilen sıralı fotoğrafları, Agisoft Photoscan Pro ve Autodesk ReCap Photo programlarında işleme sokularak, 3D dijital yapı modelleri elde edilmiştir (Şekil 4.1).

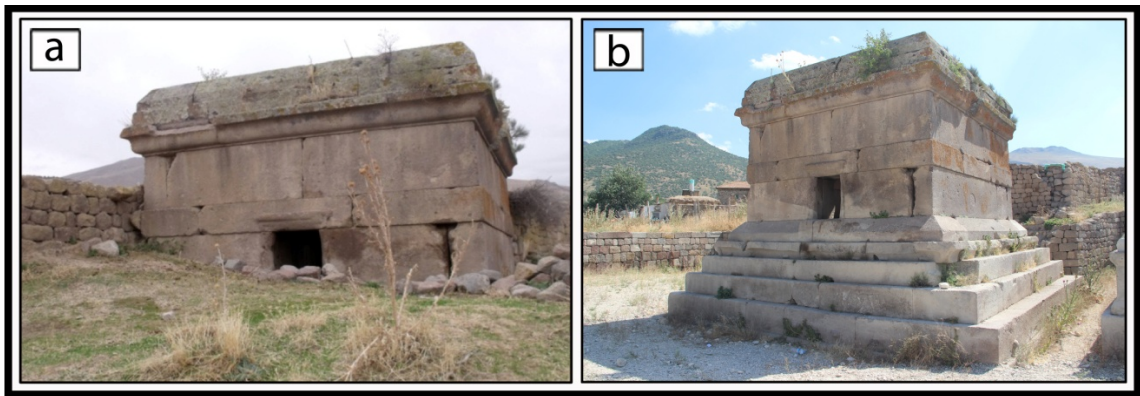


Şekil 4.1. Anıtların görsel belgeleme ve çizim süreçleri; a) Agisoft Photoscan Pro programında oluşturulan ölçekli 3D nokta bulutu, b) Autodesk ReCap Photo programında oluşturulan ölçekli 3D model, c) CAD ortamında hazırlanan mimari plan, cephe ve kesit çizimleri.

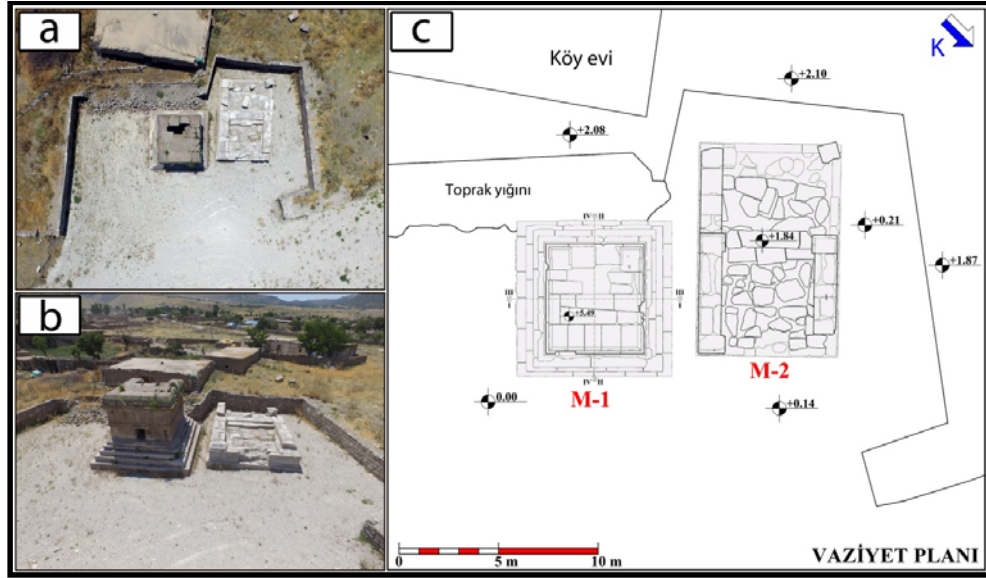
Oluşturulan 3D dijital yapı modellerinden, her cephe ve her kesit için, ölçekli ortofotolar alınmıştır. Bu ortofotolar, yerinde yapılan tetkik ve gözlemlerle birlikte değerlendirilerek, yapıların CAD ortamında mimari plan, cephe ve kesit çizimleri hazırlanmıştır (Şekil 4.1). Mimari çizimler üzerinde, bozunma tipleri ve bozunmuş alanlar, detaylı olarak haritalandırılmıştır. Anıtlarda gözlenen bozunma tipleri fotoğraflanarak, düzenlenen bozunma atlaslarında kataloglanmıştır.

4.1.1.2. Anıtların tanımı

Mezar anıtları; Madenşehir Köyü'nün yerleşim alanı içerisinde, yerleşim sahasının kuzey kesiminde bulunmaktadır. 2015 yılında gerçekleştirilen arkeolojik kazılar ile anıtların içinde gömülü bulundukları toprak katmanını kaldırılmış ve anıtlar bütünüyle ortaya çıkartılmıştır (Yıldız, 2016) (Şekil 4.2). Anıtlar, kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda birbirine oldukça yakındır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. a, b) M-1 mezar anıtının kazı öncesi (Kurt, 2011) ve sonrası durumu.



Şekil 4.3. Anıt mezarların genel durumları; a) hava fotoğrafı, b) anıtların kuzeydoğu yönünden mevcut durumları, c) anıtların vaziyet planı.

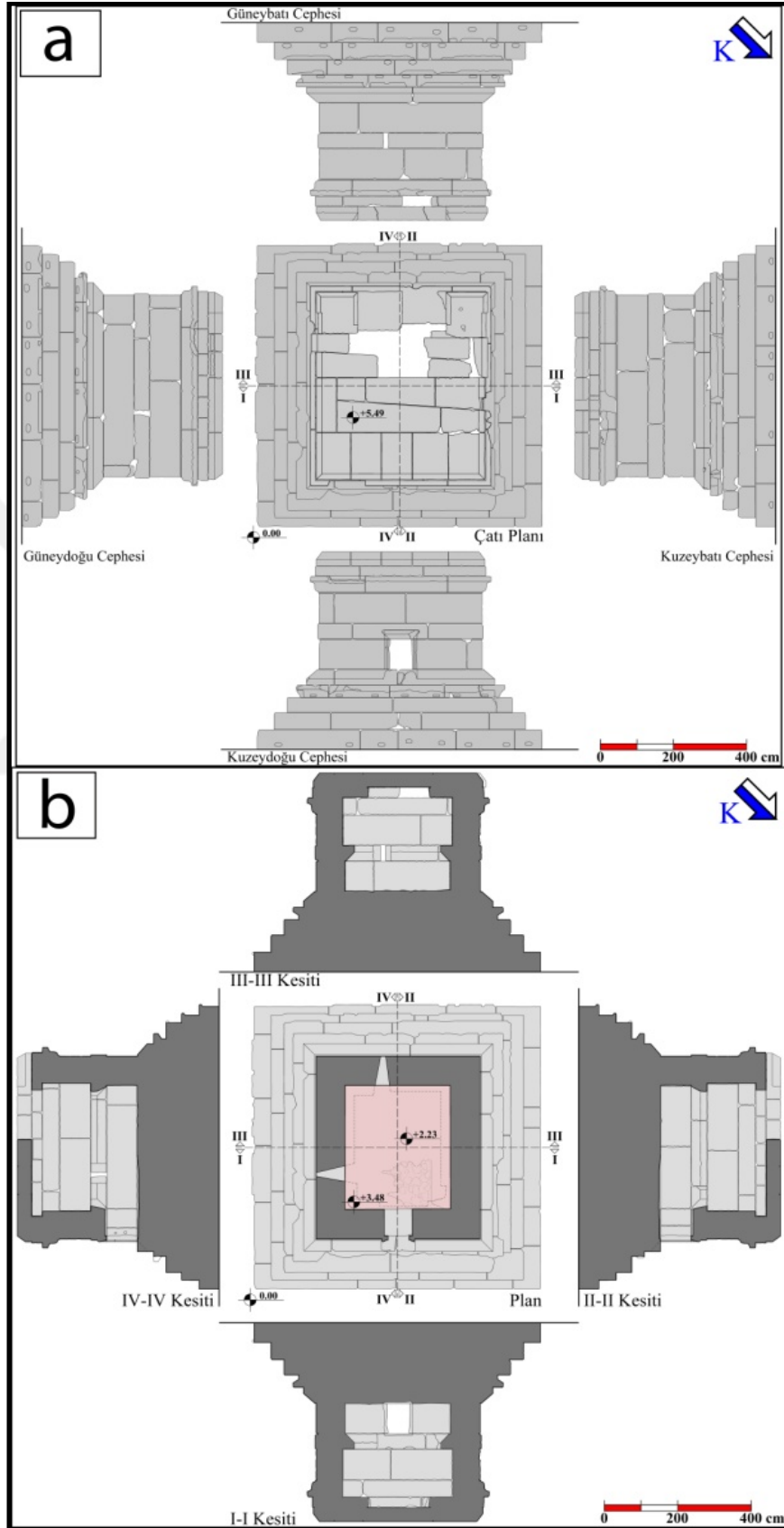
Anıtlardan; podyumlu, üst örtüsü kısmen piramidal ve büyük oranda sağlam olanı M-1, sadece +1.84 m. kotuna kadar kalıntıları bulunanı ise M-2 olarak adlandırılmıştır (Şekil 4.3).

M-1 mezar anıtı, inşa dönemi açısından, M.S. 2-5. yy.'lar arasındaki döneme tarihlendirilmektedir (Ramsay ve Bell, 1909; Eyice, 1971; Kurt, 2011; Yıldız, 2016). M-2 mezar anıtının da, aynı dönem aralığında inşa edildiği düşünülmektedir. Anıtlar, bölgede bulunan en eski mimari eserler arasındadır. Anıtlarda, herhangi bir yazıt bulunmamakta olup, anıtların kimler için inşa edildiği bilinmemektedir.

Antik dönemlerde anıt mezarların; soylular, kent kurucuları, kent tarafından onurlandırılan idareciler, başarılı atletler, kahramanlar ile zengin ve ayrıcalıklı kişiler için inşa edilmeleri sebebiyle (Özbek, 2007; Doğanay, 2008; 2009; Akçay, 2017), bu anıtların da, döneminin önemli kişileri için inşa edildikleri düşünülmektedir. M-1 mezar anıtı, köylüler tarafından eski dönemlerden bu yana “Darphane” olarak adlandırılmaktadır (Eyice, 1971).

M-1 mezar anıtı; 7.60x7.60 m. boyutlarında, kare tabanlı bir podyum üzerinde yer almaktadır (Şekil 4.4-5). Podyum; 5 basamaklı olup, podyumun ilk 3 basamağı bezemesiz dikdörtgen bloklardan oluşturulmuştur. Blokların üzerinde, taşların yapıdaki yerlerine yerleştirilmesinde kullanılan ve “Tenon” adı verilen çıkıntılar (Adam, 2005) yer yer bulunmaktadır (Şekil 4.4-5). Podyumun 4. basamağı, içbükey ve kavisli bir formda olup, köşe bölümleri, stilize bitkisel figürlerle süslenmiş ayaklar biçiminde

işlenmiştir (Şekil 4.5). Podyumun 5. basamağı, trapez prizmatik bir formdadır. Podyum, 4.46x5.05 m. ölçülerinde ve +2.23 m. kotunda daralarak sonlanmaktadır.



Şekil 4.4. M-1 mezar anıtının ölçekli mimari çizimleri; a) çatı planı ve cepheler, b) iç plan ve kesitler.

Podyumun üzerinde, düzgün dikdörtgen bloklardan oluşturulmuş ve 3 blok dizisi halinde yükselen, gövde bölümü bulunmaktadır. Gövde bölümünün dış ölçüleri, 4.46x5.05 m.'dir. Gövde bölümündeki duvarların, orta sırasındaki taş dizisi, yassı dikdörtgen bloklardan meydana getirilmiştir. Bu taş dizisi, güneydoğu ve güneybatı yönlerine açılan iki adet pencere ile kesintiye uğramaktadır. Gövde bölümünün yüksekliği, 2.11 m.'dir (Şekil 4.4).

Gövde bölümünün üzerinde, 3 blok dizisi halinde yükselen, üst yapı sistemi bulunmaktadır. Üst yapı sisteminin, dış cephede görülen ilk sırası, yassı dikdörtgen bloklardan oluşturulmuş, kavisli bir korniş hattı biçimindedir. Bu hat, dışarıya doğru 0.14 m. çıkmakta olup, 0.46 m. yüksekliğindedir. Korniş hattı, yapıyı çepeçevre sarmakta, yalnızca kuzeybatı cephesinde, bir çatı oluğu ile kesilmektedir.

Korniş hattının üzerinde, dikdörtgen bloklardan oluşturulmuş, 0.27 m. yüksekliğinde bir taş dizisi bulunmaktadır. Taş dizisi, güneybatı cephesindeki bir blok dışında eksiksizdir (Şekil 4.4-5). Bu taş dizisinin üzerinde, trapez prizmatik formlu bloklardan oluşturulmuş, 0.38 m. yüksekliğinde çatı örtüsü yer almaktadır. Trapez prizmatik formlu bloklar, yapı üst kotunu çepeçevre sarmakta olup, yalnızca güneybatı cephesinde eksik bloklar bulunmaktadır (Şekil 4.4-5). Bu örtü ayrıca, güneybatı cephesindeki köşelerde yer alan, iki adet kaide ile de farklılaşmaktadır (Şekil 4.4-5). Yapı toplamda 5.49 m. yüksekliğindedir.



Şekil 4.5. Anıt mezarın cephe ve iç mekân görünüşleri ile detayları; a) kuzeydoğu cephesi, b) kuzeybatı cephesi, c) güneybatı cephesi, d) güneydoğu cephesi, e) “Tenon” adı verilen çıkıntılar, f) stilize bitkisel figürlerle süslenmiş ayaklar, g) üst yapı sistemi, h) güneybatı cephesindeki eksik bloklar ile köşelerde yer alan kaideler, i) mezarın giriş kapısı, j) kuzeydoğu duvarı, k) kuzeybatı duvarı, l) güneybatı duvarı, m) güneydoğu duvarı, n) toprak dolgu zemin, o) taş konsollar ve bindirme tavan.

Mezarın giriş kapısı, kuzeydoğu yönüne bakmakta olup, zeminden +2.23 m. yüksekliktedir. Giriş kapısı, yapının ve mezar odasının merkez aksındadır. Dış kesimde, blok yüzeylerine işlenmiş yuvarlak silmeler ile kapı sövesi ve lento vurgulanmıştır (Şekil 4.4-5). Kapı, dış kesimde, 0.58x0.83 m. boyutlarındadır. Mezar odasına geçiş yapılan kısımda, kapı genişlemektedir. Kapının, mezar odasına doğru bakan cephesinin boyutları, 0.77x0.89 m.’dir.

Mezar odası iç mekânı, dikdörtgen formunda ve 2.88x3.42 m. ebatlarındadır (Şekil 4.4). Oda zemini toprak dolgudur (Şekil 4.5). Oda duvarları, düzgün dikdörtgen bloklardan oluşturulmuş olup, beş blok sırası halinde yükselmektedir. Zeminden itibaren, birinci ve üçüncü sıradaki taş dizileri dikdörtgen; ikinci, dördüncü ve beşinci sıradaki taş dizileri ise yassı dikdörtgen bloklardan meydana getirilmiştir (Şekil 4.4-5).

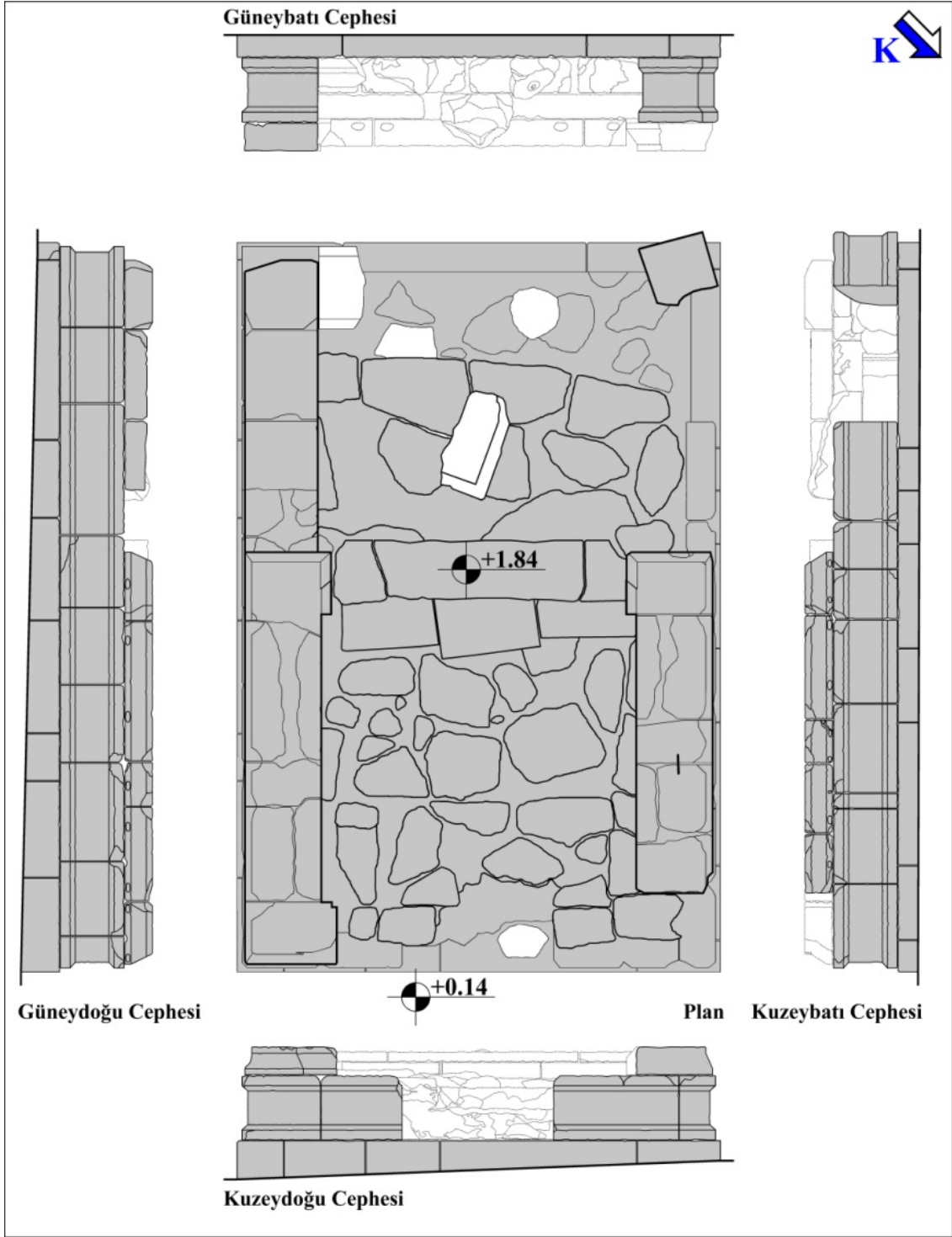
Zeminden itibaren, ikinci sıradaki taş dizisi, trapez kesitli bir çıkıntı halinde, neredeyse tüm iç mekânı çevrelemektedir. Bu taş dizisi yalnızca, güneydoğu ve güneybatı yönlerine açılan, iki adet pencere ve mezar odası girişinde kesintiye uğramaktadır (Şekil 4.4-5).

Mezar odasının üst örtüsü, taş blokların birbiri üzerine bindirilmesi ile oluşturulmuştur. Zeminden itibaren, beşinci sıradaki dikdörtgen taş bloklar, kuzeybatı-güneydoğu ekseninde konumlandırılarak, konsollar meydana getirilmiştir. Bu konsolların üzerine bindirilen, çatı örtü blokları ile mezar odasının üst örtüsü kapatılmıştır (Şekil 4.4-5). Mezar odasının iç yüksekliği, 2.87 m.'dir. Üst örtü, kaçak kazılar sebebiyle, güneybatı yönünde çökmüştür.

Mezar odası, yapının dışındaki anıtsallığın aksine, oldukça yalın bir görünüm sergilemektedir. Duvarlarda ve zeminde, ölünün üzerine yerleştirildiği, kline (yatak) ya da lahit gibi herhangi bir kalıntı izi bulunmamaktadır.

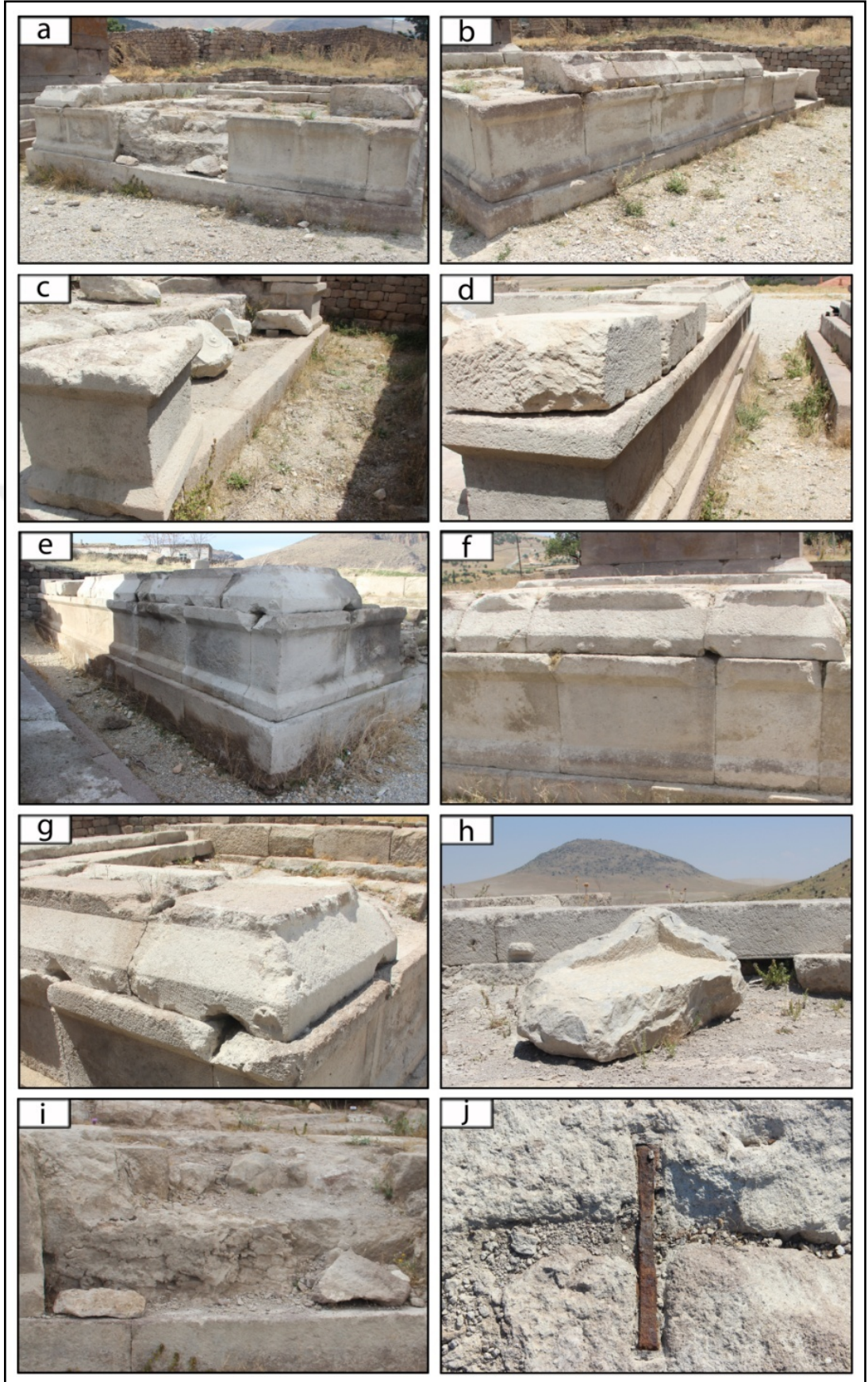
Anıt bütününde, yapı taşlarını örten ya da birbirine bağlayan, herhangi bir ögeye (sıva, harç, kenet vb.) rastlanmamıştır. Yapı taşlarının, yığma sistemle birbirleri üzerine oturtulduğu, yanal yüklere karşı kaymamaları için de, çevredeki diğer yapılarda olduğu gibi, kurşun-metal kenetler kullanıldığı düşünülmektedir.

M-2 mezar anıtı, 6.90x10.40 m. boyutlarında, düzgün dikdörtgen blok taşlardan oluşturulmuş, bir temel üzerinde yer almaktadır. Temelin üzerinde, tüm yapıyı çepeçevre saran, 0.94 m. yüksekliğinde, profilli bir blok dizisi bulunmaktadır (Şekil 4.6-7). Profilli bloklar, yapının kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerinde kısmen, güneybatı cephesinde ise büyük oranda eksiktir (Şekil 4.6-7). Profilli blokların üzerinde, 0.40 m. yüksekliğinde bir dizi halinde, trapez prizmatik bloklar yer almaktadır. Trapez prizmatik blokların üzerinde, taşların yapıdaki yerlerine yerleştirilmesinde kullanılan ve "Tenon" adı verilen çıkıntılar, yer yer bulunmaktadır (Şekil 4.6-7). Mezar anıtı kalıntıları, +1.84 m. kotunda sonlanmaktadır.



Şekil 4.6. M-2 mezar anıtının ölçekli mimari çizimi.

M-2 mezar anıtı girişinin, kuzeydoğu yönüne açıldığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, giriş kapısının özgün biçimine ve kurgusuna ilişkin yeterli veri bulunmamaktadır. Kuzeydoğu cephesinin, güney köşesinde bulunan kaidenin, giriş kurgusuna ait bir dikme ya da sütuna altlık olabileceği düşünülmektedir (Şekil 4.6-7).



Şekil 4.7. M-2 mezar anıtı; a) kuzeydoğu cephesi, b) kuzeybatı cephesi, c) güneybatı cephesi, d) güneydoğu cephesi, e) profilli blok dizisi, f) tenon adı verilen çıkıntılar, g) kaide, h) kireçtaşı lahit parçası, i) harç kümeleri, j) kurşun-metal kenetler.

Girişten geçildikten sonra, +1.22 m. kotunda ve 4.65x4.22 m. boyutlarında bir mekân bulunmaktadır (Şekil 4.6). Bu mekânın, duvarlarına ve formuna ilişkin yeterli veri mevcut değildir. Mekân, 0.19 ve 0.15 m. yüksekliklerinde, iki adet merdiven rıhtı ile güneybatı yönündeki bir başka mekâna bağlanmaktadır (Şekil 4.6). Güneybatı yönündeki bu mekânın, boyutlarına ilişkin yeterli veri bulunmamaktadır. Bu mekânda, özgün yapıya ait olduğu düşünülen, kireçtaşı malzemedan yapılmış bir lahdin parçaları vardır (Şekil 4.7).

Arazideki kalıntı ve verilerin azlığı yüzünden, mezar anıtının üst yapısına ilişkin bir fikir yürütmek zordur. Zemindeki izler ve duvar kalıntılarından hareketle yapının, Templum in Antis plan tipine sahip, bir mezar anıtı olduğu düşünülmektedir.

Anıtın iç bölümünde, büyüklü-küçüklü moloz taşları birbirlerine bağlayan ve yapı temel kotuna değin inen harç kümeleri bulunmaktadır (Şekil 4.7). Yapının dış çeperini oluşturan taşların, yığma sistemle birbirleri üzerine oturtulduğu, yanal yüklere karşı kaymamaları için de, kurşun-metal kenetler kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.7).

4.1.2. Bozunmaların gözlem yoluyla analizi

Tarihi anıtlardaki bozunmaların tespitine yönelik çalışmalarda ilk aşama, sahada yapılan gözlemlerdir. Her anıt benzersiz olup, onu korumak için, dikkatli gözlemlere ve analizlere dayalı, bir durum incelemesi yapmak gerekmektedir (Charola, 2017). Anıtlar üzerinde meydana gelmiş bozunmalar, bozunma faktörlerinin bıraktığı ipuçlarıdır. İpuçlarının hiçbirinin atlanmadan değerlendirilmesi, bozunma faktörlerinin doğru bir biçimde ortaya çıkartılmasını sağlayacaktır.

İncelenen anıtlar üzerindeki bozunmaların tespit edilmesi amacıyla, “Anıt Haritalandırma Metodu”ndan istifade edilmiştir. Bu metod; Aachen Üniversitesi’ndeki “Natural stones and weathering” çalışma grubunun geliştirdiği, tahribatsız bir yöntem olup, ayrışma formlarının belgelenmesi ve değerlendirilmesi alanında kullanılmaktadır (Fitzner ve ark., 2003). Özellikle, tarihi taş anıtlar için geliştirilen bu metod, tüm taş tipleri ve her türde taş yapı için kullanılabilir (Fitzner ve Heinrichs, 2002).

Çalışma kapsamında incelenen mezar anıtlarında, bozunma tiplerinin; atmosferik, biyolojik ve antropojenik kökenli oldukları gözlenmiştir. Bu nedenle anıtlardaki bozunmalar, söz konusu üç ana başlık altında değerlendirilmiştir. Ana başlıkların içerisinde, alt bozunma tipleri de, detaylı olarak incelenmiştir. Bozunma tipleri, anıtların mimari çizimleri üzerine, ölçekli olarak işlenerek, bozunma haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalar ile bozunma tiplerinin kapladığı yüzey alanları, oransal olarak (%) ölçülmüştür. Ayrıca, anıtlarda gözlenen bozunma tipleri, fotoğraflı bozunma atlasları ile örneklenerek, kayıt altına alınmıştır.

4.1.3. Litolojik analiz

Kayaç tipleri ve bozunma davranışları arasında ilişki kurabilmek için, anıta kullanılan tüm kayaç tiplerinin bilgisi gereklidir (Fitzner ve Heinrichs, 2002). Birçok durumda, tarihi anıtlarda kullanılan taşların bozunma süreçleri, onları oluşturan kayaç türleri farklı olduğu için, birbirlerinden farklıdır (ANON, 1995; Lee ve Yi, 2007). Bu nedenlerle, tarihi anıtlarda kullanılan taşların, bozunma süreçlerinin araştırılmasında, litolojik analiz, çok önemli bir yere sahiptir. Litolojik analiz kapsamında, anıtlarda bulunan yapı taşları; petrografik doku, renk ve karakter bakımından değerlendirilmiştir.

4.1.4. Tahribatsız test uygulamaları

Tarihi anıtlarda bulunan yapı taşlarında, bozunmaların tespit edilmesinde karşılaşılan en büyük zorluk, yapının her bölgesinden ya da her yapı taşından örnek alınamamasıdır.

Mühendisliğin farklı alanlarında geliştirilen, tahribatsız test tekniklerinin, tarihi anıtlardaki yapı taşlarında, güvenilir sonuçlar vermesi, bu problemin aşılmasını sağlamıştır. Non Destructive Tests (NDT) olarak, bilimsel literatürde anılan bu teknikler, yapı taşlarını etkileyen bozunma faktörlerinin tespiti ve yapı taşlarının bozunma derecelerinin belirlenmesinde, yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kullanılacak test tipinin seçiminde, yapının durumu ve yapı taşlarında meydana gelmiş bozunmalar çok önemlidir. Ayrıca, test tekniklerinden elde edilen verilerin, birbirleri ile ilişkili ve yorumlanabilir sonuçlar vermesi gerekmektedir.

Bu kabullerden hareketle, çalışma yapılan mezar anıtlarının, yapı taşlarını etkileyen bozunma faktörleri ve yapı taşlarındaki bozunma derecelerini tespit etmek amacıyla, birbirleri ile ilişkili NDT teknikleri kullanılmıştır.

Yapı taşlarını etkileyen, bozunma faktörlerini tespit etmek amacıyla, her bir yapı taşında, yüzey sıcaklık ölçümü ve yüzey nem ölçümü testleri, mevsimsel olarak, eşzamanlı bir biçimde uygulanmıştır.

Yapı taşlarının bozunma derecelerini tespit etmek için ise, Schmidt çekici ile yüzey sertlik ölçümü ve P-Dalga geçiş hızı ölçümü testleri, eşzamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu testlere ilişkin bilgiler, bölümün alt başlıklarında verilmektedir.

4.1.4.1. İnfrared termometre ile yüzey sıcaklık ölçümü (ST) testleri

Cisimlerin, sahip oldukları sıcaklığa bağlı olarak, yaydıkları radyasyon değerleri, IR kameralar ve IR termometreler yoluyla ölçülebilmektedir (Norman ve Becker, 1995; Rohsenow ve ark., 1998; Ocaña ve ark., 2004). IR kameralar ve IR termometreler, çalışma prensibi olarak, cisimlerin sahip oldukları sıcaklığa bağlı, yaydıkları radyasyon değerlerini ölçmekte, bunun üzerinden de sıcaklık değerlerini ve dağılımlarını tespit edebilmektedir.

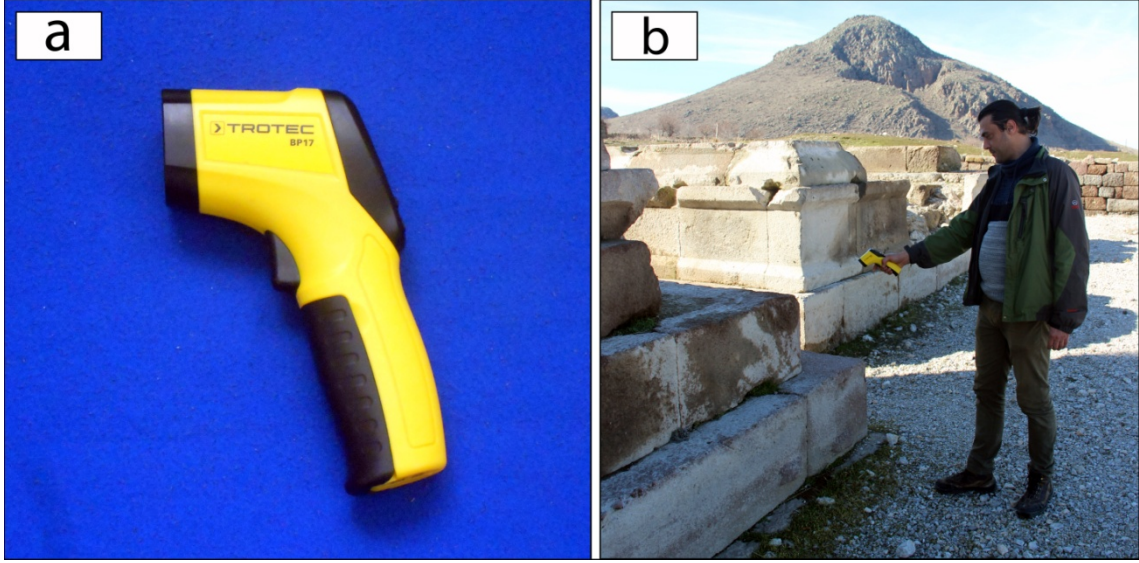
IR kameralar ve termometreler ile yapılan gözlemler, tarihi anıtlarda meydana gelmiş bozunmaları tespit etmek ve bu bozunmaları oluşturan faktörleri ortaya

çıkartmak amacıyla, son yıllarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Avdelidis ve Moropoulou, 2004; Tavukçuoğlu ve ark., 2005; Kandemir-Yucel ve ark., 2007; Tavukcuoglu ve ark., 2007; Bonazza ve ark., 2009; Yardım ve Sarp Tunçoku, 2009; Kandemir, 2010; Karadayı Yenice, 2012; De la Rosa ve ark., 2013; Moropoulou ve ark., 2013; Cañaveras ve ark., 2015; Tosunlar ve ark., 2020).

Anıtlar üzerinde gerçekleştirilen IR gözlemler ve ölçümlerle;

- Anıtlardaki biyolojik kolonizasyonlar ile tabaka ve birikimlerin oluşturduğu sıcaklık farkları,
- Anıtlarda; konumlanmaya, çevreye, yönlere ve cephelere bağlı sıcaklık farkları,
- Duvarlarda; tasarım, yapım tekniği ve malzeme farklılaşmaları ile tahribat ve bozunmalar kaynaklı sıcaklık farkları,
- Yapı taşları, yapı elemanları ya da kaplama malzemelerinde; gözle tespit edilemeyen-yüzey altında kalan; çatlaklar, boşluklar ve ayrışmalara bağlı sıcaklık farkları,
- Yapı iç mekânı ile dış çeperi arasında oluşan ısı köprüleri,
- Yapı bütünündeki su hareketleri; kapiler zon, süzülme zonu, sızıntılar ve yoğunlaşma bölgeleri kaynaklı sıcaklık farklılıkları, tespit edilebilmektedir.

Çalışma yapılan anıtlarda, verileri mevsimlere göre karşılaştırabilmek için, her taş yüzeyine ait sıcaklık değerinin, ayrı ayrı alınması gerekmiştir. Bu nedenle, IR termometre test tekniği tercih edilmiştir. Kullanılan test tekniği, yapı taşlarının yüzey sıcaklığını, kızılötesi dalga boyunun ölçümü yoluyla tespit etmektedir. Çalışmada, Trotec BP17 Model, el tipi kızılötesi termometre kullanılmıştır (Şekil 4.8). Cihazın, sıcaklık ölçüm değer aralığı, -50°C ile $+380^{\circ}\text{C}$, spektral hassasiyeti ise, 8-14 μm arasındadır.



Şekil 4.8. a) IR termometre, b) yapı taşlarında yüzey sıcaklığı ölçüm testi.

Yüzey sıcaklığı ölçümlerinde, her bir bloğun aynı yöne bakan yüzeyinde, beş farklı noktadan (blok köşeleri ve orta nokta) ölçümler yapılmıştır. Her bir blok yüzeyinde, ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması, tek tek hesap edilmiştir. Yönlere göre verilen blok numaraları ile blok yüzeylerinden alınan sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamaları, Microsoft Excell programında oluşturulan, satır ve sütunlara işlendikten sonra, cephe ve anıt bazında maksimum, minimum ve ortalama yüzey sıcaklığı değerleri bulunmuştur.

Maksimum ve minimum yüzey sıcaklığı değerleri baz alınarak, aradaki değerlere de karşılık veren, bir renk tonu skalası oluşturulmuştur. Her bir blok yüzeyinin sıcaklık değeri, renk tonu skalasında karşılık gelen ton ile renklendirilmiştir. Anıtlarda yer alan tüm blokların renklendirilmesiyle, kesit ve cephelere ait yüzey sıcaklığı haritaları oluşturulmuştur.

