

**TAHRİBATSIZ TEST YÖNTEMLERİNİN TARİHİ
YAPILARDAKİ TAŞ MALZEMEDE KULLANIMI VE
DEĞERLENDİRİLMESİ: HZ. SÜLEYMAN (KALE) CAMİ
ÖRNEĞİ**

İLKAY MİZGİN BAŞEGMEZ

ŞUBAT 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAHRİBATSIZ TEST YÖNTEMLERİNİN TARİHİ
YAPILARDAKİ TAŞ MALZEMEDE KULLANIMI VE
DEĞERLENDİRİLMESİ: HZ. SÜLEYMAN (KALE) CAMİ
ÖRNEĞİ**

İLKAY MİZGİN BAŞEGMEZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MİMARLIK ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ŞUBAT 2025

DİYARBAKIR

**TAHRİBATSIZ TEST YÖNTEMLERİNİN TARİHİ YAPILARDAKİ TAŞ
MALZEMEDE KULLANIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ: HZ. SÜLEYMAN
(KALE) CAMİ ÖRNEĞİ**

İlkay Mizgin BAŞEGMEZ tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

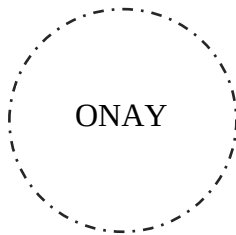
Doç. Dr. Nursen IŞIK
Danışman, **Mimarlık Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Doç. Dr. Şefika ERGİN (*)
Mimarlık Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Nursen IŞIK (**)
Mimarlık Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gonca ÖZER YAMAN
Mimarlık Bölümü, Bingöl Üniversitesi



Savunma Tarihi: 06 /02 /2025

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.

Mimar Şevval Arı'nın anısına

ve babama...



Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: İlkay Mizgin BAŞEGMEZ

İmza:

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım, kıymetli Doç. Dr. Nursen IŞIK'a tüm çalışma süresince, çalışmanın her aşamasında varlığını hissettirdiği için; bilgisi, tecrübesi ve sevgisiyle göstermiş olduğu ilgi, alaka ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Sayın jüri üyelerim Doç. Dr. Şefika ERGİN ve Dr. Öğr. Üyesi Gonca ÖZER YAMAN'a değerli düşünce ve öneri ile tezime olan katkılarından dolayı teşekkür ederim. Kıymetli vakitlerini ayırarak önerileriyle tezime katkıda bulunan Prof. Dr. Fatma Meral HALİFEOĞLU ve Doç. Dr. Süleyman İPEK'e teşekkür ederim.

MİMARLIK.24.001 numaralı BAP projesi ile tez çalışmam için sağladıkları finansal destekten dolayı Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (DÜBAP) teşekkür ederim.

SEM/EDS analizlerinin yapılabilmesinde sağladıkları laboratuvar imkanları için Diyarbakır Dicle Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezine (DÜBTAM) teşekkür ederim.

Tez çalışmasında yapıya zarar vermeyen tahribatsız ölçümleri ve incelemeleri gerçekleştirebilmemiz için araştırma iznini veren Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğüne ve Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürü Hakan DEMİR'e teşekkür ederim.

Tezin her aşamasında beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen eşime ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xviii
ÖZET.....	xx
ABSTRACT.....	xxii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MALZEME VE YÖNTEM	16
3.1 Tarihi Çevre ve Yapının Tanımı.....	16
3.2 Tarihi Yapılarda Yapım Tekniği ve Malzeme Türleri	19
3.3 Tarihi Yapılarda Müdahale Yöntemleri	33
3.4 Tarihi Yapılarda Meydana Gelen Yapısal Sorunlar ve Hasarlar.....	39
3.4.1 Yapısal sorunların ve hasarların nedenleri.....	39
3.5 Tarihi Yapılarda Uygulanan Tahribatsız Test Yöntemleri.....	60
3.5.1 Görsel analiz.....	63
3.5.2 Sıvı penetrant yöntemi	65
3.5.3 Manyetik yöntemler	68
3.5.4 Girdap akımları yöntemi	71
3.5.5 Ultrasonik yöntemler.....	73
3.5.6 Radyografik yöntemler.....	78
3.5.7 Tahribatsız test örnekleri.....	81
3.6 Tarihi Yapılarda Uygulanan Yarı Tahribatlı Test Yöntemleri.....	100
3.6.1 Yerinde basınç gerilmesinin belirlenmesi (Flat- Jack)	100
3.6.2 Endoskopik yöntem	102

3.6.3	Yerinde kayma deneyi.....	102
3.6.4	Batma direnci (Windsor Sondası).....	103
3.6.5	İğne penetrometresi deneyi.....	103
3.6.6	SEM / EDS analizi (Taramalı elektron mikroskobu / X ışını spektroskopisi)	104
3.7	Tarihi Yapılarda Uygulanan Tahribatlı Test Yöntemleri	105
3.8	Tahribatsız ve Tahribatlı Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	107
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	109
4.1	Diyarbakır Suriçi Bölgesinin Konumu ve Tarihsel Gelişimi	109
4.2	Diyarbakır Suriçi Bölgesindeki Tarihi Yapıların Mimari Özellikleri	112
4.3	Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin Konumu ve Mimari Özellikleri	122
4.4	Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki Yapısal Sorunlar ve Hasarlar	132
4.5	Hz. Süleyman (Kale) Cami'de Yapılan Tahribatsız Testler ve Deneyler .	140
4.5.1	Deneylerde kullanılan cihazlar	140
4.5.2	Yüzey sertliği deneyi (Schmidt çekici) ve deney değerlendirmeleri.....	145
4.5.3	Yüzey düzgünlüğü ölçümü ve deney değerlendirmeleri	154
4.5.4	Ultrases geçiş hızı deneyi ve deney değerlendirmeleri	156
4.5.5	Nem durumunun belirlenmesi ve deney değerlendirmeleri	159
4.5.6	Georadar (GPR) ölçümü ve deney değerlendirmeleri	163
4.5.7	SEM/EDS analizi ve deney değerlendirmeleri.....	178
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	182
5.1	Sonuçlar.....	182
5.2	Öneriler.....	191
	KAYNAKLAR	194
	ÖZGEÇMİŞ	213

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Gizli duvar tekniği ile örülmüş duvar	20
Şekil 3.2 Kalın duvar kesiti	21
Şekil 3.3 Göbeklitepe’de yer alan dikilitaşlar (2024)	23
Şekil 3.4 İspanya, Segovia’da yer alan taş su kemeri ve kilise.....	24
Şekil 3.5 Moloz taş duvar örgüsü, kuru taş duvar örgüsü, kaba yonu taş duvar örgüsü ve ince yonu taş duvar örgüsü	25
Şekil 3.6 Tarihi yapıda tavan-kubbe ve birbirine mesnetlenen dikmeler detayı.....	26
Şekil 3.7 Ahşap çerçeveye sahip yapının taş, tuğla ve kerpiç ile hımiş dolgusu	27
Şekil 3.8 Ahşabın taşıyıcı elemanlarda ve diğer yapı elemanlarında kullanılması (2024)	27
Şekil 3.9 Tuğlanın taşıyıcı elemanlarda kullanılması (2024).....	29
Şekil 3.10 Tuğlanın kubbede kullanımı	29
Şekil 3.11 Geleneksel yöntemle kerpiç üretimi ve Çatalhöyük’te bulunan kerpiç duvarlar	30
Şekil 3.12 Tarihi yapılarda görülen kenet biçimleri.....	32
Şekil 3.13 Metalin tarihi yapılarda kullanımı (2024).....	32
Şekil 3.14 Zemin kaynaklı çatlak oluşumları.....	41
Şekil 3.15 Oturma hasarı türleri	42
Şekil 3.16 Diyarbakır Behram Paşa Cami sütunlarında eksen kayması sorunu	44
Şekil 3.17 Tuğla duvardaki göçme örnekleri	45
Şekil 3.18 Dik olarak kesişen iki duvarda çatlak oluşumu	45
Şekil 3.19 Yığma duvarda don olayının etkisiyle yaşanan hasar	47
Şekil 3.20 Tuğla duvarda nem sorunundan kaynaklanan hasarlar	48
Şekil 3.21 Farklı etkenlerle oluşan nemlenme hasarının duvar kesitindeki etkileri. .	49
Şekil 3.22 Cumbaların ahşap elemanlarındaki yapısal sorunlar, renk değişimleri ve dokusal hasarlar (2024)	50
Şekil 3.23 Tarihi yapılarda şadırvanda metal malzemenin kullanımı (2024)	50
Şekil 3.24 Gergi çubuğu veya bileziğinin meydana getirdiği çatlak oluşumu ve yüzeysel hasarlar (2024)	51

Şekil 3.25 Rüzgarın yüzey basıncı etkisi	51
Şekil 3.26 Cumbalardaki bitkisel oluşumlar	52
Şekil 3.27 Tonozlarda meydana gelen biyolojik oluşumlar (2024)	53
Şekil 3.28 Diyarbakır Süryani Kadim Meryem Ana Kilisesi kubbesinde tuğla çatlakları (2024)	55
Şekil 3.29 Hatalı ve nitelsiz uygulamalar ile geleneksel evin yeniden işlevlendirilmesi (2024)	56
Şekil 3.30 Vahap Ağa Hamamındaki fil gözlerinin plastik içerikli bir malzemeye kapatılmasıyla oluşan yoğunlaşma sonucu derzlerin boşalması (2024)	58
Şekil 3.31 Tarihi yapıların yangına maruz kalması (Ağan, 2017)	59
Şekil 3.32 a- Yüzeye açık süreksizlik, b- Yüzeye yakın süreksizlik, c- Malzeme içerisindeki süreksizlik.....	63
Şekil 3.33 Görsel analiz yönteminde kullanılan ekipmanlar	64
Şekil 3.34 Boroskop kesiti	64
Şekil 3.35 Gözlem mesafesi ve açısı.....	65
Şekil 3.36 Penetrant sıvının uygulanmasında çalışma basamakları.....	67
Şekil 3.37 Sıvı penetrant yönteminin uygulama aşamaları.	67
Şekil 3.38 Manyetik yöntemin çalışma şekli	68
Şekil 3.39 Yoke cihazı ve manyetik toz ile çatlak tespiti	69
Şekil 3.40 Bobinle ve merkezi iletkenle mıknatıslama.....	70
Şekil 3.41 Bobin ile girdap akımının elde edilmesi	71
Şekil 3.42 Manyetik akımda meydana gelen sapma	71
Şekil 3.43 Frekansın girdap akımı yöntemine etkisi	72
Şekil 3.44 Ultrasonik yöntem diyagramı ve ultrasonik yöntem ile çatlak tespiti diyagramı.....	75
Şekil 3.45 Doğrudan, yarı doğrudan ve dolaylı iletim	75
Şekil 3.46 Doğrudan temas ile kalınlık ölçümü	76
Şekil 3.47 Daldırma tekniği	76
Şekil 3.48 Çift probun malzeme yüzeyinde kullanımı	76
Şekil 3.49 ‘‘Long – Long – Trans’’ tekniği	77
Şekil 3.50 Transmisyon tekniği ile süreksizlik kontrolü.....	77

Şekil 3.51 Elektromanyetik spektrum	78
Şekil 3.52 Radyoskopik incelemenin aşamaları.....	79
Şekil 3.53 X ışınlarının üretim diyagramı ve malzeme kontrolü aşamaları.....	79
Şekil 3.54 a- Nesnenin fotoğrafı, b- X ışını altında fotoğrafı, c- Temizlenmiş halinin tahmini çizimi.....	81
Şekil 3.55 Schmidt çekicinin iç yapısı	82
Şekil 3.56 Klasik ve dijital Schmidt çekici	83
Şekil 3.57 Schmidt çekici ile test aşamaları.....	84
Şekil 3.58 Schmidt çekici sertlik değeri ile tek eksenli basınç dayanımının tahmin edilebilmesi için oluşturulan abak.....	84
Şekil 3.59 Yüzey sıcaklığını ve nemi ölçebilen alet ve el tipi yüzey nem ölçer cihazı	85
Şekil 3.60 Sesin darbe hızının ölçülmesi	88
Şekil 3.61 Termal görüntüleme cihazı ve duvar detayı.....	89
Şekil 3.62 Nemden kaynaklı hasarların kızılötesi termografide görünümü.....	90
Şekil 3.63 Taşınabilir mikroskop	91
Şekil 3.64 Titreşim ölçer	91
Şekil 3.65 Radar taraması	92
Şekil 3.66 Georadarın (GPR) yer altında çalışma biçimi.....	94
Şekil 3.67 Georadarın (GPR) çalışma diyagramı ve 2B radargram örneği.....	95
Şekil 3.68 Georadar (GPR) zemin taraması.....	96
Şekil 3.69 Georadar (GPR) zemin taraması ve ekipmanları	98
Şekil 3.70 Manyetik yöntemlerin tarihi yapılarda kullanımı	99
Şekil 3.71 a- Tek plaka kullanılması, b-çift plaka kullanılması.....	101
Şekil 3.72 Taş duvarda Flat-Jack deneyi	102
Şekil 3.73 Tarihi yapıda endoskopi yönteminin uygulanması ve elde edilen görüntü	102
Şekil 3.74 Yerinde kayma deneyinde oluşması istenmeyen çatlaklar	103
Şekil 3.75 İğne penetrometresi deneyinin uygulanışı ve mekanizması	104
Şekil 3.76 SEM/EDS analizi	104

Şekil 3.77 Yapıdan karot alma uygulaması ve elde edilen numune	106
Şekil 4.1 Diyarbakır'ın Türkiye haritasındaki konumu	109
Şekil 4.2 Diyarbakır Suriçi Bölgesi uydu fotoğrafı ve bölgenin Diyarbakır uydu fotoğrafındaki konumu.....	109
Şekil 4.3 İç Kale'nin 1932 yılındaki kent planındaki konumu ve İç Kale çizimi....	110
Şekil 4.4 İç Kale'deki yapıların uydudan görünümü	111
Şekil 4.5 Orhan Cezmi Tuncer'in İç Kale ve yapıları çizimi.....	113
Şekil 4.6 İç Kale ve yapıları (2024)	113
Şekil 4.7 Burçlardaki mekan düzeni ve yapım tekniği örneği	115
Şekil 4.8 Diyarbakır surları ve burçları (2024)	115
Şekil 4.9 Geleneksel Diyarbakır evleri: Cemil Paşa Konağı, Ahmet Arif ve Ziya Gökalp Evi (2024).....	116
Şekil 4.10 Suriçi Bölgesindeki cumbalar ve sokak dokusu (2024).....	117
Şekil 4.11 Suriçi Bölgesindeki kabaltılar ve sokak dokusu (2024)	117
Şekil 4.12 Şeyh Mutahhar Cami, Hz. Süleyman Cami ve Melik Ahmet Paşa Cami (2024).....	120
Şekil 4.13 Melik Ahmet Paşa Cami, Behram Paşa Cami ve Hz. Süleyman Cami'ye ait minareler (2024).....	120
Şekil 4.14 Hasan Paşa Hanı (2024).....	121
Şekil 4.15 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin Suriçi Bölgesi uydu görüntüsündeki yeri ile Diyarbakır ve Türkiye haritalarındaki konumu.....	122
Şekil 4.16 Hz. Süleyman (Kele) Cami ve İç Kale yapıları (2024).....	123
Şekil 4.17 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin Planı	123
Şekil 4.18 Hz. Süleyman (Kale) Cami batı girişi (2024)	124
Şekil 4.19 Hz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümü ve camideki İç Kale burcu (2024).....	124
Şekil 4.20 Hz. Süleyman (Kale) Cami açık namazgah bölümü ve mihrabiyesi (2024)	125
Şekil 4.21 Hz. Süleyman (Kale) Cami son cemaat yerinin girişi ve türbenin kurşun kaplaması (2024).....	125
Şekil 4.22 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki türbe ve hazire ile caminin güney girişi (2024).....	125
Şekil 4.23 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki hazire (2024)	126

Şekil 4.24 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki payanda (2024).....	126
Şekil 4.25 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki helâ bölümü (2024)	126
Şekil 4.26 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin minaresi ve harimde bulunan giriş kapısı (2024)	127
Şekil 4.27 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki mükebbire (2024)	127
Şekil 4.28 Hz. Süleyman (Kale) Cami son cemaat alanı (2024).....	127
Şekil 4.29 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de harim girişi ve iç avlu girişi (2024).....	128
Şekil 4.30 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin iç avlusu ve kadınlar bölümü (2024) ...	128
Şekil 4.31 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki ahşap mahfil (2024).....	128
Şekil 4.32 Hz. Süleyman (Kale) Cami imam odası (2024).....	129
Şekil 4.33 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki mihrabiyeler (2024).....	129
Şekil 4.34 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümü (2024).....	129
Şekil 4.35 Hz. Süleyman (Kale) Cami minber ve mihrabı (2024).....	130
Şekil 4.36 Farklı dönemlerde Hz. Süleyman (Kale) Cami ve çevresi	130
Şekil 4.37 Farklı dönemlerde Hz. Süleyman (Kale) Cami ve çevresi ile günümüzdeki durumu (2024).....	131
Şekil 4.38 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de imam odasında gözlemlenen çatlaklar (2024)	132
Şekil 4.39 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de lentoda ve kemer gözlemlenen çatlaklar (2024)	133
Şekil 4.40 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de abdest alma bölümünde gözlemlenen çatlaklar (2024)	133
Şekil 4.41 Hz. Süleyman (Kale) Cami' de türbede gözlemlenen çatlaklar (2024) ..	133
Şekil 4.42 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de avludaki zemin taşlarında, çeşmelerin üzerindeki duvarlardaki ve türbe basamaklarındaki aşınmalar ve derz boşalması (2024)	134
Şekil 4.43 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de iç avlu merdivenlerinde kadınlar bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024)	135
Şekil 4.44 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de minarede ve harim bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024)	135
Şekil 4.45 Burçlardaki ve Hz. Süleyman (Kale) Cami girişindeki nem sorunu ve renk değişimi (2024)	136

Şekil 4.46 Hz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024).....	136
Şekil 4.47 Hz. Süleyman (Kale) Cami son cemaat yeri, harim bölümü ve kadınlar bölümündeki gözlemlenen hasarlar (2024).....	137
Şekil 4.48 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de tuzlanma hasarı (2024).....	137
Şekil 4.49 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de gözlemlenen renk değişimi (2024).....	138
Şekil 4.50 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de helâ bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024).....	138
Şekil 4.51 Hz. Süleyman (Kale) Cami imam odasındaki nem sorunu (2024).....	138
Şekil 4.52 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de insanların neden olduğu sorunlar (2024).....	139
Şekil 4.53 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin batı girişinde bulunan burç duvarlarındaki yazılar (2024).....	139
Şekil 4.54 L tipi Schmidt çekici ve yapılan ölçüm (2024).....	140
Şekil 4.55 Schmidt çekici için kullanılan kalibrasyon eğrisinde (abak) değerlerin yerleştirilmesi.....	141
Şekil 4.56 Düşük frekanslı ultrasonik test cihazı yapılan ölçüm (2024).....	142
Şekil 4.57 Düşük frekanslı ultrasonik test cihazının teknik özellikleri.....	142
Şekil 4.58 Nem ölçüm cihazı ve yapılan ölçüm (2024).....	143
Şekil 4.59 Zeminde kullanılan Georadar (GPR) cihazı ve yapılan ölçüm (2024) ...	143
Şekil 4.60 Duvar, ayakta ve sütunlarda kullanılan Georadar (GPR) cihazı ve yapılan ölçüm (2024).....	144
Şekil 4.61 SEM/EDS deneyi cihazı yapılan ölçüm (2024).....	144
Şekil 4.62 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekiciyle yapılan ölçümlerin işlendiği kalibrasyon eğrisi (abak).....	146
Şekil 4.63 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyinin yapıldığı yerler.....	147
Şekil 4.64 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile sertlik değeri belirlenen 36 ve 37 numaralı bazalt taşları (2024).....	150
Şekil 4.65 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zemin taşlarının sertlik değerlerine ait grafik.....	151
Şekil 4.66 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zemin taşlarının sertlik değerlerine ait grafik.....	152

Şekil 4.67 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile sertlik değeri belirlenen 52 ve 51 numaralı bazalt taşları (2024).....	152
Şekil 4.68 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile sertlik değeri belirlenen 30 ve 31 numaralı bazalt taşları (2024).....	153
Şekil 4.69 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile yüzey sertliği deney grafiği.....	154
Şekil 4.70 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yüzey düzgünlüğü ölçümleri (2024)	154
Şekil 4.71 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yüzey düzgünlüğü deneyinin yapıldığı yerler	155
Şekil 4.72 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yüzey düzgünlüğü deneyi grafiği	156
Şekil 4.73 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı deneyi (2024)	157
Şekil 4.74 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı deneyinin yapıldığı yerler	157
Şekil 4.75 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı grafiği.....	158
Şekil 4.76 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de nem durumunun belirlenmesi (2024)	159
Şekil 4.77 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de nem durumunun belirlenmesi için ölçümün yapıldığı yerler	159
Şekil 4.78 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümündeki ayaklardaki ve sütundaki bazalt taşların nem grafiği.....	160
Şekil 4.79 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümü duvarlarındaki bazalt taşların nem grafiği	161
Şekil 4.80 Hz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümündeki duvarlarındaki bazalt taşların nem grafiği.....	162
Şekil 4.81 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zeminde Georadar (GPR) taramasının yapıldığı alanlar.....	163
Şekil 4.82 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zeminde Georadar (GPR) taramasının yapıldığı kesitler.....	164
Şekil 4.83 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de dış avluda yapılan Georadar (GPR) taraması (2024).....	164
Şekil 4.84 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de dış avluda yapılan Georadar (GPR) taramasının radargram kesitleri.....	165
Şekil 4.85 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de dış avluda yapılan Georadar (GPR) taramasının anomali tespit edilen radargram kesiti.....	166
Şekil 4.86 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de son cemaat yerinde yapılan Georadar (GPR) taraması (2024)	166

Şekil 4.87 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de son cemaat yerinde yapılan Georadar (GPR) taramasında yoğun su içeriği tespit edilen radargram kesitleri	167
Şekil 4.88 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de son cemaat yerinde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri	168
Şekil 4.89 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması (2024).....	169
Şekil 4.90 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-1	169
Şekil 4.91 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-2	170
Şekil 4.92 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-1.....	171
Şekil 4.93 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-2.....	172
Şekil 4.94 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması (2024).....	172
Şekil 4.95 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-3.....	173
Şekil 4.96 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-4.....	173
Şekil 4.97 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-5.....	174
Şekil 4.98 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünde duvarda, ayaklarda ve sütunlarda yapılan Georadar (GPR) taramasının yapıldığı yerler.....	175
Şekil 4.99 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünün kuzey yönündeki giriş duvarı (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüsü.....	176
Şekil 4.100 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünün doğu ve güney yönündeki duvarları (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüleri.....	176
Şekil 4.101 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünün batı yönündeki duvarı (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüsü.....	177
Şekil 4.102 Hz. Süleyman (Kale) Cami harimdeki taşıyıcı ayak (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüsü	177
Şekil 4.103 Hz. Süleyman (Kale) Cami’den alınan bazalt taşı ve harç numunesi ile alındığı yer (2024).....	178
Şekil 4.104 Hz. Süleyman (Kale) Cami’den alınan bazalt numunesine ait 1000x SEM görüntüleri	178

Şekil 4.105 Hz. Süleyman (Kale) Cami’den alınan bazalt numunesine ait 5000x SEM görüntüleri	179
Şekil 4.106 Hz. Süleyman (Kale) Cami bazalt numunesine ait element oranları ve EDS grafiği	179
Şekil 4.107 Hz. Süleyman (Kale) Cami’den alınan harç numunesine ait sırasıyla 500x-1000x-5000x SEM görüntüleri	180
Şekil 4.108 Hz. Süleyman (Kale) Cami’den alınan harç numunesine ait element oranları ve EDS grafiği	181



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Tarihi yapı çeşitlerinin sınıflandırılması.....	18
Tablo 3.2 Müdahale ölçeğinin sınıflandırılması	35
Tablo 3.3 Müdahale yaklaşımları ve biçimleri	36
Tablo 3.4 Yığma yapılar için hasar kriterleri	46
Tablo 3.5 Beton kalitesinin ultrasonik test yöntemi ile sınıflandırılması	88
Tablo 3.6 Georadar (GPR) yönteminde etkili olan parametreler	96
Tablo 3.7 Bazı jeofizik yöntemlerin uygulanabileceği durumlar ve sorunlar.....	98
Tablo 3.8 Tahribatlı test yöntemlerinin tahribatsız test yöntemleri ile karşılaştırılması	108
Tablo 4.1 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyi sonucu	148
Tablo 4.2 Hz. Süleyman (Kale) Cami zemin taşlarının sertlik değerleri	151
Tablo 4.3 Hz. Süleyman (Kale) Cami ayaklarının sertlik değerleri.....	151
Tablo 4.4 Hz. Süleyman (Kale) Cami sütunlarının sertlik değerleri.....	152
Tablo 4.5 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yüzey düzgünlüğü deneyi sonucu	156
Tablo 4.6 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı deneyi sonucu	158
Tablo 4.7 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümündeki ayaklardaki ve sütundaki bazalt taşların nem değerleri	160
Tablo 4.8 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümü duvarlarındaki bazalt taşların nem değerleri.....	161
Tablo 4.9 Hz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümündeki bazalt taşların nem değerleri.....	162
Tablo 5.1 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yapılan deneyler	187

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
km	Kilometre
kg	Kilogram
g	Gram
cm^3	Santimetre Küp
s	saniye
Hz	Hertz
MHz	Megahertz
GHz	Gigahertz
KHz	Kilohertz
t	Süre/ Ultrases Geçiş Süresi
V	Ultrases Geçiş Hızı
l	Problar Arası Mesafe
%	Yüzde
ft	Fit
ns	Nanosaniye
f_m	Ortalama Basınç Gerilmesi
MPa	Megapaskal
K_m	Flat Jack Kalibrasyon Faktörü
K_a	Flat Jack/Açılan Bölge Oranı
P	Basınç
R	Geri Tepme Sayısı
μm	Mikrometre
μs	Mikrosaniye
O	Oksijen

Ca	Kalsiyum
Ne	Neon
Zr	Zirkonyum
Sc	Skandiyum
Ce	Seryum
Hf	Hafniyum
Hz.	Hazret/Hazreti

Kısaltma

Açıklama

NDT	Non-Destructive Testing
GPR	Ground Penetrating Radar
EDS/EDX	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
SEM	Scanning Electron Microscopy
DÜBTAM	Diyarbakır Dicle Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
yy	Yüzyıl
IR	Infrared (Kızılötesi)

ÖZET

TAHRİBATSIZ TEST YÖNTEMLERİNİN TARİHİ YAPILARDAKİ TAŞ MALZEMEDE KULLANIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ: HZ. SÜLEYMAN (KALE) CAMİ ÖRNEĞİ

BAŞEGMEZ, İlkay Mizgin
Yüksek Lisans, Mimarlık Bölümü
Danışman: Doç. Dr. Nursen IŞIK
Şubat 2025, 237 sayfa

Tarihsel süreçte barınma gereksinimiyle doğan ve günümüze farklı amaçlarla değişip şekillenerek ulaşan tarihi yapılar, kültürel ve mimari mirasımızın en önemli unsuru ve aktarıcısıdır. Geçmiş bugüne bugünü de geleceğe bağlayan tarihi yapılar, geçmiş medeniyetlerin bilgi ve birikimlerini bugün anlamlandırmamızı ve gelecek nesillere miras bırakmamızı sağlayan unsurlardır. Nesiller boyu tarihi yapıların özgün halleriyle korunarak kalabilmesi insanlığın sorunu haline gelmiş bir durumdur. Koruma anlayışının sürdürülebilir olması yapıların fiziki durumları açısından önemli olmaktadır. Yapının mevcut durumu ve hasar düzeyi bilinmeden yapılacak müdahaleler sürdürülebilir bir koruma anlayışı sağlamamaktadır. Uygun olmayan müdahaleler sonucu mevcut hasarlar ilerlemekte ve tarihi yapıların ayakta kalma süresi kısalmaktadır. Yapıların değişen çevrede hiçbir değişikliğe uğramadan kalmaları mümkün olmamaktadır. Tarihi yapılar, dış ortamın ve beşeri etkilerin olumsuz koşullarına maruz kaldıklarında birçok yapısal sorun ortaya çıkmaktadır. Yapıların fiziki ömrünün uzunluğu yapının ve bileşenlerinin hasardan etkilenme düzeyine bağlıdır. Yapısal sorunlar ve hasarlar; yapının dayanımının azalmasına, malzeme özelliklerinin değişmesine neden olan fiziksel, kimyasal veya biyolojik bozulmalardan oluşan bir süreçtir. Sorunların belirlenmesi yapıların geleceğe aktarılması konusunda önemli bir adım olmaktadır. Günümüzde hasar analizinde ve müdahale kararlarının alınmasında birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemler yerinde veya laboratuvarında yapılan tahribatlı, yarı tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri olarak ayrılmaktadır. Tarihi yapının veya yapı malzemesinin kullanılabilmesi için gerekli olan özelliklerinde tahribat oluşturmada, yani yapısını, işlevini ve fonksiyonunu bozmadan; malzemenin yapısı, özellikleri ve yapının mevcut hasar düzeyi hakkında bilgi edinilmesini amacıyla tahribatsız test yöntemlerinden yararlanılmaktadır.

Diyarbakır'ın tarihi surlarıyla çevrili Suriçi Bölgesinde farklı inançlara ve kültürlerle sahip medeniyetler hakimiyet sürmüştür. Diyarbakır, İslam kültürünü temsil eden önemli kentlerden biri olmuştur ve Suriçi Bölgesinde dini mimariye ait yapılar şekillenmiştir. Bu yapılar arasında bulunan Hz. Süleyman (Kale) Cami; Suriçi Bölgesinde bulunan ve kentin ilk yerleşim alanı olarak kabul edilen İç Kale surlarına ait burçlar arasında konumlanmıştır. Cami, tarihsel süreçte birçok onarımdan geçerek yapılan eklerle genişletilip yapı topluluğu halini almıştır. Kentteki dini mimari örneklerinden biri olan Hz. Süleyman (Kale) Cami'de dış ortamın ve insan sirkülasyonunun yoğun olmasının etkisiyle hasarlar ve sorunlar gelişmiştir. Nem etkisiyle gelişen sorunların yapının genelinde gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu çalışmada, taş malzemede uygulanabilecek test yöntemlerine yer verilerek; tahribatsız testlerin üstün olan özelliklerinin bilinmesi, yöntemlerin tanınması ve tarihi yapılarda daha fazla uygulama alanı bulması amaçlanmıştır. Alan çalışmasında Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki gözlemsel analizlerle; çatlak oluşumu, aşınma, ayrışma, derz boşalması, tuzlanma ve yüzey kirliliği sorunları tespit edilmiştir ve bu doğrultuda bazı tahribatsız testler yapı üzerinde ve bazalt taşında uygulanmıştır. Schmidt çekici ile sertlik testi, yüzey düzgünlüğü ve nem durumunun

belirlenmesi testi, ultrases geçiş hızı testi, Georadar (GPR) taraması alanda yapılan tahribatsız testlerdendir. Testler sonucunda bazalt taşına ait farklı sertlik değerleri elde edilmiştir. En yüksek değere avludaki zemin taşında ve taş stnlerde ulaşılmıştır. Taşa nüfuz eden nem oranının iç mekanlarda daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Uzman jeofizik mühendisleri tarafından zeminde yapılan Georadar (GPR) taramasında yer altında farklı bir döşemenin olabileceği anomaliler görüntülenmiştir. Laboratuvar ortamında ise bazalt taşı ve harç numunesinde SEM/EDS analizi yapılmıştır. Test bulguları tablo ve grafik halinde sunulmuştur. Elde edilen bulguların akademik çalışmalarda kullanılabilmesi, daha sonrasında alınacak müdahale kararlarında yol haritası oluşturması ve mimari kimliğin korunmasının önemini ortaya koyması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Diyarbakır, Suriçi Bölgesi, Hz. Süleyman Cami, Tahribatsız Test Yöntemleri



ABSTRACT

USE AND EVALUATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS ON STONE MATERIALS IN HISTORICAL BUILDINGS: EXAMPLE OF HZ. SÜLEYMAN (KALE) MOSQUE EXAMPLE

BAŞEGMEZ, İlkay Mizgin

Master of Science in Department of Architecture

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK

February 2025, 237 pages

Historical structures, which emerged with the need for shelter in the historical process and reached the present day by changing and shaping for different purposes, are the most important elements and transmitters of our cultural and architectural heritage. Historical structures, which connect the past to the present and the present to the future, are elements that enable us to make sense of the knowledge and accumulation of past civilizations today and to leave a legacy to future generations. The preservation of historical structures in their original form for generations has become a problem for humanity. The sustainability of the concept of protection is important in terms of the physical conditions of the structures. Interventions to be made without knowing the current condition and level of damage to the structure do not provide a sustainable concept of protection. As a result of inappropriate interventions, existing damages progress, and the survival time of historical structures is shortened. It is not possible for structures to remain unchanged in the changing environment. Many structural problems arise when historical structures are exposed to the adverse conditions of the external environment and human effects. The length of the physical life of the structures depends on the level of damage to the structure and its components. Structural problems and damage are a process consisting of physical, chemical or biological deteriorations that cause the structure's strength to decrease and its material properties to change. Determining the problems is an important step in transferring the structures to the future. Today, many methods are applied in damage analysis and intervention decisions. These methods are divided into destructive, semi-destructive and Non-destructive test methods performed on-site or in the laboratory. Non-destructive test methods are used to obtain information about the structure, properties and current damage level of the structure without causing damage to the features required for the use of the historical structure or building material, that is, without disrupting its structure, function and function. Civilizations with different beliefs and cultures have dominated the Suriçi Region surrounded by the historical walls of Diyarbakır. Diyarbakır has been one of the important cities representing Islamic culture and structures belonging to religious architecture have taken shape in the Suriçi Region. Hz. Süleyman (Kale) Mosque, which is among these structures, is located between the bastions of the Inner Castle walls in the Suriçi Region and is accepted as the first settlement area of the city. The mosque has undergone many repairs throughout the historical process and has been expanded with additions and has become a building complex. One of the examples of religious architecture in the city, Hz. Süleyman (Kale) Mosque, damages and problems have developed because of the external environment and intense human circulation. It has been determined that the problems developing because of humidity are observed throughout the structure. In this study, it is aimed to know the superior features of Non-destructive tests, to recognize the methods and to find more

application areas in historical structures by including the test methods that can be applied to stone material. In the field study, crack formation, abrasion, separation, joint discharge, salinization and surface pollution problems were determined with the observational analyzes in Hz. Süleyman (Kale) Mosque and in this direction, some Non-destructive tests were applied on the structure and basalt stone.

Hardness test with Schmidt hammer, surface smoothness and moisture status determination test, ultrasound transmission speed test, Georadar (GPR) scanning are among the Non-destructive tests performed in the field. As a result of the tests, different hard values of basalt stone were obtained. The highest value was reached in the ground stone and stone columns in the courtyard. It was determined that the moisture rate penetrating the stone was higher in interior spaces. Georadar (GPR) scanning performed on the ground by expert geophysical engineers displayed anomalies that could have a different flooring underground. In the laboratory environment, SEM/EDS analysis was performed on basalt stone and mortar samples. The test findings are presented in tables and graphics. It is aimed that the obtained findings can be used in academic studies, create a roadmap for intervention decisions to be taken later and reveal the importance of preserving architectural identity.

Keywords: Diyarbakır, Suriçi Region, Hz. Süleyman Mosque, Non-Destructive Testing Methods

1. GİRİŞ

Kültürel miras, insanlığın meydana getirdiği üretimleri ve birikimleri tanımlamaktadır. Tarihi yapılar tarihin her döneminde kültürel mirasın en önemli aktarıcısı ve birer unsuru olmuştur. Günümüze farklı amaçlarla değişip şekillenerek ulaşan yapılar, tarihsel süreçte barınma gereksinimiyle doğmuştur. İnsanlar çevresinden kolayca edinebileceği taş, ahşap gibi malzemeleri kullanmıştır. Doğal taşlar tarihi yapılarda gücün ve dayanıklılığın sembolü olarak kullanılmıştır. Mimari strüktürün ilk örnekleri olarak kabul edilen ilk yapılarda, zamanla ilkel yöntemlerle elde edilen kerpiç tuğla gibi malzemeler kullanılmıştır.

Yığma yapılarda yapım teknikleri; duvarları teşkil etme biçimleri, malzemelerin dizilişleri ve bunların bir arada kullanımları şekillerine farklılaşıp gelişim göstermiştir.

Yapı malzemelerinin çeşitlenmesi ve taşıyıcı sistemlerin gelişmesiyle beraber anıtsal nitelik kazanan yapılar günümüze ulaşmıştır. Doğal ve kültürel mirasımız haline gelen değerlerimizi yaşatmak ve koruyarak geleceğe bırakmak ortak sorunlarımız haline gelmiştir. Koruma kavramı ise geliştirme ve değerlendirme kavramları ile birleştirdiğinde önemli olmaktadır. Koruma planlanırken yapıların tespit edilmesi ve tescillerinin ortaya konması ilk aşamayı oluşturmakta ve koruma kültürünün benimsetilmesinde önemli bir görevi üstlenmektedir (Arslan G. , 1991).

Koruma eylemleri toplum ile geçmişi arasındaki bağı kuvvetlendirmektir. Ayrıca kültürel mirasın kapsamını genişletip ve sürdürülebilirliğine katkıda sunmaktadır. Sürdürülebilir bir koruma anlayışına sahip olan yapılar fiziki durumlarını müdahalelerden koruyabilmişlerdir. Değişen çevrede yapıların hiçbir değişikliğe uğramadan kalabilmeleri mümkün olmadığından koruma anlayışının ve alınan müdahale kararlarının yapıya uygun ve sürdürülebilir olması gerekmektedir.

Tarihi yapılarda yapısal sorunlar ve hasarlar dış ortamın ve insanların müdahaleleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yapıların fiziki ömrünün uzunluğu yapının ve bileşenlerinin hasardan etkilenme düzeyine bağlıdır. Yapısal sorunlar ve hasarlar; yapının dayanımının azalmasına, malzeme özelliklerinin değişmesine neden olan fiziksel, kimyasal veya biyolojik bozulmalardan oluşan bir süreçtir.

Yapısal sorunlara ve hasara sahip olan yapıların korunabilmesi için yapının durumunun tespit edilmesi gerekmektedir. Sorunların belirlenmesi yapıların geleceğe aktarılması konusunda önemli bir adım olmaktadır. Günümüzde hasar analizinde ve müdahale kararlarının alınmasında birçok yöntem uygulanmaktadır.

Tahribatsız muayene; malzemelerin tahrip edilmeden muayene edilmesidir. Malzeme bütünlüğüne ve işlevine müdahale edilmeden yüzeydeki veya içteki kusurları test edilmektedir (Kumar ve Mahto, 2013), (Topuz, 1993). Tarihi yapının veya yapı malzemesinin kullanılabilmesi için gerekli olan özelliklerinde tahribat oluşturmada, yani yapısını, işlevini ve fonksiyonunu bozmadan; malzemenin yapısı, özellikleri ve yapının mevcut hasar düzeyi hakkında bilgi edinilmesini amacıyla tahribatsız test yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Tarihi yapılarda tahribatsız test yöntemleriyle; yapıda tahribat oluşturmada yapı elemanlarının ve malzemelerin özelliklerini belirlemek, durum ve hasar tespitlerini yapmak, yapıların bütünsel bir çerçevede korunabilmesi için önemlidir. Tahribatsız test yöntemleri farklı alanlarda yaygınlaşsa da tarihi çevrelerdeki korumamız gereken kültürel miras yapıları üzerinde uygulanması henüz yaygınlaşma aşamasındadır. Tahribatsız yöntemlerin korunması gereken kültürel miraslarımız olan tarihi çevrelerde hasar analizinde kullanılması yaygınlaşmaktadır (Işık, 2022b), (Seçim, 2011).

Diyarbakır'ın merkez Sur ilçesinde yer alan ve Suriçi Bölgesi olarak adlandırılan bölüm; UNESCO kültürel mirasları arasına girebilmiş tarihi surlarla çevrili ve Hevsel Bahçelerine ev sahipliği yapan, tarihi ve geleneksel yapıların bulunduğu düz bir arazide yer alır. Diyarbakır'ın ilk yerleşim yeri olan İç Kale'nin de yer aldığı Suriçi Bölgesi, tarihin her döneminde önemli bir siyasal ve kültürel merkez olmayı başarmıştır.

638'de Arap egemenliğine giren Diyarbakır, İslam kültürünü ve mimarisini temsil eden önemli kentlerden biri olmuştur. Diyarbakır Suriçi Bölgesinde dini mimariye ait şekillenen yapılar arasında bulunan Hz. Süleyman (Kale) Cami, çeşitli dönemlerde uğradığı değişikliklerle ve yapılan eklerle genişletilip yapı topluluğu halini alarak günümüzdeki durumuna ulaşmıştır (Tuncer, 1999), (Işık, 2023).

İklimsel faktörler ve tahribata yol açan dış etkenler, Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yapısal sorunlara ve hasarlara neden olmuştur. Yapısal sorunların ve hasarların belirlenmesi amacıyla alan çalışması ile gözlemsel tespitler yapılmıştır. Camide dış ortam etkisiyle birçok sorun meydana gelmiştir. Bu sorunlar arasında çatlak oluşumu, aşınma, derz boşalması, renk değişimleri ve hatalı müdahaleler yer almaktadır.

Tahribatsız testler tarihi yapılarda daha az çalışılmıştır ve testlerin uygulanabilirliği sınırlı tutulmuştur. Tahribatsız test yöntemleriyle ilgili teorik ve deneysel çalışmalar mimarlık alanında sınırlı kalmıştır. Bu nedenle tez kapsamında yerinde alan çalışması için Hz. Süleyman (Kale) Cami belirlenmiştir ve camide yapısal sorunların ve hasarların belirlendiği çalışmalar uzun zamandır yapılmamıştır. Tahribatsız test yöntemlerinin daha az tercih edilmesinin nedenlerinden biri tahribatsız testlerin daha az bilinmesi olduğundan ve Hz. Süleyman (Kale) Cami’de tahribatsız testlerin uygulandığı bir çalışma yapılmadığından bu tez çalışmasıyla literatüre katkı sunmak ve referans oluşturmak amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda Diyarbakır’daki Hz. Süleyman (Kale) Cami seçilerek camideki yapısal sorunlar ve hasarlar gözlemsel olarak tespit edilmiştir ve yapı üzerinde tahribatsız testler uygulanmıştır. Caminin taşıyıcı elamanlarında kullanılan bazalt malzemede tahribatsız testlerden Schmidt çekici ile sertlik testi, yüzey düzgünlüğü ve nem durumunun belirlenmesi testi, ultrases geçiş hızı testi ile zeminde ve duvarlarda Georadar (GPR) taraması yerinde yapılmıştır. Ayrıca caminin güney cephesinde yer alan payanda duvarından alınan bazalt taşı ve harç numunesinde SEM/EDS analizi yapılmıştır. Gözlemsel analizler ile yapının hasarları tespit edilmiştir ve hasarlara yönelik yapılan deneylerle bazalt taşının sertlik değeri, nem durumu, ses yayılım hızı belirlenmiştir. Cami yapısına ait yer altı görüntüleri elde edilmiştir. Yapısal sorunlara yönelik önerilere yer verilerek çalışma tamamlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ağan (2017) tarafından hazırlanan “*Balıkesir kent dokusundaki tarihi yapılarda malzeme bozulmaları üzerine bir araştırma*” başlıklı yüksek lisans tezinde tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin özelliklerine, bozulmaların nedenlerine ve sonuçlarına yer verilmiştir. Bozulmaların tespiti için yapılacak çalışmalar alan ve laboratuvar deneyleri üzerinden tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri olarak gruplandırılarak açıklanmıştır. Tahribatsız testler arasında sertlik ölçümüne, ultrases ölçümüne, infrared tomografi ve georadar yöntemine yer verilmiştir. Balıkesir ilinde belirlenen alanda yapılan çalışmada bozulmalar tespit edilmiş ve bozulmalara karşı alınacak önlemlere yer verilmiştir.

Akevren (2010) tarafından hazırlanan “*Non-destructive examination of stone masonry historic structures – quantitative ir thermography and ultrasonic testing*” başlıklı yüksek lisans tezinde taş malzemede bozulmaları ve yapısal çatlakları olan bir camide kızılötesi ısı görüntüleme ve ultrasonik testler yapılmıştır. Bu çalışmada kızılötesi görüntülemenin duvar farklı katmanlarda oluşsa da duvar kesitlerini belirleyebildiği anlaşılmıştır. Tarihi yapıların muayenesinde tahribatsız yöntemlerin kullanılmasının sağlıklı sonuçlar verdiği belirtilerek çalışma tamamlanmıştır.

Aydın (2015) tarafından hazırlanan “*İsparta’da yöresel ve tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin tespiti ve malzemeler üzerinde yapılan tahribatsız deneyler*” başlıklı yüksek lisans tezi arazi çalışmasına dayanmaktadır. Belli bir alandaki tarihi varlıklar belirlenip ultrases geçiş hızı ile Schmidt çekici testleri uygulanmıştır. Kültürel varlıklara ait bilgiler değerlendirilmiş ve fotoğrafları ile sunulurken çalışma tamamlanmıştır.

Dabanlı (2006) tarafından hazırlanan “*Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi*” başlıklı yüksek lisans tezinde yığma yapıların değerlendirilmesi için malzeme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan tahribatsız ve tahribatlı testlere yer vermiştir. Sertlik, ultrases, görüntüleme ve serbest titreşim testleri örnekleriyle açıklanmıştır.

Hatır (2019) tarafından hazırlanan ‘‘*Kapadokya Bölgesi 19. yy. Osmanlı kiliselerindeki taş malzemelerin bozunma nedenleri ve rehabilitasyonu için öneriler; Niğde Küçükköy Kilisesi örneği*’’ başlıklı doktora tezinde hem tahribatsız testlere hem de laboratuvar testlerine yer verilmiştir. Yerinde yapılmış tahribatsız testler ile kilise taşlarındaki bozunmalar ve taşların mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yüzey nem ölçümü, kızılötesi termografi, Schmidt çekici, P-dalga hızı ve taşınabilir mikroskop testleri uygulanmıştır. Kilisenin korunması amacıyla rehabilitasyon önerileri sunularak çalışma tamamlanmıştır.

Gökyiğit ve Arpacı (2016) tarafından hazırlanan ‘‘*Tarihi yığma yapıların onarımında kullanılan enjeksiyon malzemesinin (grout) performans değerlendirmesi ve 19. yüzyıl tuğla yığma yapılarda örneklenmesi*’’ başlıklı yüksek lisans tezinde tarihi yığma yapılardaki malzeme ile elemanların özelliklerine, oluşabilecek hasarlar ile nedenlerine ve yapıların korunması sürecindeki yasal çalışmalara yer verilmiştir. Hasar tespiti tahribatsız ve tahribatlı yöntemler halinde sınıflandırılarak anlatılmış ve yüzey sıcaklığı ve neminin ölçülmesi, sertlik ölçümü, ultrases ölçümü, georadar ve infrared tomografi yöntemi tahribatsız yöntemler olarak çalışmada kullanılmıştır. Tarihi yapıların onarımında kullanılan grout malzemesinin enjeksiyon uygulaması tüm özellikleri ile ele alınarak tahribatsız bir yöntem olan ultrases deneyi ile enjeksiyonun performansı değerlendirilmiştir.

Gülmez (2005) tarafından hazırlanan ‘‘*Antik yapılarda kullanılan inşaat malzemeleri ve bu malzemelerin özelliklerinin mineralojik, petrografik, kimyasal, fiziksel, mekanik ve tahribatsız deney yöntemleri kullanılarak saptanması*’’ başlıklı yüksek lisans tezinde belirli bir alandaki yapıların malzemeleri deneysel incelenmiştir. Tezin ilk aşamasında tahribatsız testler olan Schmidt çekici ve ultrases titreşim hızına yer verilmiştir. Ardından laboratuvar testleri yapılmıştır.

Gürbüz ve Süleyman (2019) tarafından hazırlanan ‘‘*Nevşehir yöresindeki İgnimbiritlerin dayanımının tahmininde Schmidt geri sıçrama değerlerinin kullanımı*’’ yüksek lisans tezinde farklı renk ve dokuda ignimbirit numuneleri üzerinde Schmidt çekici uygulanmıştır ve doygun ve kuru ölçümlerden elde edilen değerler üzerinden yorumlamalar yapılmıştır.

Kandemir (2010) “*Soundness assessment of historic structural timber by the use of nondestructive methods*” başlıklı doktora tezinde ahşap taşıyıcı elemanların dayanıklılığı bazı tahribatsız testlerle değerlendirilmiştir. Ultrasonik hız ölçüm değerinin ortamın özelliklerine ve ahşabın bazı fiziksel özelliklerine göre değiştiği belirlenmiştir. Nicel kızılötesi ısı görüntüleme yapılarak ahşabın dayanıklılığı ve hasar durumu izlenmiştir. Bu yöntem ile ahşabın hasar alma durumu, nem sorunları ve malzemelerle olan uyumunu belirlemede başarılı olduğu belirtilmiştir.

Kara (2009) tarafından hazırlanan “*Tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri, güvenliğinin incelenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi*” başlıklı yüksek lisans tezinde tarihi yapıların türleri, malzeme özellikleri, yapım teknikleri, deprem güvenliği, hasarlar ve nedenleri açıklanmıştır. Malzeme özelliklerinin ve hasarların belirlenmesinde kullanılan tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerinden ve güçlendirme tekniklerinden bahsedilmiştir. Belirlenen yapılar incelenerek güçlendirme önerileri sunulup çalışma tamamlanmıştır.

Karakuş (2012) tarafından hazırlanan “*Geleneksel yığma yapılarda strüktürel sorunlar ve çözüm yolları*” başlıklı yüksek lisans tezinde tarihi yapılardaki hasarların nedenlerine, hasar çeşitlerine ve tespit yöntemlerine yer vermiştir. Georadar, ultrases, sertlik ölçümü gibi tahribatsız test yöntemleri anlatılmış ve kızılötesi ısı görüntüleme yapılmıştır. Güçlendirme yöntemleri örneklendirilerek müdahale sürecinde yapılması gerekenler bu çalışmada özetlenmiştir.

Kaya (1992) tarafından hazırlanan “*Muayenede teknolojik gelişmeler*” başlıklı yüksek lisans tezinde tahribatsız muayene kavramının tanımına, tarihçesine yer verilmiş ve tahribatsız muayene testlerinin yöntemi ile kullanım alanları üstünlük ve sınırlılıklarıyla izah edilmiştir.

Mahrabel (2006) tarafından hazırlanan “*Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri*” başlıklı yüksek lisans tezinde tarihi yapılarda kullanılan malzeme ve taşıyıcı sistem türlerinin özelliklerine ve hasarların oluşumuna etki eden nedenlere yer verilmiştir. Tarihi yapılarda hasar tespit yöntemleri, tahribatlı ve tahribatsız testler üzerinden örneklendirilmiştir. Tahribatsız

test yöntemlerinden sertlik ölçümü, ultrases ölçümü, radyoaktif yöntemler ve infrared tomografi yöntemine yer vermiştir.

Sömer (2014) tarafından hazırlanan “*Antik Yapılarda Kullanılan Tuğla Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Saptanması*” başlıklı yüksek lisans tezinde belirli bir tarihi alanda bulunan taş, tuğla ve harç yapı malzemeleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Sahada yapılan deneyler tahribatsız testler olup Schmidt çekici ve ultrases titreşim hızı uygulanmıştır. Tüm deneyler sonucu weka (model) denklemleri oluşturularak tarihi yapılarda kullanılan malzeme içeriğinin mekanik özelliklerinin ortaya çıkarılması sağlanmıştır.

Temel (2023) tarafından hazırlanan “*Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunmasına yönelik analitik bir yaklaşım*” başlıklı yüksek lisans tezinde pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının özelliklerine yer verilmiştir. Özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilecek çeşitli tahribatsız testler sıralanmıştır. Sertlik, ultrases, yüzey sıcaklığı ve nemi, infrared tomografi, georadar ve su emme analizi testlerine yer verilmiştir.

Vatan (2010) tarafından hazırlanan “*Anıtsal yığma binalarda risk düzeyinin tespitine ilişkin bir ön değerlendirme yöntemi*” başlıklı doktora tezinde yığma yapılarda gözlemlenen birçok bozulmaya ve bozulmalara yol açan etmenlere yer verilmiştir. Tez çalışmasında görsel inceleme verilerine dayanan web tabanlı bir puanlama sistemi geliştirilmiştir. İstanbul tarihi Yarımada’da yapılan alan çalışması ile yapıların hasar ve fiziksel durumları gibi parametreleri kullanılarak yapılar üzerinde deprem riski veri tabanı oluşturulmuştur.

Aköz ve Yüzer (1970) tarafından hazırlanan “*Investigation of material properties of Küçük Ayasofya Mosque- St Sergius and Bacchus of İstanbul*” başlıklı makalede Küçük Ayasofya Cami’de malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için bazı tahribatsız testler uygulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında tahribatsız testlerin laboratuvar testleri ile karşılaştırılması ve desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Aköz ve Yüzer (2005) tarafından hazırlanan “*Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler*” başlıklı kongre metninde tarihi yapılardaki

malzemelere yerinde veya laboratuvarında uygulanabilecek bazı tahribatlı ve tahribatsız test örneklerine yer verilmiştir. Onarım kararlarında malzemenin doğru seçilebilmesi için özgün malzeme özelliklerinin bilinmesinin gerekli olduğu belirtilmiştir.

Aydemir ve Şimşek (2016) tarafından hazırlanan ‘‘Restorasyon uygulamalarında çağdaş yaklaşımlara örnekler: Nuruosmaniye Camisi ve Zeyrek Şeyh Süleyman Mescidi onarımları’’ başlıklı bildiri metninde Georadar (GPR) çalışmaları ile Zeyrek Şeyh Süleyman Mescidinin yer aldığı avluda kuyunun varlığı ve mescidin duvarları ile diğer taşıyıcı elemanlarındaki ayrılmaların ve çatlakların tespit edildiği bir çalışmaya yer verilmiştir.

Aydingün, Kurban, Yalçiner, Büyüksaraç, Gündoğdu ve Altunel (2020) tarafından hazırlanan ‘‘High-resolution ground penetrating radar investigation of Yerebatan (Basilica) Cistern in İstanbul (Constantinople) for restoration purposes’’ başlıklı makalede Yerebatan Sarnıcı’nda tabanda ve iç yan duvarlarında Georadar (GPR) yöntemi ile araştırma yapılmıştır. Georadar (GPR) ile tespit edilen bölgelerde sondajlar yapılarak hasarların nedeninin geçirdiği depremle olduğu kanısına varılmıştır. Kullanılan yöntemlerin potansiyellerine ve daha fazla uygulamada sonuçlar sağlayabileceklerine yer verilerek çalışma tamamlanmıştır.

Belce, Bekler, Kurban ve Yalçiner (2019) tarafından hazırlanan ‘‘Ayasofya Müzesi zemin yüzey deformasyonlarının yeraltı radarı (GPR) ile incelenmesi’’ başlıklı makalede galeri katında radar taraması yapılmıştır. Ölçümlerde belirlenen kılcal çatlakların mermer kaplamanın altına ulaşmadığı tespit edilmiştir. Galeri katında ilerleyen süreçte daha büyük sorunların oluşmaması için alınacak önlemlerde çalışmanın ışık tutması sağlanarak çalışma tamamlanmıştır.

Binda, Colla, Saisi ve Valle (1999) tarafından hazırlanan ‘‘Application of georadar to the diagnosis of damage structures’’ başlıklı makalede Noto Katedrali kalıntılarında yapılan georadar taraması ve sonik hız testinin verilerine yer verilmiştir. Katedralin yeniden inşası için malzeme özelliklerinin ve hasar durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Tamamlayıcı teşhis tekniklerinin kullanılması ile verilerin doğrulandığına yer verilmiştir.

Evren, Çakır, Mintaş, Ceylan, Sav, Tuzer ve Meral (2012) tarafından hazırlanan “*Sultan Ahmet Camii'nde Arkeojeofizik çalışmalar*” başlıklı makalede Sultan Ahmet Cami’de 30 metre derinliğin yeraltı haritaları oluşturulmuştur. Hem doğal hem de yapay yer içi oluşum haritası ve modellemesi yapılmıştır.

International Atomic Energy Agency (2002) tarafından hazırlanan “*Guidebook on Non-destructive testing of concrete structures*” başlıklı kitapta uluslararası ve bölgesel eğitim kurslarından elde edilen notlara yer verilmiştir. Tahribatsız yöntemler olan sıvı penetrant, manyetik parçacık, girdap akımı testi, radyografik test, ultrasonik test ve görsel muayene yöntemi açıklanmıştır.

Işık ve Halifeoğlu (2018) tarafından hazırlanan “*Tarihi Diyarbakır Surp Sargis Ermeni Kilisesi'nde taşıyıcı sistem sorunlarının gözlemsel ve aletsel tespitlerle değerlendirilmesi*” başlıklı makalede gözlemsel ve aletsel çalışmalar belli periyotlarla yapılmıştır. Malzemede çatlak, yüzey düzgünlüğü, sesin yayılım hızı, nem durumu ve sıcaklık değişimleri aletsel olarak takip edilmiştir. Çalışmada kilisedeki hasarlara yönelik güçlendirme önerileri açıklanarak çalışma tamamlanmıştır.

Işık (2021) tarafından hazırlanan “*Investigation of structural problems on the ground and walls of Diyarbakır Historical Behram Pasha Mosque by the georadar (GPR) method*” başlıklı makalede Diyarbakır’daki bir tarihi camide yapılan georadar taramasına yer verilmiştir. Tarama sonrası tespit edilen deformasyonlara radar kesitlerinde yer verilerek camide yapılacak olan restorasyon çalışmalarında fayda sağlaması amaçlanmıştır.

Işık (2022) tarafından hazırlanan “*Yapısal sorunların tespitinde georadar (GPR) ölçümlerinin kullanıldığı tarihi yapı örnekleri ve değerlendirilmesi*” başlıklı kongre metninde georadar ile ilgili literatüre ve georadar yönteminin uygulandığı çalışma örneklerine yer verilmiştir.

İlhan (2000) tarafından hazırlanan “*Beton (Schmidt) çekici ne ise yarar?*” başlıklı makalede ülkemizde sıklıkla kullanılan beton çekicinin kullanım şekline yer verilmiştir.

İpek, Işık ve Halifeoğlu (2023) tarafından hazırlanan ‘‘*Determination of ground-based structural problems in the historical four-legged minaret with ground penetration radar*’’ başlıklı makalede Diyarbakır’da bulunan Dört Ayaklı Minare ’de georadar ölçümleri yapılarak duvarlar ve zeminde kırık ve çatlaklar tespit edilmiştir. Hasarlara yönelik öneriler ile çalışma tamamlanmıştır.

İnce, Bozdağ, Tosunlar, Hatır ve Korkanç (2018) tarafından hazırlanan ‘‘*Determination of deterioration of the main facade of the Ferit Pasha Cistern by Non-destructive techniques (Konya, Turkey)*’’ başlıklı makalede tarihi sarnıçta taş hasarlarını belirlemek için tahribatsız testler yapılmıştır. Schmidt çekici, P-dalga hızı, nem ölçümü ve termal görüntüleme testleri yapılmış ve haritaları çıkarılmıştır. Mirasın korunmasına katkı sağlaması temenni edilerek çalışma tamamlanmıştır.

Kadioğlu, Kadioğlu ve Akyol (2008) tarafından hazırlanan ‘‘*Geoarchaeological research of the Mid-Age Ilyas Bey Complex Buildings with ground penetrating radar in Miletus, Aydin, Western Anatolia, Turkey*’’ başlıklı konferans metninde külliye altındaki arkeolojik kalıntıları tespit etmek ve ana kaya ile çevresinin yapısını tanımlamak amaçlanmıştır. Georadar (GPR) taraması ile dört farklı kaya özelliklerine erişilmiştir ve arkeolojik kalıntıya ulaşılmıştır.

Kadioğlu ve Kadioğlu (2010) tarafından hazırlanan ‘‘*Picturing internal fractures of historical statues using ground penetrating radar method*’’ başlıklı makalede Anıtkabir’de bulunan aslan heykellerinin iç yapısının izlenmesine yönelik yapılan çalışmaya yer verilmiştir. Heykellerin iç çatlakları ve boşluklu yapısı GPR ve mikroskop ile görüntülenmiştir.

Kambek (2016) tarafından hazırlanan ‘‘*Şerefiye (Theodosius) Sarnıcı restorasyon uygulamaları örnekleri ve koruma süreci üzerine yorumlar*’’ bildiri metninde rölöve çalışmaları sırasında yapılan Georadar (GPR) taraması sonucu tamamı yer altında bulunan sarnıcın dış duvar kalınlığı ve statik olarak iyi durumda olduğu belirlenmiştir. Belli bir alanda yapılan kazı çalışmaları ile duvar kalınlığının doğru belirlendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kishalı, Türkmenoğlu Bayraktar ve Şener (2019) tarafından hazırlanan ‘‘*Kocaeli tarihi cami örnekleri üzerinden planlı koruma kapsamında hasarsız test uygulamaları: Çoban Mustafa Paşa Camii, Fevziye Camii ve Pertev Paşa Camii*’’ başlıklı makalede bazı tahribatsız testler belirlenen camilerde uygulanmıştır. Nem ve sıcaklık ölçümü, ultrasonik hız testi ve kızılötesi termal kamera görüntülemesi sonucu tarihi yapılardan elde edilen verilerin farklı olması malzeme, strüktür ve kullanıcı yoğunluğunun farklı olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Kocaman, Okuyucu ve Kazaz (2017) tarafından hazırlanan ‘‘*Tarihi yığma yapıların dinamik davranışlarının hesabında gerekli malzeme özelliklerinin tayini: Lala Paşa Cami örneği*’’ başlıklı sempozyum metninde taşıyıcı elemanlar üzerinde Schmidt çekici ile ölçümler yapılmıştır. Elastisitesi ve dayanımını belirlendikten sonra veriler caminin modellenmesinde kullanılmıştır.

Kocaman, Kazaz ve Özkaya (2020) tarafından hazırlanan ‘‘*Yığma kemer köprülerde kullanılan malzeme özelliklerinin tahribatsız yöntemlerle belirlenmesi*’’ başlıklı makalede taşın mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tarihi köprüde Schmidt çekici ve P dalga hızı testi uygulanmıştır. Mekanik deneyler için de ocaktan aynı cins taşlar alınarak aralarında bağıntılar kurulmuştur.

Konak, Karahan ve Gedük (2022) tarafından hazırlanan ‘‘*Açık hava koşullarında sergilenen taş eserlerde bozulma – bozunma süreçleri ve koruma yöntemleri*’’ başlıklı makalede müzelerde sergilenen taş eserler üzerinden bozulmaların nedenlerine, nedenlerin tespit edilmesine yardım edecek yöntemlere ve taş eserlerin korunma yöntemlerine yer verilmiştir. Kızıl ötesi ısı görüntüleme ve ultrasonik hız ölçümleri test yöntemlerine yer verilerek eserlere zarar vermeyen tahribatsız yöntemlerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Kuran ve Dabanlı (2016) tarafından hazırlanan ‘‘*Tarihi yığma yapıların mekanik özelliklerinin yerinde yapılan flatjack (yassı kriko) deneyi ile belirlenmesi*’’ başlıklı makalede literatürde yarı tahribatlı bir test olan flatjack deneyi açıklanmış ve tarihi bir camide uygulama örneklerine ve sonuçlarına yer verilmiştir.

Leucci, Masini ve Persico (2012) tarafından hazırlanan “*Time–frequency analysis of GPR data to investigate the damage of monumental buildings*” tarafından hazırlanan makalede iki tarihi kilisede yapılan nem içeriğinin analizi çalışmasına yer verilmiştir. Toprağın hidrolik özellikleri ile radargram verileri arasında ilişki kurulmuştur. GPR ölçümleri ile hasar derecesinin belirlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Makkawi (2003) tarafından hazırlanan “*Integrating GPR and geostatistical techniques to map the spatial extent of a shallow groundwater system*” başlıklı makalede kumul arazisinde yer altı suyunu tespit etmek için yapılmış çalışmaya yer verilmiştir. Elde edilen tarama sonuçları kazı alanında yapılan fiziksel ölçümler ile uyumlu sonuçlanmıştır. Bu çalışma ile sığ yer altı suyu haritası elde edilmiştir ve benzer çalışmalarda ucuz ve kolay bir yöntem olarak kullanılması önerilmiştir.

Malhotra (2004) tarafından hazırlanan “*Surface hardness methods*” başlıklı kitap bölümünde Schmidt geri tepme çekicinin faydalarına, sınırlamalarına, basınç dayanımı tahminine ve elastiklik modülünün belirlenmesindeki etkisine yer verilmiştir.

Marhinto ve Dionisio (2014) tarafından hazırlanan “*Main geophysical techniques used for Non-destructive evaluation in cultural built heritage: a review*” başlıklı makalede bazı tahribatsız yöntemlerin tarihi yapılarda uygulanabilirliğine ve elde edilecek sonuçlara yer verilmiştir. Kültürel miras çalışmalarında elektriksel yöntemlerin ve GPR yönteminin sıklıkla kullanılmaları gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Michael ve Schuller (2006) tarafından hazırlanan “*Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures*” başlıklı makalede yapılarda hasar analizinde uygulanabilecek bazı tahribatsız ve yarı tahribatlı test örnekleri verilmiştir. Testler için uygun planlamanın yapılması ve titiz bir çalışmanın sağlanması ile kullanılabilir sonuçların elde edilebileceğine yer verilmiştir.

Özdoğan ve Okuyucu (2018) tarafından hazırlanan “*Beton Schmidt çekici kullanılarak yığma duvar mekanik özellikleri belirlenebilir mi? Tarihi Erzurum Kadana Camii uygulaması*” başlıklı tam bildiride doğal taş örgüsüne sahip yığma duvarlarda Schmidt

çekicinin kullanımına yer verilmiştir. Yapıdan alınan numunenin laboratuvar testlerinden elde edilen veriler ile çekiç verileri beraber yorumlanmıştır.

Pamuk ve Büyüksaraç (2017) tarafından hazırlanan ‘‘*Investigation of strength characteristics of natural stones in Ürgüp (Nevşehir/Turkey)*’’ başlıklı makalede çalışma alanından 5 farklı renkte alınan taş numune üzerinde tahribatlı ve tahribatsız testler yapılmıştır. Tahribatsız testlerden Schmidt çekici ve P dalga hızı testi uygulanmış, tek eksenli basınç dayanımı ile yorumlanmıştır. Benzer sonuçlar elde edildiğinden doğal taşlarının mukavemet karakterizasyonu belirlenirken tahribatsız test yöntemlerinin kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Pala ve Koç (2022) tarafından hazırlanan ‘‘*Tarihi kagir yapıların zemin suyundan kaynaklı bozulmalarının tespiti ile ilgili yöntemler*’’ sempozyum bildirisinde suyun etkisinde gelişen hasarlara ve hasarların oluşum nedenlerine yer verilmiştir. Zemin suyu kaynaklı hasarların doğru tespitinde başvurulabilecek tahribatsız testler ile ilgili uygulama örneklerine yer verilmiştir.

Pehlivan (2023) tarafından hazırlanan ‘‘*Condition and characterization analysis of a twentieth century cultural heritage through Non-destructive testing (NDT) methods: The case of the Sivas Industry School Ironworking Atelier in Turkey*’’ başlıklı makalede tahribatsız testler olan kızılötesi termografi (IRT), Schmidt çekici ve X-ışını floresan (XRF) spektroskopisi tarihi bir kamu binasında uygulanmıştır. Taş malzemelerin mukavemetleri, sertlikleri ve karakterizasyon analizleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bazı testlerin beraber uygulanmasının daha iyi sonuçlar doğurduğu belirtilerek çalışma tamamlanmıştır.

Sert, Binan ve Aras (2024) tarafından hazırlanan ‘‘*Klasik Dönem (15. yy- 17. yy) Osmanlı anıt mimarisinde kullanılan strüktürel demir elemanların tahribatsız muayene yöntemleri ile tespiti, Sultan Ahmet Camii üzerinden bir kesit*’’ başlıklı makalede tarihi yapılarda strüktürde kullanılan demir elemanların tahribatsız muayenesi üzerine bir çalışmaya yer verilmiştir. Caminin fil ayağında manyetik indüksiyon yöntemi ile videoskop cihazı kullanılarak tahribatsız testler uygulanmıştır.

Tavukçuoğlu, Caner, Akoğlu, Işıkoğlu ve Caner tarafından hazırlanan “*In situ examination of Nemrut Dağ sandstone and limestone statues by NDT methods*” başlıklı konferans bildirisinde Nemrut Dağı’ndaki taş eserlerin görsel bozulma haritaları çıkarılmıştır ve çeşitli testler yapılmıştır. Kızılötesi görüntüleme ve ultrases ölçümü yerinde gerçekleştirilmiştir.

Török ve Prikryl (2010) tarafından hazırlanan “*Current methods and future trends in testing, durability analyses and provenance studies of natural stones used in historical monuments*” başlıklı makalede tarihi eserlere ait yerinde veya laboratuvarında uygulanabilen teknikler özetlenmiştir.

Tuğla, Kılıç Demircan ve Kaplan (2017) tarafından hazırlanan “*A study on the use of advanced nondestructive testing methods on historic structures*” başlıklı tam bildiride ilerleyen teknoloji ile gelişen tahribatsız test yöntemlerinin yaygınlaştırılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Bazı tahribatsız ve yarı tahribatlı test yöntemlerine yer verilmiştir.

Yalçiner, Gündoğdu, Kurban ve Altunel (2017) tarafından hazırlanan “*Eski eserlerdeki tahribatların termal görüntüleme ve mikrodalga nem ölçümleri ile belirlenmesi: Ayasofya Müzesi örnek çalışması*” başlıklı makalede daha önce yapılan çalışmada müzenin yapı radarı ile taranması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise radar ile tespit edilen sorunların nedenlerinin belirlenebilmesi için termal görüntüleme ve nem ölçümü yapılmıştır. Bu tarz yöntemlerin yapıların korunmasındaki önemine dikkat çekilerek çalışma tamamlanmıştır.

Yalçiner, Kurban ve Belce (2018) tarafından hazırlanan “*Kagir (yığma) yapılarda uygulanan güçlendirmeye yönelik enjeksiyon çalışmaları öncesi ve sonrası GPR araştırmaları: Bodrum Kalesi örneği*” başlıklı makalede GPR ile kaledeki boşluklar ve diğer yapısal sorunlar belirlenmiştir ve boşluklara enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Tahribatsız değerlendirmelere imkan veren jeofizik yöntemlerin kültürel miras yapıların restorasyon uygulamalarında faydalı olacağına yer verilmiştir.

Yalçiner (2019) tarafından hazırlanan “*Coordinated application of structural strengthening injections with GPR method for restoration of historical artifacts: example study of Bodrum Castle*” başlıklı makalede Bodrum Kalesinde yapılacak olan enjeksiyon ile yapısal güçlendirme çalışması öncesinde Georadar (GPR) taraması yapılmıştır. GPR tabanlı olan ve tahribatsız olarak uygulanabilen jeofizik testlerin tarihi yapıların incelenmesinde hızlı, güvenilir ve etkin bir çalışma ortaya çıkardıklarına yer verilmiştir.

İncelenen çalışmalardan elde edilen verilere göre tahribatsız test yöntemleri farklı alanlarda değerlendirilen ve detaylı çalışmaları bulunan bir alandır. Mimarlık alanında ise tahribatsız test yöntemleriyle ilgili teorik ve deneysel çalışmalar sınırlı kalmıştır. Genellikle yalnızca tarihi yapılarda uygulanan tahribatsız testin teorik bilgisine yer verildiğinden literatür sınırlı kalmıştır. Bu nedenle tahribatsız testler tarihi yapılarda daha az çalışılmıştır ve testlerin uygulanabilirliği sınırlı tutulmuştur. Bu durum Diyarbakır’daki tarihi yapılarda da görülmekte ve yapılar üzerinde uygulanan tahribatsız testlerle ilgili az sayıda ve sınırlı kapsamda çalışma bulunmaktadır. Tez kapsamında yerinde alan çalışması için Hz. Süleyman (Kale) Cami belirlenmiştir ve camide yapısal sorunların ve hasarların belirlendiği çalışmalar uzun zamandır yapılmamıştır. Tahribatsız test yöntemlerinin daha az tercih edilmesinin nedenlerinden biri tahribatsız testlerin daha az bilinmesi olduğundan bu tez çalışmasının literatüre katkı sunan ve referans oluşturan özgün bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tarihi yapılarda tahribatsız test yöntemleriyle; yapıda tahribat oluşturmada yapı elemanlarının ve malzemelerin özelliklerini belirlemek, durum ve hasar tespitlerini yapmak, yapıların bütünsel bir çerçevede korunabilmesi için önemlidir. Bu çalışma tahribatsız ve yarı tahribatlı test yöntemleri ile ilgili tez, kitap, makale ve bildirilerden oluşan kapsamlı literatür araştırması yapılarak testlerin kullanım amacı, yöntemi, üstünlükleri ve sınırlılıkları incelenmiştir. Tez çalışması, tarihi yapıların çeşitli özelliklerini kapsamaktadır. Uygulanmak istenen tahribatsız testin belirlenmesinde yapıların yapım tekniği, yapılarda kullanılan malzeme türleri, yapıda meydana gelen yapısal sorunların nedenleri ve türleri ile yapıya müdahale yöntemleri etkili olduğundan bu çalışmada birlikte değerlendirilmiştir.