4.1.4.2. El tipi nem ölçer ile yüzey nem ölçümü (SM) testleri

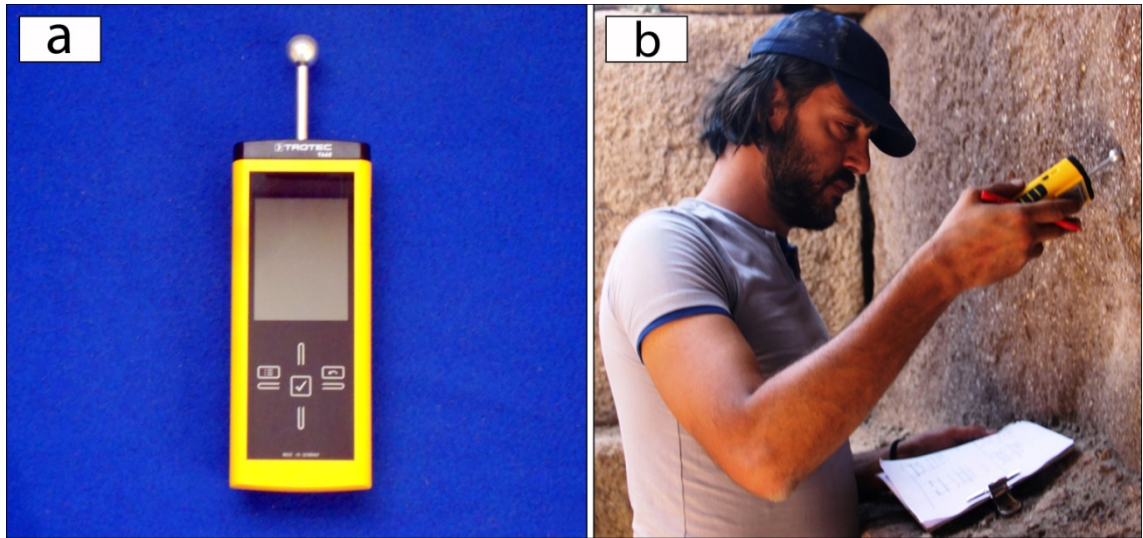
Nem, kayaçların dayanım durumları ve bozunma süreçlerini etkileyen, önemli bir unsurdur. Nem, kayaçların içerisindeki suyun miktarıdır. Nem, kayaların mukavemeti üzerinde, önemli bir etkiye sahip olup (Vásárhelyi ve Ván, 2006; Demarco ve ark., 2007; Kwaśniewski, 2009; Talal, 2013; Zhou ve ark., 2016), nem artışı kayaların mukavemetini, değişik oranlarda azaltmaktadır (Ojo ve Brook, 1990; Sims, 1991; Hawkins ve McConnell, 1992; Demarco ve ark., 2007; Goudie, 2016). Taş matrisinin bütünlüğünün bozulması veya taşın içerisindeki kil gibi ikincil alterasyon minerallerinin ıslanmaya karşı duyarlılığı sebebiyle, birçok taş türünün, doymuş

haldeyken, kuru durumuna göre, daha zayıf ve daha az dirençli olduğu bilinmektedir (Sims, 1991; Hawkins ve McConnell, 1992).

Su varlığı, yapı taşlarının; fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma süreçlerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Su varlığına karşı önlem alınabilmesi için, nemin haritalandırılması gereklidir (Binda ve Saisi, 2009). Su varlığının; kaynağını, hareketlerini ve yapı taşları içerisindeki oranlarını tespit etmek için, el tipi yüzey nem ölçüm cihazlarından sıklıkla yararlanılmaktadır (Eklund ve ark., 2013; Hatır ve ark., 2018; İnce ve ark., 2018; Korkanç ve ark., 2018; Tosunlar ve ark., 2018; Hatır, 2019; Tosunlar ve ark., 2019; Bozdağ ve ark., 2020; Tosunlar ve ark., 2020).

El tipi yüzey nem ölçüm cihazları; hem yapılar üzerinde, hem de laboratuvar ortamında hızlı sonuç veren, basit, pratik ve tahribatsız bir test tekniğidir.

Kullanılan test tekniği, taş malzeme yüzeyindeki nem varlığını, elektriksel direnç farkı yoluyla ölçmektedir. Çalışmada, Trotec T660 Model, el tipi malzeme yüzey nem ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.9). Nemi, taş yüzeyinin yaklaşık olarak 4 cm. derinine kadar ölçebilen bu cihazın, hassasiyet değer aralığı, 0-200 dijit arasındadır. Her bir dijit, %0.5 nem oranını temsil etmektedir. Ölçüm cihazı, -20°C ile +60°C ortam sıcaklıkları arasında, sağlıklı değerler verebilmektedir.



Şekil 4.9. a) yüzey nem ölçer, b) yapı taşlarında yüzey nem ölçüm testi.

Yüzey nemi ölçümlerinde, cihaz, taş yüzeyine dik konumda temas ettirilerek, her bir bloğun aynı yöne bakan yüzeyinde, beş farklı noktadan (blok köşeleri ve orta nokta) ölçümler yapılmıştır. Her bir blok yüzeyinde, ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması, tek tek hesap edilmiştir. Yönler göre verilen blok numaraları ile blok yüzeylerinden alınan nem değerlerinin aritmetik ortalamaları, Microsoft Excell programında

oluşturulan, satır ve sütunlara işlendikten sonra, cephe ve anıt bazında maksimum, minimum ve ortalama yüzey nem değerleri bulunmuştur.

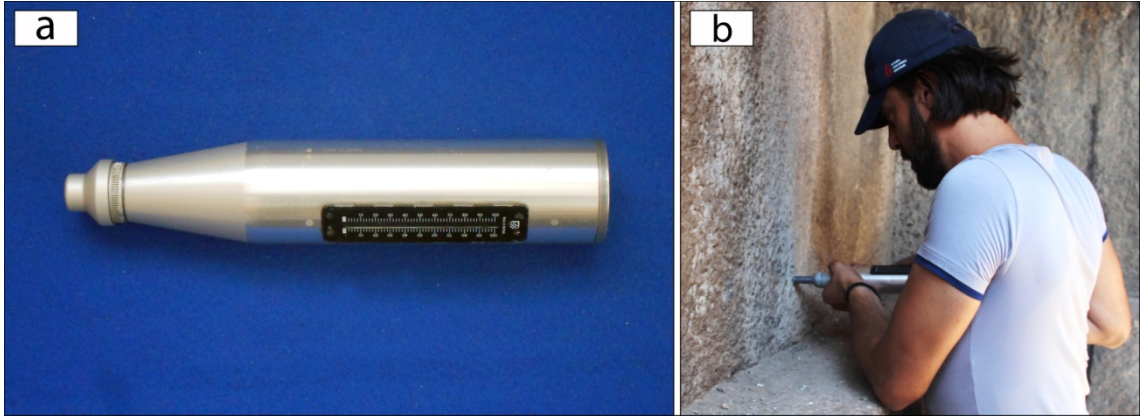
Maksimum ve minimum yüzey nemi değerleri baz alınarak, aradaki değerlere karşılık veren, bir renk tonu skalası oluşturulmuştur. Her bir blok yüzeyinin nem değeri, renk tonu skalasında karşılık gelen ton ile renklendirilmiştir. Anıtlarda yer alan tüm blokların renklendirilmesiyle, kesit ve cephelere ait yüzey nem haritaları oluşturulmuştur.

4.1.4.3. Schmidt çekici sertlik testi (SHR)

Sertlik, malzemelerin önemli fiziksel ve mekanik özelliklerinden birisidir (Ashurst ve Dimes, 1998; Erköseoglu, 2012; Tosunlar ve ark., 2018). Sertlik, bir kayacın dıştan gelen delme-darbe etkisine karşı, direnç gösterme özelliğidir (Ojo ve Brook, 1990). Bir başka ifadeyle sertlik, malzeme yüzeyinin kalıcı biçim değiştirmeye karşı gösterdiği mukavemet olarak da tanımlanabilir (Eriç, 1994). Kayaçların dayanımı genellikle, yüzey sertliği ile yerinde değerlendirilir (Mohamad ve ark., 2011). Bu sertliğin ölçümünde kullanılan testlerden en yaygın olanı, Schmidt çekici sertlik testidir. Schmidt çekici sertlik testi; hem laboratuvar ortamında, hem de arazide, numunelere ve kayaçlara tatbik edilebilen; pratik, basit ve hızlı sonuç veren bir test tekniğidir.

Schmidt çekici sertlik testi, malzeme özelliklerinin tespiti yanında, tarihi anıtlarda bulunan yapı taşlarındaki bozunmaların belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Török, 2003; Koca ve ark., 2006; Török, 2006; Fort ve ark., 2010; Korkanç ve Savran, 2010; Török, 2010; Török ve Přikryl, 2010; Viles ve ark., 2011; Fort ve ark., 2013; Erkal ve Ozhan, 2014; Korkanç ve Savran, 2015; Menéndez, 2016; Hatır ve ark., 2018; İnce ve ark., 2018; Korkanç, 2018; Korkanç ve ark., 2018; Tosunlar ve ark., 2018; Hatır, 2019; Theodoridou ve Török, 2019; Bozdağ ve ark., 2020; Tosunlar ve ark., 2020).

Gerçekleştirilen çalışmalarda, 0.735 Nm vuruş enerjili, DRC-Geohammer marka “L” tipi Schmidt çekici kullanılmıştır (Şekil 4.10). Schmidt çekici ölçümleri, ASTM-D5873 (2014)’te belirtilen biçimde, aynı yüzeyde 10 farklı noktaya ve yüzeye dik biçimde uygulanmıştır. Her yapı taşı için, alınan 10 değerın ortalaması hesap edilmiştir. Ortalama alınırken, yedi birimden farklı olan değerler, dikkate alınmamıştır. Daha sonra kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak, her bir yapı taşının yüzey sertlik değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.10. a) Schmidt çekici, b) yapı taşlarında Schmidt çekici sertlik testi.

Yönlere göre verilen blok numaraları ile blok yüzeylerinin hesap edilen sertlik değerleri, Microsoft Excell programında oluşturulan, satır ve sütunlara işlendikten sonra, cephe ve anıt bazında maksimum, minimum ve ortalama sertlik değerleri bulunmuştur.

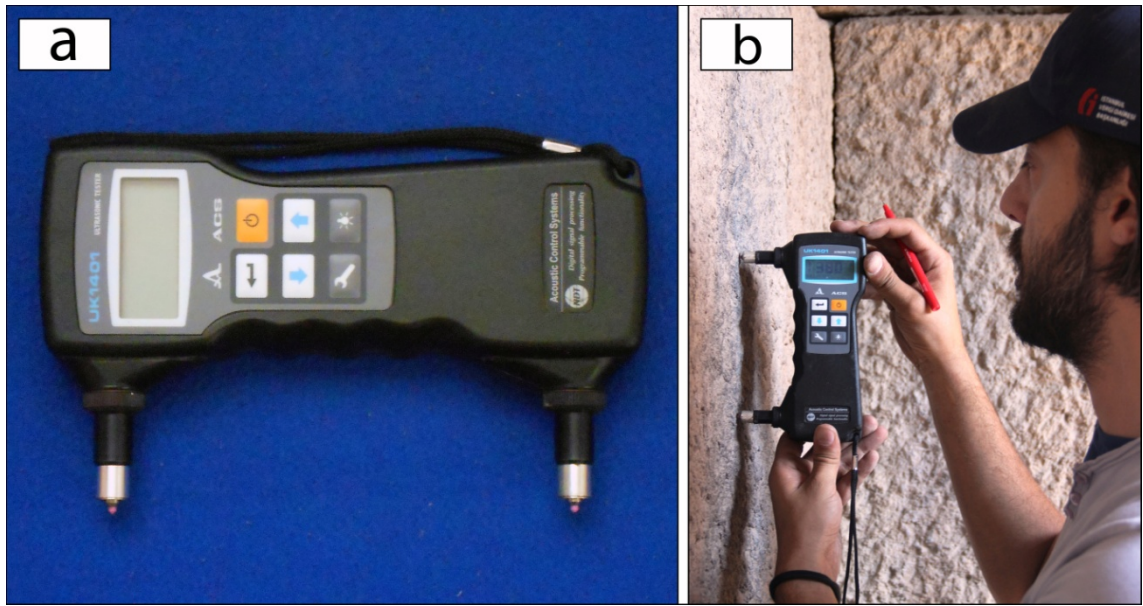
Maksimum ve minimum yüzey sertliği değerleri baz alınarak, aradaki değerlere de karşılık veren, bir renk tonu skalası oluşturulmuştur. Her bir blok yüzeyinin sertlik değeri, renk tonu skalasında karşılık gelen ton ile renklendirilmiştir. Anıtlarda yer alan tüm blokların renklendirilmesiyle, kesit ve cephelere ait yüzey sertlik haritaları oluşturulmuştur.

4.1.4.4. P-Dalgası geçiş hızı testi (V_p)

P-Dalgası geçiş hızı testleri, kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespitinde, yaygın olarak kullanılmaktadır (Livingston, 1999; Christaras, 2003; Karakul ve Ulusay, 2012; Karakul ve Ulusay, 2013; Cuccuru ve ark., 2014; Christaras ve ark., 2015; Menéndez, 2016; Sun ve Zhang, 2019). Bu teknik, yapı taşlarının, yüzey ve yüzey altında bulunan kusurlarını (mikro çatlaklar, süreksizlikler, heterojen yapılar, ayrışmalar vb.) tespit etmek, bozunma ve çatlak derinliklerini belirlemek için de kullanılmaktadır (Irfan ve Dearman, 1978; Christaras, 1991; Livingston, 1999; Christaras, 2003; Török, 2003; Svahn, 2006; Akin, 2010; Anzani ve ark., 2010; Akoğlu, 2011; Babacan ve ark., 2012; El-Gohary, 2013; Fort ve ark., 2013; Moropoulou ve ark., 2013; Cuccuru ve ark., 2014; Litti ve ark., 2015; Pascale ve Lolli, 2015; Menéndez, 2016; Fais ve ark., 2017; Tosunlar ve ark., 2020).

Bu teknik, hem laboratuvarında numuneler üzerinde, hem de sahada kayaçlar ve yapı taşları üzerinde kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Çalışmada, UK 1401 Ultrasonik Test Cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.11). Cihaz, birisi verici, diğeri ise alıcı olmak üzere, iki adet seramik uçlu proba sahip olup, ölçümleri herhangi bir temas sıvısı olmadan, kuru olarak yapabilmektedir. Proplar arasındaki mesafe, 15 cm.'dir. Cihaz, verici proptan gönderilen P-Dalgasının, alıcı proba ulaşma süresini, otomatik olarak hesaplayarak, yapı taşı içerisindeki P-Dalga geçiş hızını, m/sn olarak dijital ekranda göstermektedir. Ölçümler, ISRM (2007)'de belirtilen esas ve usullere göre, her bloğun aynı yöne bakan yüzünde, üç farklı noktadan yapılmıştır. Elde edilen verilerin, aritmetik ortalaması alınarak, her bir blok yüzeyine ait P-Dalgası geçiş hızı (V_p) değeri bulunmuştur.



Şekil 4.11. a) P-Dalgası geçiş hızı (V_p) ölçüm cihazı, b) yapı taşlarında P-Dalgası geçiş hızı (V_p) testi.

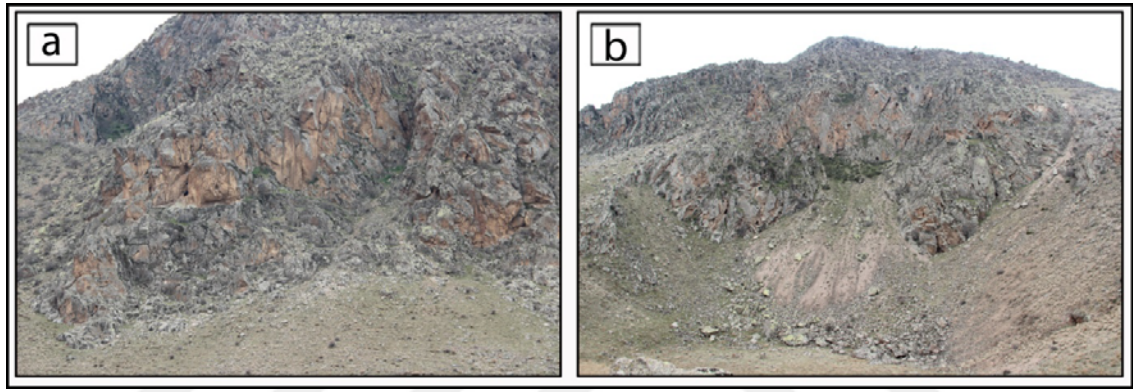
Yönlere göre verilen blok numaraları ile blok yüzeylerinin hesap edilen V_p değerleri, Microsoft Excell programında oluşturulan, satır ve sütunlara işlendikten sonra, cephe ve anıt bazında maksimum, minimum ve ortalama V_p değerleri bulunmuştur.

Maksimum ve minimum V_p değerleri baz alınarak, aradaki değerlere de karşılık veren, bir renk tonu skalası oluşturulmuştur. Her bir blok yüzeyinin V_p değeri, renk tonu skalasında karşılık gelen ton ile renklendirilmiştir. Anıtlarda yer alan tüm blokların renklendirilmesiyle, kesit ve cephelere ait V_p haritaları oluşturulmuştur.

4.1.5. Blok numune derleme çalışmaları

Kayaçların mekanik özelliklerini bilmek, mühendislik için çok önemlidir (Török, 2003). Ayrıca, konservasyon çalışmalarında da, malzeme özelliklerinin bütünüyle anlaşılması gerekmektedir (ICOMOS_Charter, 2003). Bu nedenlerle, laboratuvar ortamında, deneysel çalışmalar yapılması icap etmiştir.

Koruma gereksinimleri nedeniyle, anıtlardan taş örneği alınmamıştır. Örnekler, Madenşehir Köyü'nün kuzeyinde bulunan, antik taş ocaklarından temin edilmiştir (Şekil 4.12). Örnekler temin edilirken, anıtlardaki taşlarla benzer renk, petrografik doku ve özelliklerdeki kayaçların derlenmesine dikkat edilmiştir.



Şekil 4.12. a, b) Madenşehir Köyü'nün kuzeyinde bulunan antik taş ocakları.

4.2. Laboratuvar Çalışmaları

Yapı taşlarının, fiziksel ve jeomekanik özellikleri ile jeokimyasal niteliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar; Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı ile YEBİM Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları; “Numune Hazırlama Süreci”, “Laboratuvar Deneyleri” ve “Çözünabilir Bağlayıcılar ile Bütünleme Malzemesi Üretim Çalışmaları” olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

4.2.1. Numune hazırlama süreci

Çalışmanın bu bölümünde, kayaç temsil numunelerinin, laboratuvar analizleri için hazırlanma süreçleri açıklanmaktadır. Yapılan çalışmalar; “Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesine Yönelik Deneyler ve Jeomekanik Deneyler için Numune Hazırlama” ile “Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Analizler için Numune Hazırlama” alt başlıklarında ele alınmıştır.

4.2.1.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler ve jeomekanik deneyler için numune hazırlama

Kaya mekaniği deneylerinde, sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için, ilk ve en önemli aşama, ilgili standartlara uygun boyutlarda ve niteliklerde örnek hazırlanmasıdır (Ulusay ve ark., 2001). Araziden derlenen blok kayaçlardan, silindirik karot örneklerinin karot makinesi ile alınması, silindirik karot örneklerinin kesilmesi ve yüzeylerinin belirli standartlar uyarınca düzeltilmesi işlemleri, örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanmaktadır (Ulusay ve ark., 2001; İnce, 2013). Bu işlemler esnasında uyulacak standartlar, ISRM (1981) ile ASTM (1994) tarafından belirlenmiştir.

Araziden derlenen blok kayaçlardan, silindirik karot örnekleri, NX Tip (54,7 mm) çapında karotiyere sahip, karot makinesi ile alınmıştır. Bloklardan çıkartılan ham silindirik karot örnekleri incelenmiş ve içerisinde süreksizlikler bulunan örnekler ayrılmıştır. Süreksizlik barındırmayan silindirik karot örnekleri, boyu, çapının (54,7 mm) 2.0-2.5 katı olacak biçimde ölçülerek, dairesel kesme makinesi ile kesilmişlerdir. Silindirik karotlar üzerinde gözlenen pürüzlülükler, karot düzeltme makinesi ile tesviye edilmiştir. Bu işlemlerin ardından, karotlar numaralandırılarak, fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler ve jeomekanik deneyler için hazır hale getirilmişlerdir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Numunelerin hazırlanma süreçleri; a) araziden derlenen blok kayaçlar, b) ham silindirik karot örnekleri, c) boyu, çapının (54,7 mm) 2.0-2.5 katı olacak biçimde ölçülen karotların dairesel kesme makinesi ile kesilmesi, d) fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler ve jeomekanik deneyler için hazır hale getirilmiş silindirik karot örnekleri.

4.2.1.2. Mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analizler için numune hazırlama

Kayaç temsil numunelerinin, mineralojik ve petrografik yapılarının belirlenmesi için, araziden derlenen blok kayalardan, 0.5-1.0 cm. kalınlıkta, kare ve dikdörtgen parçalar kesilmiştir. Kesilen parçalardan, TS-EN-12407 (2013) standardında belirtilen biçimde, ince kesit örnekleri hazırlanmıştır. İnce kesit örneklerinin hazırlanması için, Konya Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı kullanılmıştır.

Jeokimyasal analizler (XRF ve XRD) için, araziden derlenen blok kayaç numunelerinden, parça numuneler, öğütücüde öğütülmüştür. Öğütülen materyal, elek ile elenerek, toz halinde numune elde edilmiştir (Şekil 4.14a). Beyaz kabuk analizi için, yapı taşlarının yüzeylerindeki tabaka, yüzeylere zarar vermeden, bisturi yardımıyla alınmıştır (Şekil 4.14b). Alınan kabuk parçaları, agat havanda ezilerek ve sonrasında elenerek, mikron boyutlarında numune elde edilmiştir. Bu numuneler, XRF ve XRD analizleri için, YEBİM Laboratuvarına teslim edilmiştir.



Şekil 4.14. Jeokimyasal analizler için numune hazırlama süreçleri; a) öğütülen malzemenin elek ile elenmesi, b) kabuk materyalin bisturi ile alınması.

4.2.2. Laboratuvar deneyleri

Laboratuvar deneyleri kapsamında yürütülen çalışmalar, kayaç temsil numunelerinin; fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, jeomekanik analizler, donma-çözülme deneyleri, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analizler olmak üzere dört ana başlık altında ele alınmıştır.

4.2.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler

Bu bölümde, yapı taşlarının fiziksel özelliklerini ortaya koyan; “Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Kuru Yoğunluk”, “Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme”, “Porozite” ile “Kapiler Su Emme (Kapilarite)” deney ilkeleri aktarılmıştır. Deneyler; ASTM (1994),

ISRM (1981), RILEM (1980) ve TS-EN-1925 (2000) standartlarında belirtilen usullere uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.2.1.1. Kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk deneyi

Temsil numunelerinin, kuru birim hacim ağırlıklarının tespit edilmesi için, ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış her bir karot örneğinin, çapları (D) ile boyları (L) dijital kumpas vasıtasıyla ölçülerek, elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin hacmi (V) hesaplanmıştır.

Bundan sonra karot numuneler, +105°C sıcaklığındaki etüv içerisinde, 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan silindirik numuneler, ortam atmosferinden nem almamaları için, desikatör içerisinde 30 dakika süreyle soğutulmuştur. Bu işlemin ardından, her bir silindirik numune, hassas terazi kullanılarak tartılmış ve her bir numunenin kuru kütle (M_k) değeri bulunmuştur.

Elde edilen değerler, çizelge 4.1.'de verilen eşitlikler yolu ile hesaplanarak, her bir numunenin kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) ve kuru yoğunluğu (ρ_k) bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk deneyi eşitlikleri ve birimleri.

$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi \cdot L$ $\rho_k = \frac{M_k}{V}$ $\gamma_k = 9,81 \rho_k$	Simge	Tanımı	Ölçü birimi
	V	Numunenin hacmi	cm ³
	D	Karot çapı	mm
	L	Karot boyu	mm
	ρ_k	Kuru yoğunluk	gr/cm ³
	M_k	Kuru kütle	gr
	γ_k	Kuru birim hacim ağırlığı	kN/cm ³

4.2.2.1.2. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi

Temsil numunelerinin, ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinin tespit edilmesi için, ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış her bir karot örneğinin, çapları (D) ile boyları (L) dijital kumpas vasıtasıyla ölçülerek, elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin hacmi (V) hesaplanmıştır.

Bundan sonra numuneler, saf su doldurulmuş bir kap içerisinde, 12 saat süre ile bekletilmiştir. Suyu doyurulan numunelerin üzerindeki su, kâğıt havlu yardımı ile kurulandıktan sonra, numuneler hassas terazi üzerinde tartılmış ve numunelerin suya doygun kütlesi (M_s) bulunmuştur.

Numuneler daha sonrasında, +105°C sıcaklığındaki etüv içerisinde, 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan silindirik numuneler, ortam atmosferinden nem almamaları için, desikatör içerisinde 30 dakika süreyle soğutulmuştur. Bu işlemin

ardından, her bir silindirik numune, hassas terazi kullanılarak tartılmış ve her bir numunenin kuru kütle (M_k) değeri bulunmuştur.

Elde edilen değerler, çizelge 4.2.'de verilen eşitlikler yolu ile hesaplanarak, her bir numunenin ağırlıkça (A_w) ve hacimce (H_w) su emme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi eşitlikleri ve birimleri.

$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi L$ $A_w = \frac{M_s - M_k}{M_k} \times 100$ $H_w = \frac{M_s - M_k}{V} \times 100$	Simge	Tanımı	Ölçü birimi
	V	Numunenin hacmi	cm ³
	D	Karot çapı	mm
	L	Karot boyu	mm
	A_w	Ağırlıkça su emme	%
	M_s	Suya doymun kütle	gr
	M_k	Kuru kütle	gr
	H_w	Hacimce su emme	%

4.2.2.1.3. Porozite deneyi

Temsil numunelerinin, porozite değerlerinin tespit edilmesi için, ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış her bir karot örneğinin, çapları (D) ile boyları (L) dijital kumpas vasıtasıyla ölçülerek, elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin hacmi (V) hesaplanmıştır.

Numuneler daha sonrasında, +105°C sıcaklığındaki etüv içerisinde, 12 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan silindirik numuneler, ortam atmosferinden nem almamaları için, desikatör içerisinde 30 dakika süreyle soğutulmuştur. Bu işlemin ardından, her bir silindirik numune, hassas terazi kullanılarak tartılmış ve her bir numunenin kuru kütle (M_k) değeri bulunmuştur.

Bundan sonra numuneler, saf su doldurulmuş bir kap içerisinde, 48 saat süre ile bekletilmiştir. Suya doyurulan numunelerin üzerindeki su, kâğıt havlu yardımı ile kurulandıktan sonra, numuneler hassas terazi üzerinde tartılmış ve numunelerin suya doymun kütlesi (M_s) bulunmuştur.

Elde edilen değerler, çizelge 4.3.'te verilen eşitlikler yolu ile hesaplanarak, her bir numunenin boşluk oranı (e), boşlukların hacmi (V_v) ile porozite (n) değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Porozite deneyi eşitlikleri ve birimleri.

$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi L$	Simge	Tanımı	Ölçü birimi
	V	Numunenin hacmi	cm ³
$V_v = \frac{M_s - M_k}{\rho_w}$	D	Karot çapı	mm
	L	Karot boyu	mm
$n = \frac{V_v}{V} \times 100$	V_v	Boşlukların hacmi	cm ³
	M_s	Suya doymuş kütle	gr
$e = \frac{n}{1-n} \times 100$	M_k	Kuru kütle	gr
	ρ_w	Suyun yoğunluğu	gr/cm ³
	n	Porozite	%
	e	Boşluk oranı	%

4.2.2.1.4. Kapiler su emme (kapilarite) deneyi

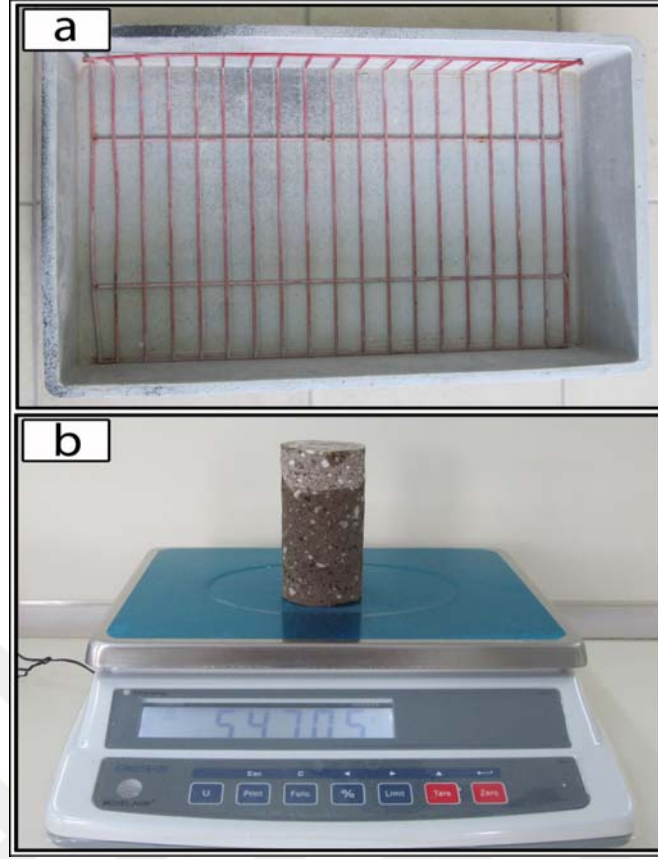
Kapilarite; atmosferik koşullar sebebiyle, nemden etkilenebilen doğal yapı taşları için önemli bir parametredir (Çobanoğlu ve Çelik, 2018). Bu deney, tarihi anıtlarda, zemin suyu yüksekliği veya yağış sebebiyle, yapıya nüfuz etmeye çalışan suyun, yapı taşlarında ilerleme biçimini ve hızını anlayabilmeyi sağlamaktadır.

Temsil numunelerinin, kapiler su emme (kapilarite) değerlerinin tespit edilmesi için, ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış her bir karot örneğinin, çapları (D) ile boyları (L) dijital kumpas vasıtasıyla ölçülerek, elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin hacmi (V) hesaplanmıştır.

Numuneler daha sonrasında, +70±5°C sıcaklığa ayarlanmış havalandırılmalı etüvde, sabit bir kütleye ulaşınca değin kurutulmuştur. Kurutulan silindirik numuneler, ortam atmosferinden nem almamaları için, desikatör içerisinde 30 dakika süreyle soğutulmuştur. Bu işlemin ardından, her bir silindirik numune, hassas terazi kullanılarak tartılmış ve her bir numunenin kuru kütle (M_k) değeri bulunmuştur.

Bundan sonra numunelerin çapları (D), dijital kumpas vasıtasıyla ölçülerek, elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin su emdirilecek yüzeyinin alanı (A), m² cinsinden hesaplanmıştır.

Büyük ve dikdörtgen formda bir kap alınmış ve kabın içerisine bir ızgara yerleştirilmiştir (Şekil 4.15a). Silindirik numuneler, bu ızgaranın üzerine ayrıık olarak dizilmişlerdir. Ardından, kabın içerisine su doldurulmuştur. Doldurulan suyun üst kot hizası, numunelerin tabanını, 3±1 mm derinlikte bırakacak biçimde ayarlanmıştır. Numunelerin tabanı, su ile temas ettiği andan itibaren, kronometre çalıştırılmıştır.



Şekil 4.15. Kapiler su emme (kapilarite) deney süreci; a) silindirik numunelerin su içerisinde bekletildiği kap ve ızgara, b) temsil numunesinin 4320. dakikadaki durumu.

Deney esnasında, su seviyesinin başlangıçta ayarlanan kotta sabit kalmasına dikkat edilmiş ve gerektiğinde hassas bir biçimde su eklemesi yapılmıştır.

Ek olarak bu deney usulünde; kayacın yüksek veya düşük su emiş tipine bağlı olarak, ölçüm aralıkları farklıdır. Yüksek su emişli kayalarda ölçüm süreleri; 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440. dakikalardadır. Düşük su emişli kayalarda ise ölçüm süreleri; 30, 60, 480, 1440, 2880 ve 4320. dakikalarda yapılmaktadır.

Kronometre çalıştırıldıktan sonra numuneler; 30, 60, 480, 1440, 2880 ve 4320. dakikalarda, ızgara üzerinden alınarak, hassas terazide tartılmış ve hemen akabinde ızgaraya geri konulmuştur (Şekil 4.15b).

30. ve 2880. dakikalar arasında ölçülen numune ağırlıkları (M_i), 4320. dakikada ölçülen numune ağırlıkları ise (M_f) olarak adlandırılmıştır. Elde edilen değerler, çizelge 4.4.'te verilen eşitlikler yolu ile hesaplanarak, her bir numunenin kapiler su emme (kapilarite) (C) değeri bulunmuştur.

Çizelge 4.4. Kapiler su emme (kapilarite) deneyi eşitlikleri ve birimleri.

$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi.L$	Simge	Tanımı	Ölçü birimi
	V	Numunenin hacmi	cm ³
$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$	D	Karot çapı	mm
	L	Karot boyu	mm
	A	Su emdirilecek yüzey alanı	m ²
	C	Kapiler Su Emme (Kapilarite) değeri	gr/m ² .s ^{0.5}
$C = \frac{M_f - M_k}{A\sqrt{T_i}}$	M_s	Suya doymun kütle	gr
	M_k	Kuru kütle	gr
	T_i	Numunenin su emmesinin ölçüldüğü süreler	s

4.2.2.2. Jeomekanik Analizler

Kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, onların dış etkilere karşı dayanım yeteneklerini karakterize etmek bakımından önemlidir (Ojo ve Brook, 1990). Bu doğrultuda, temsil numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için; SHR (Schmidt Hammer Rebound-Schmidt çekici sekme değeri), V_p (P-Dalgasının geçiş hızı) ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin yöntemleri, aşağıdaki başlıklar altında aktarılmaktadır.

4.2.2.2.1. SHR deneyleri

Schmidt çekici ile sertlik ölçüm testleri; hem laboratuvar ortamında numunelere, hem de sahada kayaçlara ve yapı taşlarına tatbik edilebilen; pratik, basit ve hızlı sonuç veren, tahribatsız bir test tekniğidir. Laboratuvar ortamında, temsil numunelerinin üzerinde yapılan testlerde, ASTM-D5873 (2014)'te belirtilen biçimde, aynı yüzeyde, 10 farklı noktaya ve yüzeye dik biçimde testler yapılmıştır. Her temsil numunesi için, alınan 10 değerın ortalaması hesap edilmiştir. Ortalama alınırken, yedi birimden farklı olan değerler dikkate alınmamıştır. Daha sonra, kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak, her bir temsil numunesinin, yüzey sertlik değeri elde edilmiştir. Testlerde, 0.735 Nm vuruş enerjili, DRC-Geohammer marka “L” tipi Schmidt çekici kullanılmıştır.

4.2.2.2.2. V_p deneyleri

Bir kaynaktan üretilen dalgalar, farklı dalga tipleri olarak yayılmakla birlikte, pratik kullanımda, sıkıştırma dalgaları (P) ve enine dalgalar (S) en önemli dalga tipleridir (Siegesmund ve Dürrast, 2014). Bu dalga tiplerinden P-Dalgası, S-Dalgasına göre, daha hızlı olması bakımından ve uygulanabilirlik sahası yönünden öne çıkmaktadır (Siegesmund ve Dürrast, 2014; Menéndez, 2016).

Temsil numunelerinin, V_p (P-Dalgasının geçiş hızı) değerlerinin tespit edilmesi için, ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış her bir karot örneğinin, çapları (D) ile boyları (L) dijital kumpas vasıtasıyla ölçülerek, elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin hacmi (V) hesaplanmıştır.

Ölçümler için, Proceq marka, Pundit PL-200 model, ultrasonik ölçüm cihazı laboratuvarında kurulmuştur. Cihaz, deneye başlanılmadan önce, kalibre numunesi ile kalibre edilmiştir. Bu adımdan sonra, cihazın alıcı ve verici propları ile silindirik temsil numunelerinin alt ve st başlıklarına, ultrasonik jel sürülmüştür. Numuneler, proplar arasında sıkıştırılarak, her bir silindirik numune içerisinden, P-Dalgasının geçiş süresi (T_p) llmştr (Şekil 4.16). Bu değerler, izelge 4.5.'te verilen eşitlikler yolu ile hesaplanarak, her bir numuneye ait V_p değeri bulunmuştur.



Şekil 4.16. V_p ölçüm deneyi.

Çizelge 4.5. V_p deneyi eşitlikleri ve birimleri.

$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi \cdot L$	Simge	Tanımı	l birimi
	V	Numunenin hacmi	cm ³
	D	Karot apı	mm
$V_p = \frac{L}{T_p}$	L	Karot boyu	mm
	T_p	P-Dalgasının geçiş süresi	s
	V_p	P-Dalgasının geçiş hızı	m/s

4.2.2.2.3. Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri

Kayaçların, tek eksenli basınç dayanımları, kaya mühendisliğindeki en önemli parametrelerden birisidir (Cargill ve Shakoor, 1990; Torabi ve ark., 2010; Jamshidi, 2014; Jamshidi ve ark., 2016; Sivakugan ve ark., 2016).

Tarihi anıtların, büyük bir kesiminin, yığma strüktür yapım sistemleri ile inşa edilmiş olmaları dolayısıyla, bu anıtların sağlamlığının önemli göstergelerinden birisi, yapılarda kullanılan taşların, tek eksenli basınç dayanımlarıdır.

Temsil numunelerinin, tek eksenli basınç dayanımlarının tespit edilmesi için; ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış her bir karot örneğinin, çapları (D) ile boyları (L) dijital kumpas vasıtasıyla ölçülmüştür. Elde edilen değerlerin, ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin, yük uygulanacak yüzeyinin alanı (A), m² cinsinden hesaplanmıştır.

Silindirik numune, basınç uygulayacak olan presin, üst pistonu ve alt tablası arasına yerleştirilmiştir. Uygun yükleme hızı, presin kontrol panelinden seçilerek, numuneye yük uygulanmaya başlanmıştır. Numunenin, uygulanan yük miktarını taşıyamayarak, kırıldığı anındaki yük değeri (P), presin ekranından okunmuştur. Bu değerler, çizelge 4.6.'da verilen eşitlikler yolu ile hesaplanarak, her bir silindirik numunenin, tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) bulunmuştur.

Yapılan çalışmada ayrıca, Hoek ve Brown (1980)'ın önerdiği, 50 mm çapındaki silindirik karot yüzeyine eşdeğer, tek eksenli basınç dayanımı da ($\sigma_{c(50)}$) hesap edilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi eşitlikleri ve birimleri.