Deneyisel çalışmalar için yerinde alan çalışması yapılmıştır. Alan çalışması için Diyarbakır'daki Hz. Süleyman (Kale) Cami seçilerek camideki yapısal sorunlar ve hasarlar gözlemsel olarak belirlenip fotoğraflar ile belgelenmiştir ve yapı üzerinde tahribatsız testler uygulanmıştır. Ayrıca caminin güney cephesinde yer alan payanda duvarındaki hasarlı taştan küçük parça halindeki bazalt taşı ve harç numunesi alınmıştır. Numunelerin SEM/EDS analizi Diyarbakır Dicle Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DÜBTAM) laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Caminin taşıyıcı elamanlarında kullanılan bazalt malzemede tahribatsız testlerden Schmidt çekici ile sertlik testi, yüzey düzgünlüğü ve nem durumunun belirlenmesi testi, ultrases geçiş hızı testi ile uzman jeofizik mühendisleri tarafından zeminde ve duvarlarda Georadar (GPR) taraması yerinde yapılarak tarihi caminin mevcut durumu belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1 Tarihi Çevre ve Yapının Tanımı

Geçmiş uygarlıklara ait olan yerleşim yerleri ve kalıntılar tarihi çevremizi meydana getirmektedir. Tarihi çevre tür olarak kendisini oluşturan bileşenlerine göre değişmektedir. Sınırları genellikle eski dönemlerden kalma surlarla çizilmiş, tarihi yapıların yoğunlaştığı bölgeler tarihi kent merkezleridir. Tarihi çevrede yerleşme dokusu kendiliğinden büyüyen ancak kargaşa yaratmayan bir gelişme göstermiştir.

Tarihi çevre içerisinde orantılı bir mimari zenginlik barındırmaktadır. Anıtlar genellikle tarihi kent merkezlerinde konumlanmıştır. Bu yapılar hem doğal verilerle hem de yapı geleneğine, ihtiyaçlara ve ekonomik imkanlara göre biçimlenmiştir (Ahunbay Z. , 1996).

Tarihi çevre içerisinde barındırdığı geleneksel, anıtsal ve tarihi yapıların bütününden meydana gelen alanlardır. Zamanla farklı birçok topluluğa ve kullanıcıya ev sahipliği yapmış kültürel miraslarımızdır (Halifeoğlu ve Işık, 2021). Tarihi çevrenin bileşenlerinde birisi bu çevreyi meydana getiren yaşantıdır. Fiziki oluşumların yanında toplumun yaşantısı ve sosyokültürel özellikleri de tarihi çevrenin şekillenmesini ve kimlik kazanmasını sağlayan girdilerdir (Tanaç Zeren, 2010).

Valetta İlkeleri'nde tarihi çevre kavramı; kent mirasının yer aldığı ve onun algılanarak yaşanmasını birçok yönden etkileyen ya da onunla sosyal, ekonomi veya kültür alanında direkt olarak ilişkili olan doğal ortam veya insan yapısı ortam olarak tanımlanmıştır. Tarihi kentler ise toplumsal evrimi ve toplumun kimliği haline gelen kültürel olguların evrimini aktaran mekânsal oluşumlar olarak tanımlanmıştır ve geçmişin yaşayan kanıtları sayılmıştır (ICOMOS, 2011).

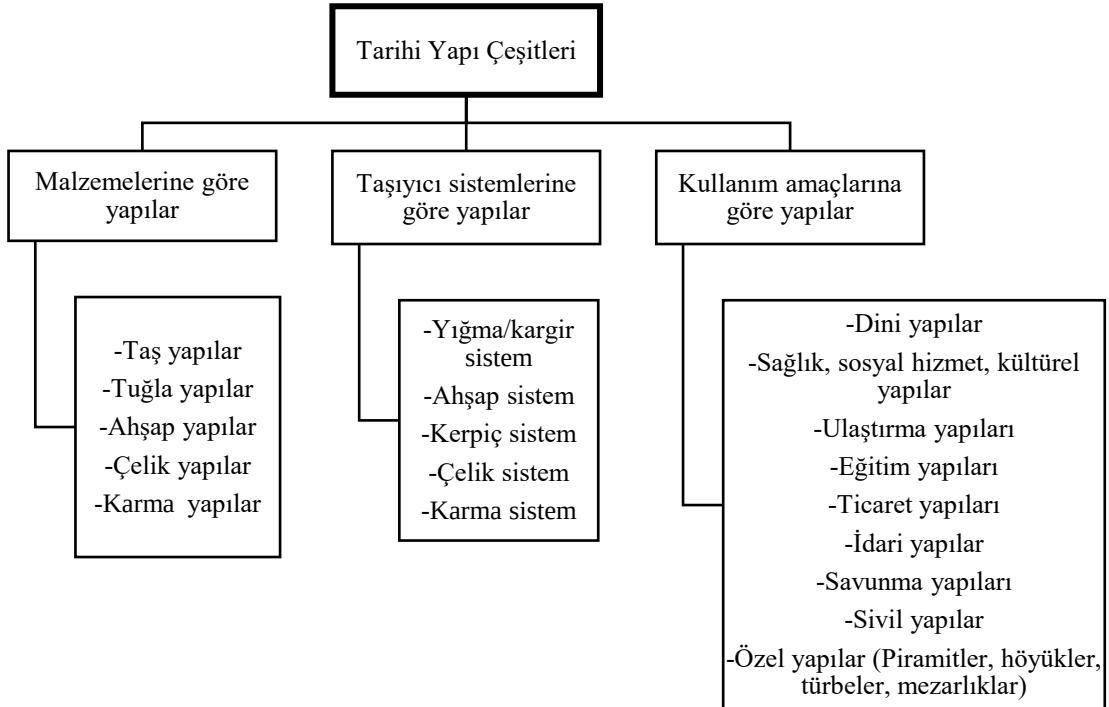
Tarihi yapılar farklı amaçlarla insanların değişen medeniyet evrelerinde inşa ettiği, koruyarak gelecek kuşaklara bırakmamız gereken insanlık mirası yapılarıdır (Bayraktar, 2006). Tarihi yapılar; kültürel mirasın önemli birer aktarıcısı olan, bulunduğu yerin yaşayış biçimlerini geçmişten bugüne bizlere aktaran, sanatsal ve mimari değeri yüksek olan yapılarıdır. Tarihi yapının tanımı inşa edildiği döneme, bu dönemin kültürel bağlamına ve bulunduğu bölgeye göre değişmektedir (Vatan ve Arun, 2010). Bazen yüzlerce yıl önce bazen de elli yıl önce inşa edilmiş yapılar tarihi yapı olarak tanımlanmaktadır (Vatan Kaptan, 2010).

Değişik uygarlıklar hakkında somut bilgiler veren; taş, kerpiç, ahşap gibi geleneksel malzemelerle ve yapım teknikleri ile inşa edilen; tarihi kentleri oluşturan yapılar tarihi yapılarıdır. Tarihi yapılar “anıt veya kültür varlığı” sayılarak koruma kapsamına alınmaktadır (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

Geçmiş bugüne, bugünü ise geleceğe aktarma işlevini üstlenen tarihi yapılar, kültürel mirasımızın önemli birer parçalarıdır. Geçmişe ait başta sosyolojik olmak üzere ekonomik, dini ve politik yönden yaşama dair pek çok veri aktarmaktadır. Tarihi çevreyi geleceğe aktarabilmek için kendisini oluşturan kültürel değerlerini özgün halleriyle korumak ve yaşatmak gerekir (Karakuş, 2012).

Tarihi yapı tanımlanırken yapıların malzemesi, taşıyıcısı, işlevleri ve dahil oldukları durum açısından oldukça geniş bir çerçevede düşünülmelidir. Külliye, cami, kilise, han, hamam, türbe, konut gibi farklı işlevleri gerçekleştirebilen tarihi yapılar genellikle yığma yapım tekniğinde doğal malzemelerin kullanılması ile inşa edilmişlerdir (Ağan, 2017). Yapıldığı dönem, yapım biçimi, uygulanan teknik, kullanılan malzemenin çeşidi ve özellikleri, yapı elemanlarının boyutu ve daha birçok etkene bağlı olarak yığma yapılar çeşitlilik göstermektedir. Tarihi yapıların herkes tarafından kabul gören bir sınıflandırması bulunmamaktadır. Mahrabel (2006) tarafından tarih yapılar malzemesine, taşıyıcı sistemine ve kullanım amacına göre sınıflandırılmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Tarihi yapı çeşitlerinin sınıflandırılması (Mahrabel,2006 düzenlenmiştir)



3.2 Tarihi Yapılarda Yapım Tekniği ve Malzeme Türleri

Paleolitik Çağ'dan endüstriyel ürünlerin elde etmesine kadar süren evrelerde ilk olarak çevreden elde edilebilecek ta ve ahşap gibi malzemeler kullanılmış, ardından kerpiç ve tuğla gibi ilkel yöntemler ile malzemeler üretilmiştir. Mimari strüktürün ilk örneği olarak mağaraları, ağaç dallarını, üst üste konulan taş yığınlarını kabul etmek gerekir. İskelet yani karkas sistemde ağaç dalları ile örülmüş üzeri yine dallarla veya hayvan postları ile kaplanıp çamurla sıvanan kulübeler ilk örnekleri meydana getirmiştir. İskelet sistem ilk olarak ahşap ve kâgirden sistemden oluşmuştur (Gökçe, 1977). Harcın da yapılarda kullanılmaya başlanması ile yapıların günümüze ulaşmasını sağlayan yapı malzemeleri kendilerini tarihin sayfalarına kaydetmiş oldular (Dabanlı, 2008).

Yığma yapılar tarihsel süreçte farklı yapım tekniği kullanılarak yapılmıştır. Yapım teknikleri, duvarları teşkil etme biçimleri, malzemelerin dizilişleri ve bunların bir arada kullanımları şeklinde farklılaşmıştır. Yığma yapım sistemi üst üste konulan malzemelerle yapının kendi yükünü taşıması ile elde edilmektedir. Yükü zemine iletecek başka bir taşıyıcı sistem kullanılmamakta ve beden duvarları taşıyıcı olarak yapıda yer almaktadır. Böylece duvar hem yapıyı meydana getirmekte hem de bölme ve taşıma görevini üstlenmektedir. Yığma yapılarda heterojen bir düzen mevcuttur. Taş, tuğla gibi yapı birimleri kullanılmış, birimlerin arasında bağlantıyı sağlamak için harç kullanılmıştır. Dolgu malzemeleriyle veya kenet, gergi gibi bağlantı elemanları kullanılarak yığma yapım tekniği desteklenmiş ve yapıların günümüze ulaşması sağlanmıştır (Dabanlı, 2008).

Tarihi yapılarda ana malzemeler; taş, tuğla ve bu yapı malzemelerini bir arada tutan harçtır (Sömer, 2014). Yığma yapılar taş, tuğla veya beton bloklarının üst üste konulmasıyla veya kerpiçten elde edilen hamurun ya da betonun hazırlanan kalıp içerisinde şekillendirilmesi ile inşa edilmektedir. Moloz, kaba ve ince yonu taş halinde kuru veya harç ile ya da kenetlerle taş bloklar oluşturulmaktadır. Tuğla, beton ve kerpiç ise harçla örülmektedir (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

Yığma yapılar taş, tuğla, kerpiç ve ahşap gibi malzemelerin sadece birinin veya kargir yapılar gibi malzemelerin beraber kullanılmasından elde edilmektedir (Şekil 3.1). Malzemeler bağlayıcı bir harç ile veya harç kullanılmayan yöntemler ile üst üste konularak duvar örgüsünü meydana getirirler. Yığma yapının taşıma kapasitesi malzemenin dayanımına taşıyıcı sistemin oluşturulma biçimine ve elemanların geometrisine göre değişmektedir. Malzemenin dayanımı yapının dayanımını da belirlediği için yapıda kullanılacak malzeme seçimi malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmaktadır (Kara, 2009).

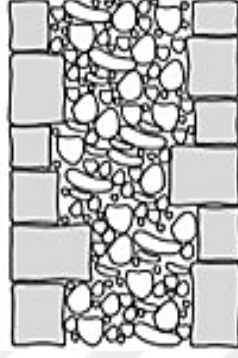


Şekil 3.1 Gizli duvar tekniği ile örülmüş duvar (Yüzer, 2015)

Doğal taşların üst üste dizilmesi ile yığma yapıların ilk örnekleri elde edilmiştir (Yıldırım, 2007). Yığma yapım tekniğinde tüm taşıyıcı sistem taşıyıcı görevi gören duvarlardan elde edilebilmektedir. Yığma yapım sisteminin taşıyıcı elemanları arasında duvar, ayak, sütun, payanda, kemer, kubbe, tonoz, döşeme ve yapı temeli yer almaktadır (Kara, 2009). Yatay taşıyıcılar olan döşemeler; taş, ahşap veya metalin kullanıldığı profillerle desteklenmiş olan volta döşemelerdir ya da tuğladan yapılmıştır. Yapının boyutuna, işlevine, açıklık mesafesine göre tarihi yapılarda kullanılan, yatay taşıyıcı görevi gören üst örtüler de değişmiştir. Kubbe, tonoz gibi geçiş elemanları veya toprak dam kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemde bu elemanlar düşey taşıyıcı sistemin yük aktarımı kolaylaştırmışlardır (Işık, 2017).

Düşey ve yataydan etkileyen deprem gibi yükleri yapı malzemesi ve harçla örülmüş duvarlar ile taşıyan yapılar olan anıtsal yığma yapıların bugün en önemli sorunu deprem dayanımlarının bilinmemesidir. Bu nedenle yığma yapıların deprem davranışı ve deprem etkisine karşı dayanımı konusu kalıcılık konusunda önemli olmaktadır. Yapının dayanımı kendisini oluşturan yapı malzemelerinin ve duvarın dayanımı kadardır (Bayülke, 2011). Taşıyıcı elemanları taş ve tuğla gibi dış ortam koşullarına

dayanımı yüksek malzeme bloklarından oluşan yığma kargir yapılar uzun yıllar ayakta kalarak günümüze ulaşmış yapılardır. İyi bir işçilikle yapılan yığma kargir yapıların malzemesi gevrek özellik göstermektedir (Arun, 2005). Şekil 3.2’de kalınlığı fazla olan duvar örgüsü görülmektedir. Yalnızca dış kısımda kesme taşlar kullanılmış, iç kısımda moloz veya düzensiz taşlar kullanılmıştır (Lourenço, 1998).



Şekil 3.2 Kalın duvar kesiti (Lourenço, 1998)

Günümüz yapılarında geleneksel teknikler ve malzeme bilgisi kullanılmamaktadır. Oysa yapı mirasının önemli ve büyük bir kısmını yığma yapım tekniğinin uygulandığı ve ahşap malzemenin kullanıldığı yapılar oluşturmaktadır (Dabanlı, 2008).

İlk çağ insanların ilk yapı malzemeleri etraflarındaki dere yataklarından topladıkları taşlar, toprak veya bitkiler olmuştur (Akman, 2003). Tarihi yapıların inşa edildikleri dönemin ve çevresinin özelliklerine göre kullanılan malzeme farklılaşmaktadır. Çoğunlukla taşın tercih edildiği tarihi yapıların günümüze ulaşabilmeleri yapıda kullanılan malzemenin dayanımıyla ve yapım tekniğinin bölgesel özelliklerle uyum içerisinde olmasına bağlıdır. Kullanılan malzemenin taşıyıcı sistemin ve yapım tekniğinin belirlenmesine katkısı büyüktür. Malzemenin özellikleri yapının boyutsal ve işlevsel özelliklerini belirlemekte, kullanım alanını sınırlamaktadır. Ayrıca kullanım alanları farklı olan cami, kilise, han, kervansaray gibi tarihi yapılar aynı dönemde inşa edilmiş ise bu yapıların malzemeleri, yapım teknikleri ve mimari yaklaşımlarının benzer olduğu görülmektedir (Işık, 2022a).

Mimari eserleri biçimlendiren, eseri elbise giydirilmiş gibi sararak özgünlüğünü geleceğe miras bırakılmasını sağlayan ve hem ekonomik hem de teknik olgulara bağlı olan elemanlar yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Mimari eser için malzeme; müzikteki notaya, şiirdeki kelimeye benzemektedir. Malzemeyi doğal ve suni olarak

sınıflandırmak mümkündür. Doğadaki haliyle yapılarda kullanılan bilen taş ve ahşap gibi malzemeler doğaldır. Pişmiş topraktan elde edilen malzemeler de sadece basit bir pişirme işlemi geçirdikleri için doğal malzeme sınıfındandır. Ancak birkaç doğal malzemenin birlikte kullanılmasından ve üretim aşamasından geçen beton, plastik veya çelik gibi malzemeler suni yapı malzemeleri olarak sınıflandırılmaktadır (Eriç, 1970).

Taş, ahşap ve toprak esaslı malzeme tarihi yapılarda karşılaşılan başlıca üç tip malzemedir. Daha çağdaş malzemeler olan metal ve camla beraber kullanılmaktadırlar. Tarihi yapıda kullanılan malzeme ve uygulanan yapım tekniği çevrenin iklimine ve malzemenin bulunabilirliğine göre farklılaşıp şekillenmektedir (Kuzuimamlar, 1995).

Yapının bütününe bakıldığında ufak bir parçası olan malzeme, yapının strüktürünü kuran ve istenen biçime ulaşmasını sağlayan yegâne unsur olmaktadır. Buna örnek olarak taşın sağladığı konstrüksiyonlar ile kemer, tonoz, kubbe gibi örtü sistemlerinin açıklık geçmede kullanılmasını sağlamıştır. Ahşap kullanımı ise çatı konstrüksiyonunun temeli sayılmaktadır. İlerleyen süreçlerde de üretilen her çağdaş malzeme beraberinde yeni strüktürlerin önünü açmıştır (Eriç, 1970).

Taş

Mağara dışında bir yaşamla beraber barınak inşası için taşın kullanılması taşı bir yapı malzemesi haline getirmiştir. Mezolitik ve Neolitik Dönemde etraftan toplanan taşların ve çamurun bağlayıcı olarak kullanılması ile duvarlar inşa edilmiştir. Daha sonra taşların şekline önem verilmiş ve daha düzgün, estetik duvar örülmüştür (Akman, 2003).

Doğal taşlar insanlığın her bir yaşam evresinde yer almıştır. Avlanma ihtiyacında silah olarak kullanılması ile başlayan süreç, heykel olarak estetik değer kazanmasına değin devam etmiştir. Doğayla iç içe sürdürülen ve günümüze kadar gelişerek biçimlenen yaşamın en iyi kanıtı anıt yapılar ve heykeller olmuştur. Tarihi yapıların veya heykellerin günümüze ulaşması ya da kalıntılarının mevcut olması doğal taşın tahrip edici tüm dış etmenlere karşı gösterdiği dayanımdan kaynaklanmaktadır (Gürsoy,

2019). Yapıda insan gücüyle veya doğanın aşındırması ile şekillenen ya da ocaktan alınan taşlar moloz, kesme, kaba ve ince yonu taş halinde kullanılmıştır (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

Taş malzemeler diğer malzemelere göre daha özel bir yere sahip olmuştur (Dabanlı, 2008). Ahşap veya kil esaslı malzemelerle yapılan yerlerde yaşarken bile insanlar, anıtsal yapılarda doğal taşı kullanmışlardır (Amman, 2012). İlk çağlardan beri dayanıklı bir malzeme olması nedeniyle taş dini anıtlarda kullanılan bir yapı malzemesi olmuştur (Şekil 3.3). İnsanlar o dönemler taşın tahribatını sezemediği için ölümsüz eserler yaptıklarını düşünmüşlerdir. Kerpiç ve ahşap ise konutlarda ya da ortak yaşam mekanlarında daha çok kullanılmıştır. Ulaşım olanaklarının yetersizliği nedeniyle yakın çevredeki benzer doku ve renkteki taşlar seçilerek yapılar inşa edilmiştir. Mermer gibi taşlar ise uzun mesafeler boyunca taşınarak kullanılmıştır (Snethlage, 2014).



Şekil 3.3 Göbeklitepe’de yer alan dikilitaşlar (2024)

Taş; Yunan ve Roma medeniyetleri gibi taşın kullanıldığı birçok medeniyet hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızın sağlayıcısı olmuştur. Çünkü taşın mimari eseri güzelleştirmesinin yanında yapılara uzun ömür sağlama etkisi bulunmaktadır (Eriç, 1970). Şekil 3.4’te İspanya’nın Segovia kentinde yer alan Romalılardan kalma su kemeri ve kilisede taş kullanılmıştır (Britannica, 2024). Anadolu’da birçok tarihi yapının ana malzemesinin taş olduğu görülmektedir (Dabanlı, 2008).



Şekil 3.4 İspanya, Segovia’da yer alan taş su kemeri ve kilise (Britannica, 2024)

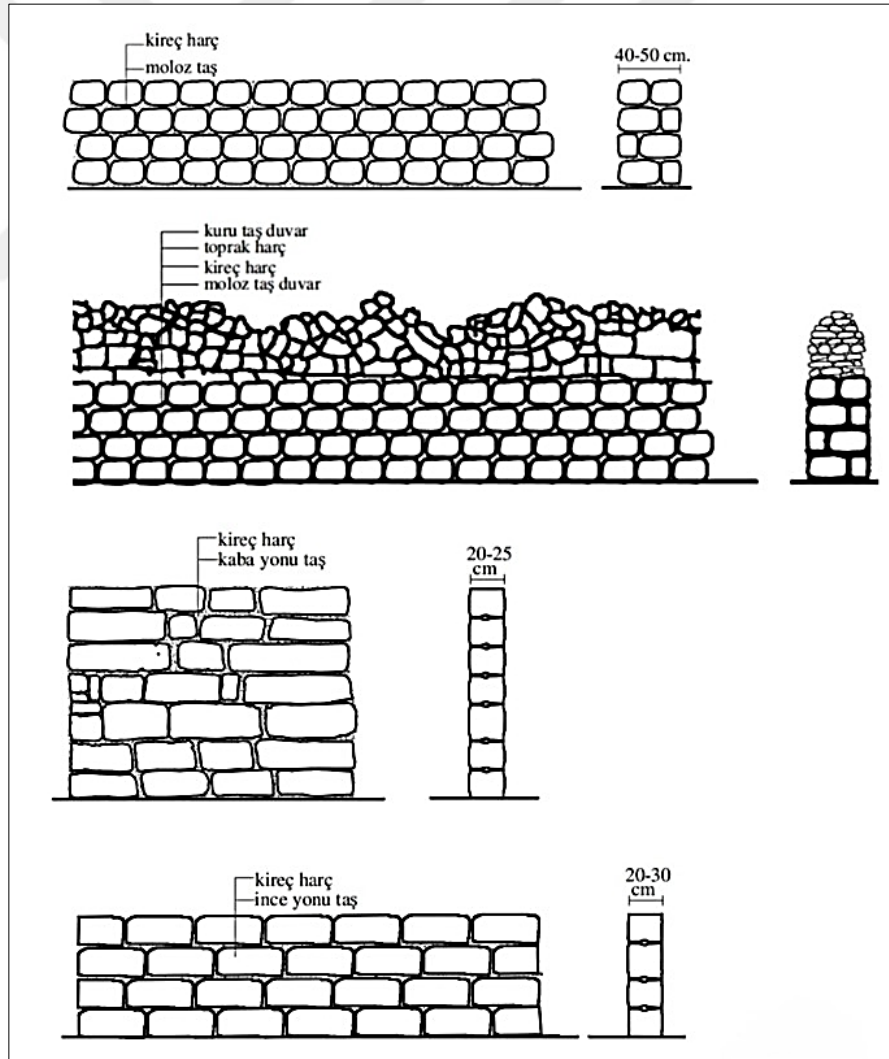
Tarihi yapılarda gücün ve dayanıklılığın sembolü olarak doğal taşlar kullanılmıştır. Kalıcılık ve sağlamlık kavramlarıyla aynı anlamda kullanılmıştır. Farklı renk ve dokuda olmaları sayesinde daha çok tercih edilmiştir. Mısır piramitleri sadece doğal taş blokları kullanılarak inşa edilmekle kalmamış otoriteyi, uzun ömrü ve gücü ifade etmiştir. Taşın ağır ve katı yapısından dolayı güvenlik duygusu verdiği için ilk olarak savunma yapılarında kullanılmıştır. Tarihi yapılarda taş bloklar ile yığma yapım sistemi kullanılarak duvarlar oluşturulmuştur (Gürdal ve Acun Özgünler, 2016).

Geleneksel yapılarda taş genellikle o bölgedeki ocaklardan elde edilerek kullanılmıştır. Taşlar yöresel olarak farklılık göstermesinin yanında çıkarıldıkları ocağın ocaktaki yerlerine göre farklı özelliklere sahip olmaktadır. Ayrıca ocaktan çıkarılan taşın çıkarılma esnasında karşılaşacağı gerilmenin boyutu da taşı farklılaştırmaktadır (Kuzuimamlar, 1995).

Türkiye’de taş malzeme önemli bir yapı malzemesidir ve günümüze ulaşan birçok anıtsal ve tarihi yapıda kullanılmıştır. Taş malzemenin mukavemeti yüksek olup taşıyıcı sistemdeki önemi ise büyüktür. Kullanılan taş yapının işlevine ve yapının bulunduğu yöreye göre değişmektedir. Bazalt, kalker ve andezit gibi taşlar tarihi yapılarda sıklıkla tercih edilmiştir (Işık, 2022a). Doğal taşın yapı malzemesi olarak kullanımını sınırlayan fiziksel ve mekanik özellikleri bulunmaktadır. Yüksek basınç dayanımı olan taş malzemenin çekme dayanımı ise 10-30 kat daha düşük seviyededir. Eğilme kuvveti uygulanan taşlarda rahatlıkla çatlaklar oluşabilir ve yapının bütünlüğü

için risk oluşturabilir. Bu nedenle basınç kuvvetleri ile taş malzeme yüklenmelidir (Snethlage, 2014).

Kullanım alanları açısından taşıyıcı sistemde, kaplamada, süslemede ve agrega içerisindeki taş malzeme olarak gruplandırmak mümkündür (Erbaş, 2018). Yapılarda taşıyıcı görevi gören duvarın taştan örülebileceği gibi sadece bir yapı elemanı olarak sütun ve lento gibi elemanlarda da kullanılmıştır. Taşıyıcı olarak kullanıldığında moloz, kuru, kaba yonu ve ince yonu taş duvar olarak adlandırılmıştır. İşlenmişlik seviyelerine göre farklı formlarda düzenlenmişlerdir (Şekil 3.5). Kaplama malzemesi olarak kullanıldığında daha özenli şekilde uygulanarak hem duvarda hem de zeminde kullanılmıştır. Gotik mimarisinde sıkça süslemelerde kullanılan taş Anadolu’ da süslemede tercih edilmiştir (Erbaş, 2018), (Kozlu, 2010).



Şekil 3.5 Moloz taş duvar örgüsü, kuru taş duvar örgüsü, kaba yonu taş duvar örgüsü ve ince yonu taş duvar örgüsü (Kozlu, 2010)

Ahşap

Bir yapının temelinden çatısına kadar her bir elemanı ahşaptan elde edilebilmektedir (Buz, 2010). Günümüze değin tercih edilen ahşap erişiminin kolay olmasıyla ve işlenebilir organik bir malzeme olmasıyla öne çıkmaktadır. Çeşitli şekillerde biçimlendirilmesi avantajlarından biridir (Ağan, 2017). Yapı malzemesi olarak taşıyıcı sistemde, döşemelerde, kaplama malzemesi olarak tavan veya duvarlarda, doğramalarda kullanılmıştır (Şekil 3.6). Taşın ana malzeme olarak kullanıldığı yapılarda bile döşemelerde, ince işçiliklerde veya hatıl gibi duvar örgüsünün içerisinde ahşap yapı elemanları kullanılmıştır. İşlenmeden ya da işlenmiş olan ahşap elemanların üst üste konulması ile veya çerçeve halinde birleştirilmeleri ile ahşap yapılar elde edilmiştir. Birleşim detayları sadece ahşap kullanılarak ya da çivi ile yapılmıştır. Ahşap yapılar temel duvarı üzerine gelen yığma duvarların veya dikmelerin üzerine inşa edilmiştir. Ahşap yapı duvarlarında tabanlar, dikmeler ve eğik eleman olan payandalar temel elemanlardır (Buz, 2010), (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).



Şekil 3.6 Tarihi yapıda tavan-kubbe ve birbirine mesnetlenen dikmeler detayı (Uzun, 2018)

Ahşap dikmelerin taşıyıcı görevi gördüğü yapılarda dikmelerin aralarına dolgu görevi görmesi amacıyla taş, tuğla ve kerpiç gibi malzemeler eklenmiştir. Hımış tekniği olarak adlandırılan bu sistem Anadolu'daki geleneksel ahşap yapı tekniğidir (Kuzuimamlar, 1995), (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Ahşap çerçeveye sahip yapının taş, tuğla ve kerpiç ile hımış dolgusu (Güneş, 2014)

Ahşap kirişli döşemeler yine ahşap düşey taşıyıcı sistemine sahip yapılarda veya taş ya da tuğla gövdeden oluşan yapılarda kullanılmıştır. Taş veya tuğla gövdeye sahip yapılarda kubbe, tonoz gibi geçiş elemanlarının tercih edilmediği durumlarda ahşap kirişler ile açıklıklar geçilmiştir (Kuzuimamlar, 1995), (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Ahşabın taşıyıcı elemanlarda ve diğer yapı elemanlarında kullanılması (2024)

Malzemelerin fiziksel özellikleri kendi mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle ahşabın sertliği, ağırlığı, nem doygunluğu ve ısıyı iletme özelliği önemli olmaktadır. Depreme dayanıklı bir malzeme olmasının yanı sıra atmosfer koşulları ve kimyasal etkiler altında bile mukavemetinde hızlı bir azalma yaşanmamaktadır. Bu nedenle yapı malzemeleri içinde ahşap önemli bir yer tutmaktadır (Çalışkan, Meriç ve

Yüncüler, 2019). Taş yalnızca basınç kuvvetlerine dayanım gösterebilirken ahşabın basınç dışında çekme kuvvetlerine de dayanımı bulunmaktadır (Özer, 2006).

20. yüzyılın ilk yıllarında ahşabın kullanıldığı yapı sistemlerinin geliştirilmiş ve ahşap iskelet daha fazla uygulanmıştır. Özellikle çeliğin yapı malzemesi yerine başka sektörlerde kullanılması ile ahşabı dış etkilere koruyacak yöntemler ve malzemeler geliştirilmeye çalışılmış, ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır (Çalışkan vd., 2019).

Tuğla

Yapılarda yaygın bir kullanıma sahip olan tuğla eski zamanlardan bugüne kolaylıkla üretilip yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. İlk zamanlar ilkel yöntemlerle üretilen pişmiş topraktan elde edilen yapı malzemeleri 18. yüzyıla kadar usta çırak ilişkisi içinde üretildiği için gelişimi kısıtlı olmuştur. İlkel tuğlanın ana malzemesini kildir. Kilin eldesinin ardından hamur hazırlanmakta ve şekil verilen hamur kurutulup pişirilmektedir (Kahya, 1992).

Kireç içermeyen kil ve killi topraklar kullanılarak elde edilen hamura kum, kuvars, feldspat, demir ve magnezyum gibi bileşenlerin eklenerek bir karışım elde edilmektedir. Elde edilen karışımın kalıplarda pişirilmesiyle ilk yapay taş olan tuğla elde edilmektedir (Bayraktar, 2006). Tuğlanın dayanımı tuğlanın içeriğindeki malzemelerin kalitesine, tuğlanın dizilimine ve iyi fırınlanmış olmasına bağlı olmaktadır (Amman, 2012). Kil mineralleri karışımın plastik özelliğini sağlamakta iken erime noktasını düşüren madde feldspattır. Boşluklarda dolgu görevi yapması için kuvars kullanılmaktadır. İçerisindeki kilin cinsine bağlı olarak 450-800°C aralığında pişirme sıcaklığı belirlenmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda puzolanik özellik sağlanamamaktadır (Yüzer, 2015).

Kerpiçten tuğlaya geçilmesi beklenen daha uzun sürmüştür. Kili daha önceden pişirebilmelerine rağmen ancak Sümerler tuğlayı ilk üretenlerden biri olmuştur (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

Kolay elde edilebilmesi ve ekonomik olması sayesinde taş ve ahşap dışında tarihi yapılarda en fazla kullanılan bir diğer malzeme tuğladır. Üç malzemenin beraber kullanıldığı örneklerin de olması yangın kullanım alanı olan tercih edilebilir bir malzeme olduğunu kanıtlar niteliktedir. Yapılarda kemer, tonoz, ayak veya hatıl gibi taşıyıcı elemanlarda kullanılmıştır (Zakar, 2013), (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Tuğlanın taşıyıcı elemanlarda kullanılması (2024)

Taş ile kıyaslandığında tuğlanın daha hafif olması duvarda, kubbede veya kemerde tercih edilmesini sağlamıştır (Şekil 3.10). Harman tuğlası yığma yapılarda sıklıkla kullanılmıştır ve teknolojinin ilerlemesi ile tuğla çeşitleri değişmiştir. Ayrıca dekoratif olarak kullanım alanlarında sıklıkla tuğla tercih edilmiştir (Işık, 2017), (Zakar, 2013).



Şekil 3.10 Tuğlanın kubbede kullanımı (Öter, 2021)

Kerpiç

En ilkel haliyle toprağın saman ve suyla karıştırılıp kaplara konularak kurutulması ve ardından şekil verilendirilmesine kerpiç denilmektedir. Tuğlanın pişirilmemiş hali kerpiçtir (Bayraktar, 2006). Kerpiç ilk yapay taştır (Akman, 2003). Yaşanılan çevrede taş bulamayan topluluklar için kerpicing icadı kaçınılmaz hale gelmiştir. İçeriğinde kil bulunan toprağın su ve saman ile karıştırılması ile kerpiç elde edilmektedir. Kilin ve diğer malzemelerin oranı kerpicing dayanımını belirlemektedir. Kerpicing içeriğindeki kumu bağlayıcı olarak iç yapışkanlığını sağlaması amacıyla kil kullanılmıştır. Kerpiç

bloklar kırsal alanlarda geleneksel tekniklerle elde edilerek güneş altında kurutulduktan sonra kullanılan yapı malzemesidir. Tam ve yarım kerpiç halinde en fazla iki kattan oluşan geleneksel yapılarda kullanılmıştır. Kerpicingin rijitliğinin artırılması amacıyla taşıyıcı sistemde ahşap hatıllar kullanılmıştır (Ağan, 2017), (Işık, 2017).

Doğadaki haliyle kullanılmayan, insan eliyle üretimi yapılmış olan, ilkel yöntemlerle veya güneşte pişirilen ve kilden meydana gelen ilk yapı malzemesi pişmiş toprağa özellikle Anadolu, Mezopotamya ve İran coğrafyasında rastlamaktayız (Şekil 3.11). Hem taşıyıcı sistemde hem de süslemelerde kullanımına imkan veren bu malzeme yapısal özelliklerinden dolayı kalıcı bir malzeme olmadığı için birçok medeniyetin bıraktığı eserlerin günümüze ulaşamamasına neden olmuştur (Eriç, 1970).



Şekil 3.11 Geleneksel yöntemle kerpiç üretimi (Acun Özgünler ve Gürdal, 2012) ve Çatalhöyük'te bulunan kerpiç duvarlar (Türkiye Kültür Portalı, 2024)

Bunun yanında sağlıklı bir malzeme olması, duvarların ısıyı toplayıp saklaması, ses izolasyonu sağlaması, yangına dayanıklı olması; kerpicingin günümüzde bile gündemde kalmasına etkindir. Ancak kerpiç duvarlar; neme, sıcaklığa ve rüzgara karşı hassastır. Hava sıcaklığındaki ani değişimler, tuz kristallenmesine bağlı olarak malzemenin bozulmasını hızlandırır. Bundan dolayı kerpiç duvarın temelini aşınmasına sık rastlanır. Kerpiç, suya karşı korunduğu sürece uzun ömürlüdür.

Tarihsel süreçte özellikle sivil mimari yapılarında ucuz ve kolay erişilebilir olmasından dolayı kerpiç tercih edilmiştir. Yangına dayanıklı bir malzeme olan kerpicingin ısı ve ses izolasyonu yüksektir. Ayrıca mozaik, rölyef veya duvar resmi olan anıtsal yapılarda kerpice sık rastlanılmaktadır. Kerpiç yapıların korunması veya hasarlı yapıların kurtarılması diğer yapılara göre daha zor olmaktadır (Kuzuimamlar, 1995), (Özer, 2006).

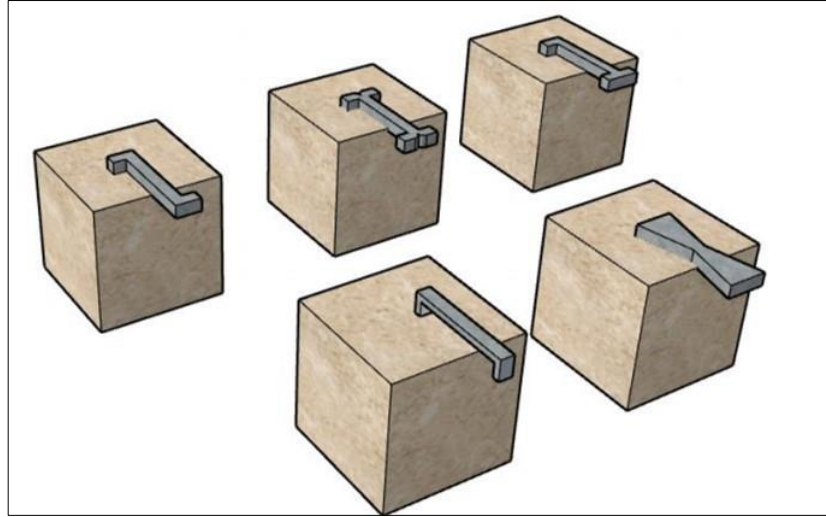
Kerpiç yığma yapılar taş ve tuğladan yapılan yığma yapılarla kıyaslandığında dayanım ve aşınma direnci olarak daha zayıf bir malzemedir. Ancak kerpiç yapıların da sürekli bakımları sağlandığı durumlarda yüzyıllarca ayakta kalması kerpicingin de dayanıklı bir malzeme olduğunu ortaya koymaktadır (Ağan, 2017).

Tüm malzemeler doğru kullanılmadığında beklenen performansı gösteremez. Bu durum kerpiç için de geçerlidir ve tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken bazı durumlar bulunmaktadır. Kerpiç yapıda girinti ve çıkıntı yok denecek kadar az olmalı, yapı kare veya dikdörtgen forma tasarlanmalıdır. Taşıyıcı duvarlar sürekli olmalı ve konumuna göre en az 30-50 cm olmalı, taşıyıcı özellik göstermeyen iç duvarlar ise 15 cm'den daha ince tasarlanmamalıdır. Yapıda bırakılacak pencere gibi boşluklar da deprem riskine göre belli açıklıklarda tasarlanmalıdır (Acun Özgünler ve Gürdal, 2012).

Metal

Yığma tarihi yapılarda malzemeleri gerilmelerden korumak, sistem hasarlarını azaltmak ya da önlemek amacıyla metal yapı elemanları kullanılmıştır. Demir, kurşun gibi metallerin kullanıldığı yapılarda taşıyıcı sistemin dayanımını da arttırmak amaçlanmıştır. Dikiş, gergi, mil, bilezik veya kenet gibi uygulamalar ile yapılara müdahale edilmiştir ve yapı elemanlarının daha sağlam olması amaçlanmıştır (Şekil 3.12). Gergi çubukları kemerlerde veya kemer ayaklarında kullanılan sütunlarda açılmayı önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Malzeme yüzeyinde çeşitli sebeplerle oluşabilecek ayrışmaları ve taşın parçalanması önlemek amacıyla kenetler kenet kullanılmıştır. Bilezik ve miller ise sütunun parçaları ile hareket etmeye devam etmesi ve eksen kaymasının oluşmaması için kullanılmıştır. Kurşun ise tarihi yapılarda çatı kaplaması olarak veya kubbelerde kullanılmıştır ve yapının ve malzemenin korunması amaçlanmıştır (Işık, 2017), (Şekil 3.13).

Kubbe, kemer ve tromplarda kullanılan gergiler kubbenin veya kemerin neden oluşturduğu itkiyi karşılaması amacıyla kullanılmaktadır. Tarihi yapılarda gergiler ahşaptan ya da dökme demirden yapılmıştır (Sesigür, Çelik ve Çılı, 2007).



Şekil 3.12 Tarihi yapılarda görülen kenet biçimleri (Tanrıverdi, Çelik, Ural ve Fırat, 2022)



Şekil 3.13 Metalin tarihi yapılarda kullanımı (2024)

Bağlayıcı harçlar

Taş, ahşap gibi farklı malzemelerden oluşmuş yapı elemanlarını bütünleyen, bir arada olmalarını sağlayan, dış etmenlerden koruyan ve dekoratif özellik gösterebilen malzemeye harç denilmektedir (Kuzuimamlar, 1995). Tarihi yapılarda sıklıkla kullanılmış olan ve toprak, saman ve kendirden elde edilen parçaların suyla yoğrulması ile oluşan karışım, harcın en basit halidir. Harcın daha iyi özellikte olması için içerisine kireç, pişmiş kil veya yumurta akı eklenmiştir (Bayraktar, 2005). Yani “çamur” ilk kullanılan harçtır (Özer, 2006). Tuğla ve kerpicingin yapılarda kullanılmaya başlanması harcın doğmasının vesilesi sayılmaktadır (Dabanlı, 2008). 19. yüzyılın başlarına kadar hidrolik olmayan harçlar kullanılsa da puzolanların keşfedilmesi ile farklı oranlarda karışımlar elde edilerek farklı dayanımlarda harçlar ve sıvalar kullanılmıştır (Kuzuimamlar, 1995).

Kilin pişirme işlemlerinden sonra öğütülmüş halinin kireçle karıştırılması ile Horasan harcı elde edilmiştir (Bayraktar, 2005). Horasan harcının sertleşmesi uzun sürmektedir. Bu nedenle dayanımı için daha uzun süreye ihtiyaç duymaktadır. Horasan harcına eklenen kirecin kalitesi ve diğer malzemelerin büyüklükleri harcın dayanımını etkilemektedir (Kara, 2009). Tarihi yapılardaki kireç harçları; kirecin bağlayıcı malzeme, agregaların ise dolgu malzemesi olarak kullanılması ile elde edilmiştir (Amman, 2012).

Çevresel koşullar ve imkanlar harcın yapım şeklinde kullanımında farklılıklar meydana getirmiştir. Kil, bitüm, saman ve su karışımlarından elde edilen harçlar ilk olarak çatlak oluşumlarında ve yağma elemanlarda yüzeyi düzgünleştirmek için kullanılmıştır. Modern uygulamalara geçilmeden önce alçı ya da kireç taşı kullanılarak veya doğal puzolan ilave edilerek harç elde edilmiştir. Kireç taşının kullanımı beş bin yıl öncesinde Mısırlılara dayanmaktadır. 19. yüzyılda portland çimentosunun üretilmesi ile daha iyi özelliklerde harç eldesi mümkün olmuştur (Yıldırım, 2007).

Tarihsel süreçte harç, bağlayıcı malzeme görevini üstlenmiştir ve taş, tuğla gibi yapı malzemelerini birbirine bağlamıştır. Yapıya etkiyen basıncı dağıtarak ve yağma yapının her bir elemanının bütün olarak davranmasını kolaylaştırmıştır (Gökyiğit Arpacı, 2016), (Sömer, 2014). Kullanılan harcın bağlayıcı özelliği ve taşıma gücünün fazla olması harcın taşıyıcı sistemi güçlendirmesi ve sünek özellik kazanmasını sağlar (Işık, 2017). Günümüzde ise yağma duvarlar dışında daha akışkan hale getirilerek yapıların onarım süreçlerinde ve enjeksiyon uygulamalarında kullanılmaktadır (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

3.3 Tarihi Yapılarda Müdahale Yöntemleri

Mimari mirasımız; yenilenemeyen kaynaklarımızdan biri olan ve geleceğe miras bırakarak emanet etmemiz gereken önemli kültürel miraslarımızdan biridir. Toplumsal sorumluluk bilinci ile mirasın korunması gerekir. Koruma eylemi; özgün yapısını, bütünlüğünü, kendisine kimlik kazandıran niteliklerini bozmadan, estetik ve sanatsal değerini koruyarak tüm bağlamlar çerçevesinde yapılmalıdır. Mimari miras olarak görülen yapı ve yapı grupları için alınacak her müdahale kararı yasal düzenlemelerin,

uluslararası belgelerin ve koruma etiğinin izin verdiği ölçüde bilimsel yaklaşımlar doğrultusunda olmalıdır (ICOMOS, 2013).

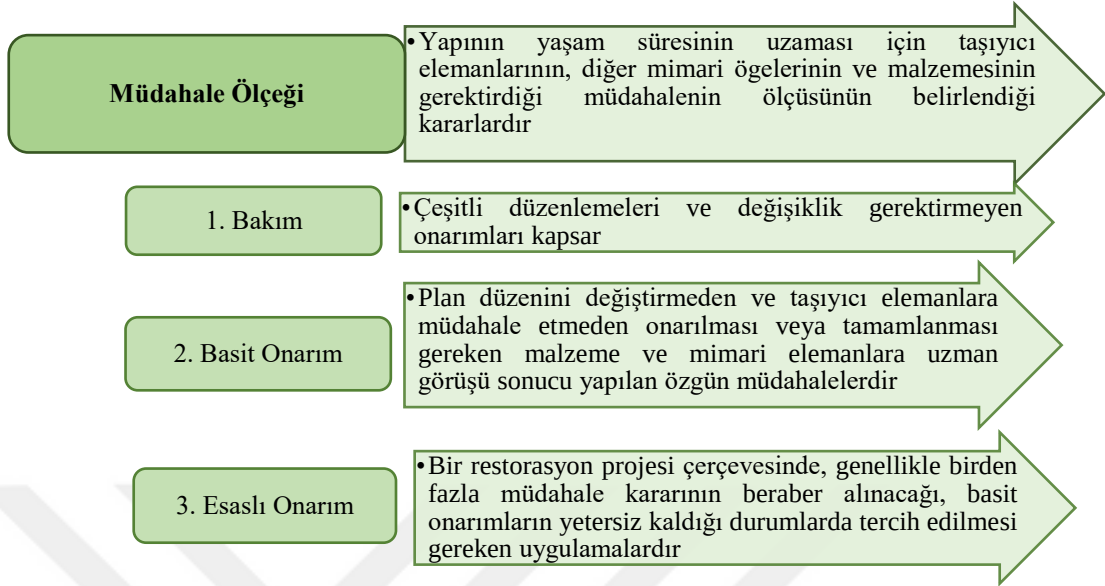
Doğal ve kültürel mirasımız haline gelen değerlerimizi yaşatmak ve koruyarak geleceğe bırakmak ortak sorunlarımız haline gelmiştir. Koruma kavramı ise geliştirme ve değerlendirme kavramları ile birleştirildiğinde önemli olmaktadır. Koruma planlanırken yapıların tespit edilmesi ve tescillerinin ortaya konması ilk aşamayı oluşturmakta ve koruma kültürünün benimsetilmesinde önemli bir görevi üstlenmektedir (Arslan G. , 1991).

Tarihi çevrelerin devamlı korunabilmesi için mevcut tarihi dokunun bütünüyle değerlendirilmesi, yaşatılması ve günümüz koşullarına uyum sağlayacak yeterliliğe kavuşması gerekmektedir. Tarihi çevreler kentin bütününden bağımsız düşünülmemeli, çevrenin farklı değerleri ile korunmalıdır (Ağan, 2017).

Müdahalenin ölçüsü ve biçimine karar verilmeden önce yapının iyi tanınması şarttır. Geçmiş yıllarda korumak kavramı; onararak yapıyı ayakta tutmak, eksik kısımları tamamlamak veya yeni eklerle işlev kazandırmak gibi amaçlara sahip olmuştur. Günümüzde ise tarihi çevre ve yapılar dönemin izlerini, mimari yapım ve tekniklerini gösteren belgeler olarak değerlendirilmektedir. Biçim, strüktür ve malzemesiyle bütün olarak ayakta durabildiği düzeyde koruma eylemi sınırlandırılmıştır (Ahunbay Z. , 1996).

ICOMOS'un (2013) bildirisine göre müdahale, her düzeyde bilimsel yaklaşım ve ilkelerle gerçekleştirilmelidir. Müdahalenin ölçeği yapının ihtiyacına göre belirlenmelidir. Koruma amacıyla müdahale kararı alınmasında özgün niteliklerin bozulmaması ve yapılacak müdahalenin en az düzeyde tutulması esas sayılmıştır. Bildiriye göre müdahale biçimlerinden birkaçı bütüncül olarak uygulanabilir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Müdahale ölçeğinin sınıflandırılması (ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi'nden (2013) yararlanılarak oluşturulmuştur)



Müdahaleye ihtiyaç duyan tarihi yapıların durumlarının tespit edilmesi mevcut bozulma ve hasarların saptanması gerekir. Yapılar tarihi ve mimari açıdan belge niteliği taşıdıklarından dolayı alınacak her müdahale kararı bilimsel çerçeveye oturtulmalıdır. Müdahale ölçeğine göre esaslı onarım kararı alınan tarihi yapılara farklı müdahale yaklaşımları ve biçimleri bulunmaktadır. Ahunbay'a (1996) göre restorasyon sürecindeki anıtların onarımda bir veya birkaç teknik kullanılmalıdır.

Bu teknikler:

- Sağlamlaştırma, bütünleme, yenileme, yeniden yapma (rekonstrüksiyon), temizleme ve taşıma.

Ahunbay (2019) tarihi yapılardaki hasarların nedenleriyle beraber incelendikten sonra alınabilecek önleyici veya koruyucu koruma kararlarını restorasyon tekniklerini genişleterek sınıflandırmıştır. Bu kararlar:

- Sürekli bakım ve risklere hazırlık, sağlamlaştırma, bütünleme, sağlıklılaştırma (rehabilitasyon), yeniden kullanım (uyarlama), temizleme, yeniden yapım (rekonstrüksiyon), çağdaş ek ve taşıma.

ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi'nde (2013) tarihi yapılara müdahalenin ilkeleri açıklanmıştır. Bildirgeye göre müdahaleler; yasal izinler ve projelendirme kapsamında yapılmalı, aşamalar kayıt altına alınarak belgelenmeli genellemelere göre kararlar alınmamalı, özgünlüğün korunması esas alınmalı, yapıya

ve belge değeri taşıyan izlere zarar verilmemeli ve kaldırılabilir yöntemler tercih edilmelidir. Bildiride müdahale kararları müdahale yaklaşımları ve müdahale biçimleri şeklinde sınıflandırılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Müdahale yaklaşımları ve biçimleri (ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi'nden (2013) yararlanılarak oluşturulmuştur)

Müdahale Yaklaşımları	Müdahale Biçimleri
Sağlıklaştırma – rehabilitasyon	Acil koruma önlemleri
Yeniden kullanım	Koruma
Taşıma	Sağlamlaştırma
Anastylosis	Bütünleme
Yeniden yapma	Yapısal iyileştirme
	Güçlendirme

Sağlamlaştırma

ICOMOS (2013) bildirisinde müdahale biçimi olarak yer alan sağlamlaştırma; tarihi yapının yok olma sürecinin engellenmesi veya yavaşlatılması işlemleridir. Bu amaçla yapının taşıyıcı sistemin ve malzeme dayanımının arttırılmasına ve mevcut yapısal özelliklerinin iyileştirilmesine dayanmaktadır. Tarihi yapıların ömrünü uzatmak amacıyla alınacak ilk karar konservasyon ve sağlamlaştırma uygulamalarıdır. Tarihi yığma yapılarda enjeksiyon, dikiş, payandalama ve kesit genişletme yöntemleri ile gergi çubukları, çemberleri ve kuşaklama uygulamaları ile sağlamlaştırma yapılabilir (Ahunbay Z. , 2019). Sağlamlaştırma; malzeme, taşıyıcı sistem ve yapı zemini olarak uygulanabilir (Ahunbay Z. , 1996). Sağlamlaştırma ile yapı ilk tasarımdaki taşıma kapasitesine ulaştırılmaya çalışılır. Güçlendirme ise sağlamlaştırmadan farklı olarak taşıyıcı elemanın veya sistemin ilk halinden daha iyi konuma gelmesi amacıyla yapılmaktadır (Zakar, 2013).

Sağlamlaştırma uygulamasında yapısal bütünlüğe saygı gösterilerek biçim korunmalıdır. Geleneksel yöntemlerin sorunu çözmede yetersiz olduğu durumda modern teknikler uygulanabilir. Bu teknikler geri alınabilir, proje ölçeğine uygun, iklimsel verilerle uyum sağlayabilecek ve yeterliliği kanıtlanmış teknikler olmalıdır (Feilden, 2003).

Bütünleme

Bütünleme, çeşitli nedenlerle hasar alarak bir kısmı yok olan ve tamamı günümüze ulaşmayan yapıların ve kent dokularının ilk halindeki estetik bütünlüğüne getirilmesi, tekrar kullanılması ve yapısal güvenliklerinin sağlanması için yapılan uygulamalardır. Yapının eski haline yani ilk tasarıma ait güvenilir belgelerin, fotoğrafların veya yapının rölövesinin olması bütünlemeyi kolaylaştırmaktadır. Somut verilere dayanmayan ve tahminler üzerinden bütünleme kararları alınmamalıdır (Ahunbay Z. , 2019). Venedik Tüzüğü'nde (1964) eksik olan bölümlerin onarımında bütünle uyum sağlanırken yapının sanatsal ve tarihi tanıklığının da doğru yansıtılması için özgün olan halinden ayırt edilebilecek şekilde tamamlanmasına yer verilmiştir. Bütünleme farklı malzeme ile yapılabildiği gibi benzer veya aynı malzeme kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Dokusunda, renginde veya hizasında yapılacak farklılıklar ile aynı malzeme ile bütünleme gerçekleştirilebilir (Zakar, 2013).

Yenileme ve yeniden işlevlendirme

Yenileme; yapının elemanlarında, bileşenlerinde veya taşıyıcı sisteminde gerçekleştirilen kısmen ya da bütüncül olan eylemlerdir. Yenilemeye malzeme dayanımının yetersiz olduğu, sağlamlaştırma uygulamasının mümkün veya yeterli olmayacağı durumlarda başvurulur. Malzemenin veya yapı elemanının özgün halinin yeni malzeme veya elemanla değiştirilmesi uygulaması olan yenileme kararı en az olacak ölçüde alınmalıdır. Ayrıca eski ile yeni arasında uyum ve benzerlik ilişkisinin kurulması gerekli olmaktadır (Zakar, 2013).

Zamanla yaşam biçimlerinin değişiminin kaçılmaz olması tarihi yapıların işlevsiz kalmasına neden olmaktadır (Ahunbay Z. , 1996). Özgün işlevini devam ettiremeyen tarihi yapıların korunması ve yaşamda yeniden yer bulabilmesi amacıyla farklı kullanım alanlarında yeniden değerlendirilmektedir (Halifeoğlu, ve diğerleri, 2020). Çoğu yapının günümüzde özel durumlar harici ilk işlevlerini devam ettirmeleri mümkün olmamaktadır. Özgün işlevlerini günümüzde de devam ettirebilen konut, otel gibi yapılar beklenen konfor ihtiyacını karşılamaktan uzak durumda kalarak terk edilirler. Bu nedenle farkı amaçla kullanılmaları gerekir (Ahunbay Z. , 1996).

ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi'ne (2013) göre yeniden kullanım kararı alınan yapılarda kabul edilebilir seviyede yaşam standardı olmalıdır ve yapılar bütünlük, özgünlük ile anlam hususunda saygı görmelidir.

Yeniden yapım (Rekonstrüksiyon)

Yeniden yapım özel durumlarda yapılması kabul edilen, belgelere dayandırılarak yapılan tümüyle yıkılıp yok olan ya da harap durumda bulunan anıtın veya sitin yenide yapılmasıdır. Bir kopya olarak yenide yapılan yapı, anıtın yerini almamakta ve sadece biçimsel olarak yapıyı canlandırmaktadır. Yani tarihi değer taşımamaktadır. Deprem, savaş gibi durumlar yeniden yapımı gerektiren durumları meydana getirebilmektedir (Ahunbay Z. , 1996).

ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi'ne (2013) göre yeniden yapım kararı alınması için yapının toplumun hafızasında güncelliğini koruması, toplumsal açıdan vazgeçilemez seviyede olması, kültürel çevresine tarihi katkılarının olması, kentsel bağlamının hala korunuyor olması gerekmektedir. Bildiride anastylosis kararının yeniden yapımı gerektirmediğine yer verilmiştir. Anastylosis kavramı mimari mirasın dağınık parçalarının bir araya getirilmesi, anıt hakkında fikir oluşturması ve bütünlüğü kavuşturulması için yapılan sınırlı müdahale ve ekler olarak tanımlanmıştır.

Taşıma

Kültür mirası haline gelen varlıkların ve parçaların özgün çevresinden koparılarak taşınması ve başka bir konuma götürülmesidir. Taşınmaz kültür varlıklarının ait oldukları yerlerde korunmaları esas olmasına rağmen önlenemeyen bir tehdit durumunda, belge ve projelere göre yapılan nakil işlemleridir. Yapının korunabilmesi başka seçeneğin mümkün olmaması gerekmektedir. Yapı bütünlüğünün korunarak taşınmadığı durumlarda yapı taşınabilecek düzeyde bileşenlerine ayrılmaktadır. Nakil sonrası yapı yeniden birleştirilmektedir.

3.4 Tarihi Yapılarda Meydana Gelen Yapısal Sorunlar ve Hasarlar

Onarım kararı alınan tarihi yapılara müdahale edilmeden önce yapının tüm özellikleri ile tanınması, hasara yol açan nedenlerin araştırılması gerekmektedir. Yüzeysel değerlendirmeler ile sorunun kökenine inilmeden alınan müdahale kararları yeterli olmayacaktır. Bu nedenle tarihi yapılarda kullanılan geleneksel malzemeler tanınmalı ve her dönemin yapım tekniği bilinmelidir. Yapı sisteminde hasarın ne şartlarda ve nerelerde görüldüğü, sistemin bulunduğu koşullara göre nasıl çalıştığı belirlenmeden yapıya doğru müdahale edilmesi mümkün olmamaktadır. Yapıların kullanım ömrü boyunca kullanılan malzemelerin belli bir kullanım süreleri olduğu için çeşitli onarımlara ve hatta yenilenmeye ihtiyaç duymaktadırlar (Zakar, 2013).

3.4.1 Yapısal sorunların ve hasarların nedenleri

Fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik olmak üzere bütün malzemeler farklı özelliklere sahiptir. Yapısal sorunlara ve hasara yol açacak ortam etkilerine karşı koyamayan malzemelerde eskimeler başlamaktadır. Çatlama ve aşınma gibi fiziksel eskimelerle beraber kimyasal veya biyolojik tahribatlar da gelişebilmektedir (Kuşaslan, 2002). Karşılaşılan malzeme sorunları farklılık göstermektedir. Fonksiyonu, kalıcılık değeri, yapım tekniği, geçirdiği onarımlar ve çevresinin özellikleri gibi etkenlerle farklılaşmaktadır. Tarihi yapılardaki hasarlar genellikle üç ana nedenden kaynaklanmaktadır. Bu nedenler yük dengesizliği sonucu oluşan hareketlenme, nemlenme, biyolojik ve kimyasal etkilerdir. Genellikle birbirini etkileyerek ve etkilerini şiddetlendirerek gelişen hasarlara neden olurlar. Özellikle nemlenme problemi ile birleşen hasarlar çok daha hızlı ve büyük tahribatlar meydana getirirler (Kuzuimamlar, 1995).

Tarihi yığma yapılarda kullanılan malzemelerde çekme dayanımı düşük iken basınç dayanımı ise yüksektir. Taş, tuğla, kerpiç gibi deformasyon yeteneği yetersiz olan malzemeler gevrek özellik gösterdikleri için sismik hareketlerden ya da zeminde yaşanan değişimlerden dolayı oluşmuş çekme gerilmelerine karşı koyamamaktadır. Bu durum duvar, kubbe, ayak gibi tüm taşıyıcılarda çatlakların veya başka hasarların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca süreç içerisinde atmosfer olaylarının ıslanma- kuruma ve donma-çözülme şeklinde devinimler yaratması, çevresel kirlilik, yeterli bilgi sahibi olmadan bilinçsizce yapılan kullanım hataları ve hatalı müdahale

onarımları yapılarda ciddi zararlar yaratmaktadır. Taşıma kapasitesi azalan yapının ömrü kısalmaktadır (Aköz F. , 2005).

Tarihi yapının bulunduğu çevre, coğrafik konumu hasarların daha hızlı gelişmesine neden olabilmektedir (Hasbay ve Hattap, 2017). Karakuş'a (2012) göre zemin sorunları, doğal afetler, çevrenin ve doğanın yarattığı koşullar, fiziksel ve kimyasal etkenler ile insanların neden olduğu durumlar gibi faktörler tarihi yapıların ayakta kalma süresini kısaltan hasarlar meydana getirmektedir. Ayrıca pek çok yapının strüktürü de iyi durumda değildir. Işık'a (2017) göre yapıları etkileyen değişikliklerle beraber taşıyıcı sistemde oluşan hasarlar en önemli sorunlardır. Taşıyıcı sistemdeki hasarlar; zemin ve temel yapısından kaynaklanan yapısal sorunlar ile malzeme kayıpları, doğru olmayan müdahaleler, imar düzenlemeleri gibi birçok etkenden kaynaklanmaktadır. Kısmi ya da bütünsel hasarlar strüktürde tehdit oluşturacak sorunlara zemin hazırlamaktadır.

Tarihi yapılarda kullanılan taş malzemedeki bozunmalar, kayaçların kendi jeolojik uğradıkları bozunmalara benzemektedir. Kayacın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dışarıdan ve içeriden oluşan etkilerin özellikleri bozunma türünü etkilemektedir. Taşlarda ise beraber etkili olmakla beraber fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok neden etkili olmaktadır (Öcal ve Dal, 2012).

Hasar nedenleri belirlenirken yapının bütün olarak ele alınması gerekir. Çünkü yapıyı etkileyen durumların birbiri ile olan ilişkileri etken olabilmektedir. Derz boşalmaları ısı değişimi sonucu çözülen su ve tuzların etkisiyle veya aşırı yük bindirilen blokların kayması ile meydana gelmektedir. Böylece farklı sorunlar aynı sonucu meydana getirebilmektedir (Vatan Kaptan, 2010).

Zemin yapısı

Tarihsel süreçte temellerin yapım tekniği ve malzeme çeşidi ile yapıda kullanılan teknik ve malzeme ile aynıydı (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016). Yüzlerce yıl öncesine ait olan tarihi yapıların konumlandıkları yerler zeminin türüne uygun olarak seçilmediğinden afetler sonucunda bu yapılarda hasarlar meydana gelebilmektedir (Vatan ve Arun, 2010). Ancak toprağın türüne göre de bazı

önlemler alınmıştır. Yumuşak topraklarda sert yapı, kaya gibi sert topraklarda ise esnek davranan bir yapı tercih edilmiştir. Bu esneklik küçük taş bloklar ile veya dairesel kesitli ahşap bloklar ile sağlanmıştır ve zeminin doğal frekansının değiştirilmesi amaçlanmıştır. Zayıf zeminde kullanılan ahşap blokların (kazıklar) üzerine kireç harcı dökülmüş ve üzerine yapı temeli inşa edilmiştir. Sert zeminlerde ise küçük taşlardan yapılan ve yastık görevi gören bir tabakaya yapı temeli oturtulmuştur (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

Yapının altında zeminin düşük mukavemetli olması veya zemin tabakasının homojen dağılım göstermemesi gibi durumlarda yapılarda bazı hasarlar zamanla gözlemlenebilir. Oturma, çatlama gibi bazı hasarlar ve yapının dönmesi gibi hareketler yaşanabilir. Çatlakların oluşum yerleri ve doğrultuları zeminden kaynaklanan çatlaklara işaret etmektedir (Şekil 3.14). Yapının oturduğu zemin kenarlardan sağlam iken orta kısımda gevşek zemin mevcut ise kapı ve pencerelerin köşelerinde çatlaklar gözlemlenebilir. Tam tersi durumda sadece orta zemin sağlam özellikte ise aşağıdan başlayarak yukarı yönde açılan çatlaklar gözlemlenebilir. Fay hattına yakın zeminde ya da yapısında çatlak bulunan bir kayaya inşa edilen yapılarda hasar riski artmaktadır. Ayrıca yeraltı suları ve diğer su kaynakları hasar riskini zemini etkiledikleri için arttırmaktadır. Su, temelin altında yarattığı basınç ile toprağı süpürerek temelin dayanımını yok etmekte veya yapı içerisinde yarattığı nem ile strüktürü ve yapıda kullanılan malzemeyi etkilemektedir. Sudan dolayı oluşan nem ile ıslanan strüktüre ek yük gelmektedir (Ahunbay Z. , 1996), (Kuşaslan, 2002).

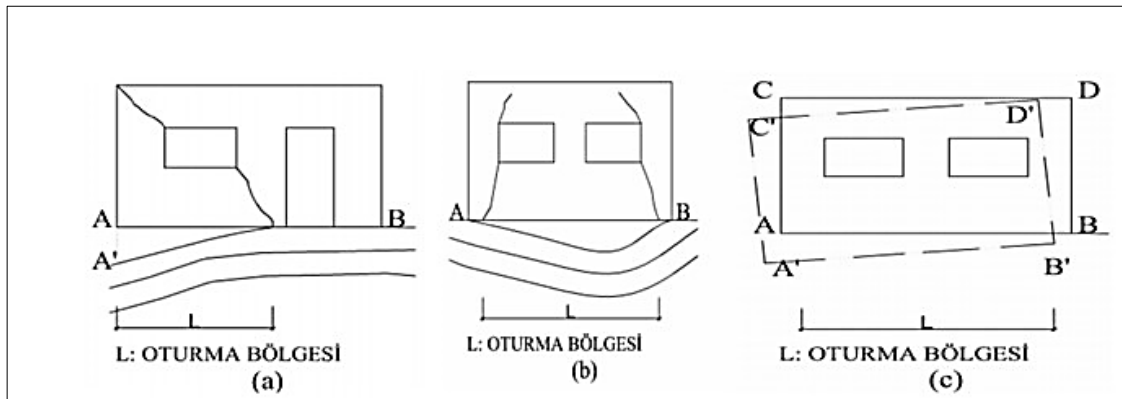


Şekil 3.14 Zemin kaynaklı çatlak oluşumları (Kuşaslan, 2002)

Oturma nedeniyle harekete maruz kalan yapıda; ezilme, çökme, çatlak oluşumu, yapı elemanlarında dönme, yer değiştirme veya devrilme gibi hasarlar gelişebilir. Hasarlar oturmanın türüne göre değişebilir. Oturmalar düzgün ve farklı oturmalar olarak sınıflandırılabilir:

- *Düzgün (uniform) oturmalar:* Sıkışan temel tabanının çatlak oluşturmaması için ilk haline paralel düzlemde düzgün (uniform) olarak adlandırılan oturma yapmalıdır. Yapı düzlemine paralel olmayan bir temel tabanı ile karşılaşılan durumlarda yapıda yatmalar görülür ya da yapı devrilir. Sehim gözlenmeyecek kadar rijit olmayan yapıların üst kısmında çatlak oluşumu da görülebilmektedir (Işık, 2017), (Namlı, 2001).
- *Farklı oturmalar:* Meydana getirdiği hasarlar bakımından tehlike arz eden oturmalarlardır. Tek taraflı oturma, duvarların bel vermesi, zemin aksının yanlara kayması ve bunların sonucunda çatlak oluşumu gibi sonuçlar doğurmaktadır (Mahrabel, 2006).

Farklı oturmalarla yer verilmiştir (Şekil 3.15). İlk çizimde sadece A-A' noktasında oturma meydana gelmiş ve çatlama oluşmuştur (Şekil 3.15-a). İkinci çizimde her iki noktada oluşan oturma sonucu iki tarafta da çatlamlar oluşmuştur (Şekil 3.15-b). Son çizimde ise farklı oturmalarla maruz kalan A ve B noktalarına sahip yapı yer değiştirmiştir (Şekil 3.15-c).



Şekil 3.15 Oturma hasarı türleri (Vatan Kaptan, 2010)

Zemin, yapı olarak hem katı hem de katı olmayan katmanlardan meydana gelmektedir. Tanecik boyutu, kohezyon, suyu ve havayı geçirebilme oranı, kılcallığı ve işlenebilirlik durumu olarak zeminler sınıflandırılmaktadır. Zemini oluşturan katı

maddelerin tanelerinin boyutsal oranı zeminin nasıl davranacağı belirleyen önemli bir etmendir. Bu durum zeminin su hareketliliğini etkilemektedir (Pala ve Koç, 2022).

Yeraltı su seviyesinin düşmesi veya yükselmesi yapı zemininin davranışını etkilemektedir. Tarihi çevrede yapılar kazılar sonucu yeraltı su seviyesinin düşmektedir. Tarihi yapıların zeminine ek yük oluşmasına neden olan su seviyesinin alçalmasıyla zemindeki taneler suyu emer ve ağırlıklarında artış yaşanır. Artan ağırlık nedeniyle meydana gelen oturmalar sonucu çatlaklar oluşur. Ayrıca yeraltı su seviyesi azalınca zemin kurur ve kuruyan zeminde rötre (büzülme) görülür. Rötre sonucunda zeminler hacim olarak küçülür ve oturmalar da boyutsal olarak büyür. Yeraltı su seviyesi yükselince zeminin boşluk olan yerlerine su dolar ve zemin dolgunlaşır. Doygun zeminin yumuşaması sonucu kayma direnci ve taşıma kapasitesi azalan zeminde yine oturmalar meydana gelir. Oturmaların belli bir değeri aşması sonucu çatlaklar oluşur (Namlı, 2001).

Taşıyıcı sistemde yükün artmasına neden olacak masif duvarların delinmesi veya zeminin yük dengesini bozacak aşırı yüklenme gibi durumlarda zorlanan zeminde göçmeler oluşmaktadır. Göçme sonucu yapıda çatlaklar oluşmaktadır (Namlı, 2001). Zeminin çeşitli nedenlerle ıslanması sonucu göçmeler ve oturmalar meydana gelir. Yeterli düzeyde drenajı sağlanmayan temel alt tabakasındaki zemin özellikle killi ve siltli bir içeriğe sahipse küçük tanecikler taşınır ve sıvılaşan zemin sonucu kısmi göçmeler meydana gelir. Ahşap kazık ve ızgaranın kullanıldığı tarihi zeminlerde çoğunlukla su içerisindedir. Yeraltı su seviyesi azalınca yumuşak zeminde tercih edilen ahşap kazıkların hava ile teması sonucu malzeme çürür ve temel oturmasına neden olmaktadır. Diğer bir ıslanma nedeni ise tarihi yapıların çevresinde deprem, heyelan veya toprak kaymasının yaşanmasıdır. Ayrıca depremin yarattığı sismik hareketlilik zeminden yapıya iletilir ve yapıda oluşan titreşim sonucu hem yapı zorlanır hem de zemin sıvılaşır (Namlı, 2001).