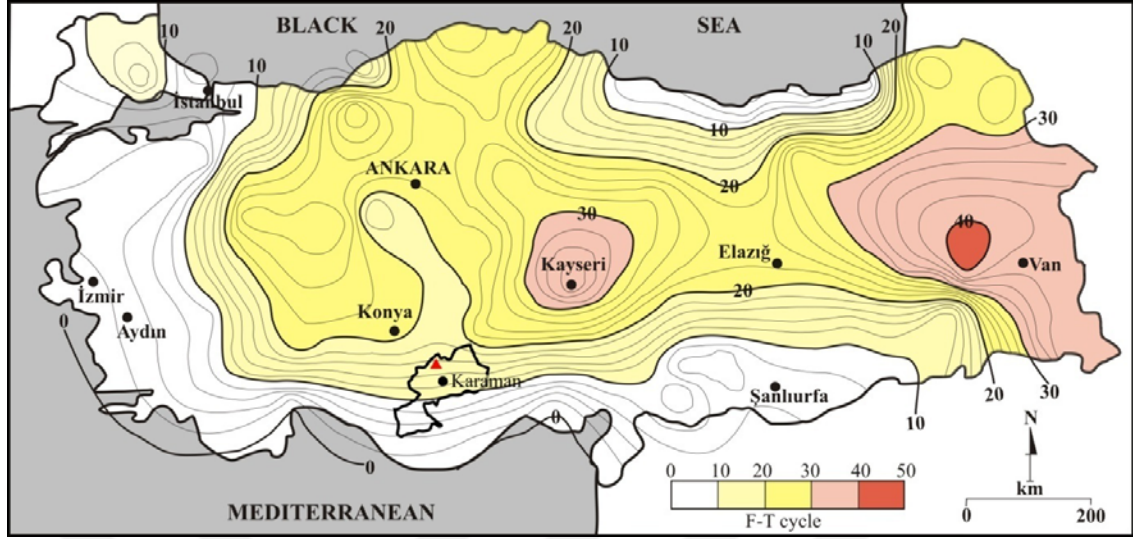
$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$	Simge	Tanımı	Ölçü birimi
	D	Karot çapı	mm
$\sigma_c = \frac{P}{A}$	L	Karot boyu	mm
	A	Yük uygulanacak yüzey alanı	m ²
$\sigma_{c(50)} = \frac{\sigma_c}{(50/D)^{0.18}}$	P	Kırılma anındaki yük değeri	kN
	σ_c	Tek eksenli basınç dayanımı	MPa
	$\sigma_{c(50)}$	50 mm çapındaki silindirik karot yüzeyine eşdeğer tek eksenli basınç dayanımı	MPa

4.2.2.3. Donma-çözülme deneyleri

Klimatik şartlar, arkeolojik kalıntıları etkileyen, temel bozunma faktörleri arasındadır (D'ossat, 1982; El-Gohary ve Al-Shorman, 2010). Soğuk iklimlerde, donma-çözülme döngüleri, yapı taşları üzerinde, yıkıcı etkileri olan atmosferik davranışların başında gelmektedir (Matsuoka, 1990; Matsuoka ve Murton, 2008; Huggett, 2011; Fener ve Ince, 2015; Gökçe ve ark., 2016).

Binal (2009)'ın, Türkiye için hazırlanmış olduğu isoline haritasına göre, Karadağ bölgesinde, kış döneminde gözlenen donma-çözülme şiddet döngüsü adedi, 14 ile 18

arasındadır (Şekil 4.17). Bu durum, bölgede bulunan yapı taşlarında, donma-çözülme etkisinin, kuvvetli bir bozunma faktörü olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 4.17. Türkiye'nin donma-çözülme şiddet döngüsü isoline haritası ve Karadağ'ın konumu (Binal (2009)'dan değiştirilerek alınmıştır).

Donma-çözülme döngülerinin, yapı taşları üzerindeki yıkıcı etkilerini görmek amacıyla, temsil numunelerine, donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Bu deney, donma-çözülme çevrim koşullarına maruz kalan kayaçların, meydana gelen aşınmaya karşı duraylılığının belirlenmesi için yapılmaktadır (Ulusay ve ark., 2001). Donma-çözülme deneyleri, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Temsil numunelerinin, donma-çözülme deneyleri için, ilgili standartlara uygun olarak hazırlanmış her bir karot örneğinin, çapları (D) ile boyları (L) dijital kumpas vasıtasıyla ölçülerek, elde edilen değerlerin ortalaması alınmış ve her bir silindirik numunenin hacmi (V) hesaplanmıştır.

Numuneler daha sonrasında, $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış etüvde, 4 saat kadar bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan silindirik numuneler, ortam atmosferinden nem almamaları için, desikatör içerisinde 30 dakika süreyle soğutulmuştur. Bu işlemin ardından, her bir silindirik numune, hassas terazi kullanılarak tartılmış ve her bir numunenin, donma-çözülme deneyi öncesi, kuru ağırlık değeri ($A_{DÇ}$) bulunmuştur.

Numuneler bundan sonra, saf su dolu beherlerde, en az 12 saat bekletilmiş ve doymun hale getirilmiştir. Doymun örnekler, su geçirmez naylon torbalara yerleştirildikten sonra, donma-çözülme kabini içerisine konulmuşlardır.

Bu adımlardan sonra, cihaz çalıştırılmıştır. Donma süreci, -18°C sıcaklıkta 12 saat, çözülme süreci, +32°C sıcaklıkta 12 saat olmak üzere, toplamda 24 saati kapsayan, bir süreç olup, numunelere uygulanan bu süreç, bir çevrimlik donma-çözülme döngüsüdür. Belirlenen döngü sayısının bitiminde numuneler, kabinden çıkartılmışlardır.

Çıkartılan numuneler, 110±5°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde, 12 saat kadar bekletilerek kurutulmuşlardır. Kurutulan silindirik numuneler, ortam atmosferinden nem almamaları için, desikatör içerisinde 30 dakika süreyle soğutulmuştur.

Bu işlemlerin ardından, her bir silindirik numune, hassas terazi kullanılarak tartılmış ve her bir numunenin, donma-çözülme deneyi sonrası kuru ağırlık değeri ($B_{DÇ}$) bulunmuştur. Ölçülen ağırlık değerleri, çizelge 4.7.'de verilen eşitlikler yolu ile hesaplanarak, her bir silindirik numunenin, donma-çözülme deneyi sonrası ağırlık kaybı ($DÇ_K$) yüzdelik bazda hesaplanmıştır. Deney, ASTM-D5312-04 (2004) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7. Donma-çözülme deneyi eşitlikleri ve birimleri.

$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi \cdot L$ $DÇ_K = \frac{A_{DÇ} - B_{DÇ}}{A_{DÇ}} \times 100$	Simge	Tanımı	Ölçü birimi
	V	Numunenin hacmi	cm ³
	D	Karot çapı	mm
	L	Karot boyu	mm
	A_{DÇ}	Donma-çözülme deneyi öncesi kuru ağırlık değeri	gr
	B_{DÇ}	Donma-çözülme deneyi sonrası kuru ağırlık değeri	gr
	DÇ_K	Donma-çözülme deneyi sonrası ağırlık kaybı	%

4.2.2.4. Mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analizler

Mezar anıtlarının inşasında kullanılmış kayacın ve toprak altındaki kesimlerde oluşmuş beyaz kabuk katmanının, mineralojik ve petrografik yapıları ile jeokimyasal özelliklerini tespit etmek amacıyla numunelere; Optik Mikroskopi, XRF ve XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin yöntemleri, aşağıdaki başlıklar altında aktarılmaktadır.

4.2.2.4.1. Mineralojik ve petrografik analizler

Mezar anıtlarının inşasında kullanılmış kayacın, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında hazırlanan ince kesit numuneleri, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan, polarizan mikroskop altında, TS-EN-12407 (2013)'e göre incelenmiştir.

4.2.2.4.2. Jeokimyasal analizler

XRF, kimyasal bir analiz tekniğidir (Küçükkaya, 2014). Bu analiz, maddelerin içerisinde bulunan elementlerin, minimum ve maksimum miktarlarını tespit edebilmektedir (Hughes ve ark., 1976; Colao ve ark., 2010; Küçükkaya, 2014). Analiz, jeolojik örneklerin kimyasal analizinde, uzun yıllardan beri kullanılmaktadır (Rose ve ark., 1963).

Mezar anıtlarının inşasında kullanılmış kayacın ve beyaz kabuk katmanının XRF analizleri, YEBİM laboratuvarında, Spectro XLAB 2000 PEDXRF (400-W Rh endwindow tube and Si (Li) detector with a resolution of 148 eV (1000 cps Mn K α) cihazı kullanılarak yapılmıştır.

XRD, malzemelerin kimyasal yapılarının ve korozyon ürünlerinin belirlenmesini sağlayan, bir analiz tekniğidir (Hughes ve ark., 1976). XRD analizleri ile taşlardaki tuz, kil ve kabukların mineralojik tetkikleri yapılabilmekte (Küçükkaya, 2014), ana oksit bileşikleri belirlenebilmektedir.

Mezar anıtlarının inşasında kullanılmış kayacın ve beyaz kabuk katmanının XRD analizleri, YEBİM laboratuvarında, “Inel Equinox 1000” marka cihazla (CoK α radiation obtained at 30 kV and 30 Ma, 5–80° 2 θ investigation range, 0.030° step) yapılmıştır.

4.3. Çözünebilir Bağlayıcılar ile Bütünleme Malzemesi Üretim Çalışmaları

Yapı taşlarında meydana gelmiş bozunmaların rehabilitasyonu için; yüzey temizleme, sağlamlaştırma, estetik ve plastik onarım (bütünleme) ve yüzey koruma uygulamaları gerçekleştirilmektedir (Küçükkaya, 2014; Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

Bu müdahale türleri içerisinde, estetik ve plastik onarım (bütünleme); bir kesimi zarar görmüş ya da yok olmuş, yapıları ve öğeleri, yapının ilk durumundaki bütünlüğe kavuşturacak biçimde, geleneksel veya çağdaş malzemelerle tamamlama işlemi olarak tanımlanmaktadır (Ahunbay, 1996).

Bütünleme; hem bütünlenen yapı, hem de bütünleyen malzeme açılarından bakılması gereken bir müdahaledir. Bütünlenen yapı açısından, ilk tasarıma ilişkin sağlıklı yapısal veriler, bütünleme müdahalesi için gereklidir (Ahunbay, 1996; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Ayrıca; eksik bölümlerin tamamlanması sırasında, bütünle uyumlu

bir bağdaştırma biçimi kullanılması ve bütünlemenin özgün bölümlerden ayırt edilebilecek şekilde yapılması gerekmektedir (Venice_Charter, 1964).

Bütünleyen malzeme açısından kriterler; biçimsel, yapısal ve dönüşümsel boyutlarda ele alınmaktadır.

- Biçimsel boyutta; bütünleyen malzeme, bütünlenen malzeme ile uyumlu fakat ayırt edilebilir renge, dokuya ya da hizaya sahip olmalıdır (Zakar ve Eyüpgiller, 2015).
- Yapısal boyutta; bütünleyen malzemenin, bütünlenen malzeme ile fiziksel ve kimyasal özellikler açısından uyumlu olması gerekmektedir (Ahunbay, 1996; Küçükkaya, 2014; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Bütünleyen malzemenin; mikro strüktür, mineralojik bileşim, içyapı, özgül ağırlık, porozite, su emme, doymun durumundayken şişme, sertlik, tek eksenli basınç dayanımı, genleşme, büzülme, korozyon, renk verme vb. özelliklerinin, bütünlenen malzeme ile uyumlu olması ve o malzemeye yapısal davranışları ile zarar vermemesi gerekmektedir.
- Dönüşümsel boyutta; bütünleyen malzemenin, bütünlenen malzemeye zarar vermeden, istenildiğinde çözünebilme özelliğinin (reversibility) olması gerekmektedir (Ashurst ve Dimes, 1998; Jokilehto, 2002; Bugani, 2007; Atalay, 2010; Izadpanah, 2013; Revez, 2016).

Bu kriterler göz önüne alındığında, bütünleyen malzemenin özellikleri ve davranışları önem kazanmaktadır.

Bütünleme müdahalesinde, malzeme yönünden, hala temin edilebiliyorsa, en iyi çözüm, özgün malzeme kullanılmasıdır (Ahunbay, 1996). Bunun temin edilemediği (taş ocaklarının bulunamaması ya da işletilememesi vb.) durumlarda, taş tozu ya da kırığı kullanılarak, bütünleme malzemesi (yapay taş) üretimine gidilebilir (Ahunbay, 1996).

Bölgede yapılan saha çalışmalarında, Madenşehir Köyü'nün kuzeyinde, anıtların taş ocakları bulunmuştur. Bu ocaklardan alınarak biçimlendirilen yeni bloklarla, anıtların büyük ölçekli eksik bölümlerinin tamamlanabileceği değerlendirilmektedir. Daha küçük ölçekli eksilmelerin ise, bütünleme malzemesi kullanılarak bütünlenmesi, sahada uygulama bakımından, pratik bir çözüm yolu olarak görülmektedir.

Bütünleme malzemesi üretiminde kullanılacak, bağlayıcı materyal bulunmasına dönük yapılan araştırmalarda; biçimsel, yapısal ve dönüşümsel boyutlarda, gereken

kriterleri sağlayan ve ekonomik açıdan da ulaşılabilir olan bağlayıcılar; hidrolik kireç esaslı ve akrilik reçine bazlı olmak üzere, iki farklı türde belirlenmiştir.

Hidrolik kireç, sahadaki restorasyon uygulamalarında, duvar harcı ya da onarım harcı yapımı ile enjeksiyon müdahalelerinde, yaygın olarak kullanılmaktadır (Ashurst ve Dimes, 1998; Polat Pekmezci, 2012; Zakar ve Eyüpgiller, 2015; Ekşi Akbulut ve ark., 2018).

Akrilik reçine bazlı bağlayıcılar içerisinde; sıcak su (45-65°C) ile çözünbilme (reversibility) ve mekanik olarak kolayca uzaklaştırılabilme özelliğine sahip bir bağlayıcı olan, Primal AC-33 (akrilik reçine emülsiyonu) seçilmiştir. Bu malzeme, sahadaki restorasyon uygulamalarında; yapıştırma, çatlak onarımı, sağlamlaştırma ve dolgu müdahalelerinde, yaygın olarak kullanılmaktadır (Acun Özgünler, 2007; Güleç, 2012; Öztürk, 2012a; 2012b; Aşık ve Ahunbay, 2015).

Çalışma kapsamında incelenen, M-2 mezar anıtının, mimari elemanlarını büyük oranda kaybettiğinden ötürü, bütünleme müdahalesi için uygun durumda olmadığı düşünölmektedir. M-1 mezar anıtı ise; eksik mimari elemanlarının oldukça az oranda olması ve bozunma etmenlerinden daha fazla etkilenmemesi yönlerinden, bütünleme müdahalesi için uygun bulunmuştur.

Çözünabilir bağlayıcılar ile bütünleme malzemesi üretim çalışmalarının gelişim süreci aşağıda anlatılmaktadır.

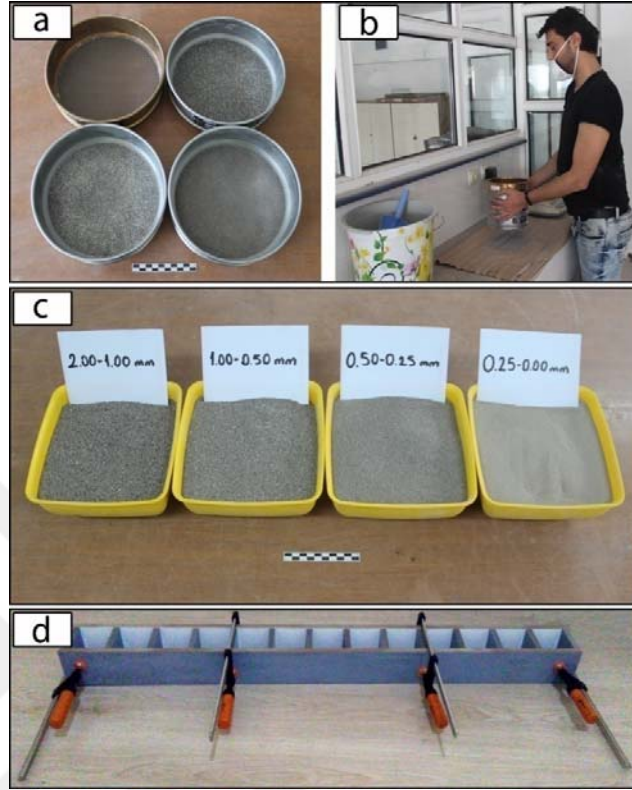
Yapı taşlarının temsil numuneleri, çelik örs üzerinde, balyoz ve çekik yardımıyla kırılarak, elma büyüklüğünde parçalar haline getirilmiştir. Bu parçalar, Denver Sala marka, çeneli kırıcı yardımı ile kırılarak, nohut büyüklüğünde parçalar elde edilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Temsil numunelerinin parçalanma süreci; a) kırma, b) çeneli kırıcıda ufaltma, c) çeneli kırıcı ve ufaltılan malzemenin bulunduğu hazne, d) elde edilen malzeme.

Nohut büyüklüğündeki parçalar, Zellweger marka, burgulu öğütücü ile granöl malzeme haline getirilmiştir. Granöl malzeme içerisinde rastlanan, görece büyük

parçalar için, pirinç havan yardımıyla, boyut küçültülmesine gidilmiştir. Granül malzeme; 0-250 μm , 250-500 μm , 500-1000 μm ve 1000-2000 μm ϕ ap aralıklarında elekler kullanılarak elenmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Granül malzemenin elenmesi; a) elekler, b) eleme, c) farklı elek ϕ ap aralıklarındaki agregalar, d) numune kalıp sistemi.

Elenen malzeme, ϕ ap aralıklarına göre paketlenerek, bütünleme malzemesi üretim uygulamalarına geçilmiştir. Bütünleme malzemesi üretim uygulamalarında, dökülen numunelerin, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile 7x7x7 cm büyüklüğünde hazneler içeren, ahşap bir kalıp sistemi oluşturulmuştur (Şekil 4.19).

Hidrolik kireç esaslı bütünleme malzemesi üretimi:

Farklı ϕ ap aralıklarına göre ayrılmış agrega, hidrolik kireç ve su ile karıştırılarak, her elek aralığına ait 3 adet numune olmak üzere, toplamda 12 adet numune dökülmüştür. Numuneler, 7 gün kalıp içerisinde kaldıktan sonra, kalıplar sökülmüş ve 12 adet numune, oda sıcaklığı şartları içerisinde mukavemetini kazanması amacı ile 28 gün kadar beklemeye alınmıştır (Şekil 4.20). Numunelerin içeriğine katılan malzemeler ve miktarları, çizelge 4.8.'de görülmektedir.



Şekil 4.20. Hidrolik kireç esaslı bütünleme malzemesi döküm numuneleri.

Çizelge 4.8. Hidrolik kireç esaslı bütünleme malzemesi içerikleri.

Agrega çapı	Andezit agregası miktarı (gr)	Hidrolik kireç miktarı (gr)	Su miktarı (gr)	7x7x7 küp numune yaş döküm ağırlığı (gr)
1000-2000 μm	950	350	400	1700
500-1000 μm	950	350	450	1750
250-500 μm	950	350	525	1825
0-250 μm	950	350	550	1850

Primal AC-33 esaslı bütünleme malzemesi üretimi:

Farklı çap aralıklarına göre ayrılmış agrega, Primal AC-33 ile karıştırılarak, her elek aralığına ait 3 adet numune olmak üzere, toplamda 12 adet numune dökülmüştür. Numuneler, 28 gün kalıp içerisinde kaldıktan sonra, kalıplar sökülmüş ve 12 adet numune, oda sıcaklığı şartları içerisinde mukavemetini kazanması amacı ile 28 gün kadar beklemeye alınmıştır (Şekil 4.21). Numunelerin içeriğine katılan malzemeler ve miktarları, çizelge 4.9.'da görülmektedir.



Şekil 4.21. Primal AC-33 esaslı bütünleme malzemesi döküm numuneleri.

Çizelge 4.9. Primal AC-33 esaslı bütünleme malzemesi içerikleri.

Agrega çapı	Andezit agregası miktarı (gr)	Primal AC-33 miktarı (gr)	7x7x7 küp numune yaş döküm ağırlığı (gr)
1000-2000 μm	950	450	1400
500-1000 μm	950	550	1500
250-500 μm	950	580	1530
0-250 μm	950	630	1580

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Saha ve Büro Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Anıt mezarların, yapı taşlarındaki bozunmaların belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen, saha ve büro çalışmalarına dair değerlendirmelere, bu bölümde yer verilmektedir.

5.1.1. Anıtların görsel ve mimari belgelemesi ile tanımı değerlendirmesi

Anıtlar, görsel ve mimari belgeleme metotları kullanılarak, en küçük ayrıntılarına kadar çizilmiş ve belgelenmişlerdir. Gözlem yoluyla belirlenen bozunmalar, toprak altı ve üstünde bulunan kesimler ile yön aldıkları cephelere göre, oransal olarak ölçülmüş ve düzenlenen bozunma atlasları ile kataloglanmıştır.

5.1.2. Bozunmaların gözlem yoluyla analizi değerlendirmesi

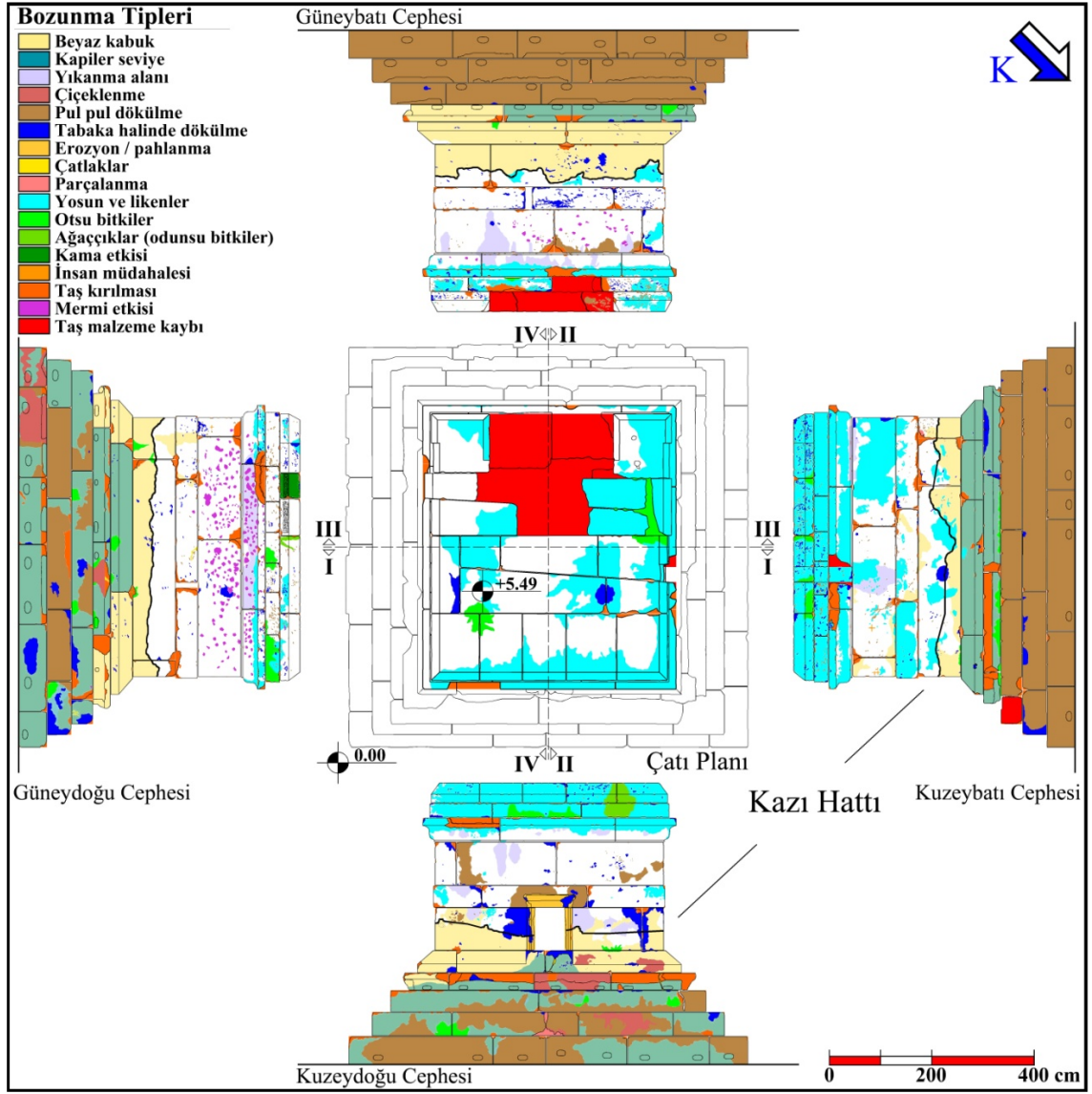
M-1 ve M-2 anıtlarında, gözlem yoluyla yapılan analizlerde belirlenen bozunmalar; atmosferik, biyolojik ve antropojenik kökenli olmak üzere üç ana türdedir.

Atmosferik kökenli bozunmalar; yapı taşlarının, uzun yıllardan bu yana, toprak altında kalması nedeniyle, yüzeylerinde oluşan beyaz kabuk, topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, tuz kristalleşmesi ile farklı form ve ölçeklerde yüzeysel kayıplar olarak tespit edilmiştir.

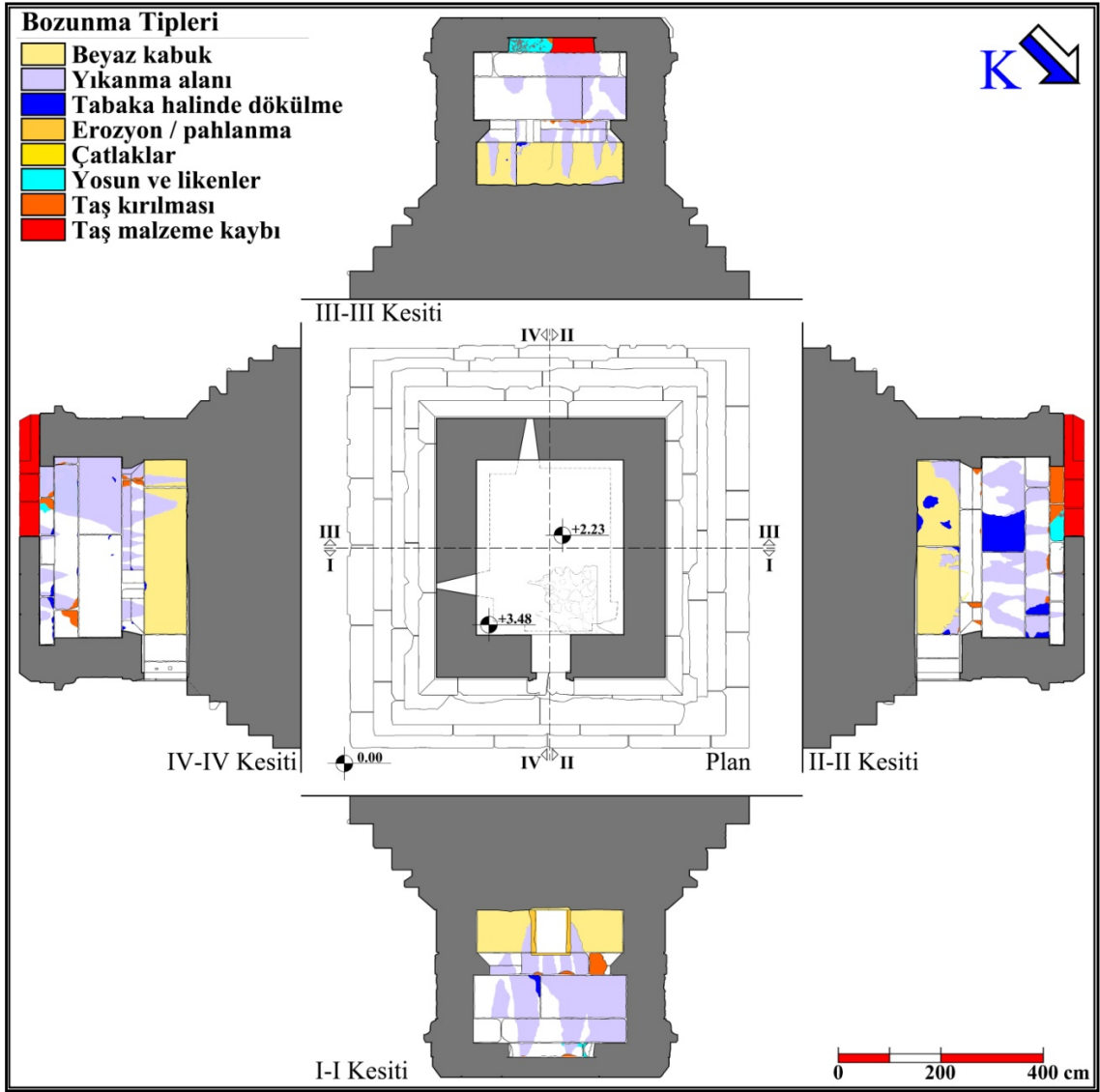
Biyolojik kökenli bozunmalar; biyolojik aktivite katmanları ile yapı taşları derzlerinde gelişen otsu bitkiler ve ağaççıklar (odunsu bitkiler) olarak belirlenmiştir.

Antropojenik kökenli bozunmalar; çeşitli ölçeklerde malzeme ve yapı elemanı kayıpları ile ateşli silahlarla yapı taşlarının hedef alınması sonucunda meydana gelen çarpma etkileri olarak sıralanmaktadır.

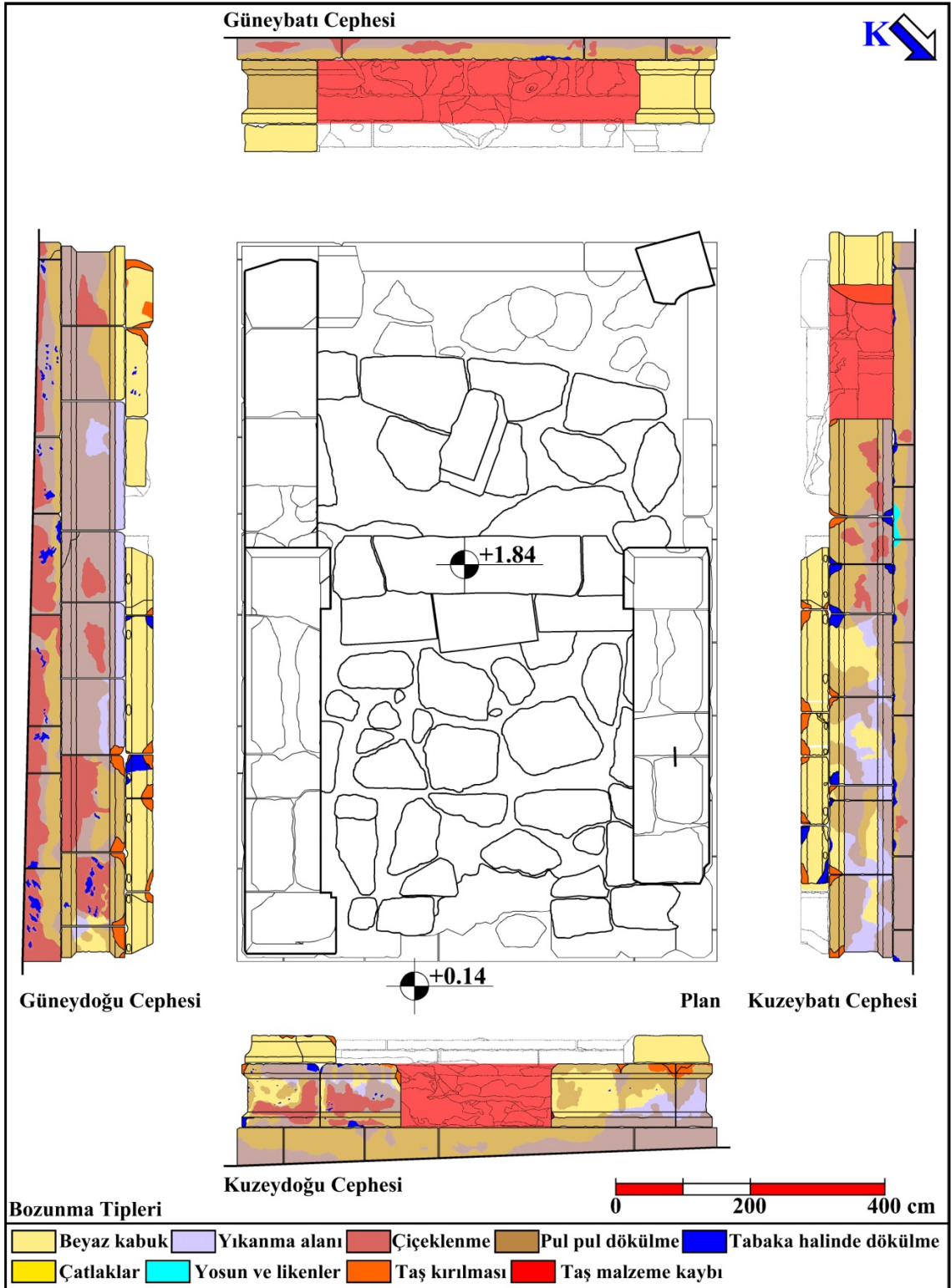
Anıtlarda gözlenen bozunma tiplerine ilişkin hazırlanan haritalar; Şekil 5.1., 5.2. ve 5.3.'te verilmiştir. Atmosferik, biyolojik ve antropojenik kökenli bozunma tiplerine ilişkin ayrıntılı değerlendirmelere, bölümün alt başlıklarında değinilmektedir.



Şekil 5.1. M-1 anıtının dış cephelerinde gözlenen bozunmalar.



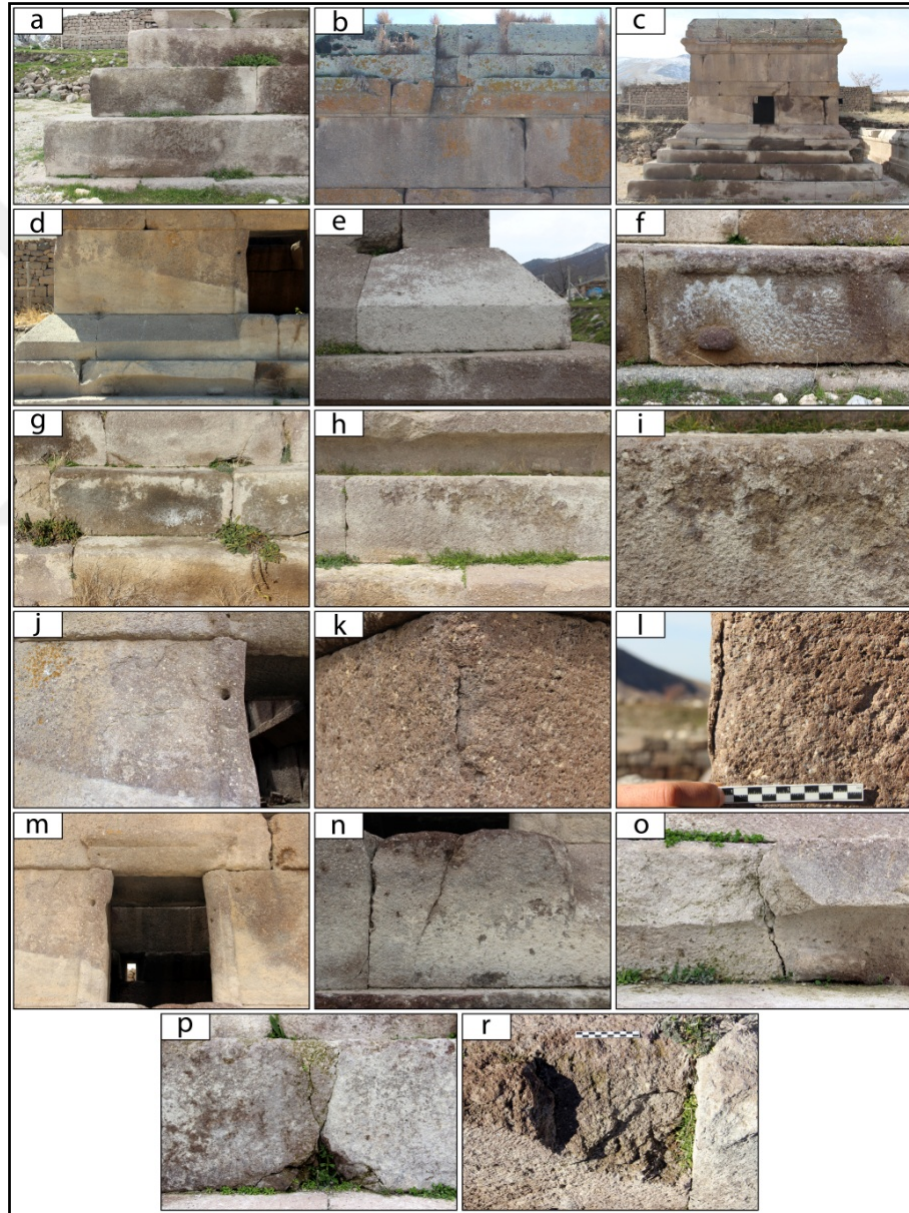
Şekil 5.2. M-1 anıtının iç çeperlerinde gözlenen bozunmalar.



Şekil 5.3. M-2 anıtının dış cephelerinde gözlenen bozunmalar.

5.1.2.1. Atmosferik etkilere bağı bozunma formlarının değ erlendirilmesi

M-1 mezar anıtının cephelerindeki, atmosferik etkilere bağı bozunma formları; yapı taşlarının, uzun yıllardan bu yana, topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, üst örtüye yakın yerlerde dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, tuz kristalleşmesi (efflorescence), pul pul dökölme (flaking), tabaka halinde dökölme (scaling), pahlanma (erosion-rounding), çatlaklar (fracture) ve parçalanma (crumbling) olarak tespit edilmiştir. Yapı taşlarında gözlenen bozunma biçimleri, Şekil 5.4.'te görölmektedir.



Şekil 5.4. M-1 anıtında gözlenen atmosferik kökenli bozunmalar; a) topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, b) üst örtüye yakın yerlerde dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, c) kapiler ve süzölme zonları, d, e) yapı taşlarının, uzun yıllardan bu yana, topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, yüzeylerinde oluşan beyaz kabuk, f, g) tuz kristalleşmesi (efflorescence), h, i) pul pul dökölme (flaking), j, k, l) tabaka halinde dökölme (scaling), m) pahlanma (erosion-rounding), n, o) çatlaklar (fracture), p, r) parçalanma (crumbling).

M-1 anıtındaki, atmosferik kökenli bozunmalar içerisinde en yaygın tip, kazı öncesi toprağa gömülü yapı taşları üzerinde oluşmuş beyaz kabuktur (Şekil 5.4d, e). Anıttaki bozunma oranları, beyaz kabuğun kaplı olduğu ve olmadığı yerlerde farklılık göstermektedir. Bu katmanın olduğu yerlerdeki başlıca bozunma davranışı, gözle de tespit edilebilen su hareketleridir (%79,55), (Şekil 5.4a, c).