Oturmalar sonucu kemer mesnetleri hareket edebilir. Bu durumda kubbe ve tonozlarda çatlaklar meydana gelir. Kemer, kubbe ya da tonoz mesnetlerindeki itki zamanla azalır ya da yok olursa bu yapı elemanlarının yıkılmasına neden olabilir. Ayrıca oturmalar sonucu sütunlarda dönme veya eksen kayması meydana gelir ve sütunu oluşturan

bloklar yeterli sürtünme kuvveti ile karşı koyamaz ise yıkılma meydana gelebilir (Şekil 3.16). Genellikle sütunlardaki blokların yıkılmasını önlemek amacıyla gergi elemanları kullanılmaktadır (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

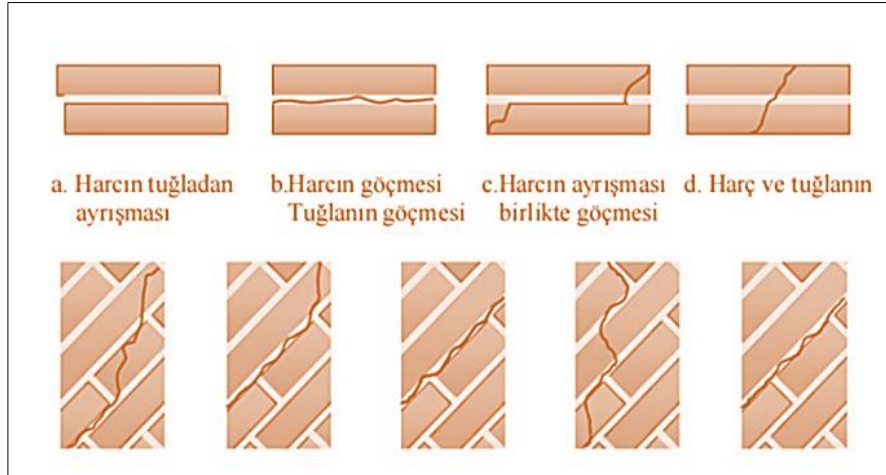


Şekil 3.16 Diyarbakir Behram Paşa Cami sütunlarında eksen kayması sorunu (Budak ve Işık , 2023)

Deprem (Yer sarsıntısı)

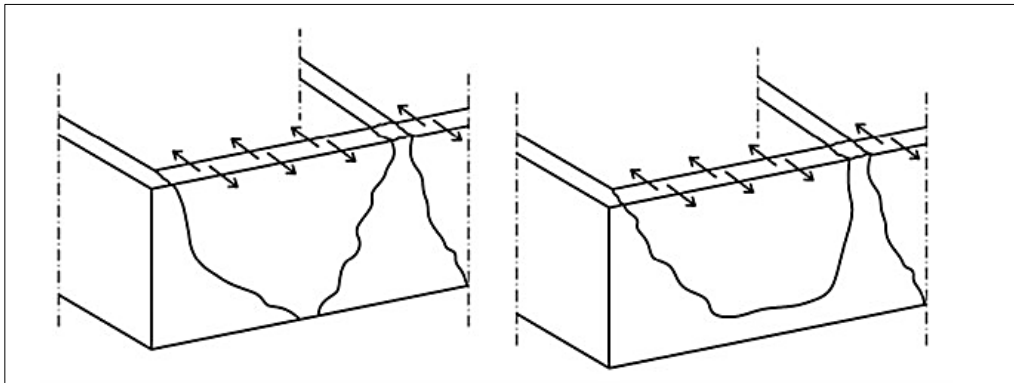
Anıtsal yapılar mimari, estetik ve tarihi değerleri ile uzun yıllar ayakta kalarak belge görevi gören yapılardır. Birçok doğal afete maruz kalan anıtsal yapılar için depremin etkisi ile oluşabilecek hasarlar risk ögesi olmuştur.

Taş, kerpiç, ahşap gibi doğal malzemelerle inşa edilen tarihi yapıların rijit özellikleri zayıftır. Ağır kütleleri ve zemin hareketleri nedeniyle oturma hasarları yapılarda meydana gelmektedir. Oturmalar nedeniyle deprem etkisi büyük bir problem yaratmış, kısmen ya da tamamen yıkımlar oluşmuştur (Kara, 2009). Malzemenin dayanım gücü ile taşıyıcı elemanların birleştirilme biçimi yığma yapıların düşeydeki yüklere ve deprem yüküne dayanımını etkilemektedir. Deprem nedeniyle yığma yapılarda kesme çatlakları oluşabilir, yapı devrilebilir, duvarlar ve döşemeler birleşim yerlerinden ve köşe noktalarından ayrılıp yıkabilir (Arun, 2005), (Özsaraç, 2009). Çekme gerilmeleri sonucu çatlak oluşumu, ayrılmalar ve dağılma hasarı görülebilmektedir. Şekil 3.17’te görülen yığma duvar tuğla ve harçtan oluşmaktadır. Bu duvarda kayma ve çekme gerilmelerinin etkisi ile oluşabilecek göçmeler örneklendirilmiştir. Üst sıradaki şekillerde sırası ile harcın tuğladan ayrışması, harç ve tuğlanın göçmesi, harcın ayrışması ve tuğlanın göçmesi ile ikisinin beraber ayrışması gösterilmiştir (Aköz H. , 2008), (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Tuğla duvardaki göçme örnekleri (Aköz H. , 2008)

Tarihi yığma yapılarda deprem anında duvarlarda oluşan kesme gerilmeleri kullanılan malzemenin kesme dayanımından fazla olursa çatlaklar meydana gelmektedir. Pencere ve kapı açıklığı yer almayan duvarlarda dış yüklerin etkisi ile diyagonal çatlaklar (x şeklinde kayma çatlakları) meydana gelmektedir. Deprem gibi titreşim yayan kuvvetlerin etkisi sürdükçe yer değiştirmeler artmaktadır. Titreşim nedeniyle yığma sistemdeki duvarların rijitliği azalmaktadır. Kalınlığı az olan duvarlar diyagonal çatlakların etkisi ile yıkılır ve bu durum duvarın yitirilmesi ile sonuçlanabilir (Arun, 2005). Ancak her iki yüzde de çatlak devam etmiyorsa kalın duvarlarda bu çatlaklar riskli hasarlar olmayabilir. Dik olarak kesişen iki duvarda birbirleri üzerinde eğilme ve çekme kuvvetleri oluşur. Yatayda uygulanan kuvvet sonucu duvarların birleşimlerinin üst noktasında çatlak mevcutsa eğer duvarın bitimine kadar çatlak oluşumu gelişebilir veya diyagonal çatlak oluşabilir (Şekil 3.18). Duvarlar düzlemler çıkıp devrilebilir. Bu durum birbirine dik olarak kesişen duvarlarda yatay doğrultuda hatıl, bağ kirişi gibi bir eleman kullanılmadığı durumlarda gözlenmektedir (Vatan Kaptan, 2010).



Şekil 3.18 Dik olarak kesişen iki duvarda çatlak oluşumu (Vatan Kaptan, 2010)

Kırılma hasarı, genellikle taş parçalarının birbirinden ayrılarak düşmeden yerinde kalmasıyla malzeme yüzeyinde boydan boya ilerleyen hasarlardır. Çoğunlukla kılcal çatlakların ilerlemesiyle gelişen kırılmalar deprem ve diğer birçok kuvvetin etkisi oluşabilmektedir (Öcal ve Dal, 2012).

Dolaylı olarak veya doğrudan deprem etkisi ile ekseninden ayrılan kemer, tonoz, kubbe gibi taşıyıcı sistem elemanlarında çatlaklar oluşur. Destek elemanı olan payanda ekleyerek olumsuz durum giderilmeye çalışılmıştır. Payandalama yapılırken duvar yüzeyine tek noktadan destek oluşturulmamalı, geniş bir uygulama yapılmalı ve cephe tasarımının bozulmamasına dikkat edilmelidir. Bir diğer taşıyıcı eleman olan sütunlarda ise gergi çubukları ve çemberi kullanılabilir (Mahrabel, 2006).

Özsaraç'a göre (2009) deprem etkisi ile yığma yapılarda oluşan hasarların ağırlıklı olarak bazı nedenleri bulunmaktadır. Deprem yönetmeliğine uygun kararlar alınması, yapıların ağırlığının fazla olması, yataydan gelen yüklerin büyüklüğünün tahmin edilememesi, simetrik plana sahip olmayan yapıların varlığı, duvarların üst katlarda aynen devam etmemesi, çekme mukavemeti düşük harçların kullanılması ve yapı elemanlarının düşük mukavemete sahip olması bu nedenler arasında sıralanmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Uygulama Merkezinin yığma yapılar için hasar tespitinde yardımcı olması amacıyla hazırlanan verilere yer verilmiştir (Tablo 3.4).

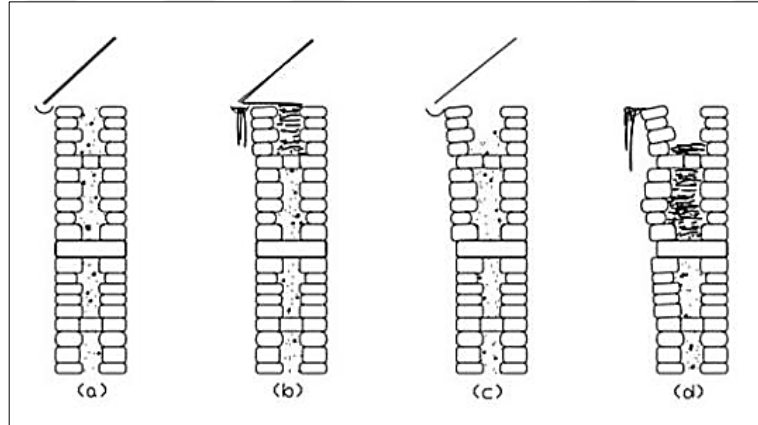
Tablo 3.4 Yığma yapılar için hasar kriterleri (Özsaraç, 2009)

Çatlak Genişliği	Hasar Derecesi	Açıklama
0.1 mm'den az	Önemsiz	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0. 1 mm ~ 0.3 mm	Önemsiz ~az	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0. 3 mm ~ 1.0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir
1. 0 mm ~ 2. 0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir
5.0mm~ 15.0 mm	Orta ~ Ağır	Pencere ve kapılar sıkışır. Su ve kanal bağlantıları kırılır Yapı içine su ve soğuk girer. Pencere camları kırılır Tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çöker. Kabul edilemez çatlak sınırına ulaşmıştır
15.0mm ~25.0mm	Ağır	Yapının taşıyıcılığı büyük tehlike altındadır. Önemli tamir ve takviyeler gereklidir
25.0mm'den çok	Çok ağır	Yapıda ağır hasar mevcuttur, çok önemli takviye veya yıkım gereklidir

Doğa koşulları

Tarihi yapılarda kullanılan malzemeye etki ederek yapının hasar almasına neden olan başlıca etkenlerden bir diğeri doğanın yıpratıcı etkileridir. Güneş ışığı, hava olayları, su ve rüzgar gibi iklime bağlı olarak değişen etmenler başlıca doğa koşullarındandır.

Yapılar doğanın farklı etkileri altında uzun yıllar kalarak yıpranma sürecine girerler. Sürekli olarak bakımları sağlanamayan yapılarda hasarlar oluşur. Yaz mevsiminin yüksek sıcaklığı altında genleşen malzemeler kışın donarak belli bir donma-çözünme döngüsüne girerler. Yaşanan bu ısı farkları ile yorulan malzemeler yıpranır. Yapıda var olan çatlaklara su dolduğunda eğer don olayı yaşanırsa çatlaklar büyür ve malzemede parça kopmaları yaşanabilir (Ahunbay Z. , 1996). Çatlaklara nüfuz eden buz, hacmi arttırdığı için uyguladığı basınçla yapılardaki çatlak genişliğini artırır ve müdahale edilmezse malzeme profilinin bozulmasına neden olabilir (Zakar, 2013). Bu durum özellikle taş yapılarda malzemenin mukavemetinin azalmasına ve strüktürün olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Şekil 3.19). Ayrıca taş yapılardaki harç kayıpları ve kerpiç yapılardaki sıcaklık değişimlerinde kaynaklanan malzeme hasarları sonucu oluşan güç kaybı tüm sistemi etkilemektedir (Işık, 2017).



Şekil 3.19 Yığma duvarda don olayının etkisiyle yaşanan hasar (Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch, 2002)

Kuzuimamlar'a (1995) göre nem yapıya üç farklı kaynaktan ulaşabilmektedir:

- Gözenekli yapıda olan malzemeye zeminden ulaşan nem,
- Yağmur sularını yapı elemanlarından uzaklaştırması gereken örtü veya kabuk sistemlerinin işlevini yerine getirememesi,
- Havadaki nemin yapı malzemelerinin hem yüzeyine hem de iç yapısına kapilarite ile nüfuz etmesi.

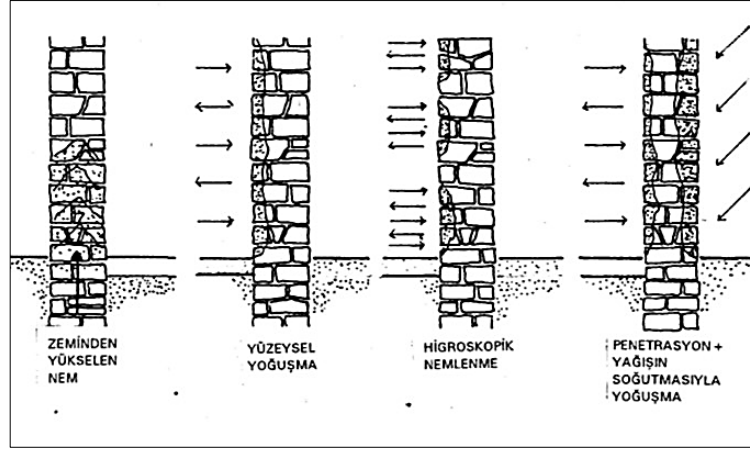
Yağmur, don, zemin suyu gibi olaylarla yapıyı etkileyen ve hasara yol açan su; malzemenin neme olan doygunluğunu arttırmaktadır. Yapının çatısından temeline kadar etki gösterebilen ve birçok noktada çatlak gibi açıklıklardan malzemeye nüfuz edebilir (Zakar, 2013). Nem etkisi ile ıslanan strüktür ağırlaşır ve taşıyıcı sistem üzerinde yük artışı meydana gelir. Nem ile ıslanan yüzeylerde buharlaşma sonrası tuzlanma sorunu yaşanmaktadır. Ayrıca yığma yapıda nemin varlığı renk değişimine, malzemede küflenme ve çürüme hasarlarına, mantar ve diğer biyolojik canlıların varlığına neden olmaktadır (Vatan Kaptan, 2010). Bu durum hem fiziksel hem de kimyasal olarak malzemenin yapısını bozan etkilere sahiptir (Ahunbay Z. , 1996).

Şekil 3.20’de tuğla duvarda nem sorunundan kaynaklı hasarlar meydana gelmiştir. Tuğla gözenekli yapısı sayesinde ısı yalıtımı yapabilen bir malzemedir. Nem sorunun yaşanan tuğla malzemede gözenekler su ile tılandığı için yalıtım özelliğini sürdürememektedir. Beraberinde tuzlanma, leke oluşumu ve yosunlaşma gibi hasarlar da oluşmaktadır (Pala ve Koç, 2022).



Şekil 3.20 Tuğla duvarda nem sorunundan kaynaklanan hasarlar (Pala ve Koç, 2022)

Zeminden kaynaklanan nemlenme diğer tür nemlenmelerden belirgin olarak farklıdır (Şekil 3.21). Zemine uzak kalan duvarın üst kısımlarında hasar oluşmaz, sadece alt kısımlarda sıva dökülmesi gibi hasarlar görülür. Ayrıca zeminden su ile yükselen bakteriler, çürümüş otlar ve küf halindeki organizmalar duvar üzerine yerleşir ve buharlaşma sonrası yüzeye yapışır (Kuzuimamlar, 1995).



Şekil 3.21 Farklı etkenlerle oluşan nemlenme hasarının duvar kesitindeki etkileri (Kuzuimamlar, 1995).

Yapı malzemesi olan kerpiç, su ve nem etkisi ile en fazla hasara uğramaktadır. Gözenekli yapısından dolayı zemin suyu yapının en üst konumuna kadar kılcal boşluklardan çıkarak ulaşabilmektedir. Yumuşayan kerpiç yüzeyi aşındırıcı etkilerle bozulmaktadır. Rüzgar erozyonu aşındırıcı etkilerden biridir. Ayrışma ve ufalanmalara neden olan su ve nem etkisi ayrıca kerpicing yapısında bulunan toprağın içerisindeki tuzların da çözünmesine neden olmaktadır. Çözünerek zamanla malzeme yüzeyine ulaşan tuzlar malzemede parça kopmalarına yol açmaktadır (Ağan, 2017). Taş bünyesindeki tuz da benzer şekilde hasarlara neden olmaktadır. Kılcal çatlaklar ile taş yüzeyine taşınan tuz kristalleri taşın basıncını arttırmaktadır. Artan basınç sonucu çatlak oluşumu, kabuklanma veya pullanma meydana gelebilir. Kabuklanma sonrası yüzeyde ufalanmalar görülebilir (Çetin, 2015).

Boşluklu ve homojen olmayan bir yapıda olan taş yüzeyinde farklı sertlik değerlerine sahip noktalar bulunmaktadır. Boşluklu yapısı nedeniyle taşın içine giren su mekanik olarak taşı aşındıracağı için zamanla taş kesitinin incelmeye ve malzeme kayıplarına yol açmaktadır. Tuğla malzemede ise su ve nem etkisiyle meydana gelen donma ve çözünme olayları sonucu oluşan çatlaklar en fazla hasara neden olan etmendir (Ağan, 2017).

Doğa koşullarının atmosferik etkisine açık olan ahşap malzeme yüzeyi yağmur, rüzgar, güneşin UV etkisi, sıcaklık farkları, rutubet değişimleri ve oksijen miktarından etkilenmektedir. Bu etkiler altında ahşabın görünüm değişir ve birleşim detayları bozulur. Lif dokusu deforme olur ve yarılma, çatlama, burulma gibi birçok fiziksel

deformasyona uğrar. Fiziksel deformasyonlar kimyasal ve biyolojik bozulmalarla beraber oluşur ve ilerler (Kuşaslan, 2002). Nem sorunu ahşabın mekanik özellikleri açısından güçlü bir etkiye Isı değişimleri ve nem ahşabın iç yapısında hasar meydana getirirken ışık etkisi çoğu zaman yüzeysel hasarlarla sınırlı kalmaktadır (Ağan, 2017), (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Cumbaların ahşap elemanlarındaki yapısal sorunlar, renk değişimleri ve dokusal hasarlar (2024)

Cephede kullanılan sıvalar ile çatılardaki kaplamalar yağmurun ve sıcaklık değişimlerinin etkisiyle ıslanıp kuruma süreçlerini tekrarlı bir şekilde yaşamaktadırlar. Bu sonucunda da yaşanan hacimsel değişimler harç ve sıvaların çatlamasına yol açmaktadır. Dış kabuktaki çatlaklardan içeriye sızan su ve nem etkisiyle hasarların düzeyi artmaktadır (Ekşi Akbulut, 2006).

Tarihi yapılarda çatıda, minarede, şadırvanda, korkuluklarda, kenetlerde, gergi çubukları vb. alanlarda metal malzemeler kullanılmaktadır (Şekil 3.23). Metalin su veya nem ile teması sonucu oksitlenmesi ile paslanma olayı gerçekleşir. Paslanan metallerin yüzeyde bıraktığı renk ve metalin kesit olarak büyümesi sonucu çatlaklar oluşturması nedeniyle yapılar hasar almaktadır (Vatan Kaptan, 2010).



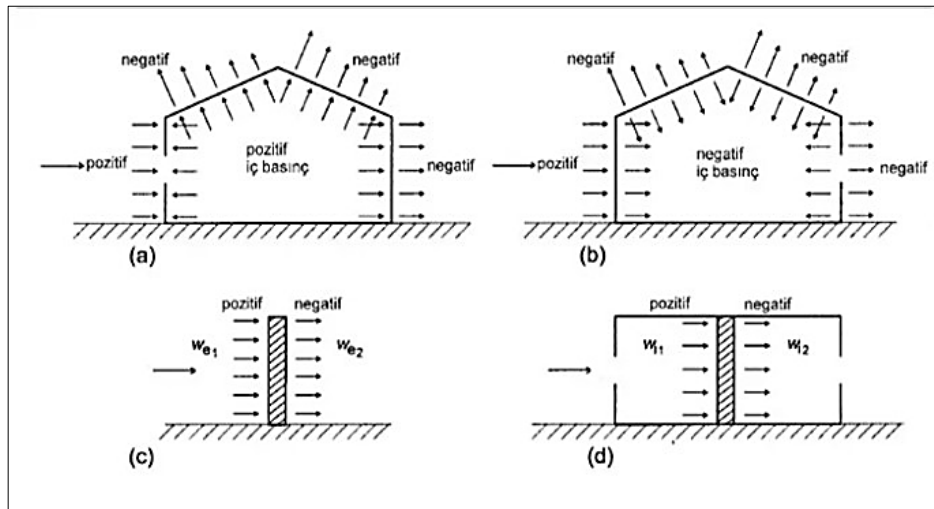
Şekil 3.23 Tarihi yapılarda şadırvanda metal malzemenin kullanımı (2024)

Kenet, gergi çubuğu, bilezik, mil gibi bağlantı elemanlarının korozyonu sonucu iç gerilimleri artar ve bulundukları mimari elemanları çatlatırlar (Şekil 3.24). Çatlayan bölgeye müdahale edilmediği takdirde duvar, sütun başlığı gibi mimari elemanlar parçalanmaktadır (Öcal ve Dal, 2012). Dövme demirden yapılan gergiyi oluşturan katmanlar arasında açılmalar da meydana gelmektedir. Yapıdaki hareketler gergi üzerinde burkulma ve kopma hasarlarına neden olmaktadır. Metal gerginin aksine ahşaptan yapılan gergilerde ise çürüme ve mantar oluşumu en sık gözlenen hasarlardır (Sesigür vd., 2007).



Şekil 3.24 Gergi çubuğu veya bileziğinin meydana getirdiği çatlak oluşumu ve yüzeysel hasarlar (2024)

Şiddetli rüzgarların kum gibi tanecikli malzemeyi, zeminden kaldırarak taşıdığı ve ardından eserlere çarptığı durumlarda, eserler üzerinde önemli miktarda yüzey aşınmalarına ve görünümünde değişikliğe neden olabilmektedir (Öcal ve Dal, 2012). Yüzeye etkiyen pozitif basınç ve yüzeyden ayrılan negatif basıncın farkı olan net basınç duvar, çatı gibi yapı elemanlarına etkileyerek iç basıncı meydana getirir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Rüzgarın yüzey basıncı etkisi (Türk Standardı TS EN 1991-1-1-4, 2007)

Dalgalar kıyılardaki yapılar üzerinde ve limanlarda devamlı bir aşındırma yapar ve yıpranmalara yol açar. Kıyılardaki yapıların temelleri dalga etkisi ile zayıfladığı için denize doğru yapılar kayar (Ahunbay Z. , 1996).

Biyolojik etkenler:

Yapı bünyesinde bulunan ve malzemede hasara neden olarak malzemenin dayanımını ve taşıyıcılığını azaltan böcek ve bitki gibi canlılar yaşamaktadır. Özellikle kargir yapıdaki ahşap elemanları veya kerpiç yapı elemanlarını zayıflatarak taşıyıcılıklarını yitirmelerine neden olan canlılardır. Özellikle kerpiç yapı olarak böcek ve diğer canlıların bünyesinde yaşamasına uygun ortam sağlamaktadır. Ayrıca nemlenen yüzeylerinde mantarlar da oluşmaktadır. Aynı durum ahşapta da görülmektedir. Nem etkisi ile kolaylıkla mantar ve yosun çeşitleri yüzeye tutunmakta ve malzemenin yapısını bozmaktadır (Vatan Kaptan, 2010). Böcek ve mantarlar özellikle ahşapta tahribat yaratan biyolojik etkenlerdir (Zakar, 2013).

Çiçek polenleri ve tohumlar rüzgarla taşınarak boşalan derzlere, duvardaki oyuklara ve çatılara yerleşerek buralarda çiçeklenme neden olurlar. Cepheyi kaplayan sarmaşıklar görüntü olarak hoş bir durum yaratsa da yapı için sakınca durumu değerlendirilmelidir. Sarmaşıkların kökleri çatlak oluşumuna yol açabilmektedir. Özellikle bakımsız kalmış binaların cephelerinde ve üstünde kök salıp gelişmiş incir ağaçları gözlemlenmektedir. Yine rüzgarla beraber taşınan deniz kumu ve tuzunun yüzeylerdeki aşındırmaları ciddi seviyede olabilmektedir (Ahunbay Z. , 1996), (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Cumbalardaki bitkisel oluşumlar (Budak ve Işık, 2024)

Onarım ve güçlendirme kararı alınırken ağaç ve bitki oluşumları yüzeyden temizlenmelidir. Çünkü köklerin ürettiği asit ve ağaçların yarattığı itme basıncı nedeniyle yapı duvarları kimyasal ve mekanik hasarlara uğramaktadır. Özel ilaçlarda temizlenen yüzeylerde oluşabilecek derz boşalmaları yenilenmelidir. Ağaç kökleri ise en uygun yerden kesildikten sonra yine özel ilaçlarla kök çürütme işlemi yapılmaktadır. Kök çıkarıldıktan sonra oluşabilecek boşalmalar yenilenmelidir (Zakar, 2013).

Kuş, solucan ve kemirgen gibi hayvanlar ile bazı bakteriler taşların delinmesine oyukların oluşmasına neden olmaktadır (Öcal ve Dal, 2012). Martılar ise avlarını çatılarda yedikleri için çatı örtüsünün delinmesine neden olurlar. Yapıların camlarını kırarak içeri giren güvercinler genellikle camilerde, minare boşluklarında gübrenin ve çöplerin birikmesine yol açmaktadırlar (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

Yapılarda zeminden yükselen suyun buharlaşması sonrası zemine yakın kısımlarda yapı yüzeyleri nemli kalmaktadır. Yüzeyin nemlenmesi sonucu oluşan yosun, sarmaşık ve likenler yüzeyin devamlı nemli kalmasını sağlayarak kimyasal mikro çevre yaratırlar. Bakterilerin ve mantarların ortak türü olan yosun ve liken ile alg gibi canlılar çatlakların büyümesine ve yüzey yapısının bozulmasına, çürümeye neden olmaktadır (Öcal ve Dal, 2012), (Zakar, 2013). Bakterilerin ayrıştırdığı malzemelerin başında ahşap gelmektedir. Ahşap elemanların çoğunda hasarlar bakteri kaynaklı sorunlar ya da çürümelerdir. Ahşabın dokusunu ve geometrisini bozulmakta ve taşıma kapasitesini değiştirmektedir (Seçkin, 2017), Şekil 3.27).



Şekil 3.27 Tonozlarda meydana gelen biyolojik oluşumlar (2024)

Tasarım hataları ve hatalı müdahaleler

Yapıların tasarım sürecinde taşıyıcı sistemi boyutlandırılırken yapılan yanlışlar ciddi hasarlara neden olabilir. Taşıyıcı sistem, yataydan ve düşeyden gelebilecek yükleri taşıyabilecek kesitte olmalıdır. Yeterli kesit sağlamazsa duvarlar bel verebilir; kemer, tonoz gibi diğer taşıyıcı elemanlarda açılmalar gelişebilir ya da yıkılabilirler (Mahrabel, 2006).

Yapılarda duvar, döşeme, kemer, kubbe gibi taşıyıcı bileşenlerin bağlayıcı malzemesi ve birleştirilme tekniği önemli olmaktadır. Kenet, gergi ve mil gibi metal elemanların kullanıldığı birleşim detaylarında paslanma olayı nem etkisi ile gelişebilmektedir. Paslanma ile iç gerilmesi artan metal elemanlar bulundukları duvar, sütun veya ayakları çatlatabilmektedir (Mahrabel, 2006).

Ahunbay'a (2019) göre dayanıksız malzemelerle, yeterli olmayan işçilikle ve taşıyıcı sistemle planlanmış yapılarda sorunlarla karşılaşmaktadır, gözenekli ve çok su emen taşlar üzerinde don olayının etkileri bulunmaktadır, zayıf harcın kullanıldığı duvarlarda harç ile bağlanan elemanlar ayrışmaktadır, yeterli sıcaklıkta pişmeyen tuğlalar daha hızlı aşınmaktadır, yeterli derinlikte temele sahip olmayan yapılar ciddi hasarlara maruz kalmaktadır.

Genellikle üretim sürecindeki hatalar, yükün dengeli dağılmaması ve doğa koşulları tuğlada deformasyonlar meydana gelmektedir (Şekil 3.28). Tuğla malzemenin üretimi esnasında kum miktarının doğru ayarlanmaması ve kil içerisinde istenmeyen yabancı maddelerin varlığı sonucu tuğlada yeterli dayanıklılık elde edilmemektedir. Bu nedenle ısı değişimleri veya nemlenme gibi sorunlar karşısında tuğlada hasarlar oluşabilmektedir (Ağan, 2017).



Şekil 3.28 Diyarbakır Süryani Kadim Meryem Ana Kilisesi kubbesinde tuğla çatlakları (2024)

Doğal taşın çıkarılması, işlenmesi, yapı elemanı olarak kullanıma hazır edilmesi ve yapıda kullanımı sırasında yapılan hatalardır. Doğal taş, ocaktan yanlış yöntemle çıkarılmışsa ya da özelliğine uygun olmayan bir şekilde, yanlış aletlerle işlenmiş ve yapıda yanlış alana yerleştirilmişse oluşacak bozunma hızlı ve etkili olacaktır (Hasbay ve Hattap, 2017).

Kerpicein kullanıldığı yapılarda su ve nem hasarların oluşmasına neden olan ana etkenlerdendir. Bir diğer ana etken ise üretim sürecindeki durumlar ile gelişmektedir. Güneşte kurutularak elde edilen kerpiç kalıplanır ve sonrasında bünyesinde suyun buharlaşması için güneşe alınır. Ancak yüzeydeki su kerpiç kurumadan önce buharlaşır ise yüzeyde rötire çatlakları meydana gelmektedir. Ayrıca kerpicein yapıdaki diğer elemanlarla bağlantısının doğru çözülmemesi ve bağlantının yetersiz kalması da hasara neden olmaktadır (Ağan, 2017).

Ahşap taşıyıcı elemanların sert ve kuru ağaçlardan elde edilmesi yapı elemanın ve yapının ömrünü uzatmaktadır. Sert olmayan ağaçları böcekler yuva yapmak için tercih etmektedirler. Aynı şekilde yaş ahşap da böcekler için uygun ortamı sağlamaktadır. Bu nedenle erişkin ağaç seçilmelidir ve kurutma işlemi atlanmamalıdır (Karakuş, 2012).

Tarihi yapıların korunabilmesi için alınmış onarım kararları veya işlev değişikliği için alınan kararlar sonucu özellikle taşıyıcı elemanlar üzerinde yanlış kararlar

verilmektedir. Kararlar alınırken problemin asıl nedeninin tespit edilmesi gerekir. Sadece problemi ortadan kaldırmaya yönelik alınmış kararlar süreci olumsuz etkileyerek uzamasına neden olabilir. Çoğunlukla yeniden işlevlendirilen tarihi yapılarda yük dengesi bozulmaktadır. Yapıda oluşan yeni yükler nedeniyle taşıyıcı sistemde zorlanmalar yaşanmakta ve hasarlar meydana gelmektedir. Onarım ve güçlendirme kararları özgün malzemeye ve yapım tekniğine göre alınmalıdır. Özgün malzeme ile uymayacak, yapı davranışını değiştirecek özellikte hatalı malzeme seçimi yapılsa yapıda hasarların oluşması kaçınılmaz hale gelecektir. Özellikle çimento esaslı malzemelerdeki tuz ve mineral bileşenleri kargir yapılarla uyum sağlayamadığından malzemenin yapısını bozabilir (Vatan Kaptan, 2010).

Özgün haline aykırı olacak şekilde yapılan müdahaleler, işlev değişikliği, niteliksiz eklemeler ve değişimler taşıyıcı sistemi etkileyerek hasarların oluşmasına ve tarihi dokunun zarar görmesine yol açmaktadır (Işık, 2017), (Şekil 3.29). Malzeme seçiminde malzemenin nitelikli olması kadar özgün malzemeyle uyumlu olması da önemlidir. Özgün malzemelere uygun olmayan malzeme kullanımı tarihi yapılarda geri dönüşü olmayan hasarlara neden olmaktadır (Gökyiğit Arpacı, 2016). En belirgin yanlış müdahale yapıda farklı davranacak malzemenin seçilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Özgün döşemenin yerine betonarmenin kullanılması bu duruma örnektir. Eksen dışı yük oluşturan betonarme uygulama ile ya da duvarın mevcut rijitliğinden daha fazla rijit olan betonarme uygulamanın çekiçleme yapması duvarın yıkılması ile sonuçlanabilmektedir (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).



Şekil 3.29 Hatalı ve niteliksiz uygulamalar ile geleneksel evin yeniden işlevlendirilmesi (2024)

Tarihi yapıların yüzeyinin sıvanması, boyanması, dolgu ve tamamlama uygulamalarının yanlış malzemelerle uygulanması, pencere, kemer gibi yapı boşluklarının kapatılması yapılarda hasara neden olan etmenlerdendir ve yapılardaki görsel bütünlüğü bozmaktadır (Ağan, 2017).

Venedik Tüzüğü'nde (1964) yapılacak onarım müdahalelerinin uzman kişiler tarafından yapılması gerektiği belirtilmektedir. Güvenilir belgeler ışığında özgün malzemeye bağlı olarak ve yapının tarihi ve estetik değerini kaybetmeden yapılması gerekmektedir.

İnsan:

Doğanın yıpratıcı etkisinin yanı sıra insanlar da yapılarda hasarlar meydana getirmektedir. Bakımsız bırakma, terk, yangın, hava kirliliği, müdahale hataları ve malzeme seçiminin doğru yapılmaması insan kaynaklı hasarlara neden olmaktadır. Ayrıca yasal kısıtlamalar, yapının mülkiyetinin belirsizliği veya mülkiyet sahibinin sürekli değişmesi de hasarlara neden olmaktadır (Vatan Kaptan, 2010).

Ağan'a (2017) göre bakımsız bırakma, terk, yangın, kullanım ve onarım hataları, savaş, vandalizm, turizm ve ilk tasarım hataları gibi nedenler insan kaynaklı hasarları meydana getirmektedir. Tarihi yapının korunmasız kalmasına neden olan bakımsız bırakma ve terk etme durumları yangın çıkmasına, vandalizme maruz kalmasına ve yapının yıkılmasına yol açabilmektedir. Zamanın kısıtlı olması veya kaynakların yetersiz olduğu durumlarda özenli olmayan tasarım ve işçilikler ortaya çıkmaktadır. Tasarımın, kullanılan tekniğin ve işçiliğin iyi ve yeterli olmadığı durumlarda yapının ve bileşenlerinin fiziki ömrü kısalmaktadır. Hem ilk tasarımda hem de onarım süreçlerinde bu durum önemli olmaktadır (Ahunbay Z. , 2019).

Mahrabel'e (2006) göre yapının kötü kullanılması da bir etkidir. Bilinçsizce yapıda değişiklikler yapılması taşıyıcı sisteme ilave yük gelmesine süresizliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bilinçsizce eklenen ara katlar, iç duvarlar, ilave yapı girişi gibi kötü kullanımlar harabiyeti hızlandırmaktadır (Ahunbay Z. , 1996).

Genellikle sosyal ve ekonomik nedenlere bağılı gelişen tarihi yerleşmenin terk edilmesi sorunu, kentsel dokunun ve yapıların bakımsız halde bırakılmasına neden olmaktadır (Ahunbay Z. , 1996). Bakımsız kalan yapılardaki en küçük hasarlar zamanla ilerleyerek yapının bütünlüğünü tehdit eden bir konuma ulaşabilmektedir (Zakar, 2013).

Onarım kararlarında malzemenin ve detayların bilinmesi doğru teşhis açısından önemli olmaktadır. Uyumsuz malzemenin seçilmesi veya detaylarda yanlış kararlar alınması geri dönülemez hasarlara sebebiyet vermektedir. Kapı veya pencere boşluklarının kapatılması, arttırılması veya değiştirilmesi çatlak oluşumlarına ve farklı deformasyonlara neden olmaktadır. Ayrıca ilk tasarımda bu açıklıkların doğru planlanmaması da başlıca mikro iklimsel sorunlardır. Havalandırmanın ve ısıtma sistemlerinin sabit tutulmak istenen nem ve sıcaklıklarda işlev görmemesi yapı bünyesinde yoğunlaşma nedeniyle hasarlar meydana getirmektedir (Şekil 3.30). Cephedeki açıklıkların yeterli boyutlarda olmaması veya büyük olması havalandırma, ısınma ve ışılandırma kontrolünü zorlaştırmaktadır. Malzeme, yapı elemanları ve insan sağlığı üzerinden gelişecek olumsuz durumlar optimum koşulların sağlanması ile çözülmektedir (Zakar, 2013).



Şekil 3.30 Vahap Ağa Hamamındaki fil gözlerinin plastik içerikli bir malzemeyle kapatılmasıyla oluşan yoğunlaşma sonucu derzlerin boşalması (2024)

Atmosferin kirlenmesine neden olan çeşitli maddeler tüm canlı ve cansız varlıkları olumsuz etkilemektedir. Tarihi çevre ve yapılar olumsuz etkiler altında hasara uğramaktadır (Öcal ve Dal, 2012). Ayrıca trafiğin artışı hem strüktürel sorunlara neden

olmakta hem de hava kirliliğini arttırmaktadır. Trafik nedeniyle titreşimler meydana gelmektedir. Tarihi dokunun içerisinde kalan trafik aksı nedeniyle aşırı yoğunluk ve yük oluşumu meydana gelmektedir. Yapısal oturmalar, ayrışma, derz boşalması ve diğer malzemelerin yitirilmesi ile sonuçlanan bu durum genellikle yerel yönetimlerin hatasından kaynaklanmaktadır (Işık, 2017).

Denetlemenin eksik kaldığı ortamlarda vandalizm yani kasıtlı şekilde yapılan tahrip sıklıkla meydana gelmektedir. Özellikle kentlerde sosyokültürel değişimle insan davranışlarının değişmesinin yapılar üzerinde etkisi olmaktadır. Bu durum vandalizmi meydana getirmektedir. Vandal eylemler sonucu yapı duvarlarına yazılar yazılmakta, geceleri barınağa dönüşmekte, hırsızlık olayları yaşanmakta ve camlar kırılmaktadır. Tarihi çeşmeler en fazla tahrip edilen eserler olmaktadır. Özgün musluklar çalınmakta, yalak bölümünde yakılan ateş sonucu çeşmeler zarar görmektedir. Ayrıca kasıtlı olarak gelişen yangınlar da insan kaynaklı hasarları meydana getirmektedir. Kundaklama olarak bilinen bu durum ahşap yapıların yok olmasına neden olmuştur (Ahunbay Z. , 2019), (Vatan Kaptan, 2010), (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Tarihi yapıların yangına maruz kalması (Ağan, 2017)

Turizm faaliyetleri tarihiler yapılar üzerinde kültürel ve ekonomik fayda sağlamanın yanında çeşitli kullanım kaynaklı bozulmalara neden olmaktadır. Ziyaretçi akışının fazla olması yapısal yorgunluğa yol açmakta ve özellikle döşemeler ile basamakları erozyona uğratmaktadır. Bilinçsiz davranışlar sonucu tarihi çevrelerde çöplerin birikmesine kirliliklere ortam hazırlamaktadır (Öcal ve Dal, 2012).

3.5 Tarihi Yapılarda Uygulanan Tahribatsız Test Yöntemleri

Uzun yıllar ayakta kalabilmiş olan tarihi yapılarımız; yapım tekniğinden, fonksiyon ve işlevinden, çevresel koşullardan ya da görmüş olduğu onarım ve müdahalelerden dolayı çeşitli etkiler altında kalarak bozulmaya uğrayabilir, hasar görerek yok olma sürecine girebilirler. İlk adım olarak yapılması gereken tarihi yapıdaki yapı elemanlarının ve malzemelerin durum tespitini yapmaktır. Tahribatsız test yöntemleri ile tespitlerin yapılması yapıların bütünsel bir çerçevede korunabilmesi için önemlidir. Malzeme özelliklerinin ve mevcut hasarların belirlenebilmesi için gözlemsel ve aletsel incelemeler yapılmalıdır. Gözlemsel ve aletsel testler birbirini tamamlayacak düzeyde olmalı, yapıda dönemsel ve mimari özelliklerin bozulmamasına önem verilmelidir (Işık, 2017).

Yerinde yapılacak incelemelerde muhtemel değişikliklerin, yapısal sorunların ve hasarların oluşum seviyesi, nedenleri ve tahribat çeşidi kaydedilmelidir. Gözlemsel olarak belirlenebilen sorunlar ve hasarlar aletsel ölçümlerle yeniden değerlendirilmeli ve fotoğraflarla belgelenmelidir. Yapıya ait hasar haritası çıkarılmalıdır (Dabanlı, 2008).

Kaya'ya (1992) göre tahribatsız muayene; bir malzemenin kullanılmasında gerekli olan özelliklerine zarar verecek düzeyde hasar oluşturmada malzemenin test edilmesine imkan veren deneylerdir. Malzeme ve ürün analizlerinde çatlak tespiti, malzemenin boyutu, sertliği, iletkenliği, mıknatıslanma gibi fiziksel özelliklerin belirlenmesi gibi amaçlarla uygulanan ve malzemede tahribat yapmayan yöntemlerdir.

Topuz'a (1993) göre tahribatsız muayene, malzemelerin tahrip edilmeden muayene edilmesidir. Malzemelerin parça ve konstrüksiyonlarının değişmesiyle kusursuzluk kavramının ön plana çıkması ve kazaların yaşanmaması için kusurlu durumların önceden tespiti nedenleri başta olmak üzere ekonomik kaygıların etkisiyle tahribatsız muayene gelişim göstermiştir. Hataların tespit aşamasından sonra hata tiplerine yönelik standartlar geliştirilmeye çalışılmıştır.

Kumar, Mahto ve Dalgobing'e (2013) göre tahribatsız yöntemler malzemenin fiziksel özelliklerini tespit edebilmek için veya bu özellikteki düzensizliği ölçmek için

uygulanmaktadır. Malzeme bütünlüğüne ve işlevine müdahale edilmeden yüzeydeki veya içteki kusurları test etmektedir.

Test yönteminin tahribatsız olarak kabul edilebilmesi için bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Test edilen parçanın ya da nesnenin yapısını, fonksiyonunu, işlevini ve kullanma amacını tanımlayan özelliklerini bozmayan veya değiştirmeyen testler olması gereklidir. Yarattığı hasar bu şekilde sınırlanmadığında elimizle veya gözümüzle yaptığımız basit muayene dışında hiçbir test tahribatsız sayılamayacaktır. Çünkü tahribatsız yöntemler biri olan X ışınlarının kullanıldığı radyografik testler de malzemede hasar oluşturmaktadır (Çelik , 2013).

Tahribatsız test yöntemlerinde en eski uygulamalar X ışınının keşfedilmesi ile radyografi tekniğine dayanmaktadır. 19. yüzyılın sonlarında keşfedilen X ışınları tıp alanında tahribatsız muayene olarak kullanılmıştır. Endüstri de kullanımı ise ilk olarak donanma kaynak dikişlerin test edilmesinde olmuştur. Madde iç yapısıyla ilgili keşiflerin hız kazanması ve elektronik alandaki gelişmelerle tahribatsız test yöntemleri de artmış ve gelişmiştir. Türkiye’de ise 20. yüzyılın ikici yarısında tahribatsız test yöntemlerinin eğitimlerine başlanmış, resmi kurumlar yoluyla eğitimler verilerek yöntemler tanıtılmak istenmiştir (Seçim, 2011). Makineleşme, modern ekipmanların karmaşık hal almaları, yeni ve daha sağlam malzemelere olan gereksinim, arıza durumların maliyet artışları, kazaları önlemek ve diğer tüm ekonomik nedenler tarihsel süreçte tahribatsız test yöntemlerinin gelişimi sağlayan etkenler olmuştur (Kaya B. , 1992).

Tahribatsız yöntemler günlük yaşantımızda kolaylıkla karşımıza çıkmakta olan bir uygulamadır. Bozuk para makinelerinin çalışma prensibi bu duruma örnektir. Para makineye atıldığında paranın boyutu, ağırlığı, şekli ve iletkenliği tahribatsız olarak kontrol edilmektedir (Korkmaz, 2010).

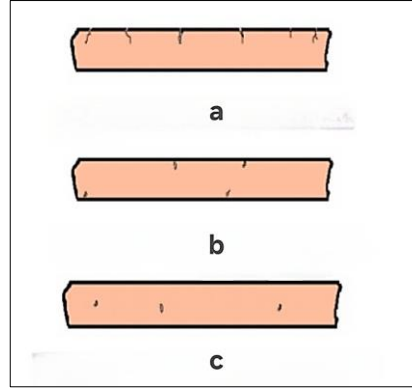
Tahribatsız yöntemlerin korunması gereken kültürel miraslarımız olan tarihi çevrelerde hasar analizinde kullanılması yaygınlaşmaktadır. Hasar analizinde veya malzemenin özelliklerinin tespitinde uygulanabilecek aletsel yöntemler tahribatlı ve tahribatsız testler ile gerçekleştirilmektedir. Yapıda tahribat bırakmadan aletsel

ölçümlerin gerçekleştirilmesini sağlayan birçok test yöntemi ve deney bulunmaktadır. Böylece kültürel miras değeri taşıyan yapılar üzerinde fiziki zararlara yol açan tahribatlı test yöntemleri yerine tahribatsız ve daha etkili olan yöntemlerin yapısal sorunları belirlemede kullanımı artmıştır (Işık, 2022b). Numune almanın mümkün olmadığı yapıların varlığı yapı üzerinde yani yerinde uygulanabilen tahribatsız testlerin geliştirilmesinin önünü açmıştır (Dabanlı, 2008).

Malzeme özelliklerinin tahribatsız testler ile analiz edilmesiyle elde edilen veriler direkt olarak malzeme özelliğine dair veri oluşturmamaktadır. Net ve kesin değerler içermeyen bu veriler belli bir yaklaşıklıkla temsil etmektedir. Değerlendirme aşamasında belirli yaklaşık hesaplar kabul edildiği için verilerin malzeme karakteristik verisi olarak kullanılması yanlış değildir (Dabanlı, 2008).

Tahribatsız testlerin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Muayene edilen parçanın ya da malzemenin kırılmasının veya bozulmasının önüne geçilememektedir (Korkmaz, 2010). Tahribatsız testler her zaman kesin sonuç veren deneyler olmadığı için malzeme özelliklerinin belirlenmesinde yeterli olmayabilir. Bu nedenle yapı malzemelerinin renk, boşluklu yapı, çatlak tespiti, tabakalaşma oranı, uğradığı korozyon miktarı gibi hususların belirlenebilmesi için yapısal elemanlardan laboratuvar testleri için numuneler alınması gerekli olmaktadır (Aköz ve Yüzer, 1970).

Tahribatsız testlerle belirlenebilen malzeme süreksizlikleri yüzeye açık, yüzeye yakın ve malzeme içindeki süreksizlikler olarak gruplandırılabilir (Şekil 3.32). Süreksizliklerin kontrol aşamasında ise yöntemleri ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar yüzeysel ve hacimsel yöntemlerdir. Malzemenin yüzeyinde veya yüzeye yakın noktaların tespitinde kullanılan penetrant, manyetik ve girdap akımı yöntemleridir. Radyografik ve ultrasonik yöntemler ise numunenin tamamını değerlendirmeye alan hacimsel yöntemlerdendir (Korkmaz, 2010).



Şekil 3.32 a- Yüzeye açık süreksizlik, b- Yüzeye yakın süreksizlik, c- Malzeme içerisindeki süreksizlik (Korkmaz, 2010)

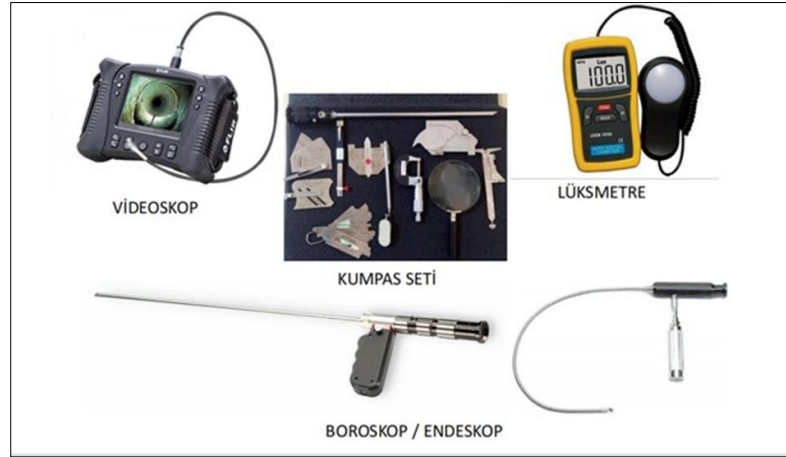
Başlıca tahribatsız test yöntemleri görsel analiz, sıvı penetrant yöntemi, manyetik yöntem, girdap akımları yöntemi, ultrasonik ve radyografik yöntemlerdir.

3.5.1 Görsel analiz

Görsel analiz, yüzey incelenmesinde en fazla uygulanan tahribatsız test yöntemidir. Diğer tahribatsız testlerin öncesinde uygulanması gereklidir. Uygulanması basit ve kolay, maliyeti ise düşüktür (Rajendran, 2012). Tüm malzemelerde uygulanabilen tahribatsız testlerin önemli bir aracıdır. (IAEA, 2000). Basit bir yöntem olarak algılanmasına karşın en önemli test yöntemidir. Tahribatsız yöntemler için belirlenen birçok standartta öncelikle görsel analiz yapılması ve bulguların kaydedilmesi istenmektedir (Doğru, 2014).

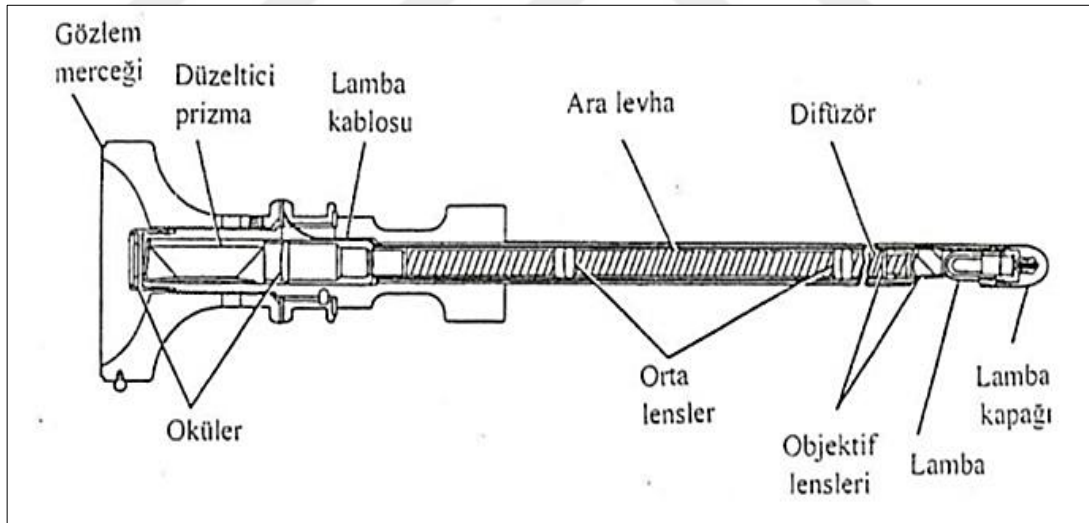
İncelenecek numune üzerinde ön hazırlığa ihtiyaç duyulmadığından pratik bir yöntemdir. Gözle muayene uygulamada ilk tahribatsız test yöntemi olsa da resmi olarak kabulü en son gerçekleşmiştir (Yağcı, Çidem ve Durmuş, 2018).

Yüzey inceleme yöntemi olan görsel analiz göz duyu organı ile yapılabilmektedir. Ölçüm bandı, metre, fotoğraf makinesi gibi materyaller de analizin sınırlandırılmasında ve kayıt altına alınmasında kullanılmaktadır (Okumuş, 2021). İnsan gözüne göre daha iyi sonuçlar alabilmek için optik yardımcılarının kullanılması gerekmektedir. Yüksek yoğunluklu ışık demeti ile aydınlatılan yüzeyde büyüteç, mikroskop, boroskop, endoskop, optik kablolar gibi optik aletlerle yüzeyin iç yapısı veya üç boyutlu kaydı elde edilmektedir (Rajendran, 2012), (Şekil 3.33).



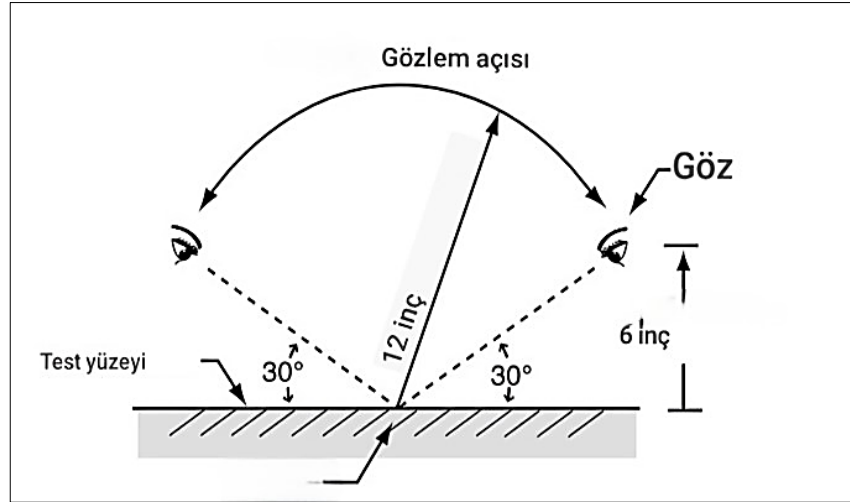
Şekil 3.33 Görsel analiz yönteminde kullanılan ekipmanlar (Silvan Sanayi A.Ş.)

Boroskop, gözle algılanamayan iç yüzeylerde kullanılmaktadır. Kendi aydınlatması bulunan genellikle ince ve uzun bir formda olmakla beraber kullanım alanlarına göre farklı çap, uzunluk ve esneklikte olabilmektedir. Kamera yardımıyla alınan görüntüler dijital bir ekrana aktarılarak incelenme ve arşivlenebilmektedir (Şekil 3.34). Optik mikroskoplar ise sorunlu alanların görüntünün istenilen ölçekte büyütülmesi ile detaylı incelenmesinde kullanılmaktadır (Doğru, 2014).



Şekil 3.34 Boroskop kesiti (Doğru, 2014)

Endüstride göz ile muayenenin bazı referans değerleri bulunmaktadır. Doğrudan görsel muayenede incelenecek yüzeyden gözün 25 inç (610 mm) mesafeden fazla olmaması ve 30° açıdan daha az olmayacak bir açıda inceleme yapılması istenmektedir. Aydınlatma şiddeti ve yönü için de belirlenmiş standartlar bulunmaktadır. Şekilde 3.35'te 30° açı sabit tutularak 6 inç mesafeden gözlem yapılmıştır (Hellier, 2003).



Şekil 3.35 Gözlem mesafesi ve açısı (Hellier, 2003)

Çatlama, dökülme, yüzeysel boşluklar, leke oluşumu, biyolojik oluşumlar ve çiçeklenme gibi hasarlar görsel analizde kaydedilmesi gereken durumlardır. Bu hasarların dağılımı ve kapsamı tanımlanmalı, hasar derecesi belirtilmeli ve benzer durumlar karşılaştırılmalıdır. İncelemeler yüzeyle sınırlı olmamaktadır. Analiz esnasında bulunan çevrenin iklim özellikleri ve ortamı değerlendirmeye dahil edilmelidir. Kişilerin farklı değerlendirmeleri ve yorumları görsel analizi zorlaştırmaktadır (IAEA, 2002). Sorunlu alanları belirlemek için görsel analiz yapılması gereklidir. Ancak sadece görsel analizi yapılan öğelerde onarım veya koruma kararları alınması doğru olmamaktadır (Ayşegül, 2010).

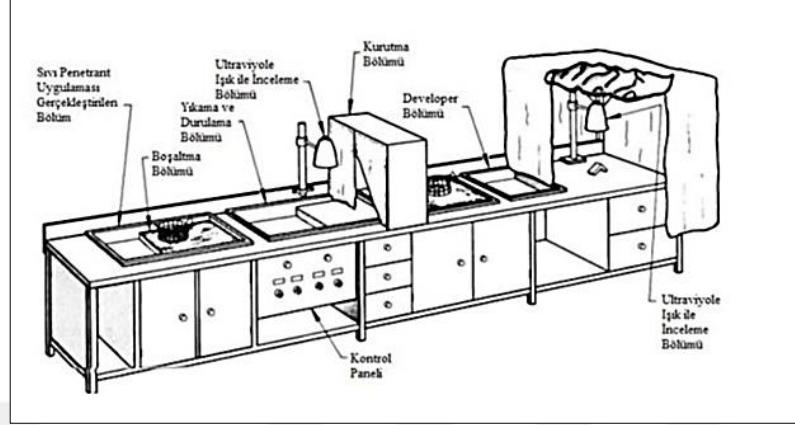
3.5.2 Sıvı penetrant yöntemi

Penetrant kelimesi *girici*, *nüfuz edici* anlamlarına gelmektedir. Sıvıların kapilarite özelliği bu yöntemde kullanılmaktadır (Tepe, 2009). Bu yöntem aşırı gözenekli yapıda olmayan tüm metallerde ve seramik, plastik, cam gibi metal özellik göstermeyen malzemelerde uygulanabilir (Doğru, 2014). Sıvı penetrant; gözenekli olmayan katı formdaki malzemelerin yüzeyine uygulanan ve yüzey süreksizlerini tespitinde kullanılan bir tahribatsız test yöntemidir. 19. yüzyılda uygulanmaya başlanan bu yöntemde ilk zamanlar alkolle seyreltilmiş kirli motor yağı metal malzemelerde kullanılmıştır. Metal yüzeyindeki kesiklerden içeri sızan yağın fazlası alındıktan sonra alkol içerisinde süspanse edilmiş tebeşir veya kirecin bıraktığı beyazlık süreksiz yerleri ortaya çıkarmaktadır (Hellier, 2003).

Sıvı penetrant yöntemi aşamalı olarak belirli basınç, sıcaklık, ışık gibi parametreler altında gelişen bir yöntemdir:

- İlk olarak penetrant sıvının uygulama yüzeyindeki nüfuzunu arttırmak ve çatlakların görünürlüğü arttırmak amacıyla malzeme yüzeyi kir, toz, boya, yağ gibi istenmeyen durumlardan temizlenmelidir. Hem yüzeyde hem de penetrant sıvının duyarlılığı azaltılabileceği için kılcal açıklıklarda temizleme yapılmalıdır. Deterjanlı su çözeltileri, kimyasal çözücüler, buharlı temizleme veya ultrasonik temizleme yöntemleri ihtiyaca göre tercih edilmektedir (Hellier, 2003). Temizlik sonrası yüzeyin kurutulması temizlikte kullanılan çözücüyle penetrant sıvının temas etmemesi açısından önemli bir aşamadır (Rajendran, 2012).
- Temizleme ve kuruma işlemleri sonrası penetrant sıvı, yüzeye uygulanır. Püskürtme, daldırma veya akıtma yöntemleri ile yüzeye uygulanır. Penetrant seçiminde yüzeye nüfuz edebilmesi için sıvının kapilaritesine, viskozitesine ve ıslatabilme özelliğinin yanında boya konsantrisine göre seçim yapılmalıdır. Ayrıca parlak bir renkte, çabuk kurumayan, yüzeyden yıkanması zor olmayan, kötü kokulu veya zehirli olmayan, ışın ve sıcaklık altında rengini koruyabilen yapıda olmalıdır (Hellier, 2003), (Arslan F. , 2010). Düşük viskoziteli sıvılar çatlaklara ulaşmadan numune yüzeyinden hızlıca süzülüp akabilir ve penetrasyon süresinin uzamasına neden olabilir (Tepe, 2009). Penetrantın cinsi sıvının nüfuz etme süresini etkilemektedir ve birkaç dakika ile 12 saat arasında değişebilen bir bekleme süreci olmaktadır (Kaya B. , 1992).
- En kritik aşamalardan biri penetrant sıvının fazlasının temizlenmesidir. Temizleme işlemi az olursa çatlakların görüntüsü az elde edilecek, temizleme işlemi çok fazla yapıldığında ise çatlaklara nüfuz etmesi istenilen penetrant sıvı da yüzeyden uzaklaştırılmış olacaktır (Kaya B. , 1992). Su veya solvent kullanılarak ara temizleme işlemi yapılır (Arslan F. , 2010).
- Ara temizleme işlemi sonrası tüm penetrant sıvının yüzeyden çıkarılması ve kontrol aşamasında görüntü elde edilebilmesi için developer (geliştirici) uygulanmaktadır. Toz veya sıvı formda uygulanabilen developer; çatlak veya

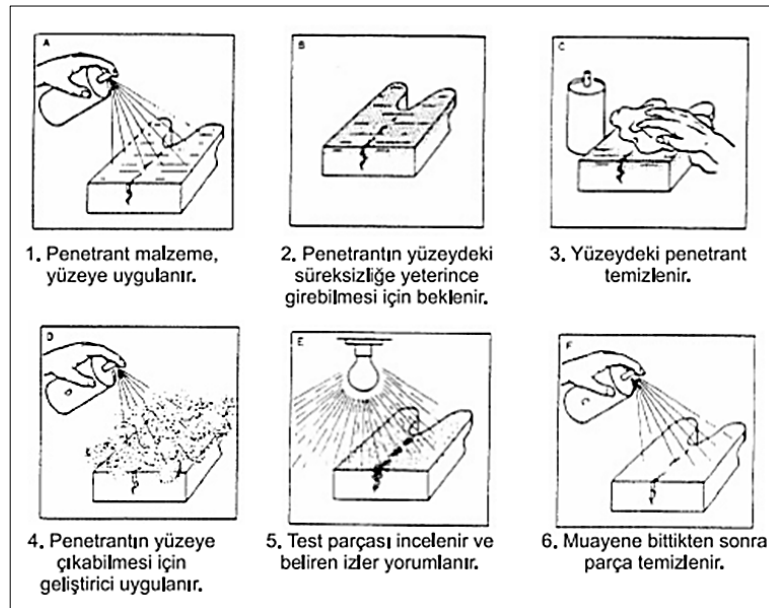
diğer süreksizliklerin içine nüfuz eden penetrantı emerek yüzeye çıkarmaktadır (Arslan F. , 2010), (Doğru, 2014). Developer aşamasının öncesinde ve sonrasında yüzeyin kuruması için beklenmektedir (IAEA, 2000), (Şekil3.36).



Şekil 3.36 Penetrant sıvının uygulanmasında çalışma basamakları (Onursal, 2000)

- Son aşamada ışık varlığında kontroller yapılmaktadır. Floresan penetrant kullanmış ise siyah ışık altında numune incelenmektedir. Siyah ışıkta süreksiz alanlar sarı-yeşil tonlarında, diğer yerler ise mor-mavi tonlarında gözlemlenmektedir. Boya penetrantı kullanıldığı deneyler beyaz ışık altında incelenmek ve süreksiz alanlar kırmızı olarak gözlemlenmektedir (IAEA, 2000).

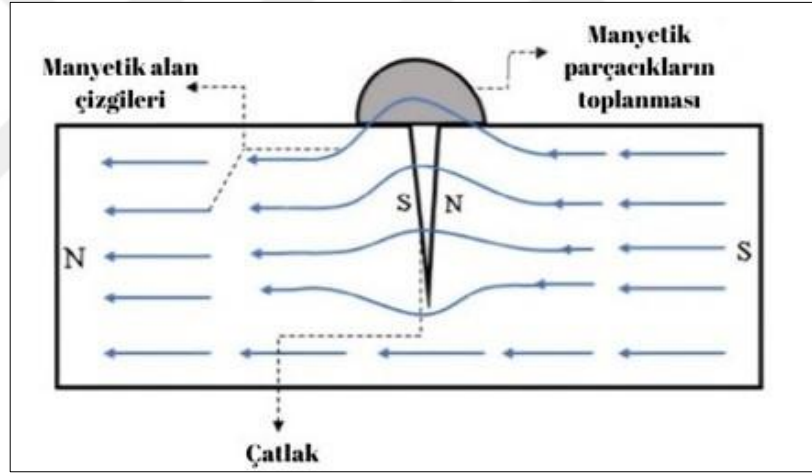
Uygulanması basit, taşınabilir ve nispeten ucuz bir yöntem olmasına karşın sıvı penetrant yönteminin gözenekli malzemelerde tercih edilememesi ve yalnızca yüzeysel süreksizlikleri belirlemesi yöntemin önemli dezavantajlarıdır. Şekil 3.37’de sıvı penetrant yönteminin uygulama aşamaları resmedilmiştir.



Şekil 3.37 Sıvı penetrant yönteminin uygulama aşamaları (Tepe, 2009).

3.5.3 Manyetik yöntemler

Mıknatıs tarafından çekilerek manyetikleşen metallere ferromanyetik metal denilmektedir. Demir, nikel, kobalt ve bu metallerin alaşımları örnek olarak gösterilebilir. Ferromanyetik yapıdaki unsurların yüzeylerinde veya yüzeye yakın olan yerlerinde mevcut olan süreksizliklerin ve çeşitli kusurların tespitinde manyetik yöntemler kullanılmakta ve tahribat oluşturmada tespitler yapılmaktadır. Test edilecek parçacıkta manyetik alan oluşturmak için yüzeyden akım geçirilmektedir. Süreksiz bölgedeki manyetik akım çizgileri akıştan sapar ve “kaçak akı” meydana gelir. Süreksizliğin kenarlarında karşılıklı olarak kuzey ve güney kutuplaşması oluşur. Kutuplaşma sonrası toz halde veya süspanse edilmiş olarak genellikle demir tozları serpilir ve süreksiz bölgede bu tozlar yoğunlaşırlar (Hellier, 2003). Şekil 3.38’de manyetik parçacıkların varlığında manyetik alanın oluşturduğu sapmanın çatlak oluşumundan kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 3.38 Manyetik yöntemin çalışma şekli (Zolfaghari, Zolfaghari ve Kolahan, 2018)

Yığma yapılarda manyetik sisteme dayanan tarama aletleri kullanılmaktadır. Zincir, çekme çubukları veya birleşim yerlerinde kullanılan metallerin konumları ve boyutları hakkında bilgi vermektedir. Ancak metal parçaların yüzeye yakın olması gerekmektedir (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016).

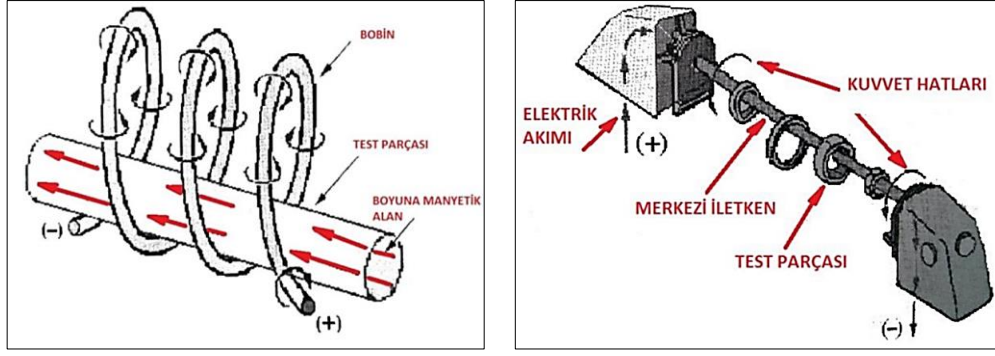
Manyetik partiküllerin veya alanın kullanıldığı bu yöntemlerde üç ana aşama bulunmaktadır. İncelenecek parça öncelikle manyetikleştirilir. İnceleme yapılır ve daha sonra parçanın manyetik özelliği ortadan kaldırılır. Manyetik özellik ise farklı tekniklerle ve sistemlerle elde edilmektedir:

- Test edilecek parça mıknatısın kutupları arasına konulur. Kutuplar arasında var olan manyetik alan ile test parçası manyetize edilir. Mıknatısın şiddeti büyüklüğü ile orantılı olduğu için yetersiz kalmaktadır. Ancak elektromıknatısların şiddeti daha fazladır (Topuz, 1993) .
- Yoke cihazı, U biçimde olup etrafı akım taşıyabilen kablolarla sarılmış bir elektromıknatıstır. Paralel manyetik akı çizgilerine dik olarak oluşmuş süreksizliği tespit edebilir (Topuz, 1993), (Şekil 3.39).



Şekil 3.39 Yoke cihazı ve manyetik toz ile çatlak tespiti (Haliloğlu, 2016)

- İletken bir telin yalıtkan bir parçayı sarmalayacak biçimde yan yana olacak şekilde sarılması sonucu bobin elde edilmek ve üzerinden geçirilen akımı manyetik alana dönüştürmektedir. Bu yöntemde test edilecek parça bobinin iç kısmına yaklaştırılır. Parçanın manyetize edilen eksenine göre dik konumda olan süreksizliklerin algılanması daha hassas gerçekleşmektedir. Manyetik alandaki kuvvet bobinin çapına, etrafındaki sarım sayısına ve üzerinden geçen akım şiddetine göre değişmektedir (Doğru, 2014).
- Merkezi iletkenle manyetize etme işlemi için silindir formunda ve içi oyulmuş numuneler kullanılmaktadır (IAEA, 2000). Merkezi iletken görevi gören bir bakır çubuk iç boşluğa yerleştirilir. Akım iletkenin üzerinden geçirildiğinde boşlukta dairesel manyetik alan oluşur ve manyetizasyon sağlanır. Ayrıca akım doğrudan iletkenin üzerinden geçirildiği için test edilen parçanın yanma ihtimali kalmaz (Doğru, 2014), (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 Bobinle ve merkezi iletkenle mıknatıslama (Doğru, 2014)

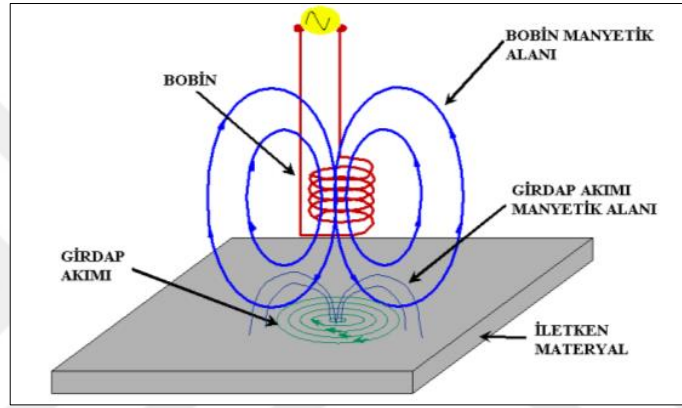
- Elektrotlara sahip olan Prod cihazı, temas ederek mıknatıslanma özelliği kazandırmaktadır. Geometrisi karmaşık olan veya büyük, kalın numunelerde manyetik alan oluşturmayı kolaylaştırmaktadır. Elektrot uçlar sayesinde manyetik alanın yönünü değiştirilebilir ve süreksizliğin hem enine hem de boyuna olarak dairesel tespitini sağlayabilir (Topuz, 1993), (Haliloğlu, 2016).

Manyetik parçacıklar yönteminde kuru toz şeklinde veya süspansiyon içerisinde yaş demir tozları kullanılmaktadır. Genellikle zıtlık oluşturması açısından kırmızı, siyah gibi renklerdeki parçacıklar seçilmektedir. Manyetikleşme sağlandıktan sonra demir tozları yüzeye sprey şeklinde uygulanmaktadır. Uygun ışık altında ve çatlak ölçüm cihazları ile tespit aşamasına geçilmektedir (Tepe, 2009). Tespit sonrası numunenin mıknatıs özelliğinin giderilmesi gerekir. Demanyetizasyon olarak adlandırılan bu işlem sonrası test parçası moleküler olarak eski şeklini alır. Manyetikliği ortadan kaldıran bu temizleme işlemi, test edilen parçada kalabilecek demir tozlarının nedeniyle hasar almasını önleyecektir (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012).

Manyetik yöntemler; nispeten basit, hızlı ve tekrarlanabilen sonuçlar veren, uygulanması basit yöntemlerdir. Yüzeysel veya yüzeye uzak olmayan süreksizliklerin tespitinde kullanılan bu yöntemde test edilecek parçanın geometrisinin karmaşıklığı önemli olmamaktadır. Ancak sadece ferromanyetik malzemelere uygulanan bu yöntem; malzeme geçirgenliğinden etkilenmesi, nispeten pürüzsüz bir yüzeye ihtiyaç duyması, yüksek akımın kullanılması, test parçasının yanma ihtimalinin olması ve derin süreksizlikleri tespit etmesinin zor olması gibi dezavantajlara sahiptir (Doğru, 2014), (IAEA, 2002).

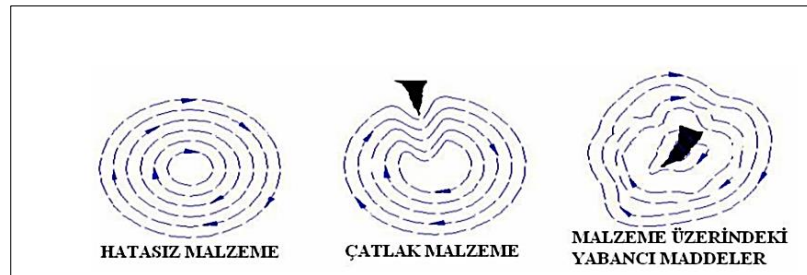
3.5.4 Girdap akımları yöntemi (Eddy Current testing)

Girdap akımlarının muayenede kullanılması elektromanyetik alanın keşfi ile ortaya çıkmıştır. Yöntemde üzerinden alternatif akım geçirilen bir bobin kullanılmaktadır. İletken malzemeye yaklaştırılan bobinde girdap akımları oluşmaktadır. Oluşturulan alternatif manyetik alanın ölçülmesi için yaklaştırılan bobin ya da başka bir bobin kullanılarak ölçüm yapılmaktadır (Topuz, 1993), (Şekil 3.41). Eddy akımı testi olarak da bilinen bu yöntem ile yüzeydeki ve yüzey altı süreksizliklerin tespiti elektrik iletkenliği prensibi kullanılarak yapılmaktadır. Bu nedenle elektriksel iletkenliği olan malzemelerde uygulanabilmektedir (IAEA, 2000).



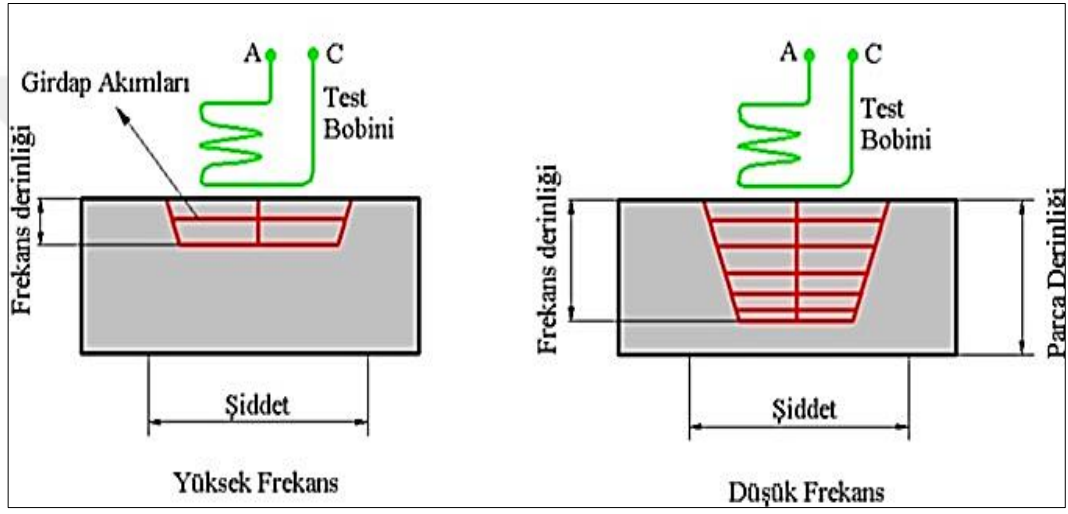
Şekil 3.41 Bobin ile girdap akımının elde edilmesi (Yakupoglu, 2005)

Girdap akımları ile analizinde; alternatif akımı sağlayan akım üreticisi, alıcı görev gören bir bobin ve sinyal algılayıcı göstergesi kullanılmaktadır. Malzeme üzerinde dairesel olarak girdap akımları indüklenmektedir. Yani manyetik alan içerisine alınarak elektrik akımı oluşturulmaktadır. İndüklenen girdap akımları süreksizlik ile karşılaştığında akımlar yörünge dışına çıkmaktadır. Malzeme ile süreksizliğin elektrik direnç farklılığı bu sapmaya neden olmaktadır ve sinyal göstergesine yansımaktadır (Korkmaz, 2010), (Şekil 3.42). Yöntem süreksizlik tespiti haricinde kaplama kalınlığının, elektrik iletkenliğinin ölçülmesinde ve metallerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012).



Şekil 3.42 Manyetik akımda meydana gelen sapma (Salma, 2011)

Test edilen nesne ile alternatif manyetik alan arasındaki ilişkiye *manyetik temas* denilmektedir. Bobinle elde edilen manyetik alan kuvveti test edilen nesneden uzaklaştıkça düşmektedir (Salma, 2011). Girdap akımının gücü malzeme ile bobin arasındaki uzaklığa, malzeme ile bobinin boyutlarına, elektriksel iletkenliğe, manyetik geçirgenliğe, frekansa ve süreksizliklerin varlığına bağlı olarak değişmektedir (IAEA, 2001). Daha derine nüfuz edebilmesi için daha düşük frekans gerekmektedir ve böylece girdap akımları yüzeyde dağılmaktadır. Bu duruma deri etkisi denilmektedir. İletkenlik ve geçirgenliğin artması ile de bu yöntem daha derine nüfuz edebilmektedir (Yakupoglu, 2005), (Şekil 3.43).



Şekil 3.43 Frekansın girdap akımı yöntemine etkisi (Yakupoglu, 2005)

Girdap akımı yönteminde kullanılacak olan prob küçük çaplı ise daha küçük süreksizlikleri algılamada daha hassas çalışmaktadır. Büyük çaplı probalar ise kütsel özelliklerde daha hassas çalışmaktadır (Salma, 2011). Ayrıca probalar yüzey, iç ve çevresel probalar olarak ayrılmaktadır (Yakupoglu, 2005).

Girdap akımları yönteminde test hemen sonuçlanmaktadır. Kullanılan cihazlar genellikle portatif ve pilli ya da şarjlıdır. Kusur hassasiyeti oldukça yüksektir. Probların test edilen parçaya teması şart değildir. Ancak bu yöntemde değişkenlerin kontrol edilmemesi ve teknik bilgi yetersizliği testin yanlış sonuçlanmasına neden olabilmektedir. Kalibre edilmesi gereken bir yöntemdir. Kusur hassasiyeti oldukça yüksek olduğu içi yüzey hazırlığı gereklidir. Çatlakların sıklığı ve incelenmek istenen çatlakla yönelim tespiti zorlaştırmaktadır (IAEA, 2000), (Korkmaz, 2010), (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012).

3.5.5 Ultrasonik yöntemler

Frekansı insanların işitme aralığının çok üzerinde bir değer olan 20.000 Hz. frekansın üzerindeki ses dalgalarına ultrason ya da ultrases denilmektedir. Farklı yüzeylerde farklı hızda hareket etmekte olup enine, boyuna ve yüzey dalga şeklinde yayılmaktadırlar. Yayılma hızı malzemenin elastisite modülüne, poisson oranına ve yoğunluğuna bağlı olmaktadır (IAEA, 2001), (Topuz, 1993).

Tahribatsız yöntemlerde önemli bir yeri bulunan ultrasonik yöntem, malzeme içerisine ses dalgalarının gönderilmesi ve dalgaların yankılanarak toplanması esasına dayanan hacimsel yöntemdir. Yani malzemede yayılan ses dalgalarının hızı ölçülmektedir. Yöntem 20. yüzyılın ilk yarısında endüstride uygulanmaya başlamıştır. Elektronik gelişmesi ile yöntemde de önemli gelişmeler yaşanmıştır (Kaya B. , 1992). Yüzeyde ve yüzeyin altındaki süreksizlikleri saptamak amacıyla uygulanan bu yöntem çatlak kontrolünde veya metal ve kompozit malzemelerin yapışık olan bağ testinde genellikle kullanılmaktadır (Korkmaz, 2010). Hellier'a (2003) göre yüzey koşulları, bozulmaların konumu, malzemenin çeşidi ve kalınlığı belirlenebilmektedir.

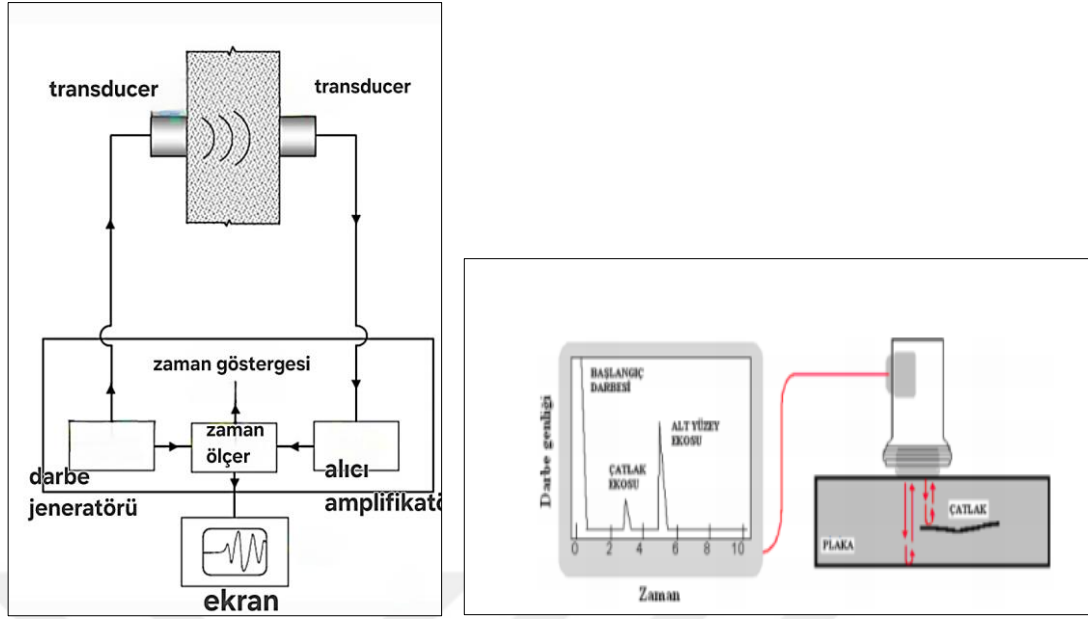
Ultrasonik yöntemler ile süreksizliğin yeri, boyutu ve türü belirlenebilmektedir. Elastisite modülünün tespitinde ve kalınlık ölçümlerinde kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyete sahip olup küçük hataların belirlenmesini sağlamaktadır. Test nesnesinin sadece bir yüzüne erişilmesi yeterli olmaktadır. Söküm işlemlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. En iyi ses ışınına dik konumdaki kesintilerde sonuç verse de farklı açılarda da sonuç almak mümkündür. Yani diğer tahribatsız yöntemlerle tespiti mümkün olmayan açılara erişebilmektedir. Ayrıca diğer yöntemlere kıyasla kalınlığı yüksek malzemelerde iyi sonuçlar verebilmektedir. Modern ultrasonik ekipmanlar genellikle pil ile çalışan hafif ve taşınabilir ekipmanlara sahiptir. Yani taşınabilir bir yöntem haline gelmiştir. Hızlı ölçümler yapılmasına ve otomatik incelemeye imkan vermektedir. Büyük ekipmanlarla yapılan ölçümlerde ise teknik bilgi ve kalibrasyon gerektirmektedir. Sonuçların değerlendirilmesi için referans değerler gereklidir. Radyografik yöntemlerin yarattığı zararlı ışıınımları yaratmamaktadır ve daha derindeki süreksizlikleri tespit edebilmektedir. Malzemenin mekanik ve iç yapısının tanecik boyutunu tespit edebilmektedir. (IAEA, 2000; 2001), (Kaya B. , 1992).

Ultrasonik yöntemlerin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Test edilecek malzemenin düzgün olmayan geometrisi yanıltıcı sonuçlar alınmasına neden olabilmektedir. Yüzeyde yabancı maddelerin algılanması yine sonuçlarda farklılık yaratmaktadır. Bu nedenle yüzeyin test öncesinde hazırlanması gereklidir. Yorumlanması zor ve modern ekipmanları haricinde kalibre edilmesi gerekmektedir. Yüzeye yakın süreksizlikler probun sağır bölgelerinde kaybolup algılanmayabilir ve bu durum en fazla pürüzlü yüzeylerde yaşanmaktadır (Doğru, 2014), (Kaya B. , 1992).

Ultrasonik test yöntemleri bazı parametreler ile sınıflandırılmaktadır:

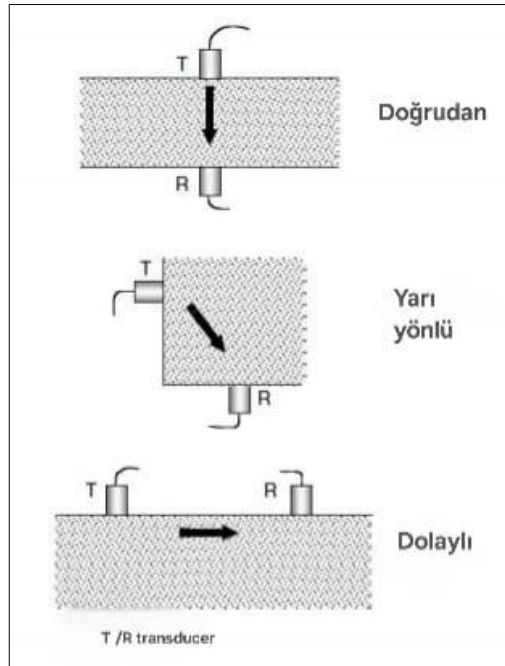
- Ölçülmesi amaçlanan fiziksel büyüklük (genlik, faz, zaman),
- Ses dalgasının üretilme şekli (sürekli, darbe),
- Süreksizliklerin etki şekli (yansıtıcı, gölgeleyici, ses üretici), ((Milli Eğitim Bakanlığı, 2012).

Ultrasonik yöntemler birer darbe-yankı (pulse-echo) tekniğidir. Malzeme içerisine ses dalgaları iletilir ve malzemede mevcut olan bir kusurdan yankılanması ile tespit yapılır (Kaya B. , 1992). Test yönteminde elektrik enerjisi dönüştürücü ekipman yardımıyla ses dalgaları biçiminde mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Yöntemde problemler kullanılmaktadır. Problemlerden üretilen frekansı yüksek ses dalgaları test edilecek malzemenin ortamında yayılır ve var olan bir süreksizliğe çarparak proba geri yansımaktadır. Çarpma gerçekleşmedikçe dalga geri dönmemektedir. Probun algıladığı ses dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürülerek katot ışın tüpünün ekranında yankı (darbe, eko) meydana getirmesi sağlanmaktadır (Şekil 3.44). Ultrasonik yöntem cihazının ekranındaki yankılar malzemenin iç yapısına göre şekillenmektedir. Yankının konumuna ve genliğine göre süreksizliğin yeri ve boyutu belirlenmektedir. Ses dalgasının malzeme içerisinde geçirdiği süre kat edilen mesafe ile ilişkilendirilmektedir (IAEA, 2001), (Korkmaz, 2010), (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012). Frekans değeri yükseldikçe dalga boyu azaldığı için çözünürlük ihtimali artmaktadır. Yani yüksek bir frekans kullanmak gereklidir. Ancak frekans artışının etkisi ile dalga formu enerjisi düşmekte ve incelenmek istenen malzemenin boyutu sınırlanmaktadır (Binda, Lualdi ve Saisi, 2007).



Şekil 3.44 Ultrasonik yöntem diyagramı (Malhotra ve Carette, 2004) ve ultrasonik yöntem ile çatlak tespiti diyagramı (Yakupoğlu, 2005)

Malhotra ve Carino (2004) göre probun test malzemesine uygulanması doğrudan, yarı doğrudan ve dolaylı olarak gerçekleştirilmektedir. En fazla uygulanan yöntem olan doğrudan iletimde alıcı ve verici prob lar karşılıklı konumlanmaktadır. İletimin en fazla bu şekilde olduğu belirlenmiştir. Yarı doğrudan iletimde ise alıcı ve verici prob lar birbirine uzak kalmamak şartıyla karşılıklı olarak konumlanmazlar. En az kullanılan dolaylı iletim ise hata oranı en fazla olan ölçümlere neden olmaktadır (Şekil 3.45).



Şekil 3.45 Doğrudan, yarı doğrudan ve dolaylı iletim (Malhotra ve Carette, 2004)

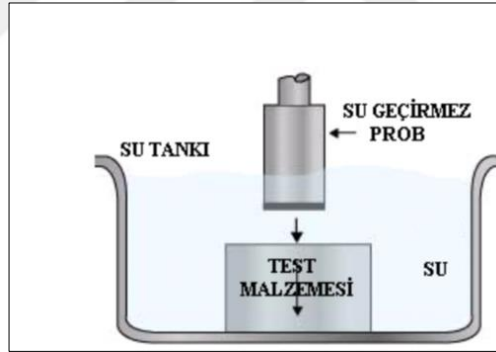
Darbe-yankı (pulse-echo) tekniğinin bazı uygulama biçimleri bulunmaktadır:

- Prob test edilecek malzemenin yüzeyine doğrudan temas ettirilmektedir. Bu yöntemde bir ara sıvısı kullanılmakta ve prob temas ettirilmeden yüzeyine sürülmektedir. Tek kristalli prob kullanılıyorsa hem alıcı hem de verici aynı probtur (Şekil 3.46).



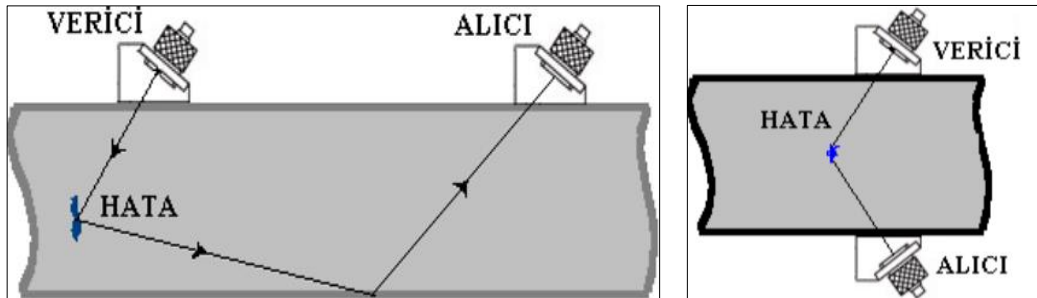
Şekil 3.46 Doğrudan temas ile kalınlık ölçümü (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

- Daldırma tekniğinde su tankı kullanılmakta ve hem prob hem de test edilen malzeme su içerisine daldırılmaktadır (Şekil 3.47).



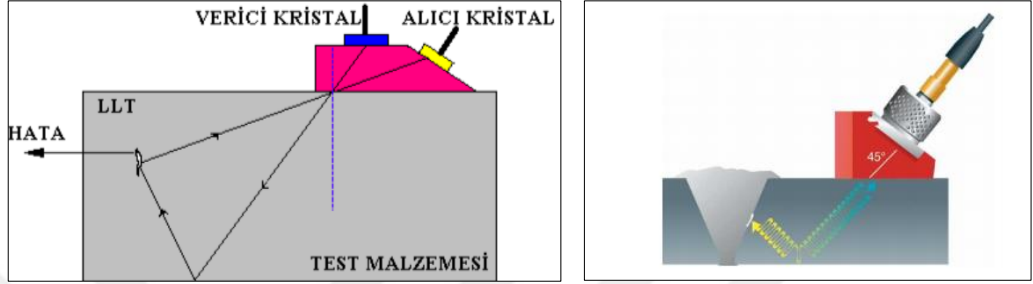
Şekil 3.47 Daldırma tekniği (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

- Çift prob tekniğinde ultrases dalgaları önce süreksizlikte ardından arka yüzeyden yansyarak alıcı proba ulaşmaktadır. Problar karşılıklı yüzeylere uygulanmaktadır (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 Çift probun malzeme yüzeyinde kullanımı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

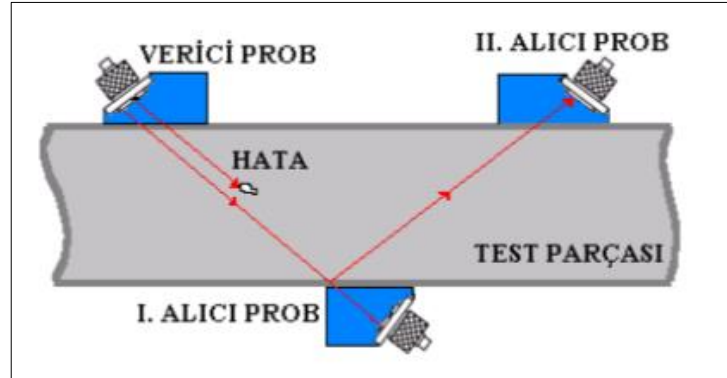
- “Long – Long – Trans” ya da iletme-yansıtma tekniğinde farklı açılarda olacak şekilde belli bir yükseklikteki bir tabanın üzerine probalar yerleştirilmektedir. Probtan iletilen boyuna dalgalar (long) dikey doğrultudaki malzeme içerisinde bulunan süreksizliğe çarpmaktadır. Süreksizlik üzerinde dalga dönüşerek alıcı proba enine dalga (trans) olarak yansımaktadır (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011), (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012), (Şekil 3.49).



Şekil 3.49 “Long – Long – Trans” tekniği (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012), (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011)

Ultrasonik yöntemler darbe yankı tekniği haricinde bazı tekniklerle de gerçekleştirilmektedir:

- Transmisyon tekniği 3 prob ile yapılmaktadır. Verici probtan gönderilen dalga süreksizlik tarafından gölgelenmektedir. 2 alıcı prob kullanılmaktadır (Şekil 3.50).



Şekil 3.50 Transmisyon tekniği ile süreksizlik kontrolü (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

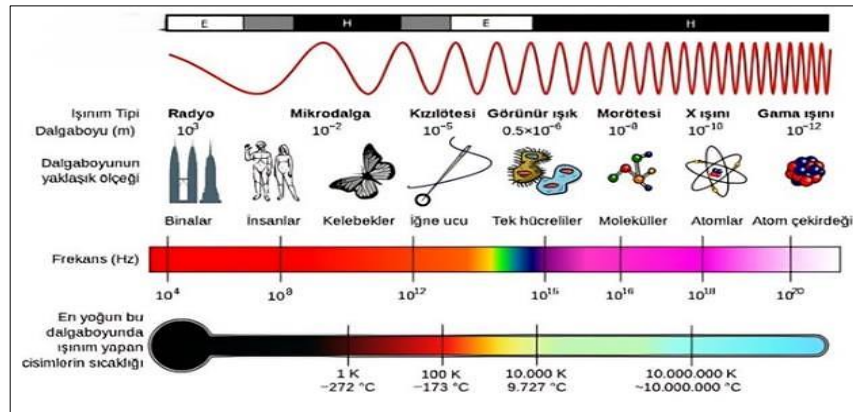
- Rezonans yönteminde uygulanan tek bir darbe ile serbest titreşmekte olan bir yapı rezonans frekansı ile titreşmektedir. Frekans titreşim sıfırlanıncaya kadar aynı kalmaktadır. Test edilecek malzemede rezonans oluşturabilmek için yansımaların sapmaması ve kaybolmaması gereklidir. Bu nedenle test malzemesi pürüzsüz ve paralel yüzeye sahip olmalıdır. Bu yöntem kalınlık ölçümlerinde kullanılmaktadır.

- Kontaklama yani temas tekniğinde verici probun ürettiği ultrasesi malzeme içerisine iletmek için bir ara madde kullanılmaktadır. Probun sürtünmesi azaltılarak enerji kaybının önlenmesi amaçlanmaktadır. Su, yağ, gliserin, gres veya vazelin en sık kullanılan ara maddelerdir. Daldırma tekniğinde direkt ara sıvı olan su dolu tank kullanılmaktadır.
- Ayrıca test işlemlerini hızlandırabilmek ve yerinde değerlendirmeler yapabilmek için otomatik sistemler üretilmiştir. Probun hareketini kumanda ile sağlayan bir mekanizma kullanılmaktadır (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012).

3.5.6 Radyografik yöntemler

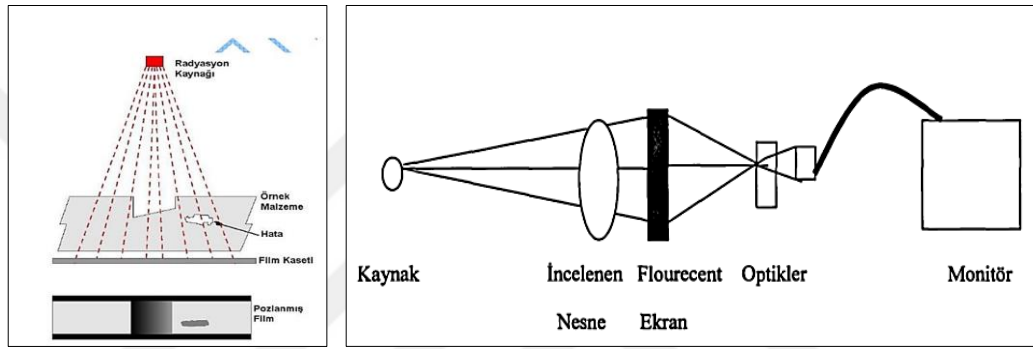
Radyografik yöntemler malzeme yüzeyinden kısa boylu elektromanyetik radyasyonun kullanıldığı tahribatsız testlerdir. Malzemeye uygulandıktan sonra filmde radyografi olarak adlandırılan gölge görüntüsü oluşmaktadır (IAEA, 2001). Üç boyutlu nesnelerin iki boyutlu izdüşümü radyografidir (Kaya B. , 1992).

Radyasyon kullanılarak malzemelerin iç yapısının ayrıntılı biçimde filmleri elde edilmektedir (Kaya B. , 1992). Radyografik kontrolün temel prensibinde nüfuz eden X ve gama ışınları ile algılayan yani dedektör filmler bulunmaktadır. X ve gama ışınları birer elektromanyetik radyasyondurlar. X ışınları elektrik kaynağından elde edilirken gama ışınları için radyoaktif bozunum gereklidir (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012). Bu muayenede düşük dalga boyunda yüksek frekans ve enerjili ışınlar kullanılmaktadır. Kullanılan X ve gama ışınları dalga boyu olarak farklılaşmaktadır (Doğru, 2014), (Şekil 3.51).



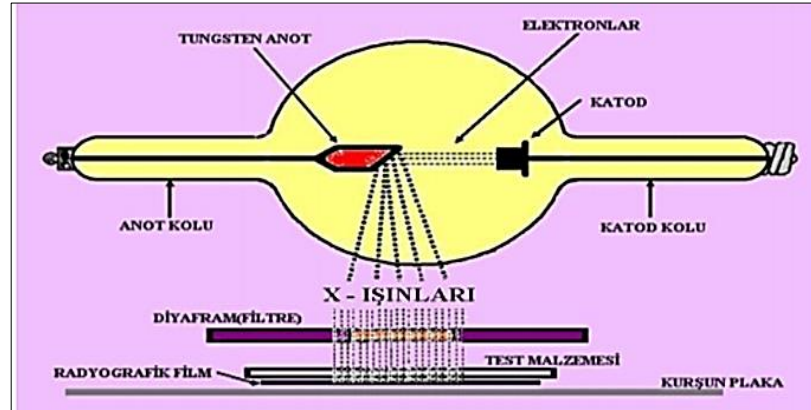
Şekil 3.51 Elektromanyetik spektrum (TUA, 2024)

Radyasyon kaynağının farklılaşması kaynağın test nesnesine nüfuz edebilme kabiliyetini etkilediği için yöntemin uygulanabileceği malzemenin kalınlığına ilişkin limitler oluşmaktadır (Tuğrul, 1992). Çünkü ışınlar nüfuz ettikleri malzeme tarafından emilirler. Malzeme kalınlaştıkça absorbe düzeyi de artmaktadır. Böylece daha fazla radyasyon emilmektedir. Malzemenin kalınlığı veya yoğunluğu farklılaştıkça film üzerinde de farklı yoğunlukta kararım bölgeleri oluşmakta ve görüntü meydana gelmektedir. Yapısal sorunlar, hatalar, aşınma, korozyon, çatlak gibi durumlar ile kalınlık değişimleri tespit edilebilmektedir (Doğru, 2014), (Korkmaz, 2010), (Tuğrul, 1992), (Şekil 3.52).



Şekil 3.52 Radyoskopik incelemenin aşamaları (Delipinar, 2001), (Korkmaz, 2010)

Işın tüpü ile X ışını üretiminde elektrik kaynağı ile enerji X radyasyonuna dönüştürülmektedir. Voltaj farkı ile hızlandırılan elektronlar hedefe çarparak bombardıman etkisi yaratır ve X ışınlarını oluşturur. Soğutulan ışınlar test alanından geçirilip radyografik film oluşturması sağlanır (Korkmaz, 2010), (Şekil 3.53). Güçlü bir ışık kaynağı ile filme bakıldığında optik yoğunluk olan yerler rahatlıkla göz ile ayırt edilmektedir. Filmler değerlendirilirken ayırt edilebilen süreksizlikler yoğunluk konum, boyut ve şekil olarak yorumlanmaktadır (Kaya B. , 1992).



Şekil 3.53 X ışınlarının üretim diyagramı ve malzeme kontrolü aşamaları (Korkmaz, 2010), (Salma, 2011)

Gama ışını ise sızdırmayan ve radyoaktif özellik kazanmayan malzemeden üretilen bir kapsül içerisinde bulunmaktadır. X ışınına göre daha basit donanımı bulunan gama ışınları mekanik ve kumandalıdır. Donanım cihaz kapalı iken kaynağı zırhlama özelliğine sahiptir (Salma, 2011).

Radyografik yöntemler fiziksel özelliklerine bakılmaksızın tüm katı malzemelerde uygulanabilir, arşivlenebilen bir görüntü yani radyografi sunmaktadır, tek ölçüm ile geniş bir alan incelenebilir, yüzeydeki ve yüzey altındaki süreksizliklerin tespiti sağlar, görüntünün geometrisinden süreksizliğin büyüklüğü ve yoğunluğu belirlenebilir, elde edilen radyografinin kalitesini inceleyecek ekipmanlar bulunmaktadır. Ancak yöntemin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Kullanılan ışınlar sağlığa zararlıdır, test nesnesinin iki tarafına da erişilmesi gerekir, belli bir test kalınlığına kadar görüntülüne yapılabilir, süreksizliğin derinliği bilinemez, radyografinin yorumlanması için uzman personel gereklidir, ucuz olmayan ve nispeten uzun süren bir yöntemdir (IAEA, 2000), (IAEA, 2001), (Kaya B. , 1992), (Korkmaz, 2010).

Radyografi yöntemi çoğunlukla tıp alanında kullanılsa da malzeme iç yapısının bilinmesinin önemli olduğu bir diğer alan arkeolojidir. Arkeolojik buluntu ve eserlere zarar vermeden radyografi ile iç yapıları hakkında bilgi edinebilmekteyiz. Maruz kaldıkları etkilerden dolayı çoğu eserin ne olduğunun geleneksel yöntemlerle kesin olarak belirlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda radyografik yöntemler önemli olmaktadır. Eserlerin boyutları, malzemeleri, yapım tekniği gibi değerlendirmeleri radyografi ile yapılabilmektedir. Ayrıca antik eserlerin restorasyon ve konservasyon çalışmalarında radyografi ile incelemeler yapılabilmektedir. Restore edilmiş bir antik şişenin parça bileşimleri gözle belirlenmezken radyografisinden açık bir şekilde incelemeler yapılabilmektedir. Gizlenmiş nesneleri barındıran mumyalarda, canlı kalıntılarında, korozyondan anlaşılmayan nesnelerde, yapıldığı dönemde gizli işaretleri bulunan sanat eserlerinde veya sanat eseri sahteciliğinin ortaya çıkarılmasında da radyografik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak iyi bir görüntülüne için poz süresi, kaynak-parça mesafesi, radyografi kumanda parametreleri, film ve ekran çeşitleri gibi çekim parametreleri test nesnesine bağlı olarak belirlenmelidir (Genç, Ekinci, Mehmet ve Başsarı, 2013), (Tuğrul, 1992).

Şekil 3.54'te Anglo-Sakson mezarında kumaş ile sarılı halde bulunan metal nesneye ait fotoğraflar bulunmaktadır. İlk görseldeki nesne X ışını altında incelenmiştir. Şekil.3.54-b' de X radyografisinde bakır alaşımdan yapılmış halkalar ve çeşitli demir nesneler okunmuş, Şekil 3.54-c'de ise çekilmiş stereo X ışını görüntüsünden rekonstrüksiyon çizgi çizimlerine yer verilmiştir (Özen ve Akyol, 2024).



Şekil 3.54 a- Nesnenin fotoğrafı, b- X ışını altında fotoğrafı, c- Temizlenmiş halinin tahmini çizimi (Özen ve Akyol, 2024)

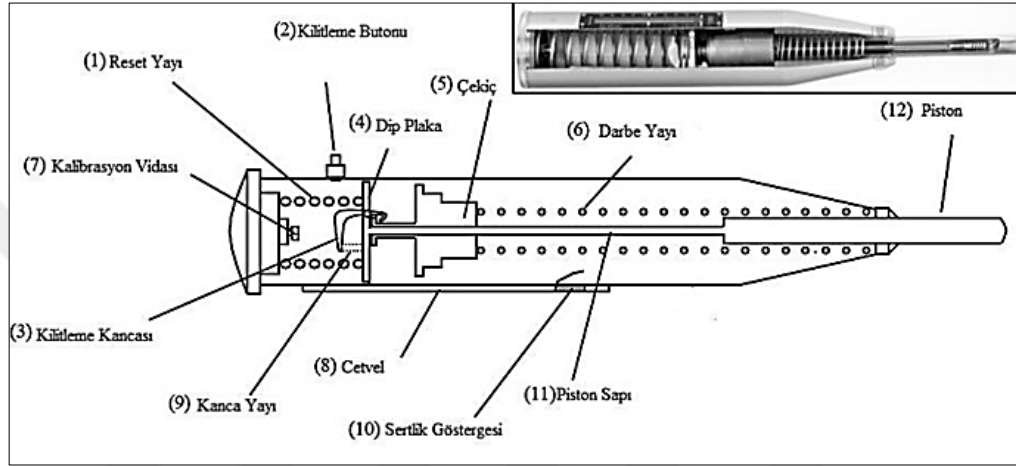
3.5.7 Tahribatsız test örnekleri

Schmidt çekici ile sertlik ölçümü

Malzemelerin dayanımı, tokluğu, elastisitesi, sünekliği ve sertliği mekanik malzemenin mekanik özelliklerindendir. Sertlik, malzeme yüzeyine batırılan bir nesneye karşı verilen tepki veya gösterilen dirençtir. Malzemenin dayanımı, sertliği ile ilişkili olsa da dayanım gibi belirli olan karakteristik özelliği bulunmamaktadır. Sertlik değeri ile malzemenin kökeni bilinebilir ve aynı sertliğe sahip malzemelerin ayırt edilebilmesini sağlamaktadır (Aköz ve Yüzer , 2005).

Ernst Schmidt tarafından geliştirilen test çekici geri tepme ilkesine sahiptir. Test çekici ile betonun sertliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Malhotra, 2004). Çekicin yaklaşık ağırlığı 1.8 kg'dır. Sahada veya laboratuvarında kullanılabilir. Dış gövdesi, pistonu, ana yay ve çekicin kütlesi ana bileşenleridir. Çekici kütleli olarak piston çubuğuna kilitleyen mandala ve geri tepmeyi ölçebilmek için kayabilecek sürücü bulunmaktadır. Çekiç üzerinde geri tepme mesafesine ait bir skala bulunmaktadır (Şekil 3.55). Çekiç betona veya uygulanan başka bir malzeme yüzeyine bastırıldığında gövde yüzeyden uzaklaşmakta ve mandal yardımıyla pistonla bağlanmaktadır.

Pistonun yüzeye dik tutulup itilmesi ile yay gövdeye doğru uzamaya çalışmaktadır. Yay maksimum seviyede uzadığı anda mandal bağlantıdan kopar ve serbest kalır. Yay tarafından yüzeye doğru çekilen kütle geri tepme yapmaktadır. Çekiç yüzeyindeki kayma göstergesi de çekicinin kütlesiyle beraber hareket ettiğinden geri tepme anındaki maksimum mesafede durur ve gövdede bulunan düğmeye basılarak pistonun kilitlenmesi sağlanır. O anda ölçekteki sayı geri tepme sayısını ifade etmektedir (IAEA, 2002).



Şekil 3.55 Schmidt çekicinin iç yapısı (Yaşar, 2016)

Çekicinin konumu yüzeye dik olmak zorundadır. Ancak yüzey farklı açıda ise çekiç de dikliğin korunacağı konuma getirilmelidir. Yani yüzeyin konumuna göre çekiç farklı açılarda kullanım sağlamaktadır (IAEA, 2002).

Çekicinin kullanımında bazı etkenlerin sınırlamaları bulunmaktadır:

- Test edilecek yüzey pürüzsüz olmalıdır.
- Test edilecek malzemenin şekilsel özelliğine göre çekicinin açısı ve çekici tutan kişinin kavrama sertliği belirlenmelidir.
- Beton analizinde kullanılacak ise dayanımı düşük olanlarda erken yaşlarda kullanılmamalıdır. Betonun iç yapısı testi etkilemektedir. Sahada ve numune elde edilen verilerin karşılaştırılmasında aynı kalibrasyon kullanılmamalıdır.
- Yüzeyin test öncesi ıslanması veya nem sorununun gözlenmesi testin doğruluğunu düşürmektedir (IAEA, 2002).

Karaman (2020) yüzey pürüzlülüğünün sertlik değerine etkisini doğal kayalar üzerinden karşılaştırmalı Schmidt ölçümlerinde değerlendirmiştir. Doğal, taşlaması yapılmış ve

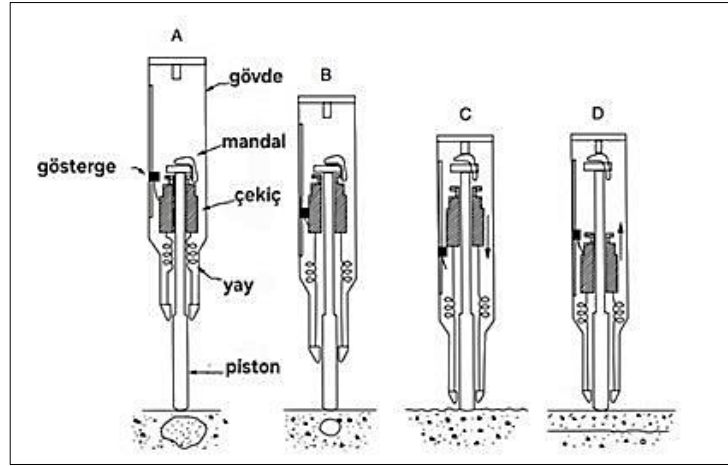
kesilmiş kaya yüzeyleri kullanmıştır. En yüksek sertlik değerini kesilmiş yüzeyden en düşüğü ise doğal numune yüzeyinden elde etmiştir. Bu nedenle yüzeylerin Schmidt çekici ile test edilmeden önce yüzey pürüzlülüğünün azaltılması gerektiğini belirtmiştir.

Schmidt çekici N ve L tipi olarak darbe enerji bakımından ikiye ayrılmaktadır. Laboratuvarlarda karot üzerinde yapılacak sertlik testleri L tipi çekiçle yapılmaktadır. Ayrıca basit ve dijital olmak üzere çekicinin göstergesi modeline göre değişmektedir (Şekil 3.56). Dijital Schmidt çekicinin yüzeye temas açısının önemsiz olmaması en önemli üstünlüğüdür. Ayrıca ölçümleri daha hassas aralıklarda yapmaktadır (Yaşar, 2016).



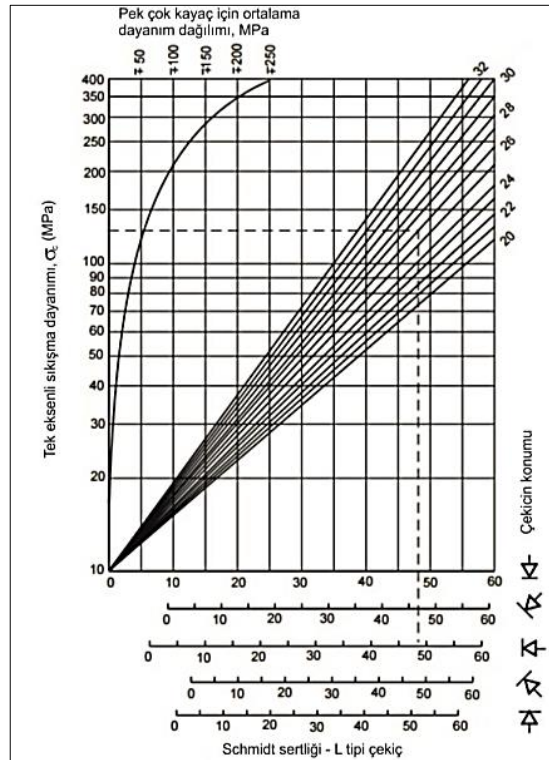
Şekil 3.56 Klasik ve dijital Schmidt çekici (PCE Instruments, 2024)

İlhan'a (2000) göre yüzeyde 10 okuma yapılmalı, kenarlara 40-50 mm uzakta kalmak şartıyla okuma noktalarının arası en az 20 mm olmalıdır. Çekicinin içerisindeki darba çubuğu serbest bırakıldıktan sonra çekiç yüzeye dik tutulmalıdır. Test yüzeyine bastırılan çekiç tetiklendiği anda çekiç yüzeyinde yer alan düğmeye basılarak darbe çubuğu kilitlenmektedir (Şekil 3.57). Yüzeydeki göstergede (skala) yer alan geri tepme sayısı 'R' kaydedilmelidir. 10 okuma sayısı kaydedildikten sonra maksimum ve minimum 'R' değerleri ihmal edilerek diğer 8 değerlerin ortalaması alınmalıdır. Elde edilen 'R' değeri test için geçerli olan dönüşüm eğrisinde kullanılarak değere karşılık gelen beton basınç dayanımı elde edilmektedir. Daha sağlıklı sonuçlar için ultrasonik yöntemler kullanılarak hız değerleri elde edilmeli ve dönüşüm eğrisinde her iki değere karşılık gelen okumalar yapılmalıdır.



Şekil 3.57 Schmidt çekici ile test aşamaları (Malhotra, 2004)

Schmidt çekici ile elde edilen sertlik değeri tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesini dolaylı olarak sağlamaktadır (Török ve Prikryl, 2010). Basınç dayanımının dolaylı şekilde belirlenebilmesi için Deere ve Miller (1966) tarafından kapsamlı bir abak geliştirilmiştir (Yaşar, 2016), (Şekil 3.58). Geri tepme sayısı kullanılarak elastisite modülünün belirlenebilmesi için de yapılan çalışmalar iki değer arasında ilişki kurulamayacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Daha sonra deneysel bir ilişki kurulmuştur. Her iki değerin de nemden ve malzemenin iç yapısından etkilendiği belirlenmiştir (Malhotra, 2004).



Şekil 3.58 Schmidt çekici sertlik değeri ile tek eksenli basınç dayanımının tahmin edilebilmesi için oluşturulan abak (Deere ve Miller, 1966)

Betonun sertlik değerlerinin belirlenmesi ve karşılaştırmalarda kullanılması için üretilen Schmidt çekici daha sonra kayalar üzerinde de kullanılmaya başlamıştır. Yığma yapılar da ise sertlik deneyi doğal malzemeler olan taşta, tuğlada veya harç, beton gibi malzemelerde uygulanabilir ve uygulama olarak kolay bir ölçüme sahiptir. Ayrıca elle taşınabilir alet yardımı ile sahada da tahribat bırakmadan gerçekleştirilebilmektedir (Aköz ve Yüzer , 2005). Schmidt sertlik testi elastik bir yüze ye bir tür çekicin uygulanmasıyla gerçekleşmektedir. Geri sııramanın ölçüldüğü bu yöntem; taş, tuğla ve harç gibi yapı elemanlarında mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için yapı üzerinde veya laboratuvar da uygulanmaktadır. Yüzey sıvanmış veya kaplanmış ise sıva ve kaplamalar kaldırılma sonrasında test edilmelidir. Homojen yapı da ve yüzey yapısı ile iç yapısı farklı olmayan bir özellikle bulunan malzemelerde sertlik değeri kullanılarak malzemenin yapısı değerlendirilmektedir. Malzemenin sertliği arttıkça geri sıırma değeri de artmaktadır (Dabanlı, 2008).

Yüzey sıcaklığı ve nem lm

Doğa koşullarının etkisi ile oluşan hasarlarda sıcaklık ve nem en fazla etkiye neden olan değişimlerdir. Bu nedenle yapıların hasar analizinde sıcaklık ve nemin de belirlenmesi önemli olmaktadır. lmn hem yazın hem de kışın yapılar da değerlendirilmesi gerekir. şekil 3.59’da hem sıcaklık hem de nemi ölçebilen bir alet görülmektedir (Aköz ve Yüzer, 1970; 2005).



şekil 3.59 Yüzey sıcaklığını ve nemi ölçebilen alet (Yüzer ve Ekşi Akbulut) ve el tipi yüzey nem ölçer cihazı (Pala ve Koç, 2022), (Hatır, 2019)

Malzemenin içeriğindeki nemi ölçmek için elektriksel direnç farkı prensibi kullanılmaktadır (Hatır, 2019). Mikrodalga nem ölçümünde malzemenin nem oranı ile malzemeye gönderilen mikrodalga enerjisindeki zayıflamanın ilişkisi bu yöntemin ana ilkesini oluşurmaktadır. lm aletinden temas ettiği yüze ye gönderilen ve malzemedan yansıyan gelen mikrodalgalar ölçülmektedir. Malzemenin kalınlığı ve

temas edilen yüzeyin frekansı test yönteminin sınırlarını meydana getirmektedir (Pala ve Koç, 2022), (Yalçın, Gündoğdu, Kurban ve Altunel, 2017).

Ultrases geçiş hızı/Ultrasonik darbe hızı testi (Pulse velocity testing/ Ultrasonic pulse velocity test)

İnsanlar 16 Hz ve 20.000 Hz aralığındaki sesleri duyabilmektedir. Ultrasonik titreşimler ise insan kulağının duyabileceği aralığın üzerindedir (Hellier, 2003). Elektromanyetik dönüştürücüler olan transduser ile üretilen ses dalgalarının (yüksek frekanslı darbe) malzeme içerisinde ilerle hızının ölçülmesiyle elde edilmektedir. Problar malzeme yüzeyine temas ettirilmeden gres yağı gibi viskozitesi yüksek sıvı proba sürülmektedir. Bir probdan üretilen dalga diğer proba ulaştığında süre durdurulur ve prob algıladığı dalgaları elektronik sinyallere dönüştürmektedir. Geçen süre “geçiş/ulaşma süresi” olarak tanımlanmaktadır (IAEA, 2002).

Elastikiyet ve malzemenin yoğunluğu hızı belirleyen ana faktörlerdir. Ayrıca poisson oranı da etkili olmaktadır (Hellier, 2003). Ultrasonik muayenenin kullanıldığı tüm yöntemler aynı prensiple çalışmaktadır. Ses dalgası bir süreksizlikle karşılaştığında yani boşluklu yapı ya da yoğunluğu azalan noktalardan yansır ve kırılarak iletilmesi nedeniyle hızı düşer, genliği zayıflar (Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch, 2002). Sesin geçiş hızının fazla olması az boşluklu yapıda olduğu ve bu nedenle yüksek dayanıma sahip olduğunu göstermektedir. Ancak dayanımın belirlenmesi için yeterli bir ölçüt sayılmaktadır. Test mekanizması ile karşılıklı veya aynı yüzeylerden doğrudan veya dolaylı ölçümler yapılabilmektedir. Ses geçiş süresi (t, μs) ölçüldükten sonra sesin geçiş hızı (V, mm/s) hesaplanmaktadır. Süreç boyunca kayıtlar izlenerek tespitler yapılmaktadır (Aköz F. , 2005).

$$V = \frac{l}{t} \quad (3.1)$$

Burada;

“V” ultrases geçiş hızı (mm/ μs); “l” problar arası mesafe; “t” ultrases geçiş süresi.

Ultrases testinde daha iyi sonuç alabilmek malzemenin her iki yüzeyinden de ölçüm yapmak gerekir. Noktaların arasındaki mesafenin bilinmesi ile darbe hızı hesaplanmaktadır (Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch, 2002).

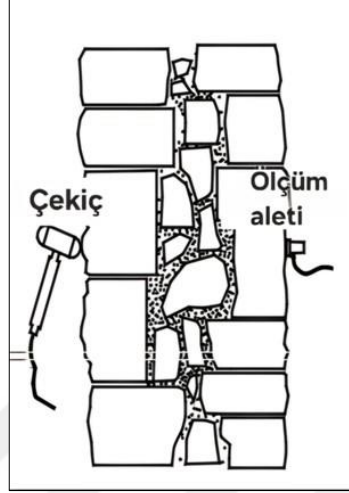
Ultrasonik testler, çatlak oluşumlarını belirlemek ve boşluklu yapıyı tanımlamada kullanılmaktadır. Basınç dayanımını belirleme için kullanılamazken dinamik elastiklik modülünü ve Poisson oranını tahmin etmek için kullanılabilir (Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch, 2002).

Ultrasonik yöntemler taş malzemelerde kullanılan en yaygın yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarihi yapılarda duvarın niteliği, boşluklu yapının varlığı, kusur ve çatlakların durumu, onarım uygulamasının kontrolü gibi alanlarda kullanılmıştır. Harcın zayıflatma etkisi, kalın sıva gibi yüzeydeki malzemenin giriş frekansını etkilemesi, malzemenin farklılaşması ile farklı değerlerin elde edilmesi ve faza sayıda ölçüme ihtiyaç duyulması testin sınırlarını belirlemektedir (Binda, Colla, Saisi ve Valle, 1999).

Pala ve Koç'a (2022) göre ultrases yönteminde olduğu gibi mikrosismolojik yöntemler ile de malzemelerin özellikleri belirlenebilmektedir. Aralarındaki fark dalga boyu ve sinyalin frekansından kaynaklanmaktadır. Mikrosismoloji yönteminde frekans değeri 1 kHz ile 10 kHz aralığındadır. Ayrıca bu yöntemde cisme darbe çekici vurularak sinyal sağlanmaktadır. Sinyal frekansı çekicinin sertliğine ve hacmine bağlı olarak değişmektedir. Ultraseste yüksek frekans ile daha iyi çözünürlük ve doğruluk oranı elde edilmektedir. Mikrosismoloji yönteminde ise düşük frekans ile nüfuz edebilme kalınlığı artmaktadır.

Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch'a (2002) göre sesin darbe hızını kullanarak (Sonic pulse velocity method/ Impact echo method) ölçüm yapılabilmektedir. Mekanik darbenin test yüzeyine uygulanması ile elde edilen gerilim darbesi kullanılmaktadır (Şekil 3.60). Ultrasonik yöntemde olan elektromekanik dönüştürücünün aksine her yere yayılan ve daha az yönlü olan çok büyük bir enerjidir. Çatlak, boşluk gibi süreksizliklerden

yansıyan sonik dalgaların varış süresi ve genlikleri belirlenmektedir. Darbe, yüzeyler ve süreksizlikler arasında ileri geri olacak şekilde yayılarak yansımaktadır. Dönüştürücü ile izlenen periyodik tepkiler ile süreksizliğin varlığı ve konumu belirlenmektedir. Test nesnesinin sadece bir yüzünün kullanılması yeterli olmaktadır.



Şekil 3.60 Sesin darbe hızının ölçülmesi (M. Schuller, 2006)

Beton üzerinde ultrases ölçümleri yapılmış ve bazı standart değerler elde edilmiştir (Tablo 3.5). Ultrases ölçümünün hızını zayıflatan durumlar betondaki çeşitli bozulmalar, boşluklu yapı ve hasar olarak adlandırılabilirler. Yani ultrases ile betondaki hasarların boyutları belli aralıklarla yapılacak ultrases geçiş hızı testi ile belirlenebilmektedir (IAEA, 2000). Elde edilen değerler ile betonun yoğunluğuna dair yorumlar geliştirilebilir. Beton yoğunluğu da dayanımı etkilemektedir. Yoğunluğun artması ile betondaki kılcal boşluklar daha az olacağı için probun ürettiği ses dalgası alıcı proba daha hızlı ulaşacaktır (Asan, 2018).

Tablo 3.5 Beton kalitesinin ultrasonik test yöntemi ile sınıflandırılması (IAEA, 2000 düzenlenmiştir)

<i>Ultrases Hızı</i>		<i>Beton Kalitesi</i>
<i>km/s.10³</i>	<i>ft/s</i>	
>4.5	>15	Mükemmel
3.5-4.5	12-15	İyi
3.0-3.5	10-12	Şüpheli
2.0-3.0	7-10	Zayıf
<2.0	<7	Çok zayıf

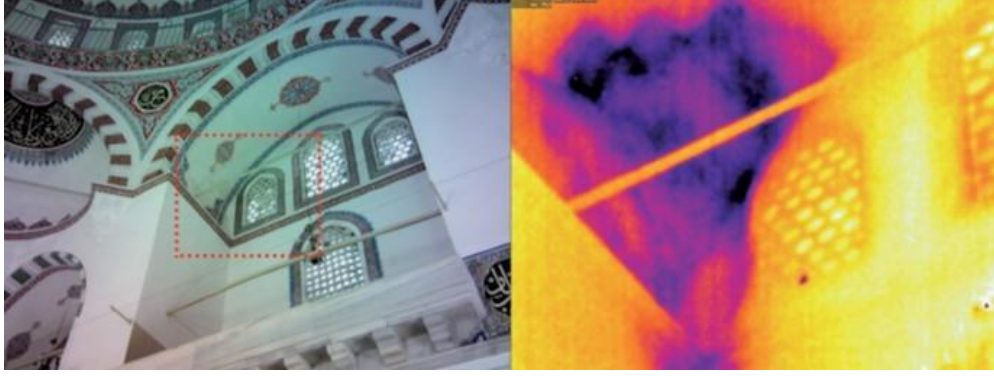
Kızılötesi termografi (Infrared termografi)

Yüzey sıcaklıklarını ölçmede ve ölçümleri haritalandırmada kullanılmaktadır (Kumar ve Mahto, 2013). Tarihi yapılarda ve sanat eserlerinde uygulanabilen bir yöntemdir. Çoğu tahribatsız testle yapılan noktasal ölçümün aksine alansal olarak ölçüm yapmaktadır. Malzemenin termal iletkenliği prensibine dayanmaktadır. Her malzeme kendine ait elektromanyetik radyasyona sahiptir ve bu enerjiyi yaymaktadır (Binda vd., 2007), (IAEA, 2002). Test edilen nesnenin uyara tepki verdiği esnadaki termal ölçümlerinin karakterize edilmesi ile elde edilmektedir. Nesnedeki ısı akışı da izlenmektedir. Termal görüntüleme kameraları en sık kullanılan algılama yöntemidir kullanılmaktadır (Kumar ve Mahto, 2013). Sıcaklığın dağılışı ve radyasyon etkisi kullanılmaktadır. Ölçüm yapılan nesnenin radyasyon enerjisi kızılötesi görüntüleme aracı ile sıcaklık derecesine çevrilmektedir. Kızılötesi kamerada sıcak alt tonlu renkler yüksek sıcaklıkları belirtmektedir (Pala ve Koç, 2022). Şekil 3.61’de termal görüntüleme cihazının duvara yansıttığı renk skalası görülmektedir.



Şekil 3.61 Termal görüntüleme cihazı ve duvar detayı (Pala ve Koç, 2022)

Pasif termografide yapının yüzeyinin sıcaklığı ölçülmektedir. Isı köprüleri, ısı akışının farklılaştığı ve kayıpların olduğu alanlar ile nemlenen bölgeler tespit edilmektedir (Şekil 3.62). Nemli bölgeler ısıyı daha çabuk dağıtmaya ve iletmeye meyillidir. Nemli yerde oluşan buharlaşmadan dolayı ısı kaybedilmekte ve yüzey soğumaktadır. Bu durum termografiye yansımaktadır. Ancak direkt olarak termografi ile nem tespiti yapılamamaktadır. Duvar altındaki tesisat kızılötesi görüntüleme ile tespit edilebilmektedir (Pala ve Koç, 2022).



Şekil 3.62 Nemden kaynaklı hasarların kızılötesi termografide görünümü (Kishalı, Türkmenoğlu Bayraktar ve Şener, 2019)

Aktif termografide analizinde inceleme öncesi yüzey ısıtılmaktadır (Binda vd., 2007). Isıtma sürecinde ve sonrasındaki soğuma evresinde kamera kaydı alınmaktadır. Ölçüm derinliğine bağlı olarak süre belirlenmektedir. Yüzey altı boşluklar ve çözümler belirlenebilmektedir (Pala ve Koç, 2022).

Kızılötesi termografide ölçüm sırasında dahil edilmesi gereken çevresel durumlar bulunmaktadır. Bunlar:

- Ortamın ve arka planın sıcaklığı, nem, rüzgar, güneş etkisi, kamera ile test malzemesi arasındaki uzaklık (Weil, 2004).

Testler çevresel koşullara bağlı olarak gündüz veya gece gerçekleştirilebilmektedir. Yeraltı radarı ile kullanıldığında veya karot alındığında daha iyi sonuçlar vermektedir (Hellier, 2003).

Tarihi yapılarda farklı görüntüleme teknikleri bulunmaktadır. Isı değişimleri, yapının nemlenme durumu, rüzgarın maruziyeti, titreşim sorunu, yapı oturmaları veya yer değiştirme gibi durumların verileri görüntüleme teknikleriyle elde edilebilmektedir. Genellikle ses, ısı, ışık ve elektriğe dayanan sistemler kullanılmaktadır. Ultrases darbe hızı, darbe- yankı/tepki akustik emisyon, elektromanyetik tarama, kızılötesi tomografi ve mikroskop ile analizi örnek verebilmekteyiz (Dabanlı, 2008).

Taşınabilir Mikroskop

Taşınabilir mikroskop ile ölçümlerde malzemenin iç yapısını, gözeneklerinin geometrisi veya boyutlarını belirleyebilmekte, dijital yakınlaştırma modu ile çekimler

yapabilmekteyiz. Tarihi yapılarda ise yüzey kayıplarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Şekilde görüntüleme programı ile elde edilmiş hali verilmiştir (Hatır, 2019), (Şekil 3.63).



Şekil 3.63 Taşınabilir mikroskop (Hatır, 2019)

Titreşim ölçme

Yapıda farklı etkiler oluşan yatay veya düşey yönlerdeki titreşimlerin ölçülmesi için özeli titreşim ölçme aletleri (seismometer) bulunmaktadır (Şekil 3.64). Titreşim ölçer ile küçük titreşimlerin ivmesi, hızı ve yer değiştirmesi tespit edilmekte ve elde edilen değerler diğer analizlerde kullanılmaktadır (Dabanlı, 2008).



Şekil 3.64 Titreşim ölçer (PCE Instruments, 2024)

Radar

Radar cihazı tarafından elektromanyetik dalgalar üretilmektedir. Malzeme içerisinde geçen dalgalar süreksizlikle karşılaştığında yansır ve kırılarak alıcı antene geri dönmektedir. Kaydedilen yansımalar sonucu radargram yani radar tarama çıktısı elde edilmektedir. Radargramın yorumlanması uzmanlık gerektirir. Sinyalin yansıması yoğunluk değişimlerinde, malzeme yapısındaki farklılıklarda, nem varlığında gerçekleşebilmektedir. Bu doğrultuda radar taraması; taşın yapısındaki ve diğer malzemelerdeki boşlukları tespit etmekte, metal elemanların okunmasını sağlamaktadır (Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch, 2002).

Süreksizliğin doğru belirlenebilmesi için konumunun tahmin edilmesi ve bu doğrultuda verici anten seçilmesi önemli olmaktadır. Frekans yükseldikçe yüzeye yakın süreksizliklerin algılanma ihtimali artmaktadır. Bu nedenle radar yönteminin uygulanması zemin araştırmaları ile sınırlı kalmayarak yapı elemanlarında da kullanılmaktadır (Şekil 3.65) Ancak özgün yapım sistemlerinden kaynaklı olarak malzemelerin veya duvar örgülerinin heterojen yapıda olması radar taramasında farklılık yaratmaktadır. Analiz aşamasında malzeme farklılığı göz ardı edilmeden tespitlerin yapılması önemli olmaktadır (Sert, Binan ve Aras, 2024).



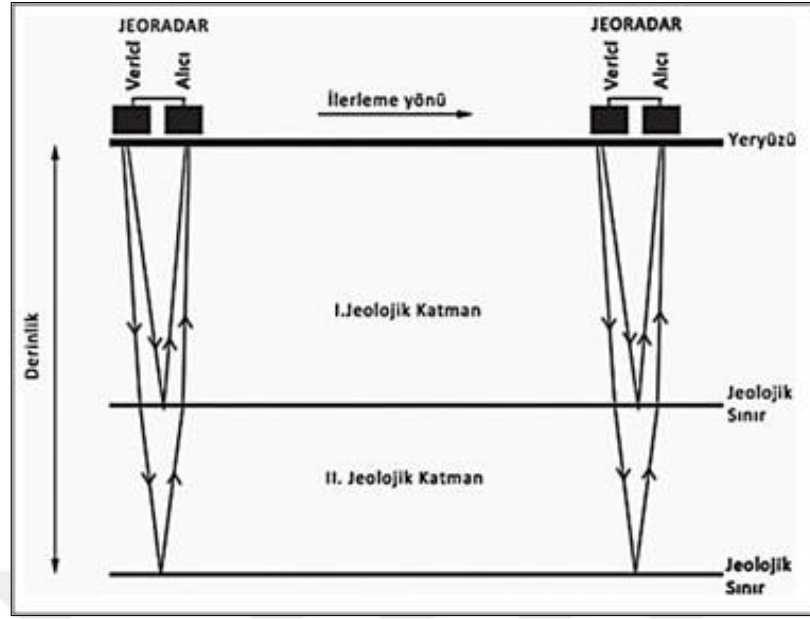
Şekil 3.65 Radar taraması (Sert vd.,2024)

Georadar (Ground penetrating radar / GPR)

Dünyanın sığ yer altında, yapı malzemelerinde, yollarda ve köprülerde araştırma yapmak için tasarlanmış, çözünürlüğü yüksek olan ve gömülü nesneleri bulmak amacıyla dalgaların saçılma özelliğinin kullanıldığı bir elektromanyetik yöntemdir (Daniels, 2000). Yer altı radarı ya da jeoradar olarak da adlandırılan, jeofizik yöntemi olan georadar; yüzeye yakın araştırmalarda yüksek frekanslı elektromanyetik prensip ile çalışmaktadır (Evren vd., 2012). Elektromanyetik alan yaratılarak yer altının araştırılmasını sağlamaktadır (Annan, 2003). Elektromanyetik dalgalar ultrasonik yöntemlerde ve radar yöntemlerinde kullanılmaktadır (Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch, 2002).

Gözetleme radarları gibi gönderilen sinyalin seyahat süresi, belirlemelerde kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü bu yöntem yerin sığ kesimlerinin araştırılmasında en fazla tercih edilen uygulamadır. Yer altındaki nesnelerin derinliklerini ve geometrilerini hassas bir şekilde belirleyebilmektedir. Zemini haritalandırmak ve malzemenin iç yapısını belirlemek için geliştirilmiş bir araç olsa da bununla sınırlı kalmamıştır. Jeoteknik araştırmalarda, antik alanlarda, inşaatlarda, madencilikte, tünel araştırmalarında, alt yapı sorunlarında, tarım arazilerinde ve daha birçok alanda Georadar (GPR) kullanılmaktadır (Demirci, 2012), (Sarıçiçek, 2014).

Verici ve alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıt mekanizmasından oluşan bir sisteme sahiptir. Elektrik alan vektörüne sahip olan verici anten yatayda elektromanyetik sinyaller üretmektedir. Zaman birimi nanosaniye (ns) olup birkaç nanosaniyede sinyal üretmektedir. Yer altı radarında verici antenler kullanılarak yer içine iletilen yüksek frekansa sahip elektromanyetik dalgaların karşılaşılan yapılardan yansımaların antenlerle kayıt altına alınması prensibine dayanmaktadır. Alıcı ve verici antenler tek parça halinde de olabilmekte, kapalı ve koruması olan bir sistem içerisinde yer alabilmektedir (Evren vd., 2012), (Şekil 3.66). Kontrol ünitesi bazı sistemlerde dizüstü bilgisayardır ve Georadarın (GPR) kontrolü sağlanmaktadır (Uzbaş, 2016).

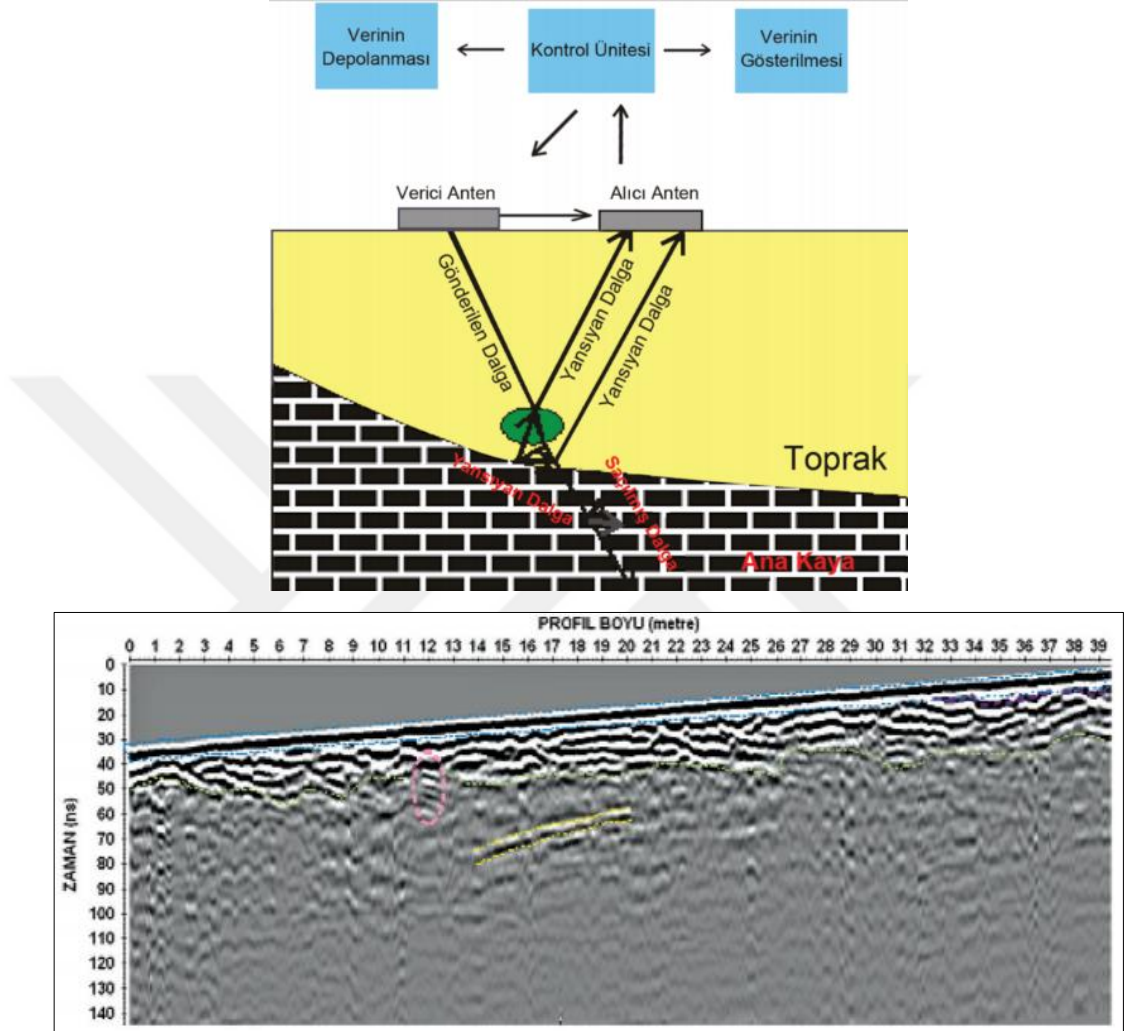


Şekil 3.66 Georadarın (GPR) yer altında çalışma biçimi (Evren vd., 2012)

Verici antenden yayılan dalga malzemenin geçirgenliğine göre belirli bir hızla malzemenin içinden geçmektedir. Sinyal dalgaları yer içinde ilerlerken anomali oluşturacak bir nesneye ya da yüzeye rastlar ise yansıma veya saçılmaya uğrar ve tekrar yukarı çıkarlar. Gömülü olan nesneye çarptıktan sonra yüzeye yansyarak dalga alıcı anten tarafından algılanmaktadır. Malzemenin özelliklerinin dalga hızıyla olan ilişkisi Georadar (GPR) yönteminin temelini oluşturmaktadır. Çünkü hız, elektriksel özellikleri farklı olan malzemelerde farklı değere sahiptir. Mesafe aynı olsa da elektriksel özelliği yani iletkenliği farklı olan iki malzemeden geçirilen sinyaller aynı zamanda varamayacaktır ve seyahat süreleri farklı olacaktır (Daniels, 2000).

Kayıtçı dijital ortamda nesne ya yüzeylerden karşılaşma sonrası yansıyanları toplayarak elektromanyetik verileri kaydetmektedir. Kayıt altına alınan sinyallere “radargram” denilmektedir (Demirci, 2012). “Radar izi” veya “elektromanyetik dalga alanı” da denilmektedir (Kurt, Kadioğlu ve Ekincioğlu, 2009). Frekansı 10 MHz ve 2.6 GHz arasında bir değere sahip olan verici anten tercih edilmektedir (Demirci, 2012), (Sarıçiçek, 2014), (Şekil 3.68). Radar izlerinin yorumlanmasında genlik büyüklüklerine göre renklendirme yapılmaktadır. 2B radar kesitinin yatay eksenini profil boyunu, düşey eksen ise nanosaniye olarak kayıt süresini yani dalganın gidiş geliş zamanını içermektedir (Demirci, 2012), (Şekil 3.67) Radar izleri özel bir veri-işlem programı kullanılarak yorumlanmaktadır (Karadeniz ve Bilgen, 2023). İki

boyutlu oluşturulan radargramların koordinatlarına göre birleştirilmesi ile üç boyutlu yer altı haritası da elde edilmektedir. Hem kuzey-güney hem de doğu batı doğrultuda profil alınmalıdır (Evren vd., 2012).



Şekil 3.67 Georadarın (GPR) çalışma diyagramı ve 2B radargram örneği (Demirci, 2012)

Taranmak istenen bölgenin yüzeyinde verici ve alıcı antenler gezdirilerek tarama yapılır ve radar sensörleri aracılığıyla üretilen elektromanyetik dalgalar yüzey altına intikal ettirilir. (Şekil 3.68). Yüzey altında farklı yalıtkanlığa sahip katmanlar arasında geçişte dalganın bir kısmı farklı şekilde yansıyacağı için farklı katman verilerine kolayca ulaşabilmektedir. Dalganın iletildiği yüzeyin malzemesinde, yoğunluğunda veya su içeriğinde farklılık olması dielektrik özelliği değiştirdiği için dalga yansır ya da kırılarak iletilir. Yalıtkanlık sabiti (dielektrik sayısı) ile dalganın saçılma hızına ve alıcı antene ulaşma süresine bağlı olarak dalganın yansımaya uğradığı yüzeyin derinliği hakkında yorum geliştirilmektedir. Dalganın boyu uzadıkça derine nüfuz

etme artsa da elde edilen çözünürlük aynı oranda düşmektedir (Pala ve Koç, 2022), (Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch, 2002), (Tablo 3.6).



Şekil 3.68 Georadar (GPR) zemin taraması (Demirci, 2012)

Tablo 3.6 Georadar (GPR) yönteminde etkili olan parametreler (Aşçı, 2015), (Takahaski, 2004)

Georadar (GPR) Parametreleri	Dielektrik Sabiti		Elektrik İletkenliği		Anten Frekansı	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yayılma Hızı	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Penetrasyon	Kısa	Uzun	Uzun	Kısa	Uzun	Kısa
Dalga Boyu	Uzun	Kısa	-	-	Uzun	Kısa
Çözünürlük	Düşük	Yüksek	-	-	Düşük	Yüksek

Elektromanyetik dalganın seyahati boyunca anomali değişimlerinin lokasyonuna bakılarak yer altındaki yapı ve unsurları hakkında bilgi akışını sağlayan Georadar (GPR) yönteminde; anten sisteminin seçimi ve tarama sonrası elde edilen verilerin işlenip görüntüye dönüştürüleceği programın seçimi önemli olmaktadır. Anten seçiminin doğru yapılmaması elde edilen verilerde fazla gürültüye ve yanılmaya neden olacak anomalilere neden olabilmektedir (Belce, Bekler, Kurban ve Yalçiner, 2019).

Anten frekansı; incelenmek istenen bölgenin toprak veya kaya gibi ortam özellikleri ile boyut, derinlik, malzeme çeşidi gibi ulaşılmak istenilen hedeflere göre belirlenmelidir. Saha yüzeyinin pürüzlü oluşu ve bitki örtüsünün varlığı antenin erişebilirliğini etkilemektedir. Ayrıca nem ve kil açısından ortam özellikleri de penetrasyonu etkilemektedir (Takahaski, 2004).

Jeofizik yöntemleriyle yer altında bulunan tarihi yapı kalıntılarını tahribatsız olarak incelemesi kültürel miras değeri taşıyan tarihi çevrelerin araştırmalarında kilit rol oynamaktadır. 1950’li yıllardan beri arkeolojik araştırmalarda kullanılsa da tarihi yapı ve eserlerde kullanımı uzun yıllar sonra gerçekleşmiştir (Firik, 2024).