Bu kesimdeki su varlığının kaynağı, topraktan kapilarite ile yükselen zemin sularıdır. Kabuğun bulunduğu kesimlerde, atmosferik etkilere bağlı bozunma tipleri %50,51 oranında bir alanı kaplarken, diğer bölümlerde bu tip bozunmaların oranı sadece %5,43'tür (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. M-1 anıtında, gömülmemiş ve kazı sonrasında ortaya çıkartılmış (beyaz kabuk bulunan) yapı yüzeylerindeki atmosferik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)	
	Gömülmemiş bölge	Kazılmış bölge
Yıkanma alanı	6.96	0.00
Kapiler alan	0.00	79.55
Suyun etkilediği toplam alan	6.96	79.55
Tuz kristalleşmesi	0.00	2.89
Pul pul dökülme	2.43	44.26
Tabaka halinde dökülme	2.30	2.97
Pahlanma	0.65	0.16
Çatlaklar	0.04	0.05
Parçalanma	0.01	0.18
Toplam atmosferik bozunma	5.43	50.51

Atmosferik kökenli bozunma tipleri, yapı cephelerine göre değerlendirildiğinde, kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerindeki bozunma oranları, birbirine oldukça yakındır (Çizelge 5.2). Bu durumun, her iki cephenin de, kuzeye yön alan bir bakıda olması ve cephelerin benzer atmosferik şartlara maruz kalmalarından ileri geldiği düşünülmektedir. Kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerinde, bakıdan kaynaklanan düşük sıcaklıklar, buharlaşma hızını azaltmakta ve bu durum, su hareketlerinin etkilediği alanların oranını yükseltmektedir (Çizelge 5.2).

Bakıdan kaynaklanan etkilerle beraber, yapı özellikleri de bozunma faktörlerinin şiddetini arttırmaktadır. Mezar odasının giriş kapısındaki tahliye oluğu, kuzeydoğu cephesindeki podyum taş yüzeylerinin ıslanmasına neden olmaktadır. Kuzeybatı cephesindeki çatı drenaj oluğu, bu cephedeki taşların, sürekli nemli kalmasında önemli bir etmendir. Yapının gövde bölümünü, bir kuşak gibi çepeçevre saran yassı blok dizisi, yağışların cephelerde dağılmasına ve suların, daha uzun süre yüzeylerde kalmasına neden olmaktadır.

Çizelge 5.2. M-1 anıtında cephelere göre atmosferik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)			
	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Yıkanma alanı	3.17	3.90	2.88	2.65
Kapiler alan	43.72	48.23	40.53	38.82
Suyun etkilediği toplam alan	46.89	52.13	43.41	41.47
Beyaz kabuk	53.21	53.52	59.75	52.95
Tuz kristalleşmesi	3.57	0.00	0.00	2.96
Pul pul dökülme	25.52	33.82	37.81	13.38
Tabaka halinde dökülme	3.34	1.61	1.26	2.51
Pahlanma	1.67	0.00	0.00	0.00
Çatlaklar	0.05	0.00	0.00	0.10
Parçalanma	0.20	0.02	0.00	0.17
Toplam atmosferik bozunma	34.35	35.45	39.07	19.12

Yapı cepheleri arasında, en yüksek oranda atmosferik kökenli bozunma, güneybatı cephesinde tespit edilmiştir (%39,07) (Çizelge 5.2). Bu durum, cephenin üst örtü elemanlarının, antropojenik etkilerle önemli ölçüde tahrip edilmesinden ileri gelmektedir. Bozulan üst örtü elemanları ve drenaj sistemi, yağışların cepheye kontrolsüz bir biçimde ulaşmasına neden olmaktadır. Tahrip edilen üst örtü sistemi ayrıca, bu cephe duvarını, hem dışarıdan, hem de içeriden, atmosferik etkilere maruz bırakmaktadır.

Bu cephenin, karşı karşıya kaldığı bir başka problem de, cephenin hemen önünde bulunan, toprak şevi ve köy evidir. Toprak şevi ve köy evi, cepheyi gölgeleyerek, cephenin mikroklimatik ortamını bozmaktadır. Gölge nedeniyle düşen sıcaklıklar, buharlaşma hızını azaltmakta ve nem oranlarını yükseltmektedir. Yükselen nem oranları, bozunma hızını arttırmaktadır.

Anıtta, en düşük oranda atmosferik kökenli bozunma, güneydoğu cephesinde tespit edilmiştir (%19,12) (Çizelge 5.2). Bu cephe, güneye yön alan bir bakıya sahip olup, cepheyi gölgeleyen herhangi bir engel bulunmamaktadır. Cepheyi, diğer cephelere nazaran, daha sıcak tutan bu özellikler, su hareketlerinin etkilediği alanların oranını da düşürmektedir (%41,47). Su hareketlerinin azalmasına bağlı olarak, cephedeki bozunma hızı ve oranları da düşüktür. Bunlarla birlikte, yüksek hızlı buharlaşma, bu cephedeki podyum kesiminde, tuz kristalleşmesi sorununu ortaya çıkartmaktadır.

M-1 anıtının, mezar odası duvarlarında gözlenen, atmosferik kökenli bozunma tipleri; beyaz kabuk, tahrip edilmiş çatı sistemi ve üst örtü bloklarından sızan yağışlarla yıkanan alanlar (washing area), tabaka halinde dökülme (scaling), pahlanma (erosion-

rounding) ve çatlaklar (fracture) olarak tespit edilmiştir. Mezar odası duvarlarındaki yapı taşları, anıt üst örtüsünün, kaçak kazılar sebebiyle, güneybatı yönünde çökmesinden sonra, atmosferik etkilere doğrudan doğruya maruz kalmışlardır. Mezar odası çeperlerinde gözlenen, atmosferik kökenli bozunma oranları, çizelge 5.3.'te verilmektedir.

Çizelge 5.3. Kesitlere göre atmosferik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)			
	I-I Kesiti	II-II Kesiti	III-III Kesiti	IV-IV Kesiti
Yıkanma alanı	47.24	24.25	34.41	25.90
Beyaz kabuk	24.02	21.19	25.39	25.06
Tabaka halinde dökülme	0.62	7.59	0.16	0.64
Pahlanma	2.75	0.00	0.00	0.00
Çatlaklar	0.00	0.19	0.00	0.00
Toplam atmosferik bozunma	3.37	7.78	0.16	0.64

Atmosferik kökenli bozunma tipleri, kesit yönlerine göre değerlendirildiğinde, kuzeydoğu cephesinin iç çeperi olan I-I Kesiti, en yüksek oranda su hareketlerinin görüldüğü çeperdir (%47,24) (Çizelge 5.3). Bu durumun kaynağı, üst örtü bloklarının aralarından sızan su akıntılarıdır.

Kesitler içerisinde, ikinci en yüksek oranda su aktivitesi, güneybatı cephesinin iç çeperi olan III-III Kesitinde görülmektedir (%34,41). Bu durumun kaynağı, çeperin üzerindeki üst örtü elemanlarının, antropojenik etkilerle ortadan kaldırılmış olmasıdır. Örtü elemanlarının bu eksikliği nedeniyle, yağışlar bu çepere, doğrudan doğruya etki edebilmektedir.

Kuzeybatı ve güneydoğu cephelerinin iç çeperleri olan, II-II ve IV-IV Kesitlerinde, su hareketlerinin aktif oldukları alanların oranı birbirine yakındır. Bununla birlikte, IV-IV Kesitinde, bu alanın oranı biraz daha yüksektir (%25,90). Bu durum, söz konusu çeperin, çöken üst örtü dolayısıyla, kuzeybatı yönüne bakı alması ile ilişkilidir.

Yapı taşları üzerinde beyaz kabuk birikimi, tüm iç çeperlerde mevcuttur. Dış cephelerin aksine, mezar odasında, beyaz kabuk birikiminin işaret ettiği bir toprak hattı belirlenememiştir. Beyaz kabuk birikimi, yaklaşık olarak, konsol hattının altında sonlanmaktadır.

Kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerinin, iç çeperleri olan, I-I ve II-II kesitlerinde, atmosferik kökenli bozunma oranları, diğer çeperlere göre daha yüksektir (Çizelge 5.3). II-II kesitinde, tabaka halinde dökülme (scaling), dikkat çekici bir oranda gözlenmiştir (%7,59).

Gözlem süreci ile beraber değerlendirildiğinde, bu bozunmanın, su hareketleri (ıslanma-kuruma, donma-çözülme) kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bir başka deyişle, su hareketlerinin aktif olduğu bölgelerde, tabaka halinde dökülmeler de, daha yoğun bir biçimde gözlenmektedir.

M-2 mezar anıtının cephelerinde, atmosferik etkilere bağlı bozunma formları; yapı taşlarının, uzun yıllardan bu yana, toprak altında kalması nedeniyle, yüzeylerinde oluşan beyaz kabuk, topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, tuz kristalleşmesi (efflorescence), pul pul dökülme (flaking), tabaka halinde dökülme (scaling), çatlaklar (fracture) ve parçalanma (crumbling) olarak tespit edilmiştir. Yapı taşlarında gözlenen bozunma biçimleri, Şekil 5.5.'te görülmektedir.

Atmosferik kökenli bozunma formları, M-2 anıtı kalıntılarında, oldukça yoğun olarak gözlenmektedir (Çizelge 5.4). Yapının, zemin ve üst kotu arasındaki mesafenin, oldukça dar olması (184 cm), üst yapı sisteminin tamamen tahrip edilmiş olması ve kalıntı düzleminin yüksek oranda dolgudan meydana gelmesi, yapı cephelerindeki taşlarda su hareketlerinin oranını, oldukça yüksek seviyelere taşımıştır.

Bir başka deyişle, yapı cephelerinde, zeminden kılcallıkla yükselen nem alanı (kapiler alan) ve dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, birbiri içerisine geçmiştir. Ek olarak, yapının uzun zamandır, toprak altında bulunması nedeniyle, yapı taşı yüzeylerini tamamen kaplayan beyaz kabuk, buharlaşmaya engel oluşturarak, suyun olumsuz etkilerini arttırmaktadır.



Şekil 5.5. M-2 anıtında gözlenen atmosferik kökenli bozunmalar; a) topraktan kapilarite ile yükselen nem alanı, b) üst kesimde dönemsel olarak yağışlarla yıkanan alanlar, c) yapı taşlarının, uzun yıllardan bu yana, toprak altında kalması nedeniyle, yüzeylerinde oluşan beyaz kabuk, d, e, f) yapı taşı yüzeylerindeki tuz kristalleşmesi (efflorescence), g, h) pul pul dökülme (flaking), i, j) tabaka halinde dökülme (scaling), k) çatlaklar (fracture), l) parçalanma (crumbling).

Çizelge 5.4. M-2 anıtında cephelere göre atmosferik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)			
	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Yıkanma alanı ve kapiler alan	38.52	42.57	22.87	60.35
Beyaz kabuk	100	100	100	100
Tuz kristalleşmesi	7.31	5.87	7.88	21.07
Pul pul dökülme	76.47	65.99	62.22	80.43
Tabaka halinde dökülme	0.76	2.02	0.40	2.28
Çatlaklar	0.00	0.00	0.00	0.06
Toplam atmosferik bozunma	84.54	73.88	70.50	100

Su hareketleri, yapı cephelerine göre değerlendirildiğinde, su hareketlerinin en yüksek oranda gözlemlendiği cephe, güneydoğu cephesidir (%60,35). Bu durum, söz konusu cephenin; M-1 anıtı, toprak sevi ve köy evi tarafından, gölgelenmesinden ileri gelmektedir.

Bu gölgelenme; cephenin mikroklimatik ortamını bozmakta, gölge nedeniyle düşen sıcaklıklar, buharlaşma hızını azaltmakta ve su hareket alanlarını genişletmektedir.

Kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerinde gözlenen su hareket alanlarının oranları, birbirlerine yakındır (Çizelge 5.4). Bu durum, her iki cephenin de, bakı nedeniyle, benzer atmosferik şartlara tabi olmasından ileri gelmektedir.

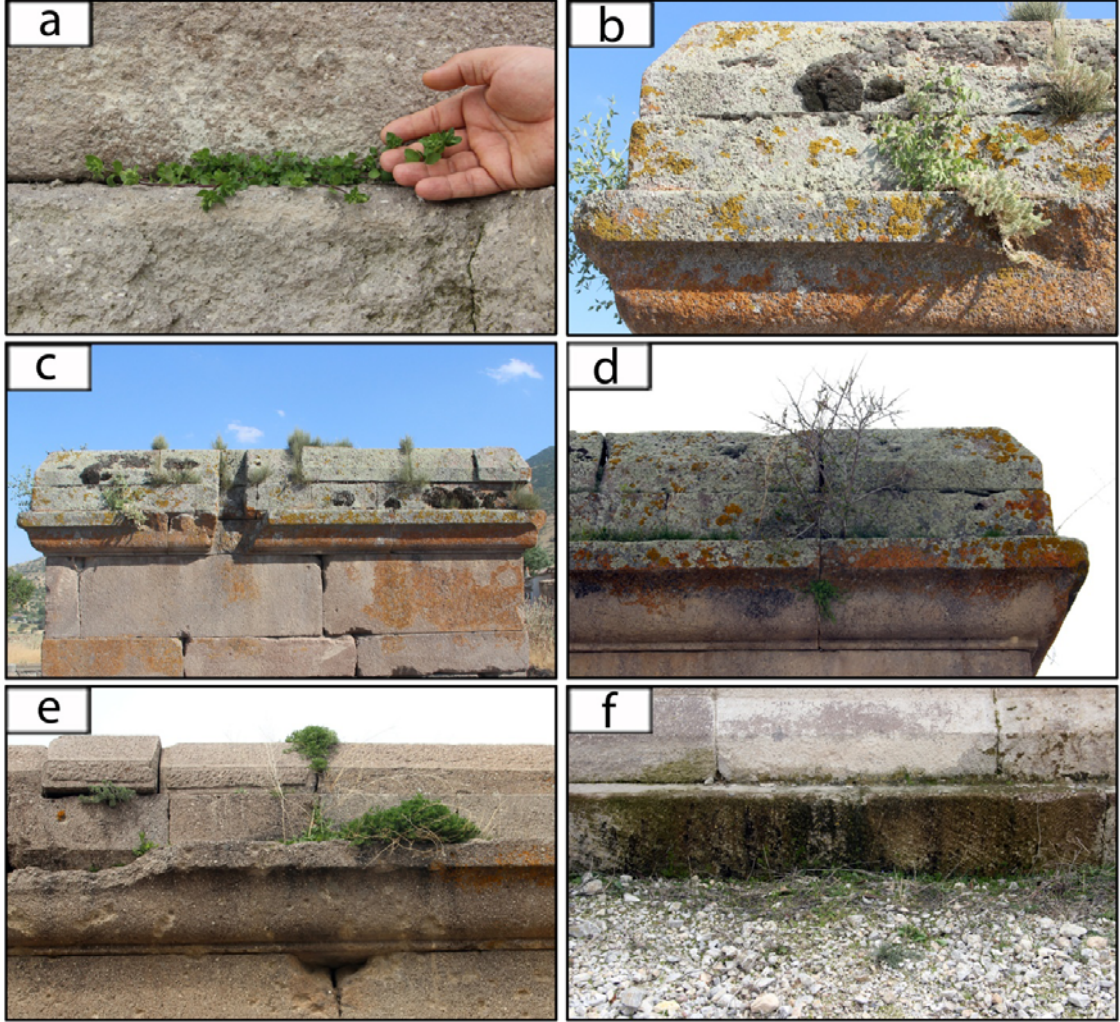
Cepheler içerisinde, su hareketlerinin en düşük oranda gözleendiği cephe, güneybatı cephesidir (%22,87). Bu cephedeki su hareketleri, yalnız temel seviyesindeki yapı taşlarında gözlenmiştir. Cephedeki su hareketlerinin, düşük oranda çıkmasındaki en önemli etmen, temel üstü seviyesindeki yapı taşlarının, üç yönden de kuruma olanağı olmasıdır.

Yapı cepheleri içerisinde, tuz kristalleşmesinin en yüksek oranda görüldüğü cephe, güneydoğu cephesidir (%21,07). Bu cephe aynı zamanda, su hareketlerinin de en yüksek oranda gözleendiği cephedir (%60,35). Cephedeki yoğun su aktivitesi, çözülebilen tuzların hareket olanaklarını arttırmaktadır.

Pul pul dökülme (flaking) tipi bozunmalar, anıtın her cephesinde yüksek oranlardadır. Bu bozunma tipi, su hareketlerinin ve tuz kristalleşmesinin olduğu bölgelerde daha yoğun olarak gözlenmektedir. Tabaka halinde dökülme (scaling) tipi bozunma da, benzer biçimde, su hareketleri ile ilişkilidir. Su hareketlerinin yükseldiği kesimlerde, tabaka halinde dökülmeler de artmaktadır.

5.1.2.2. Biyolojik etkilere bağılı bozunma formlarının değeriendirilmesi

Anıtlar üzerindeki biyolojik oluşumlar; yosunlar, likenler, tek yıllık otsu bitkiler ve ağaççıklar olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Mezar anıtlarında gözlenen biyolojik kökenli bozunmalar; a) podyum kesimindeki tek yıllık otsu bitki oluşumları, b) üst örtüdeki yosunlar ve likenler, c) üst örtüdeki tek yıllık otsu bitkiler, d) ağaççıklar, e) kama etkisi, f) M-2 anıtındaki yosun oluşumları.

M-1 anıtındaki biyolojik oluşumlar incelendiğinde, beyaz kabukla ilişkiler tespit edilmiştir. Atmosferik kökenli bozunmaların yoğun olduğu kabuk bölgesinde, otsu bitkilerin oranı yüksek iken, diğer kesimlerde yosunlar ve likenlerden oluşan biyolojik aktivite katmanı egemendir (Çizelge 5.5).

Kabuk bölgesindeki otsu bitki gelişiminin, kapiler etki sonucunda oluşan ve beyaz kabuk nedeniyle buharlaşamayan yüksek nem ile kazı esnasında yeterince temizlenemeyen toprak kalıntıları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.6 ve Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5. M-1 anıtında gömülmemiş ve kazı sonrasında ortaya çıkartılmış (beyaz kabuk bulunan) yapı yüzeylerindeki biyolojik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)	
	Gömülmemiş bölge	Kazılmış bölge
Yosun ve likenler	29.34	0.87
Otsu bitkiler	1.17	2.48
Ağaççıklar	0.68	0.00
Kama etkisi	0.37	0.00
Toplam biyolojik bozunma	31.56	3.35

M-1 mezar anıtında biyolojik oluşumlar, üst örtü bölgesinde de yoğunlaşmaktadır. Bu bölgede, çoğunluğunu likenlerin oluşturduğu, yoğun bir biyofilm tabakası mevcuttur. Biyofilm tabakası içerisinde, likenler ile birlikte, yosunlar da gözlenmektedir (Şekil 5.6).

Üst örtü bloklarının arasında, tek yıllık otsu bitkiler ve ağaççıklar gelişmiştir (Şekil 5.6). Bu biyolojik formlar, köklerinin oluşturdukları mekanik etkilerle, yapı taşlarını birbirlerinden ayırmakta ve parçalamaktadırlar (Şekil 5.6). Kama etkisi (wedge effect) olarak adlandırılan bu etki sonucunda, yapının çatı drenaj sistemi bozulmuştur. Bozulan çatı drenaj sistemi sebebiyle, yağışlar sonucunda gelen sular; yapı cephelerine, strüktür içerisine ve mezar odasına akmaktadır.

M-1 anıtının cephelerindeki biyolojik kolonizasyonların oluşumunda, cephe yönleri ve yakın çevrede bulunan yapılanmalar büyük oranda etkilidir. Cepheler incelendiğinde, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinde, daha yoğun biyolojik kolonizasyon gözlenmektedir (Çizelge 5.6). Bu durum, cephelerin kuzey bakıya sahip olmaları dolayısıyla meydana gelen, düşük sıcaklık-yüksek nem ilişkisi ile açıklanmaktadır.

Çizelge 5.6. Cephelere göre biyolojik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)			
	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Yosun ve likenler	15.76	26.37	10.46	2.37
Otsu bitkiler	2.12	2.41	0.44	2.23
Ağaççıklar	1.19	0.00	0.00	0.14
Kama etkisi	0.00	0.00	0.00	0.64
Toplam	19.07	28.78	10.9	5.38

Güneybatı cephesindeki biyolojik kolonizasyonlar, cephenin üst örtü elemanlarının tahrip edilmesi sonucunda, cepheyi doğrudan etkileyen yağışlar ve bu yönde bulunan köy evi dolayısıyla ortaya çıkan gölgelenme kaynaklıdır. Gölgeleme, düşük sıcaklık-yüksek nem döngüsü oluşturarak, biyolojik kolonizasyonların gelişimine olanak vermektedir (Çizelge 5.6).

Anıtın güneydoğu cephesinin, bakı avantajı ve herhangi bir engel tarafından gölgelenmemesi, bu cephedeki biyolojik kolonizasyon oluşumunu en düşük oranda tutmuştur (Çizelge 5.6).

M-1 anıtının, mezar odası mekânındaki biyolojik kolonizasyonlar, cephelerde gözlenen biyolojik oluşumlarla benzerdir. Biyolojik oluşumlar, ağırlıklı olarak, güneybatı yönünde çökmüş üst örtü çevresinde yoğunlaşmıştır (Çizelge 5.7). Buradaki oluşumların nedeni, yapı taşlarının yağışlar sebebiyle süzülme etkisi altında, şiddetli nem hareketlerine maruz kalmasıdır. Ayrıca bu bölgenin, gölgelenme nedeniyle düşük sıcaklığa sahip olması, biyolojik oluşumların gelişimini hızlandırmaktadır.

Çizelge 5.7. Kesitlere göre biyolojik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)			
	I-I Kesiti	II-II Kesiti	III-III Kesiti	IV-IV Kesiti
Yosun ve likenler	0.78	9.00	4.51	6.14

M-2 anıtı üzerindeki biyolojik oluşumlar, henüz çok kısıtlı bir alanda görülmektedir. Anıtın kuzeybatı cephesinde yer alan, yüksek nem değerine sahip temel taşlarında, yosun oluşumları, yeni yeni gözlenmeye başlamıştır (Şekil 5.6). Bu durum, potansiyel bir risk taşımaktadır. Anıtın, yüksek nem değerine sahip diğer taşlarında, ilerleyen dönemlerde, biyolojik oluşumların gelişmeye başlaması olasıdır (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8. M-2 anıtında biyolojik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)			
	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Yosun ve likenler	0.00	0.41	0.00	0.00

5.1.2.3. Antropojenik etkilere bağlı bozunma formlarının değerlendirilmesi

M-1 mezar anıtında, antropojenik kökenli bozunma biçimleri; dini figür kazımaları, podyum ve üst örtü kesimlerindeki detaylı süslemelere ve işlevlere sahip elemanların kırılması, yapı taşı derz ve köşe bölümlerinin kırılması, ateşli silahlarla gerçekleştirilen tahribatlar, blok eksilmeleri ve kaçak kazılar olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. M-1 yapısındaki antropojenik kökenli bozunmalar; a, b) haç biçimli dini figürler, c) kırılmış basamaklar, d) basamakta malzeme kaybı, e) yapı taşlarının derz ve köşelerindeki kırılmalar, f) kurşun izleri, g) üst örtü detaylarındaki kırılmalar, h) strüktür içerisine ve mezar odasına yağış kaynaklı su girişi, i) üst örtü kesimindeki blok eksilmeleri, j) üst örtü kesimindeki blok kırılmaları, k) mezar odasına giren yağış etkisi, l, m) mezar odası duvarlarındaki yapı taşlarında görülen bozunmalar, n) trapez biçimli konsoldaki malzeme kaybı, o) kaçak kazılar sonucunda oluşmuş çukur.

Antropojenik kökenli bozunmalar, yapının açıkta kalan kesimlerinde daha belirgindir (Çizelge 5.9). Bu durum, uzun yıllardır toprak yüzeyinde bulunan yapı taşlarının, insan etkilerine daha fazla maruz kalmaları nedeniyledir.

Çizelge 5.9. M-1 anıtında gömülmemiş ve kazı sonrasında ortaya çıkartılmış yapı yüzeylerindeki antropojenik kökenli bozunma oranları.

Bozunma tipi	Bozunma oranı (%)	
	Gömülmemiş bölge	Kazılmış bölge
Kazıma müdahalesi	0.02	0.00
Taş kırılması	3.38	4.80
Ateşli silah etkisi	0.98	0.00
Malzeme kaybı	2.59	0.60
Toplam antropojenik bozunma	6.97	5.40

Mezar anıtlarında, bozunma oluşturan antropojenik faktörler, antikçağ dönemlerine değin inmektedir. M-1 mezar anıtının, farklı cephelerine kazınmış, haç biçimli dini figürler, Hristiyanlığın kabul dönemlerine tarihlenen, antropojenik kökenli ilk bozunmalar olarak düşünülebilir (Şekil 5.7). Kazınmış sembollerin yüzeylerinde, pul pul dökülme (flaking) tipi bozunmalar görülmektedir.

M-1 anıtının podyum bölümünde, detaylı süslemelere sahip basamaklar, darbeler ile kırılmış ve malzeme kayıpları meydana gelmiştir (Şekil 5.7). Kırılan yapı taşı yüzeylerinde, pul pul dökülme (flaking) ve tabaka halinde dökülme (scaling) tipi bozunmalar görülmektedir.

Darbeler ile oluşan kırılmalara, gövde bölümündeki yapı taşlarının, derz ve köşelerinde de rastlanılmaktadır (Şekil 5.7). Bu kırılmaların olduğu bölgelerde, yüzey pürüzlülüğü artmış ve pul pul dökülme (flaking) ile tabaka halinde dökülme (scaling) tipi bozunmalar görülmeye başlanmıştır.

Antropojenik kökenli bozunmalar içerisinde, dikkat çeken en ilginç biçim, ateşli silahlarla gerçekleştirilen tahribatlardır. M-1 anıtının, toprak üzerinde kalan kesimlerinde gözlenen kurşun izleri, anıtın atış hedefi olarak kullanıldığını göstermektedir (Şekil 5.7). Kurşun izlerinin olduğu noktalarda, yüzey pürüzlülüğü artmış ve pul pul dökülme (flaking) tipi bozunmalar görülmeye başlanmıştır.

M-1 anıtının üst örtü detaylarında, darbeler sonucunda kırılmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.7). Bu kırılmalar nedeniyle, yapının üst örtü drenaj sistemi bozulmuştur. Bozulan drenaj sistemi; yapı cephelerine, strüktür içerisine ve mezar odasına yağış kaynaklı su girişlerine neden olmaktadır (Şekil 5.7).

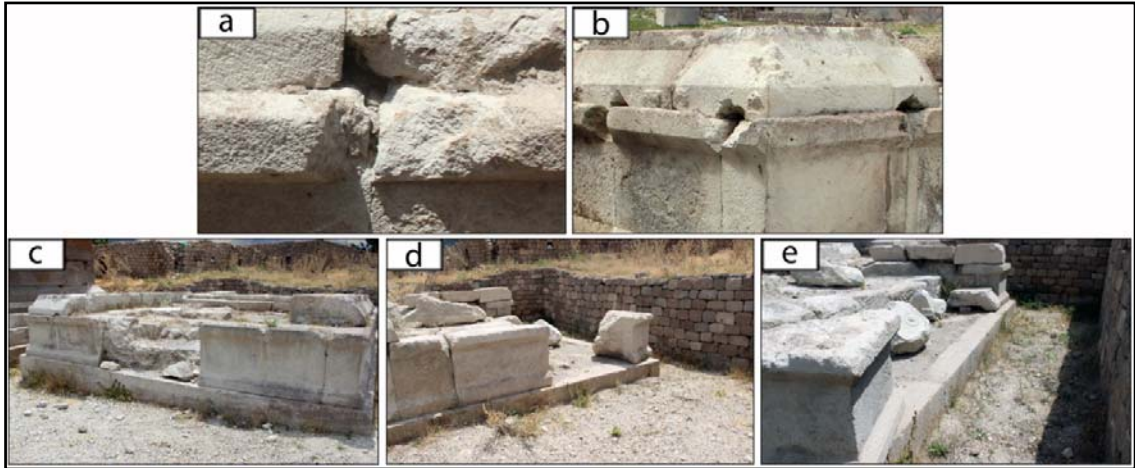
Yapının üst örtü kesiminde, kaçak kazılar sebebiyle blok kırılmaları ve eksilmeleri olmuştur (Şekil 5.7). Blok kırılmaları, taşların yüzey pürüzlülüğünü arttırmış ve biyolojik oluşumların taş yüzeylerine tutunarak gelişebilmelerine olanak

vermiştir (Şekil 5.7). Blok eksikleri nedeniyle de, yapı strüktürü içerisine ve mezar odasına yağışlar girmektedir (Şekil 5.7).

Odaya giren yağışlar, oda duvarlarında su aktivitesinin artmasına ve yapı taşlarında bozunmaların hızlanmasına neden olmaktadır (Şekil 5.7). Odaya giren yağışlar ayrıca, toprak dolgu zeminden podyum içerisine sızarak, podyum bölümündeki taşlarda nem oranını arttırmaktadır. Bu nem artışı, dış kesimdeki podyum taşlarında; tuz kristalleşmesi (efflorescence), pul pul dökülme (flaking), tabaka halinde dökülme (scaling), çatlaklar (fracture) ve parçalanma (crumbling) tipi bozunmalar meydana getirmektedir.

M-1 anıtının mezar odasında, trapez biçimli konsolun kuzey köşesinde, darbe etkisi sonucunda malzeme kaybı meydana gelmiştir (Şekil 5.7). Ayrıca, oda zemininin kuzey köşesinde, kaçak kazılar sonucunda oluşmuş, küçük bir çukur bulunmaktadır (Şekil 5.7).

M-2 mezar anıtının üst yapısı, geçmiş dönemlerde vandalizm ile ortadan kaldırılmış olup, üst yapının formuna ve ayrıntılarına ilişkin yeterli veri bulunmamaktadır. Yapı kalıntılarının, derzlerinde ve köşelerinde gözlenen kırılmalar, ayırma eylemleri ve darbeler sonucunda meydana gelmişlerdir (Şekil 5.8). Ayrıca, yapının kuzeydoğu, kuzeybatı ve güneybatı cephelerindeki bazı profilli bloklar da eksiktir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. M-2 yapısındaki antropojenik kökenli bozunmalar; a, b) yapı taşlarının köşeleri ve derzlerindeki kırılmalar, c) kuzeydoğu cephesindeki eksik bloklar, d) kuzeybatı cephesindeki eksik bloklar, e) güneybatı cephesindeki eksik bloklar.

5.1.3. Litolojik analiz değerlendirmesi

Anıtlar üzerinde gerçekleştirilen litolojik analizlerde; aynı petrografik doku, renk ve karaktere sahip, bir tür kayaç kullanıldığı tespit edilmiştir. Tespit edilen bu kayaca, (P) kayacı adı verilmiştir (şekil 5.9).



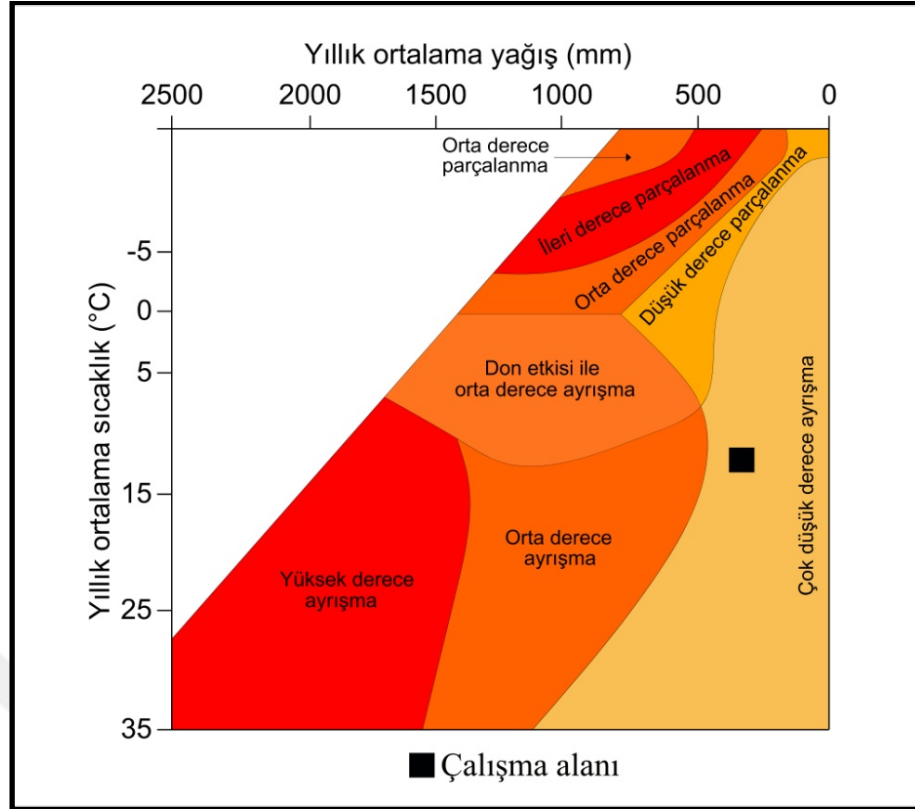
şekil 5.9. Anıtlarda kullanılan (P) kayacı.

Kayaın anıtlarda kullanımında, akma yapısına uygun bir kullanım gözlenmektedir. Bununla birlikte, M-1 anıtının güneydoğu cephesinde, akma yapısına verev kesim sonucunda meydana gelmiş, bir çatlak bulunmaktadır (şekil 5.10).



şekil 5.10. M-1 anıtının güneydoğu cephesindeki korniş bloğunda gözlenen atlak.

Karadağ'ın kuzeydoğu eteklerinde konumlanan Madenşehri, deniz seviyesinden 1218 m. yksekliginde olup, bölgede karasal iklim hkimdir. Bölge, yaz aylarında sıcak ve kurak, kış aylarında ise soğuk ve kar yağışlıdır. Bölgede kaydedilen yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri, Fookes ve ark. (1971)'a göre değerlendirildiğinde, “ok hafif ayrışma (fiziksel ve kimyasal)” beklenmektedir (şekil 5.11).



Şekil 5.11. Karaman bölgesi yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verilerine bağlı ayrışma grafiği (Fookes ve ark. (1971)'a göre hazırlanmıştır).

Anıtların, tarih boyunca yüzeyde kalan taşlarında, atmosferik etkilerle meydana gelen bozunmalar, Fookes ve ark. (1971) ile tutarlı bir biçimde olup, “Çok düşük derece ayrışma” sınıfı içerisinde değerlendirilmektedir (Şekil 5.11).

Buna karşın, toprağa gömülü iken kazılar sonucunda ortaya çıkartılan yapı taşlarındaki bozunmalar, görsel bozunma sınıflandırmalarına göre değerlendirildiğinde daha belirgindir (İrfan ve Dearman, 1978; İrfan ve Powell, 1985; ANON, 1995; Fitzner ve ark., 2003; Ündül ve Tuğrul, 2012).

5.1.4. Tahribatsız test uygulamaları sonuçlarının değerlendirilmesi

Anıtlarda, yüzey sıcaklığı (ST) ve yüzey nemi (SM) ölçümleri, mevsimsel gözlem biçiminde (bölgenin en sıcak ayı olan temmuz ve en soğuk ayı olan ocak döneminde), aynı gün içerisinde üç defa (10.00, 12.00 ve 14.00) olmak üzere eşzamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. ST ve SM ölçümleri ile yapı taşlarının bozunmasına sebep olan mevsimsel sıcaklık ve nem değişimleri açığa çıkarılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bölgenin en sıcak ayı olan temmuz döneminde yapılan tahribatsız testler (SHR ve Vp) ile de, yapı taşlarının bozunma durumları belirlenmiştir. Yapılan çalışmalara dair değerlendirmeler aşağıdaki başlıklarda verilmektedir.

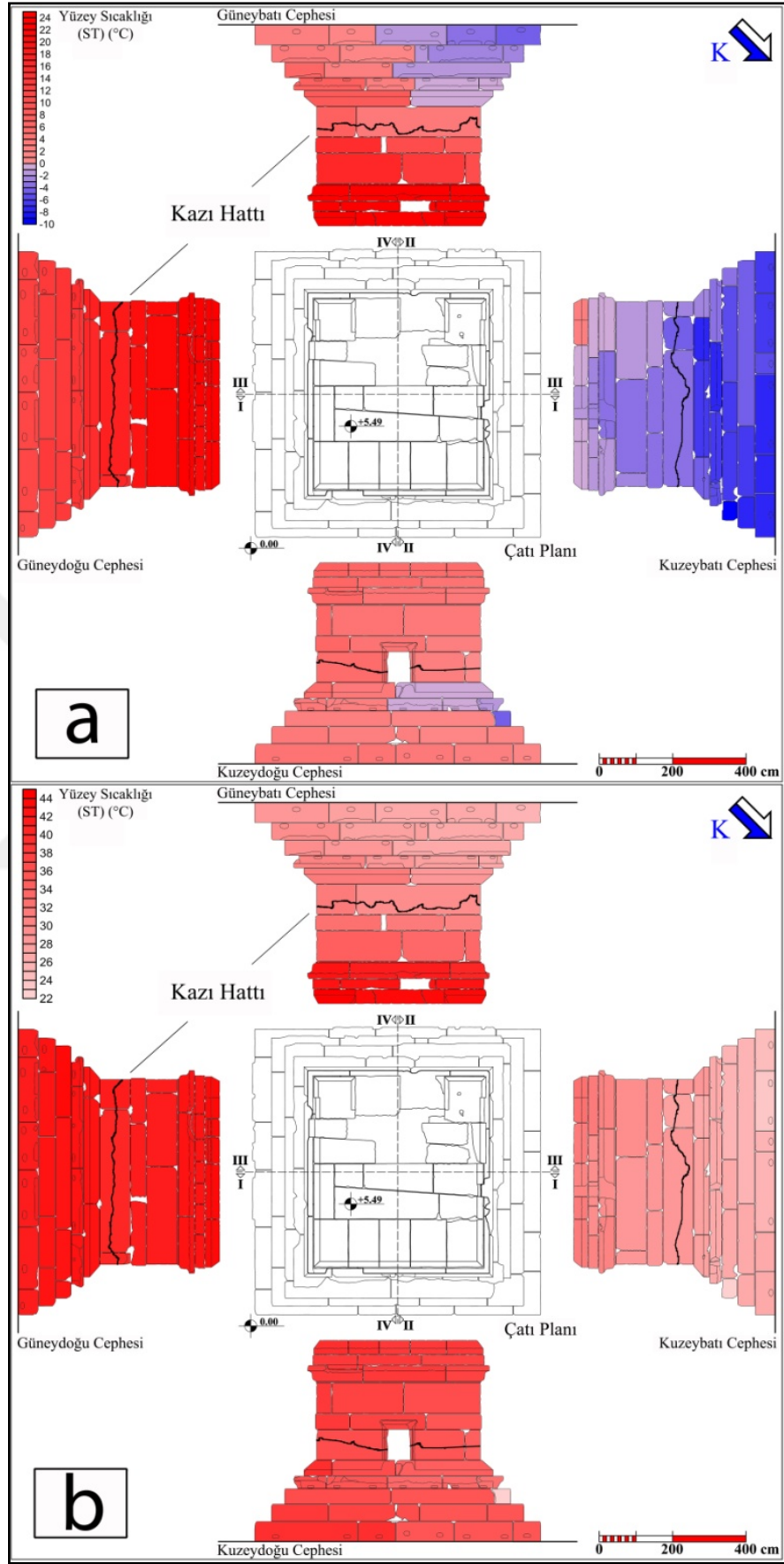
5.1.4.1. ST ve SM testleri değerlendirmesi

Sıcaklık ve nem parametreleri arasındaki, günlük ve mevsimsel değişimler, yapı taşlarının bozunmasında son derece etkilidir (ANON, 1995; Winkler, 1996; Mitchell ve ark., 2000; Warscheid ve Braams, 2000; Camuffo ve Sturaro, 2001; Weiss ve ark., 2004; El-Gohary ve Al-Shorman, 2010; Huggett, 2011; Smith ve ark., 2011; Steiger ve ark., 2014; Tschegg, 2016; Tosunlar ve ark., 2020). Yapı taşlarının, mevsimsel olarak maruz kaldığı, sıcaklık ve nem değişimlerini tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen; infrared termometre ile yüzey sıcaklığı ölçümü (ST) ve el tipi nem ölçerle yüzey nem ölçümü (SM) testlerinden elde edilen veriler ve bu verilere bağlı haritalar aşağıda sunulmaktadır.

Çizelge 5.10.'daki değerler incelendiğinde, M-1 yapısının antik dönemden bu yana toprak yüzeyinin üst kesiminde bulunan yapı taşlarında, ST değerlerinin, kış ve yaz dönemlerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Alt bölümdeki yapı taşlarının daha soğuk olmasının nedenleri; kabuğun güneş ışınlarını yansıtan açık rengi, M-2 anıtının kalıntıları, anıtı kısmen çevreleyen yüksek kotlu toprak şevi ve sonradan inşa edilmiş köy evidir (Şekil 5.12).

Çizelge 5.10. M-1 anıtında, kazı hattı üzerindeki ve altındaki yapı taşlarında, mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.

ST kış (°C)	Gömülmemiş bölge	Kazılmış bölge
Minimum	-4.60	-9.70
Maksimum	24.20	17.80
Ortalama	10.76	2.63
(SD)	10.45	7.65
ST yaz (°C)		
Minimum	27.90	22
Maksimum	44.10	43
Ortalama	36.97	33.02
(SD)	5.37	6.85



Şekil 5.12. M-1 anıtının ST değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.

M-1 anıtında, kış döneminde, kuzeybatı cephesindeki yapı taşlarının büyük bölümünde, ST 0°C altına düşmektedir (Şekil 5.12a). Ayrıca, hem kış, hem de yaz dönemlerinde de, en düşük ortalama sıcaklıklar, bu cephede ölçülmüştür (Çizelge 5.11 ve Şekil 5.12). Kuzeybatı cephesinde ölçülen düşük sıcaklıkların nedeni, cephenin hemen yanında bulunan M-2 anıtının kalıntıları ve cephenin bakı durumudur.

Çizelge 5.11. M-1 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.

ST kış (°C)	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Minimum	-4.30	-9.70	-4.10	10.80
Maksimum	7.30	2.30	24.20	23.60
Ortalama	3.29	-3.95	9.82	17.75
(SD)	2.46	2.63	10.38	4.38
ST yaz (°C)				
Minimum	22.80	22.00	25.80	40.20
Maksimum	39.80	32.50	44.10	43.80
Ortalama	36.49	28.00	33.21	42.15
(SD)	2.84	2.28	6.69	0.75

Güneybatı cephesinin alt bölümünde de, yüksek kotlu toprak şevi ve sonradan inşa edilmiş köy evinin, anıtı gölgelemesinden dolayı, düşük sıcaklıklar ölçülmüştür (Çizelge 5.11 ve Şekil 5.12). Yüzey sıcaklıkları, anıtın üst seviyelerine doğru çıkıldıkça artmaktadır.

Üst örtü bölümünün, kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerinde, hem kış hem de yaz dönemlerinde, görece daha düşük sıcaklıklar tespit edilmiş olup, bu kesimlerdeki biyolojik aktivite katmanları, diğer cephelere göre daha gelişkindir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Üst örtünün kuzeybatı ve güneybatı yönleri arasındaki biyolojik kolonizasyon gelişim farkı.

M-1 anıtının, dış cephelerindeki yapı taşlarında ölçülen SM değerleri, beyaz kabuğun olduğu bölgelerde daha yüksektir (Çizelge 5.12).

Çizelge 5.12. M-1 anıtında, kazı hattı üzerindeki ve altındaki yapı taşlarında, mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.

SM kış (%)	Gömülmemiş bölge	Kazılmış bölge
Minimum	32	52
Maksimum	92	100
Ortalama	67.54	85.50
(SD)	14.40	10.72
SM yaz (%)		
Minimum	15	19
Maksimum	56	75
Ortalama	35.33	44.77
(SD)	10.49	10.21

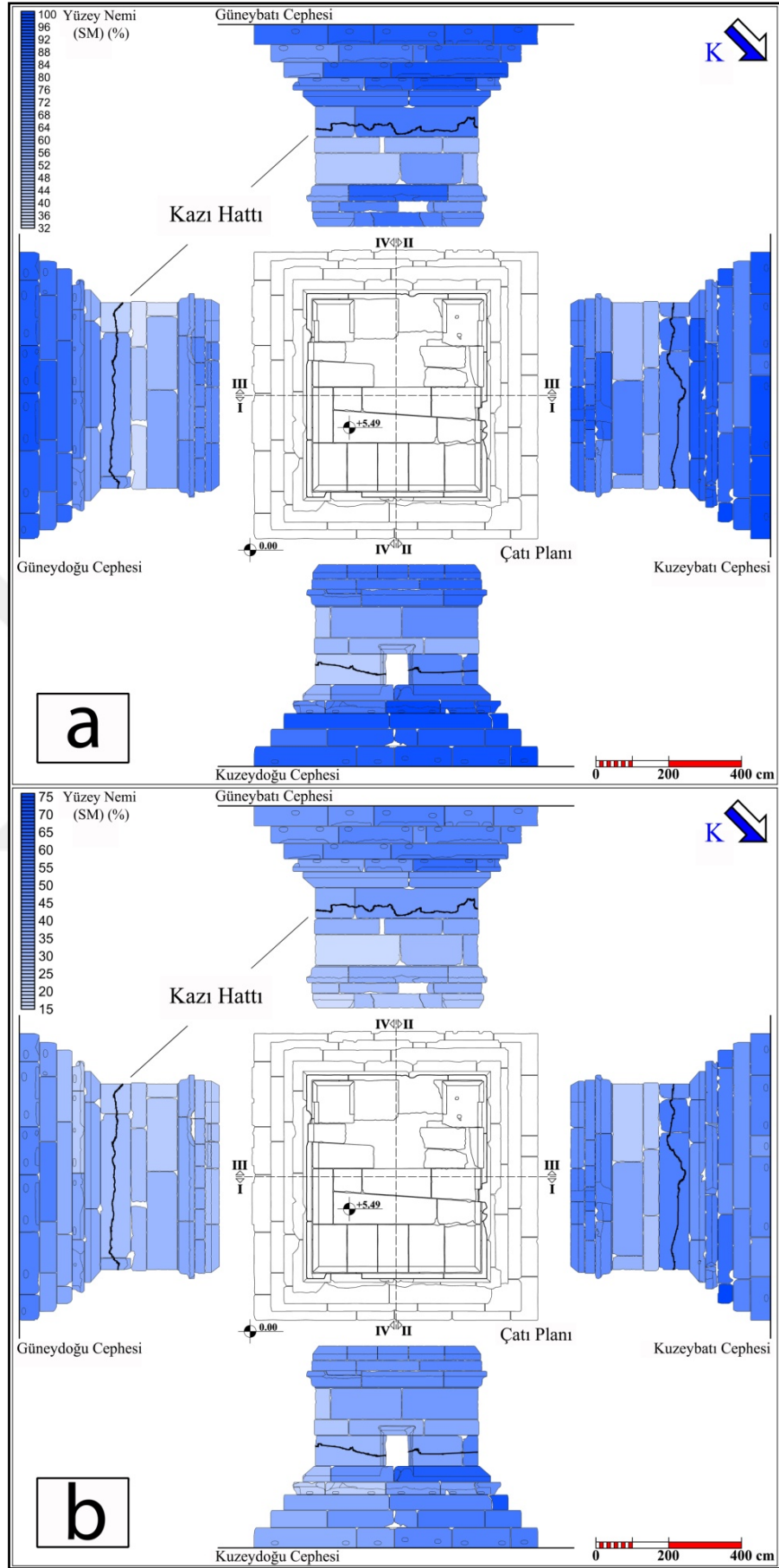
Anıt podyumunun alt kesimindeki SM değerlerinin, hem kış hem de yaz dönemlerindeki yüksekliği, topraktan kılcallıkla yükselen suyla ilişkilendirilmiştir (Şekil 5.14).

Podyumun üst kesimindeki basamaklarda gözlenen yüksek SM, mezar odasının toprak zemininden süzülen, mevsimsel yağış suları kaynaklıdır.

Podyumdaki yapı taşlarını, hem zemin hem de üst kesimden etkileyen yüksek nem, taş yüzeylerini kaplayan beyaz kabuk nedeniyle buharlaşmamakta ve yapı taşlarında; tuz kristalleşmesi (efflorescence), pul pul dökülme (flaking), tabaka halinde dökülme (scaling), çatlaklar (fracture) ve parçalanma (crumbling) tipi bozunmalara neden olmaktadır. Bu bölgedeki yüksek nem ayrıca, otsu bitkilerin gelişimini de hızlandırmaktadır.

Anıtın üst örtüsünü oluşturan bloklar, mevsimsel yağışlara doğrudan maruz kalmakta ve yağışın yapıdan uzaklaşırken izlediği yol, süzülme zonunu oluşturmaktadır (Şekil 5.15). Bu zondaki bloklarda, özellikle yağışlı dönemlerde, yüksek SM içerikleri belirlenmiştir (Şekil 5.14a).

Bu zondaki yüksek SM içeriği, bir yandan yapı taşı yüzeylerinde pul pul dökülme (flaking) ve tabaka halinde dökülme (scaling) tipi bozunmaların gelişmesine neden olurken, diğer yandan da biyolojik açıdan; yosun, liken, otsu bitki ve ağaççık oluşumlarını tetiklemektedir.



Şekil 5.14. M-1 anıtının SM değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.



Şekil 5.15. Üst örtü bloklarında gözlenen süzülme zonu.

Yüzey nem verileri, cephe yönlerine göre değerlendirildiğinde, kış ve yaz dönemlerinde, ortalama en yüksek nem oranı, kuzeybatı cephesinde ölçülmüştür (Çizelge 5.13). Kuzeydoğu cephesindeki nem değerleri de, kuzeybatı cephesine oldukça yakındır. Bu cephelerin bakı durumu, düşük sıcaklıklar oluşturmakta, düşük sıcaklıklar ise buharlaşma hızını azaltarak, nem oranlarını arttırmaktadır.

Çizelge 5.13. M-1 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.

SM kış (%)	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Minimum	42	48	44	32
Maksimum	100	100	95	95
Ortalama	79.85	81.31	74.23	70.21
(SD)	16.10	13.08	14.70	16.02
SM yaz (%)				
Minimum	19	22	15	18
Maksimum	70	75	60	53
Ortalama	42.26	46.75	37.61	33.28
(SD)	11.09	9.54	11.24	9.00

Düşük sıcaklıklara bağlı, yükselen nem değerleri, güneybatı cephesinde de görülmektedir (Çizelge 5.13 ve Şekil 5.14). Güneybatı cephesinin, gölgelenmiş bölümlerindeki nem değerleri, gölgelenmemiş bölümlerine göre daha yüksektir.

Cepheler içerisinde, en düşük yüzey nem değerleri ve nem dağılımları, aynı zamanda en yüksek ortalama sıcaklıklara da sahip olan, güneydoğu cephesinde ölçülmüştür (Çizelge 5.13 ve Şekil 5.14). Bu cephe, güneş ışınlarının herhangi bir engelle karşılaşmadan, doğrudan doğruya ulaşabildiği bir yüzeydir. Cephedeki yüksek güneşlenme süresi, sıcaklık artışını ve buna bağlı yüksek hızlı buharlaşmayı beraberinde getirmektedir.

M-1 anıtının, kesit çeperlerinde yapılan ST ölçümlerinde, en yüksek ortalama sıcaklık, II-II kesitinde ölçülmüştür (Çizelge 5.14). II-II kesit çeperi, mezar odasının üst örtü sisteminin çökmüş olması nedeniyle, bakı açısından güneydoğu yönüne cephe almaktadır. Bu çeperdeki yüksek sıcaklık, ortalama SM değerlerini de, düşük seviyelere indirmiştir (Çizelge 5.15).

Çizelge 5.14. M-1 anıtının kesit çeperlerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.

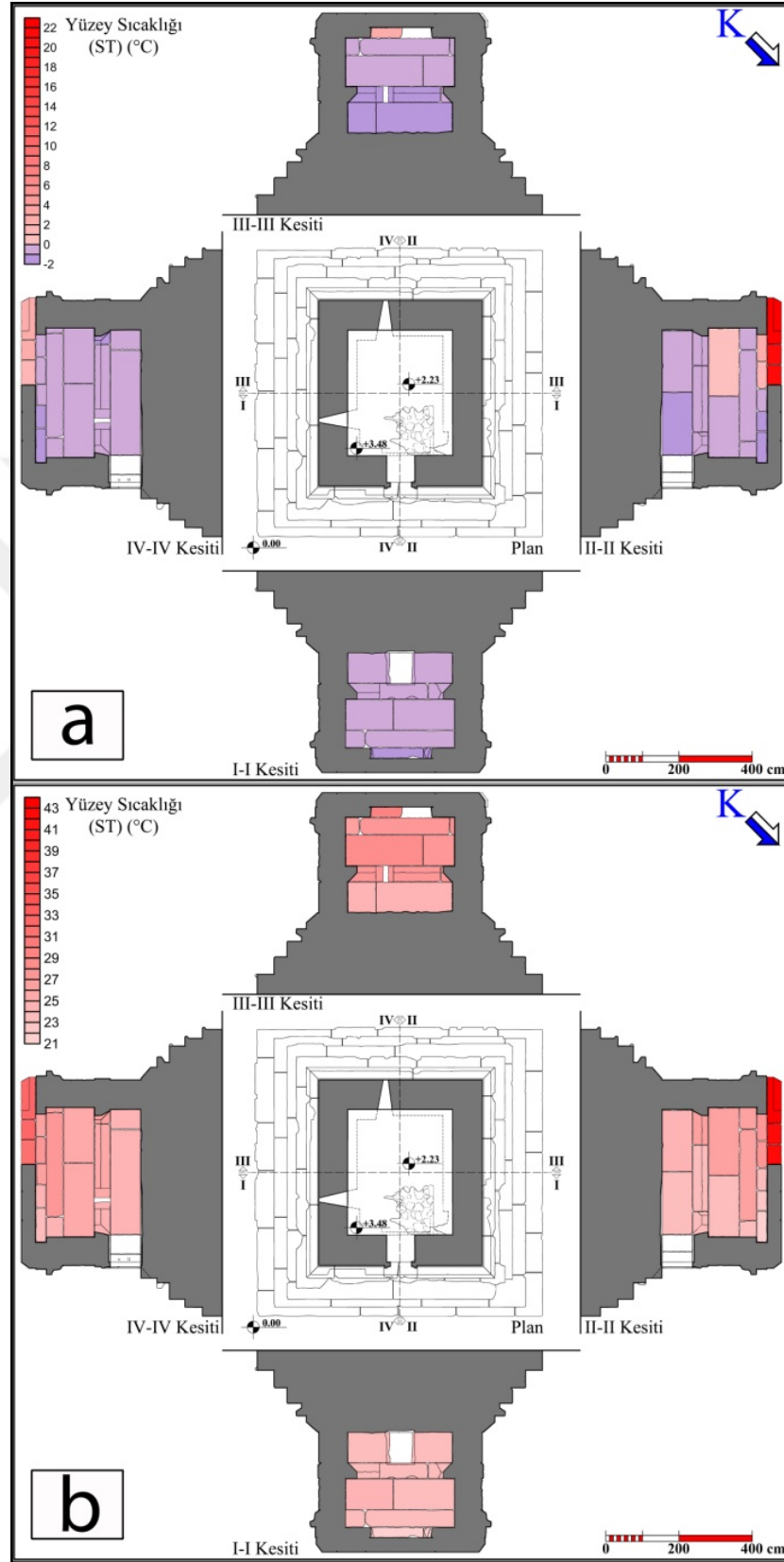
ST kış (°C)	I-I Kesiti	II-II Kesiti	III-III Kesiti	IV-IV Kesiti
Minimum	-1.70	-1.80	-1.50	-1.30
Maksimum	-0.10	22.50	2.70	2.10
Ortalama	-0.61	3.39	-0.48	-0.13
(SD)	0.56	8.64	1.13	1.02
ST yaz (°C)	I-I Kesiti	II-II Kesiti	III-III Kesiti	IV-IV Kesiti
Minimum	21.50	21.80	24.00	23.90
Maksimum	24.10	43.10	29.80	32.30
Ortalama	23.10	27.65	27.05	26.68
(SD)	0.82	7.19	1.59	2.67

Çizelge 5.15. M-1 anıtının kesit çeperlerindeki yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.

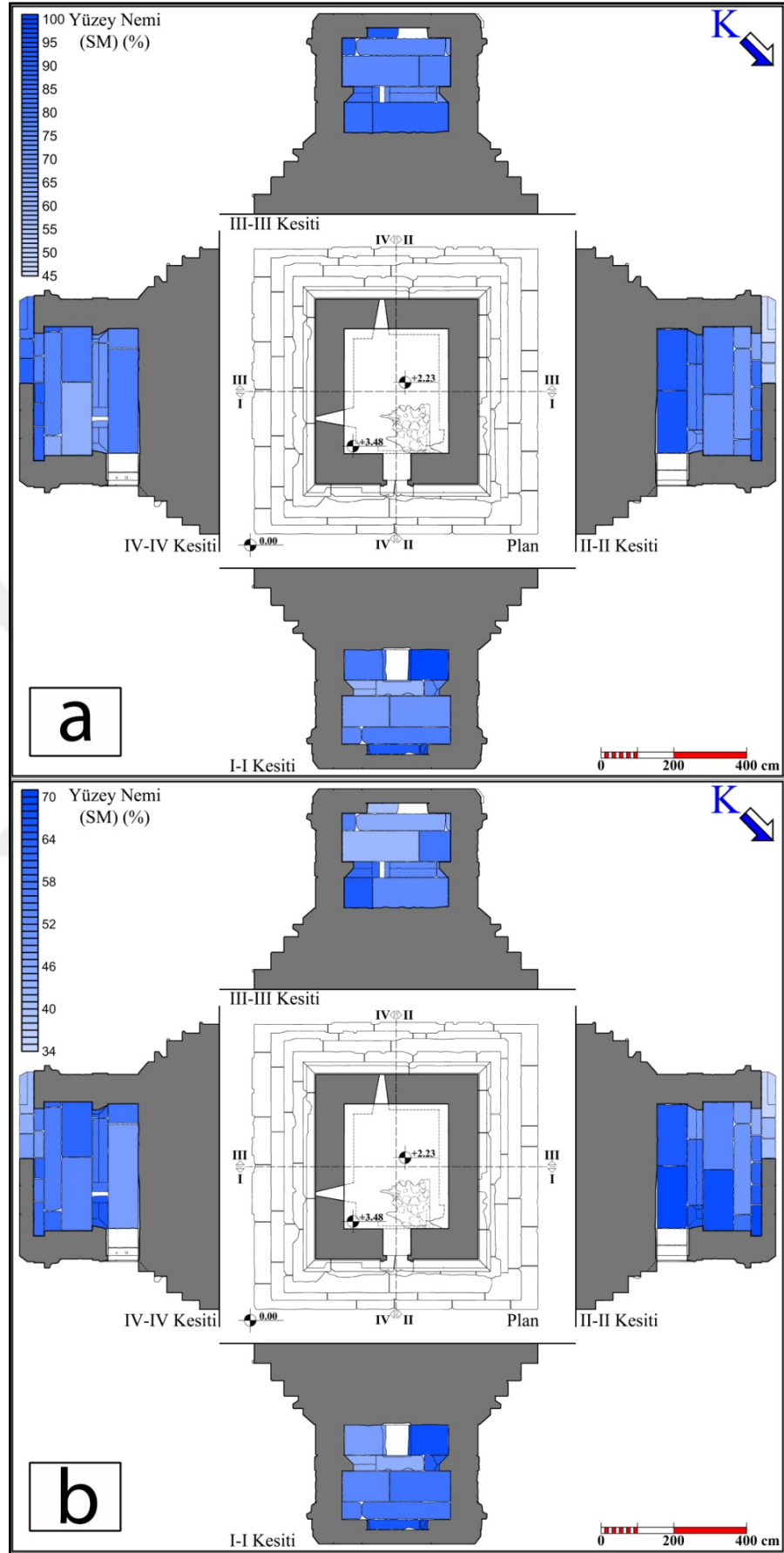
SM kış (%)	I-I Kesiti	II-II Kesiti	III-III Kesiti	IV-IV Kesiti
Minimum	60	45	70	62
Maksimum	100	95	92	91
Ortalama	80.10	75.05	80.45	79.16
(SD)	12.52	14.47	7.86	8.95
SM yaz (%)	I-I Kesiti	II-II Kesiti	III-III Kesiti	IV-IV Kesiti
Minimum	44	34	40	41
Maksimum	68	70	65	65
Ortalama	58.50	50.77	51.81	55.56
(SD)	8.26	11.21	7.90	6.90

Kesit çeperlerinin haritaları incelendiğinde, en düşük sıcaklıklar ve en yüksek nem değerlerinin, mezar odasının zeminindeki taşlar ile üst örtü sistemini oluşturan konsol bloklarında olduğu görülmektedir (Şekil 5.16-17). Zemindeki yapı taşlarında görülen yüksek nem, çökmüş üst örtüden inen yağışların, toprak dolgu mezar odası zeminine ulaşması kaynaklıdır. Buraya ulaşan nem, gölgelenme nedeniyle buharlaşamamakta ve kapiler etki ile yapı taşları tarafından emilmektedir. Üst örtü sistemini oluşturan konsol bloklarında gözlenen yüksek nem, yapı üst örtüsüne düşen ve buradaki derzlerden içeri süzülen yağışlar kaynaklıdır. Yaz döneminde, üst örtünün

sıcaklığına bağlı olarak, yüksek hızlarla buharlaşan nem, kış döneminde, daha uzun sürelerde, bu yapı taşlarında kalmaktadır (Şekil 5.17).



Şekil 5.16. Mezar odası iç çeperlerinin ST değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.



Şekil 5.17. Mezar odası iç çeperlerinin SM değer haritaları; a) kış dönemi değer haritası, b) yaz dönemi değer haritası.

M-2 anıtının cephelerinde yapılan, ST ve SM ölçümlerinde, en düşük sıcaklıklar ve en yüksek nem oranları, güneydoğu cephesinde ölçülmüştür (Çizelge 5.16-17 ile Şekil 5.18-21). Bu cephe, M-1 anıtı tarafından güney yönünde örtüldüğünden dolayı, çok kısa güneşlenme sürelerine maruz kalmakta ve buna bağlı olarak da ortalama sıcaklıklar düşmektedir (Çizelge 5.16).

Düşük sıcaklıklar, düşük buharlaşma hızı ve yüksek nem oranlarını beraberinde getirmektedir (Çizelge 5.17). Yüksek nem oranları ise bozunma hızını arttırmaktadır. Söz konusu cephenin, aynı zamanda, en yüksek nispette atmosferik kökenli bozunmalara ev sahipliği yapması, bu ilişkinin doğruluğuna işaret etmektedir.

Çizelge 5.16. M-2 anıtının yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen ST değerleri.

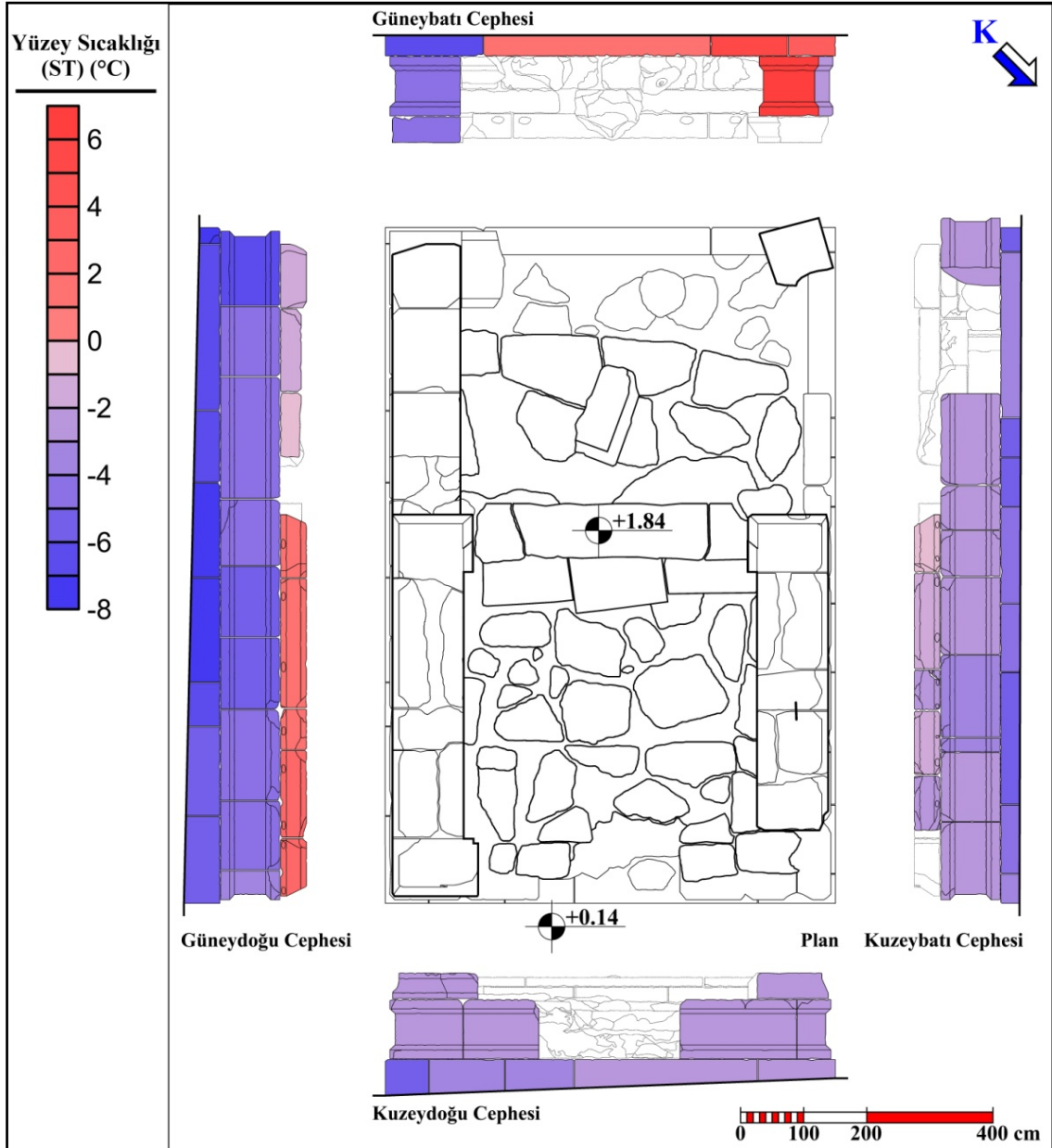
ST kış (°C)	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Minimum	-6.30	-6.60	-7.30	-8.50
Maksimum	-2.00	-0.90	6.20	2.70
Ortalama	-3.47	-3.90	-0.37	-4.27
(SD)	1.28	1.71	5.60	3.75
ST yaz (°C)				
Minimum	34.10	26.00	25.40	20.80
Maksimum	36.80	32.40	35.50	33.50
Ortalama	35.37	29.37	31.15	26.24
(SD)	0.74	1.69	3.15	4.10

Çizelge 5.17. M-2 anıtının yapı taşlarında mevsimsel olarak ölçülen SM değerleri.

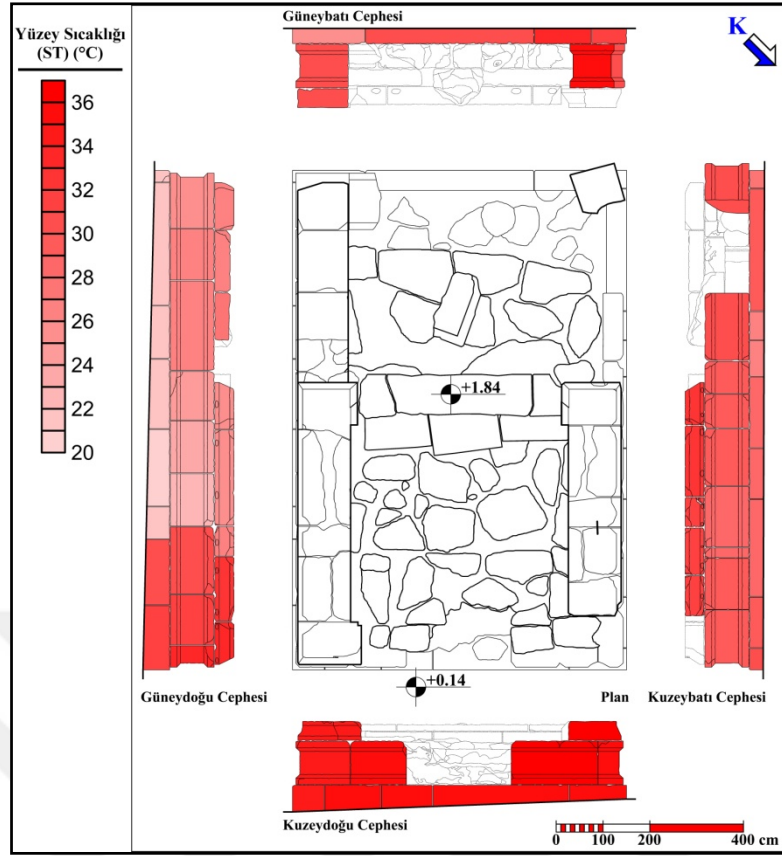
SM kış (%)	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Minimum	55	70	73	65
Maksimum	100	100	100	100
Ortalama	83.36	81.30	86.57	87.40
(SD)	13.65	8.75	10.89	11.25
SM yaz (%)				
Minimum	20	27	24	24
Maksimum	55	66	40	70
Ortalama	35.36	45.95	32.14	46.76
(SD)	11.90	9.26	6.22	13.14

Anıtın diğer cephelerindeki nem oranları, görece birbirine yakındır (Çizelge 5.17). Bu durum, anıt kalıntılarının bazı özelliklerinden ileri gelmektedir. Anıt üst yapısının (döşeme, üst örtü vb.) tamamen ortadan kaldırılmış olması, anıtın düşey yüzeyinin, büyük ölçüde dolgu ve harç kümelerinden oluşmasını beraberinde getirmiştir. Bu dolgu ve harç kümeleri, yağışları doğrudan yapı bünyesine almaktadır. Yapı bünyesindeki nem, cephelerden dışarı ulaşmaya çalışmaktadır. Yapı taşı yüzeylerinde bulunan beyaz kabuk ise, buharlaşmayı zorlaştırarak, nemin yapı taşlarına kısmen hapsolmesine neden olmaktadır. Dışarı ulaşmaya çalışan nem ayrıca, kendisini küçük boyutlu yapı taşları ve kırık blok derzlerinden de dışarı sızdırmaktadır (Şekil 5.20-21).

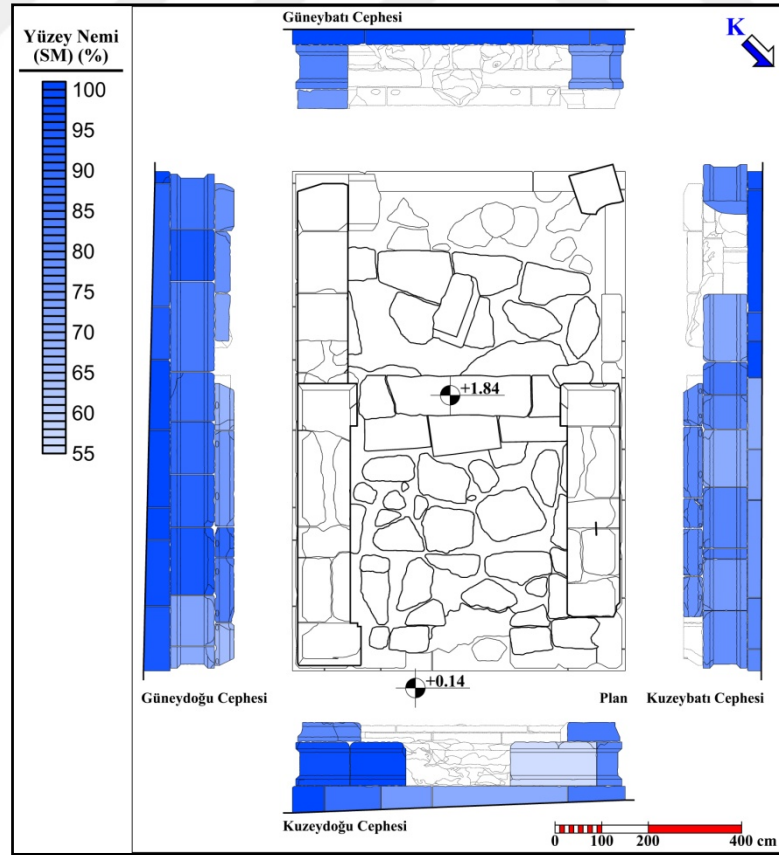
Bu durumlara ek olarak, M-2 anıtı kalıntılarının, yalnızca 1.84 m. yüksekliğe sahip olması, zeminden kapiler etki vasıtasıyla yükselen nem ile yağışlar sonucunda meydana gelen süzülme zonunun, iç içe geçmesine neden olmaktadır. Anıtın bu özellikleri nedeniyle, yapı taşlarında yüksek nem içeriği oluşmakta ve bu durum; ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve tuz kristalleşmesi gibi atmosferik davranışlar yoluyla, yapı taşlarındaki bozunma süreçlerini hızlandırmaktadır.



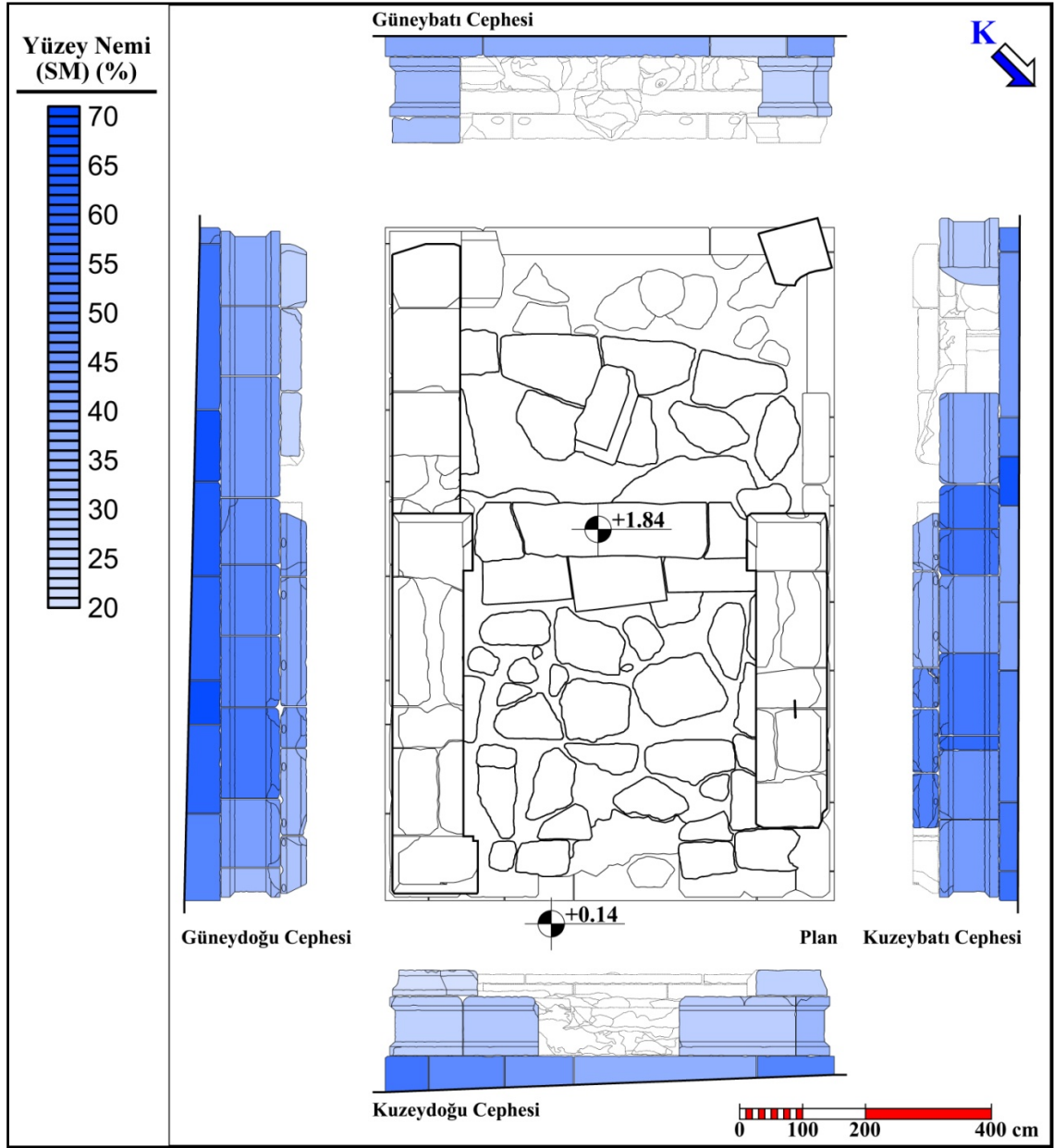
Şekil 5.18. M-2 anıtı kış dönemi ST değer haritası.



Şekil 5.19. M-2 anıtı yaz dönemi ST değer haritası.



Şekil 5.20. M-2 anıtı kış dönemi SM değer haritası.



Şekil 5.21. M-2 anıtı yaz dönemi SM değer haritası.

5.1.4.2. SHR ve Vp testleri değerlendirmesi

Anıtlardaki yapı taşlarının, bozunma durumlarını belirlemek amacıyla uygulanan, SHR ve Vp testlerinden elde edilen veriler ve bu verilere bağlı haritalar, bölüm içindeki çizelge ve şekillerde sunulmaktadır.