Literatürde Georadar (GPR) kullanılarak tarihi yapıların incelendiği görülmektedir (Karadeniz ve Bilgen, 2023). Tarihi çevrelerde radar ve Georadar (GPR) yöntemi ile yapısal sorunların görüntülenmesi tahribatsız olarak yapılabilmektedir. Arkeolojik kalıntıların belirlenebilmesi için varlığı tahmin edilen bölgelerde bu yöntem yüksek güvenilirlik sağlamaktadır. Ayrıca tarihi çevredeki zemin ve duvarlarda da kullanılmaktadır (Işık, 2022b). Yapı çevresinde varlığı tahmin edilen ancak zemindeki kaplamalardan dolayı görünmeyen yapısal kalıntıları saptayabilmek için kullanılabilir (Aydemir ve Şimşek, 2016). Yapıların fiziksel olarak karakteristik özellikleri görsel incelemelerle veya karot alınarak belirlenemediğinde radar yöntemi ile belirlenebilmektedir (Aköz ve Yüzer, 2005). Yapılardaki tuz ve nem oranı radar verilerini etkilemektedir. Tuz, malzemenin iletkenliğini arttırdığı için elektromanyetik dalganın absorbe olmasına neden olmaktadır. Rutubetin varlığı yani nem ise dalga hızını azaltmaktadır. Bu sayede yapıda veya yapı malzemesinde nem yorumu geliştirilmektedir (Pala ve Koç, 2022).

Işık’a (2022b) göre yüksek frekansta çalışan ekipmanlar ile daha yüksek çözünürlükte haritalar çıkarılabilmektedir. Yüksek frekanslı antenler kullanıldığında ise incelenebilecek derinlik azalmaktadır. Tarihi yapılarda Georadar (GPR) yöntemi ile yapısal sorunların teşhisi yapılacaksa restorasyon öncesi yöntemin gerekliliği belirtilmeli, uzman kişiler tarafından değerlendirme yapılmalı ve yönteminin doğruluğunu destekleyecek araştırma çukuru gibi incelemeler ile yapıların farklı bölümleri incelenmelidir.

Marhinto ve Dionisio (2014) göre kültürel miras yapıları ve nesneleri üzerinde jeofizik tekniklerle bozunma durumlarının belirlenmesi mümkündür. Tablo 3.7’de antik anıtların duvar örgüsünde ve sütunlarındaki bazı sorunlar ve sorunların belirlenebilmesi için jeofizik tekniklerin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Tablo 3.7 Bazı jeofizik yöntemlerin uygulanabileceği durumlar ve sorunlar (Marhinto ve Dionisio, 2014)

Yöntemler	Duvarların Kalınlığı	Boşlukların veya Çatlakların Yeri	Malzemelerin Çürümesi	Donatı Çubuklarının Yeri ve Boyutu	Nem İçeriği	Onarım Müdahalelerinin Değerlendirilmesi
Georadar (GPR)	+	+	-	+	+	+
Sismik yöntemler (Sonik ve ultrasonik tomografi)	-	+	+	-	-	+

+ uygulanabilir /- uygulanamaz

Kullanılan ekipmanların taşınabilir portatif üniteler içermesi, arazide kullanımının ve uygulanmasının kolay olması, tarama yapılan çevrede olumsuz bir durum yaratmaması, veri toplama işlemlerinin hızlı olması ve görüntülerin yüksek çözünürlükte elde edilebilmesi tahribatsız test olan Georadar (GPR) yönteminin başlıca avantajlarıdır (Şekil 3.69). Yüksek frekanslar ile tarihi yapılarda da kullanılabilir. Yapıların tavan ve duvar taramalarında, yapının arkasındaki boşlukların ve nem durumunun belirlenebilmesinde düşey doğrultulu olarak kullanılabilir. Yöntemin bazı kısıtlamaları mevcuttur. Derinlik arttıkça elde edilen çözünürlük derecesi göreceli olarak düşmektedir, iletken bir ortamda yöntem kullanılmamaktadır ve görüntülenmek istenen yer altındaki veya yapıdaki nesnenin erişilebilirliği bulunduğu torağın veya yapının özelliklerinden göre değişmektedir. Yerin iletkenlik değerinin fazla olması yansımaya neden olacağından yeterli bilgi elde edilemez. Farklı antenler ile ölçümlere ihtiyaç oluşabilmektedir. Bu nedenle daha sağlıklı sonuçlar için elektriksel kontrastın incelenen nesneyle çevre birimleri arasında sağlanması gerekmektedir (Evren vd., 2012), (Firik, 2024).



Şekil 3.69 Georadar (GPR) zemin taraması ve ekipmanları (Evren vd., 2012)

Manyetik indüksiyon ölçümü

Ferromanyetik yapıdaki unsurların yüzeylerinde veya yüzeye yakın olan yerlerinde mevcut olan süreksizliklerin ve çeşitli kusurların tespitinde manyetik yöntemler kullanılmakta ve tahribat oluşturmada tespitler yapılmaktadır (Hellier, 2003). Yığma yapılarda manyetik sisteme dayanan tarama aletleri kullanılmaktadır. Zincir, çekme çubukları veya birleşim yerlerinde kullanılan metallerin konumları ve boyutları hakkında bilgi vermektedir. Ancak metal parçaların yüzeye yakın olması gerekmektedir (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2016). Ancak yöntemin duvar kalınlığında sınırlayıcı olması yapı elemanları içerisinde bulunan demir elemanların konumlarının belirlenmesinde yeterli olmamaktadır (Sert vd., 2024).

Şekil 3.70’te Sultan Ahmet Cami’de bulunan fil ayağının manyetik indüksiyon cihazı ile taraması görülmektedir. Ayakta yapılan radar taraması sonucunda tespit edilen süreksizliğin ayağı saran demir kuşaklama olma ihtimalini kesinleştirmek için manyetik indüksiyon cihazı ile tarama yapılmıştır (Sert vd., 2024), (Şekil 3.70).



Şekil 3.70 Manyetik yöntemlerin tarihi yapılarda kullanımı (Sert vd., 2024)

3.6 Tarihi Yapılarda Uygulanan Yarı Tahribatlı Test Yöntemleri

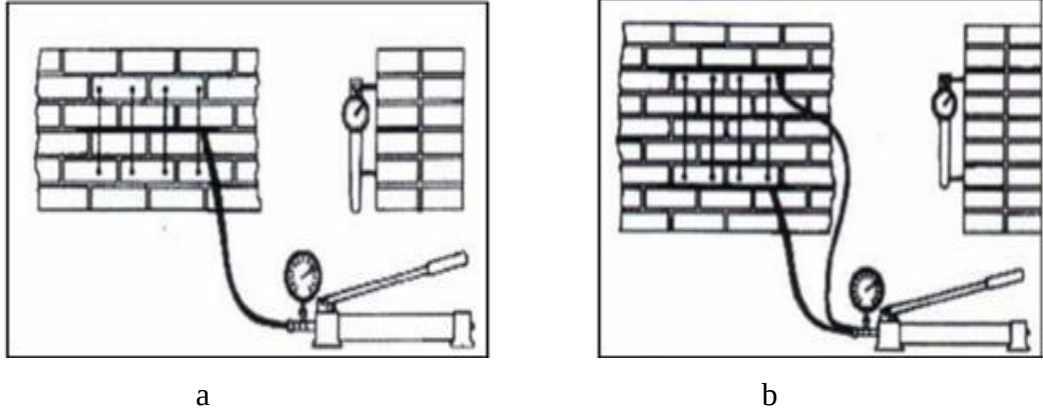
Tarihi yapılarda kısmen yıkılan ya da açılan bölümlerden numuneler alınarak çeşitli laboratuvar deneyleri yapmak mümkün olmaktadır. Ancak yıkılmamış kargir örgü içerisindeki duvar, kemer veya kubbe gibi taşıyıcılardan numunelerin alınması genellikle mümkün olmamaktadır. Ses dalgası hızının ölçümü ile malzeme yoğunluğu verilerine göre yığma yapı elemanlarının dayanımı tahmin edilmektedir ancak homojen olmayan malzemelerde göreceli tespitlere yol açmaktadır. Malzemenin homojen olmaması, kompozit malzemenin kullanılması veya almaşık örgülerin tercih edilmesi mekanik özelliklerin tespitini güçleştirmektedir. Bu nedenle yapıda tamir edilebilir hasarlar oluşturan yarı tahribatlı testlerin veya hasarsız yöntemlerin önemini arttırmaktadır (Kuran ve Dabanlı, 2016).

Yarı tahribatlı testlerde malzemenin test edilmesi esnasında lokal ve yüzeysel hasar genellikle oluşmaktadır. Ancak tahribatsız testlerde bu tarz hasar görülmemektedir (Schabowicz, 2019).

3.6.1 Yerinde basınç gerilmesinin belirlenmesi (Flat- Jack)

Hafif hasarlı bir yöntem olan Flat-Jack; numune almaya gerek duyulmadan yerinde gerçekleştirilen bir deneydir. Etkin bir biçimde tarihi yapılarda tercih edilen bu yöntemle yapı kullanılmaya devam edilirken taşıyıcı elemanların ve kompozit malzemenin mekanik özellikleri belirlenebilmektedir (Kuran ve Dabanlı, 2016).

Uygulama şekli bakımından ikiye ayrılmaktadır. *Double Flat-Jack* olarak da bilinen bu uygulamada iki yassı plaka kullanılarak basınç dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı belirlenebilmektedir. *Single Flat-Jack* denilen ikinci uygulamada tek plaka kullanılmakta ve mevcut olan basınç gerilmesi belirlenebilmektedir. Her iki düzenekte de yassı çelik plakalar, hidrolik pompa, deformasyon ölçerler, deplasmanı ölçen kompatör ve pimleri ile sayısal kayıttıcı kullanılmaktadır (Aköz ve Yüzer , 2005), (Kuran ve Dabanlı, 2016), (Şekil 3.71).



Şekil 3.71 a- Tek plaka kullanılması, b-çift plaka kullanılması (Aköz ve Yüzer , 2005)

Ölçüm yapılacak kargir elamanın genişliğinin iki katı ile 200 mm arasındaki bir değerde plaka genişliği kullanılmaktadır. Plaka derinliğinde ise duvarın kalınlığı ve 75 mm arasında bir değer olması istenmektedir. Plakalar derz hizasından açılan duvara yerleştirilmektedir. Hidrolik pompa yardımı yağ verilen yassı plakalara basınç iletilmektedir ve plakalar arasında hacim genişletilmektedir. Böylece plakalar arasında kalan duvar parçası sıkışır ve duvara yük uygular. Yanal ve düşey şekil değiştirmelerini ölçen cihaz ile basıncı ölçen hidrolik pompadan alınan veriler kaydedilmektedir. Her plaka için laboratuvarında kalibrasyon katsayısı K_m belirlenmektedir. Plakaların hacimsel genişlemesi ile duvara uygulanan basınç değerinin pompadan verilen basıncın değerine oranı kalibrasyon katsayısını tanımlamaktadır. Belirlenen deformasyonlar ile duvarın yük-birim şekil değiştirme eğrisi çizilmektedir. Daha fazla plaka yük yüklenemediğinde duvarın basınç dayanımına ulaşılmış olunur. Ancak bazen de deney sırasında duvarın dayanımına ulaşacak yeterli basınç değeri belirlenememektedir. (Kuran ve Dabanlı, 2016), (Şekil 3.72).

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot P \quad (3.2)$$

Burada;

“ f_m ” yığma yapıda ortalama basınç gerilmesi (MPa); “ K_m ” Flat Jack kalibrasyon faktörü ($K_m = P_{makine}/P_{flat\,jack}$); “ K_a ” Flat Jack/açılan bölge oranı ve “ P ” pimler arasında ölçülen mesafenin başlangıç değerine ulaşabilmesi için gerekli olan Flat Jack basıncı (MPa).



Şekil 3.72 Taş duvarda Flat-Jack deneyi (Kuran ve Dabanlı, 2016).

3.6.2 Endoskopik yöntem

Gözle görülmeyen veya karot almak amacıyla ulaşılamayan noktalarda ya da boyutları büyük olan taşıyıcı elemanlarda kullanılmakta olan yarı tahribatlı bir yöntemdir. Tıp alanında kullanılan yöntemle benzetmekle beraber malzemenin analizinde kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanması için çapı 1 cm olan delik açılmakta ve içeriye kablo uzatılmaktadır. Kablonun ucundaki görüntülme aygıtı ile görüntü alınması esasına dayanmaktadır (Aköz ve Yüzer , 2005), (Şekil 3.73).



Şekil 3.73 Tarihi yapıda endoskopi yönteminin uygulanması ve elde edilen görüntü (Bianco, 2012)

3.6.3 Yerinde kayma deneyi

Kayma dayanımının belirlendiği bu yöntemde kuvveti uygulaması için kompresör ve ölçüm için kuvvet ölçer ile transduser (deplasman ölçüm cihazı) kullanılmaktadır. Kayma ölçümü yapılacak yüzeyin hazırlanması için her iki taraftan da açıklık elde edilir, yatay kuvvet uygulanır ve karşı tarafına transduser konulur. Transdüserin deplasmanı en üst seviyede ölçtüğü andaki gerilme kayma gerilmesinin indeksi olarak kaydedilmektedir (Aköz ve Yüzer , 2005), (Mahrabel, 2006), (Şekil 3.74).



Şekil 3.74 Yerinde kayma deneyinde oluşması istenmeyen çatlaklar (Yüzer, 2015)

3.6.4 Batma direnci (Windsor sondası)

Windsor sondası batma derinliğini ölçen sertlik test cihazıdır. Cihaz ateşli silaha benzemektedir. İşlev olarak da Schmidt çekicine benzemektedir. Prob veya çivi olarak da adlandırılan sonda, tabanca yardımı ile ateşlenerek çakılmakta ve betona battığı kısmın derinliği ölçülerek mukavemet ve kalite yorumları geliştirilmektedir. Betonun dayanıklılığı arttıkça Windsor probunun yüzeye giren miktarı o oranda azalmaktadır. Yani ters orantı ilişkisi bulunmaktadır. Uygulaması basittir ve hızlı sonuç vermektedir. Yüzeyin tek tarafında ölçüm yapılması yeterli olmaktadır. Pürüzsüz olması şartı ile eğri yüzeylerde de uygulanmaktadır. Düz yüzeylerde üçgen formdaki probun kullanılması önerilmektedir (IAEA, 2002), (Malhotra ve Carette, 2004).

3.6.5 İğne penetrometresi deneyi

Zayıf yapıdaki kaya gibi malzemelerin tek eksenli basınç dayanımında kullanılan basit ve pratik bir cihazı bulunan yöntemdir. Çok yumuşak kayaların tek eksenli basınç dayanımlarını belirlemek için gereken numunelerin hazırlanması mümkün olmadığından iğne penetrometresi kullanılarak numune hazırlama güçlüklerini ortadan kaldırmaktadır. Sahada veya laboratuvar ortamında numune üzerinde kullanılabilir. Mekanizmanın ucundaki iğnenin malzemeye batırılması ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.75). İğne batma direnci batma kuvveti ile batma derinliğinin çarpılması ile elde edilmektedir. Malzeme üzerinde mikro yapısal hasar oluşturmaktadır. Bu hasar iğnenin çapının azalması ile azaltılabilmektedir (Ngan-Tillard vd., 2012), (Özdemir, 2019).



Şekil 3.75 İğne penetrometresi deneyinin uygulanışı ve mekanizması (Özdemir, 2019)

3.6.6 SEM/EDS analizi (Taramalı elektron mikroskobu/X ışının spektroskopisi)

SEM (Scanning Electron Microscope) yani taramalı elektron mikroskobu, bir görüntüleme tekniğidir. Odaklanmış haldeki elektron demeti kullanılarak numune yüzeyinde yapılan büyütme ile numune yüzey taranmakta ve görüntü elde edilmektedir. 500.000x kata kadar numuneyi büyütebilen mikroskoplar bulunmaktadır. Vakum altına alınan numunenin havadaki parçacıklarla etkileşmesinin önüne geçilmekte ve elektron ışınının odak halinde kalması sağlanmaktadır. SEM analizinin ayırma gücünün yüksekliği ve numune analiziyle görüntüyü birleştirme özelliği sayesinde farklı araştırmalarda tercih edilmektedir. Optik mikroskoplarda ışık kaynak olarak kullanılırken SEM analizinde demet elektronlar kullanılmaktadır. Elektron etkileşimlerinin optik sinyallere dönüşmesi sağlanmaktadır (Erdin, 1986), (Eurolab, 2024), (RTI Laboratories, 2024), (Şekil 3.76).



Şekil 3.76 SEM/EDS analizi (Eurolab, 2024)

EDS analizine (Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi), SEM analizinde incelenen numunenin belirli unsurları saptayabilmek için başvurulmaktadır. Numune yüzeyine salınan X ışınları tespit etmek EDS dedektörü kullanılmaktadır. Numuneye ait kimyasal bileşimlere ve SEM analizinde” görüntülenen verilere ait bilgiler sağlamaktadır (Eurolab, 2024), (RTI Laboratories, 2024). Farklı adlandırmalar yapılabilmektedir (Wikipedia, 2024):

- Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS, EDX, EDXS veya XEDS)
- Enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDXA veya EDAX)
- Enerji dağılımlı X-ışını mikro analizi (EDXMA)

3.7 Tarihi Yapılarda Uygulanan Tahribatlı Test Yöntemleri

Test edilen malzeme veya ürünün tekrar kullanılma imkanlarını ortadan kaldıran testlere tahribatlı test yöntemleri denilmektedir. Tahribatlı testler; çekme, basınç, eğme, burma, yorulma, sürtünme ve korozyon testleri gibi deney malzemesini tahrip ederek sonuç alınan deneylerdir (Kaya B. , 1992). Tahribatsız testlerin çoğunda kesin sonuçların elde edilememesi tahribatlı testlerin uygulanmasına neden olmuştur (Aköz ve Yüzer, 1970).

Tahribatlı testler için karot alınmasındaki amaç; taş, tuğla veya harç gibi yapı malzemelerinin boşluklu yapısını, renk durumunu, çatlakların kapsamını, korozyon miktarını veya tabakalaşan yüzeylerini belirleyebilmek ve mukavemetlerini tahmin edebilmektir (Aköz ve Yüzer, 1970).

Tahribatlı uygulamalar için karot alınacak yer belirlendikten sonra çapı 50 mm olan numunelerden yeterli sayıda çıkarılmaktadır. İşlem sonrası bölge uygun yöntemle kapatılmakta ve görüntünün fark edilir olması ortadan kaldırılmaktadır. Laboratuvar ortamına gelen karotlar en az 3 cm olacak şekilde parçalara ayrılmaktadır. Karot alımı için mukavemeti yeterli olmayan malzemelerden deneylere yetecek sayıda numune alınmaktadır. Genellikle tuğla malzemede ve harçlarda bu durum gözlenmektedir (Aköz ve Yüzer , 2005), (Şekil 3.77).



Şekil 3.77 Yapıdan karot alma uygulaması ve elde edilen numune (Yüzer ve Ekşi Akbulut)

Numunelerin tarihi yapılara zarar verilmeden alınması oldukça güçtür. İncelenip deneysel analizi tamamlanan numuneler, genellikle yapının tamamını kapsayacak bir bilgi vermemektedir. Yapının belli bölümlerinin davranışlarına ait sonuçlar elde edilmektedir (Kara, 2009). Taş ya da tuğla gibi malzemelerden istenilen boyutta ve sayıda numuneler alınabilirken harç ve sıvalarda alınamamaktadır (Ekşi Akbulut, 2006). Malzeme numunelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri kullanılarak deneyler sonuçlandırılmaktadır. Malzemenin basıncı, çekme ve eğilme karşı olan mukavemeti ile elastik özellikleri mekanik özellikler kullanılarak; porozitesi, yoğunluğu, su emme özelliği ve özgül ağırlığı fiziksel özellikler kullanılarak; iç yapısının özellikleri ise kimyasal verileri kullanılarak elde edilmektedir.

Yapıdan elde edilen taş numunesine bazı aşamalar uygulanmaktadır. Deney uygulanacak numune ilk olarak taş kesme aleti ile çap ve yüksekliğinin oranı 1/1 olarak düzeltilmektedir. Belli bir süre belirlenen sıcaklıkta ve bağıl nem altında numune bekletilmektedir. Numunenin yükseklik ve kütle ölçümleri yapılarak kayıt altına alınmaktadır ve elde edilmek istenen özelliğe göre numune test edilmektedir (Aköz H. , 2008).

Laboratuvardan elde edilen veriler ile tahribatsız testlerin sonuçları arasında ilişkiler kurularak bağıntılar elde edilmelidir (Ekşi Akbulut, 2006).

3.8 Tahribatsız ve Tahribatlı Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Günümüzde malzeme özelliklerinin belirlenmesinde, hasar analizinde ve müdahale kararlarının alınmasında birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemler yerinde veya laboratuvarda yapılan tahribatlı, yarı tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri olarak ayrılmaktadır. Test yöntemlerinin kendi içerisinde bazı sınırlılıkları ve üstün özellikleri bulunmaktadır.

Aköz ve Yüzer'e (1970) göre tahribatsız testler mevsimsel durumlardan etkilenmektedir. Bu nedenle yaz ve kış dönemlerinde geri tepme testi ve sesin yayılımına dayanan testler farklı sonuçlar vereceğinden ölçümleri tekrarlanmalıdır. Tahribatsız testler malzeme özelliklerini yeterli düzeyde belirleyememektedir. Bu nedenle numuneler alınmalı ve laboratuvar testleri ile desteklenmelidir. Elde edilen değerler karşılaştırılmalı ve matematiksel denklemler kurularak yapının farklı bölümlerindeki aynı malzemede de kullanılması sağlanmalıdır.

Tahribatsız yöntemlerde uygulama aşamasında yaşanan bazı güçlükler mevcuttur. Malzemenin türüne, şekline ve test edilen yere göre güçlükler gelişmektedir. Ferromanyetik olmayan bir malzemede manyetik testlerin yapılamaması ya da yüzey yapısının ve açısal koşullarının yeterli olmadığı bir yüzeyde ultrasonik ölçümlerin yapılamaması bu duruma örnektir. Test edilecek nesnenin bulunduğu yere yaklaşılabilmek durumu da sınırlayıcı olmaktadır. Bu duruma tarihi yapıları örnek verebiliriz. Tarihi yapılarda taşıyıcı elemanların görünürlüğünün kısıtlı olması veya iki yüzeyden test edilmesine ihtiyaç duyulan deneylerde diğer yüzeyin elde edilememesi tahribatsız testlerin uygulanmasını engellemektedir. Tahribatsız testlerden elde edilen sonuçların uygunluğu çoğunlukla tahribatlı yöntemlerle belirlenmektedir. Arzu edilen sonuca ulaştığı tahribatlı testle belirlenen tahribatsız testler diğer test nesneleri üzerinde uygulanabilmekte ve karşılaştırmalı olarak yorumlanmaktadır (Kaya B. , 1992).

Tahribatlı test yöntemlerinin tahribatsız test yöntemlerinden üstün veya sınırlı olan özellikleri karşılaştırılarak tablolastırılmıştır (Tablo 3.8).

Tablo 3.8 Tahribatlı test yöntemlerinin tahribatsız test yöntemleri ile karşılaştırılması

Tahribatsız Test Yöntemleri	Tahribatlı Test Yöntemleri
-Uygulanılan nesnede, malzemede veya yapıda tahribata (hasara) neden olmamaktadır	-Uygulanılan nesnede, malzemede veya yapıda kalıcı tahribat oluşturmaktadır
-Test tekrar uygulanabilmektedir	-Test sonucu malzemede hasar meydana geldiğinden tekrar kullanılamaz
-Genellikle birden fazla test art arda uygulanabilmektedir	-Numuneler sınırlı sayıda elde edilmektedir
	-Genellikle aynı numunede farklı testin uygulanması mümkün olmamaktadır
-Test tüm parçalarda uygulanabilmektedir	-Numuneye uygulanan test verisi diğer parçalar için de kabul edilmektedir
-Test öncesi hazırlanma aşamasına ihtiyaç duyulmamakta veya en az düzeyde bir hazırlık gerekmektedir	-Numunenin elde edileceği yerin belirlenmesi ve numunenin çıkarılması gerekmektedir
	-Laboratuvar koşullarının uygun olması gerekmektedir
-Genellikle taşınabilir ekipmanlar ile testler gerçekleştirilmektedir	-Genellikle test ekipmanlarının sabit cihazlar olması ve numunenin hazırlanması için süreye ihtiyaç duyulması test süresini uzatmaktadır
-Zaman açısından ve ekonomik olarak tasarruf sağlamaktadır	-Sürenin uzaması test edilecek numune sayısını sınırlamaktadır
-Uygulama yapılacak malzemeler sınırlıdır	-Uygulama yapılacak malzeme sınırlılığı en az düzeydedir
-Testlerin uygulanabilirliği malzemeye göre değişmektedir	Testlerin uygulanabilirliği malzemeye göre değişmektedir
-Ürünlerin kalite kontrollerinde sıklıkla kullanılmaktadır	-Ürünlerin kalite kontrolünde kullanımı yaratabileceği tahribattan dolayı oldukça sınırlıdır
-Test malzemesinin yüzey özellikleri ve geometrisi test sonucunu etkilemektedir	-Test numunesi istenilen koşullarda hazırlanmaktadır
-Değiştirilemeyen veya öngörülemeyen ortam koşulları test sonucunu etkilemektedir	-Laboratuvar koşulları ayarlanabildiği için test sonucu değişmemektedir
-Test sonuçları kesin olmadığı için yorumlama farklılıkları ortaya çıkmaktadır	-Sonuçların değişkenliği ve yorum farklılığı en az düzeydedir.
-Hata oranı (yanılma payı) yüksektir	-Hata oranı (yanılma payı) düşüktür
-Genellikle test malzemesinin iç yapısına veya bölümlerine erişim sorunu yaşanmamaktadır	-Sınırlı yüzeylerden belirli kısıtlı sayıda numune alınmaktadır
-Bazı testlerde birden fazla yüzeye erişim gereklidir	
-Bazı kabullere dayandırılarak yapılan hesaplamaları içeren testler bulunmaktadır ve karşılaştırmaya dayanan veriler elde edilmektedir	-Bazı kabullere dayandırılarak yapılan hesaplamaları içeren testler bulunmaktadır
-Uygulama ve yorumlama aşaması genellikle uzmanlık gerektirmektedir	-Uygulama ve yorumlama aşaması genellikle uzmanlık gerektirmektedir

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Diyarbakır Suriçi Bölgesinin Konumu ve Tarihsel Gelişimi

Diyarbakır kenti; Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan, kuzeyinde dağlar ve güneyinde çölleşen ovaların bulunduğu, yerleşme koşulları bakımından elverişli bir alanda kurulmuştur (Şekil 4.1). Anadolu'nun ortasında konumlanan kentin fiziksel yapısında Dicle ile Fırat Nehri'nin oluşturduğu “bereketli hilal” olarak adlandırılan verimli topraklar ve Karacadağ'ın meydana getirdiği bazalt oluşumlar etkili olmuştur (Beysanoğlu, 1987), (Parla, 1990). Tarih boyunca kentin sahip olduğu özellikler sayesinde birçok medeniyet yaşamıştır. Diyarbakır, ticaret ve savunma alanlarında merkez görevi görerek yerleşimin sürekli hale geldiği bir çekim merkezi haline gelmiştir (Boran ve Aykaç, 2019).



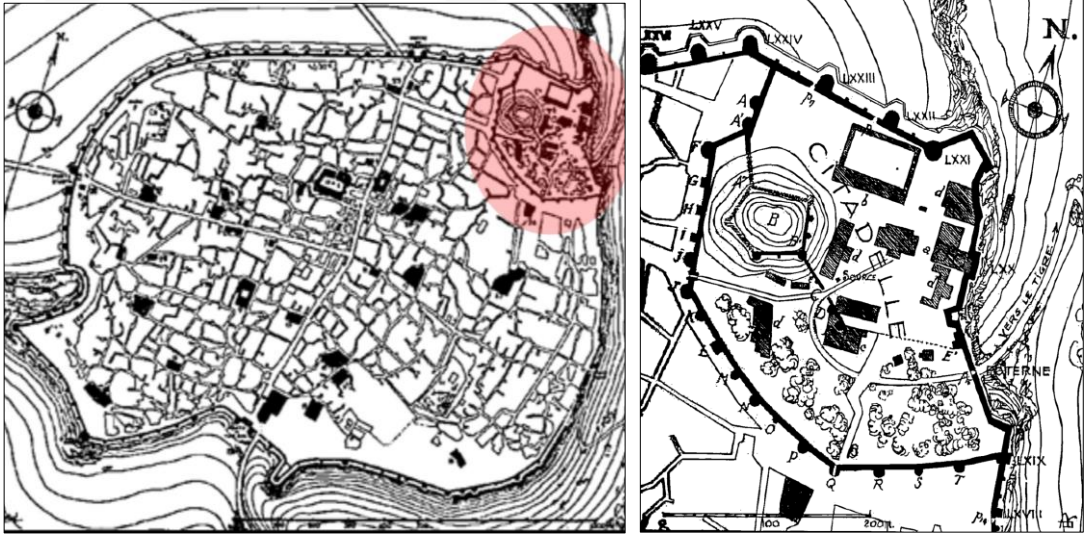
Şekil 4.1 Diyarbakır'ın Türkiye haritasındaki konumu (Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 2024)

Diyarbakır'ın merkez Sur ilçesinde yer alan ve Suriçi Bölgesi olarak adlandırılan bölüm; UNESCO kültürel mirasları arasına girebilmiş tarihi surlarla çevrili ve Hevsel Bahçelerine ev sahipliği yapan, tarihi ve geleneksel yapıların bulunduğu düz bir arazide yer alır (Şekil 4.2). Manzaraya yönelim ihtiyacı oluşmadığından iklimsel durumlar yerleşme dokusunu şekillendiren başlıca etmen haline gelmiştir. Düz arazinin varlığı ve yön sorununun olmaması Suriçi sokaklarının organik dokuda oluşturulmasını sağlamıştır (Payaslı Oğuz ve Halifeoğlu, 2017).



Şekil 4.2 Diyarbakır Suriçi Bölgesi uydu fotoğrafı ve bölgenin Diyarbakır uydu fotoğrafındaki konumu (Google Earth, 2024)

Diyarbakır kenti, tarihin her döneminde önemli bir siyasal ve kültürel merkez olmayı başarmıştır. Birçok uygarlık tarafından yerleşim merkezi olarak kullanılmıştır. Binlerce yıldır birçok uygarlığın etkisiyle gelişen tarihi ve kültürel mirasını günümüze kadar taşıyan önemli tarihi bir kenttir. Mezopotamya'nın ilk medeni topluluğu olarak bilinen Hurriler, kentin ilk kurucularıdır. Diyarbakır Kalesi iki bölüm halinde iç ve dış kaleden meydana gelmektedir. Merkezde kesişen ve birbirine dik iki ana yola, yollarla bağlantısı olan dört kapıya ve gizli geçitlere sahip olan kentin kuzeydoğusunda İç Kale yer almaktadır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Hurriler, surlarla çevrili olan Suriçi Bölgesindeki İç Kale'ye yerleşmişlerdir. İç Kale'deki ilk izlere Amida Höyük etrafında rastlanılmaktadır. İç Kale'deki hakimiyet sur duvarlarının genişletilmesi ve dış surların da eklenmesi ile genişletilmiş, iç ve dış kale kavramlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Hurriler dışında Asurlar, Medler, Persler, Romalılar, Sasaniler, Bizanslılar, Abbasiler, İnalıoğulları, Artuklular ve Osmanlı Devleti başta olmak üzere birçok devlet hüküm sürmüştür. Ancak İç Kale'nin yönetim merkezi olma durumu Mervanoğullarından Osmanlı Devleti'ne kadar kullanılan sarayın İç Kale'de olması nedeniyle korunarak devam etmiştir (Parla, 2005), (Tuncer, 1996). Artuklu Sarayı, Artuklu Kemeru ve Aslanlı Çeşme İç Kale'nin sembolik yapılarındandır.



Şekil 4.3 İç Kale'nin 1932 yılındaki kent planındaki konumu ve İç Kale çizimi (Gabriel, 1940)



Şekil 4.4 İç Kale’deki yapıların uydudan görünümü (Google Earth, 2024)

Romalıların hakimiyet sürdüğü dönemde kentin ticari fonksiyonu oluşmaya başlamış, yolların denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde yeni yerleşim alanları açılmış, su ve kanalizasyon alt yapısı büyük ölçüde tamamlanmış ve bölge Roma-Bizans Dönemi’nin tipik bir kenti haline gelmiştir (Özyılmaz, 2007). 638’de Arap egemenliğine giren Amida’nın “Müslüman Kenti” görünümüne ne kadar sürede ulaştığı bilinmemektedir (Tuncer, 1999).

Kale dışında yerleşimler 18. yüzyıl itibariyle görülmeye başlanmıştır. İlerleyen süreçte ekonomik, askeri, ulaşım ve yönetim gibi alanlarda yaşanan gelişme ve ihtiyaçlar sonucu kale dışına yaşanan göçlerle kent sınırları genişlemiştir ve yeni yol ağı yaratılmıştır. Orta Çağ’ın kapalı kentlerinden olma özelliğinin zayıflamasıyla bölgenin önemi azalmıştır (Kejanlı ve Dinçer, 2011).

Başta Suriçi Bölgesi olmak üzere Diyarbakır kenti günümüze değin farklı medeniyetleri ve birçok kültürü barındırmıştır. Dil, din ve kültür ayrımı yapılmadan uzun yıllar insanların bir arada yaşam sürdüğü ve ortak paydada buluşulan bir yer olmuştur. Kentin zenginliği haline gelen kültürel çeşitlilik, yaşam şekillerini ve mimariyi biçimlendirmiştir. Ermeni, Rum ve Yahudi cemaatlerinden olan gayrimüslim halkın varlığı ile oluşan kültürel zenginliğin, çeşitli nedenlerle günümüz Diyarbakır kentinde tamamen yitirildiği görülmektedir (Kaya Ş. , 2011).

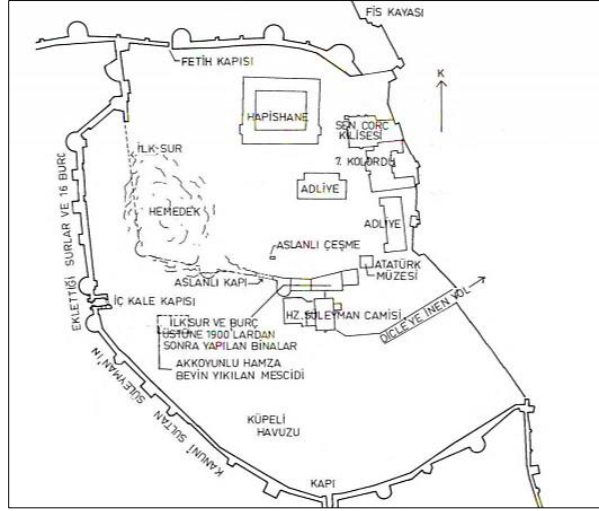
4.2 Diyarbakır Suriçi Bölgesindeki Tarihi Yapıların Mimari Özellikleri

Tarihsel süreçte farklı etnik grupların ve dinlerin bir arada yaşadığı ve surların çevreleyerek sınırladığı bir yerleşim dokusuna sahip olan Diyarbakır Suriçi Bölgesi, tarihi ve geleneksel birçok yapısını günümüze ulaştırabilmiştir. Yapıların yol kenarlarında sıralanması ile elde edilen bugünkü şehir dokusuna, uzun bir tarihi süreçten geçilerek ulaşılmıştır.

Diyarbakır kenti; geçmişten beri birçok medeniyete ev sahipliği yapmış, kentin tarihini aktaran ve kente kimlik kazandırarak belleğini oluşturan Suriçi Bölgesine sahiptir. 4. yüzyılda inşa edilmeye başlandığı bilgisine kaynaklarda (Parla, 1990), (Tuncer, 2012) yer verilmiş olan sur ve burçlarla sınırlanan bölgede; günümüze ulaşabilen cami, kilise, medrese, han, hamamlar ile sivil mimari yapıları ve geleneksel evler yer almaktadır. Bu yapılar tescillendirilmiş olup yapıların işlevlerine ve yapım tekniklerine uygun olarak sınıflandırmak mümkündür (Işık, 2023).

Bölgenin kuzey ucunda İç Kale yer almaktadır. Artuklu Sarayı, Artuklu Kemerli ve Aslanlı Çeşme İç Kale'nin sembolik yapılarındandır. İç Kale'deki iki burcun arasında Hz. Süleyman Cami yer almaktadır. İç surlarla çevrili alandaki yapılar günümüzde yeniden işlevlendirilerek kullanılmaktadır. Yapıların eski ve yeni işlevleri şu şekildedir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6):

- Saint George Kilisesi (Sanat Galerisi)
- Adliye-A Binası (Arkeoloji-1 Müzesi)
- Adliye-B Binası (Valilik Kabul Makamı)
- Jandarma İstihbarat Binası (Arkeoloji-2 Müzesi)
- Karakol Binası (Müze İdare Binası)
- Atatürk Komutanlık Binası (Atatürk ve Etnografya Müzesi)
- Cephanelik Binası (Arkeoloji Müzesi İdare Binası)
- Eski Kolordu Binası (Kafeterya)



Şekil 4.5 Orhan Cezmi Tuncer'in İç Kale ve yapıları çizimi (Tuncer, 1996)



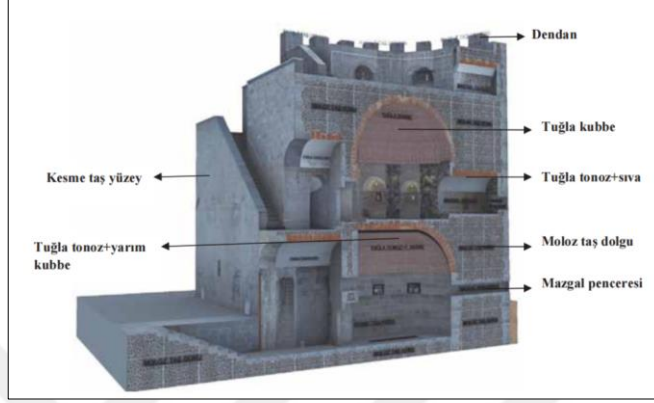
Şekil 4.6 İç Kale ve yapıları (2024)

Yüzlerce yıldır ayakta kalan Diyarbakır surları, geleneksel evler ve diğer tarihi yapıların tasarımlarında, kullanılan malzeme ve yapım tekniği en belirleyici etkenler olmuştur. Yerel mimarının kimlik kazanması, iklimsel sınırlamalara ve birçok koşula rağmen geliştirilmiş tasarım çözümleri sayesinde olmuştur (Payaslı Oğuz ve Halifeoğlu, 2017). Geleneksel evleri de dahil olmak üzere Suriçi Bölgesi yapılarında gözenekli püskürük bazalt taşı ana malzeme olarak kullanılmıştır. Daha az gözeneğe sahip bazalt taşları ise görsellik açısından kolon, söve ve eşik gibi yerlerde kullanılmıştır. Bazaltın su emmez, renk değiştirmez, paslanmaz, mukavemeti yüksek ve dayanıklı bir malzeme olması yapıların uzun ömürlü olmasını sağlamıştır. Ancak sertliğinden dolayı işlenmesi zor bir malzemedir. Süs ögesi ve dekoratif amaçlarla kalker kökenli beyaz kireç taşı dışarıdan getirilerek kullanılmıştır. Kireç içerikli harçlar ise Suriçi yapılarında kullanılan tek bağlayıcı elemandır (Tuncer, 1999). Yerel mimaride, yöresel malzeme olan bazalt taşıyla beraber ahşabın ve toprak esaslı malzemelerin kullanıldığı yığma yapım sistemine sahip yapılar karşımıza çıkmaktadır.

Surlar Diyarbakır'ın en önemli kentsel elemanı olma özelliğini ilk günden beri korumuştur. Kentin önemli ticaret yolları üzerinde yer alması ve kavşak konumunda olması, surların ve burçların dünyanın önemli kalelerinden olmasını sağlamıştır. Yıllar içerisinde farklı dönemlerde sur duvarlarına eklemeler yapılmış, burçlar inşa edilmiş ve kapılar açılmıştır. Diyarbakır surları iç ve dış kale halinde iki bölümden oluşmaktadır. Bölgenin kuzeydoğu kesiminde ve Dicle Nehri'nden yaklaşık 70 metre yükseklikte yer alan İç Kale'de, kent yerleşiminin başladığı ve yerleşimin çekirdeğini oluşturan bir alanı kapsadığı düşünülmektedir. Dış Kale bölümü ise Suriçi Bölgesinin sınırlarını oluşturarak geleneksel kent dokusunu çevrelemektedir (Halifeoğlu F. M., 2012). Ayrıca günümüzdeki surlar dışında şehri saran ikinci surun varlığı düşüncesi, duvar kalıntılarının ve suru saran hendeğin olmasından kaynaklanmaktadır (Parla, 1990). Surların dört ana yönde güvenlik noktalarına açılan, “Dağ, Urfa, Mardin ve Yeni Kapı” olarak adlandırılan dört adet kapısı bulunmaktadır. Ana kapıların haricinde de kapılar bulunmaktadır.

Nehir yataklarının ve kayalardan oluşan arazinin varlığı surların yapısını şekillendirmiştir. Sandıklama tekniğinin kullanıldığı surların iç ve dış yüzeylerinde düzgün kesme bazalt taşları kullanılırken ara dolguda moloz bazalt taşlar

kullanılmıştır. Burçları örten kubbe ve tonozlarda veya hatıllarda ise tuğla örgüsü kullanılmıştır (Şekil 4.7). Farklı geometrilere sahip olan burçların plan düzenleri, kat sayıları, boyutları ve kullanılan malzeme ile malzemenin dizilimi de farklılaşmıştır. Doğa koşulları ve bilinçli yıkımlar gibi nedenlerle surlarda ve burçlarda kayıplar meydana gelmiştir (Parla, 1990), (Halifeoğlu F. M., 2012), (Şekil 4.8).



Şekil 4.7 Burçlardaki mekan düzeni ve yapım tekniği örneği (Halifeoğlu F. M., 2012)



Şekil 4.8 Diyarbakır surları ve burçları (2024)

Surlar başta olmak üzere diğer yapılarda da rastladığımız kitabe ve kabartmalar bazalt ya da kalkerli taştan yapılmıştır. Bazalt kitabe ve kabartmaların uzun yıllar korunarak günümüze ulaşmasına karşılık kalkerin kullanıldığı kitabeler tahribatlar sonucu büyük oranda hasar almış ya da yok olmuştur (Değertekin, 2012).

Surlarla çevrili olan kentte yerleşim alanları da sınırlı bir gelişme göstermiştir. Güvenlik gereksinimiyle sur dışına çıkılmaması ve sıcak havanın etkisiyle bitişik

nizamda avlulu yapılar ve organik sokak dokuları elde edilmiştir (Dalkılıç ve Aksulu, 2001). Suriçi’ndeki ana yol akslarının Roma Dönemi’nde şekillenmeye başlaması ve bu dönemden kalan kanalizasyon ağının hala kullanılıyor olması organik yerleşim dokusunun kentin ilk zamanlarından bu yana süregeldiğini göstermektedir (Kaya Ş. , 2011). Sert bazalt taşının ana yapı malzemesi olarak işlenerek kullanıldığı dar sokakların etrafında dışa açık olmayan ancak kendi içerisinde birer dünya haline gelen evler bulunmaktadır (Payaslı Oğuz ve Halifeoğlu, 2017).

Geleneksel Diyarbakır evleri ve konakları; hem kentin mimarisini şekillenmesine katkı sağlamıştır hem de bölgenin ikliminden, halkın gereksinimlerinden, yaşam tarzlarından, kültüründen ve sosyoekonomik yapısından etkilenip şekillenmiştir. Suriçi Bölgesinin sembolik yapıları arasında yer alan evler, jeolojik kökenli olan bazalt taşından yapılmıştır. Kendisini çevreleyen avlunun etrafında kış ve yaz mevsimine uygun olacak yönlerde konumlandırılmıştır. Yönlenmenin birbirinden farklı olması ve farklı kütleler üzerinden yapının yönlendirilmesi mimari özelliklerin farklılaşmasına neden olmuştur. Evdeki yaşam kurgusunun merkezi olan avlu ile mekanlar arası geçiş sağlanmıştır. Geleneksel evlerde iklimsel konfor estetik kaygılardan daha önemli olsa da kemer, eyvan gibi mimari öğeler ile cephelere hareketlilik kazandırılmıştır ve cas olarak adlandırılan beyaz sıva kullanılarak süslemeler yapılmıştır (Budak ve Işık, 2024), (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Geleneksel Diyarbakır evleri: Cemil Paşa Konağı, Ahmet Arif ve Ziya Gökalp Evi (2024)

Bodrum, zemin ve üst kat şeklinde çözümlenen geleneksel evlerde bodrum duvarları 100 cm’i aşmakta iken üst katlara doğru duvar kalınlığı azalmakta ve iç mekanlarda niş ve dolap girintileri oluşturulmaktadır (Payaslı Oğuz ve Halifeoğlu, 2017).

Geleneksel evlerde yaşamın avlu etrafında sürmesi ve dış cephede yüksek sağır duvarların kullanılması evlerin sokaktan soyutlanmasına neden olmuştur. Sokağı direkt gören pencerenin açılmaması mahremiyet olgusunu pekiştirmiştir. Cumbaların ön yüzünde pencerelerin bulunmaması sayesinde sokakla olan iletişim sınırlı tutulmuştur (Şekil 4.10). Birbirine yakın mesafede ve karşılıklı olan evlerde yüksek duvarların etkisiyle güneşin etkisinin zayıflatıldığı, daha serin ve gölge alanları olan sokak dokusu oluşturulmuştur. Sokakların dar olması nedeniyle yapıların altından geçişi sağlayacak geçitler yapılmıştır. Kabaltı olan adlandırılan, düz veya tonozlu olarak tasarlanmış olan bu geçitler; sokakların üzerini örten ve sokak dokusunu estetik olarak zenginleştiren önemli simgeler olmuştur (Budak ve Işık, 2024), (Şekil 4.11).



Şekil 4.10 Suriçi Bölgesindeki cumbalar ve sokak dokusu (2024)



Şekil 4.11 Suriçi Bölgesindeki kabaltılar ve sokak dokusu (2024)

Diyarbakır'ın geleneksel evlerinde yaşayan halkın gelir durumu evlerin niteliğinden ziyade niceliğine yansımıştır. Yani ev sahibinin soylu ya da burjuvazi sınıfından olması odaların sayısını veya ebatlarını şekillendirmiştir. Toplumda ileri gelen soylu ailelerin evleri ve avluları nispeten daha geniştir ve oda sayısı daha fazladır. Ancak günümüzde değişen yaşam koşullarının etkisiyle geleneksel evler barındırdıkları mekânsal potansiyellerini devam ettirememekte ve potansiyellerinin altında kullanılmaktadırlar (Özyılmaz, 2007).

Geleneksel evler özgün niteliğini 1950'li yıllardan sonra nüfus artışı ve çarpık kentleşmenin etkisi ile yitirmeye başlamıştır. Ataerkil aile tipinin yerini çekirdek aileye bırakmasıyla, birlikte bir yaşam için planlanan geleneksel evler modern yaşamın ihtiyacına cevap veremeyecek duruma gelmiştir. Aile yapısındaki değişimle birlikte yapı konfor gereksinimi de değişikliğe uğramış, çağdaş dünyanın gerektirdiği ihtiyaçların karşılanamaması sonucu geleneksel evler sahipleri tarafından terk edilmişlerdir. Sahiplerinin terk ettiği geleneksel evlere kırsal alandan göç ile gelen gruplar yerleşmişlerdir 1950'li yıllardan itibaren sanayileşme ve hızlı kentleşme hareketleriyle kırdan kente göç eden insanların tercih ettiği yerlerden biri olan geleneksel evler, yeni bir sosyal yapıyla karşı karşıya kalmıştır. Değişen sosyal yapı fiziksel yapıyı bozmuştur. Sosyal yapının değişme sürecinde gereksinim ve istekleri hızla farklılaşan geleneksel ev kullanıcılarının isteklerine yanıt alamadıkları geleneksel evleri, fiziksel ve işlevsel bakımdan değiştirmişlerdir. Kullanıcıların geleneksel evlerde gerçekleştirdikleri fiziksel müdahaleler geleneksel evin özgün mekânsal ve yapısal özelliklerinin zarar görmesine neden olmaktadır. Geleneksel evlerin korunarak yaşatılması ve geleceğe aktarılması ise ancak içlerindeki yaşantının devamlılığı ile mümkün olmaktadır. Geleneksel evlerdeki yaşantının devamlılığı için kullanıcının gereksinim ve isteklerinin karşılanırken koruyarak kullanma ilkesi benimsenmelidir (Özyılmaz ve Sahil, 2017).

Sıcak ve kuru özelliğe sahip bir iklimde, sınırlanmış bir alanda konumlanan Suriçi evlerinin aksine köşkler; doğayla iç içe olma arzusunu karşılayabilen, geniş bir bitki örtüsü ile sınırları belirlenen, bahçeli yapılardır. Suriçi'ndeki tek tip avlu manzarasına karşın kentte yaşayan soyluların doğayla iç içe olma çabaları ile köşkler inşa edilmiştir (Güneli, Bekleyen ve Yıldırım, 1999).

Diyarbakır'ın İslam dünyasıyla tanışması ile dini donatılar kent silüetinde görülmeye başlanmıştır (Parla, 2005). Dinsel yapılar kent için konumlarıyla, estetik ve teknik özellikleriyle özel bir yerde bulunmaktadır. Kentte ayakta kalabilmiş tarihi dini yapılardan biri olan camiler (Halifeoğlu M. , 2009). Diyarbakır'ın anıtsal yapıları arasında camileri ve mescitleri önemli bir yer tutmaktadır. Genellikle Artuklu, Akkoyunlu ve Osmanlı Dönemlerinde inşa edilmiştirler. Toplu ibadet eden nüfus arttığından mescitlerin yerini camiler almıştır Dini nüfusun hızla artmasıyla mescitler cami yakınlarında inşa edilemeye devam etmiştir. Görkemli ve kubbeli camilerin aksine mescitler genellikle tek katlı olarak küçük boyutlarda ve sade detaylarla inşa edilmiştir. Çoğu avlulu ve toprak damın kullanıldığı yapılardır. Ragibiye Mescidi dışında minerali mescit bulunmamaktadır. Günümüze büyük ölçüde korunarak ulaşabilen camilerin aksine mescitler bozulmaya uğrayarak çoğunlukla korunamamıştır (Halifeoğlu M. , 2009).

Diyarbakır'daki tarihi camiler Suriçi'nin önemli noktalarında inşa edildikleri için ibadethane olarak kullanımları günümüzde de devam etmektedir. Çoğunluğu 7-17. yüzyıllar arasında inşa edilen veya kiliseden dönüştürülerek günümüze ulaşan camiler; plan şemaları, yapı malzemeleri ve cepheleriyle farklı tasarımlara sahiptirler. Tarihi Ulu Cami'de ve Hoca Ahmet Cami'de düz dam kullanılırken diğer camilerde açıklıklar kubbe ile geçilmiştir. Genellikle kubbeler kurşun levha ile kaplanmış olup Ali Paşa ve Parlı Safa Cami'de kiremit üst örtü kullanılmıştır. Yatay ve düşey taşıyıcı elemanlarda boşluksuz bazalt kullanılarak taşıyıcılık özelliğinin artması amaçlanmıştır. Ayak ve sütunlarda genellikle bazalt taşı kullanılırken mermer sütunlar da görülmektedir. Kalker, ahşap, mermer ve tuğla kullanılan diğer yapı malzemeleridir (Şekil 4.12). Suriçi'nde kalker ve bazalt ile elde edilmiş almasıık örgü dizilimine sahip camiler ve minareleri de bulunmaktadır. Kadınlar mahfili cami girişine yakın noktalarda ve merdivenlerle ulaşılabilir şekilde planlanmıştır. Mahfillerin taşıyıcı sisteminde ahşap dikmeli ahşap döşemeler ya da ayak veya sütunların taşıdığı taş döşemeler kullanılmıştır (Işık ve Halifeoğlu, 2017), (Işık, 2019).



Şekil 4.12 Şeyh Mutahhar Cami, Hz. Süleyman Cami ve Melik Ahmet Paşa Cami (2024)

Cami minareleri, çeşitli malzemelerle farklı formlara sahip özgün yapım teknikleriyle inşa edilmiştir. Camiye bitişik veya bağımsız bir öge şeklinde camiden ayrı olarak minareler konumlandırılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Melik Ahmet Paşa Cami, Behram Paşa Cami ve Hz. Süleyman Cami'ye ait minareler (2024)

İç Kale'deki Sahabeler Türbesi dışında cami avlularına türbelerin yapılmasına Akkoyunlular Dönemi'nde başlanmıştır. Artukluların sonuna kadar kent merkezi ön emini korusa da Akkoyunlu ve Osmanlı Dönemlerinde merkezin önemi azalmıştır. Kent merkezin çarşı ve pazar işlevi devam ettirilirken dini işlevlerde merkezin dışında bulunan cami ve mescitlerine yönelimin arttığı görülmüştür (Parla, 2005).

Hristiyanlığın farklı cemaatlerine ait kiliselerin bulunduğu Suriçi'nde sekiz adet kilise günümüze ulaşabilmiştir. Günümüze ulaşan kiliseler özgün işlevleriyle veya yeniden işlevlendirilerek kullanılmaktadır (Işık, 2017), (Işık ve Halifeoğlu, 2018). Kiliseler, sur duvarlarına yakın olacak şekilde yoğunlaşan dokunun dışına çıkılarak dış mahallelerde inşa edilmiştir. Sosyal etmenlerin ve yoğunlaşan eski dokunun etkisinin olduğu düşünülmektedir. İç Kale yönetici sınıfın kullanımında olduğu için buradaki

erken tarihli kiliseler halka hitap etmemiştir (Parla, 2005). Suriçi Bölgesinde dağılım gösteren kiliseler arasında sadece Sait George Kilisesi İç Kale’de yer almaktadır. Sekiz adet kilise günümüze ulaşmıştır. Geleneksel yapım tekniğinin devam ettirildiği kiliseler de yığma yapım tekniğinde bazalt taşının ana malzeme olarak kullanılmasıyla inşa edilmiştirler. Tuğla kubbe, ahşap kubbe ya da düz dam tercih edilerek üst örtüde farklı tasarımlar kullanılmıştır (Işık ve Halifeoğlu, 2017).

Tarihi süreçte birçok han inşa edilse günümüze sadece dört han yapısı ulaşabilmiştir. Avlu ve avlu etrafında konumlanan kanatlardan oluşan ve revaklarla çevrili olan hanlar, genellikle iki ya da üç katlı yapılmıştır. Bazalt ve kalkerin yoğun olarak kullanıldığı han yapılarında tuğla malzeme revakların tonozların ve mekanların kubbelerinde kullanılmıştır (Işık, 2019). Konaklama işlevinin yanında ticari aksın da bir parçası olan hanlar, zemin katlarındaki dükkanlar ile geleneksel çarşı dokusuna dahil edilmektedir (Akmaz, 2020). Çifte Han hasarlı durumda olup kullanılamazken Hasan Paşa, Hüsrev Paşa ve Sülüklü Han farklı işlevlerle günümüzde de kullanılmaktadır (Şekil 4.14).

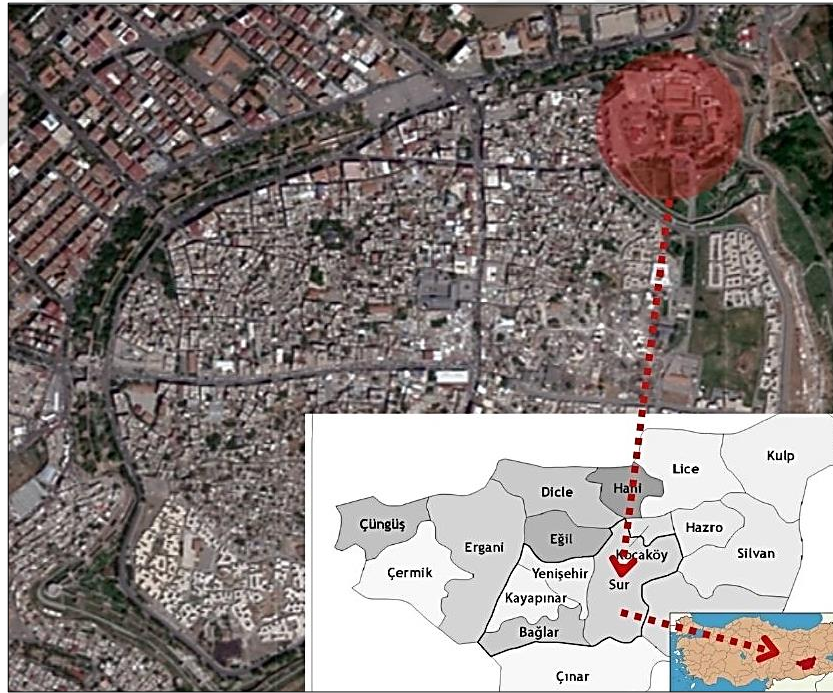


Şekil 4.14 Hasan Paşa Hanı (2024)

Suriçi Bölgesindeki önemli tarihi yapılar arasında hamamlar yer almaktadır. Günümüze hasarlı olarak ulaşan sekiz hamam yapısı dışında birçok hamam yıkılarak zamanla yok olmuştur. Bazalt taşı kullanılarak yığma sistemle inşa edilen Diyarbakır hamamlarının plan şemaları, Anadolu hamamlarının planları ile benzerlik göstermektedir. Soğukluk, sıcaklık ve ılıkılık bölümleri dışında hamam mekanları arasında eyvan, halvet hücreleri, külhan bölümü, suyun depolandığı bölüm ve farklı bölümler yer almaktadır (Işık, 2023).

4.3 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin Konumu ve Mimari Özellikleri

Diyarbakır'ın Sur ilçesinde, Suriçi Bölgesi olarak adlandırılan bölümün kuzeydoğu ucunda, Cevat Paşa Mahallesi'nde yer alan Hz. Süleyman (Kale) Cami; eğimli arazi üzerinde inşa edilmiştir (Şekil. 4.15). 638'de Arap egemenliğine giren kentte inşa edilen ilk cami olduğu ihtimali üzerinde durulmakla beraber camideki kitabesinde caminin Nisanoğullarından Ebu'l Kasım Ali tarafından yaptırıldığı ve 1155-1160 yıllarında inşa edildiği ise kaynaklarda yer almaktadır (Tuncer, 1996). Diyarbakır, İslam kültürünü ve mimarisini temsil eden önemli kentlerden biri olmuştur. Diyarbakır Suriçi Bölgesinde dini mimariye ait şekillenen yapılar arasında bulunan Hz. Süleyman (Kale) Cami, çeşitli dönemlerde uğradığı değişikliklerle ve yapılan eklerle genişletilip yapı topluluğu halini alarak günümüzdeki durumuna ulaşmıştır. Cami, tarihsel süreçte Nasırıye Cami veya konumundan dolayı Kale Cami olarak adlandırılmaktadır (Işık, 2023). Cami özgün yapısını ve manevi değeri yaşatarak günümüze ulaştırmayı başarmıştır.



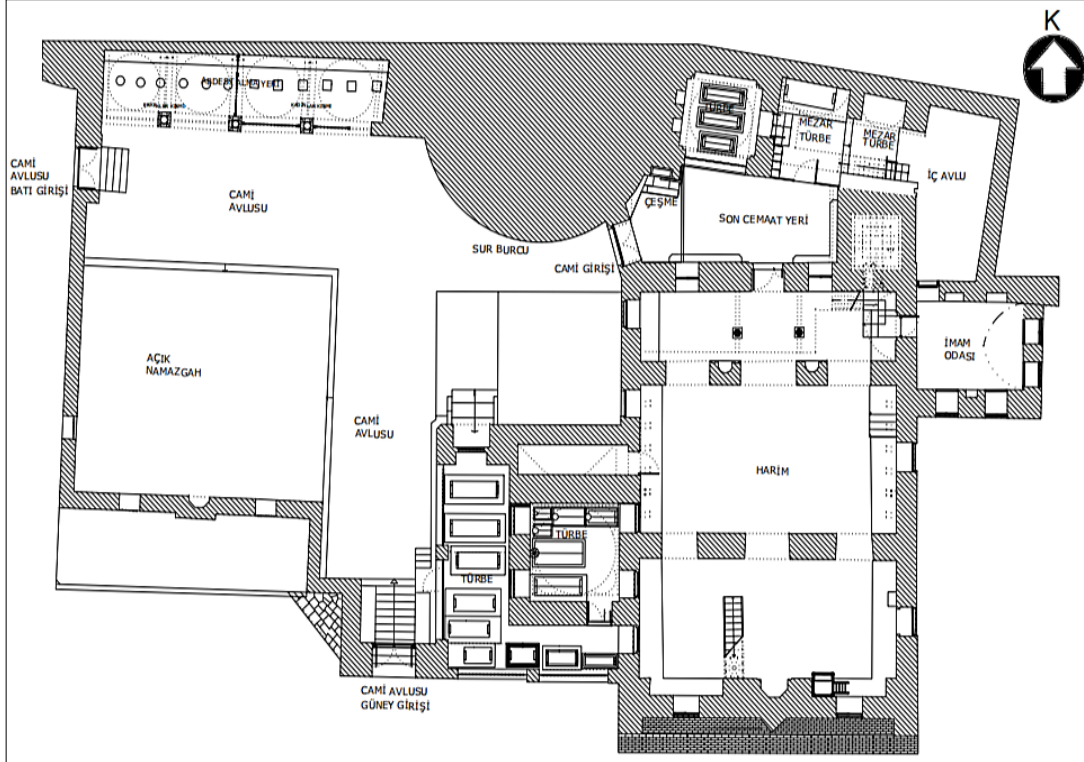
Şekil 4.15 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin Suriçi Bölgesi uydu görüntüsündeki yeri ile Diyarbakır ve Türkiye haritalarındaki konumu (Google Earth, 2024), (Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 2024)

Yerleşim dokusunun ilk oluştuğu İç Kale'de burçlar arasında konumlanan cami, Aslanlı Çeşme'nin güneyinde yer almaktadır (Şekil 4.16). Cami, bugünkü şekline Osmanlı Döneminde ulaşmıştır. Hz. Süleyman (Kale) Cami; son cemaat yeri, türbe, namazgah ve abdest alma bölümlerinden oluşan bir yapı topluluğudur. Diyarbakır'ın fethini gerçekleştiren 27 sahabenin mezarının bulunduğu hazire yer almaktadır.



Şekil 4.16 Hz. Süleyman (Kele) Cami ve İç Kale yapıları (2024)

Hz. Süleyman Cami ve türbeleri yığma yapım tekniğiyle inşa edilmiştir. Ana yapım malzemesi yöresel bazalt taşı olan yapı, enine sahnıdır. Eğimli araziye inşa edilen caminin avludan batı ve güneyde olmak üzere iki girişi bulunmaktadır (Şekil 4.17). Ana girişi batı yönünden sağlanan caminin avlusuna basık kemerli bir kapıdan basamaklarla inilerek girilmektedir (Şekil 4.18).

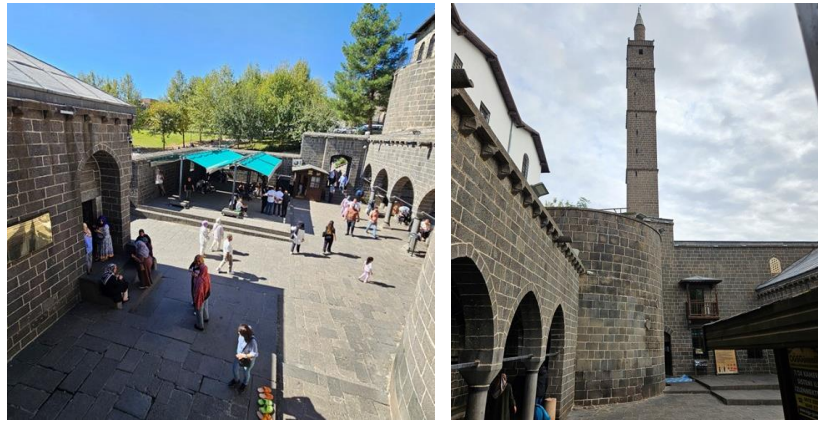
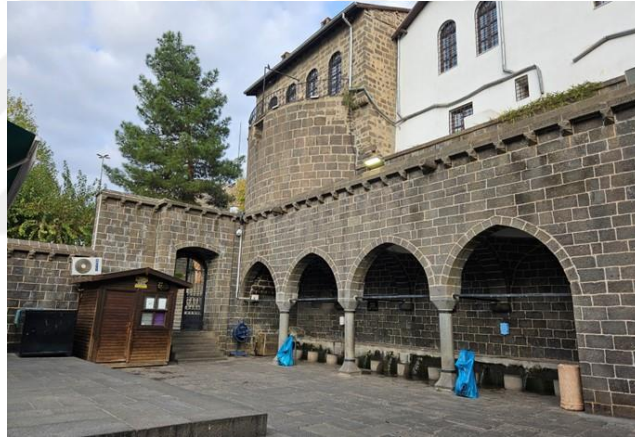


Şekil 4.17 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin Planı (Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi, 2024)



Şekil 4.18 Hz. Süleyman (Kale) Cami batı girişi (2024)

Kuzeyde sütunlarla taşınan ve kemerlerle geçilen kubbeli ve revaklı abdest alma yeri bulunmaktadır. Abdest alma bölümlerinin yanında İç Kale surlarına ait silindirik kenet taşları olan burç, cami avlusunda yer almaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Hz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümü ve camideki İç Kale burcu (2024)

Güneyde avlu kotundan yaklaşık 45 cm olan, merkezinde mihrabiye ve mihrabiye'nin her iki yanında pencereleri bulunan üstü açık namazgah bulunmaktadır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Hz. Süleyman (Kale) Cami açık namazgah bölümü ve mihrabiyesi (2024)

Üzeri ahşap kirişlerle örtülü son cemaat yerinin girişi ve türbelere giriş batı yönündedir. Caminin batı ve kuzey yönünde üzeri kurşun kaplama ile örtülü türbeler bulunmaktadır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Hz. Süleyman (Kale) Cami son cemaat yerinin girişi ve türbenin kurşun kaplaması (2024)

Yapı topluluğunun güney girişi eğimli araziden dolayı aşağı kotta kaldığından avluya taş basamaklar ile erişim sağlanmaktadır. Kare plana sahip türbe ve sahabe mezarlarının bulunduğu hazire, caminin batı duvarına bitişiktir. Türbenin girişi caminin içinde bulunurken hazirenin girişi avludan sağlanmaktadır. Hazire, türbenin batı ve güney tarafında yer almakta ve hazirede üç tane sivri kemerli açıklık bulunmaktadır (Tuncer, 1996). Kemerlerle geçilen türbede lokma demirli pencereler vardır. Duvarlar taş silme ile bitirilmiştir (Işık, 2023), (Şekil 4.22), (Şekil 4.23).



Şekil 4.22 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki türbe ve hazire ile caminin güney girişi (2024)



Şekil 4.23 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki hazire (2024)

Güney cephesindeki dış duvarda payandalar kullanılarak ve attan pahlı bir duvar eklenerek eğimli araziye kurulan yapı desteklenmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki payanda (2024)

Açık namazgahın güneyinde konumlanan ve girişi avlunun dışında bulunan erkeklerin kullandığı helâlara eğimli araziden dolayı basamaklar ile erişilmektedir (Şekil 4.25).



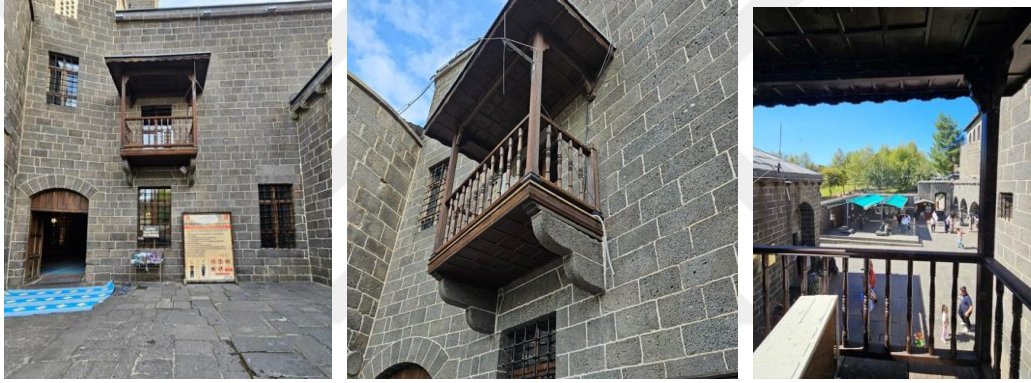
Şekil 4.25 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki helâ bölümü (2024)

Doğuda yer alan kare üç silmeli ve kesitli minare, bazalt taş malzemedendir. Minarenin avluda ve caminin içinde olan iki adet kapısı bulunmaktadır. Silindirik formda bitirilen minarenin külâhı kurşun kaplamalıdır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin minaresi ve harimde bulunan giriş kapısı (2024)

Camide son cemaat bölümünün girişinin bulunduğu batı cephesinde ahşap mükebbire bulunmaktadır. “Mükebbire” bölümüne yani ahşap balkona mahfilden çıkılmaktadır (Işık, 2023), (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki mükebbire (2024)

Girişte işlevsiz kalmış çeşme ve ayakkabılık mevcuttur (Şekil 4.28). İlhan'a (2017) göre çeşmenin kitabesinde zamanında Hamravat suyunun aktığı belirtilmiştir. Ayrıca abdest alma yerindeki çeşmelerle benzerdir.



Şekil 4.28 Hz. Süleyman (Kale) Cami son cemaat alanı (2024)

Son cemaat yerinin üzeri ahşap kirişlerle geçilmiştir. Harime giriş bu alandan sağlanmaktadır. Son cemaat yerinden kuzey yönünde iki adet türbe bulunan iç avluya ve güneyinden harime geçilmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de harim girişi ve iç avlu girişi (2024)

İç avluda kadınların namaz kıldığı alan bulunmaktadır. İç avludaki taş merdiven ile kadınlara ait üst kattaki ibadet etme bölümüne ulaşılmaktadır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin iç avlusu ve kadınlar bölümü (2024)

Harim; dikdörtgen plan düzenine sahip, üç sahından oluşan ve dört ayağın sivri kemerlerle taşıdığı bölümdür. Harimin girişindeki ilk sahn bölümünde taş sütunlarla taşınan ahşap mahfil bulunmaktadır. Buradaki duvar örgüsünde tuğla malzemenin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.31). Mahfilin ikinci basamağından imam odasına geçilmektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.31 Hz. Süleyman (Kale) Cami’deki ahşap mahfil (2024)

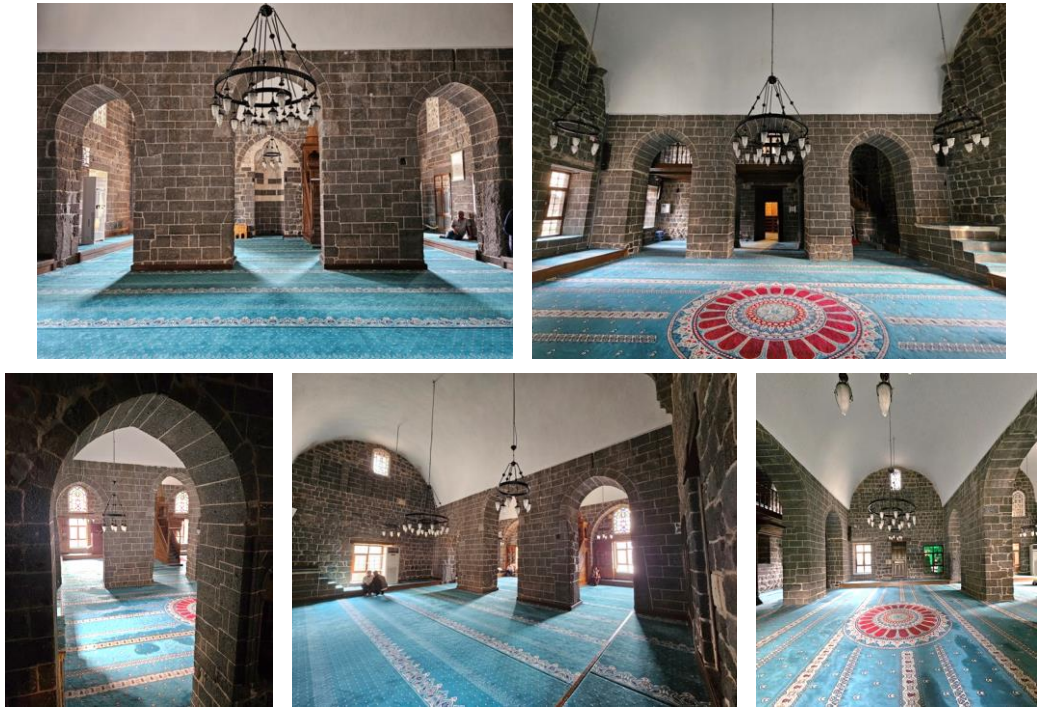


Şekil 4.32 Hz. Süleyman (Kale) Cami imam odası (2024)

İlk sahindaki ayakların içinde yer alan iki adet mihrabiye ile Hz. Süleyman (Kale) Cami diğer camilerden ayrılmaktadır (Şekil 4.33). Üzeri kemerlerle geçilen kare kesitli ayaklarla ayrılan iki sahin, ilk “sahın” a göre daha büyük boyuttadır (Şekil 4.34).