Çizelge 5.18.'deki değerler incelendiğinde, M-1 anıtının antik dönemden bu yana toprak yüzeyinin üst kesiminde bulunan yapı taşlarında, SHR ve Vp değerlerinin, alt kesimdeki taşlara göre, daha yüksek olduğu görülmektedir. Uzun yıllardır, kesintisiz olarak atmosferik şartlara maruz kalmalarına karşın, üst kesimdeki yapı taşları, toprak altından çıkartılan yapı taşlarına göre, daha az bozunmuş durumdadırlar.

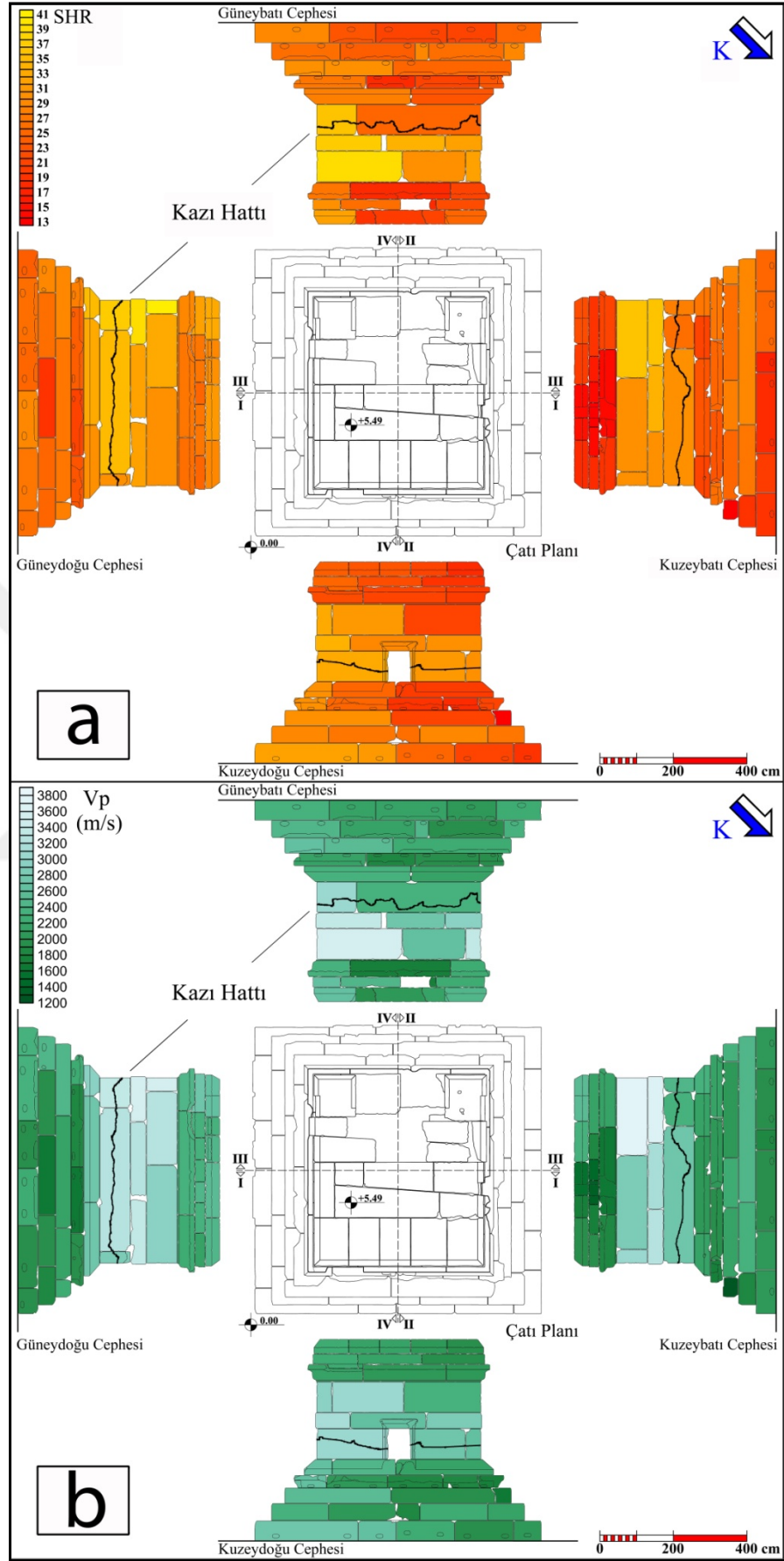
Çizelge 5.18. M-1 anıtında, kazı hattı üzerindeki ve altındaki yapı taşlarında ölçülen SHR ve Vp değerleri.

SHR	Gömülmemiş bölge	Kazılmış bölge
Minimum	13	13
Maksimum	41	35
Ortalama	26.56	24.94
(SD)	6.71	4.30
Vp (m/s)		
Minimum	1300	1200
Maksimum	3800	2900
Ortalama	2459.77	2104.76
(SD)	544.84	296.12

Dış cephelere ait, SHR ve Vp haritaları incelendiğinde, bu değerlerin düşük olduğu bölgelerin benzerlik sunduğu ve bu bölgelerin, podyum ve çatı kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5.22). Ayrıca, bu iki verinin de düşük olduğu bölgelerde, gözle tespit edilen bozunmaların yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Toprak yüzeyinin üst kesimindeki yapı taşlarında belirlenen, düşük SHR ve Vp değerleri, atmosferik etkiler ile yoğun biyolojik aktiviteler (yosun ve liken) neticesinde gelişen bozunmalarla ilişkilendirilmektedir.

Kazılar ile ortaya çıkartılan kesimde ise bozunmuş taşlar, podyumun zemin ve üst kısımlarında yoğunlaşmaktadır (Şekil 5.22). Bu kesimler, topraktan kılcallıkla yükselen sular ve mezar odası zemininden podyum taşlarına ulaşan sızıntıların yoğunlaştığı, yüksek nem alanlarıdır.



Şekil 5.22. M-1 anıtının yapı taşları üzerinde gerçekleştirilen NDT uygulamaları değer haritaları; a) SHR haritası, b) Vp haritası.

SHR ve Vp verileri, yapı cephelerine göre değerlendirildiğinde, en düşük ortalama değerler, kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerindeki yapı taşlarında ölçülmüştür (Çizelge 5.19). Bu cephelerdeki yapı taşlarının bozunmasında, atmosferik ve mikroklimatik etmenler ön plandadır. Cephelerde, bakı ve gölgelenme nedeniyle sıcaklıklar düşük, nem oranları ve suyun etkilediği alanların nispeti ise yüksek seviyelerdedir. Düşük sıcaklıklar ve yüksek nem oranları, bu cephelerdeki yapı taşlarında, bozunma sürecini hızlandırmaktadır.

Cepheler içerisinde, en yüksek SHR ve Vp değerleri, güneydoğu cephesinde ölçülmüştür (Çizelge 5.19). Bu cephe aynı zamanda, atmosferik ve biyolojik etkilere bağlı bozunma formlarının da, en düşük oranda görüldüğü cephedir.

Çizelge 5.19. M-1 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında ölçülen SHR ve Vp değerleri.

SHR	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Minimum	13	13	18	19
Maksimum	34	36	39	41
Ortalama	25.07	23.06	26.20	28.65
(SD)	5.17	6.32	5.40	4.36
Vp (m/s)				
Minimum	1600	1200	1700	1600
Maksimum	3100	3800	3500	3500
Ortalama	2253.65	2142.22	2328.20	2417.39
(SD)	388.00	532.78	421.11	496.79

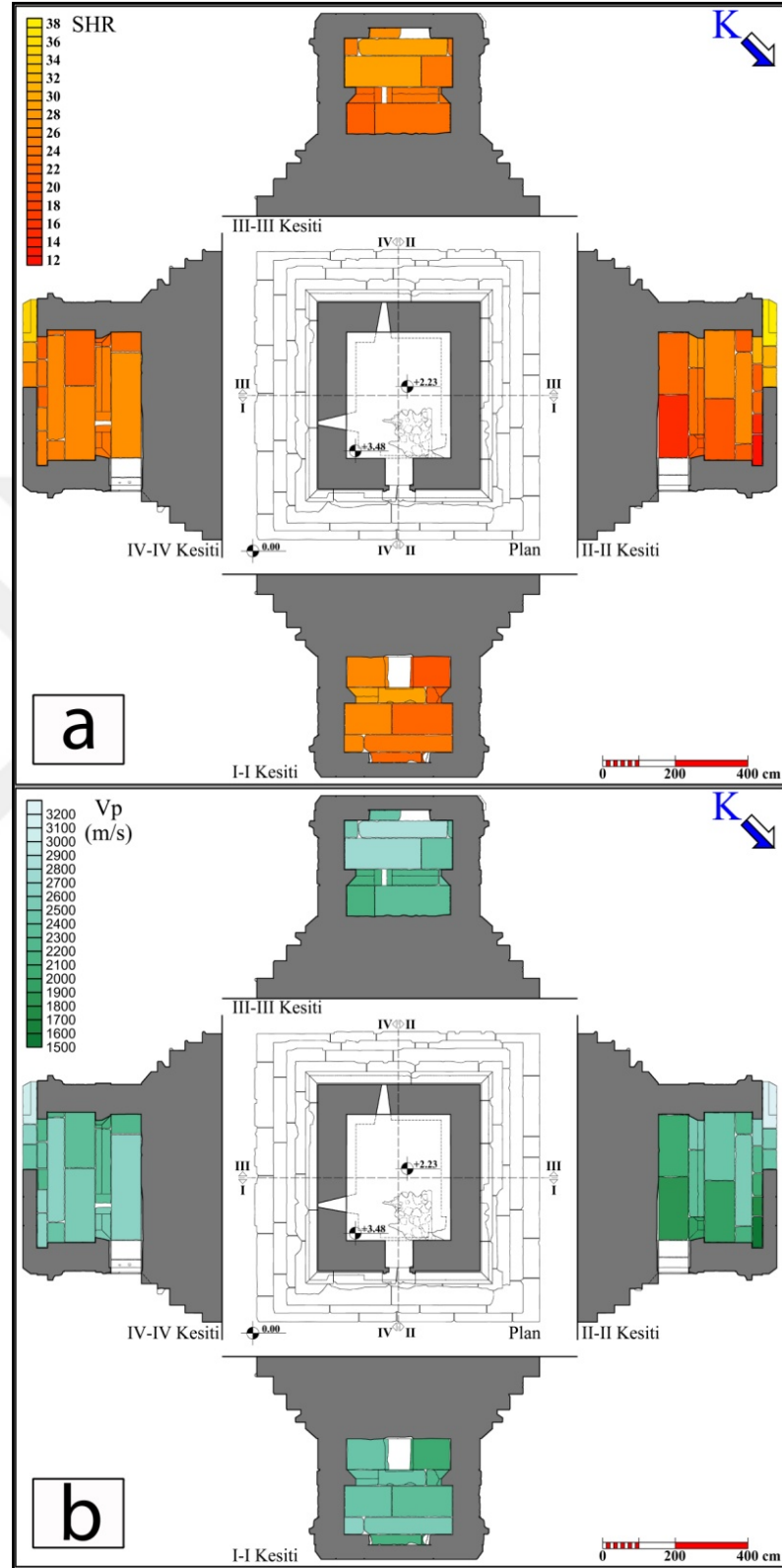
Yapı kesitlerinde ölçülen, SHR ve Vp değerleri incelendiğinde, en düşük ortalama değerlerin, kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerinin iç çeperleri olan, I-I ve II-II kesitlerinde bulunduğu görülmektedir (Çizelge 5.20). Bu çeperler aynı zamanda, atmosferik etkilere bağlı bozunma formlarının da, en yüksek oranda gözlemlendiği yüzeylerdir.

Çizelge 5.20. M-1 anıtının kesit çeperlerindeki yapı taşlarında ölçülen SHR ve Vp değerleri.

SHR	I-I Kesiti	II-II Kesiti	III-III Kesiti	IV-IV Kesiti
Minimum	20	12	21	21
Maksimum	29	38	29	35
Ortalama	23.70	23.50	24.72	25.11
(SD)	2.94	6.61	2.61	3.30
Vp (m/s)				
Minimum	2000	1500	2100	2100
Maksimum	2600	3200	2800	3000
Ortalama	2290.00	2205.55	2390.90	2427.77
(SD)	207.89	397.74	221.15	221.77

III-III ve IV-IV kesitlerinde ölçülen değerler, bu çeperlerin dış cephelerinde ölçülen değerler ile benzer eğilim göstermektedir (Çizelge 5.20). İç çeperlerden elde edilen değerler ile dış cephelerde ölçülen değerler birlikte yorumlandığında, bozunma eğilimlerinin, yönler bağli olarak, iç ve dış yüzeylerde benzer geliştiği görülmektedir.

Bu durum, M-1 anıtındaki yapı taşı bozunmalarında, atmosferik etkilerin başlıca rolünü ortaya koymaktadır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. Mezar odası iç çeperlerinin NDT uygulamaları değer haritaları; a) SHR haritası, b) Vp haritası.

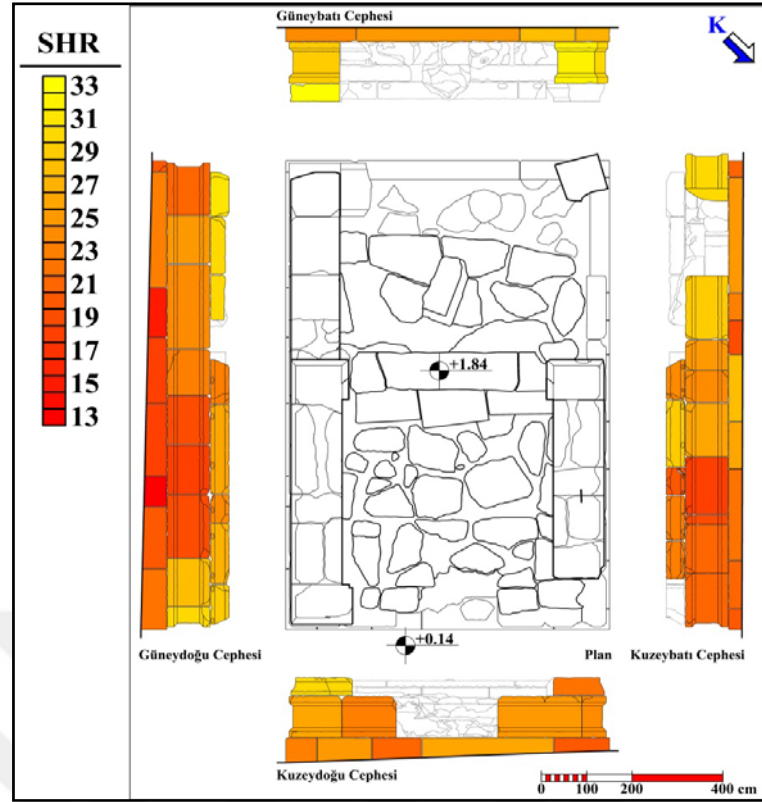
M-2 anıtı cephelerinde bulunan taşların, SHR ve Vp verileri incelendiğinde, kuzeydoğu, kuzeybatı ve güneydoğu cephelerinde, görece daha düşük değerler ölçülmüştür (Çizelge 5.21). Bu cephelerdeki yapı taşlarının bozunmasında, atmosferik ve mikroklimatik etmenler baskındır.

Çizelge 5.21. M-2 anıtının dış cephelerindeki yapı taşlarında ölçülen, SHR ve Vp değerleri.

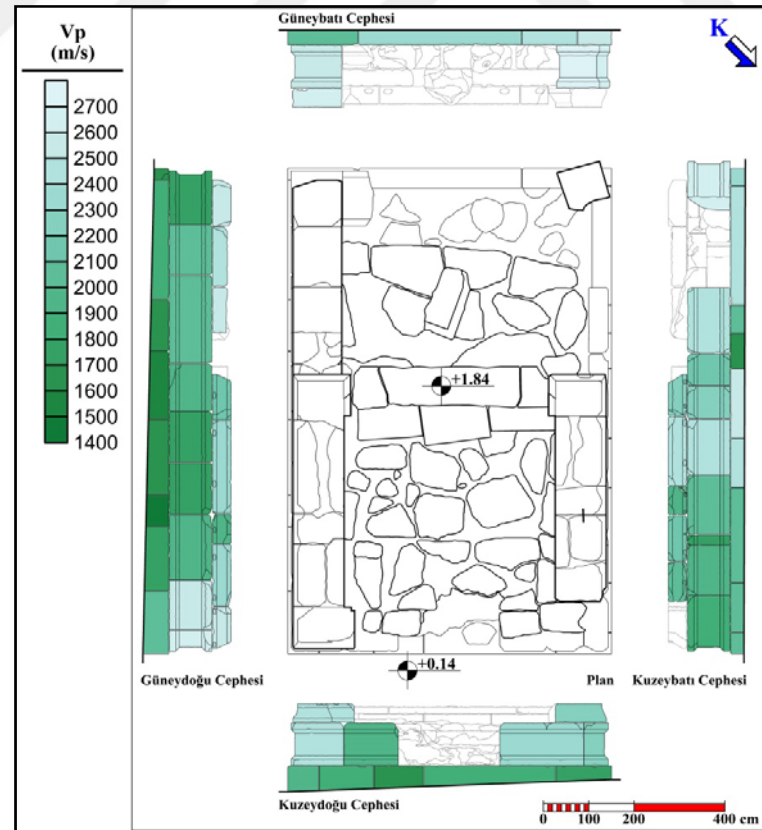
SHR	Kuzeydoğu	Kuzeybatı	Güneybatı	Güneydoğu
Minimum	20	18	24	13
Maksimum	30	30	33	31
Ortalama	24.09	23.34	28.28	23.04
(SD)	2.77	3.45	3.35	4.98
Vp (m/s)				
Minimum	1600	1600	2000	1400
Maksimum	2400	2600	2700	2600
Ortalama	2118.18	2026.08	2428.57	1988.00
(SD)	289.19	264.94	228.86	366.65

Kuzeydoğu ve kuzeybatı cephelerindeki yapı taşı bozunmaları, M-1 anıtı ile benzer eğilimler taşımakta olup, bu durumun en önemli nedeni, atmosferik etkiler ve bakı durumudur (Şekil 5.24-25). Bu cephelerde gözlenen, atmosferik kökenli bozunmaların oranları da, bu yargıyı desteklemektedir.

Güneydoğu cephesinde tespit edilen düşük değerler, anıtın mikroklimatik ortamı ile ilişkilidir (Şekil 5.24-25). Bu cephedeki bozunmaların nedeni, cephenin önünü ve üzerini kapatarak, atmosferik etmenlerin şiddetini arttıran M-1 yapısıdır. Atmosferik kökenli bozunmalar ve suyun etkilediği toplam alanların oranı da, en yüksek seviyede bu cephede gözlenmektedir.



Şekil 5.24. M-2 anıtının SHR değer haritası.



Şekil 5.25. M-2 anıtının Vp değer haritası.

5.2. Laboratuvar Çalışmaları Sonuçları

5.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneylerin sonuçları

Bu bölümde, (P) kayacının; kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite ile kapiler su emme (kapilarite) deneylerinin sonuçları sunulmaktadır.

5.2.1.1. Kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk deneyi sonuçları

(P) kayacının, kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) 19.42 kN/cm³ olarak bulunmuştur. Kayacın kuru yoğunluğu (ρ_k) 1.98 gr/cm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.1.2. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi sonuçları

(P) kayacının, ağırlıkça su emme değeri (A_w) %10.45 olarak bulunmuştur. Kayacın, hacimce su emme değeri (H_w) %20.70'dir.

5.2.1.3. Porozite deneyi sonuçları

(P) kayacının, porozite değeri (n) %20.70 olarak bulunmuştur.

5.2.1.4. Kapiler su emme (kapilarite) deneyi sonuçları

(P) kayacının, kapiler su emme (C) değeri 337,20 gr/m².s^{0,5} olarak bulunmuştur.

5.2.2. Jeomekanik analizlerin sonuçları

Jeomekanik analizler; SHR deney sonuçları, Vp deney sonuçları ve tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarını kapsamaktadır. Deney sonuçları, alt başlıklarda verilmektedir.

5.2.2.1. SHR deney sonuçları

(P) kayacı numuneleri üzerinde ölçülen, SHR değer ortalaması 46.20 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.22). Kayaç, SHR değeri bakımından, De Beer (1967)'e göre "Çok sert kaya" sınıfında yer almaktadır (Çizelge 5.23).

Çizelge 5.22. (P) kayacının SHR değeri.

Örnek Adı	Deney Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma
(P)	10	44	48	46.20	1.31

Çizelge 5.23. SHR değer sınıflandırması (De Beer, 1967).

Schmidt çekici sertlik değeri	Sertlik sınıflandırması
16 - 20	Çok zayıf
20 - 24	Zayıf
24 - 30	Orta
30 - 45	Sert
45 - 60	Çok sert
60 < ...	Fevkalade sert

5.2.2.2. Vp deney sonuçları

(P) kayacı numuneleri üzerinde ölçülen, Vp değer ortalaması 4015 m/s olarak bulunmuştur (Çizelge 5.24). Bu ortalama, çizelge 5.25.’teki ultrasonik hız sınıflandırmasına göre değerlendirildiğinde (P) kayacı, “Orta” derecede hız değerine sahip kaya olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.24. (P) kayacının Vp değeri (m/s).

Örnek Adı	Deney Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma
(P)	10	3930	4140	4015	56.76

Çizelge 5.25. Ultrasonik hız değer sınıflandırması (NBG, 1985).

P-Dalga hızı (m/s)	Sınıflandırma
0 - 2500	Çok düşük
2500 - 3500	Düşük
3500 - 5000	Orta
5000 - 7000	Yüksek
7000 <	Çok yüksek

5.2.2.3. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

(P) kayacı numunelerinin, tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) 54.20 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan değer, çizelge 5.26.’daki tek eksenli basınç dayanımı değer sınıflandırmasına göre değerlendirildiğinde, (P) kayacı, “Yüksek” dayanımlı kaya sınıfına girmektedir.

Çizelge 5.26. Tek eksenli basınç dayanımı sınıflandırması (ISRM, 1979).

Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) MPa	Sınıflandırma
1 - 5	Çok düşük
5 - 15	Düşük
15 - 50	Orta
50 - 120	Yüksek
120 < ...	Çok yüksek

5.2.3. Donma-çözülme deney sonuçları

(P) kayacı numuneleri üzerinde gerçekleştirilen, donma-çözülme deneyinin sonuçları, çizelge 5.27.'de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde, (P) kayacında, %0.75 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir.

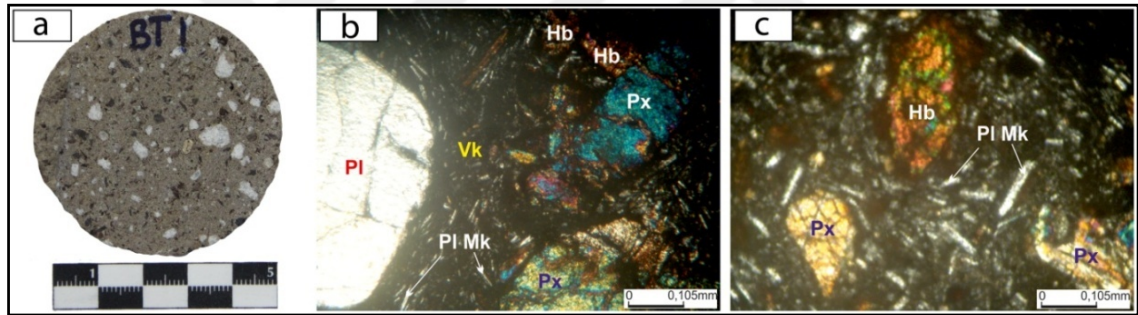
Çizelge 5.27. (P) kayacının donma-çözülme deneyi sonuçları.

Örnek Adı	Deney Sayısı	Minimum (%)	Maksimum (%)	Ortalama (%)	S. Sapma
(P)	2	0.73	0.77	0.75	0.02

5.2.4. Mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analiz sonuçları

5.2.4.1. Mineralojik ve petrografik analiz sonuçları

(P) kayacında yapılan, ince kesit incelemesinde, kayaç bileşiminin; %15 plajiyoklas, %18 klinopiroksen, %14 hornblend, %30 plajiyoklas mikrolitleri, %2 biyotit, %2 opak mineral ve %19 volkanik camdan ibaret olduğu saptanmıştır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26. (P) kayacının makro ve mikro ölçekte fotoğrafları; a) makro görünüm; b, c) ince kesit görüntüleri (Pl: plajiyoklas, Vk: volkanik cam, Pl Mk: plajiyoklas mikrolitleri, Hb: hornblend, Px: klinopiroksen) (çift nikol).

Kayaç içerisindeki plajiyoklas feno kristalleri, prizmatik şekilli ve ikizli olup, çoğunlukla zonlu bir yapı göstermektedir. Genelde, uzun prizmatik olarak izlenen hornblendler kahve renkleri, çift yönlü dilinimleri ve düşük açılı eğik sönmeleri ile tipiktir. Bazı hornblend feno kristalleri tamamen oksitlenmiş, bazılarında ise kenar zonlarından itibaren opasitleşme gözlenmiştir. Klinopiroksenler, belirgin birbirine dik, çift yönlü dilinimleri ve prizmatik şekilleri ile karakteristiktir.

Fenokristal, mikrolit ve volkanik camdan oluşan kayaç, tane durumuna göre, hipokristalin porfirik dokuludur. Hamur fazında izlenen mikrolitler, gelişmiş güzel dizilimli olup, kayaç ayrıca, hiyalopilitik doku sunar. İncelenen örnek kayacımız, mineralojik bileşim bakımından; Streckeisen (1976)'ın önerdiği kayaç sınıflamasına göre, piroksen andezit olarak isimlendirilmiştir.

5.2.4.2. Jeokimyasal analiz sonuçları

(P) kayacının XRF sonuçları, çizelge 5.28.'de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde; Sr (Stronsiyum), Ba (Baryum), Zr (Zirkonyum) ve Ce (Seryum) elementlerinin, kayaç içerisinde, diğer elementlere göre, daha yüksek oranda rastlanan elementler olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.28. (P) kayacı içerisindeki elementler ve oranları (ppm).

Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	In
26.7	73	53.4	53	17.1	1.3	1.9	0.3	0.2	88.1	1357	10	137	21.3	3.6	0.5	0.8
Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
3.6	0.8	1.2	2.2	3.8	914	58	121	6.4	4.2	2.8	0.7	1.1	21.9	0.6	27.6	19.4

Yapı taşı yüzeylerinde oluşmuş beyaz kabuk katmanının XRF sonuçları, çizelge 5.29.'da verilmektedir. Çizelge incelendiğinde, Sr (Stronsiyum) ve Ba (Baryum) elementlerinin, kabuk içerisinde, yine en yüksek oranda rastlanan elementler olduğu görülmüştür.

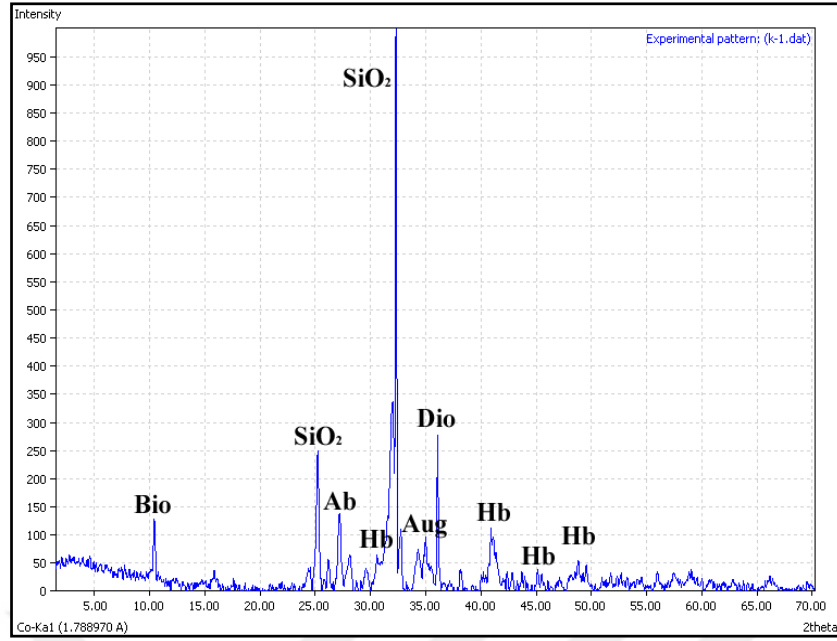
Çizelge 5.29. Beyaz kabuk içerisindeki elementler ve oranları (ppm).

Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	In
17.8	24.4	28.3	59.3	7.2	0.4	3	0.3	12.8	27.4	692	3.4	51	9.7	3.2	13	0.9
Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
1.6	1	1.3	2.1	3.6	463	13.5	18.4	3.2	3.7	2.7	0.8	0.8	15.7	0.6	5.4	23.7

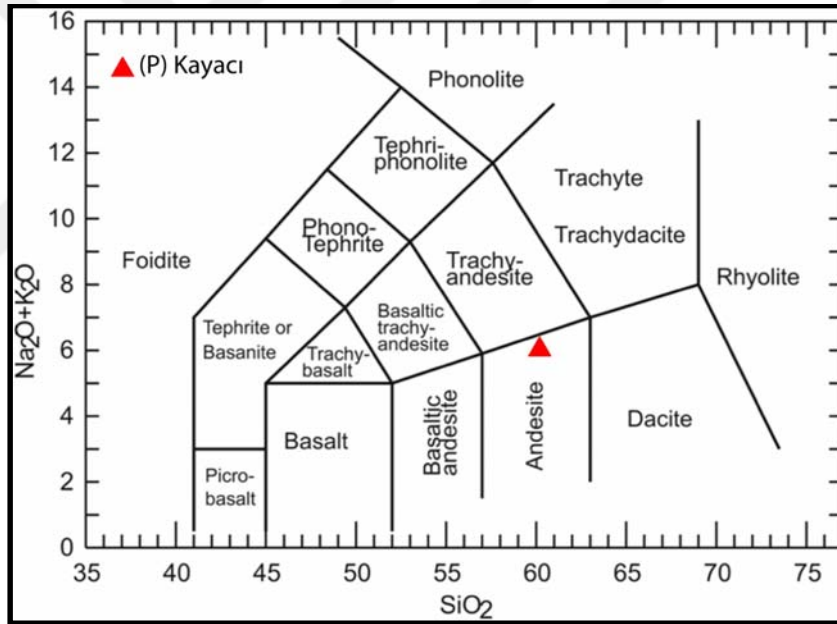
(P) kayacının XRD yüzdeleri çizelge 5.30.'da, XRD pikleri ise Şekil 5.27.'de verilmektedir. Çizelge 5.30.'daki bileşik oranları, Le Bas ve ark. (1986)'ın Toplam Alkaliye Karşı Silis (TAS) diyagramına göre değerlendirildiğinde, (P) kayacı, andezit alanına düşmektedir (Şekil 5.28). İnce kesit incelemesi ve jeomekanik özellikler de, bu sonuçla uyushmaktadır.

Çizelge 5.30. (P) kayacı içerisindeki bileşikler ve oranları (%).

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	LOI
2.54	2.65	15.66	60.21	0.57	0.12	0.008	3.74	6.39	0.46	0.016	0.01	0.07	5.68	1.876



Şekil 5.27. (P) kayacının XRD pikleri (Ab: albit, Aug: augit, Bio: biyotit, Dio: diopsit, Hb: hornblend, SiO₂: kuartz).



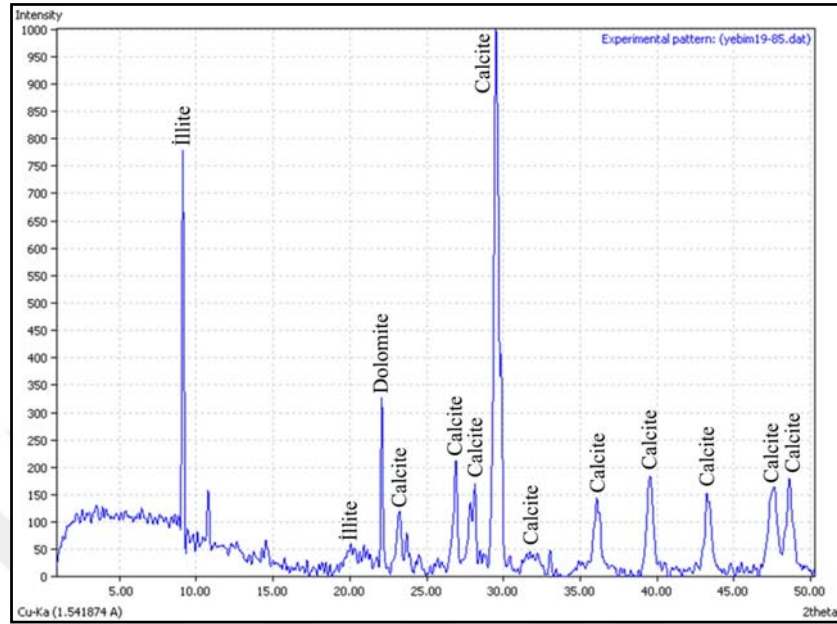
Şekil 5.28. (P) kayacının Toplam Alkaliye Karşı Silis (TAS) diyagramındaki yeri (Le Bas ve ark., 1986).

Yapı taşı yüzeylerinde oluşmuş, beyaz kabuk katmanının XRD yüzdeleri, çizelge 5.31.'de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde, kabuk örneğinin, yüksek oranda kalsit (CaO) ve kuvars (SiO₂) içerdiği görülmektedir.

Çizelge 5.31. Beyaz kabuk içerisindeki bileşikler ve oranları (%).

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	LOI
0.05	0.85	2.81	19.35	1.62	0.36	0.02	0.84	40.73	0.16	0.002	0.004	0.05	1.9	31.254

Beyaz kabuktan alınan örneklerin, XRD analiz sonucu, Şekil 5.29.'da verilmektedir. XRD pikleri değerlendirildiğinde, beyaz kabuğun; kalsit, illit ve dolomit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 5.29. Beyaz kabuğun XRD pikleri.

Kabuk içeriğinin, Özaytekin ve Karakaplan (2011)'ın bölge topraklarında tespit ettiği kalsit minerali ile uyumlu bulunduğu belirlenmiştir. Kabuk yapısında ayrıca, kayacın bileşiminde bulunan feldspatların, bir alterasyon ürünü olan illit ile diğer bir karbonat minerali olan dolomit de tespit edilmiştir (Şekil 5.29).

5.3. Çözünabilir bağlayıcılar ile bütünleme malzemesi üretim çalışmaları sonuçları

(P) kayacının, farklı çaplarda agregalarla ve iki farklı bağlayıcı türüyle dökülen numuneleri, fiziksel özellikler ve mekanik analizler bakımından incelenmiştir. İnceleme sonuçları, (P) kayacının fiziksel özellikleri ve mekanik analizleri ile karşılaştırılarak, anıtlardaki yapı taşlarına uygun, bütünleyici malzeme seçimleri gerçekleştirilmiştir.

Hidrolik kireç esaslı döküm numunelerinin, (P) kayacı ile karşılaştırmalı özellikleri, çizelge 5.32.'de verilmektedir. Fiziksel ve mekanik özellikler karşılaştırıldığında, hidrolik kireç esaslı döküm numunelerinin, bütünleme müdahalesi için yeterli dayanıklılıkta olmadıkları görülmüştür. Ancak, bu numunelerden, “250-500 μm ” agrega aralığındaki numune; düşük kuru yoğunluğu (1.2 gr/cm^3) ve yüksek porozite oranı (%34.03) ile mezar anıtlarında yapılacak dolgu ve enjeksiyon müdahaleleri için uygun bulunmuştur.

Çizelge 5.32. Hidrolik kireç esaslı dolgu ve enjeksiyon malzemesinin, farklı agrega çap aralıklarına göre özellikleri.

Fiziksel ve mekanik özellikler								
	γ_k	ρ_k	Aw	Hw	n	SHR	Vp	σ_c
1000-2000 μm	13.52	1.38	21.89	30.22	30.22	X<10	790	---
500-1000 μm	12.45	1.27	23.97	29.62	29.62	X<10	830	---
250-500 μm	11.76	1.2	28.42	34.03	34.03	X<10	710	---
0-250 μm	13.03	1.33	28.37	37.75	33.75	X<10	750	---
(P) kayacı	19.42	1.98	10.45	20.70	20.70	46.20	4015	54.20

Primal AC-33 esaslı döküm numunelerinin, (P) kayacı ile karşılaştırmalı özellikleri, çizelge 5.33.'te verilmektedir. Fiziksel ve mekanik özellikler karşılaştırıldığında, Primal AC-33 esaslı döküm numunelerinin, bütünleme müdahalesi için yeterli dayanıklılıkta oldukları görülmüştür. Bu numunelerden, “0-250 μm ” agrega aralığındaki numune; yüksek porozite (%59.77), görece düşük sertlik değeri (SHR 14.1) ve görece düşük tek eksenli basınç dayanımı (11.5 MPa) özellikleri ile bütünleme müdahaleleri için uygun bulunmuştur.

Çizelge 5.33. Primal AC-33 esaslı bütünleme malzemesinin, farklı agrega çap aralıklarına göre özellikleri.

Fiziksel ve mekanik özellikler								
	γ_k	ρ_k	Aw	Hw	n	SHR	Vp	σ_c
1000-2000 μm	10.89	1.11	30.37	33.61	33.61	19.4	1510	15.8
500-1000 μm	11.86	1.21	19.94	24.21	24.21	20.2	1570	16.3
250-500 μm	10.59	1.08	22.96	24.91	24.91	18.6	1480	14.7
0-250 μm	7.84	0.8	74.35	59.77	59.77	14.1	1430	11.5
(P) kayacı	19.42	1.98	10.45	20.70	20.70	46.20	4015	54.20

6. SONUÇLAR VE REHABİLİTASYON ÖNERİLERİ

6.1. Sonuçlar

Karadağ-Binbirkilise bölgesi, geçmişî Hitit uygarlığına kadar uzanan önemli bir yerleşim alanıdır. Bölgede, tarihi ve kültürel değeri yüksek birçok anıt bulunmaktadır. Yapılan çalışmada, bu bölgenin en eski ve önemli yapılarından olan anıt mezarlardaki bozunma durumları, dereceleri ve bozunma mekanizmaları incelenmiştir. Anıtlardaki bozunmalarla ilgili olarak:

- Toprak altından çıkartılan taşların yüzeyinde bulunan beyaz kabuk katmanının, farklı etkilerle, nem oranlarını yükselttiği ve su hareket alanlarını genişlettiği belirlenmiştir. Beyaz kabuğun, açık rengi dolayısıyla yansıyan güneş ışınları, yüzey sıcaklıklarını düşürmektedir. Beyaz kabuğun ayrıca, yapı taşlarının gözeneklerini örterek buharlaşmaya engel olduğu görülmüştür. Kabuğun tüm bu etkileri, yapı taşlarının bünyesinde nem oranlarının artmasına sebep olmaktadır. Artan nem oranları ise, yapı taşlarının, atmosferik döngülerden daha olumsuz biçimde etkilenmelerine neden olmaktadır.

- Beyaz kabuk katmanının, yapı taşlarına, tek başına bir zarar vermediği görülmektedir. Katman, yetersiz drenaj koşullarının söz konusu olduğu durumlarda, su aktivitelerinin artmasına neden olarak, kapladığı taşlardaki bozunmaları hızlandırmaktadır. Diğer bir ifadeyle, drenaj koşullarının kontrol altına alındığı ya da su hareketlerinin kesildiği durumlarda, beyaz kabuğun tek başına oluşturduğu ya da katkıda bulunduğu bir bozunma süreci de oluşmamaktadır.

- Benzer bakıya sahip cephelerdeki yapı taşlarının; benzer eğilimlerde, oranlarda ve biçimlerde bozunmaya uğradıkları görülmüştür. Bakıdan kaynaklanan etkilerle beraber; yapı özelliklerinin ve yapı tahribatlarının da atmosferik kökenli bozunma faktörlerinin şiddetini arttırdığı belirlenmiştir.

- Anıtların çevresinde, doğal bir biçimde oluşan ya da sonradan eklemlenen yapılanmaların, anıtların mikroklimatik ortamını bozduğu belirlenmiştir. Bozulan mikroklimatik ortamın ise yapı taşlarındaki bozunma hızlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

- Biyolojik aktivite katmanlarının oluşumunda; cephe yönleri kadar, yakın çevrede bulunan yapılanmaların da büyük oranda etkili olduğu görülmüştür.

- Antropojenik kökenli bozunmalar, M-1 anıtının toprak yüzeyinde kalan kesimlerinde daha belirgindir. Bu husus, insan aktiviteleri ile yakın durumda bulunan yapı taşlarında, bu aktivitelere bağlı bozunma sürecinin, daha hızlı ilerlediğine işaret etmektedir.

Tahribatsız test (NDT) teknikleri ile ilgili olarak:

- Kış ve yaz dönemlerinde ölçülen ST ve SM değerleri arasında anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Sıcaklıkların düştüğü kesimlerde, nem değerleri yükselmektedir. Nem değerlerinin yükseldiği kesimlerde ise bozunma etkilerinin arttığı görülmüştür.

- Cephelelerdeki yüksek güneşlenme süresi, sıcaklık artışını ve buna bağlı yüksek buharlaşma hızını beraberinde getirmektedir. Daha yüksek güneşlenme sürelerine maruz kalan yapı taşlarında, bozunma hızlarının yavaşladığı görülmüştür.

- Anıtların SHR ve Vp haritaları incelendiğinde, bu değerlerin düşük olduğu bölgelerin benzerlik sunduğu görülmektedir. Ayrıca, bu iki verinin de düşük olduğu bölgelerde, gözle tespit edilen bozunmaların yoğunlaştığı belirlenmiştir.

- SHR ve Vp verileri, sayısal ilişkiler bakımından değerlendirildiğinde, benzer konumlara sahip ve benzer çevresel koşullara maruz kalan yapı taşlarının, benzer biçimlerde bozunma eğilimleri gösterdikleri belirlenmiştir.

- SHR ve Vp testlerinin, yapı taşlarının bozunma durumlarının tespitinde; ucuz, güvenilir ve hızlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

- Mevsimsel olarak ölçülen ST ve SM verilerinin, yapı taşlarını etkileyen bozunma faktörlerinin belirlenmesi konusunda önemli sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

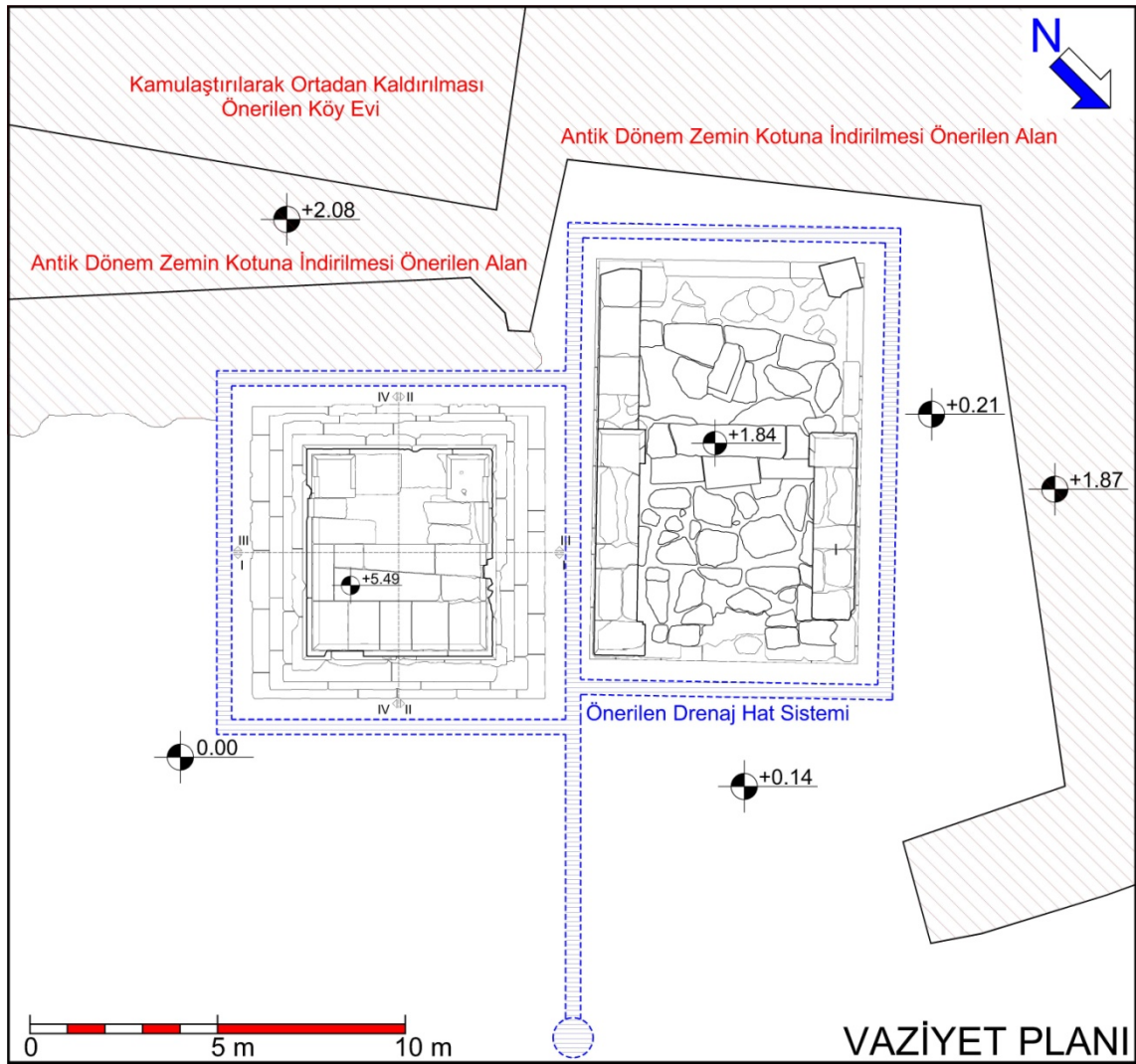
Çalışma kapsamında, birbiri ile ilişkili ve bütüncül biçimde uygulamaları yapılan tahribatsız test (NDT) tekniklerinin, bölgedeki diğer taş anıtların bozunma durumlarının ve bozunma etmenlerinin belirlenmesinde de başarılı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

6.2. Rehabilitasyon önerileri

Atmosferik faktörlere bağlı bozunmalara yönelik önlemler ve rehabilitasyon önerileri; olumsuz mikroklimatik olguların ortadan kaldırılması, anıtlar özelinde drenaj bozukluklarının düzeltilmesi ve anıtlardaki strüktürel hasarların onarılması biçiminde, çevreden yapı özeline doğru uzanan bir çizgide kurgulanmıştır.

Yapı taşlarının bozunma süreçlerini hızlandıran olumsuz mikroklimatik olguların ilk sırasında; anıtların güneybatı yönünde bulunan köy evi ve toprak şevi gelmektedir. Bu yapılanmalar, anıtlar üzerinde oluşturdukları gölgeleme ile yapı taşlarında suni sıcaklık düşüşleri meydana getirmektedirler. Düşen sıcaklıklar, buharlaşma hızını azaltmakta ve nem oranlarını arttırmaktadır.

Bu olumsuz etkilere son vermek için, anıtların güneybatı yönünde bulunan köy evinin kamulaştırılarak yıkılması gerekmektedir. Mevcut bulunan toprak şevinin ise yapılacak arkeolojik kazılar sonucunda, antik dönem zemin kotuna kadar indirilmesi önerilmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Mezar anıtları için önerilen drenaj sistemi ve çevre düzenlemesi planı.

Anıtlarda, topraktan kapiler etki ile yükselen su ve suya bağlı bozunmalar çok belirgindir. Bu nem sorununun ortadan kaldırılması için, her iki anıtı da çevreleyen bir kapalı hat drenaj sistemi oluşturulması önerilmektedir. Bu sistem, anıtların zemin

taşlarını etkileyen su aktivitelerini yavaşlatabilecektir (Şekil 6.1). Bu drenaj sisteminin, bölgede kazılarla ortaya çıkartılan her anıt için de düzenlenmesi önerilmektedir.

Beyaz kabuk katmanına ilişkin, 2016-2020 yılları arasında yapılan gözlemlerde; bu katmanın, atmosferik etkilerle yapı taşı yüzeylerinden yavaş yavaş ayrıldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte bu katmanın, yapı taşlarının bozunma süreçlerinde etkili olması dolayısıyla, temizliğine ilişkin saha deneyleri ve uygulamaları yapılmıştır. Yapılan uygulamada, düşük sertlikte bir fırça kullanılarak, bu kabuk katmanı, yapı taşı yüzeylerinden ayrılmaya çalışılmıştır (Şekil 6.2). Çalışma sonucunda kabuğun, yapı taşı yüzeylerinden kolaylıkla ayrıldığı görülmüştür.



Şekil 6.2. Beyaz kabuk katmanını yapı taşı yüzeylerinden temizleme uygulaması.

M-1 anıtının üst örtüsündeki eksik blokların, antik ocaktan alınan ve biçimlendirilen yeni bloklarla tamamlanması önerilmektedir. Anıtın üst örtü drenaj sistem detaylarının ise testleri yapılan Primal AC-33 esaslı (P) kayacı agrega harcı ile bütünlenmesi gerekmektedir. Bu müdahaleler, yapının üst örtü drenaj sistemini tam manasıyla aktif duruma getirecektir.

M-1 anıtı üst örtüsünün yapı taşları arasında gelişmiş, tek yıllık otsu bitkiler ve çalı formundaki ağaççıklar, hem ölçek hem de etkiledikleri yapı taşları açısından, yapıdan acilen uzaklaştırılması gereken oluşumlardır. Bu oluşumlar yapıdan uzaklaştırılırken, kök yapıları da ulaştıkları derinliğe kadar inilerek çıkartılmalıdır.

M-1 anıtının; gövde, üst örtü ve mezar odası çeperlerinde gelişen biyolojik kolonizasyonların, yapı taşlarına zarar vermeden uzaklaştırılması için ise kontrollü lazer temizlik yöntemi önerilmiştir.

M-2 anıtı, arkeolojik kalıntı hüviyeti taşımaktadır. Bu nedenle M-2 anıtı için herhangi bir tamamlama önerisi getirilmemiştir. Çevrede gerçekleştirilecek kazılarda, bu anıta ait parçaların tespit edilmesi durumunda, bu parçaların ait oldukları yerlere yerleştirilmesi gerekmektedir.

Anıta yağışlarla ulaşan suyun, iç dolgu kesime ulaşmasını engellemek için ise buralardaki boşluklara, porozite değeri yüksek olan hidrolik kireç esaslı (P) kayacı agrega harcı dolgusu ve enjeksiyonu önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Acun Özgünler, S., 2007, Tarihi Yapılarda Kullanılan Volkanik Tüflerin Konservasyonu Üzerine Bir Araştırma: Od Taşı Örneği, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Adam, J.-P., 2005, Roman Building: Materials and Techniques, Routledge, p. 1-727.
- Åhlfeldt, J., 2018, Digital Atlas of the Roman Empire, Lund University, <http://dare.ht.lu.se/>: [03.05.2018].
- Ahunbay, Z., 1996, Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon, Yem Yayınları, İstanbul., p. 1-173.
- Akçay, A., 2014, Tabal Ülkesinin Tarihsel Süreci Üzerine Bir Değerlendirme, *Tarih İncelemeleri Dergisi*, 29 (1), 37-58.
- Akçay, T., 2017, Yunan ve Roma'da Ölü Kültü, *Ankara*, Bilgin Kültür Sanat Yayınları, p. 1-218.
- Akci, A., Demirel, M. K. ve Becu, H. Ş., 2016, Tarım Arazilerindeki Yapılaşma Baskısının Azaltılmasında Köy Gelişme Alanı ve İmar Uygulamaları: İç Anadolu Bölgesi Örneği, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 372-384.
- Akin, M., 2010, A quantitative weathering classification system for yellow travertines, *Environmental earth sciences*, 61 (1), 47-61.
- Akoğlu, K. G., 2011, Deterioration of Nemrut Sandstone and Development of Its Conservation Treatments, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara
- Akurgal, E., 2014, Anadolu Uygarlıkları, Phoenix Yayınevi, Ankara, p. 1-624.
- Al-Habaibeh, A., Allinson, D., Redgate, J. ve Medjdoub, B., 2006, The application of infrared thermography for energy conservation in buildings. Proceedings of the Joint International Conference on Construction Culture, Innovation and Management. Dubai: 385-394.
- Al-Omari, A., Brunetaud, X., Beck, K. ve Al-Mukhtar, M., 2015, Thermal stress and damage risk in the stones of Al-Ziggurat in Al-Nimrud city, Iraq, *Journal of Cultural Heritage*.
- Al-Omari, A., Brunetaud, X., Beck, K. ve Al-Mukhtar, M., 2018, Thermal stress and damage risk in the stones of Al-Ziggurat in Al-Nimrud city, Iraq, *Journal of Cultural Heritage*.
- ANON, 1995, The description and classification of weathered rocks for engineering purposes, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 28 (3), 207-242.
- 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.
- Arndt, R. W., 2010, Square pulse thermography in frequency domain as adaptation of pulsed phase thermography for qualitative and quantitative applications in cultural heritage and civil engineering, *Infrared Physics & Technology*, 53 (4), 246-253.
- Ascaso, C., Wierzechos, J., Souza-Egipsy, V., De los Rios, A. ve Rodrigues, J. D., 2002, In situ evaluation of the biodeteriorating action of microorganisms and the effects of biocides on carbonate rock of the Jeronimos Monastery (Lisbon), *International Biodeterioration & Biodegradation*, 49 (1), 1-12.
- Ashurst, J. ve Dimes, F. G., 1998, Conservation of Building and Decorative Stone, *Oxford and Woburn*, Butterworth-Heinemann, p. 1-465.
- Aşık, E. Ş. ve Ahunbay, Z., 2015, Dolapdere Evangelistria Rum Ortodoks Kilisesi'nin Korunmasına Yönelik Çalışmalar, *Restorasyon Konservasyon Dergisi*, 22-37.

- Asmus, J. F., Murphy, C. G. ve Munk, W. H., 1974, Studies On The Interaction Of Laser Radiation With Art Artifacts, SPIE, p. 19-27.
- ASTM-D5312-04, 2004. Standard test method for evaluation of durability of rock for erosion control under freezing and thawing conditions: 4, ASTM International.
- ASTM-D5873, 2014. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by rebound Hammer Method. West Conshohocken, ASTM International.
- ASTM, 1994, Annual book of ASTM standart - construction: soil and rock, ASTM Publication p. 978.
- Atalay, S., 2010, Side Müzesi 2007-2009 Yılı Eser Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları. 19. Müze Çalışmaları ve Kurtarma Kazıları Sempozyumu. A. Naci Toy, C. K. Ordu, Türkiye, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü.
- Avdelidis, N. P. ve Moropoulou, A., 2004, Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures, *Journal of Cultural Heritage*, 5 (1), 119-127.
- Aydın, A. ve Basu, A., 2005, The Schmidt hammer in rock material characterization, *Engineering Geology*, 81 (1), 1-14.
- Aydın, E. Ö., Fahjan, Y. M. ve Çömlekçioğlu, R., 2007, Deprem Bölgelerindeki Tarihi Kâgir Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Yeni Teknikler. International Earthquake Symposium. Kocaeli: 636-644.
- Aydın, H., 2014, Uygur Dünyanın İlk Yıkılışı M.Ö. 1200, *İstanbul*, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, p. 1-232.
- Babacan, A. E., Ersoy, H. ve Gelişli, K., 2012, Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36 (1), 63-73.
- Bahar, H., 1991, İsaoria Bölgesi Tarihi, *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskiçağ Tarihi Anabilim Dalı, Konya*.
- Bahar, H., 1996, İsaoria Bölgesi'nin Antik Çağdaki Yerleşim Merkezleri, *Anadolu Araştırmaları İstanbul*, XIV, 51-91.
- Bahar, H., 1998, Konya Araştırmaları III: Lykaonia (Konya Merkez Bölgesi), *Selçuk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi (SEFAD)/Selçuk University Journal of Faculty of Letters* (12), 197-206.
- Bahar, H., Çay, T. ve İscan, F., 2007, The Land and City of Tarhuntaşša Geodetic Researches Around It, *XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece*.
- Bahar, H., 2014, Eskiçağ Uygarlıkları, Kömen Yayınları, p. 1-584.
- Bahar, H., 2015, Eskiçağ'da Konya, *S.Ü. Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü, Konya*, p. 271-298.
- Bahar, H., 2016, Antik Dönemde Bozkır Jeopolitiği, *Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Yayınları: 9*, 1-32.
- Bakkevig, S., 2004, Rock art preservation: improved and ecology-based methods can give weathered sites prolonged life, *Norwegian Archaeological Review*, 37 (2), 65-81.
- Bell, F. G., 1993, Durability of carbonate rock as building stone with comments on its preservation, *Environmental Geology*, 21 (4), 187-200.
- Bell, F. G., 2004, Engineering Geology and Construction, Taylor & Francis, p. 1-816.
- Bell, G., 2020, Gertrude Bell Archive, Newcastle University, <http://gertrudebell.ncl.ac.uk/>: [28.03].

- Benavente, D., del Cura, M. G., Fort, R. ve Ordóñez, S., 1999, Thermodynamic modelling of changes induced by salt pressure crystallisation in porous media of stone, *Journal of Crystal growth*, 204 (1-2), 168-178.
- Benavente, D., del Cura, M. G. a., Bernabéu, A. ve Ordóñez, S., 2001, Quantification of salt weathering in porous stones using an experimental continuous partial immersion method, *Engineering Geology*, 59 (3-4), 313-325.
- Benavente, D., Martínez-Martínez, J., Cueto, N. ve García-del-Cura, M. A., 2007, Salt weathering in dual-porosity building dolostones, *Engineering Geology*, 94 (3), 215-226.
- Benito, G., Machado, M. J. ve Sancho, C., 1993, Sandstone weathering processes damaging prehistoric rock paintings at the Albarracín Cultural Park, NE Spain, *Environmental Geology*, 22 (1), 71-79.
- Besang, C., Eckhardt, F. J., Harre, W., Kreuzer, H. ve Müller, P., 1977, Radiometrische Altersbestimmungen an Neogenen Eruptivgesteinen der Türkei, *Geologisches Jahrbuch*, 25, 3-36.
- Bilen, C. A., Erisis, S., Er, S., Yilmaz, M., Angi, S. ve Tugrul, A., 2016, Deterioration types of stones used in Suleymaniye mosque (Istanbul, Turkey), *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-10.
- Bilgin, M., 2004, Konya-Karaman İlleri Hellenistik ve Roma Çağı Keramikleri, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tarih Anabilim Dalı, Eskiçağ Tarihi Bilim Dalı, Konya*.
- Binal, A., 2009, A New Laboratory Rock Test Based on Freeze – Thaw Using a Steel Chamber, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42 (2), 179-198.
- Binda, L., Saisi, A. ve Tiraboschi, C., 2001, Application of sonic tests to the diagnosis of damaged and repaired structures, *NDT & E International*, 34 (2), 123-138.
- Binda, L., Cantini, L., Fernandes, F., Saisi, A., Tedeschi, C. ve Zanzi, L., 2004, Diagnostic Investigation on the Historical Masonry Structures of a Castle by the Complementary Use of Non Destructive Techniques, *13th International Brick and Block Masonry Conference*, Amsterdam.
- Binda, L. ve Saisi, A., 2009, Application of NDTs to the diagnosis of Historic Structures, *NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, Nantes, France.
- Biricik, A. S., 1992, Büyük Konya Kapalı Havzası ve Hotamış Gölü, *Türk Coğrafya Dergisi, İstanbul* (27).
- Bland, W. J. ve Rolls, D., 2016, Weathering: An Introduction to the Scientific Principles, Taylor & Francis, p. 1-271.
- Blows, J. F., Carey, P. J. ve Poole, A. B., 2003, Preliminary investigations into Caen Stone in the UK; its use, weathering and comparison with repair stone, *Building and Environment*, 38 (9), 1143-1149.
- 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.
- Boran, H., 2018, Konya Arkeoloji Müzesi'ndeki Üçgen Alınlıklı Mezar Stelleri, *Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- 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.

- Bozdağ, A., 2013, Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Mühendislik Parametreleri Üzerine Etkisi, *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.*
- Bozdağ, A., Bayram, A. F., İnce, İ. ve Asan, K., 2016, The relationship between weathering and welding degree of pyroclastic rocks in the Kilistra ancient city, Konya (Central Anatolia, Turkey), *Journal of African Earth Sciences*, 123, 1-9.
- Bozdağ, A., İnce, İ., Bozdağ, A., Hatır, M. E., Tosunlar, M. B. ve Korkanç, M., 2020, An assessment of deterioration in cultural heritage: the unique case of Eflatunpınar Hittite Water Monument in Konya, Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1185–1197.
- Brotóns, V., Tomás, R., Ivorra, S. ve Alarcón, J. C., 2013, Temperature influence on the physical and mechanical properties of a porous rock: San Julian's calcarenite, *Engineering Geology*, 167, 117-127.
- Bugani, S., 2007, Evaluation of the Impact of Nitrogen Oxides (NOX) and Conservation Treatments on Stone Building Materials, *University of Bologna, Bologna.*
- Burton, M. M., Adams, J. L., Willis, M. D. ve Nadel, D., 2017, Boulders, outcrops, caves: Documenting cultural use of landscape features in the San Diego region of California, *Quaternary International*, 439, 5-24.
- Calder, W. M. ve Bean, G. E., 1958, A Classical Map of Asia Minor: British Institute of Archaeology, London.
- Camuffo, D., 1995, Physical weathering of stones, *Science of the Total Environment*, 167 (1), 1-14.
- Camuffo, D. ve Sturaro, G., 2001, The climate of Rome and its action on monument decay, *Climate Research*, 16 (2), 145-155.
- Camuffo, D., 2014, Microclimate for Cultural Heritage: Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments, Elsevier Science, p. 1-560.
- Cañaveras, J. C., Fernandez-Cortes, A., Elez, J., Cuezva, S., Jurado, V., Miller, A. Z., Rogerio-Candelera, M. A., Benavente, D., Hernandez-Marine, M. ve Saiz-Jimenez, C., 2015, The deterioration of circular mausoleum, Roman necropolis of carmona, Spain, *Science of the Total Environment*, 518, 65-77.
- Caneva, G., Nugari, M. P., Salvadori, O., Preservation, I. C. f. t. S. o. t. ve Property, t. R. o. C., 1991, Biology in the Conservation of Works of Art, ICCROM, p. 1-182.
- Çapar, Ö., 2018, Phrygia ve Demir Devrinde Anadolu Kavimleri, *DTCF Dergisi*, 31 (1-2).
- Capizzi, P., Cosentino, P. L. ve Schiavone, S., 2013, Some tests of 3D ultrasonic travelttime tomography on the Eleonora d'Aragona statue (F. Laurana, 1468), *Journal of Applied Geophysics*, 91, 14-20.
- Cargill, J. S. ve Shakoor, A., 1990, Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 495-503.
- Charola, A. E., 2017, Stone Deterioration Characterization For Its Conservation, *Revista Geonomos*, 24 (2), 16-20.
- Childs, P., Greenwood, J. ve Long, C., 2000, Review of temperature measurement, *Review of scientific instruments*, 71 (8), 2959-2978.
- Christaras, B., 1991, Durability of building stones and weathering of antiquities in Creta/Greece, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 44 (1), 17-25.

- Christaras, B., 1996, Non destructive methods for investigation of some mechanical properties of natural stones in the protection of monuments, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 54 (1), 59-63.
- Christaras, B., 2003, P-wave velocity and quality of building materials, *Proceedings of International Symposium on "Industrial Minerals and Building Stones"*, IAEG, Istanbul 295-300
- 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.
- Çiftçi, C., 2018, Muğla Yöresine Ait Mermerlerin Pürüzlü Yüzeylerinde Serbest Yüzey Enerjisinin Tespiti, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon.
- Çobanoğlu, İ. ve Çelik, S. B., 2018, Travertenlerde Kapiler Su Emmenin Tanımlanması ve Sınıflandırılması, *Scientific Mining Journal* (57 (Special Issue)), 121-127.
- Colao, F., Fantoni, R., Ortiz, P., Vazquez, M., Martin, J., Ortiz, R. ve Idris, N., 2010, Quarry identification of historical building materials by means of laser induced breakdown spectroscopy, X-ray fluorescence and chemometric analysis, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 65 (8), 688-694.
- Combs, A. C., Weickmann, H. K., Mader, C. ve Tebo, A., 1965, Application of infrared radiometers to meteorology, *Journal of Applied Meteorology*, 4 (2), 253-262.
- 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.
- Cronyn, J. M. ve Robinson, W. S., 1990, The Elements of Archaeological Conservation, Routledge, p. 1-326.
- 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.
- Cuccuru, F., 2017, Non-Destructive Ultrasonic Testings on a Monumental Structure of the Historical Center of Cagliari (Italy), *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, 5 (1), 25-30.
- Curran, J., Smith, B. ve Warke, P., 2002, Weathering of igneous rocks during shallow burial in an upland peat environment: observations from the Bronze Age Copney Stone Circle Complex, Northern Ireland, *Catena*, 49 (1-2), 139-155.
- Cutler, N. ve Viles, H., 2010, Eukaryotic Microorganisms and Stone Biodeterioration, *Geomicrobiology Journal*, 27 (6-7), 630-646.
- Cutler, N. A., Viles, H. A., Ahmad, S., McCabe, S. ve Smith, B. J., 2013, Algal 'greening' and the conservation of stone heritage structures, *Science of the Total Environment*, 442, 152-164.
- Dakal, T. C. ve Cameotra, S. S., 2012, Microbially induced deterioration of architectural heritages: routes and mechanisms involved, *Environmental Sciences Europe*, 24 (1), 36.
- Darcan, H., 2013, Athanasius ve İznik Konsili, *Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, 15 (28), 169-191.
- Darot, M. ve Reuschlé, T., 2000, Acoustic wave velocity and permeability evolution during pressure cycles on a thermally cracked granite, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37 (7), 1019-1026.
- Davis, E. J., 1879, Life in Asiatic Turkey: A Journal of Travel, Edward Stanford, London, p. 1-536.

- 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. Capetown: 396-398.
- De la Rosa, J. P. M., 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.
- Dearman, W., 1975, Weathering classification in the characterisation of rock: a revision, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 14 (1), 123-127.
- DeCruz, A., Wolbarsht, M. L., Andreotti, A., Colombini, M. P., Pinna, D. ve Culberson, C. F., 2009, Investigation of the Er: YAG laser at 2.94 μm to remove lichens growing on stone, *Studies in Conservation*, 54 (4), 268-277.
- Deere, D. U. ve Miller, R. P., 1966, Engineering classification and index properties for intact rock, *University of Illinois, Urbana, Illinois*.
- Delgado Rodrigues, J., 2015, Defining, mapping and assessing deterioration patterns in stone conservation projects, *Journal of Cultural Heritage*, 16 (3), 267-275.
- Demarco, M. M., Jahns, E., Rüdric, J., Oyhantcabal, P. ve Siegesmund, S., 2007, The impact of partial water saturation on rock strength: an experimental study on sandstone [Der Einfluss einer partiellen Wassersättigung auf die mechanischen Gesteinseigenschaften: eine Fallstudie an Sandsteinen], *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158 (4), 869-882.
- Doehne, E. ve Price, C. A., 2010, Stone Conservation: An Overview of Current Research, Getty Publications, p. 1-159.
- Doğan, S., 2012, Karaman Merkezdeki Kiliseler, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Van*.
- Doğanay, O., 2005, Ermenek ve Yakın Çevresindeki Antik Yerleşim Birimleri, p. 1-331.
- Doğanay, O., 2008, İsaoria Bölgesi Kaya Mezarları ve Ölü Gömme Gelenekleri, *Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- Doğanay, O., 2009, İsaoria Bölgesi Kaya Mezarları ve Ölü Gömme Gelenekleri, *Konya, Çizgi Kitabevi Yayınları*, p. 1-624.
- Doğancı, K., 2017, I. Constantinus'un Hristiyanlığı Meselesi ve Ölümü Hakkındaki Tartışmalar, p. 493-517.
- Dönmez, S., 2012, Tabal Ülkesi'nin Metal Kaynakları Açısından Önemi, *International Journal of Social Science*, 5 (6), 175-188.
- D'ossat, G., 1982, Guide to the methodical study of monuments and causes of their deterioration, *Rome, ICCROM*, p. 1-46.
- Dülgerler, O. N., 1995, Karamanoğulları Dönemi Mimarisi, *Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Dülgerler, O. N., 2006, Karamanoğulları Dönemi Mimarisi, *Türk Tarih Kurumu Yayınları, Ankara*, p. 1-284.
- 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.
- Ekşi Akbulut, D., Gökyigit Arpacı, E. Y., Oktay, D. ve Yüzer, N., 2018, Tarihi Yığma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yönteminin (Grouting) ve Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemesinin Zaman İçerisinde Gelişimi, *Megaron*, 13 (1), 156-168.

- El-Gohary, M. ve Al-Shorman, A., 2010, The impact of the climatic conditions on the decaying of Jordanian basalt at umm Qeis: exfoliation as a major deterioration symptom, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 10 (1), 143-158.
- El-Gohary, M., 2013, Evaluation of treated and un-treated Nubia Sandstone using ultrasonic as a non-destructive technique, *Journal of Archaeological Science*, 40 (4), 2190-2195.
- El-Gohary, M. ve Redwan, M., 2018, Alteration parameters affecting the Luxor Avenue of the Sphinxes-Egypt, *Science of the Total Environment*, 626, 710-719.
- 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.
- Emery, K. O., 1960, Weathering of the Great Pyramid, *Journal of Sedimentary Research*, 30 (1), 140-143.
- Ercan, T., 1986, Orta Anadolu'daki Senozoyik Volkanizması, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 107, 119-140.
- Erder, C., 1975, Tarihi Çevre Bilinci, *Ankara, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Yayınları*, p. 1-316.
- Eriç, M., 1994, Yapı Fiziği ve Malzemesi, *Literatür Kitabevi, İstanbul*.
- Erkal, A. ve Ozhan, H. O., 2014, Value and vulnerability assessment of a historic tomb for conservation, *The Scientific World Journal*, 2014, 1-10.
- Erköseoğlu, G., 2012, Kültürel Mirasın Depremden Korunması ve Turizme Kazandırılması Amacı ile Uygulanabilecek Güçlendirme Teknikleri, *Ankara*.
- Ermin, A., 2005, Karadağ Volkanının (Karaman) Jeomorfolojik Özellikleri, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara*.
- Erol, O., 1980, Anadolu'da Kuaterner Pluvial ve İnterpluvial Koşullar ve Özellikle Güney-İç Anadolu'da Son Buzul Çağından Bugüne Kadar Olan Çevresel Değişmeler, *Ankara Üniversitesi, DTCF Coğrafya Araştırmaları Dergisi* (9), 5-16.
- Ersen, A., 2013, Taş Korumada Son 20 Yıldaki Gelişmeler ve Yenilikler, *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi* (10), 3-19.
- Esaki, T. ve Jiang, K., 1999, Comprehensive study of the weathered condition of welded tuff from a historic stone bridge in Kagoshima, Japan, *Engineering Geology*, 55 (1), 121-130.
- Eskici, B., 1997, Taş Eserlerin Korunması Üzerine Notlar, *Türk Arkeoloji Dergisi*, XXXI, 383-391.
- Eyice, S., 1971, Karadağ (Binbirkilise) ve Karaman Çevresinde Arkeolojik İncelemeler, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları*, p. 1-198.
- Eyice, S., 2014, Binbirkilise Karadağ, *Karaman Belediyesi Kültür Yayınları*.
- 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), 1-11.
- Fedak, J., 1990, Monumental Tombs of the Hellenistic Age: A Study of Selected Tombs from the Pre-Classical to the Early Imperial Era, *University of Toronto Press*, p. 1-500.

- Fener, M. ve Ince, I., 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.
- Fernandes, A. B. ve Rodrigues, J. D., 2008, Stone consolidation experiments in rock art outcrops at the Côa Valley Archaeological Park, Portugal, *Stone consolidation in cultural heritage: research and practice*, 111-120.
- Fitzner, B. ve Heinrichs, K., 2002, Damage diagnosis on stone monuments-weathering forms, damage categories and damage indices. Understanding and managing stone decay. In: Pirkryl R, V. H., Editor. Prague, The Karolinum Press: 11-56.
- Fitzner, B., Heinrichs, K. ve La Bouchardiere, D., 2003, Weathering damage on Pharaonic sandstone monuments in Luxor-Egypt, *Building and Environment*, 38 (9-10), 1089-1103.
- Fitzner, B. ve Heinrichs, K., 2004, Photo Atlas of Weathering Forms on Stone Monuments, Online: <http://www.stone.rwth-aachen.de/atlas.htm>.
- Fitzner, B., 2014, Diagnosis of weathering damage on stone monuments, *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía* (18), 21-28.
- 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*, 5 (3), 139-185.
- Fort, R., Mingarro, F., López de Azcona, M. ve Rodriguez Blanco, J., 2000, Chromatic parameters as performance indicators for stone cleaning techniques, *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 25 (6), 442-446.
- Fort, R., Alvarez de Buergo, M., Perez-Monserrat, E. ve Varas, M. J., 2010, Characterisation of monzogranitic batholiths as a supply source for heritage construction in the northwest of Madrid, *Engineering Geology*, 115 (3), 149-157.
- Fort, R., Varas, M. J., Alvarez de Buergo, M. ve Martin-Freire, D., 2011, Determination of anisotropy to enhance the durability of natural stone, *Journal of Geophysics and Engineering*, 8 (3), S132-S144.
- Fort, R., de Buergo, M. A. 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.
- Freire-Lista, D. M., Fort, R. ve Varas-Muriel, M. J., 2015, Freeze–thaw fracturing in building granites, *Cold Regions Science and Technology*, 113, 40-51.
- Freire-Lista, D. M., Fort, R. ve Varas-Muriel, M. J., 2016, Thermal stress-induced microcracking in building granite, *Engineering Geology*, 206, 83-93.
- Garstang, J., 1944, The Hulaya River Land and Dadassas: A Crucial Problem in Hittite Geography, *Journal of Near Eastern Studies*, 3 (1), 14-37.
- Garty, J., 1990, Influence of epilithic microorganisms on the surface temperature of building walls, *Canadian Journal of Botany*, 68 (6), 1349-1353.
- Gauthier, G. ve Burke, A. L., 2011, The effects of surface weathering on the geochemical analysis of archaeological lithic samples using non-destructive polarized energy dispersive XRF, *Geoarchaeology*, 26 (2), 269-291.
- Gaylarde, C., Baptista-Neto, J. A., Tabasco-Novelo, C. ve Ortega-Morales, O., 2018, Weathering of granitic gneiss: A geochemical and microbiological study in the

- polluted sub-tropical city of Rio de Janeiro, *Science of the Total Environment*, 644, 1641-1647.
- Gaylarde, C. C. ve Gaylarde, P. M., 2005, A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 55 (2), 131-139.
- Gherardi, F., Gulotta, D., Goidanich, S., Colombo, A. ve Toniolo, L., 2017, On-site monitoring of the performance of innovative treatments for marble conservation in architectural heritage, *Heritage Science*, 5 (1), 4.
- Giesen, M. J., Ung, A., Warke, P. A., Christgen, B., Mazel, A. D. ve Graham, D. W., 2014, Condition assessment and preservation of open-air rock art panels during environmental change, *Journal of Cultural Heritage*, 15 (1), 49-56.
- Gökçe, M. V., 2010, Diatomit Esaslı Hafif Yapı Elemanı Üretiminde Üre-Formaldehitin Bağlayıcı Olarak Kullanılması, *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Konya*.
- 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.
- Gomez-Heras, M., McCabe, S., Smith, B. J. ve Fort, R., 2009, Impacts of Fire on Stone-Built Heritage, *Journal of Architectural Conservation*, 15 (2), 47-58.
- Gómez-Heras, M., Smith, B. J. ve Fort, R., 2006, Surface temperature differences between minerals in crystalline rocks: Implications for granular disaggregation of granites through thermal fatigue, *Geomorphology*, 78 (3-4), 236-249.
- Gómez-Heras, M., Smith, B. J. ve Fort, R., 2008, Influence of surface heterogeneities of building granite on its thermal response and its potential for the generation of thermoclasty, *Environmental Geology*, 56 (3-4), 547.
- Goudie, A. S., 2016, Quantification of rock control in geomorphology, *Earth-science reviews*, 159, 374-387.
- Grinzato, E., Vavilov, V. ve Kauppinen, T., 1998, Quantitative infrared thermography in buildings, *Energy and Buildings*, 29 (1), 1-9.
- Grossi, D., Lama, E. A. D., García TALEGÓN, J., Iñigo, A. C. ve Vicente Tavera, S., 2015, Evaluation of colorimetric changes in the Itaquera granite of the Ramos de Azevedo Monument, São Paulo, Brazil.
- Güleç, A., 2012, Nuruosmaniye Camii'ne Ait Malzemelerin Nitelik ve Problemlerinin Analizi, In: Vakıf Restorasyon Yıllığı, Eds, *İstanbul*, p. 59-75.
- Gündüz, R., 2016, Neolitikten Kalkolitik Döneme Kadar Bozkır ve Çevresindeki Yerleşmeler, *Uluslararası Sempozyum: Geçmişten Günümüze Bozkır (06-08 Mayıs 2016)* (Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü, Konya), 33-48.
- Guo, F. ve Jiang, G., 2015, Investigation into rock moisture and salinity regimes: implications of sandstone weathering in Yungang Grottoes, China, *Carbonates and evaporites*, 30 (1), 1-11.
- Gürsoy, H., Piper, J., Tatar, O. ve Mesci, L., 1998, Palaeomagnetic study of the Karaman and Karapınar volcanic complexes, central Turkey: neotectonic rotation in the south-central sector of the Anatolian Block, *Tectonophysics*, 299 (1-3), 191-211.
- Hall, K. ve Hall, A., 1996, Weathering by wetting and drying: some experimental results, *Earth surface processes and landforms*, 21 (4), 365-376.
- Hall, K., Thorn, C. ve Sumner, P., 2012, On the persistence of 'weathering', *Geomorphology*, 149-150, 1-10.
- Hamilton, W. J., 2013, Küçük Asya, *Ankara*, Midas Kitap, p. 1-832.