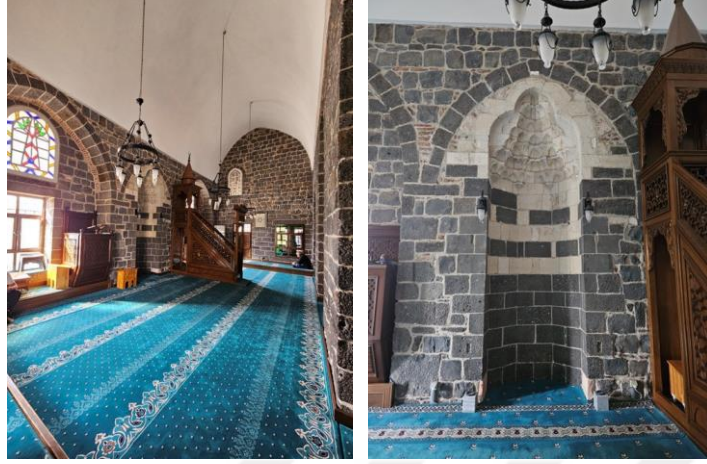


Şekil 4.33 Hz. Süleyman (Kale) Cami’deki mihrabiyeler (2024)



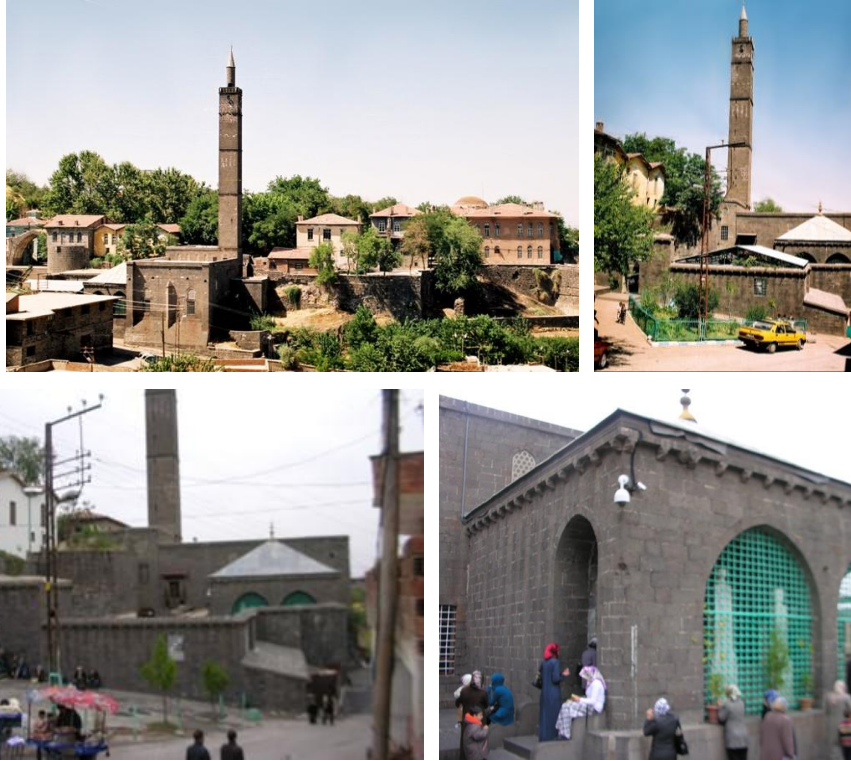
Şekil 4.34 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümü (2024)

Harimin güneyinde, minberin yanında yer alan, bazalt ve kalker taşının kullanıldığı, mukarnas ile süslenmiş olan mihrap bulunmaktadır (şekil 4.35).

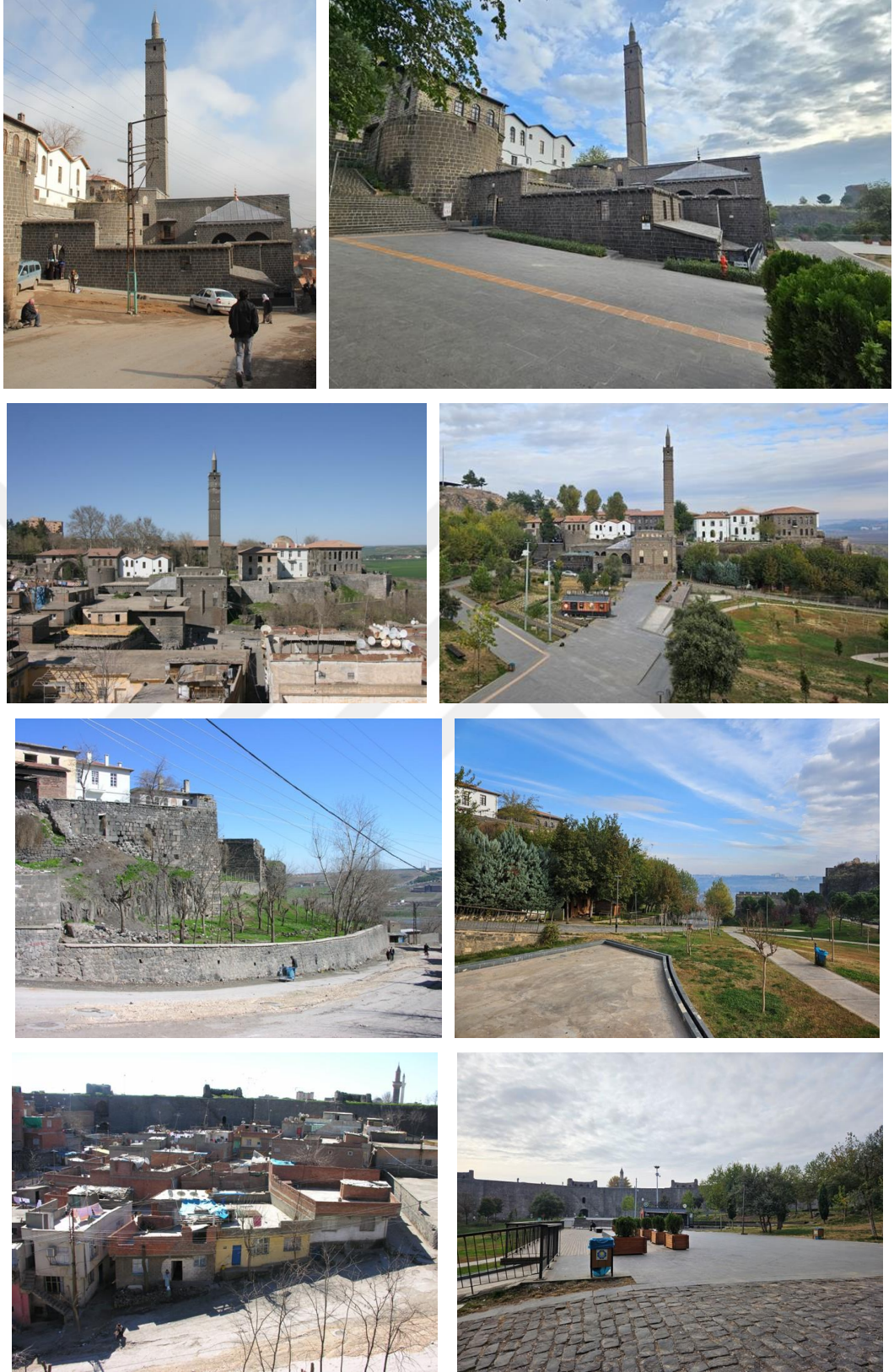


şekil 4.35 Hz. Süleyman (Kale) Cami minber ve mihrabı (2024)

Hz. Süleyman (Kale) Cami periyodik olarak restore edilen yapılar arasındadır. Yapının dini ve kültürel değerinin yüksek olması nedeniyle hasarlar meydana gelmektedir. Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki restorasyon uygulaması ve çevresindeki kültürel peyzaj çalışmaları 2017 yılında tamamlanmıştır. Caminin bulunduğu alandaki çarpık kentleşme yapıları kaldırılmış ve rekreasyon alanı oluşturulmuştur (şekil 4.36 ve şekil 4.37)



şekil 4.36 Farklı dönemlerde Hz. Süleyman (Kale) Cami ve evresi (Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi)



Şekil 4.37 Farklı dönemlerde Hz. Süleyman (Kale) Cami ve çevresi (Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi) ile günümüzdeki durumu (2024)

4.4 Hz. Süleyman (Kale) Cami’deki Yapısal Sorunlar ve Hasarlar

İklimsel faktörler ve tahribata yol açan dış etkenler, tarihi yapılarda yapısal sorunlara ve hasarlara neden olmaktadır. Hz. Süleyman (Kale) Cami’deki yapısal sorunların ve hasarların belirlenmesi amacıyla alan çalışması ile gözlemsel tespitler yapılmıştır. Camide dış ortam etkisiyle birçok sorun meydana gelmiştir. Bu sorunlar; çatlak oluşumu, aşınma, derz boşalması, renk değişimleri ve insan kaynaklı yapısal sorunlar olarak sınıflandırılıp fotoğraflar ile belgelenmiştir.

Çatlak oluşumu

Çatlak oluşumu tarihi yapılarda sık rastlanan yapısal sorunlar arasındadır. Hz. Süleyman (Kale) Cami’de çatlak hasarları, kısmi olarak cephedeki bazalt taşlarda görülmektedir.

İmam odasında çatlak hasarları kapı ve pencere üstlerindeki lentolarda görülmektedir. Pencere üzerindeki taştaki çatlak iki yüzeyde devam etmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de imam odasında gözlemlenen çatlaklar (2024)

Harimdeki lentoda ve kemerin duvarla birleşim noktasında kılcal çatlaklar oluşmuştur. Ayakta oluşan çatlak sonucu bazalt taşında parça kopması meydana gelmiştir. (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de lentoda ve kemer gözlemlenen çatlaklar (2024)

Kenet, gergi çubuğu, bilezik, mil gibi bağlantı elemanlarının korozyonu sonucu iç gerilimleri artar ve bulundukları mimari elemanları çatlatırlar. Çatlayan bölgeye müdahale edilmediği takdirde duvar, sütun başlığı gibi mimari elemanlar parçalanmaktadır (Öcal ve Dal, 2012). Hz. Süleyman (Kale) Cami’de abdest alma bölümlerindeki çatlaklar korozyon sonucu gelişmiştir. Gergi çubuğunun duvarla birleşim yerlerinde, farklı yönlerde ve farklı düzeylerde çatlak meydana gelmiştir (Şekil 4.40)



Şekil 4.40 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de abdest alma bölümünde gözlemlenen çatlaklar (2024)

Türbenin doğu duvarında ve türbede yer alan kitabenin üzerinde çatlaklar mevcuttur (Şekil 4.41)



Şekil 4.41 Hz. Süleyman (Kale) Cami’ de türbede gözlemlenen çatlaklar (2024)

Aşınma, ayrışma ve derz boşalması

Aşınma sorunu malzemenin kullanıldığı alana ve yere göre oluşabilmektedir. Sürtünme etkisinin uzun sürdüğü durumlarda yüzeyde kesit kaybı veya kenarlarda yuvarlaklaşma şeklinde görülmektedir. Aşınmanın devam etmesi, malzeme yüzeyinden parça kopması ile daha riskli hale gelebilmektedir.

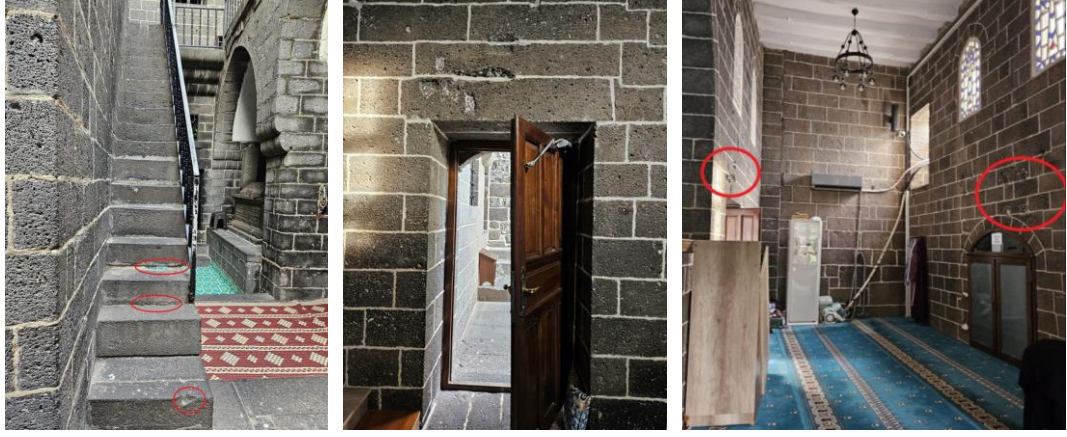
Duvar ve diğer taşıyıcı elemanlarda yükün düzensiz dağılması sonucu ayrışmalar meydana gelmektedir ve taşlar arasındaki bağlayıcı görevi gören derzlerin boşalması ile ayrışma sorunu ilerlemektedir (Işık ve Halifeoğlu, 2019).

Hız. Süleyman Cami, insan sirkülasyonunun yoğun olduğu ve her gün ziyaret ve ibadet edilen yapı olması nedeniyle duvar, döşeme ve merdiven basamaklarında ile derzlerde aşınmalar meydana gelmektedir. Avludaki zemin taşları ve taş basamaklar en fazla aşınmaya uğrayan yerlerdir. Kısmi aşınmaya bağlı bozulmalar tüm yapı grubunda bulunduğu için derz kayıpları da yapı genelinde sorun oluşturmuştur. Duvar ve döşemelerdeki bağlayıcı harçlar ve derzler; yağış, nem ve rüzgârın etkisiyle malzemelerin mukavemetini azaltarak, kayıpların artmasına ve hasarlara ortam hazırlamaktadır (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 Hız. Süleyman (Kale) Cami’de avludaki zemin taşlarında, çeşmelerin üzerindeki duvarlardaki ve türbe basamaklarındaki aşınmalar ve derz boşalması (2024)

Son cemaat alanında geçilerek ulaşılan iç avlu, kadınların namaz kıldığı alan olarak kullanılmaktadır. Avlunun duvar ve döşemelerinde aşınmalar görülmektedir. İnsan sirkülasyonunun yoğunluğu nedeniyle taş basamaklarda, merdivenlerde aşınmalar ve derz boşalması meydana gelmiştir. Merdiven basamaklarında yoğun harç kaybı nedeniyle ayrışmalar mevcuttur. Üst kattaki kadınlar bölümündeki kapının üzerindeki bazalt taşlarında ve karşısındaki duvarda aşınma sorunu ileri düzeydedir (Şekil 4.43).



Şekil 4.43 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de iç avlu merdivenlerinde kadınlar bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024)

Minarenin iç avludan görülen cephesinde ilerleyen derz boşalmaları sonucu zemine ulaşan ayrışma sorunu gözlemlenmektedir. Ayrıca harim bölümündeki iç duvarlarda ve ayaklarda ayrışma hasarları mevcuttur. Orta sahnin bölümündeki ayağa ait bazalt taşında nedeni belirlenemeyen bir boşluk meydana gelmiştir (Şekil 4.44).



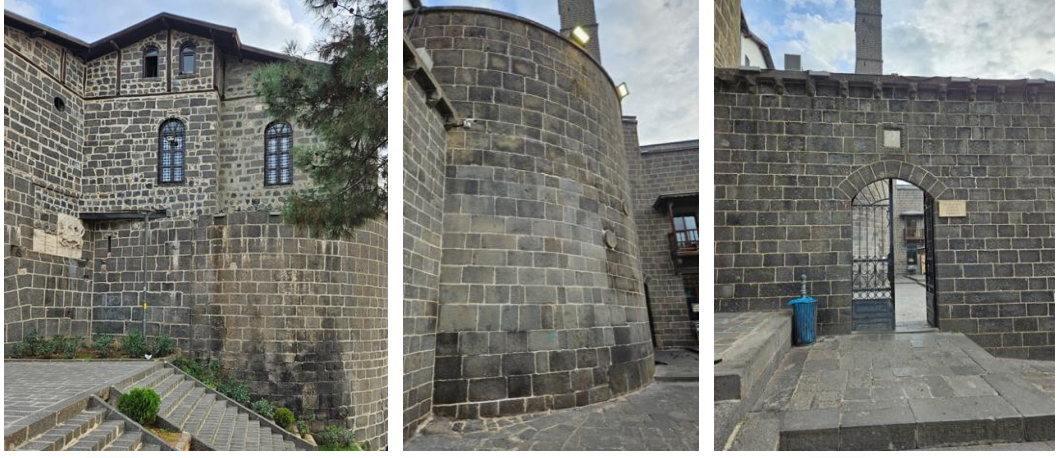
Şekil 4.44 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de minarede ve harim bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024)

Yüzeyde kirlilik ve renk değişimi

Yüzeydeki kirlilik ve renk değişimleri tarihi yapılarda birçok etkene bağlı olarak gelişebilmektedir. Yapıların boyanması, iklimsel faktörlerin yıpratıcı etkisi, hava kirliliği, bitki oluşumu, yosunlaşma, nem etkisi ile tuzlanma ve korozyon etkisi ile pas oluşumu yapı cephelerinde renk değişimine neden olan etmenlerdendir. Yapıda kullanılan malzemenin çeşidine göre oluşan renk değişmektedir. Gözenekli taşlarda renk değişimi daha hızlı meydana gelmektedir.

Hz. Süleyman Cami’de nem sorununa bağlı cephelerde renk değişimine bağlı hasarlar meydana gelmiştir. Caminin batı girişi duvarında ve kuzeydeki burçta nemin etkisiyle oluşan tuzlanmaya bağlı renk değişimi mevcuttur. Giriş kapısının üzerindeki

kabartmanın etrafında pas lekeleri görülmektedir. Burcun alt kısımlarında kararmaya ulaşan, nemden kaynaklı yosunlaşma bulunmaktadır (Şekil 4.45).



Şekil 4.45 Burçlardaki ve Hz. Süleyman (Kale) Cami girişindeki nem sorunu ve renk değişimi (2024)

Kuzey yönündeki abdest alma bölümünde nemlenme kaynaklı farklı sorunlar meydana gelmiştir. Çeşme duvarının tümünü kaplayan yosunlaşma, duvardaki taş malzemede hasarlara neden olmuştur. Abdest alma alanının kubbesi sıvalı ve boyalıdır. Kubbede sıva kayıplarına bağlı kabuklanma meydana gelmiştir. Kubbeyi taşıyan sütunlardaki gergi bileziklerinde ve kemerlerdeki gergi çubuklarında korozyon mevcuttur. Metal gergi elemanlarının korozyon sonucu bazalt taşı ile temas ettiği yerlerde metal elemandan geçen korozyon izleri bulunmaktadır. Son cemaat alanından ulaşılan iç avluda bulunan merdivende korkulukların korozyona uğrayarak paslanması sonucu taş basamaklarda renk değişimi meydana gelmiştir (Şekil 4.46).



Şekil 4.46 Hz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024)

Caminin son cemaat yeri, harim bölümü ve kadınlar bölümündeki duvarların alt bölümleri ile camideki iç avluya açılan birimlerin tümünde nemlenmeye bağlı bazalt taşında kararma şeklindeki renk değişimleri meydana gelmiştir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47 Hz. Süleyman (Kale) Cami son cemaat yeri, harim bölümü ve kadınlar bölümündeki gözlemlenen hasarlar (2024)

Tuzlanma olayı, taşın neme doyma sürecine dayanmaktadır. Yağmur ile taşın gözeneklerine giren suyu beraberinde tuz mineralini de taşın gözeneklerine hapsedmektedir. Gözeneklerden suyun buharlaşması ile tuz, yüzeyde bıraktığı beyaz leke ile görünür hale gelmektedir. Caminin tüm duvarlarında meydana gelen tuzlanma sorunu özellikle avludaki açık namazgahta ve payandalı güney duvarında yoğunlaşmıştır (Şekil 4.48).



Şekil 4.48 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de tuzlanma hasarı (2024)

Yağmur sularının yapıdan doğru şekilde uzaklaştırılamaması yüzeysel kirliliklerin nedenleri arasındadır. Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yağmur tahliyesinin doğru çözümlenmemesi ve yağmur borularının zaman içinde işlevini yitirmesi, yenilenmemesi ile çörlenlerin eksikliğinden dolayı yağmur suları çatıdan duvara

akarak yüzeyde yaptığı yalama sonucu renk değişimi meydana getirmektedir. İç Kale burcunda, türbe duvarında, güney girişinde ve helâ duvarlarında yağmur suları nedeniyle renk değişimi meydana gelmiştir. Tuzlanma, kararma ve pas lekesi de mevcuttur. Yapının güneyinde erkeklere ait helâlarda neme maruz kalan taşlarda yeşil-kahverengi renk değişimleri mevcuttur (Şekil 4.49 ve Şekil 4.50).

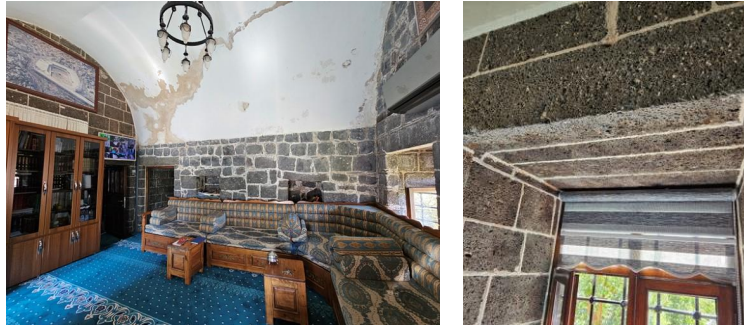


Şekil 4.49 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de gözlemlenen renk değişimi (2024)



Şekil 4.50 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de helâ bölümünde gözlemlenen hasarlar (2024)

İmam odasında çatlak sorunu dışında nemden kaynaklı sorunlar da gelişmiştir. Nem nedeniyle kabuklanan sıvalı yüzeylerde dökülmeler mevcuttur. Pencere boşluğunun bulunduğu yüzeyde renk değişimleri mevcuttur (Şekil 4.51).



Şekil 4.51 Hz. Süleyman (Kale) Cami imam odasındaki nem sorunu (2024)

İnsanların neden olduğu sorunlar

Hz. Süleyman (Kale) Cami’de hatalı ve niteliksiz malzemelerle yapılmış tesisat uygulamaları malzemelerde kısmi hasarlara neden olmuştur. Restorasyon sürecinde

yenilenen tesisatlar için duvarlarda boşluklar açılmıştır. Son cemaat yerindeki elektrik panosunda açıkta bırakılan kablolar, cami içinde (imam odası, kadınlar bölümü vb.) ve dışındaki klima ünitelerinin montajında taş malzemede çatlak, parçalanmaya bağlı malzeme kayıpları oluşmuştur. Klimaların boru ve kabloları çözümsüz bırakılmıştır. Elektrik panolarının ahşap elemanlara yakın çözömlenmesi yangın riski barındırmaktadır (Şekil 4.52).



Şekil 4.52 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de insanların neden olduğı sorunlar (2024)

Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin batı girişinde bulunan burç duvarlarına yazılan yazılar nedeniyle taş yüzeyinde kirlilik meydana gelmiştir (Şekil 4.53)



Şekil 4.53 Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin batı girişinde bulunan burç duvarlarındaki yazılar (2024)

Hz. Süleyman (Kale) Cami’nin dini ve kültürel değerin yüksek olmasından dolayı yöre halkı tarafından yoğun ziyaret edilmektedir. Bu nedenle avlu, merdiven ve döşemelerde meydana gelen aşınmaya bağlı malzeme kayıplarını insanların neden olduğı hasarlar olarak değlendirmek mümkündür.

4.5 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Yapılan Tahribatsız Testler ve Deneyler

Deneyisel çalışmalar için Diyarbakır’daki Hz. Süleyman (Kale) Cami seçilerek yerinde alan çalışması yapılarak bazı tahribatsız testler uygulanmıştır. Caminin taşıyıcı elamanlarında kullanılan bazalt malzemede tahribatsız testlerden Schmidt çekici ile yüzey sertlik testi, yüzey düzgünlüğü ve nem durumunun belirlenmesi testi, ultrases geçiş hızı test, ile zeminde ve duvarlarda Georadar (GPR) taraması yerinde yapılarak tarihi caminin mevcut durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca caminin güney cephesinde yer alan payanda duvarındaki hasarlı taştan küçük parça halindeki bazalt taşı ve harç numunesi alınmıştır ve numunelerin SEM/EDS analizi laboratuvar ortamında yapılmıştır.

4.5.1 Deneylerde kullanılan cihazlar

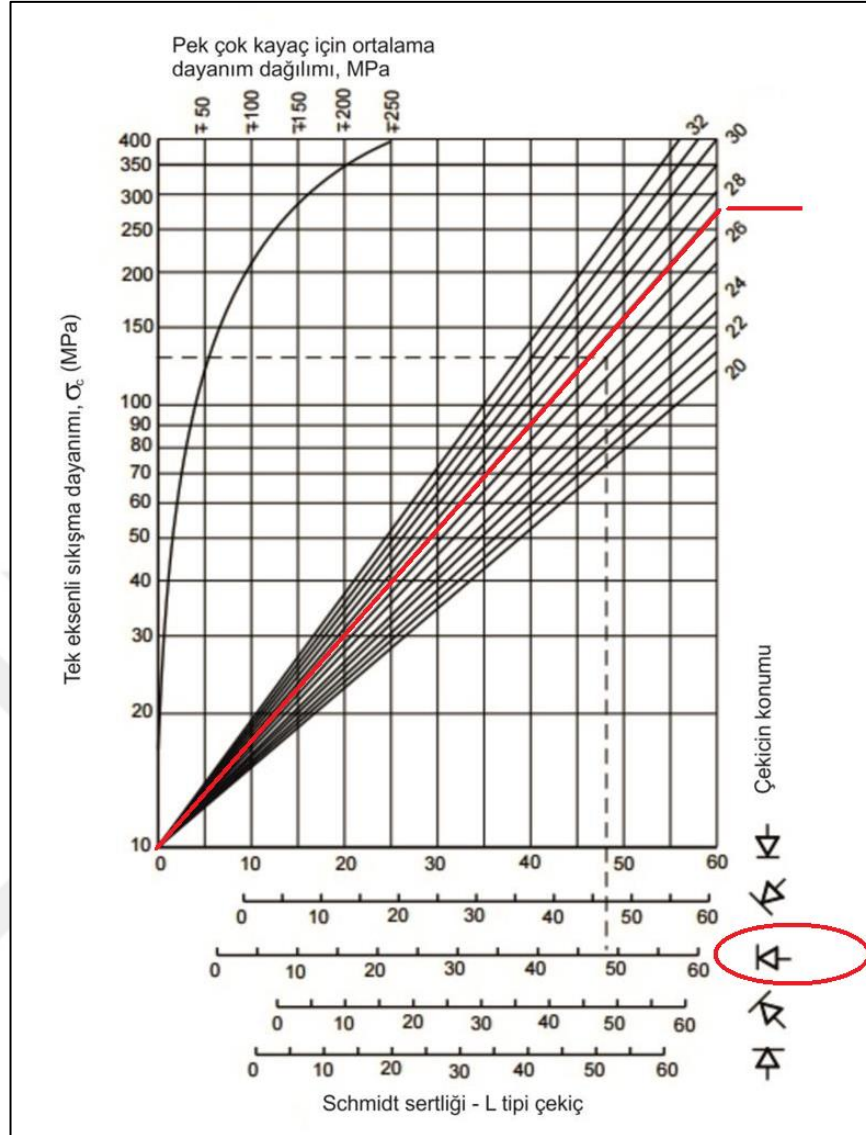
Schmidt çekici

Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici kullanılarak yüzey sertlik ölçümleri yapılmıştır. Deneyde Proceq marka L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır (Şekil 4.54).



Şekil 4.54 L tipi Schmidt çekici ve yapılan ölçüm (2024)

Cami duvarlarında, ayaklarında ve sütunlarda yapılan deneyde belirlenen taş yüzeylerinde belli aralıklarla 10 adet okuma yapılmıştır ve geri tepme sayısı belirlenmiştir. Deere ve Miller (1966) tarafından geliştirilen kapsamlı bir kalibrasyon eğrisi (abak) kullanılarak çekiç ile belirlenen çekicinin konumuna, elde edilen geri tepme sayısına ‘R’ ve birim hacim ağırlığa karşılık gelen basınç dayanımı belirlenmiştir (Şekil 4.55).



Şekil 4.55 Schmidt çekiçi için kullanılan kalibrasyon eğrisinde (abak) değerlerin yerleştirilmesi (Deere ve Miller, 1966 düzenlenmiştir)

Düşük frekanslı ultrasonik test cihazı

Hız. Süleyman (Kale) Cami’de düşük frekanslı ultrasonik test cihazı kullanılarak yüzey düzgünlüğü ve ultrases geçiş hızı ölçümleri yapılmıştır. UK1401 model ultrasonik test cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.56). Ultrasonik cihazlar ses dalgasının iletimi prensibi ile çalışmaktadır.

Taş malzeme içerisine iletilen dalga hızı belirlenebilmekte ve taş yüzeyinin pürüzlülüğü ölçülmektedir. Elde edilen veriler ile malzemenin ve bulunduğu yapının; mukavemeti, bütünlüğü, yüzeyindeki boşlukların varlığı ve sesin yayılım hızı ile süresi hakkında belirlemeler ve değerlendirmeler yapmak mümkündür (Işık, 2017).



Şekil 4.56 Düşük frekanslı ultrasonik test cihazı yapılan ölçüm (2024)

Cihaz ölçüm anında kolaylıkla kalibre edilebilme imkanı sunmaktadır. Cihazda; dalganın iletimini sağlayan iki adet, aşınmaya dayanıklı transducer bulunmaktadır. Hafıza kapasitesi 400 ölçüm değeri olup ölçüm değeri ölçüm anında dijital ekrana yansımaktadır (Şekil 4.57).

Parametre	Değer
Zaman ölçüm aralığı	15 - 100 mikrosaniye
Hız ölçüm aralığı	1500 - 9999 m/s
Çatlak derinliği ölçüm aralığı	10-50 mm
Ölçüm hatası	±1% den az
Çalışma frekansı	50 kHz
Zonding frekansı	5-20 Hz
Çalışma sıcaklığı aralığı	-20°C ~ +50°C
Çalışma süresi	100 saat
Boyutlar	200 x 120 x 35 mm
Ultrasonik transducer boyu	45 mm
Elektronik ünite ağırlığı	350 g
Hafıza kapasitesi	4000

Şekil 4.57 Düşük frekanslı ultrasonik test cihazının teknik özellikleri

Nem ölçüm cihazı

Hz. Süleyman (Kale) Cami’de nem ölçüm cihazı kullanılarak farklı mekanlarda ve taşıyıcı elemanlarda elde edilen nem değerleri kaydedilmiştir. R&D marka MT 28 model elektromanyetik esasa göre çalışan, dijital ekrana sahip bir nem ölçer kullanılmıştır (Şekil 4.58). Cihaz yaklaşık olacak 10 cm derinlikte ölçüm yapmakta ve

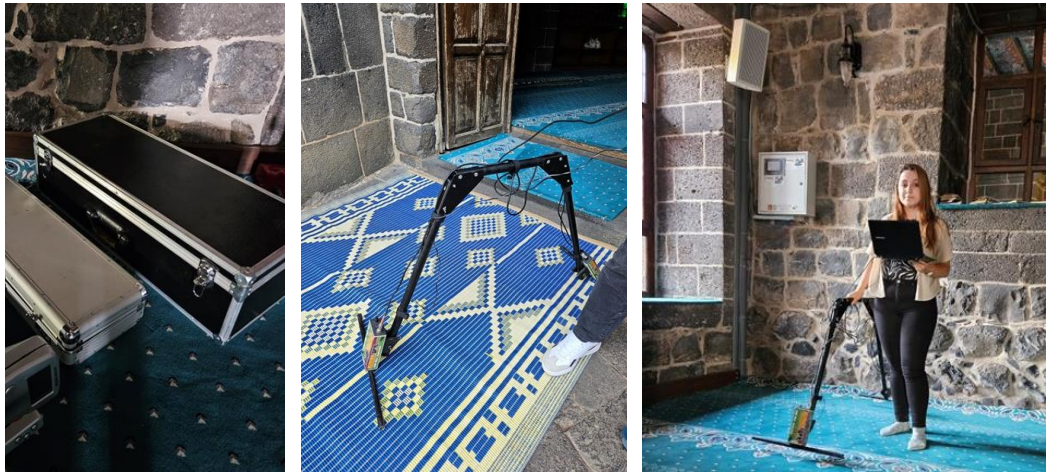
nemin toplam kütleye oranla % cinsinden değerin ölçülmesini sağlamaktadır. Portatif ve şarj edilebilir olan cihaz sensörleri ile ortam nemini algılamaktadır.



Şekil 4.58 Nem ölçüm cihazı ve yapılan ölçüm (2024)

Georadar (GPR) cihazı

Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de iki farklı Georadar (GPR) cihazı ile uzman jeofizik mühendisleri tarafından görüntüleme yapılmıştır. Zemin yer altı taramalarında Rimek marka gücü 300 MHz olan dipol anten kullanılmıştır (Şekil 4.59). Camideki ölçümler 150 MHz değerine karşılık gelen 10 metre derinlikte yapılmıştır. PRISM 2,5 versiyonundaki program ile filtrelenerek radargramlar elde edilmiştir.



Şekil 4.59 Zeminde kullanılan Georadar (GPR) cihazı ve yapılan ölçüm (2024)

Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de harim bölümündeki duvarlarda, ayaklarda ve sütunlarda Georadar (GPR) cihazı ile görüntüleme yapılmıştır. UXO marka, 500 MHz yoğunlukta ölçüm yapabilen bir görüntüleme cihazı kullanılarak ölçüm yapılan elemanlardaki boşlukların varlığı ve durumu belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.60).



Şekil 4.60 Duvarda, ayakta ve sütunlarda kullanılan Georadar (GPR) cihazı ve yapılan ölçüm (2024)

SEM/EDS (Taramalı elektron mikroskobu/ X ışının spektroskopisi) deneyi cihazı

Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin güney cephesinde yer alan payanda duvarındaki hasarlı taştan küçük parça halindeki bazalt taşı ve harç numunesi alınmıştır. Numunelerin SEM/EDS analizi Diyarbakır Dicle Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DÜBTAM) laboratuvar ortamında yapılmıştır. SEM FEI Quanta 250 FEG marka / model cihaz ve ekipmanları kullanılmıştır (Şekil 4.61).



Şekil 4.61 SEM/EDS deneyi cihazı yapılan ölçüm (2024)

4.5.2 Yüzey sertliği deneyi (Schmidt çekici) ve deney değerlendirmeleri

Ernst Schmidt tarafından geliştirilen test çekici geri tepme ilkesine sahiptir. Test çekici ile malzemenin sertliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Malhotra, 2004). Sertlik değeri ile malzemenin kökeni bilinebilir ve aynı sertliğe sahip malzemelerin ayırt edilebilmesini sağlamaktadır (Aköz ve Yüzer , 2005).

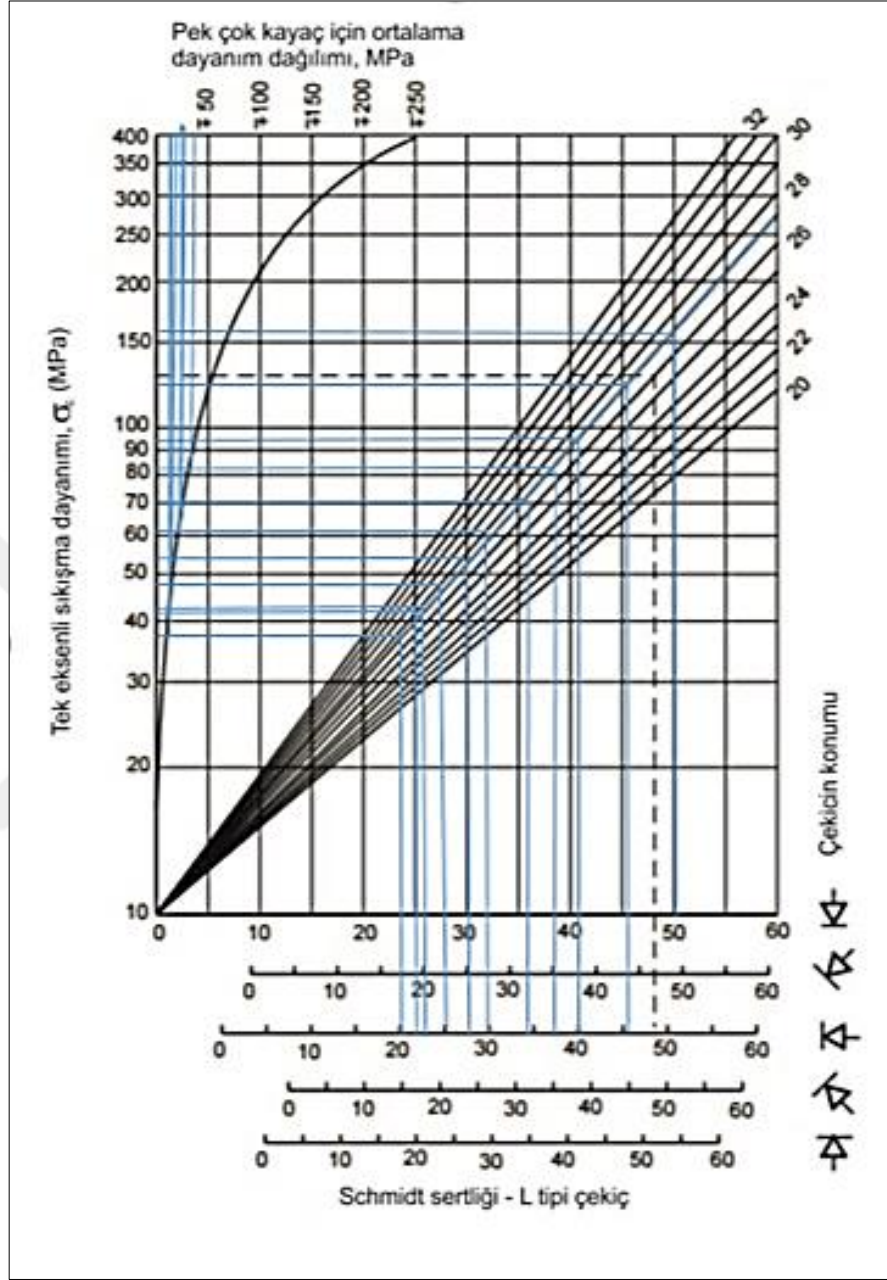
Schmidt çekici ile elde edilen sertlik değeri tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesini dolaylı olarak sağlamaktadır (Török ve Prikryl, 2010). Basınç dayanımının dolaylı şekilde belirlenebilmesi için Deere ve Miller (1966) tarafından kapsamlı bir abak geliştirilmiştir (Yaşar, 2016).

Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici kullanılarak yapının tamamında ölçümler yapılmıştır. Caminin batı ve güney cephesinde dış duvarlarda, avlu girişlerinde, abdest alma yerlerinde duvarda ve sütunlarda, açık namazgah bölümü duvarlarında, türbe duvarlarında, son cemaat alanına girişte ve duvarlarda, avlu zemininde, iç avlu duvarlarında, imam odası duvarlarında, minarenin iç duvarında ve harim bölümünde duvarlarda, ayaklarda ve sütunda Schmidt çekici kullanılarak ölçüm yapılmıştır.

Okumalar en az 20 mm aralıklarla, çekiç yüzeye dik konumlanan pozisyonda yapılmıştır. Her bir bazalt taşında art arda 10 adet okuma yapılmıştır. Değerler arasında en yüksek ve en küçük değer ihmal edilerek kalan 8 değer aritmetik ortalaması alınmıştır. Ortalama değer geri tepme sayısı ‘R’ olarak kaydedilmiştir.

Erişiş, Tuğrul, Er, ve Yılmaz (2019) bazalt taşları üzerinde yapmış oldukları çalışmada birim hacim ağırlık deneyini yapmışlardır. Değer dönüşümleri sonrası elde ettikleri sonuçlarda en yüksek değeri 2.869 g/cm³, en düşük değeri ise 2.605 g/cm³ olarak bulmuşlardır. Işık (2008) bazalt taşının birim hacim ağırlığının 2,78-3,0 g/cm³ aralığında değiştiğine yer vermiştir. Bu çalışmalardan yola çıkarak bazalt taşının birim hacim ağırlık değeri 2,7 g/cm³ olarak alınmıştır. Deere ve Miller (1966) tarafından geliştirilen kapsamlı bir abaka çekicinin konumu, elde edilen geri tepme sayısı ‘R’ ve birim hacim ağırlık işlenerek tek eksenli sıkışma dayanımı yani sertlik değeri elde

edilmiştir. Ancak abakta bulunan değere karşılık gelen (+,-) yanılma payı da bulunmaktadır (Şekil 4.62).



Şekil 4.62 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekiciyle yapılan ölçümlerin işlendiği kalibrasyon eğrisi (abak)

Hz. Süleyman (Kale) Cami’de 71 adet taş yüzeyinde okuma yapılmıştır. 48 adet duvar taşında, 18 adet ayak taşında, 3 adet sütunda ve 2 adet zemin taşında Schmidt çekici ile uygulama yapılmıştır. Uygulama yapılan noktalar kat planına uygulama sırasına göre işlenmiştir (Şekil 4.63). Yapılan uygulamalarda elde edilen değerler kalibrasyon eğrisinde yani abakta belirlenerek uygulama yapılan taşın sertlik değeri tespit edilmiştir ve tüm değerlere tabloda yer verilmiştir (Tablo 4.1).



Şekil 4.63 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyinin yapıldığı yerler

Tablo 4.1 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyi sonucu

ARAZİDE SCHMIDT SERTLİK DENEYİ																
Ölçüm sırası	Ölçülen yer	Çekicinin Konumu	Geri Sıçrama Sertlik Değerleri, N 10 adet										Ort. N ‘R’	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Okuma σc (MPa)	’ / +
1	Duvar	3	28	30	22	20	30	20	28	24	38	36	27,3	2,7	54	20
2	Duvar	3	24	20	28	20	26	20	16	20	20	28	22,3	2,7	43	13
3	Ayak	3	20	20	22	26	24	22	22	20	24	24	22,3	2,7	43	13
4	Ayak	3	26	28	20	30	20	22	40	20	22	30	24,8	2,7	48	14
5	Ayak	3	20	26	28	26	24	22	30	20	20	32	24,5	2,7	48	14
6	Ayak	3	22	20	20	30	20	26	26	22	24	26	23,3	2,7	44	13
7	Ayak	3	26	32	42	38	38	30	30	32	44	32	34,3	2,7	71	25
8	Ayak	3	30	18	20	26	20	28	20	34	20	20	23	2,7	44	13
9	Ayak	3	28	42	40	42	30	32	46	42	48	28	37,8	2,7	81	40
10	Ayak	3	42	44	28	32	32	38	30	28	30	34	33,3	2,7	69	24
11	Duvar	3	34	48	40	26	32	18	30	22	20	32	29,5	2,7	61	21
12	Ayak	3	30	24	22	28	22	26	26	26	28	24	25,5	2,7	49	14
13	Ayak	3	20	28	20	32	28	38	22	24	28	20	25,3	2,7	49	14
14	Ayak	3	24	26	32	38	22	32	30	28	28	32	29	2,7	60	21
15	Ayak	3	26	38	26	24	28	28	32	24	20	36	28	2,7	58	21
16	Ayak	3	24	20	26	20	32	22	28	48	32	28	26,5	2,7	50	14
17	Ayak	3	18	28	26	20	20	24	28	28	24	30	24,8	2,7	48	14
18	Ayak	3	26	36	46	26	20	38	30	30	38	26	31,3	2,7	62	22
19	Ayak	3	38	24	44	46	36	32	50	50	50	40	42	2,7	97	45
20	Duvar	3	26	38	38	44	22	28	28	28	38	34	32,3	2,7	66	23
21	Sütun	3	34	18	44	40	46	28	46	36	36	38	37,8	2,7	81	40
22	Duvar	3	36	36	46	34	54	56	20	56	30	34	40,8	2,7	95	44
23	Duvar	3	26	42	28	32	26	28	26	34	24	28	28,5	2,7	58	20
24	Duvar	3	28	32	24	30	28	42	26	20	30	40	29,8	2,7	61	21
25	Duvar	3	34	32	20	28	40	40	38	40	30	34	34,5	2,7	71	25
26	Duvar	3	20	32	28	32	30	26	26	26	26	30	28	2,7	58	21
27	Duvar	3	30	38	26	38	32	34	20	26	30	36	31,5	2,7	62	22

Tablo 4.1 (Devam)

28	Duvar	3	36	34	32	20	26	24	26	46	42	32	31,5	2,7	62	22
29	Duvar	3	26	44	20	38	26	26	34	34	38	26	31	2,7	62	22
30	Duvar	3	36	30	42	30	40	34	28	38	28	34	33,8	2,7	69	24
31	Duvar	3	26	26	20	28	32	20	22	26	20	20	23,5	2,7	44	13
32	Duvar	3	24	30	20	24	22	22	24	28	20	26	23,8	2,7	44	13
33	Duvar	3	32	40	20	22	46	36	28	20	46	26	31,3	2,7	62	22
34	Duvar	3	22	26	30	22	20	28	20	34	26	22	25	2,7	49	14
35	Duvar	3	20	32	30	20	34	26	26	22	36	26	27	2,7	54	20
36	Zemin	1	40	66	50	56	56	46	40	48	48	48	49	2,7	160	75
37	Zemin	1	44	30	28	36	42	50	30	42	40	40	38	2,7	90	45
38	Duvar	3	42	30	30	22	26	28	38	30	24	32	29,8	2,7	60	21
39	Duvar	3	32	26	40	42	20	26	28	32	24	34	30,3	2,7	61	21
40	Duvar	3	20	38	28	28	22	26	20	34	20	22	22,3	2,7	43	13
41	Duvar	3	30	20	34	26	20	30	20	26	36	20	25,8	2,7	49	14
42	Duvar	3	20	26	28	20	24	20	18	20	18	20	21	2,7	38	10
43	Duvar	3	32	28	26	26	20	20	34	20	20	26	24,8	2,7	49	14
44	Duvar	3	22	28	28	30	28	20	20	38	34	24	26,8	2,7	53	20
45	Duvar	3	20	22	24	24	24	20	30	28	20	20	22,8	2,7	43	13
46	Duvar	3	26	20	20	26	34	26	26	22	26	22	24,3	2,7	49	14
47	Ayak	3	30	36	40	42	30	22	42	30	30	20	32,5	2,7	66	23
48	Ayak	3	42	32	24	32	22	32	32	22	24	32	28,8	2,7	58	21
49	Duvar	3	28	30	28	20	28	20	26	28	22	20	25	2,7	49	14
50	Duvar	3	26	24	30	25	36	30	24	26	32	38	28,6	2,7	58	21
51	Duvar	3	40	50	38	20	40	36	46	30	46	38	39,3	2,7	93	40
52	Duvar	3	26	22	20	20	28	20	22	32	32	20	23,8	2,7	44	13
53	Duvar	3	20	26	20	20	20	28	22	20	22	24	21,8	2,7	38	10
54	Sütun	3	48	56	38	36	40	60	40	50	40	60	46,5	2,7	130	50
55	Sütun	3	36	40	32	38	40	38	42	40	40	38	39	2,7	94	44
56	Duvar	3	22	20	20	20	32	28	22	22	28	24	23,3	2,7	44	13
57	Duvar	3	34	28	26	22	20	26	30	26	18	22	25	2,7	49	14

Tablo 4.1 (Devam)

58	Duvar	3	20	20	20	22	22	26	20	24	28	24	22,3	2,7	43	13
59	Duvar	3	20	24	28	20	26	24	30	20	22	20	23	2,7	44	13
60	Duvar	3	32	20	24	34	20	26	40	20	26	26	26	2,7	50	14
61	Duvar	3	20	20	24	20	20	20	22	20	20	32	20,8	2,7	38	10
62	Duvar	3	28	30	30	36	30	20	26	22	22	28	27	2,7	54	20
63	Duvar	3	32	26	26	28	26	22	26	28	22	24	25,8	2,7	49	14
64	Duvar	3	26	32	26	20	22	28	20	28	20	28	24,8	2,7	49	14
65	Duvar	3	24	24	28	20	26	30	32	28	26	24	26,3	2,7	50	14
66	Duvar	3	20	26	26	28	38	26	26	28	34	28	27,8	2,7	54	20
67	Duvar	3	36	28	38	44	26	28	30	26	38	40	33	2,7	69	24
68	Duvar	3	28	38	32	38	42	30	28	32	44	24	33,5	2,7	69	24
69	Duvar	3	20	20	40	34	22	26	20	24	28	34	26	2,7	50	14
70	Duvar	3	28	20	20	26	20	20	26	26	30	20	23,3	2,7	44	13
71	Duvar	3	38	38	28	36	30	34	24	32	26	30	31,8	2,7	62	22

Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyinin sonucunda bazalt taşına ait farklı sertlik değerleri elde edilmiştir:

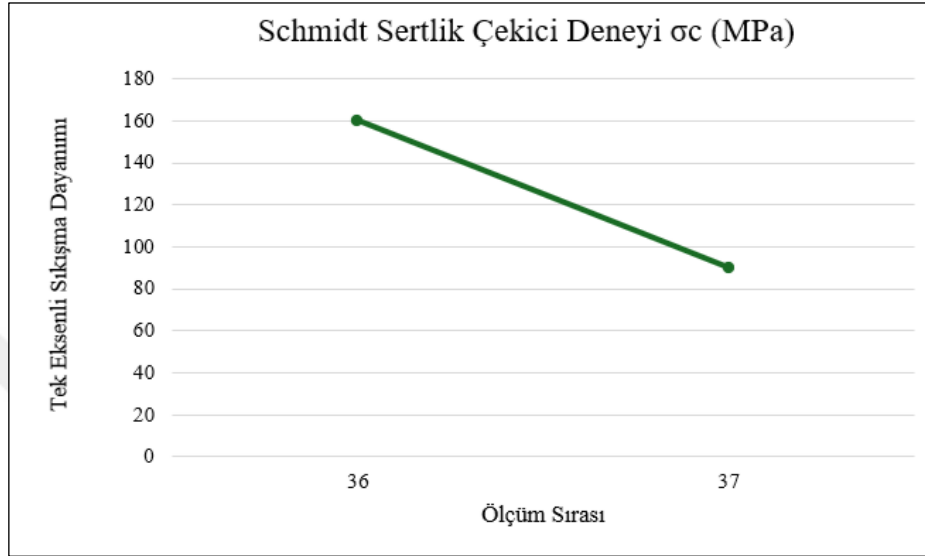
- En yüksek değer avludaki zemin taşında elde edilmiştir. Ölçümler avlu döşemesinde ve son cemaat alanı önündeki bir basamakla yükseltiletilen döşemeden (36 ve 37 numaralı ölçüm) elde edilmiştir. Belirlenen iki taşta yapılan okuma sonucu 160 ve 90 MPa bulunmuştur. Döşeme kalınlığının veya doluluk oranının farklı değerler ölçülmesine neden olduğu olasıdır (Şekil 4.64), (Tablo 4.2), (Şekil 4.65).



Şekil 4.64 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile sertlik değeri belirlenen 36 ve 37 numaralı bazalt taşları (2024)

Tablo 4.2 Hz. Süleyman (Kale) Cami zemin taşlarının sertlik değerleri

Ölçüm numarası	36 no'lu ölçüm	37 no'lu ölçüm
Sertlik değerleri (MPa)	160	90



Şekil 4.65 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zemin taşlarının sertlik değerlerine ait grafik

- En düşük değer ise avluda bulunan farklı üç duvardaki taşlardan elde edilmiştir (42,53 ve 61 numaralı ölçümler).
- Harimdeki 8 adet ayakta ikişer sertlik değeri belirlenmiştir. Aynı ayakta farklı yüzeylerden alınan ölçümler incelendiğinde birbirine yakın değerlere sahip taşların olduğu sadece iki ayak belirlenmiştir. Diğer ayaklardaki ölçüm yapılan taşların sertlik değeri yakın değerlerde bulunmamıştır (Tablo 4.3).

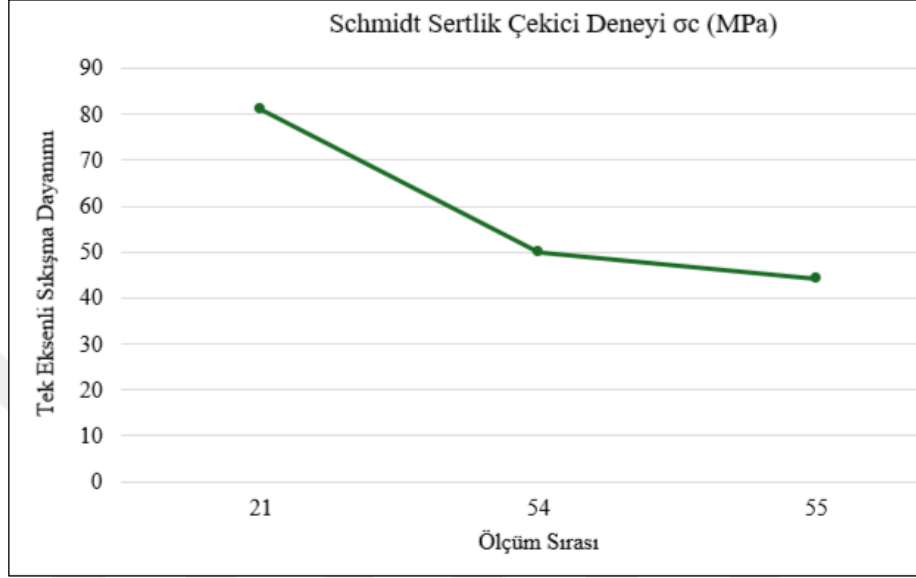
Tablo 4.3 Hz. Süleyman (Kale) Cami ayaklarının sertlik değerleri

Ölçüm numarası	3-7 no'lu ölçüm	4-8 no'lu ölçüm	5-9 no'lu ölçüm	6-10 no'lu ölçüm	12-16 no'lu ölçüm	13-17 no'lu ölçüm	14-18 no'lu ölçüm	15-19 no'lu ölçüm
Sertlik değerleri (MPa)	43-71	48-44	48-81	44-69	49-50	49-48	60-62	58-97

- Harimdeki 1 adet ve abdest alma bölümündeki 2 adet sütunun sertlik ölçümü yapılmıştır. Sütunların sertlik değerleri birbirinden farklı hesaplandığı için aralarında ilişki kurulamamıştır (Tablo 4.4), (Şekil 4.66).

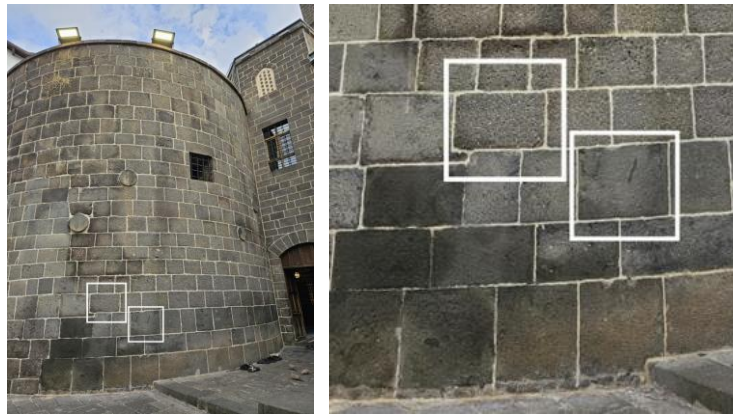
Tablo 4.4 Hz. Süleyman (Kale) Cami sütunlarının sertlik değerleri

Ölçüm numarası	21 no'lu ölçüm	54 no'lu ölçüm	55 no'lu ölçüm
Sertlik değerleri (MPa)	81	50	44



Şekil 4.66 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zemin taşlarının sertlik değerlerine ait grafik

- Harim duvarlarında ölçüm yapılan taşların sertlik değerleri birbirinden farklı hesaplanmıştır. En yüksek sertlik değerine sahip taşın olduğu duvar harimde bulunmaktadır (22 numaralı ölçüm). Bu değere en yakın sertlik ölçümü burçta yapılan 51 numaralı ölçümde elde edilmiştir. 51 ve 52 numaralı ölçümler avludaki burçta yapılmıştır. Ölçümlere ait değerlerin (93 ve 44 MPa) bu derece farklı olması taşların farklı yapısından kaynaklanmaktadır. Ölçüm yapılan taşlar yüzeysel olarak da birbirine benzememektedir (Şekil 4.67).



Şekil 4.67 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile sertlik değeri belirlenen 52 ve 51 numaralı bazalt taşları (2024)

- İmam odasındaki duvarlardan alınan 3 ölçümün sonucu (44, 45 ve 46 numaralı ölçümler) hesaplanan sertlik değerleri ortalama duvar sertlik değerine yakın bulunmuştur.
- Minarenin iç duvarlarından alınan 3 ölçümün sonucu (49 ve 50 numaralı ölçümler) hesaplanan sertlik değerleri ortalama duvar sertlik değerine yakın bulunmuştur.
- Son cemaat yerindeki 3 farklı ölçüme (25,26 ve 27 numaralı ölçümler) göre en yüksek sertlik değeri minareye ait olan duvarın ölçümlerinden elde edilmiştir. Duvar kalınlığının veya doluluk oranının bu duruma neden olması olasıdır.
- İç avludaki 4 farklı ölçüme (28, 29, 30 ve 31 numaralı ölçümler) göre diğer üç taşın sertlik değeri birbirine yakın hesaplanırken 31 numaralı ölçümde sertlik değeri daha azdır (Şekil 4.68).

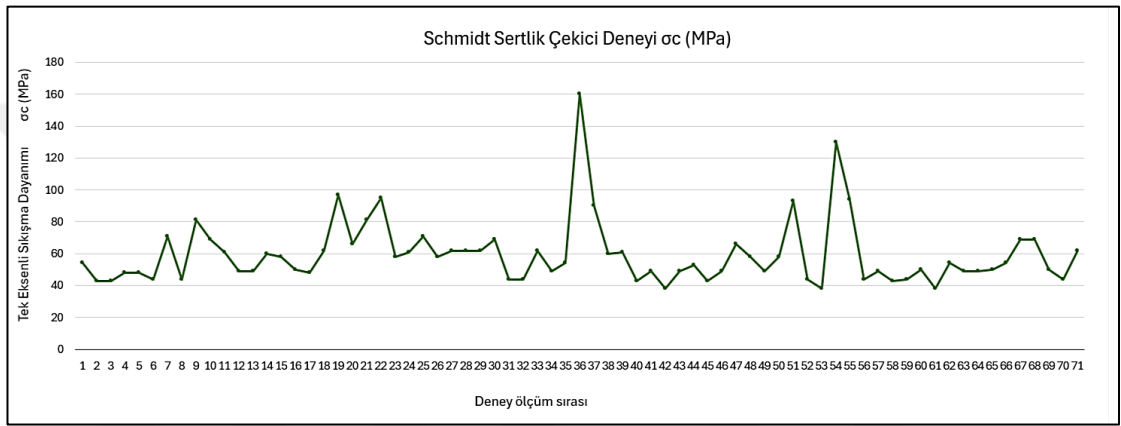


Şekil 4.68 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile sertlik değeri belirlenen 30 ve 31 numaralı bazalt taşları (2024)

- Abdest alma yerinde çeşme üzerindeki duvardaki taşlarda 2 adet sertlik değeri hesaplanmıştır (56 ve 57 numaralı ölçümler). Abdest alma yerindeki sütunların (54 ve 55 numaralı ölçümler) ölçümünün aksine duvar taşlarının sertlik değeri (44 ve 49 MPa) birbirine yakın hesaplanmıştır.
- Caminin batı giriş kapısının sağındaki ve solundaki duvarlarda sertlik testi uygulanmıştır. Taşların sertlik değerleri birbirine yakın hesaplanmıştır.
- Açık namazgah bölümünde 4’ü avludan, 2’si dış duvarın dış tarafından olmak üzere taşlara ait 6 sertlik değeri belirlenmiştir. 6 ölçüme ait 5 değer birbirine yakın hesaplanmıştır.

- Caminin güney cephesindeki duvar ve payandadaki taşlarda yapılan okumalar sonucu hesaplanan sertlik değerleri farklı sonuçlar vermiştir.

H. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyinin sonucunda bazalt taşına ait farklı sertlik değerlerinin hesaplanması grafikte dalgalanmalara neden olmuştur (Şekil 4.69). Sertlik ölçümleri farklı sonuçlanan yüzeyler incelendiğinde; ölçüm yapılan taşların boşluk-doluluk oranlarının farklı olması, daha gözenekli yapıda olmaları veya nemden kaynaklı yüzeyde renk değişimlerinin gözlemleniyor olması bu durumun başlıca etkenleri arasındadır.



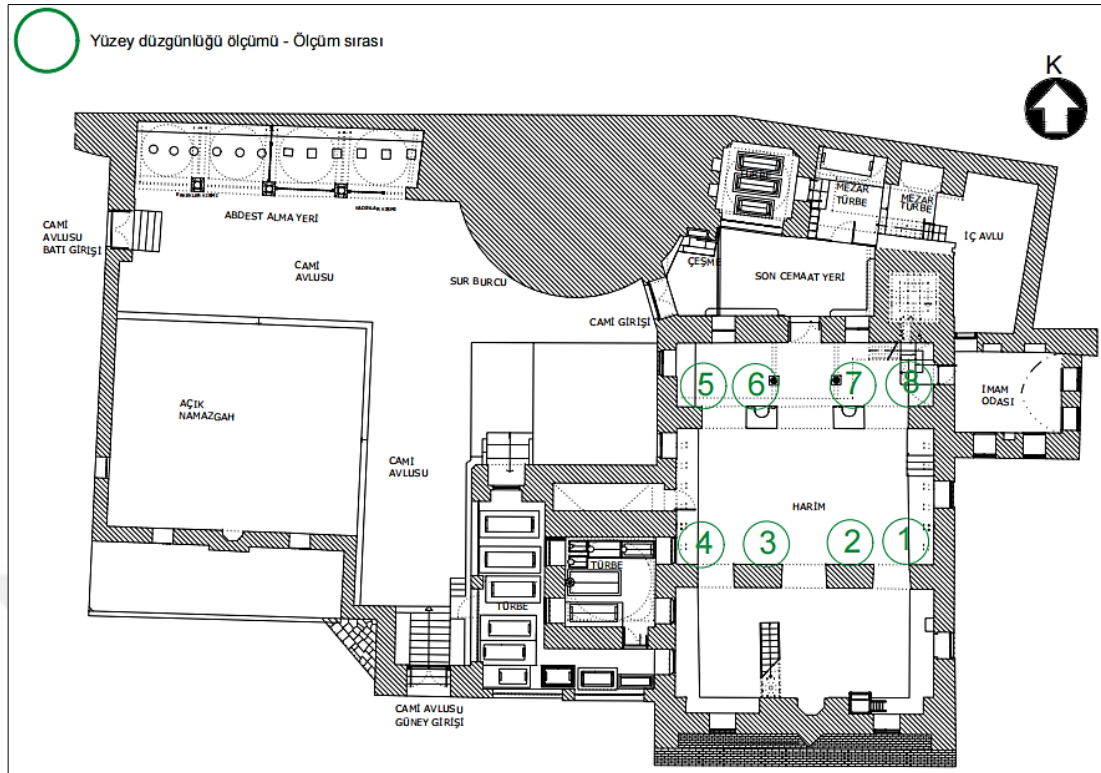
Şekil 4.69 H. Süleyman (Kale) Cami’de Schmidt çekici ile yüzey sertliği deney grafiği

4.5.3 Yüzey düzgünlüğü ölçümü ve deney değerlendirmeleri

H. Süleyman (Kale) Cami’de harim bölümündeki ayaklarda yüzey düzgünlüğü ölçümü yapılmıştır. Düşük frekanslı ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Bu ölçümlerde ayaklardaki farklı boyuta gözenek durumuna sahip taşların yüzeysel durumu incelenmiştir (Şekil 4.70). Ayaklarda 8 adet ölçüm yapılmıştır ve kat planında işaretlenmiştir (Şekil 4.71). Her bir ayakta bulunan 6 farklı taşta birer adet okuma yapılmıştır.



Şekil 4.70 H. Süleyman (Kale) Cami’de yüzey düzgünlüğü ölçümleri (2024)

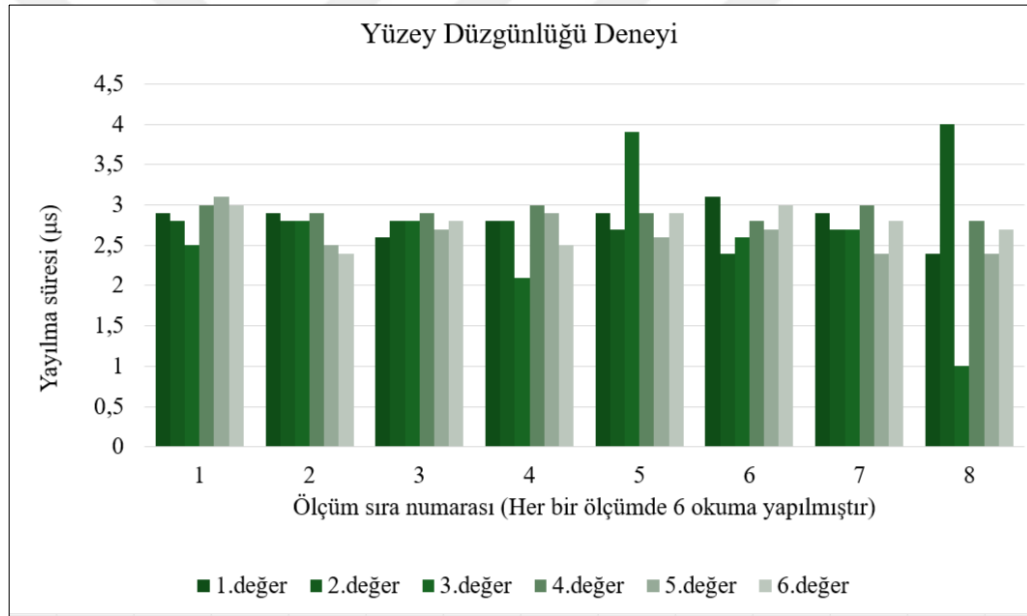


En yüksek değerlere harimin ilk sahin bölümünde yer alan 5 ve 8 numaralı ayakta ulaşılmıştır. En düşük değer ise 8 numaralı ayakta ölçülmüştür. En yüksek ve en düşük değerlerin, ortalama yüzey düzgünlüğü değerine yakın değerler olmadıkları anlaşılmıştır. 8 numaralı ayağın aynı yüzeyindeki farklı taşlarda en yüksek ve en düşük değerler elde edilmiştir. 8 numaralı ayak mahfile çıkılan merdivenin olduğu yerde, imam odasına bitişik bulunan ayaktır. Bu durum basamakları kullanan kişilerin taş yüzeylerine dokunmaları nedeniyle zamanla yüzeyi aşındırmış olmaları ihtimalini arttırmaktadır.

5 numaralı ayakta en yüksek ikinci değer elde edilmiştir. Bu ayakta ölçülen diğer değerlerin birbirine ve ortalama değere yakın olması ayak genelinde bir problem olmadığına, ancak en yüksek değeri veren taştta süreksizlik yaratacak bir durumun olabileceğine veya taşın daha az gözenekli olabileceğine işaret etmektedir. 3 numaralı ayakta yapılan ölçümler arasındaki değer farklılığı ihmal edilebilir seviyedir. Yüzey düzgünlüğü sonuçları tablo ve halinde verilmiştir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.72).

Tablo 4.5 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yüzey düzgünlüğü deneyi sonucu

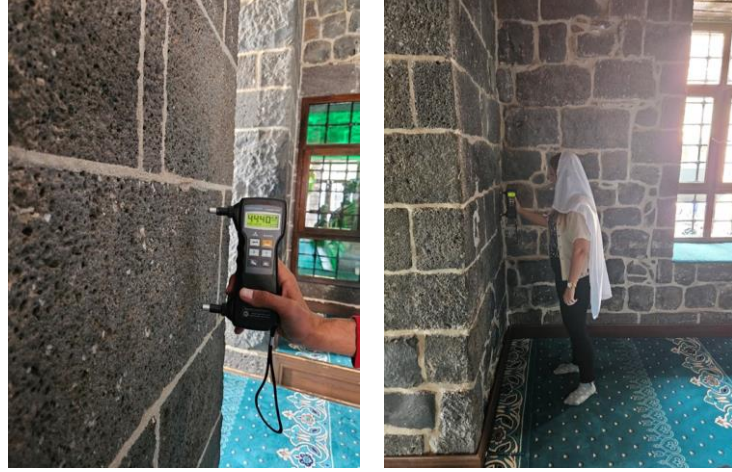
Yüzey Düzgünlüğü Deneyi							
Ölçüm sırası	Yayılma (μ s)	1 no’lu taş	2. no’lu taş	3. no’lu taş	4. no’lu taş	5. no’lu taş	6. no’lu taş
1 numaralı ayak		2,9	2,8	2,5	3	3,1	3
2 numaralı ayak		2,9	2,8	2,8	2,9	2,5	2,4
3 numaralı ayak		2,6	2,8	2,8	2,9	2,7	2,8
4 numaralı ayak		2,8	2,8	2,1	3	2,9	2,5
5 numaralı ayak		2,9	2,7	3,9	2,9	2,6	2,9
6 numaralı ayak		3,1	2,4	2,6	2,8	2,7	3
7 numaralı ayak		2,9	2,7	2,7	3	2,4	2,8
8 numaralı ayak		2,4	4	1	2,8	2,4	2,7



Şekil 4.72 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yüzey düzgünlüğü deneyi grafiği

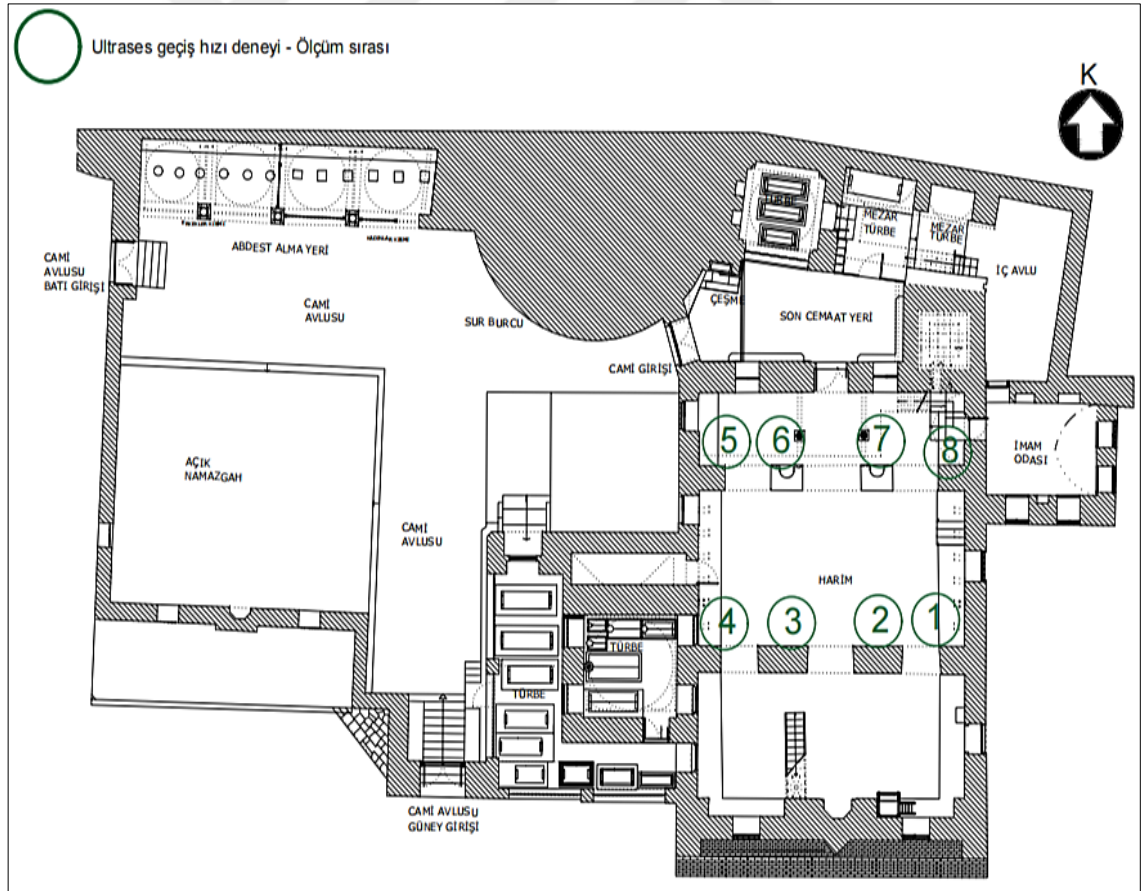
4.5.4 Ultrases geçiş hızı deneyi ve deney değerlendirmeleri

Hz. Süleyman (Kale) Cami’de harim bölümündeki ayaklarda ultrases geçiş hızı ölçümü yapılmıştır. Düşük frekanslı ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Bu ölçümlerde ayaklarda kullanılan farklı boyutlardaki ve gözeneklilikteki taşlarda ultrasonik dalganın ilerleme hızı belirlenmiştir (Şekil 4.73).