- Hannachi, S. ve Guetteche, M. N., 2014, Review of the rebound hammer method estimating concrete compressive strength on site, *International Conference on Architecture and Civil Engineering (ICAACE'14)*, Dubai, 118-127.
- Hatır, M. E., Korkanç, M. ve Başar, M. E., 2018, Evaluating the deterioration effects of building stones using NDT: the Küçükköy Church, Cappadocia Region, central Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1-14.
- Hatır, M. E., 2019, Kapadokya Bölgesi 19. yy. Osmanlı kiliselerindeki taş malzemelerin bozunma nedenleri ve rehabilitasyonu için öneriler; Niğde Küçükköy Kilisesi örneği, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- Hawkins, A. B. ve McConnell, B. J., 1992, Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 25 (2), 115-130.
- Haynes, J. H., 1892, Descriptive catalogue to accompany a series of photographs of Asia Minor, taken in the summer of 1887, *New York*, Press of W.R. Jenkins, p. 1-59.
- Haynes, J. H., 2018, John Henry Haynes Photographs Archive (1884-1887), Cornell University Library, Digital Collections, <https://digital.library.cornell.edu/>: [02.05.2018].
- 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.
- Heinrichs, K., 2008, Diagnosis of weathering damage on rock-cut monuments in Petra, Jordan, *Environmental Geology*, 56 (3-4), 643-675.
- Herodotos, 1973, Herodot Tarihi, *İstanbul*, Remzi Kitabevi, p. 1-881.
- Herrera, L. K. ve Videla, H. A., 2009, Surface analysis and materials characterization for the study of biodeterioration and weathering effects on cultural property, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63 (7), 813-822.
- Hoek, E. ve Brown, E. T., 1980, *Underground Excavations in Rock*, CRC Press, p. 1-527.
- Holzmann, C., 1904, Binbirkilise: Archäologische Skizzen aus Anatolien, *Hamburg*, Verlag von Boysen & Maasch, p. 1-12.
- Hrozný, B., 1936, Les Inscriptions Hittites Hiéroglyphiques de Karakuyu, Fraktin, Kara Dag et La Stèle de Boghazkeui, *Orientalní Ústav*, p. 1-549.
- Huggett, R., 2011, *Fundamentals of Geomorphology*.
- Hughes, M., Cowell, M. ve Craddock, P., 1976, Atomic absorption techniques in archaeology, *Archaeometry*, 18 (1), 19-37.
- ICOMOS_Charter, 2003, Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage. Ratified by the ICOMOS 14th General Assembly in Victoria Falls. Sites, İ. C. o. M. a. Zimbabwe.
- ICOMOS_Charter, 2010, New Zealand Charter for the Conservation of Places of Cultural Heritage Value. Sites, İ. C. o. M. a. New Zealand.

- İnce, İ., 2013, Donma-Çözülme Döngüsünün Kayaçların Mühendislik Parametreleri Üzerine Etkisi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- 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.
- İrfan, T. Y. ve Dearman, W. R., 1978, Engineering classification and index properties of a weathered granite, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 17 (1), 79-90.
- İrfan, T. Y. ve Powell, G. E., 1985, Engineering geological investigations for pile foundations on a deeply weathered granitic rock in Hong Kong, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology - Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 32 (1), 67-80.
- İrshad, Z. A. J. ve Haque, A., 2018, Temperature measurement of solar module in outdoor operating conditions using thermal imaging, *Infrared Physics & Technology*, 92, 134-138.
- İşık, F., 1994, Karadağ (Karaman) Civarının Jeolojisi ve Mineralojik-Petrografik İncelemesi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- ISRM, 1979, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*: 135-140.
- ISRM, 1981, Rock characterisation, testing and monitoring: ISRM suggested methods, E.T. Brown (ed). Oxford, Pergamon: p. 211.
- ISRM, 2007, The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay R., Hudson J. (eds) *Suggested methods prepared by the commission on testing methods*, ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.
- Izadpanah, F., 2013, Conservation without conservators: conservation concepts and techniques in historic Maymand, *Journal of Architectural Conservation*, 19 (2), 131-177.
- Jackson, M. P. C., 2017, Binbirkilise, In: *The Archaeology of Byzantine Anatolia: From the End of Late Antiquity until the Coming of the Turks*, Eds: Niewohner, P.: Oxford University Press, p. 312-320.
- Jamshidi, A., 2014, Investigating the Effect of Specimen Diameter Size on Uniaxial Compressive Strength and Elastic Properties of Travertines, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 25 (2), 133-141.
- Jamshidi, A., Nikudel, M. R., Khamchiyan, M., Sahamieh, R. Z. ve Abdi, Y., 2016, A correlation between P-wave velocity and Schmidt hardness with mechanical properties of travertine building stones, *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (10), 568.
- Jansen, D. P., Carlson, S. R., Young, R. P. ve Hutchins, D. A., 1993, Ultrasonic imaging and acoustic emission monitoring of thermally induced microcracks in Lac du Bonnet granite, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98 (B12), 22231-22243.
- Jefferson, D., 1993, Building stone: the geological dimension, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 26 (4), 305-319.
- Jokilehto, J., 2002, A History of Architectural Conservation, *Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK*, Butterworth-Heinemann, p. 1-354.

- Kandemir-Yucel, A., Tavukcuoglu, A. ve Caner-Saltik, E., 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.
- Kandemir, A., 2010, Soundness Assessment of Historic Structural Timber by the Use of Non-Destructive Methods, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara.
- Kaplan, Ç. D., Murtezaoğlu, F., İpekoğlu, B. ve Böke, H., 2013, Weathering of andesite monuments in archaeological sites, *Journal of Cultural Heritage*, 14 (3), e77-e83.
- Kapridaki, C. ve Maravelaki-Kalaitzaki, P., 2013, TiO₂-SiO₂-PDMS nano-composite hydrophobic coating with self-cleaning properties for marble protection, *Progress in Organic Coatings*, 76 (2), 400-410.
- Karadayı Yenice, T., 2012, Geleneksel Aksaray Evlerinin Korunmasına İlişkin Bir Yöntem Araştırması, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- Karakul, H. ve Ulusay, R., 2012, Kayaların Dayanım Özelliklerinin Farklı Doygunluk Koşullarında P-dalga Hızından Kestirimi ve P-Dalga Hızının Fiziksel Özelliklere Olan Duyarlılığı, *Yerbilimleri Dergisi*, 33 (3), 239-268.
- Karakul, H. ve Ulusay, R., 2013, Empirical Correlations for Predicting Strength Properties of Rocks from P-Wave Velocity Under Different Degrees of Saturation, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46 (5), 981-999.
- Karaman-Valiliği, 2018, <http://www.karaman.gov.tr/ilin-cografi-bilgileri>, [4 December].
- Karağuz, G., Bahar, H. ve Kunt, H. İ., 2002, Kızıldağ Üzerine Yeni Bazı Gözlemler, *TUBA-AR V*, 5 (1).
- Katz, O., Reches, Z. ve Roegiers, J.-C., 2000, Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37 (4), 723-728.
- Kibblewhite, M., Tóth, G. ve Hermann, T., 2015, Predicting the preservation of cultural artefacts and buried materials in soil, *Science of the Total Environment*, 529, 249-263.
- Kibblewhite, M. G., 2015, Predicting the Degradation of Buried Materials, 'Land Quality and Landscape Processes' Keszthely, Hungary, 57-61.
- Kılıç, Y., 2004, Karaman ve Çevresindeki Ziyaret Yerlerinin ve Manevi Halk İnançlarının Dinler Tarihi ve Din Olgusu Açısından Tahlili, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Felsefe ve Din Bilimleri Anadilim Dalı, Dinler Tarihi Bilim Dalı, Konya*.
- Koç, Ş., 1990, Geology and Geochemistry of the Karadağ Volcanic Succession, Pliocene - Quaternary, Central Anatolia, Turkey, *Biology and Geological Engineering, Commun. Fac. Sci. Univ. Ank.*, 8 (Series C, 1-2), 39-53.
- Koca, M. Y., Ozden, G., Yavuz, A. B., Kincal, C., Onargan, T. ve Kucuk, K., 2006, Changes in the engineering properties of marble in fire-exposed columns, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43 (4), 520-530.
- Konyalı, İ. H., 1964, Abideleri ve Kitabeleri ile Konya Tarihi, *Konya*, Yeni Kitap Basımevi, p. 1-1213.
- Konyalı, İ. H., 1967, Abideleri ve Kitabeleri ile Karaman Tarihi, Ermenek ve Mut Abideleri, *Baha Matbaası, İstanbul*.
- Korkanç, M. ve Savran, A., 2010, Niğde Yöresindeki Tarihi Yapılarda Kullanılan Taşlar ve Sorunları, *TÜBİTAK Projesi, Proje No: 106Y220, 351 sayfa*.
- Korkanç, M., 2013, Deterioration of different stones used in historical buildings within Niğde 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., 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., 2014, Yapı Taşlarının Restorasyonu, *İstanbul, Özlem Matbaacılık ve Reklamcılık*, p. 1-215.
- Kumar, R. ve Kumar, A. V., 1999, Biodeterioration of Stone in Tropical Environments: An Overview, Getty Conservation Institute, p. 1-85.
- Kunz, S., Pamplona, M., Akoglu, K. G., Dierks, H., Simon, S. ve Tiefensee, F., 2014, Detection of Structural Layers of a Cored Marble Column from the Market Gate of Miletus with Traditional Ultrasonic Tomography and Innovative Phased Array Sonography.
- Kurt, M., 2009, Karaman'da Eski Çağlara Ait Kültürel Unsurlar ve Turizm Açısından Önemi, *Selçuk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi* (21), 165-196.
- Kurt, M., 2010a, Tabal Ülkesi'nin Politik ve İdari Yapısı/Political and Administrative Structure of Tabal Country, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (23), 127.
- Kurt, M., 2010b, Antik Lykaonia'da Yönetim ve Şehirleşme, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* (28).
- Kurt, M., 2011, Karaman-Binbir Kilise Mezarları, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi* (2), 125-131.
- Kurt, M., 2013, Karadağ-Mahalaç Tepesi (Karaman) Üzerine Bir Araştırma, *K.M.Ü. Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 15 (24), 39-45.
- Kwaśniewski, M., 2009, Effect of water on the deformability of rocks under uniaxial compression.
- La Russa, M. F., Macchia, A., Ruffolo, S. A., De Leo, F., Barberio, M., Barone, P., Crisci, G. M. ve Urzi, C., 2014, Testing the antibacterial activity of doped TiO₂ for preventing biodeterioration of cultural heritage building materials, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 96, 87-96.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. ve Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram, *Journal of petrology*, 27 (3), 745-750.
- Leake, W. M., 1824, Journal of a Tour in Asia Minor: with comparative remarks on the ancient and modern geography of that country, J. Murray, p. 1-362.
- Lee, C. H. ve Yi, J. E., 2007, Weathering damage evaluation of rock properties in the Bunhwangsa temple stone pagoda, Gyeongju, Republic of Korea, *Environmental Geology*, 52 (6), 1193-1205.
- Leisen, H., von Plehwe-Leisen, E., Verbeek, C., Jürgens, C. ve Krause, S., 2008, Aspects of conservation in the excavation site of the Athribis temple in Egypt, *Environmental Geology*, 56 (3), 689-697.
- 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.
- Livingston, R. A., 1999, Nondestructive Testing of Historic Structures, *Archives and Museum Informatics*, 13 (3), 249-271.
- Lu, D. ve Pan, Y., 2011, Digital preservation for heritages: Technologies and applications, Springer Science & Business Media, p. 1-219.
- Ludovico-Marques, M. ve Chastre, C., 2016, Effect of artificial accelerated salt weathering on physical and mechanical behavior of sandstone samples from surface reservoirs, In: Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Oil and Gas Industry, Eds: Elsevier, p. 215-233.
- Luque, A., Ruiz-Agudo, E., Cultrone, G., Sebastián, E. ve Siegesmund, S., 2011, Direct observation of microcrack development in marble caused by thermal weathering, *Environmental earth sciences*, 62 (7), 1375-1386.
- Marquis de Laborde, L., 1838, Voyage de L'asie Mineure, Firmin Didot, p. 1-148.
- Matsui, T., Sawada, M., Inoue, S., Ebisawa, T., Kawasaki, E., Atomi, Y. ve Nakagawa, T., 2014, A Study on Conservative Material for the Bas-Reliefs of the Bayon Temple in Angkor Monuments. Proceedings of the International Conference on Conservation of Stone and Earthen Architectural Heritage. Chan Hee Lee, J. K. a. R. H. K. Gongju, Chungcheongnam-do, Republic of Korea: 119-126.
- 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.
- Matsuoka, N., 1990, Mechanisms of rock breakdown by frost action: An experimental approach, *Cold Regions Science and Technology*, 17 (3), 253-270.
- Matsuoka, N. ve Murton, J., 2008, Frost weathering: recent advances and future directions, *Permafrost and Periglacial Processes*, 19 (2), 195-210.
- Medini, H. K. ve Arbi, M., 2018, Chemical and physical analysis of sandstone and relationship with weathering damage of Madâin Sâlih monuments, *Journal of Taibah University for Science*, 12 (1), 37-45.
- Mellaart, J., 2003, Çatalhöyük Anadolu'da Bir Neolitik Kent *İstanbul*, Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık, p. 1-218.
- Menéndez, B., 2016, Non-Destructive Techniques Applied to Monumental Stone Conservation, In: Non-Destructive Testing, Eds, *Rijeka*: InTech, p. 173-213.
- MGM, 2019, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KARAMAN>: [21 Mar 2019].
- Mitchell, D. J., Halsey, D. P., Macnaughton, K. ve Searle, D. E., 2000, The influence of building orientation on climate weathering cycles in Staffordshire, UK, In: Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Eds: Fassina, V., *Amsterdam*: Elsevier Science B.V., p. 357-365.
- Mitchell, K., Mackley, R. ve Pederson, J., 2005, Quantifying bedrock strength with respect to fluvial erodibility along the Colorado River: comparing in situ and laboratory methods. Geological Society of America Abstracts with Programs 37: 295.
- Mohamad, E. T., Gofar, N., Amin, M. F. M. ve Isa, M. F. M., 2011, Field assessment of rock strength by impact load test, *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 23 (1), 105-110.

- Mol, L. ve Preston, P., 2010, The writing's in the wall: a review of new preliminary applications of electrical resistivity tomography within archaeology, *Archaeometry*, 52 (6), 1079-1095.
- Moropoulou, A., Labropoulos, K., Konstanti, A., Roumpopoulos, K., Bakolas, A. ve Michailidis, P., 2006, Chapter 5: Weathering, In: *Fracture and Failure of Natural Building Stones: Applications in the Restoration of Ancient Monuments*, Eds: Kourkoulis, S. K., *Dordrecht*: Springer Netherlands, p. 291-297.
- Moropoulou, A., Labropoulos, K. C., Delegou, E. T., Karoglou, M. ve Bakolas, A., 2013, Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage, *Construction and Building Materials*, 48, 1222-1239.
- Moses, C., Robinson, D. ve Barlow, J., 2014, Methods for measuring rock surface weathering and erosion: a critical review, *Earth-science reviews*, 135, 141-161.
- Mottershead, D., Gorbushina, A., Lucas, G. ve Wright, J., 2003, The influence of marine salts, aspect and microbes in the weathering of sandstone in two historic structures, *Building and Environment*, 38 (9), 1193-1204.
- Mottershead, D., 2013, Coastal weathering, In: *Treatise on geomorphology. Volume 4, Weathering and soils geomorphology*, Eds: Elsevier, p. 228-244.
- Moustafa, A. M. N., Muhammed, H. H. ve Hassan, M., 2013, Skin cancer detection using temperature variation analysis, *Engineering*, 5 (10), 18-21.
- NBG, 1985, Engineering Geology and Rock Engineering, *Norwegian Group of Rock Mechanics, Norway*.
- Nicholson, D. T., 2001, Pore properties as indicators of breakdown mechanisms in experimentally weathered limestones, *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 26 (8), 819-838.
- Norman, J. M. ve Becker, F., 1995, Terminology in thermal infrared remote sensing of natural surfaces, *Remote Sensing Reviews*, 12 (3-4), 159-173.
- Ocaña, S. M., Guerrero, I. C. ve Requena, I. G., 2004, Thermographic survey of two rural buildings in Spain, *Energy and Buildings*, 36 (6), 515-523.
- Oddy, A. ve Linstrum, D., 2002, Series Editors' Preface, In: *A History of Architectural Conservation*, Eds, *Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK*: Butterworth-Heinemann, p. xi-xii.
- Ojo, O. ve Brook, N., 1990, The effect of moisture on some mechanical properties of rock, *Mining Science and Technology*, 10 (2), 145-156.
- Oke, T. R., 2002, *Boundary Layer Climates*, Routledge, p. 1-32.
- Ondrasina, J., Kirchner, D. ve Siegesmund, S., 2002, Freeze-thaw cycles and their influence on marble deterioration: a long-term experiment, *Geological Society, London, Special Publications*, 205 (1), 9-18.
- Ousterhout, R., 2013, Binbirkilise Revisited: The 1887 Photographs of John Henry Haynes, *Deltion Tes Christianikes Archaialogikes Etaireias*, 34, 395-404.
- Özaytekin, H. ve Karakaplan, S., 2011, Orta Anadolu'da Karaman Karadağ Andezitik Materyali Üzerinde Oluşan Toprakların Mineralojik Yönden Değerlendirilmesi, *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 25 (3), 86-95.
- Özbek, Ç., 2007, Anadolu'nun Hellenistik ve Roma Dönemi Anıt Mezar Geleneğine Genel Bir Bakış, In: *Patronvs Coşkun Özgünel'e 65. Yaş Armaganı*, Eds, *İstanbul*, p. 265-271.
- Özgen, H., 2006, Zamanın Kapıları Karaman, *Karaman, Mart Matbaacılık Sanatları, Karaman Valiliği Yayınları*, p. 1-99.
- 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., 2012a, Büyük Mecidiye Camisi Hünkâr Kasrı Restorasyon ve Konservasyon Projesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Öztürk, N., 2012b, Büyük Mecidiye Camisi Hünkâr Kasrı Konservasyon Projesi, In: Kârgir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri IV 2012, Eds: Bülbül, İ. N., *İstanbul: İ.B.B. KUDEB Yayınları*, p. 92-119.
- Paradise, T. R., 2000, Sandstone architectural deterioration in Petra, Jordan, *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 145-154.
- 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.
- Pereira-Pardo, L. ve Korenberg, C., 2018, The use of erbium lasers for the conservation of cultural heritage. A review, *Journal of Cultural Heritage*, 31, 236-247.
- Pérez-Monserrat, E., Fort, R. ve de Buergo, M. A., 2011, Cleaning methods assessment for the limestone's façades of formerly workers Hospital of Madrid, Spain.
- Polat Pekmezci, I., 2012, Çukurova Bölgesindeki (Kilikya) Bazı Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçları İçin Öneriler, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Pope, G. A. ve Rubenstein, R., 1999, Anthroweathering: Theoretical framework and case study for human-impacted weathering, *Geoarchaeology: An International Journal*, 14 (3), 247-264.
- Pope, G. A., Meierding, T. C. ve Paradise, T. R., 2002, Geomorphology's role in the study of weathering of cultural stone, *Geomorphology*, 47 (2-4), 211-225.
- Pouli, P., Oujja, M. ve Castillejo, M., 2012, Practical issues in laser cleaning of stone and painted artefacts: optimisation procedures and side effects, *Applied Physics A*, 106 (2), 447-464.
- Ramsay, S. W. M. ve Pektaş, M., 1960, Anadolu'nun Tarihi Coğrafyası.
- Ramsay, W. M., 1890, The Historical Geography of Asia Minor, John Murray, p. 1-496.
- Ramsay, W. M. ve Bell, G. L., 1909, The Thousand and One Churches, Hodder and Stoughton, London, p. 1-580.
- Revez, M. J. C. V., 2016, Compatibility Matters: Assessing the Risks of Built Heritage Cleaning, *Universidade Nova de Lisboa*, Lisboa.
- Rivas, T., Pozo-Antonio, J. S., López de Silanes, M. E., Ramil, A. ve López, A. J., 2018, Laser versus scalpel cleaning of crustose lichens on granite, *Applied Surface Science*, 440, 467-476.
- Rivera-Gomez, C. ve Galán-Marin, C., 2013, In situ assessment of structural timber elements of a historic building by moisture content analyses and ultrasonic velocity tests.
- Rodriguez-Navarro, C., Doehne, E. ve Sebastian, E., 1999, Origins of honeycomb weathering: The role of salts and wind, *Geological Society of America Bulletin*, 111 (8), 1250-1255.
- Rohsenow, W. M., Hartnett, J. P. ve Cho, Y. I., 1998, Handbook of heat transfer, McGraw-Hill New York, p. 1-1501.
- Rosado, T., Silva, M., Galvão, A., Mirão, J., Candeias, A. ve Caldeira, A. T., 2016, A first insight on the biodegradation of limestone: the case of the World Heritage Convent of Christ, *Applied Physics A*, 122 (12), 1012.
- Rose, H. J., Adler, I. ve Flanagan, F. J., 1963, X-ray fluorescence analysis of the light elements in rocks and minerals, *Applied spectroscopy*, 17 (4), 81-85.

- Ruedrich, J., Bartelsen, T., Dohrmann, R. ve Siegesmund, S., 2011, Moisture expansion as a deterioration factor for sandstone used in buildings, *Environmental earth sciences*, 63 (7-8), 1545-1564.
- Sansar, A. ve Akyol, A. A., 2019, Arkeolojik Alanlarda Mimari Kalıntıların Korunmasında Nanoteknoloji Kullanımı. 41. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu. Diyarbakır.
- Sanz, M., Oujja, M., Ascaso, C., Pérez-Ortega, S., Souza-Egipsy, V., Fort, R., de los Rios, A., Wierzbos, 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.
- Saptono, S., Kramadibrata, S. ve Sulistianto, B., 2013, Using the Schmidt Hammer on Rock Mass Characteristic in Sedimentary Rock at Tutupan Coal Mine. International Symposium on Earth Science and Technology, CINEST 2012. *Procedia Earth and Planetary Science* 6: 390-395.
- Savaşçı, D. ve Ceylan, M., 2018, Thermal image analysis for neonatal intensive care units (First evaluation results), *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4.
- Saygılı, R., 2020, Türkiye Mülki İdare Haritası, <http://cografyaharita.com/haritalarim/4lturkiye-mulki-idare-haritasi4.png>: [04.11].
- 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.
- Schleicher, H. ve Schwarz, G., 1977, Zur Geologie und Petrolographie des Karadağı, Zentralanatolien, *Geol. Jb.*, B 25, 119-138.
- Selby, M. J., 1993, *Hillslope Materials and Processes*, Oxford, Oxford University Press, p. 1-451.
- Siano, S., 2008, 2.1 Principles of Laser Cleaning in Conservation, In: *Handbook on the Use of Lasers in Conservation and Conservation Science*, Eds: Schreiner, M., Strlic, M. ve Salimbeni, R., *Brussels, Belgium*, p. 1-27.
- Siedel, H. ve Siegesmund, S., 2014, Characterization of Stone Deterioration on Buildings, In: *Stone in Architecture Properties, Durability*, Eds: Siegesmund, S. ve Snethlage, R., 4th Edition: Springer, p. 349-414.
- Siegesmund, S., Weiss, T. ve Vollbrecht, A., 2002, Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies: introduction, *Geological Society, London, Special Publications*, 205 (1), 1.
- Siegesmund, S., Ruedrich, J. ve Weiss, T., 2004, Ultrasonic Wave Velocities as a Diagnostic Tool for the Quality Assessment of Marbles. 6th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin.
- Siegesmund, S. ve Dürrast, H., 2014, Physical and Mechanical Properties of Rocks, In: *Stone in Architecture Properties, Durability*, Eds: Siegesmund, S. ve Snethlage, R., 4th Edition: Springer, p. 97-225.
- Siegesmund, S. ve Török, Á., 2014, Building Stones, In: *Stone in Architecture Properties, Durability*, Eds: Siegfried Siegesmund, R. S.: Springer Heidelberg, p. 11-96.
- Sims, I., 1991, Quality and durability of stone for construction, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 24 (1), 67-73.
- Sivakugan, N., Gnanendran, C. T., Tuladhar, R. ve Kannan, M. B., 2016, *Civil Engineering Materials*, Cengage Learning, p. 1-428.

- Smith, B., Gomez-Heras, M. ve McCabe, S., 2008, Understanding the decay of stone-built cultural heritage, *Progress in Physical Geography*, 32 (4), 439-461.
- 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. ve Sterflinger, K., 2011, Chapter 7 Stone Conservation, In: Stone in Architecture Properties, Durability, Eds: Siegesmund, S. ve Snethlage, R., 4th Edition: Springer, p. 411-544.
- Spathis, P., Papanikolaou, E., Melfos, V., Samara, C., Christaras, B. ve Katsiotis, N., 2015, Characterization and weathering of the building materials of sanctuaries in the archaeological site of Dion, Greece, *Trends Journal of Sciences Research*, 2 (3), 95-103.
- Speranza, M., Sanz, M., Oujja, M., de los Rios, A., Wierzechos, J., Pérez-Ortega, S., Castillejo, M. ve Ascaso, C., 2013, Nd-YAG laser irradiation damages to *Verrucaria nigrescens*, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 84, 281-290.
- Steiger, M., Charola, A. E. ve Sterflinger, K., 2014, Chapter 4: Weathering and Deterioration, In: Stone in Architecture: Properties, Durability, Eds: Siegesmund, S. ve Snethlage, R., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 225-316.
- Steindlberger, E., 2004, Volcanic tuffs from Hesse (Germany) and their weathering behaviour, *Environmental Geology*, 46 (3), 378-390.
- Streckeisen, A., 1976, To each plutonic rock its proper name, *Earth-science reviews*, 12 (1), 1-33.
- Strzygowski, J., 1903, Kleinasien, Ein Neuland der Kunstgeschichte, J. C. Hinrichs, Leipzig, p. 1-246.
- Sun, Q. ve Zhang, Y., 2019, Combined effects of salt, cyclic wetting and drying cycles on the physical and mechanical properties of sandstone, *Engineering Geology*, 248, 70-79.
- Sür, Ö., 1972, Türkiye'nin, Özellikle İç Anadolu'nun Genç Volkanik Alanlarının Jeomorfolojisi (Geomorphological Research in the Volcanic Area of Turkey, Especially in Central Anatolia), *Ankara*, Ankara Üniversitesi Basımevi, p. 1-119.
- Svahn, H., 2006, Non-Destructive Field Tests in Stone Conservation, *Stockholm*, Riksanantikvarieämbetet, p. 1-63.
- Talal, A.-B., 2013, The impact of water content and ionic diffusion on the uniaxial compressive strength of shale, *Egyptian Journal of Petroleum*, 22 (2), 249-260.
- Tamura, H. ve Suzuki, T., 1984, Pore size distribution and other physical properties of Tertiary sedimentary rocks, *Trans. Japan. Geomorph. Union*, 5, 311-328.
- Tapur, T., 2009, Eski Konya Gölü'nün İlk Yerleşmelere Etkileri, *Karadeniz Araştırmaları*, 6 (23), 99-115.
- Tapur, T., 2017, Karaman Çevresindeki Tarihi Yerleşim Alanları, *Türk-İslam Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi, Timad, Konya*, 12 (24), 101-114.
- Tavukcuoglu, A., Duzgunes, A., Demirci, S. ve Caner-Saltık, E. N., 2007, The assessment of a roof drainage system for an historical building, *Building and Environment*, 42 (7), 2699-2709.
- Tavukcuoğlu, A., Düzgüneş, A., Caner-Saltık, E. ve Demirci, Ş., 2005, Use of IR thermography for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building, Ağzıkarahan (Aksaray), Turkey, *NDT & E International*, 38 (5), 402-410.

- Texier, C., 2002, Küçük Asya I-II-III, Enformasyon ve Dokümantasyon Hizmetleri Vakfı Yayınları, Ankara.
- Theodoridou, M. ve Török, Á., 2019, In situ investigation of stone heritage sites for conservation purposes: a case study of the Székesfehérvár Ruin Garden in Hungary, *Progress in Earth and Planetary Science*, 6 (1), 15.
- Thorn, C. E., Darmody, R. G., Dixon, J. C. ve Schlyter, P., 2002, Weathering rates of buried machine-polished rock disks, Kärkevagge, Swedish Lapland, *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 27 (8), 831-845.
- Tintin, Z., 2012, Arkeolojik Alanda Taş Koruma: Sağlamaştırma Yöntemleri, Ankara.
- Tokmanoğlu, T., 1987, Termal Işınlara Uzaktan Algılama (Termografi), *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi B*, 37 (3), 1-22.
- Topal, C., 2000, Derbe Binbir Kilise Manazan Mağaraları Alahan Manastırı, T.C. Karaman Valiliği İl Kültür Müdürlüğü Yayınları, p. 1-47.
- Topal, T. ve Sözmen, B., 2003, Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument, *Engineering Geology*, 68 (3-4), 201-223.
- Torabi, S., Ataei, M. ve Javanshir, M., 2010, Application of Schmidt rebound number for estimating rock strength under specific geological conditions, *Journal of Mining and Environment*, 1 (2), 1-8.
- Török, Á., 2003, Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest, *Building and Environment*, 38 (9-10), 1185-1192.
- Török, Á., 2006, Deterioration-related changes in physical properties and mineralogy of limestone monuments.
- Török, Á., 2008, Black crusts on travertine: factors controlling development and stability, *Environmental Geology*, 56 (3), 583-594.
- 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 (3-4), 139-142.
- Török, Á., 2018, Non-destructive Surface Strength Test - Durosokop a Forgotten Tool; Comparison to Schmidt Hammer Rebound Values of Rocks. IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings. Shakoor A., C. K. San Francisco, California, Springer. 6.
- Tosunlar, M. B., Hatır, M. E., İnce, İ., Bozdağ, A. ve Korkanç, M., 2018, The Determination of Deteriorations on the Mısırlıoğlu Bridge (Konya, Turkey) by Non-Destructive Techniques (NDT), *Iconarp International Journal of Architecture and Planning*, 6 (2), 399-412.
- Tosunlar, M. B., Karaoğlu, İ., Aydoğdu, E. ve Selek, K. M., 2019, Knidos B Kilisesi'nde Bulunan Emeviler Dönemi Kitabeleri ile Liman Caddesi'nde Bulunan Heroon Yapısının Tahribatsız Yöntemlerle Analizi. 41. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu. Diyarbakır. 35. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Kitabı: 477-500.
- Tosunlar, M. B., Oktaç Beycan, A. D. ve Korkanç, M., 2020, Non-Destructive Test Investigations on the Deterioration of Roman Mausoleum in Karadağ Central Anatolia, Turkey, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 20 (3), 199-219.
- TS-EN-12407, 2013, Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Petrografik İnceleme. Ankara.

- Tschegg, E. K., 2016, Environmental influences on damage and destruction of the structure of marble, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 89, 250-258.
- Turgut, M., 2013, Konya ve Karaman Çevresinde Hitit Dağ Kültürünün Yansımaları, In: Prof. Dr. Nejat Göyünç Armağanı, Eds, p. 559-574.
- Turgut, M., 2015, Tarhuntaşsa'daki Su Kültü Mekanları, *Tarihin Peşinde - Uluslararası Tarih ve Sosyal Araştırmalar Dergisi* (14), 337-354.
- Uçankuş, H. T., 2002, Ana Tanrıça Kybele'nin ve Kral Midas'ın Ülkesi Phrygia, *Kültür Bakanlığı Yayınları*, 2977.
- Ulusay, R., C., G. ve A., B., 2001, Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, *Ankara, TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayınları*, p. 1-167.
- Ulusoy, M., 2007, Different igneous masonry blocks and salt crystal weathering rates in the architecture of historical city of Konya, *Building and Environment*, 42 (8), 3014-3024.
- Umar, B., 2008, Pamphylia İsaoria Lykaonia, İnkılap Kitabevi, İstanbul, p. 1-285.
- Ünal, G., 2016, Açıklamalı İngilizce > Türkçe İnşaat Mühendisliği Sözlüğü, Yem Yayınları, p. 1-472.
- Ündül, Ö. ve Tuğrul, A., 2012, The Influence of Weathering on the Engineering Properties of Dunites, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45 (2), 225-239.
- Vasanelli, E., Calia, A., Masieri, M. ve Baldi, G., 2018, Effect of Ageing by Salt Crystallization on a Calcarenitic Stone Consolidated with Nano-SiO₂. VI International Conference, YOCOCU. Matera: 209-212.
- Vasanelli, E., Calia, A., Masieri, M. ve Baldi, G., 2019, Stone consolidation with SiO₂ nanoparticles: Effects on a high porosity limestone, *Construction and Building Materials*, 219, 154-163.
- Vásárhelyi, B. ve Ván, P., 2006, Influence of water content on the strength of rock, *Engineering Geology*, 84 (1-2), 70-74.
- 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.
- Vazquez-Calvo, C., Varas-Muriel, M. J., Fort, R. ve Alvarez de Buergo, M., 2012, The measurement of surface roughness to determine the suitability of different methods for stone cleaning, *Journal of Geophysics and Engineering*, 9 (4), S108-S117.
- Venice_Charter, 1964, International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites. Venice, Italy, https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf.
- 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.
- Viles, H., 2013, Durability and conservation of stone: coping with complexity, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 46 (4), 367-375.
- Vitruvius, 1990, Mimarlık Üzerine On Kitap, *Ankara, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları*, p. 1-241.
- Wang, P., Xu, J., Liu, S., Wang, H. ve Liu, S., 2016, Static and dynamic mechanical properties of sedimentary rock after freeze-thaw or thermal shock weathering, *Engineering Geology*, 210, 148-157.
- Warke, P. A., Curran, J. M., Smith, B. J., Gardiner, M. ve Foley, C., 2010, Post-excavation deterioration of the Copney Bronze Age Stone Circle Complex: A geomorphological perspective, *Geoarchaeology*, 25 (5), 541-571.

- Warscheid, T., 2000, Integrated concepts for the protection of cultural artifacts against biodeterioration, In: *Of Microbes and Art*, Eds: Springer, p. 185-201.
- Warscheid, T. ve Braams, J., 2000, Biodeterioration of stone: a review, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46 (4), 343-368.
- Wedekind, W., Rüdlich, J., Siegesmund, S. ve Rieffel, Y., 2014, Long-term Evaluation of the Conservation State of Marble Statues. Proceedings of the International Conference on Conservation of Stone and Earthen Architectural Heritage. Chan Hee Lee, J. K. a. R. H. K. Gongju, Chungcheongnam-do, Republic of Korea: 17-24.
- Weiss, T., Rasolofosaon, P. ve Siegesmund, S., 2002, Ultrasonic wave velocities as a diagnostic tool for the quality assessment of marble, *Geological Society, London, Special Publications*, 205 (1), 149-164.
- Weiss, T., Siegesmund, S., Kirchner, D. ve Sippel, J., 2004, Insolation weathering and hygric dilatation: two competitive factors in stone degradation, *Environmental Geology*, 46 (3), 402-413.
- Wilhelm, K., Viles, H. ve Burke, O., 2016, The Influence of Salt on Handheld Electrical Moisture Meters: Can They Be Used to Detect Salt Problems in Porous Stone?, *International journal of architectural heritage*, 10 (6), 735-748.
- Williams, R. B. G. ve Robinson, D. A., 2000, Effects of aspect on weathering: anomalous behaviour of sandstone gravestones in southeast England, *Earth surface processes and landforms*, 25 (2), 135-144.
- Winkler, E. M., 1966, Important agents of weathering for building and monumental stone, *Engineering Geology*, 1 (5), 381-400.
- Winkler, E. M., 1996, Properties of marble as building veneer, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 33 (2), 215-218.
- Yaldız, E., Yavuz, G. ve Yılmaz, Ü. S., 2011, Tarihi Taş Yığma Konutların Güçlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler: Ürgüp İbrahim Paşa Köyünden Bir Konut Örneği, *E-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (4), 1033-1052.
- Yardım, B. ve Sarp Tunçoku, S., 2009, Dampness problems in a historic house in İzmir, Turkey, *International journal of architectural heritage*, 3 (1), 1-23.
- Yaşar, E. ve Erdoğan, Y., 2004, Estimation of rock physicommechanical properties using hardness methods, *Engineering Geology*, 71 (3-4), 281-288.
- 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., Demirdag, S. ve Caran, S., 2010, Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47 (1), 94-103.
- 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, A., 2016, Karaman, Binbir Kilise’de Yapılan Arkeolojik Kazı Çalışmaları. 25. Müze Kurtarma Kazıları Sempozyumu ve II. Uluslararası Müzecilik Çalıştayı. Keskin, C. Antalya, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 178: 235 – 250.
- Yılmaz, I. ve Sendır, H., 2002, Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey), *Engineering Geology*, 66 (3-4), 211-219.

- Yılmaz, M., 2005, Bozkır Çevresinin (Hadim-Ahırlı-Yalıhöyük) Antik Tarihi ve Eserleri: İsaoria, *Selçuk Üniversitesi Basımevi, Konya*.
- Yılmaz, M., Şener, Y. S. ve Yılmaz, A. B., 2019, Arkeolojik Alanlarda Uygulanan Koruma Örtülerinin Tasarım Kriterleri, *Sanat ve Tasarım Dergisi*, Haziran, 413-429.
- Zakar, L. ve Eyüpgiller, K. K., 2015, Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri, *İstanbul, Ömür Matbaacılık A.Ş.*, p. 1-193.
- 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.
- Zhao, Y., Ren, S., Jiang, D., Liu, R., Wu, J. ve Jiang, X., 2018, Influence of wetting-drying cycles on the pore structure and mechanical properties of mudstone from Simian Mountain, *Construction and Building Materials*, 191, 923-931.
- Zhou, Z.-l., Xin, C., Yuan, Z., Lu, C., Xiong, C. ve Li, X.-b., 2016, Strength characteristics of dry and saturated rock at different strain rates, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26 (7), 1919-1925.
- Zhou, Z., Cai, X., Chen, L., Cao, W., Zhao, Y. ve Xiong, C., 2017, Influence of cyclic wetting and drying on physical and dynamic compressive properties of sandstone, *Engineering Geology*, 220, 1-12.
- Zoghalmi, K., Lopez-Arce, P. ve Zornoza-Indart, A., 2016, Differential Stone Decay of the Spanish Tower Façade in Bizerte, Tunisia, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29 (6).
- Zornoza-Indart, A., Lopez-Arce, P., Zoghalmi, K., Leal, N. ve Simão, J., 2019, Marine Aerosol Weathering of Mediterranean Calcareous Stone: Durability of Ethyl Silicate, Nano Ca(OH)_2 , Nano SiO_2 , and Nanostructured Consolidating Products, *Studies in Conservation*, 64 (2), 73-89.