Şekil 4.73 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı deneyi (2024)

Harim bölümündeki 8 ayakta ölçüm yapılmıştır ve kat planında işaretlenmiştir (Şekil 4.74). Her bir ayakta bulunan 3 farklı taşa birer adet okuma yapılmıştır. Elde edilen değerler tabloda verilmiştir (Tablo 4.6).

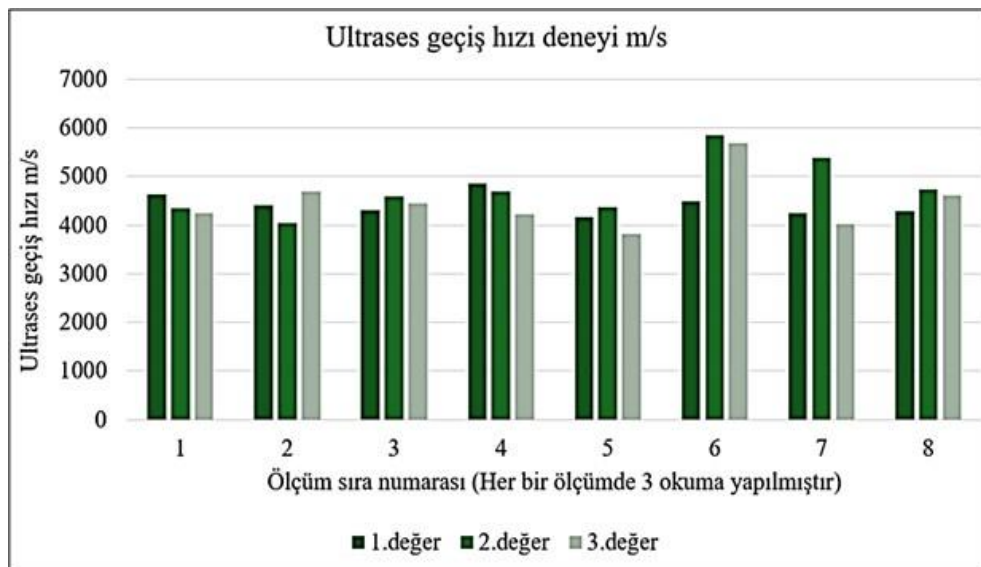


Şekil 4.74 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı deneyinin yapıldığı yerler

Tablo 4.6 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı deneyi sonucu

Ultrases Geçiş Hızı Deneyi				
Konum	Hız (m/s)	1 no’lu değer	2 no’lu değer	3 no’lu değer
1 no’lu ayak		4630	4340	4240
2 no’lu ayak		4410	4040	4690
3 no’lu ayak		4310	4590	4440
4 no’lu ayak		4850	4690	4230
5 no’lu ayak		4170	4370	3810
6 no’lu ayak		4480	5840	5676
7 no’lu ayak		4240	5380	4020
8 no’lu ayak		4290	4730	4620

Harim bölümündeki ayaklarda yapılan ölçümlerde genel olarak birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara ait grafik oluşturulmuştur (Şekil 4.75). Sonuç farklılıkları taşın gözenek durumuna göre değişmiştir. Ölçümlerde; en yüksek değere 6 numaralı ayakta, en düşük değere ise 5 numaralı ayakta ulaşılmıştır. En yakın hız değerleri 3 numaralı ayakta ölçülürken değerler arasında artışın en fazla olduğu ölçüm 6 numaralı ayakta yapılmıştır. 6 ve 7 numaralı ayaklardaki ölçümler arasındaki farklılığın ihmal edilebilir seviyede olmaması ayaklarda bulunan mihrabiyeinin etkisi ile taş örgüsünün bölünmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



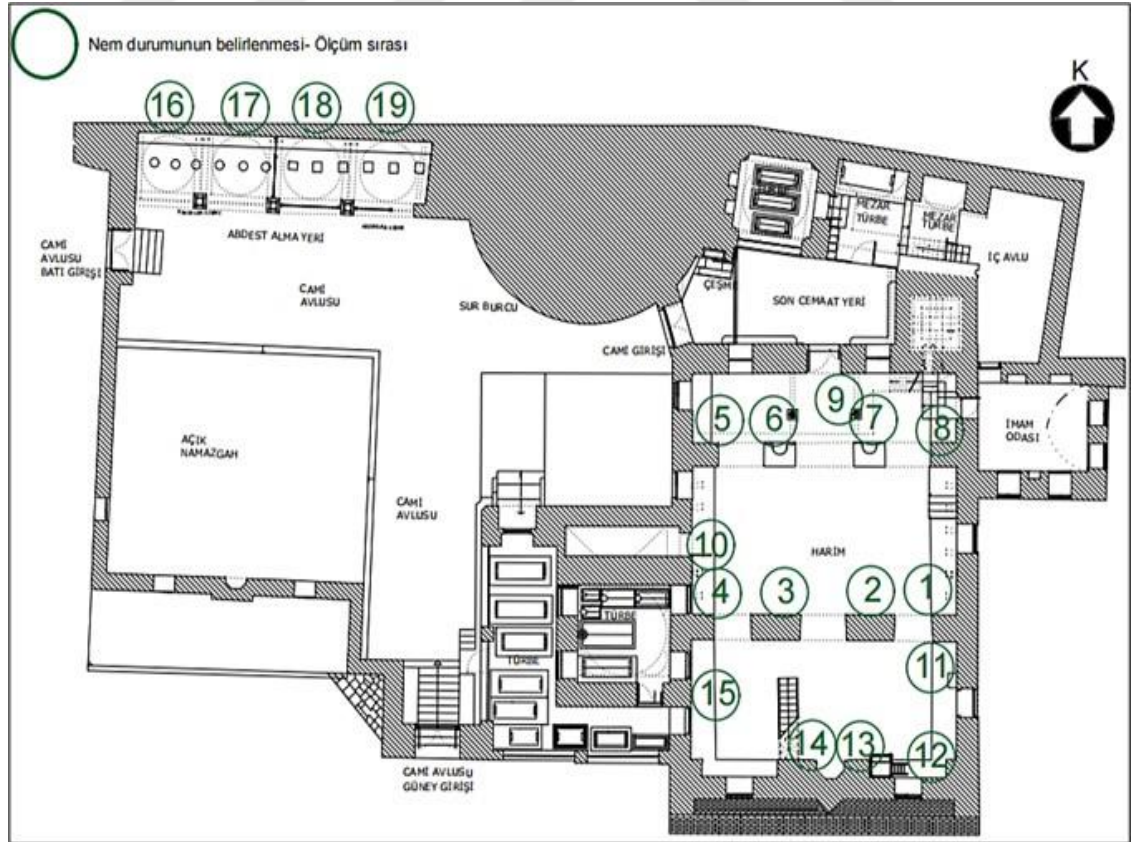
Şekil 4.75 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de ultrases geçiş hızı grafiği

4.5.5 Nem durumunun belirlenmesi ve deney değerlendirmeleri

Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de abdest alma bölümünün duvarında; harim bölümündeki ayaklarda, duvarlarda ve sütunda yüzey nemini belirlemek için ölçümler yapılmıştır. Bazalt taşının bulunduğu yere göre nem durumunun yüzdesel değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Elektromanyetik iletim prensibine sahip olan nem ölçer cihaz kullanılmıştır. (Şekil 4.76). Ölçüm yapılan bazalt taşlarının yeri kat planında verilmiştir (Şekil 4.77).



Şekil 4.76 Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de nem durumunun belirlenmesi (2024)

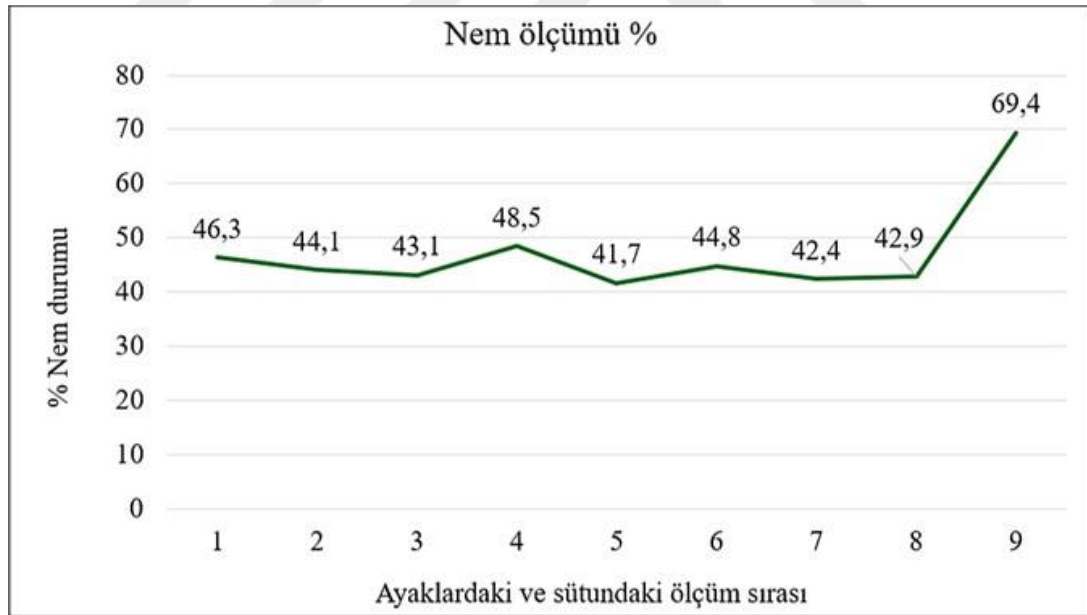


Şekil 4.77 Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de nem durumunun belirlenmesi için ölçümün yapıldığı yerler

Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de harim bölümünde ortam nemi %46,6 olarak ölçülmüştür. Ardından harim bölümündeki 8 adet ayakta ve 1 adet sütunda ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin yeri kat planında 1-9 numara aralığında belirtilmiştir. Nemin taşa nüfuzunun yüzdesel değeri tablo ve grafik halinde verilmiştir (Tablo 4.7 ve Şekil 4.78). Harimdeki ayaklarda birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Ancak sütunun (9 numaralı ölçüm) nem değerinin ayaklardaki ölçüm sonuçlarından oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir. Sütunun yekpare bazalt taşından olması ve daha az gözenekli yapıya sahip olmasının buna neden olduğuna ihtimal verilmektedir. Ortam nemine en yakın değer 1 numaralı ayağın ölçümünde elde edilmiştir.

Tablo 4.7 Hiz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümündeki ayaklardaki ve sütundaki bazalt taşların nem değerleri

Nem Durumunun Belirlenmesi									
Konum	1 no’lu ayak	2 no’lu ayak	3 no’lu ayak	4 no’lu ayak	5 no’lu ayak	6 no’lu ayak	7 no’lu ayak	8 no’lu ayak	9 no’lu sütun
Nem %	46,3	44,1	43,1	48,5	41,7	44,8	42,4	42,9	69,4

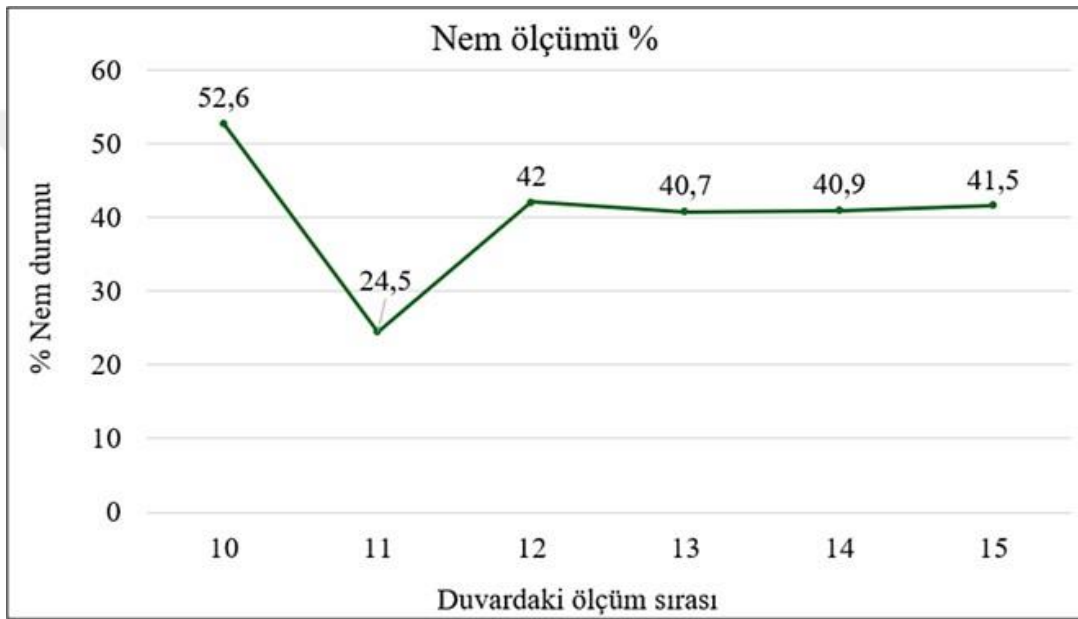


Şekil 4.78 Hiz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümündeki ayaklardaki ve sütundaki bazalt taşların nem grafiği

Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de harim duvarlarında 6 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin yeri kat planında 10-15 numara aralığında belirtilmiştir. Nemin taş nüfuzunun yüzdesel değeri tablo ve grafik halinde verilmiştir (Tablo 4.8 ve Şekil 4.79).

Tablo 4.8 Hiz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümü duvarlarındaki bazalt taşların nem değerleri

Nem Durumunun Belirlenmesi						
Konum	10 numaralı duvar	11 numaralı duvar	12 numaralı duvar	13 numaralı duvar	14 numaralı duvar	15 numaralı duvar
Nem %	52,6	24,5	42	40,7	40,9	41,5



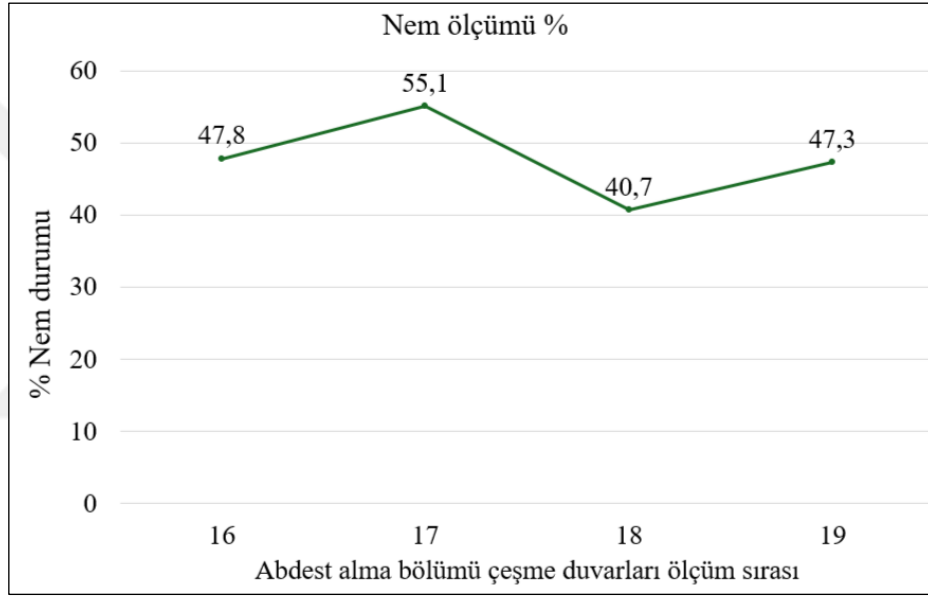
Şekil 4.79 Hiz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümü duvarlarındaki bazalt taşların nem grafiği

Harimdeki duvar ölçümlerinde farklı değerler elde edilmiştir. En yüksek değer 10 numaralı duvardan, en düşük değer ise 11 numaralı duvardan alınmıştır. 10 numaralı duvardaki bazalt taşların daha koyu renkte olmasından dolayı bu duvardan ölçüm alınmıştır ve elde edilen nem oranı değeri duvarda nem sorunun olabileceğini ihtimalini arttırmıştır. 11 numaralı duvarda klima ünitesi mevcut olduğundan klima arka panelinin ve boruların yarattığı ıslanma-kuruma döngüsünden kaynaklanması muhtemeldir. Ortam nemine en yakın ölçüm 12 numaralı duvarda yapılmıştır.

Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de nem ölçümleri son olarak abdest alma bölümünde çeşmelerin üzerindeki duvarlardan alınmıştır. 4 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin yeri kat planında 16-19 numara aralığında belirtilmiştir. Nemin taş nüzfuzunun yüzdesel değeri tablo ve grafik halinde verilmiştir (Tablo 4.9 ve Şekil 4. 80).

Tablo 4.9 Hiz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümündeki bazalt taşların nem değeri

Nem durumunun belirlenmesi %				
Konum	16 numaralı duvar	17 numaralı duvar	18 numaralı duvar	19 numaralı duvar
Nem %	47,8	55,1	40,7	47,3



Şekil 4.80 Hiz. Süleyman (Kale) Cami abdest alma bölümündeki duvarlarındaki bazalt taşların nem grafiğı

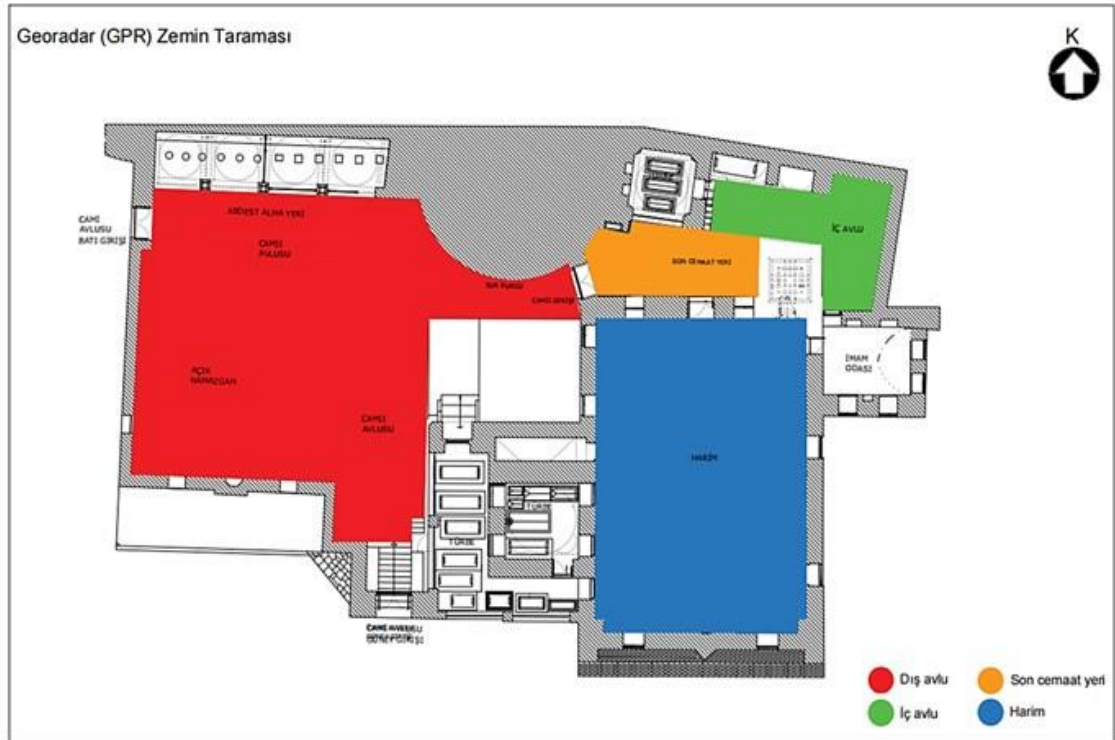
Abdest alma bölümündeki duvarlardan alınan ölçümlerde farklı değeri elde edilmiştir. En yüksek değeri 18 numaralı duvarda, en düşük değeri ise 19 numaralı duvarda ölçülmüştür. Çeşmelerden devamlı akan suyun yarattığı nem etkisi değeri yansımıştır. Ölçümlerin farklı olması ölçüm anında duvarların ıslanma durumunun aynı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Harim duvarlarındaki nem ölçüm sonuçları abdest alma yerindeki duvarların sonuçlarından daha büyük değeri tespit edilmiştir. Bu durum; iç ve dış mekan ayrımının, nemin yüzeye nüzfuz etme oranı üzerinde etkili olduğu sonucunu desteklemektedir.

4.5.6 Georadar (GPR) taraması ve deney değerlendirmeleri

Yer altı radarı (Georadar) yüzeye yakın araştırmalarda yüksek frekanslı elektromanyetik prensip ile çalışmaktadır (Evren vd., 2012). Elektromanyetik alan yaratılarak yer altının araştırılmasını sağlamaktadır (Annan, 2003). Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zeminin alt katmanlarını araştırmak ve duvar gibi taşıyıcı elemanlardaki boşluklu yapıyı belirleyebilmek için Georadar (GPR) yöntemi kullanılmıştır. Hz. Süleyman (Kale) Cami’de iki farklı Georadar (GPR) cihazı kullanılarak tarama yapılmıştır.

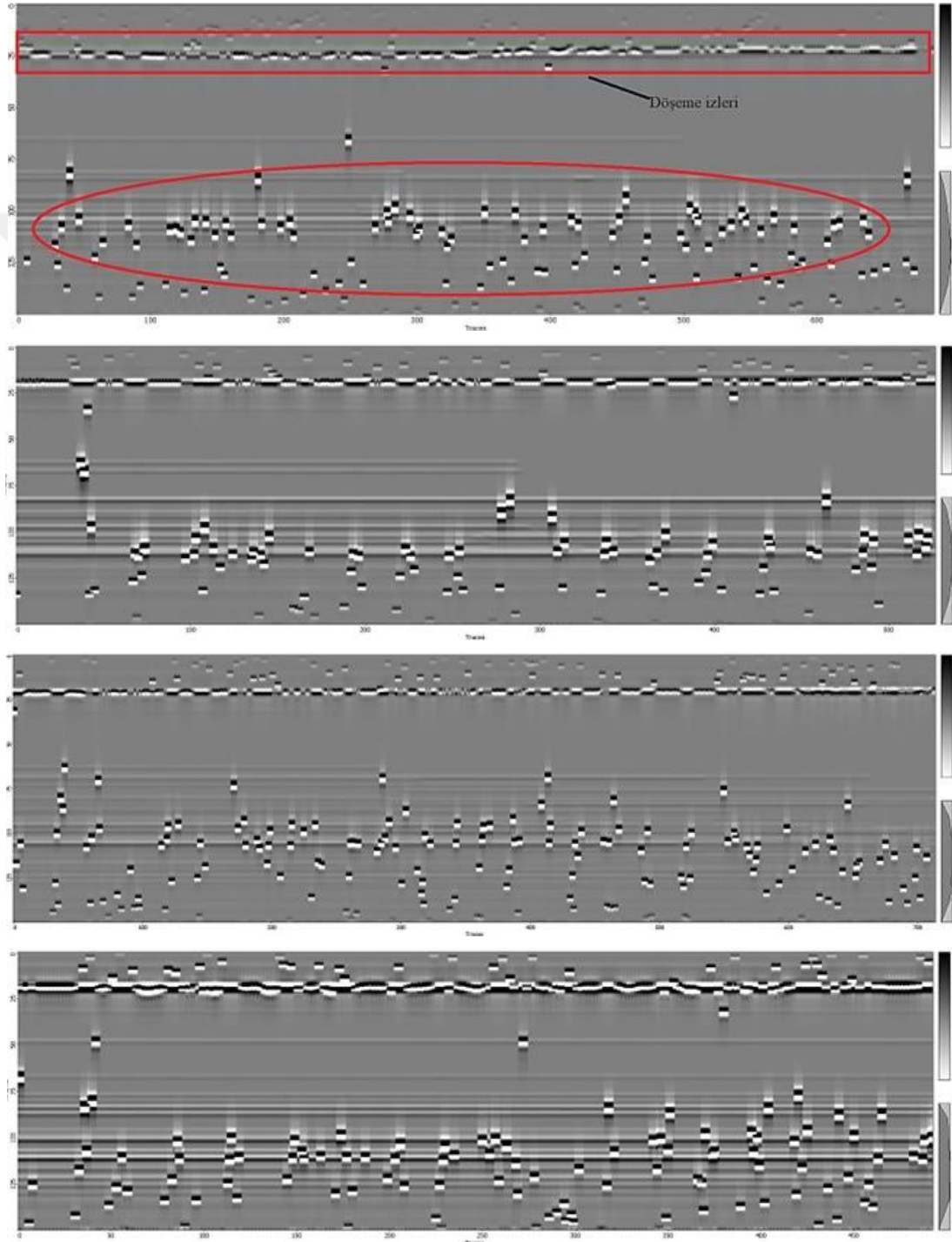
Zeminde yapılan Georadar (GPR) taraması

Zemin taraması ile yer altının görüntülenmesi sağlanmıştır. Zemin araştırması yapılan alanlar planda belirtilmiştir (Şekil 4.81 ve Şekil 4.82). Araştırma (penetrasyon) derinliği 15 metre olarak belirlenmiştir. 300 Mhz güçte dipol anten kullanılmıştır. Elde edilen veriler PRİSM 2,5 versiyonlu filtreleme programında geçirilerek radargramlar elde edilmiştir. Georadar (GPR) cihazıyla dış ve iç avluda, son cemaat yerinde ve harimde görüntüleme yapılmıştır.



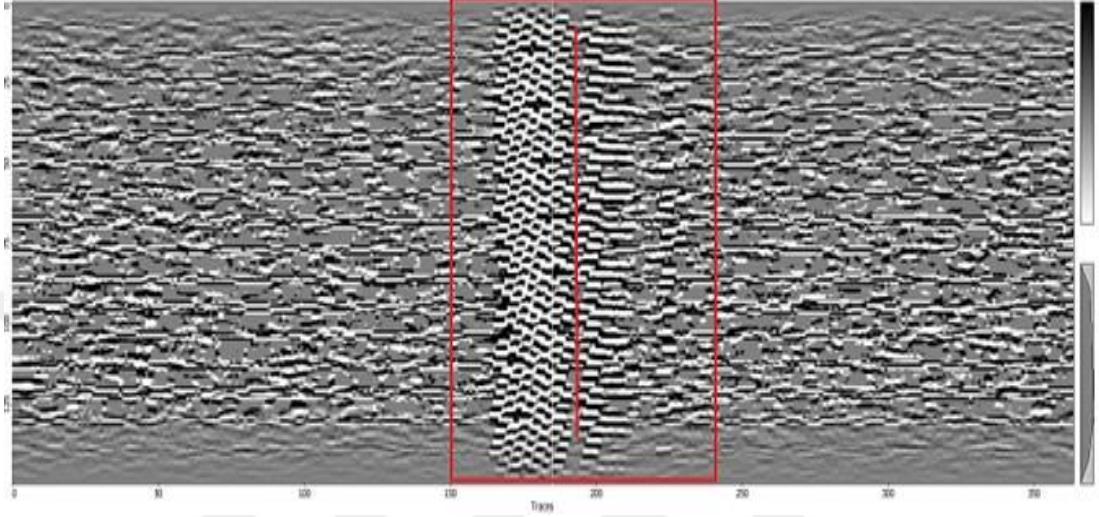
Şekil 4.81 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de zeminde Georadar (GPR) taramasının yapıldığı alanlar

Hiz. Süleyman (Kale) Cami'nin dış avlusuna ait radargramların dördünde benzer bulgular tespit edilmiştir. Avlu döşemesinin yaklaşık olarak 1.5 metre penetrasyon derinliğinde ikinci bir döşeme ve yaklaşık 7 metre altında ise dolgu malzemesi ve dolgunun içerisinde serpinti halinde taşlar olduğu tespit edilmiştir. Radargramlarda farklı şekilde yayılım gösteren serpinti halindeki taşların döşeme taşına benzer büyüklükte olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.84).



Şekil 4.84 Hiz. Süleyman (Kale) Cami’de dış avluda yapılan Georadar (GPR) taramasının radargram kesitleri

Hız. Süleyman (Kale) Cami'nin son cemaat yerinin giriş kapısından başlayarak yapılan dış avlu taramasına ait radargram kesitinde yaklaşık 170-230 traces aralığında yan yana iki kuyunun olabileceği bir anomali tespit edilmiştir (Şekil 4.85). Anomalinin oluşum nedeninin kesinleştirilmesi amacıyla bölgede daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.85 Hız. Süleyman (Kale) Cami'de dış avluda yapılan Georadar (GPR) taramasının anomali tespit edilen radargram kesiti

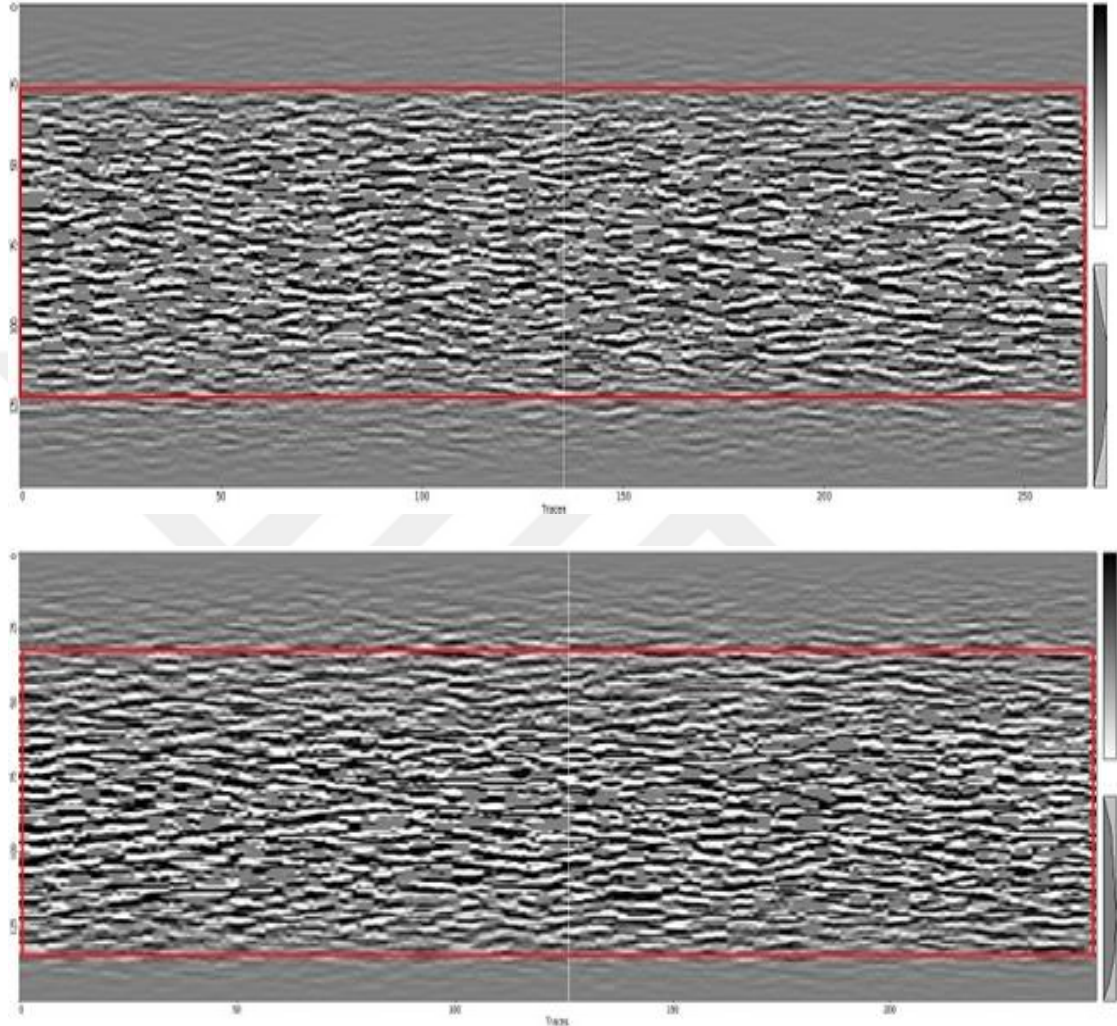
Hız. Süleyman (Kale) Cami'nin son cemaat yerinde Georadar (GPR) cihazı ile görüntüleme yapılmıştır (Şekil 4.86).



Şekil 4.86 Hız. Süleyman (Kale) Cami'de son cemaat yerinde yapılan Georadar (GPR) taraması (2024)

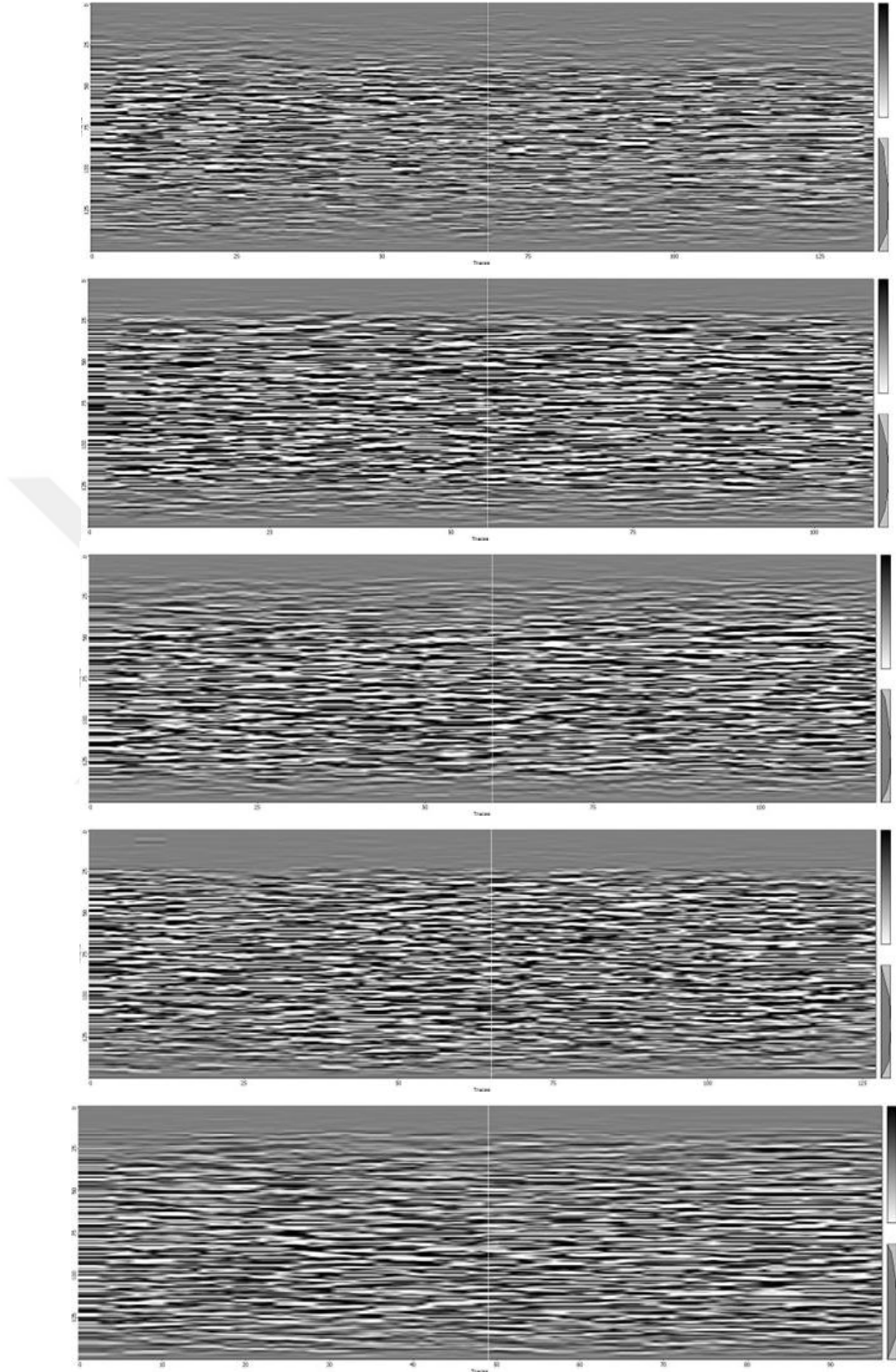
Zemin taramaları ile 7 adet radargram elde edilmiştir. Caminin son cemaat yerinden elde edilen radargramlar karşılaştırıldığında 2 adet radargramda zemin altındaki toprağın daha ıslak olduğu ve su içerdiği tespit edilmiştir. Yaklaşık olarak zeminin 2.5

metre sonrasında tespit edilmiştir. Cami girişinde bulunan ve günümüzde işlevsiz kalan çeşmenin varlığının neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.87). Yoğun su içeriğine sahip yer yapısının belirlenmesi cami genelinde görülen nem sorununa işaret etmektedir.



Şekil 4.87 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de son cemaat yerinde yapılan Georadar (GPR) taramasında yoğun su içeriği tespit edilen radargram kesitleri

Caminin son cemaat yerinden elde edilen diğer 5 radargramda ise herhangi bir anomali tespit edilmemiş olup toprak dokusunda yoğun su içeriği görüntülenmemiştir. Radargramlarda benzer özelliğe sahip zemin altı görüntülemesi elde edilmiştir (Şekil 4.88).

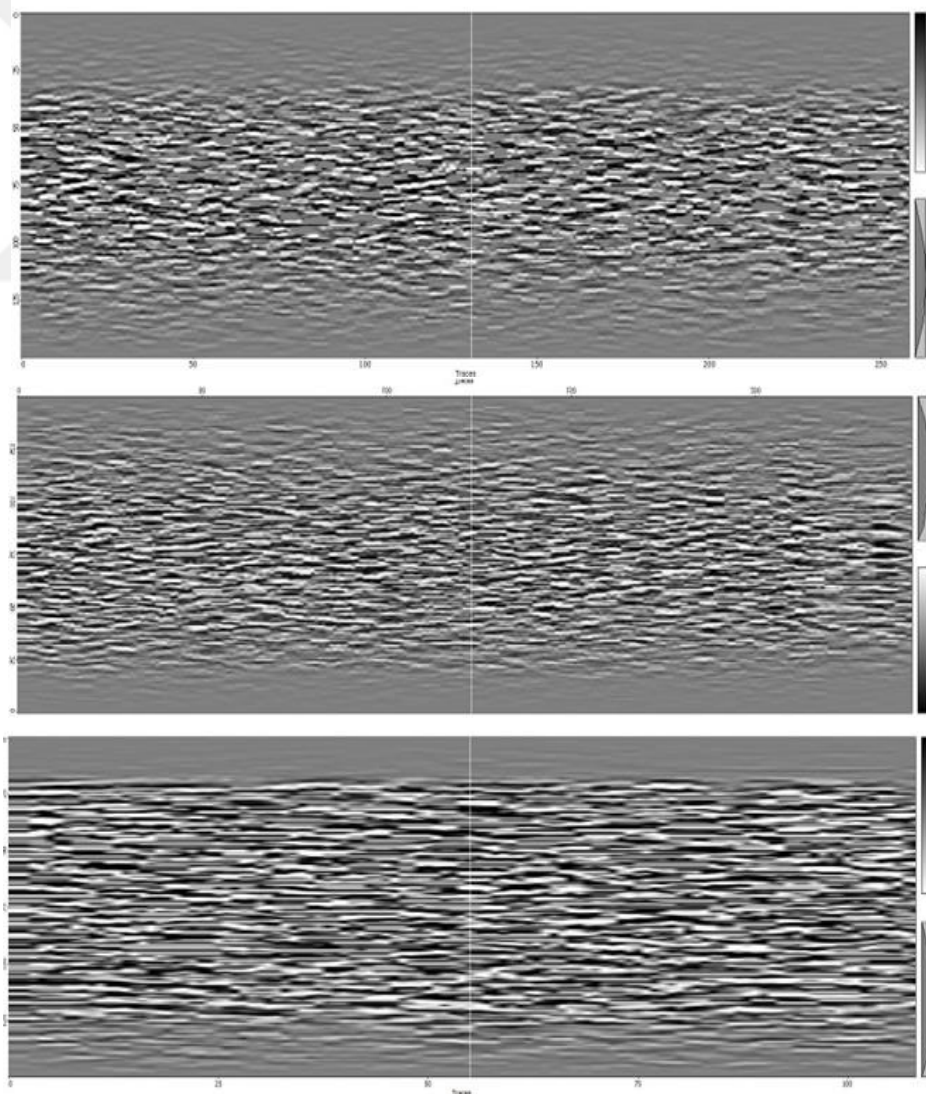


Şekil 4.88 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de son cemaat yerinde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri

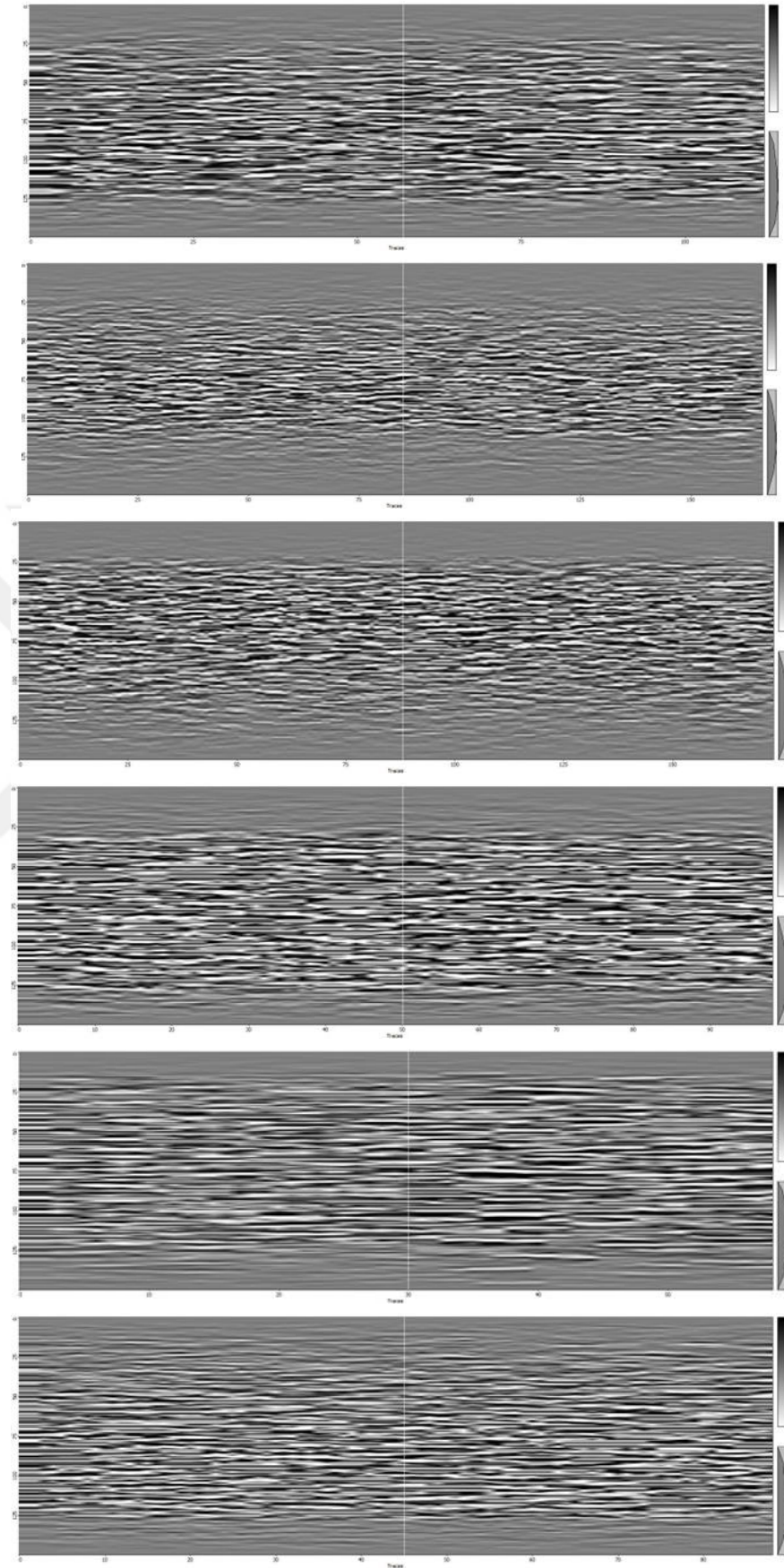
Hız. Süleyman (Kale) Cami'nin son cemaat yerinden geçilerek erişilen iç avluda Georadar (GPR) cihazı ile görüntüleme yapılmıştır (Şekil 4.88). Zemin taramaları ile 9 adet radargram elde edilmiştir. Zeminin alt yapısının içeriğinde genellikle benzer özelliğe sahip dolgular gözlemlenmiştir (Şekil 4.89 ve Şekil 4.90).



Şekil 4.89 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması (2024)

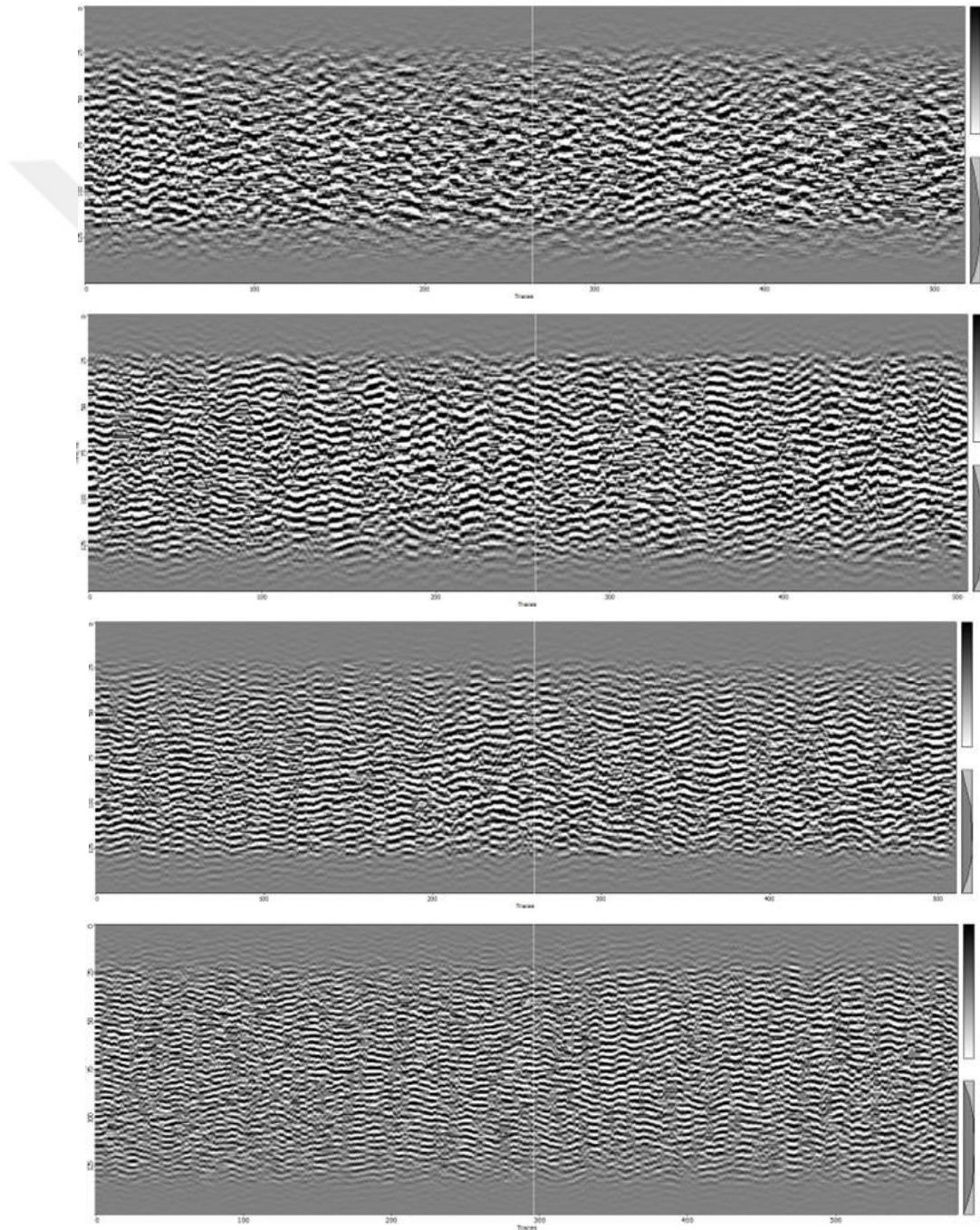


Şekil 4.90 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-1

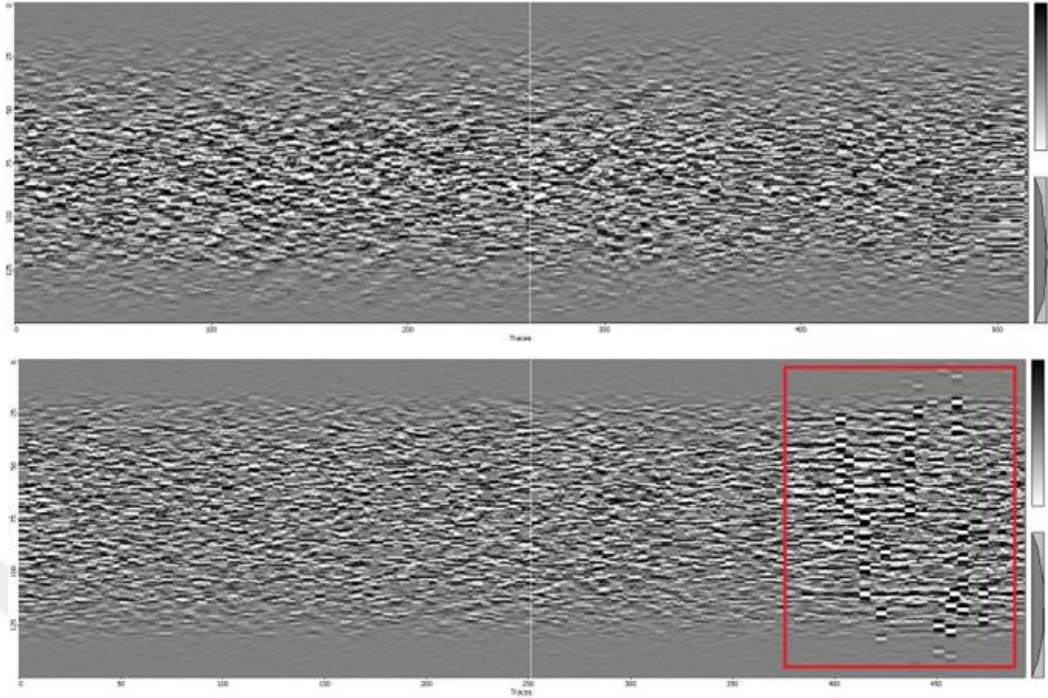


Şekil 4.91 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-2

H. Süleyman (Kale) Cami'nin harim bölümünde Georadar (GPR) cihazı ile görüntüleme yapılmıştır. Zemin taramaları ile 15 adet radargram elde edilmiştir. Sütunların yer aldığı girişten mihrap duvarına doğru yapılan taramalardan 6 adet radargram elde edilmiştir. Radargramlar karşılaştırıldığında 2 kesitin dolgu malzemesinin nitelik olarak değiştiği tespit edilirken diğer kesitlerin benzer özellikte olduğu görülmüştür (Şekil 4.92). Farklı olan radargramların ikincisinde farklı iki dolgu tespit edilmiştir (Şekil 4.93).



Şekil 4.92 H. Süleyman (Kale) Cami'nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-1



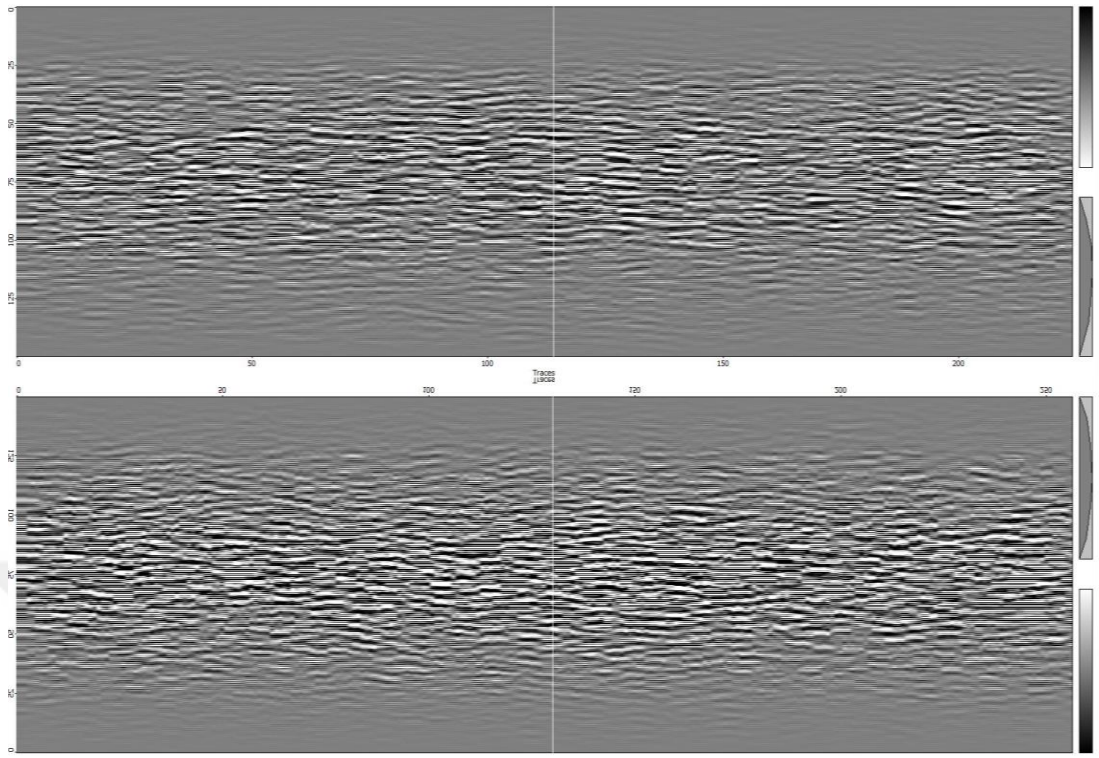
Şekil 4.93 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-2

Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin harim bölümünde doğudan batı yönüne doğru yapılan taramalardan 9 adet radargram elde edilmiştir (Şekil 4.94).

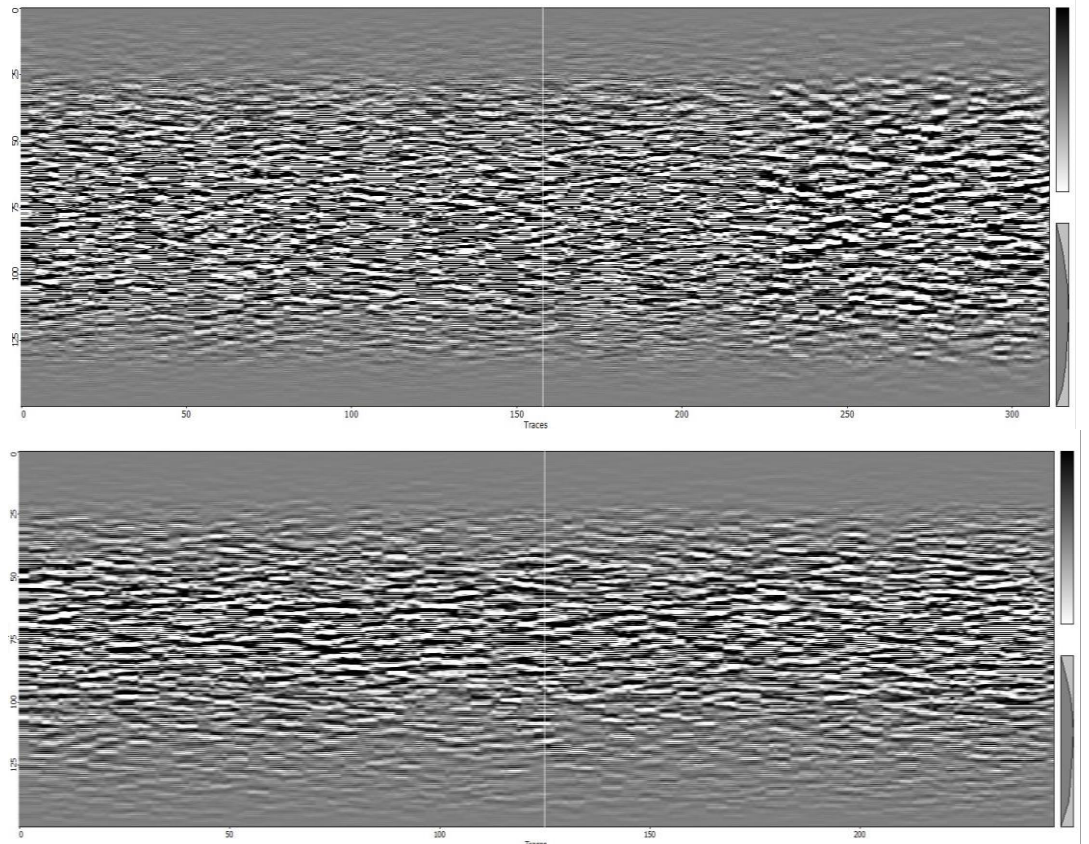


Şekil 4.94 Hz. Süleyman (Kale) Cami'de iç avluda yapılan Georadar (GPR) taraması (2024)

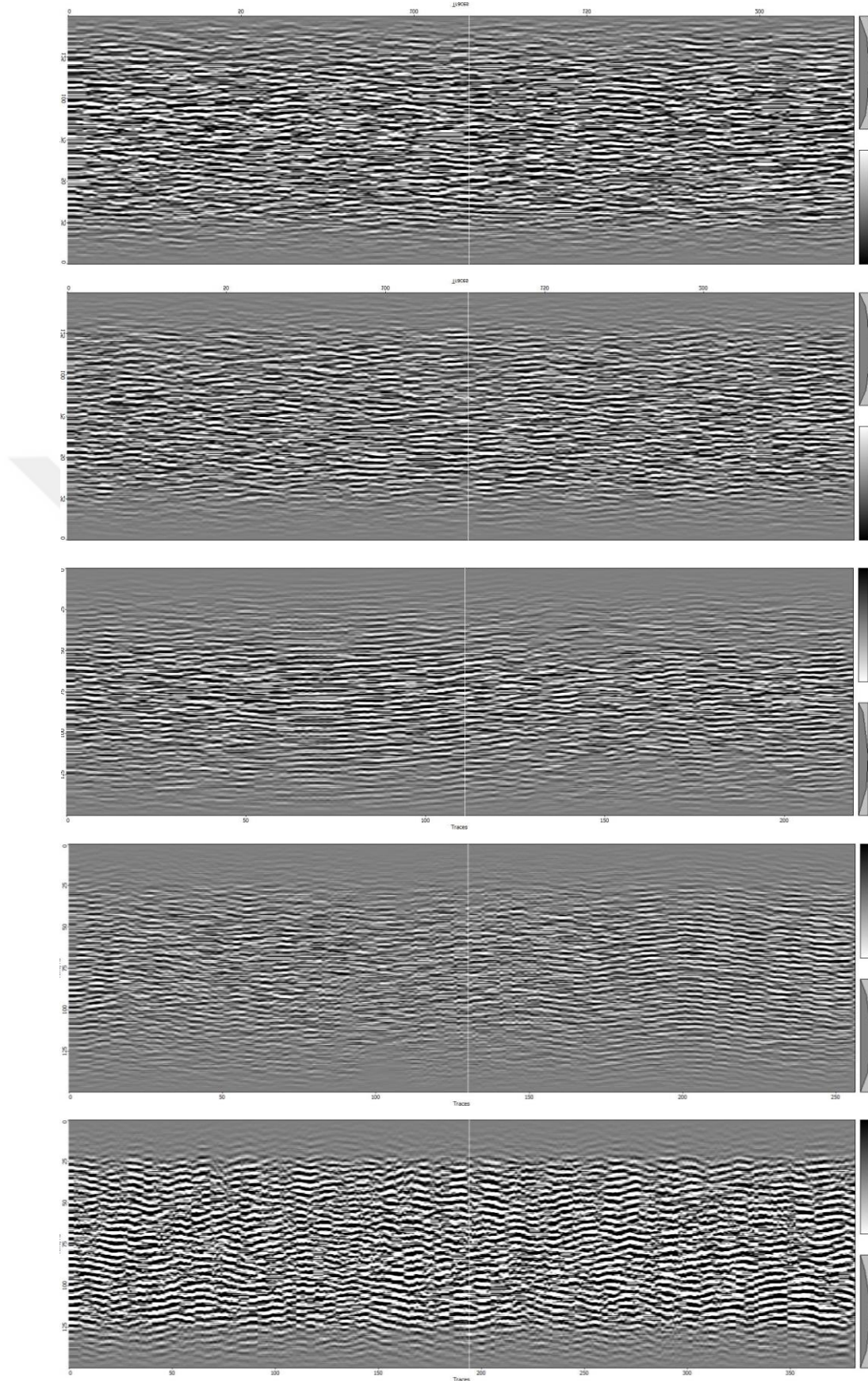
Radargramlar karşılaştırıldığında 2 kesitin dolgu malzemesinin nitelik olarak değiştiği tespit edilirken (Şekil 4.95) diğer kesitlerin benzer özellikte olduğu görülmüştür (Şekil 4.96 ve Şekil 4.97).



Şekil 4.95 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-3



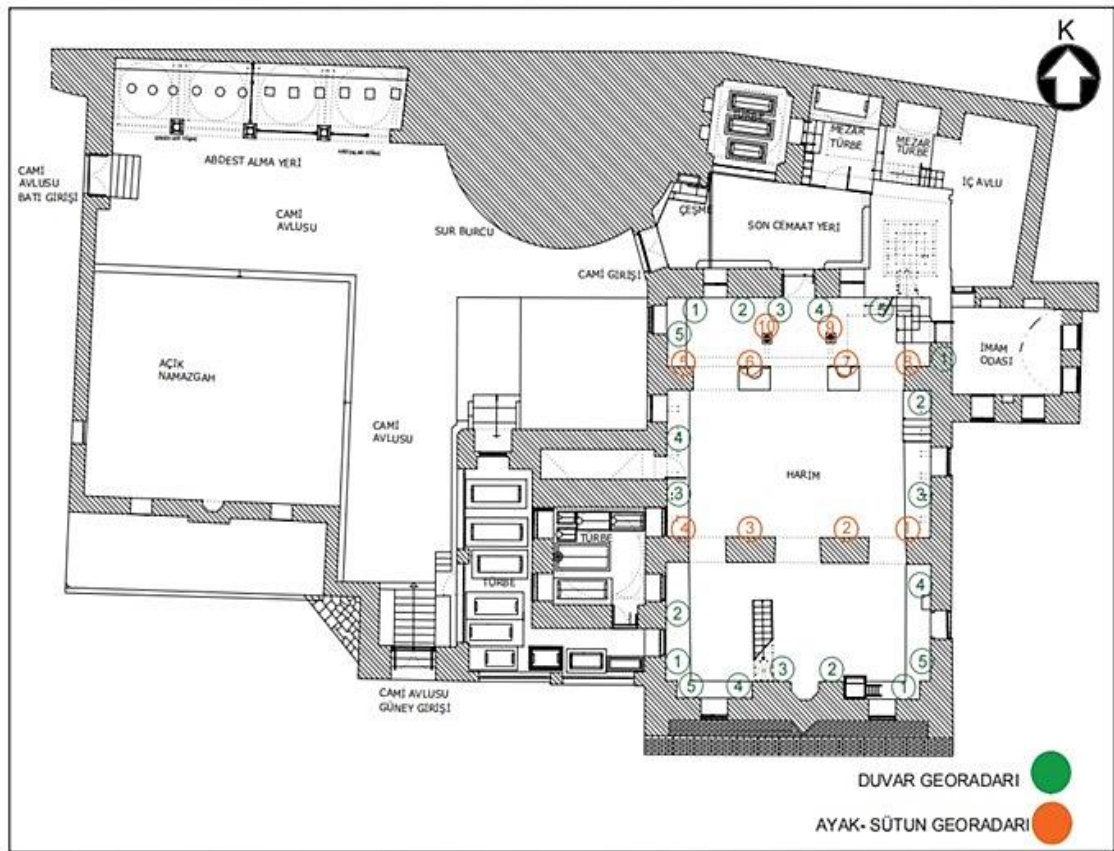
Şekil 4.96 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-4



Şekil 4.97 Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin harim bölümünde yapılan Georadar (GPR) taraması radargram kesitleri-5

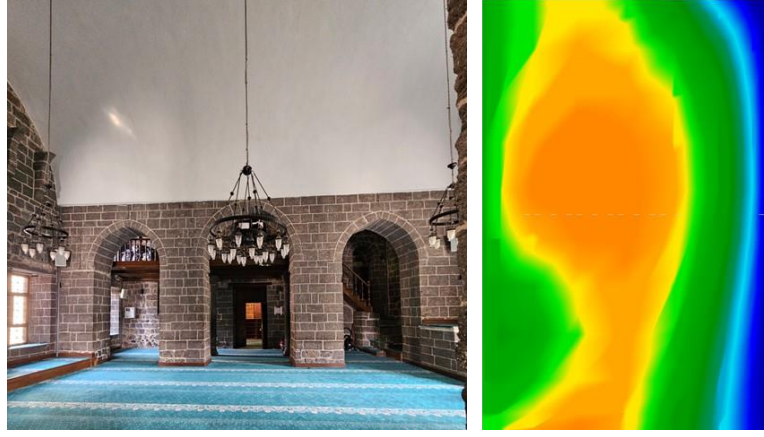
Duvarlarda yapılan Georadar (GPR) taraması

Hız. Süleyman (Kale) Camii'nde harim bölümündeki duvarlarda Georadar (GPR) taraması uzman jeofizik mühendisleri tarafından yapılmıştır. Duvarlarda saat yönünün tersinde ilerlenerek tarama yapılmıştır. Yapılan okumalar birleştirilerek 4 yöne ait görüntüler elde edilmiştir. Harim bölümündeki taşıyıcı 8 adet ayak ve 2 adet sütunda toplam 10 adet tarama yapılmış ve tek bir görüntü oluşturması için birleştirilmiştir. Yapı elemanlarındaki boşlukların varlığı ve durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan taramalar kat planında işaretlenmiştir (Şekil 4.98).



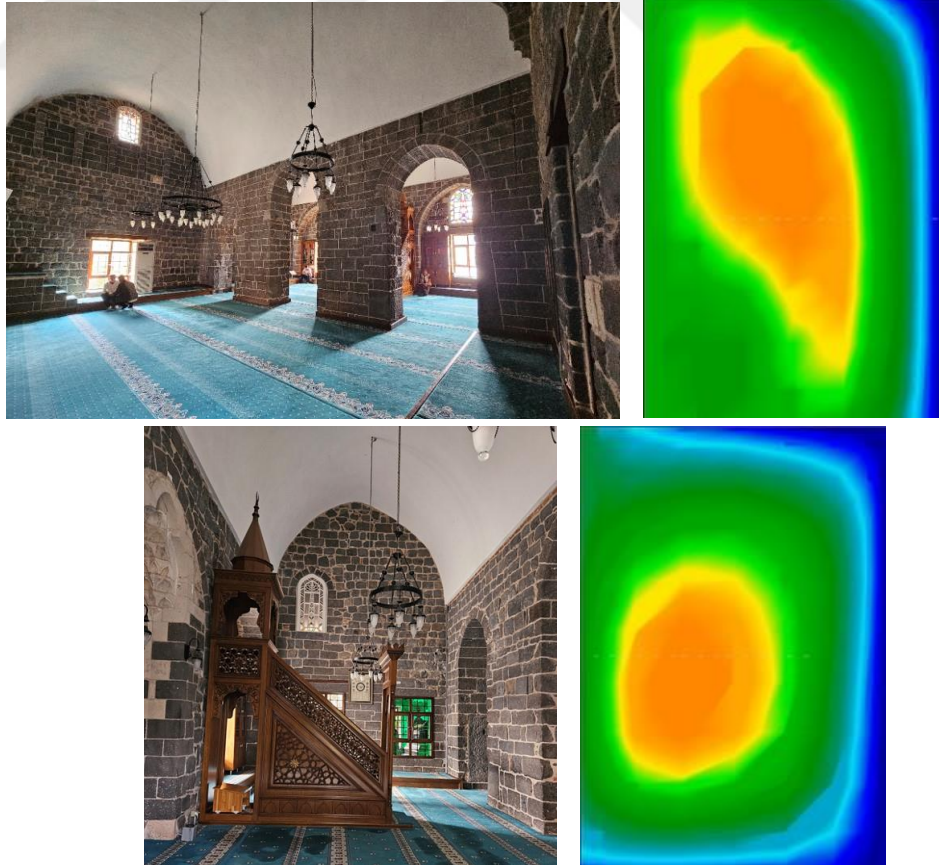
Şekil 4.98 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünde duvarda, ayaklarda ve sütunlarda yapılan Georadar (GPR) taramasının yapıldığı yerler

Harim giriş kapısının yer aldığı kuzey yönündeki duvarda 5 adet tarama yapılmıştır ve yan yana getirilerek görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.99). Elde edilen görüntüde dalganın yayılımını temsil eden renk spektrumuna bakıldığında renklerin düzgün yansıyarak dağılım gösterdiği görülmektedir. Mavi rengin temsil ettiği alan boşluğu göstermektedir ve duvardaki pencereler nedeniyle görüntüde mavi tonlama oluşmuştur. Duvar yüzeyinde boşluk saptanmamıştır.



Şekil 4.99 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünün kuzey yönündeki giriş duvarı (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüsü

Doğu yönündeki duvarda ve mihrabın yer aldığı güney duvarında beşer adet tarama yapılmıştır ve yan yana getirilerek görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.100). Her iki duvara ait görüntüde renklerin düzgün yansıyarak dağılım gösterdiği görülmektedir. Her iki duvarın benzer iç yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Boşluğu temsil eden mavi kısımlar, mihrabın yer aldığı kısmın duvar kalınlığının azalmasından ve her iki duvarda pencere açıklığının bulunmasından kaynaklanmaktadır.



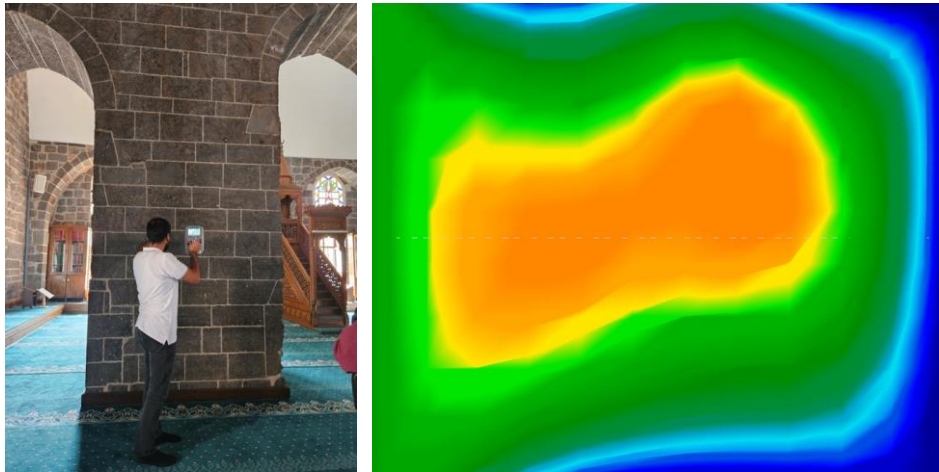
Şekil 4.100 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünün doğu ve güney yöndeki duvarları (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüleri

Harimin türbeye bitişik olan batı yönündeki duvarda 5 adet tarama yapılmıştır ve yan yana getirilerek görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.101). Elde edilen görüntüde renklerin düzgün yansiyarak dağılım gösterdiği görülmektedir. Renklerdeki kubbe oluşumunun birden fazla olması boşluk düzeyi hakkında bilgi vermemektedir. Diğer görüntülerdeki gibi bu radar görüntüsünde de pencere boşluklarından kaynaklı boşluğu ifade eden mavi ışımalar yansımıştır.



Şekil 4.101 Hz. Süleyman (Kale) Cami harim bölümünün batı yönündeki duvarı (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüsü

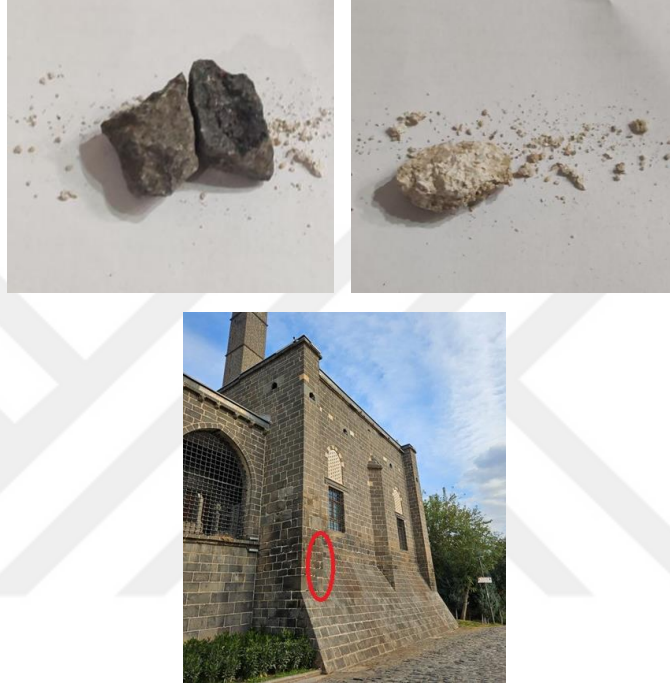
Harimde yer alan 8 adet taşıyıcı ayakta 2 adet sütunda tarama ve yan yana getirilerek görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.102). Elde edilen görüntüde renklerin düzgün yansiyarak dağılım gösterdiği görülmektedir. Ancak farklı taşıyıcı elemanların birleştirilmesi sonucu tek bir görüntünün elde edilmesi sorunların belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Boşluğu ifade eden mavi ışımalar görüntüde yer almaktadır.



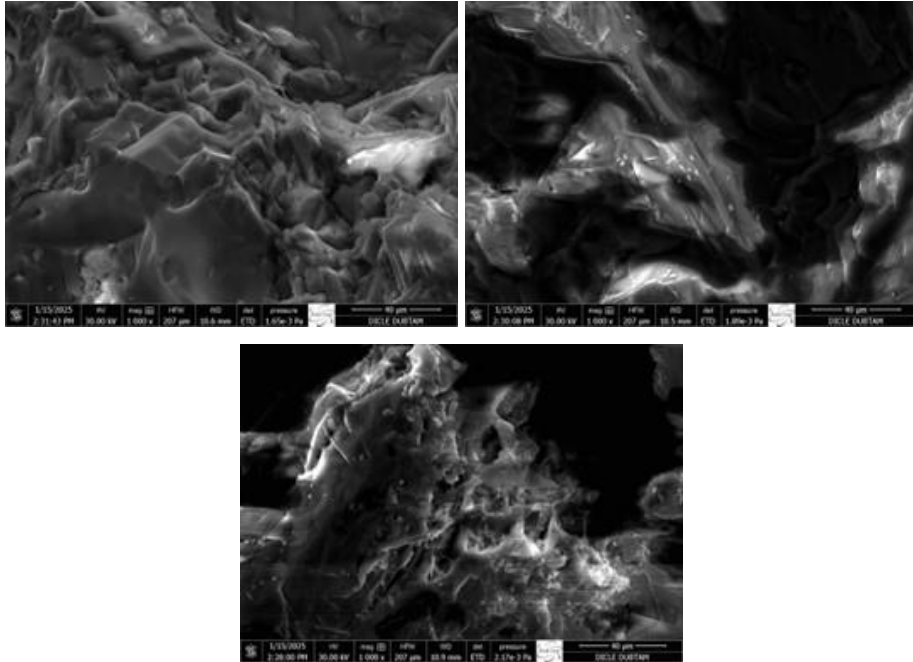
Şekil 4.102 Hz. Süleyman (Kale) Cami harimdeki taşıyıcı ayak (2024) ile Georadar (GPR) tarama görüntüsü

4.5.7 SEM/EDS analizi ve deney değerlendirmeleri

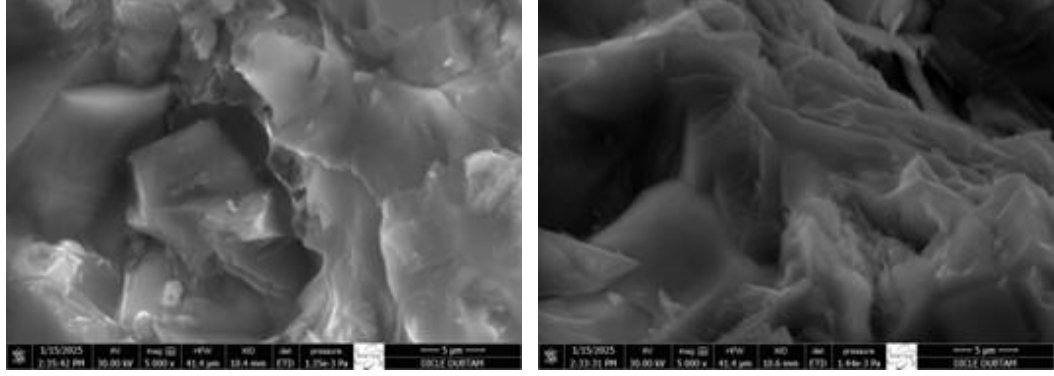
SEM/EDS analizi Diyarbakır Dicle Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DÜBTAM) laboratuvar ortamında yapılmıştır. Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin güney cephesindeki payanda duvarındaki hasarlı taştan küçük parça halindeki bazalt taşı ve harç numunesi kullanılmıştır (Şekil 4.103). Mikroskop ile bazalt taşında 1000x-5000x görüntüler alınmıştır (Şekil 4.104 ve Şekil 4.105).



Şekil 4.103 Hz. Süleyman (Kale) Cami'den alınan bazalt taşı ve harç numunesi ile alındığı yer (2024)

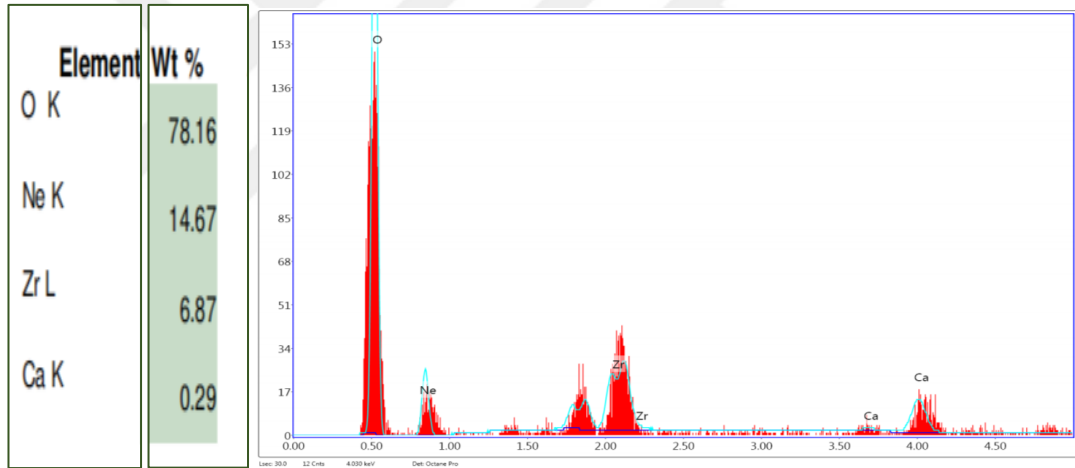


Şekil 4.104 Hz. Süleyman (Kale) Cami'den alınan bazalt numunesine ait 1000x SEM görüntüleri



Şekil 4.105 Hz. Süleyman (Kale) Cami’den alınan bazalt numunesine ait 5000x SEM görüntüleri

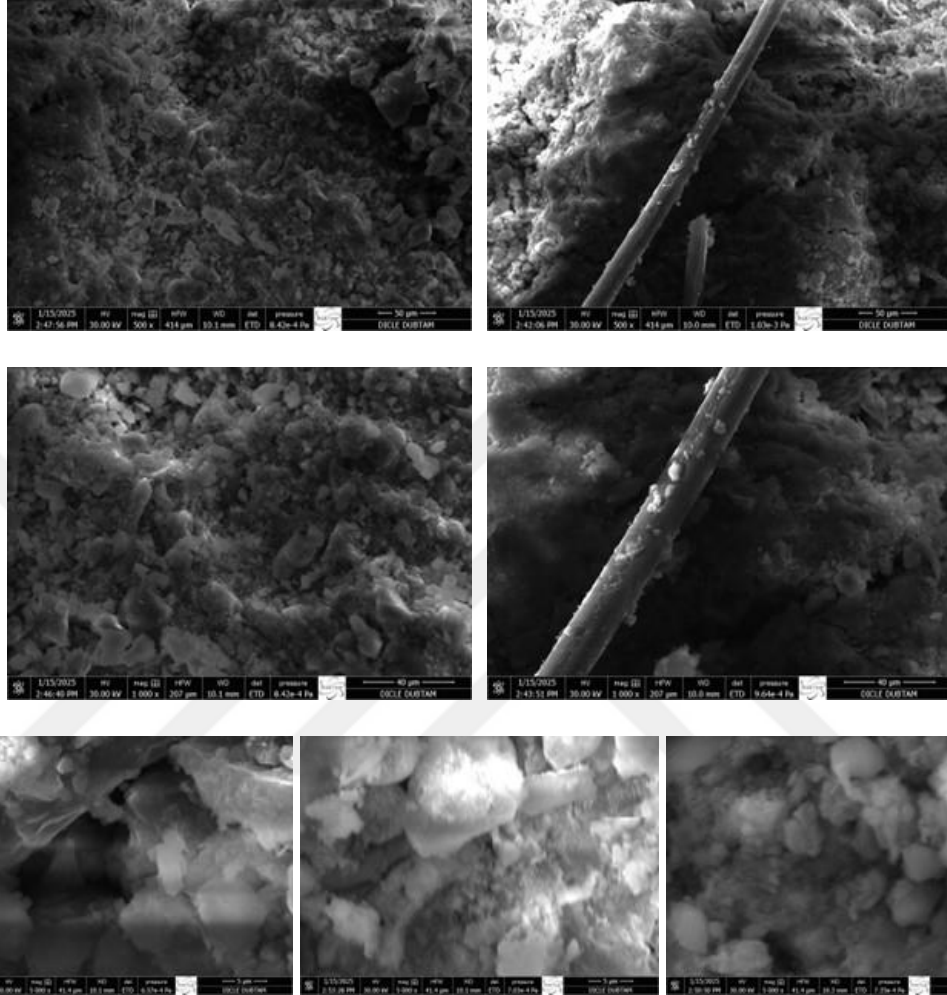
Bazalt taşı numunesine ait SEM/EDS görüntülemesi sonucunda numunenin içeriği belirlenmiştir. Taş numunesinde oksijen (O), kalsiyum (Ca), neon (Ne) ve zirkonyum (Zr) ve elementleri bulunmaktadır. Elementlerin numune içeriğinde bulunma oranı oksijen (O) %78,16; neon (Ne) %14,67; zirkonyum (Zr) %6,87 ve kalsiyum (Ca) %0.29 şeklinde ölçülmüştür (Şekil 4.106).



Şekil 4.106 Hz. Süleyman (Kale) Cami bazalt numunesine ait element oranları ve EDS grafiği

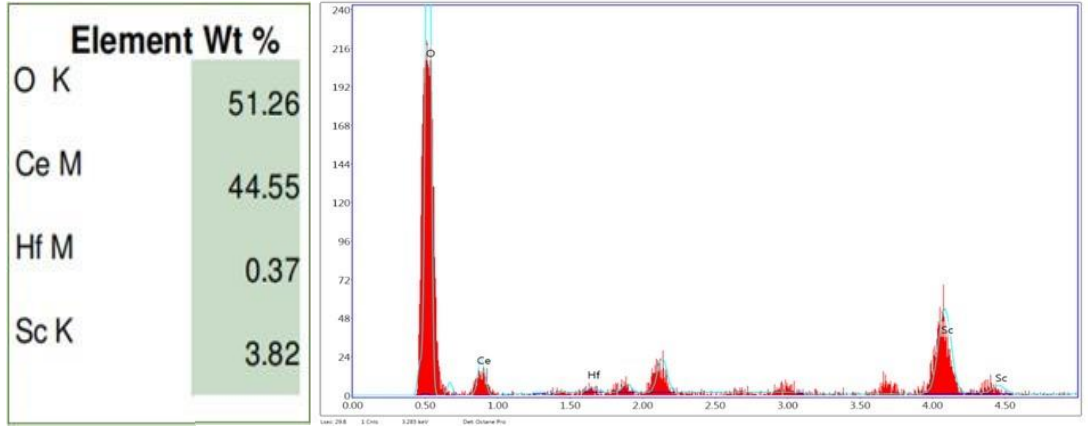
Bazalt taşı numunesinde en yüksek oranda oksijen bulunurken en kalsiyum oranı en düşük olarak belirlenmiştir. Zirkonyum (Zr) bazalt taşının kimyasal içeriğinde bulunan başlıca elementlerden olmamakla beraber eser miktarda bazalt taşında bulunabilmektedir (Geologyscience, 2024). Zirkonyum genellikle granit, siyenit gibi taşlarda bulunmaktadır (Şahin Kılavuz ve Şen, 2021). Tespit edilen neon (Ne) gazının taş numunesi ile ilişkisi olduğu düşünülmemektedir. Numunenin analizi sırasında ortam koşullarından dolayı analizde ortaya çıktığına ihtimal verilmektedir. SEM analizlerinde gazların iyonlaştırma özelliği kullanılarak görüntüleme yapıldığından mikroskopta iz miktarda neon gazı kalıntısı olabilmektedir. Ayrıca numunenin alındığı yüzeyde farklı nedenlerle neon kalıntısı olabilmesi de ihtimaldir.

Hız. Süleyman (Kale) Cami'nin güney cephesindeki payanda duvarındaki küçük parça halindeki alınan harç numunesinde 500x-1000x-5000x SEM görüntülemesi yapılmıştır (Şekil 4.107). İçeriklere ait SEM/EDS grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 4.107 Hız. Süleyman (Kale) Cami'den alınan harç numunesine ait sırasıyla 500x-1000x-5000x SEM görüntüleri

Harç numunesine ait SEM/EDS görüntülemesi sonucunda numunenin içeriği belirlenmiştir. Harç numunesinde oksijen (O), skandiyum (Sc), seryum (Ce) ve hafniyum (Hf) elementleri bulunmaktadır. Elementlerin numune içeriğinde bulunma oranı oksijen (O) %51,26; seryum (Ce) %44,55; skandiyum (Sc) %3,82 ve hafniyum (Hf) %0,37 şeklinde ölçülmüştür (Şekil 4.108).



Şekil 4.108 Hz. Süleyman (Kale) Cami’den alınan harç numunesine ait element oranları ve EDS grafiği

Seryum, skandiyum ve hafniyum elementleri eser miktarda bulunabilmektedir ve iz elementler olarak anılmaktadır. Bu elementlerin bulunduğu analizler literatürde yer almaktadır (Koç, 2015), (Özata, 2015). Zirkon mineralleri hafniyum içermektedir (Şahin Kılavuz ve Şen, 2021) ve bazalt taşı numunesinin iç yapısında da hafniyum tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

İnsanlığın meydana getirdiği üretim ve birikimlerin birlikteliğinden meydana gelen kültürel miras kavramının bugüne ve yarına en önemli aktarıcısı tarihi yapılar olmaktadır. Aynı zamanda kültürel mirasın birer unsuru olan tarihi yapılar, yer aldıkları tarihi çevrede barınma gereksinimiyle doğarak günümüze farklı ihtiyaçlar doğrultusunda şekillenerek ulaşmıştır.

Çevreden kolayca elde edilen taş, ahşap gibi malzemelerin kullanılması ile yapılar meydana getirilmiştir. İlk yapı malzemesi olarak sayılan doğal taşlar, tarihi yapılarda gücün ve dayanıklılığın sembolü olarak kullanılmıştır. Mimari strüktürün ilk örnekleri olarak kabul edilen ilk yapılarda zamanla ilkel yöntemlerle elde edilen kerpiç tuğla gibi malzemeler kullanılmıştır.

İnsanlığın mimari bilgisinin artması sonucunda yapı malzemelerinin farklılaşması ve taşıyıcı sistemlerin gelişmesiyle beraber anıt veya kültür varlığı olarak tanımlanan yapılar meydana getirdikleri tarihi kentlerde günümüze ulaşmayı başarmıştır. Tarihi yapıların korunması anıt veya kültür varlığı olarak sayılmaları ile başlamıştır.

Korumanın ilk adımı yapıların tespiti ve tescillerinin sağlanması sayılmaktadır. Tarihi yapılar bulundukları çevreden bağımsız düşünülmemelidir. Tarihi dokunun yaşatılması bütüncül koruma kavramıyla mümkün olmaktadır. Sürdürülebilir bir koruma anlayışına sahip olan yapılar fiziki durumlarını müdahalelerden koruyabilmişlerdir.

Müdahaleye ihtiyaç duyan tarihi yapıların durumları tespit edilmeli ve mevcut sorunların nedenlerinin ve oluşum şekillerinin saptanması gerekmektedir. Tarihi yapılarda yapısal sorunlar ve hasarlar dış ortamın ve insanların müdahaleleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yapıların fiziki ömrünün uzunluğu yapının ve bileşenlerinin hasardan etkilenme düzeyine bağlıdır. Yapısal sorunlar ve hasarlar; yapının dayanımının azalmasına, malzeme özelliklerinin değişmesine neden olan fiziksel, kimyasal veya biyolojik bozulmalardan oluşan bir süreçtir. Günümüzde hasar analizinde ve müdahale kararlarının alınmasında birçok yöntem uygulanmaktadır.

Zeminin mukavemetinin yeterli olmaması veya zemin tabakasının homojen dağılım göstermemesi tarihi yapılarda zemin yapısından kaynaklanan sorunları meydana getirmektedir. Zeminden kaynaklı olarak meydana gelen oturma hasarları yapıda hareket meydana getirmektedir. Harekete maruz kalan yapıda; ezilme, çökme, çatlak oluşumu, yapı elemanlarında dönme, yer değiştirme veya devrilme gibi hasarlar gelişebilir

Deprem başta olmak üzere çeşitli doğal afetler anıtsal yapılar için önemli sorunlar meydana getirmektedir. Deprem sonucu yapılar yıkılmakta veya meydana gelen çatlaklar yapı için yüksek risk teşkil etmektedir.

Doğanın yıpratıcı etkisi tarihi yapılarda kullanılan elemanlarda ve malzemede uzun yıllar etkisini sürdürerek yapıların hasar almasına neden olmaktadır. Güneş ışığı, hava olayları, su ve rüzgar gibi iklime bağlı olarak değişen etmenler başlıca doğa koşullarındandır. Tarihi yapılarda nemin etkisi tüm yapı elemanlarında ve malzemelerde sorunlar meydana getirmekte ve önlem alınmadığı durumlarda ciddi kayıplara neden olmaktadır.

Özgün haline aykırı olacak şekilde yapılan müdahaleler, işlev değişikliği, niteliksiz eklemeler, tasarım hataları, plansız ve yetersiz uygulama ve teknikler, yapının terk edilmesi, yangın ve hava kirliliği tarihi yapıların inşa sürecinde ve sonrasında devam edebilecek sorunlar meydana getirmektedir.

Yapıların fiziki ömrünün uzunluğu yapının ve bileşenlerinin hasardan etkilenme düzeyine bağlıdır. Yapısal sorunlar ve hasarlar; yapının dayanımının azalmasına, malzeme özelliklerinin değişmesine neden olan fiziksel, kimyasal veya biyolojik bozulmalardan oluşan bir süreçtir. Sorunların belirlenmesi yapıların geleceğe aktarılması konusunda önemli bir adım olmaktadır. Günümüzde hasar analizinde ve müdahale kararlarının alınmasında birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemler yerinde veya laboratuvarında yapılan tahribatlı, yarı tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri olarak ayrılmaktadır.

Tarihi yapının veya yapı malzemesinin kullanılabilmesi için gerekli olan özelliklerinde tahribat oluşturmada; yani yapısını, işlevini ve fonksiyonunu bozmadan; malzemenin yapısı, özellikleri ve yapının mevcut hasar düzeyi hakkında bilgi edinilmesini amacıyla tahribatsız test yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Tahribatsız yöntemlerde test edilen malzeme işlevini devam ettirebilmektedir ve malzemenin test süresince zarar görmeden değerlendirilmesi ve incelenmesi sürecini ifade etmektedir. Tahribatsız yöntemler görsel analiz, sıvı penetrant yöntemi, girdap akımları yöntemi, manyetik, ultrasonik ve radyografik yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır.

Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesinde ve hasar analizlerinde tahribatsız yöntemlerden faydalanılmaktadır. Yapıda tahribat bırakmadan aletsel ölçümlerin gerçekleştirilmesini sağlayan birçok test yöntemi ve deney bulunmaktadır. Schmidt çekici ile sertlik ölçümü, aletsel ölçümlerle yüzey sıcaklığının, neminin ve düzgünlüğünün belirlenmesi, ultrases geçiş hızı testi ve diğer ultrasonik yöntemler, kızılötesi görüntülemeyi sağlayan termografi aletleri, taşınabilir mikroskoplar, Georadar (GPR) cihazları ile yer altında ve üstünde yapılan görüntülemeler tarihi yapılarda uygulanmış olan başlıca tahribatsız yöntemler ve testlerdir.

Uygulanılan nesnede, malzemede veya yapıda tahribata (hasara) neden olmaması, tekrar ve art arda uygulanabilir olması, hazırlık aşamasının genellikle bulunmaması, deneylerin genellikle taşınabilir ve portatif ekipmanlar yapılması ve yüzey geometrisinden etkilenmeyen birçok deneye sahip olması tahribatsız testlerin üstün özellikleri arasında yer almaktadır.

Diyarbakır'ın merkez Sur ilçesinde yer alan ve Suriçi Bölgesi olarak adlandırılan bölüm; UNESCO kültürel mirasları arasına girebilmiş tarihi surlarla çevrili ve Hevsel Bahçelerine ev sahipliği yapan, tarihi ve geleneksel yapıların bulunduğu düz bir arazide yer alır. Diyarbakır'ın ilk yerleşim yeri olan İç Kale'nin de yer aldığı Suriçi Bölgesi, tarihin her döneminde önemli bir siyasal ve kültürel merkez olmayı başarmıştır.

Suriçi Bölgesi farklı dönemlerde birçok devletin yönetimi altına girmesine rağmen her devlet kendi kültürünü geçmiş kültürler ile birleştirip kaynaştırarak daha zengin ve

daha katmanlı bir kültür ortaya çıkmıştır. 638’de Arap egemenliğine giren Diyarbakır, İslam kültürünü ve mimarisini temsil eden önemli kentlerden biri olmuştur. Hz. Süleyman (Kale) Cami ise farklı dönemlerde yapılan ilaveler ile günümüzdeki haline ulaşmıştır.

Diyarbakır Suriçi Bölgesindeki dini mimari örneklerinden biri olan, kültür ve inanç turizmi potansiyeli yüksek olan Hz. Süleyman (Kale) Cami yakın dönemde çevresinde yapılan peyzaj düzenlemeleri ile rekreasyonel alan haline gelmiştir. Önemli yere sahip ibadethanelerden biri olan camide, dış ortamın etkisiyle ve insan sirkülasyonunun yoğunluğu nedeniyle gelişen sorunlar ve hasarlar mevcuttur.

Hz. Süleyman (Kale) Cami’de çatlak hasarları, kısmi olarak cepheadeki bazalt taşlarda görülmektedir. Harimde ve imam odasında lentolarda, harim kemerinde, abdest alma bölümünde yer alan ve korozyona uğramış gergi çubuklarının temas ettiği taşlarda çatlak tespit edilmiştir. Yatay taşıyıcı eleman olan lentolarda gelen yük düzensizliği ve aşırı yük etkisi ve düzensiz oturmalar çatlaklara yol açmıştır.

Hz. Süleyman (Kale) Cami, insan sirkülasyonunun yoğun olduğu ve her gün ziyaret ve ibadet edilen yapı olması nedeniyle duvar, döşeme ve merdiven basamaklarında aşınmalar meydana gelmiştir. Duvarlardaki ayrışmalar özellikle yük dağılımında meydana gelen düzensizlik nedeniyle oluşmuştur. Avludaki zemin taşları ve taş basamaklar aşınmanın en fazla gözlemlendiği alanlardır. Kısmi aşınmalar sonucunda tüm yapı grubunda derz boşalmaları meydana gelmiştir. Minarenin iç avludan görülen cephesinde derz boşalmasının zemine kadar ulaşması ile ayrışma hasarına neden olduğu tespit edilmiştir.

Nem probleminin gözle görülebilir düzeylere ulaştığı iç avluda ve üst kattaki kadınlar bölümündeki taşlarda; kararmalar, yüzey kirlilikleri, yoğun derz boşalmaları, duvar ve döşeme aşınmaları ve sıva dökülmeleri tespit edilmiştir. Abdest alma yerinde ve imam odasındaki sıvanan yüzeylerde nemden dolayı sıva kayıtları gözlemlenmiştir. Camide nem sorununa bağlı cephelerde renk değişimine bağlı hasarlar meydana gelmiştir. Caminin batı girişi duvarında ve kuzeydeki burçta nemin etkisiyle yosun oluşumları, oluşan tuzlanmaya bağlı renk değişimleri gözlemlenmiştir. Caminin tüm duvarlarında

meydana gelen tuzlanma sorunu özellikle avludaki açık namazgahta ve payandalı güney duvarında yoğunlaşmıştır. Cami genelinde yaşanan nemlenmelerin, zemine yakın noktalarda yoğunlaşması nedeniyle nemlenmenin yeraltı suyundan ve zeminden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Nemlenmeye bağlı duvar ve döşemelerde kararma ve renk değişimleri meydana gelmiştir. İç avludaki nem sorunun diğer bölümlere göre daha ileri düzeyde olduğu düşünülmektedir.

İç Kale burcunda, türbe duvarında, güney girişinde ve helâ duvarlarında yağmur sularının tahliyesinin doğru çözümlenmemesi ve yağmur borularının zaman içinde işlevini yitirmesi veya yenilenmemesi ve çörlenlerin eksikliğinden dolayı nedeniyle duvar boyunca renk değişimleri tespit edilmiştir. Tuzlanma, kararma ve pas lekesi de mevcuttur.

Yapının güneyinde erkeklere ait helâlarda neme maruz kalan taşlarda yeşil-kahverengi renk değişimleri tespit edilmiştir.

Camide hatalı ve niteliksiz malzemelerle yapılmış tesisat uygulamaları malzemelerde kısmi hasarlara neden olmuştur. Restorasyon sürecinde yenilenen tesisatlar için duvarlarda boşluklar açılmıştır. Son cemaat yerindeki elektrik panosunda açıkta bırakılan kablolar, cami içinde (imam odası, kadınlar bölümü vb.) ve dışındaki klima ünitelerinin montajında taş malzemede çatlak, parçalanmaya bağlı malzeme kayıpları oluşmuştur. Klimaların boru ve kabloları çözümsüz bırakılmıştır.

Bu çalışmada, taş malzemede uygulanabilecek test yöntemlerine yer verilerek; tahribatsız testlerin üstün olan özelliklerinin bilinmesi, yöntemlerin tanınması ve tarihi yapılarda daha fazla uygulama alanı bulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda tahribatsız test yöntemlerinin taş malzemede uygulanabilirliğinin bilinmesi amacıyla Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yerinde alan çalışması yapılarak bazı tahribatsız testler uygulanmıştır.

Tahribatsız testler tarihi yapılarda daha az çalışılmıştır ve testlerin uygulanabilirliği sınırlı tutulmuştur. Bu durum Diyarbakır’daki tarihi yapılarda da görülmekte ve yapılar üzerinde uygulanan tahribatsız testlerle ilgili az sayıda ve sınırlı kapsamda

çalışma bulunmaktadır. Tez kapsamında yerinde alan çalışması için Hz. Süleyman (Kale) Cami belirlenmiştir ve camide yapısal sorunların ve hasarların belirlendiği çalışmalar uzun zamandır yapılmamıştır. Tahribatsız test yöntemlerinin daha az tercih edilmesinin nedenlerinden biri tahribatsız testlerin daha az bilinmesi olduğundan bu tez çalışmasının literatüre katkı sunan ve referans oluşturan özgün bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

Cami yapısında gözlemsel incelemelerle mevcut sorunlar ve hasarlar belirlenmiştir. Tespitler doğrultusunda caminin taşıyıcı elamanlarında kullanılan bazalt malzemede tahribatsız testlerden Schmidt çekici ile yüzey sertlik testi, yüzey düzgünlüğü ve nem durumunun belirlenmesi testi, ultrases geçiş hızı test, ile zeminde ve duvarlarda Georadar (GPR) taraması yerinde yapılarak tarihi caminin mevcut durumu belirlenmiştir. Ayrıca caminin güney cephesinde yer alan payanda duvarındaki hasarlı taştan küçük parça halindeki bazalt taşı ve harç numunesi alınmıştır ve numunelerin SEM/EDS analizi laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Tablo 5.1 Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yapılan deneyler

Uygulanılan Deney	Uygulandığı Alan
Schmidt çekici ile sertlik ölçümü	48 adet duvar taşında, 18 adet ayak taşında, 3 adet sütunda ve 2 adet zemin taşında
Yüzey düzgünlüğü ölçümü	Harim bölümündeki ayaklarda
Ultrases geçiş hızı testi	Harim bölümündeki ayaklarda
Nem durumunun belirlenmesi	Harim bölümünde ve abdest alma yerinde
Georadar (GPR) taraması	Dış ve iç avluda, son cemaat yerinde, harimde

Yapılan Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyi ile 71 adet bazalt taşında okuma yapılmıştır ve sertlik değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler şu şekildedir:

- En yüksek ve en düşük sertlik değerleri avlu ölçümünde elde edilmiştir (160 ve 38 MPa). En yüksek değer avludaki zemin taşında elde edilmiştir. Ancak zeminde yapılan iki taştaki ölçümler arasındaki sertlik değeri farkının büyük olması döşeme kalınlığının veya doluluk oranının farklı olmasından kaynaklanmıştır. En düşük değer ise avlu duvarında ölçülmüştür.
- Harimdeki 8 ayaktan alınan sertlik değerleri arasında sadece 2 değerde birbirine yakın elde edilmiştir. Bu durum bazalt taşının gözenekli yapısının taşın sertliğini etkilediğini göstermiştir.

- Sütunlar arasında sertlik değeri ilişkisi kurulabilmesi için farklı sütunlarda ölçüm yapılmıştır ancak değerler birbirine yakın hesaplanmamıştır.
- Harim duvarlarında ölçüm yapılan taşların sertlik değerleri birbirinden farklı hesaplanmıştır. İmam odasından ve minarenin iç duvarından elde edilen sertlik değerleri ortalama duvar sertlik değerine yakın bulunmuştur.
- Caminin güney cephesindeki duvar ve payandadaki taşlarda yapılan okumalar sonucu hesaplanan sertlik değerleri farklı sonuçlar vermiştir.
- Genel olarak bazalt taşına ait farklı sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu durum ölçüm yapılan taşların boşluk-doluluk oranlarının farklı olması, daha gözenekli yapıda olmaları veya nemden kaynaklı yüzeyde renk değişimlerinin gözlemleniyor olmasından kaynaklanmıştır.

Yapılan yüzey düzgünlüğü deneyi sonucu elde edilen bilgiler şu şekildedir:

- Düşük frekanslı ultrasonik test cihazı kullanılarak ayaklardaki farklı boyuta gözenek durumuna sahip taşların yüzeysel durumu incelenmiştir. Ayaklarda 8 adet ölçüm yapılmıştır ve her bir ayakta bulunan 6 farklı taşta birer adet okuma yapılmıştır.
- En yüksek ve en düşük değerlerin, ortalama yüzey düzgünlüğü değerine yakın değerler olmadıkları anlaşılmıştır. 8 numaralı ayağın aynı yüzeyindeki farklı taşlarda en yüksek ve en düşük değerler elde edilmiştir. 8 numaralı ayağın bulunduğu konum itibarıyla basamakları kullanan kişilerin taş yüzeylerine dokunmaları nedeniyle zamanla yüzeyi aşınması yüzey düzgünlüğü artmıştır.
- 5 numaralı ayakta ölçülen diğer değerlerin birbirine ve ortalama değere yakın olmasına rağmen ayağın en yüksek ikinci yüzey düzgünlüğü değerini vermesi taşta süreksizlik yaratacak bir durumun veya taşın daha az gözenekli olabileceği ihtimalini arttırmıştır.

Yapılan ultrases geçiş hızı deneyi sonucu elde edilen bilgiler şu şekildedir:

- Düşük frekanslı ultrasonik test cihazı kullanılarak harim bölümündeki ayaklarda ölçüm yapılmıştır.

- Harim bölümündeki ayaklarda yapılan ölçümlerde genel olarak birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Ayaklarda bulunan mihrabiye'nin etkisi ile taş örgüsünün bölünmesinden kaynaklı olarak hız ölçümünde farklı değerler elde edilmiştir.
- Sonuç farklılıklarının taşın gözenek durumuna göre değiştiği gözlemlenmiştir.

Yapılan nem durumunun belirlendiği deney sonucu elde edilen bilgiler şu şekildedir:

- Elektromanyetik iletim prensibine sahip olan nem ölçer cihaz kullanılmıştır ve abdest alma bölümünün duvarında; harim bölümündeki ayaklarda, duvarlarda ve sütunda yüzey nemini oransal olarak belirlenmiştir.
- Hz. Süleyman (Kale) Cami'de harim bölümünde ortam nemi %46,6 olarak ölçülmüştür. Ardından harim bölümündeki 8 adet ayakta ve 1 adet sütunda ölçüm yapılmıştır. Harimdeki ayaklarda birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Ancak sütunun (9 numaralı ölçüm) nem değerinin ayaklardaki ölçüm sonuçlarından oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir. Sütunun yekpare bazalt taşından olması ve daha az gözenekli yapıya sahip olması bu duruma neden olmuştur.
- Hz. Süleyman (Kale) Cami'de harim duvarlarında 5 adet ölçüm yapılmıştır. Harimdeki duvar ölçümlerinde farklı değerler elde edilmiştir. 11 numaralı duvarda klima ünitesi mevcut olduğu için klima arka panelinin ve boruların yarattığı ıslanma-kuruma döngüsünün duvarı etkilemesi sonucu en düşük nem oranı ölçülmüştür.
- Abdest alma bölümündeki duvarlardan alınan ölçümlerde farklı değerler elde edilmiştir. Ölçümlerin farklı olması ölçüm anında duvarların ıslanma durumunun aynı olmamasından kaynaklanmaktadır.
- Harim duvarlarındaki nem ölçüm sonuçları abdest alma yerindeki duvarların sonuçlarından daha büyük değerde tespit edilmiştir. Bu durum; iç ve dış mekan ayrımının, nemin yüzeye nüfuz etme oranı üzerinde etkili olduğu sonucunu desteklemektedir.

Zeminde yapılan Georadar (GPR) taraması sonuçları şu şekildedir:

- Araştırma (penetrasyon) derinliği 15 metre olarak belirlenmiştir. Zemin araştırmasında 300 Mhz güçte dipol anten kullanılmıştır.
- Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin dış avlusu döşemesinin yaklaşık olarak 1.5 metre penetrasyon derinliğinde ikinci bir döşeme tespit edilmiştir. Avlu döşemesinin yaklaşık 7 metre dolgu malzemesi ve dolgunun içerisinde serpinti halinde taşlar olduğu tespit edilmiştir. Radargramlarda farklı şekilde yayılım gösteren serpinti halindeki taşların döşeme taşına benzer büyüklükte olduğu gözlemlenmiştir.
- Hz. Süleyman (Kale) Cami'nin son cemaat yerinin giriş kapısından başlayarak yapılan dış avlu taramasına ait radargram kesitinde yaklaşık 170-230 traces aralığında yan yana iki kuyunun olabileceği bir anomali tespit edilmiştir. Anomalinin oluşum nedeninin kesinleştirilmesi amacıyla bölgede daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.
- Caminin son cemaat yerinden elde edilen radargramlar karşılaştırıldığında 2 adet radargramda zemin altındaki toprağın daha ıslak olduğu ve su içerdiği tespit edilmiştir. Yaklaşık olarak zeminin 2.5 metre sonrasında tespit edilmiştir. Cami girişinde bulunan ve günümüzde işlevsiz kalan çeşmenin bu duruma yol açtığı ihtimali üzerinde durulmuştur.
- Yoğun su içeriğine sahip yer yapısının belirlenmesi cami genelinde görülen nem sorununa işaret etmektedir.
- Diğer bölümlere ait görüntüleme sonrası elde edilen Radargramlarda herhangi bir anomali tespit edilmemiş olup toprak dokusunda yoğun su içeriği görüntülenmemiştir. Radargramlarda farklı kesitlerde dolgu malzemesinin niteliğinin değiştiği sonucuna varılmıştır.

Duvarlarda, ayaklarda ve sütunlarda yapılan Georadar (GPR) taraması sonuçları şu şekildedir:

- Yapılan okumalar birleştirilerek 4 yöne ait görüntüler elde edilmiştir. Harim bölümündeki taşıyıcı 8 adet ayak ve 2 adet sütunda toplam 10 adet tarama yapılmış ve tek bir görüntü oluşturmaları için birleştirilmiştir. Yapı elemanlarındaki boşlukların varlığı ve durumu belirlenmeye çalışılmıştır.

- Elde edilen görüntülerde dalga'nın yayılımını temsil eden renk spektrumuna bakıldığında renklerin düzgün yansıyarak dağılım gösterdiği görülmektedir. Benzer iç yoğunluğa sahip görüntüler elde edilmiştir. Duvar yüzeyinde boşluk saptanmamıştır. Ancak pencere gibi açıklıkların algılanması sebebiyle görüntülerde boşluğu tanımlayan mavi ışımlar görülmüştür. Mavi rengin temsil ettiği alan boşluğu göstermektedir ve duvardaki pencereler nedeniyle görüntüde mavi tonlama oluşmuştur. Duvar yüzeyinde boşluk saptanmamıştır.

Bazalt taşı numunesine ait SEM/EDS görüntülemesi sonucu şu şekildedir:

- Mikroskop ile bazalt taşında 1000x-5000x görüntüler alınmıştır.
- Elementlerin numune içeriğinde bulunma oranı oksijen (O) %78,16; neon (Ne) %14,67; zirkonyum (Zr) %6,87 ve kalsiyum (Ca) %0.29 şeklinde ölçülmüştür.
- Bazalt taşı numunesinde en yüksek oranda oksijen bulunurken en kalsiyum oranı en düşük olarak belirlenmiştir.
- Zirkonyum (Zr) bazalt taşının kimyasal içeriğinde eser miktarda bulunan bir mineraldir.
- Tespit edilen neon (Ne) gazının taş numunesi ile ilişkisi olduğu düşünülmüştür. Numunenin analizi sırasında ortam koşullarından dolayı analizde ortaya çıktığına ihtimal verilmiştir.

Harç numunesine ait SEM/EDS görüntülemesi sonucu şu şekildedir:

- 500x-1000x-5000x SEM görüntülemesi yapılmıştır.
- Elementlerin numune içeriğinde bulunma oranı oksijen (O) %51,26; seryum (Ce) %44,55; skandiyum (Sc) %3,82 ve hafniyum (Hf) %0,37 şeklinde ölçülmüştür.
- Seryum, skandiyum ve hafniyum elementleri eser miktarda bulunmuştur.

5.2 Öneriler

Gözlemsel ve aletsel tespitler sonucu belirlenen yapısal sorunlara ve hasarlara yönelik;

- Caminin tüm yapı gruplarında nem sorununun kaynağının tespiti için daha kapsamlı bir geoteknik etüt yapılmalı ve numuneler alınarak zemin araştırmaları yapılmalıdır.

- Georadar (GPR) taraması sonucu iki kuyunun varlığına işaret eden anomalinin oluşum nedeninin kesinleştirilmesi amacıyla bölgede daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.
- Renk değişimi ve tuzlanma sorunlarına maruz kalan yüzeyler uygun yöntemler ile periyodik olarak temizlenmelidir.
- Islak mekanlar (abdest alma bölümleri, helalar vb.) yosunlardan temizlendikten sonra nemlenmeye ve yosunlaşmaya neden olan etmenler belirlenerek uygun çözümler üretilmelidir.
- Abdest alma bölümünün kubbesindeki sıva ve boyalar sökülerek, nemlenme hasarları giderilmelidir.
- Gergi demirlerindeki korozyon sorunu çatlak oluşumuna neden olmuştur. Gergi çubuklarındaki korozyon tabakası temizlenmeli veya temizlenmesi mümkün değilse gergi elemanları yenilenmelidir.
- Duvar yüzeylerindeki pas ve diğer lekelenmeler temizlenmelidir. Korozyon nedeniyle çatlayan taşlar uygun yöntemle değiştirilmeli ya da taşlarda enjeksiyon uygulaması planlanmalıdır.
- Malzemede veya strüktürel elemanda meydana gelen bozulmalar belirlendikten sonra ilgili uzmanlar ve bilim kurulları gözetiminde onarım ve güçlendirme kararları alınmalıdır.
- Camide yapısal sorunları oluşturacak strüktürel çatlaklar bulunmamaktadır. Abdest alma yerlerinde gergi çubuklarının çevresinde ve kemerlerdeki kısmi çatlaklara yönelik aletsel ölçümler yapıldıktan sonra karar alınmalıdır.
- Yoğun sirkülasyona sahip yapıdaki döşemede ve merdivenlerde aşınma sorunu mevcuttur. Aşınma mukavemeti yüksek malzemeler kullanılarak bu sorunlar giderilmelidir.
- İnsanlar tarafından yapıya verilen zararların en fazla yanlış uygulamalardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Tesisat uygulamaları, klimalar, kablolar ve borular görünür olmayan çözümlerle değiştirilmelidir. Sirkülasyonun yoğun olduğu camide daha kapsamlı onarımlar yapılmalıdır.

- Yapısal sorunların tam olarak belirlenebilmesi ve kapsamlı bir restorasyon süreci için her yapı elemanı detaylı olarak incelenmeli ve muhtemel risk haritası çıkarılmalıdır.

Yapısal sorunların ve hasarların belirlendiği çalışmaların uzun zamandır yapılmadığı Hz. Süleyman (Kale) Cami’de yerinde alan çalışması yapılmıştır. Diyarbakır’ın önemli ibadet yapılarından biri olan camide mevcut hasar ve sorunların tespiti gözlemsel analizlerle yapılmıştır. Tespit edilen mevcut hasarlar ve sorunlara yönelik aletsel ölçümler yapılarak elde edilen bulgular desteklenmiştir. Bulgulara yönelik önerilere yer verilmiştir. Yapıda aletsel ölçümlerde tahribatsız test yöntemleri tercih edilerek tahribatsız testlerin taş malzemede uygulanabilirliği kanıtlanarak örnek bir çalışma olması amaçlanmıştır. Tahribatsız test yöntemlerinin daha az tercih edilmesinin nedenlerinden biri tahribatsız testlerin daha az bilinmesi olduğundan bu tez çalışmasının literatüre katkı sunan ve referans oluşturan özgün bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acun Özgünler, S., ve Gürdal, E. (2012). Düünden Bugüne Toprak Yapı Malzemesi Kerpiç. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi* (9), 29-37.
- Ağan, A. (2017). Balıkesir Kent Dokusundaki Tarihi Yapılarda Malzeme Bozulmaları Üzerine Bir Araştırma. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Ahunbay, M. (2012). Diyarbakır-Amida* Surlarının Erken Dönemi. *Uluslararası Diyarbakır Surları Sempozyumu* (s. 67-78). Diyarbakır: Karacadağ Kalkınma Ajansı.
- Ahunbay, Z. (1996). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*. İstanbul: YEM Yayın.
- Ahunbay, Z. (2019). *Kültür Mirasını Koruma İlke ve Teknikleri*. İstanbul: YEM Yayın.
- Akçaözlü, S., Akçaözlü, K., ve Özcan, F. (2008). Eski Eserlerde Meydana Gelen Taş Bozulmalarının Adana'da Örneklenmesi. *Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ* 23/1, 297-304.
- Akevren, S. (2010). Non-Destructive Examination of Stone Masonry Historic Structures - Quantitative Ir Thermography and Ultrasonic Testing. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Akman, S. (2003). Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426*, 30-36.
- Akmaz, E. (2020). Diyarbakır Hoca Ahmed (Ayni Minare) Camii Restorasyon Önerisi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Aköz, F. (2005). Yığma Kargir Yapılarda Hasar Tespiti. *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Aköz, F., ve Yüzer , N. (2005). Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*. Antalya.
- Aköz, F., ve Yüzer, N. (1970). Investigation of Material Properties of Küçük Ayasofya Mosque-Sts Sergius And Bacchus of Istanbul. *WIT Transactions on the Built Environment*, 16, 163-169.

- Aköz, H. (2008). Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Amman, B. (2012). Tarihi Yapıların Hasar Onarım Tespiti ve Restorasyon Çalışmaları. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Annan, A. P. (2003). Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications. Sensors & Software Inc.
- Arslan, F. (2010). Tahribatsız Malzeme Muayenesi Deneyi Penetran ve Ultrasonik Muayene. *KTÜ Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Föyü*.
- Arslan, G. (1991). Arkeolojik Sit Alanlarının Belgeleme (Tespit-Tescil) Sorunları. *Arkeolojik Sit Alanlarının Korunması ve Değerlendirilmesi I. Ulusal Sempozyumu*. Antalya: T.C: Kültür Bakanlığı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü ve T.C. Antalya Valiliği.
- Arun, G. (2005). Yığma Kargir Yapı Davranışı. *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Arun, G. (2009). Ancient Building Foundation Systems In Seismic Areas. *Wiadomości Konserwatorskie*, 279-288.
- Asan, M. (2018). Düşük ve Normal Dayanım Sınıfı Betonlarda Hasarsız İnceleme Yöntemleriyle Dayanım Tespiti. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Asımgil, B., ve Erdoğan, F. (2013). Tarihi Ayvalık Evleri Mimarisinde Bozulmaya Neden Olan Etkenlerin İncelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(1), 49-60.
- ASTM C 1196-92 . (Reapproved 1997). *ASTM C 1196-92 (Reapproved 1997), "Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements*. American Society for Testing and Materials.
- Aşçı, M. (2015). Jeofizikte Hasarsız Yapı İnceleme Çalıştay Kitapçığı. Are Jeoteknik Müh. İnş. Taah. ve Tic. Ltd. Şti.
- Aydemir, O., ve Şimşek, M. (2016). Restorasyon Uygulamalarında Çağdaş Yaklaşımlara Örnekler: Nuruosmaniye Camisi ve Zeyrek Şeyh Süleyman

- Mescidi Onarımları. *Kargir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri VIII* (s. 93-106). İstanbul: KUDEB.
- Aydın, N. (2015). Isparta'da Yöresel Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemelerin Tespiti ve Malzemeler Üzerinde Yapılan Tahribatsız Deneyler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Aydingün, Ş., Kurban, Y. C., Yalçiner, C. Ç., Büyükşaraç, A., Gündoğdu, E., ve Altunel, E. (2020). High - Resolution Ground Penetrating Radar Investigation of Yerebatan (Basilica) Cistern in İstanbul (Constantinople) for Restoration Purposes. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 20, No 3 , 13-26.
- Ayşegül, K. (2010). Soundness Assessment of Historic Structural Timber By The Use Of Non-Destructive Methods. *A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Middle East Technical University*.
- Bayraktar, A. (2005). Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi. *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Bayraktar, A. (2006). *Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metodları*. İstanbul: Beta.
- Bayülke, N. (2011). Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı* (s. 1-14). Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Belce, E., Bekler, T., Kurban, Y. C., ve Yalçiner, C. Ç. (2019). Ayasofya Müzesi Zemin Yüzey Deformasyonlarının Yeraltı Radarı (GPR) ile İncelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(3), 362-366.
- Beysanoğlu, Ş. (1987). *Anıtları ve Kitabeleri ile Diyarbakır Tarihi*. Ankara: Neyir Matbaası.
- Bianco, A. (2012). Endoscopic Analysis Supporting Issues of Historic Stratigraphic Investigations: The Case History of Saint Domenico Monastery in Naples-Italy. *18th World Conference on Nondestructive Testing*. Durban.
- Binda, L., Colla, C., Saisi, A., ve Valle, S. (1999). Application of Georadar to the Diagnosis of Damage Structures. *Transactions on the Built Environment*. içinde WIT Press.

- Binda, L., Lualdi, M., ve Saisi, A. (2007). Non-Destructive Testing Techniques Applied for Diagnostic Investigation: Syracuse Cathedral in Sicily, Italy, 1(4). *International Journal of Architectural Heritage Conservation, Analysis and Restoration* (s. 380-402). içinde Birleşik Krallık: Taylor ve Francis.
- Boran, A., ve Aykaç, R. (2019). Yeni Araştırmalar Bağlamında Diyarbakır Kalesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (42), 273-282.
- Britannica. (2024). <https://www.britannica.com/place/Segovia-Spain> adresinden alındı
- Budak, İ. M., ve Işık, N. (2023). Diyarbakır Tarihi Behram Paşa Cami'deki Yapısal Sorunların Gözlemsel Tespiti ve Güçlendirme Önerileri. *Dicle Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi* (s. 365-375). Diyarbakır: ISARCH.
- Budak, İ. M., ve Işık, N. (2024). Diyarbakır'daki 'Cumba' ve 'Kabaltı'larda Gözlemsel İncelemelerle Yapısal Sorunların ve Hasarların Tespiti. *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, 25-50.
- Budak, İ. M., ve Işık, N. (2024). Hz. Süleyman (Kale) Cami'deki Yapısal Sorunların Gözlemsel Tespiti ve Değerlendirilmesi. *Diyarbakır'ın Gelecek Tasavvuru - Şehir ve Mimari/ Kent Tarihinden Geleceğe Yolculuk Kitabı* (s. 157-171). içinde Diyarbakır: Ensar.
- Buz, S. (2010). Beylerbeyi ve Çengelköy Küçük Ahşap Sivil Mimarlık Örneklerinde Taşıyıcı Sistem Oluşumu Üzerine Bir Araştırma. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Büyüktaş, K., ve Aygen Özhan, N. (2018). Tahribatsız Yöntemler ile Yapı Elemanlarının Dayanımlarının Belirlenmesi. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 4(2), 58-70.
- Can, M. G. (2020). Tarihi Yeşilyurt (Malatya) Evlerinde Yapısal Bozulma Nedenleri Üzerinde Bir İnceleme. *Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Çakmak, A. (2021). Yapı Malzemesinin Tairhsel Gelişimi ve Mimarlığa Etkileri. *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi* 5(1), 41-54.
- Çalışkan, Ö., Meriç, E., ve Yüncüler, M. (2019). Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünyü, Bugünü ve Yarını. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 6(1), 109-118.
- Çatlak Mikroskobu. (2024). UTEST Malzeme Test Cihazları: <https://www.utest.com.tr/tr/20676/Catlak-Mikroskobu> adresinden alındı

- Çelik , M. (2013). Kaynak Bağlantılarında Konvansiyonel ve Gelişmiş Ultrasonik Muayene Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme ve İmalat Programı, Yüksek Lisans Tezi.*
- Çetin, C. (2015). Taş Bozunma Türleri. *Taş Malzeme Bilgisi ve Bozulma Ders Notu.*
- Çiftçi, Y. (2009). *Sığ Yeraltı Görüntüleme Teknikleri- Sismik Yansıma, EM Profiller ve Yer Radarı Yöntemlerinin Maden Yatakları & Endüstriyel Mineral ve Kayaç Araştırmalarında Kullanımı.* Ankara: MTA Genel Müdürlüğü.
- Dabanlı, Ö. (2008). Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.*
- Dal, M., ve Yardımlı, S. (2021). Taş Duvarlarda Yüzey Bozunmaları. *Kent Akademisi, 14(2), 428-451.*
- Dalkılıç, N., ve Aksulu, I. (2001). Diyarbakır Kenti, Geleneksel Konut Mimarisi. *Gazi Sanat Dergisi, Sayı 2, 53-69.*
- Daniels, J. J. (2000). *Ground Penetrating Radar Fundamentals.* Ohio: Prepared as an appendix to a report to the U.S.EPA.
- Deere, D. U., ve Miller, R. P. (1966). *Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock.* Urbana: Department of Civil Engineering, University of Illinois.
- Değertekin, H. (2012). Diyarbakır Surları ve Tarihi Yapıları Üzerindeki Kitabelerin Korunması. *Uluslararası Diyarbakır Surları Sempozyumu (s. 131-137).* Diyarbakır: KARACADAĞ Kalkınma Ajansı.
- Delipınar, Ş. (2001). Helikopter Rotor Pallerinin Radyoskopi Yöntemleriyle Hasarsız Muayenelerinin Yapılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.*
- Demirci, B. B. (2012). Yer Radarı (GPR) Jeofizik Yöntemi ve Kullanıldığı Alanlar. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı. 14.* MAden Tetkik ve Arama Müdürlüğü.
- Demirkan, D. S. (2014). Yığma Yapılarda Derz Kalınlığı ve Duvar Örmek Tekniğinin Yapıya Etkisinin Anizotrop Bir Model Üzerinde İncelenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.*

- Dikmen, A. (2013). Diyarbakır'da Sahabe Kabri Olan Hz. Süleyman Türbesinde Yapılan Dini/Geleneksel Uygulamalar. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*. 12(44), 132-150.
- Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi. (2024).
- Doğru, A. (2014). Uçak Gövde ve Kanatlarında Oluşan Hasarların Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Tespiti. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Ekşi Akbulut, D. (2006). Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Doktora Tezi*.
- Erbaş, İ. (2018). Taş ve Taş Yapı Kültüründe Değişim ve Dönüşüm. *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi* 2(1), 29-37.
- Erdin, N. (1986). Tarama Elektron Mikroskopunun Temel Prensipleri ve numune Hazırlama. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 36(2), 10-124.
- Erdoğan, M. (2020). Malzemelerin NDT Kontrolü Tahribatsız Muayene (Gemi Teknik Personeli İçin Genel Bilgi). *Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notu*.
- Eriç, M. (1970). Yapı Malzemesinden Mimariye. *Mimarlık*, Sayı:11, 30-33.
- Erişiş, S., Tuğrul, A., Er, S., ve Yılmaz, M. (2019). Bazaltik Kayaların Bileşim Ve Dokusal Özelliklerinin Mekanik Davranışlarına Etkisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, (43), 259-278.
- Eurolab: (2024). <https://www.labaratuar.com/testler/malzeme/sem-analizi-sem-eds-analizi/> adresinden alındı
- Evren, E., Çakır, Z., Mintaş, H., Ceylan, M., Sav, M., Tuzer, M., ve Meral, D. (2012). Sultan Ahmet Camii'nde Arkeojeofizik Çalışmalar. *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 99-112.
- Feilden, B. M. (2003). *Conservation of Historic Buildings*. Oxford: Architectural Press.
- Firik, A. (2024). Kültürel Mirasın Korunması Amaçlı Yer Radarı Araştırmaları ve Bir Uygulama Örneği: Edirne Evi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Gabriel, A. (1940). *Voyages Archeologiques dans la Turquie Orientale*. Diyarbakır Tanıtma, Kültür ve Yardımlaşma Vakfı Yayını:4 (Fransızca çeviriyi yapan: Kaya Özsezgin,1993).

- Genç, U., Ekinci, Ş., Mehmet, A., ve Başsarı, A. (2013). Kültür Varlıklarının İncelenmesinde Radyografinin Kullanımı. *Uluslararası İstanbul Tarihi Yarımada Sempozyumu* (s. 83-90). İstanbul: İstanbul Tarihi Yarımada Uygulama ve Araştırma Merkezi.
- Geologyscience: (2024). <https://tr.geologyscience.com/rocks/basalt/> adresinden alındı
- Google Earth. (2024). <https://earth.google.com/web/@37.91260967,40.23501547,667.75667488a,2951.03684776d,35y,163.02077048h,0t,0r> adresinden alındı
- Gökçe, G. (1977). Başlangıçtan Günümüze Mimaride Strüktür. *YAPI Dergisi*, 26-48.
- Gökyiğit Arpacı, E. Y. (2016). Tarihi Yiğma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Malzemesinin (Grout) Performans Değerlendirmesi ve 19. Yüzyıl Tuğla Yiğma Yapılarda Örneklenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Gülmez, S. (2005). Antik Yapılarda Kullanılan İnşaat Malzemeleri ve Bu Malzemelerin Özelliklerinin Mineralojik, Petrografik, Kimyasal, Fiziksel, Mekanik ve Tahribatsız Deney Yöntemleri Kullanılarak Saptanması . *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Güneli, Z., Bekleyen, A., ve Yıldırım, M. (1999). Diyarbakır'da Vernaküler Mimari: Köşkler. Ş. Beysanoğlu, S. Koz, ve E. N. İşli içinde, *Diyarbakır: Müze Şehir* (s. 227-231). İstanbul: YKY.
- Güneş, M. E. (2014). Geleneksel Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistem Kurgusunun İncelenmesi: Safranbolu Örneği. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Gürbüz, S. (2019). Nevşehir Yöresindeki İgnimbiritlerin Dayanımının Tahmininde Schmidt Geri Sıçrama Değerlerinin Kullanımı. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Gürdal, E., ve Acun Özgünler, S. (2016). Tarihi Yapıların Onarımında Doğal Taş Seçimi ve Kullanımı. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi* (16), 27 - 35.
- Gürsoy, H. (2019). Önsöz. *Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi Doğal Taşlar Özel Sayısı*, 5.

- Halaç, H. H., Başer, E., Gülşen, M., ve Fedekar, B. (2022). Tarihi Yapılarda Bütünleme Müdahalesi Değerlendirilmesinde Yöntem Önerisi. *Gaziantep University Journal of Social Sciences* 21(1), 1-21.
- Halifeoğlu, F. M. (2012). Diyarbakır Surlarının Mimari Özellikleri ve Yapım Tekniği. *Uluslararası Diyarbakır Surları Sempozyumu* (s. 115-129). Diyarbakır: Karacadağ Kalkınma Ajansı.
- Halifeoğlu, F. M., ve Işık, N. (2021). Yeniden İşlevlendirme Çalışmalarında Çağdaş Yaklaşımlar; Diyarbakır Kent Müzesi (Cemil Paşa Konağı) Örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 17(79), 251-258.
- Halifeoğlu, F. M., Işık, N., Tekin, M., Güzel, E., İpekyüz, H. D., ve Erkoç, B. (2020). Geleneksel Mimaride Yeniden Kullanım Kaynaklı Sorunlar: Diyarbakır Evleri Örnekleme. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(75), 382-395.
- Halifeoğlu, M. (2009). Diyarbakır Suriçi'nde Yer Alan Mescitler. *Nebiler, Sahabiler, Azizler ve Krallar Kenti Diyarbakır* (s. 325-336). içinde Diyarbakır: Diyarbakır- Diyarbakır Kültür Sanat Etkinlikleri.
- Haliloğlu, H. C. (2016). Tahribatsız Mauiyenede İş Sağlığı ve Güvenliğinin Değerlendirilmesi. *Gedik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Hasbay, U., ve Hattap, S. (2017). Doğal Taşlardaki Bozunma (Ayrışım) Türleri ve Nedenleri. *Munzur Üniversitesi Bilim ve Gençlik Dergisi* 5(1), 23-45.
- Hatır, M. E. (2019). Kapadokya Bölgesi 19. Yüzyıl Osmanlı Kiliselerindeki Taş Malzemelerin Bozunma Nedenleri ve Reshabilitasyonu İçin Öneriler: Niğde Küçükköy Kilisesi Örneği . *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Hellier, C. (2003). *Handbok of Nondestructive Evaluation*. McGRAW-HILL Companies.
- IAEA. (2000). *Liquid Penetrant and Magnetic Particle Testing at Level 2*. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.
- IAEA. (2001). *Guidebook for the Fabrication of Non-Destructive Testin (NDT) Test Specimens*. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.
- IAEA. (2002). *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures*. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.

- ICOMOS. (2011). Tarihi Kentlerin ve Kentsel Alanların Korunması ve Yönetimiyle İlgili Valetta İlkeleri. 17. ICOMOS Genel Kurulu. Paris.
- ICOMOS. (2013). ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi.
- İlçin, İ. (2017). İller Bankası A.Ş. Altyapı Projelerinde Yer Radarı ile Görüntüleme Yönteminin Kullanılabilirliği ve Harita Mühendisliği Uygulamaları. *İller Bankası Anonim Şirketi Uzmanlık Tezi*.
- İlhan, İ. (2000). Beton (Schmidt) Çekici Ne İşe Yarar? *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 410*, 27-29.
- İlhan, M. (2017). Osmanlı Su Yolları: Diyarbakır Su Yollarının ve Çeşmelerinin MAhale ve Sokaklara Dağılımı. *Çekmece İZÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(10), 69-116.
- 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). *Enviromental Earth Sciences*.
- İpek, S., Işık, N., ve Halifeoğlu, F. M. (2023). Determination of Ground-Based Structural Problems in the Historical Four-Legged Minare with Ground Penetration Radar. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 12(4), 171-183.
- Işık, N. (2017). Geleneksel Yığma Yapılarda Taşıyıcı Sistem Hasarları ve Nedenlerinin Tespiti ile Güçlendirme ve Tamamlayıcı Müdahale Önerileri; Diyarbakır; Suriçi Örneği. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Doktora Tezi*.
- Işık, N. (2019). Tarihi Diyarbakır Hanlarında Taşıyıcı Sistem Sorunlarının Gözlemsel Tespiti ve Öneriler. *Anadolu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi* (s. 377-394). Diyarbakır: UBAK Uluslararası Bilimler Akademisi.
- Işık, N. (2022a). Tarihi Yapılarda Taş Malzemenin Kullanımı ve Detaylandırılması: Diyarbakır Suriçi Örneği. *Farklı Yaklaşımlarla Madenler ve Değerli Taşlar* (s. 512-526). içinde Orient Yayınları.
- Işık, N. (2022b). Yapısal Sorunların Tespitinde Georadar (GPR) Ölçümlerinin Kullanıldığı Tarihi Yapı Örnekleri ve Değerlendirilmesi. 8. *Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi* (s. 260-270). İstanbul: Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları.

- Işık, N. (2023). *Çok Katmanlı Kültür Mirasında Diyarbakır Suriçi Mimarisi*. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi Kültür Yayınları.
- Işık, N., ve Halifeoğlu, F. M. (2017). Tarihi Diyarbakır Kiliselerinde Taşıyıcı Sistemi Etkileyen Gözleme Dayalı Hasarlar ve Nedenleri. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(2), 293-306.
- Işık, N., ve Halifeoğlu, F. M. (2018). Tarihi Diyarbakır Surp Sargis Ermeni Kilisesi'nde Taşıyıcı Sistem Sorunlarının Gözlemsel ve Aletsel Tespitlerle Değerlendirilmesi. E. Dağtekin , F. M. Halifeoğlu, G. Payaslı Oğuz, ve H. Özyılmaz içinde, *Tasarım&Koruma "Prof.Dr. Zülküf Güneli'ye Armağan"* (s. 161-175). İstanbul: Birsen Basım Yayın.
- Işık, N., ve Halifeoğlu, F. M. (2019). Tarihi Diyarbakır Camilerinde Tespit Edilen Taşıyıcı Sistem Hasarları ile Güçlendirme Önerileri. *Anadolu 1. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi*. Diyarbakır.
- Kadioğlu, S., ve Kadioğlu, Y. K. (2010). Picturing Internal Fractures of Historical Statues Using Ground Penetrating Radar Method. *Advances in Geosciences*, 23-34.
- Kadioğlu, S., Kadioğlu, Y. K., ve Akyol, A. A. (2008). Geoarchaeological Research of the Mid-Age Ilyas Bey Complex Buildings with Ground Penetrating Radar in Miletus, Aydın, Western Anatolia, Turkey. *Donald D Harrington Symposium on the Geology of the Aegean* (s. 1-8). IOP Publishing.
- Kahya, Y. (1992). İstanbul Bizans Mimarisinde Kullanılan Tuğlanın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Kambek, E. (2016). Şerefiye (Theodosius) Sarnıcı Restorasyon Uygulamaları Örnekleri ve Koruma Süreci Üzerine Yorumlar. *Kargir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri VIII* (s. 26-41). İstanbul: KUDEB.
- Kandemir, A. (2010). Soundness Assessment of Historic Structural Timber By the use of Non-Destructive Methods. *ODTÜ Doğa ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Kar, B. Ç., Dereli, M., ve Yıldız, E. (2024, 8(1)). Anıtsal Taş Yapılarda Meydana Gelen Bozulmalar: Afyonkarahisar Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Cami Örneği. *PLANARCH - Design and Planning Research*, 113-126.

- Kara, H. G. (2009). Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Karadeniz, M., ve Bilgen, G. (2023). Zemin İncelemelerinde Geoteknik Açısından Geo-Radar Kullanımı. *International Congress on Advanced Research and Applications*, (s. 312/317).
- Karakuş, F. (2012). Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Sorunlar ve Çözüm Yolları. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Karaman, K. (2020). Kaya Yüzey Pürüzlülüğünün Schmidt Sertliği Ölçümlerine Etkisi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 59(1), 15-24.
- Kaya, B. (1992). Muayenede Teknolojik Gelişmeler. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Kaya, Ş. (2011). Diyarbakır Mehmet Uzun Evi Restorasyon Projesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Kejanlı, T., ve Dinçer, İ. (2011). Diyarbakır Kale Kenti'nde Koruma ve Planlama Sorunları. *Megaron*, 6(2), 95-108.
- Kishalı, E., Türkmenoğlu Bayraktar, N., ve Şener, M. (2019). “Kocaeli Tarihi Cami Örnekleri Üzerinden Planlı Koruma Kapsamında Hasarsız Test Uygulamaları: Çoban Mustafa Paşa Camii, Fevziye Camii ve Pertev Paşa Camii. *METU FJA*, 36(1), 107-136.
- Kocaman, İ., İlker, K., ve Özkaya, S. G. (2020). Yığma Kemer Köprülerde Kullanılan Malzeme Özelliklerinin Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(66), 671-680.
- Kocaman, İ., Okuyucu, D., ve Kazaz, İ. (2017). Tarihi Yığma Yapıların Dinamik Davranışlarının Hesabında Gerekli Malzeme Özelliklerinin Tayini: Lala Paşa Cami Örneği. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, (s. 1-10). Trabzon.
- Koç, D. (2015). Tarihi Yapı Taş Kemerlerinin FRP ile Güçlendirilmesi. *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

- Koçkar Tuğla, R., Kılıç Demircan, R., ve Kaplan, G. (2017). A Study on the Use of Advanced Nondestructive Testing Methods on Historic Structures. *3rd International Sustainable Buildings Symposium*.
- Konak, A., Karahan, G., ve Gedük, S. (Aralık 2022). Açık Hava Koşullarında Sergilenen Taş Eserlerde Bozulma - Bozunma Süreçleri ve Koruma Yöntemleri. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 194-226.
- Korkmaz, Ö. E. (2010). Uçaklarda Kullanılan Alüminyum Malzemelerdeki Korozyonun İncelenmesi, Önlenmesi ve Tahribatsız Muayene ile Tespiti. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Kozlu, H. (2010). Kayseri Yöresindeki Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü mimarlık Anabilim Dalı Doktora Tezi*.
- Kumar, S., ve Mahto, Dalgobing. (2013). Recent Trends In Industrial And Other Engineering Applications Of Non Destructive Testing: A Review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 183-195.
- Kuran, F., ve Dabanlı, Ö. (2016). Tarihi Yığma Yapıların Mekanik ÖzelliklerininYerinde Yaapılan Flat-Jack (Yassı Kriko) Deneyi ile Belirlenmesi. *Vakıf Restorasyon Yıllığı, Sayı.12*, 180-187.
- Kurt, B. B., Kadioğlu, S., ve Ekincioglu, E. E. (2009). Yer Radarı Yöntemi ile Gömülü Boruların Konum, Büyüklük ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 30(1), 45-57.
- Kuşaslan, D. (2002). Yapıda Durabilite ve Hasar Analizi, Alçılı Kerpiç Yapı Örneği Üzerinde İncelenmesi. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Kuşaslan, D. (2002). Yapıda Durabilite ve Hasar Analizi, Alçılı Kerpiç Yapı Örneği Üzerinde İncelenmesi. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Kuzuimamlar, D. (1995). Kagir Tarihi Yapılarda Nem Problemlerinin Teşhis ve Çözümü. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.

- Leucci, G., Masini, N., ve Persico, R. (2012). Time-Frequency Analysis of GPR Data to Investigate the Damage of Monumental Building. *Journal of Geophysics and Engineering*, 81-91.
- Lourenço, P. B. (1998). Experimental and Numerical Issues in the Modelling of the Mechanical Behavior of Masonry. *Structural Analysis of Historical Constructions II*. Barcelona.
- M. Schuller, P. E. (2006). Nondestructive Testing and Damage Assessment of Masonry Structures. *In-Situ Evaluation of Historic Wood and Masonry Structures* (s. 67-86). Prague: NSF/RILEM Workshop.
- Mahrabel, H. A. (2006, Haziran). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Makkawi, M. H. (2003). Integrating GPR and Geostatistical Techniques to Map the Spatial Extent of A Shallow Groundwater System. *Journal of Geophysics and Engineering*, 56-62.
- Malhotra, V. M. (2004). Surface Hardness Methods. V. M. Malhotra, ve N. J. Carino içinde, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. CRC Press.
- Malhotra, V. M., ve Currence, G. G. (2004). Penetration Resistance Methods. V. M. Malhotra, ve N. J. Carino içinde, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. CRC Press.
- Marhinto, E., ve Dionisio, A. (2014). Main Geophysical Techniques Used for Non-Destructive Evaluation in Cultural Built Heritage: A Review. *Journal of Geophysics and Engineering*, 11(5), 1-15.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). Metal Teknolojisi Tahratsız Muayene. Ankara.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2012). Uçaklarda Tahratsız Muayene. Ankara.
- Namlı, M. (2001). Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Ngan-Tillard, D. J., Engin, H. K., Verwaal, W., Mulder, A., Ulusay, R., ve Erguler, Z. A. (2012). Evaluation of Micro-Structural Damage Caused by Needle Penetration Testing. *Bull Eng Geol Environ*, 71, 487-498.
- Okumuş, M. (2021). Brüt Beton Yapılardaki Bozulma Tiplerinin Tahratsız Muayene Yöntemleri ile Tespiti ve Onarım Yöntemleri: Ankara Örneği . *Çankaya*

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Okutmuşur, R. (2024). Diyarbakır Mardin Kapı-Yeni Kapı Arası Sur Duvarlarındaki Tuğla Malzemenin Kullanım Alanları ile Fiziksel-Mekanik Özelliklerinin Tespiti ve Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.*

Onursal, M. (2000). Uçaklarda Kullanılan Metal Malzemelere Uygulanan Tahribatsız Muayeneler. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.*

Öcal, A., ve Dal, M. (2012). *Doğal Taşlardaki Bozunmalar*. Kırklareli: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.

Öter, N. (2021). Anadolu Şelçuklu Mimarisinde Tuğla Kubbeler. *Gazi Türkiyat*, 28, 103-114.

Özata, Ş. (2015). Kapadokya Bölgesi Oyma Yapı Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.*

Özdemir, S. (2019). Kil İçeren Kayaların Dağılma Özelliklerinin Arazi Koşullarında İncelenmesi. *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.*

Özdoğan, D. B., ve Okuyucu, D. (2018). Beton Schmidt Çekici Kullanılarak Yığma Duvar Mekanik Özellikleri Belirlenebilir mi ? Tarihi Erzurum Kadana Cami Uygulaması. *IV. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi*, (s. 799-806). Erzurum.

Özel, Ü. (2022). Fetihden Kalma Kutsal Bir Hikaye Hz. Süleyman Cami. *Diyarbakır Kültür ve Medeniyetler Dergisi*, (5), 32-38.

Özen , F., ve Akyol, A. A. (2024). Demr Eserlerde Temel Arkeometrik Analizler: X-Ray Radyografi. *Ege 11. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi* (s. 247-264). İzmir: Academy Global Congress & Journals.

Özer, S. (2006). Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Elemanların Analizi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.*

- Özsaraç, S. (2009). Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların GFRP ile Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İnceklenmesi. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Özyılmaz, H. (2007). Diyarbakır Geleneksel Konut Mimarisinde Morfolojik Analiz: Geleneksel Konutların Güncel Kullanımda Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Özyılmaz, H., ve Sahil, S. (2017). Sosyal Yapı Değişiminin Mimari Yapıya Yansıması: Diyarbakır Örneği. *Megaron*, 12(4), 531-544.
- Pala, Y., ve Koç, İ. (2022). Tarihi Kargir Yapıların Zemin Suyundan Kaynaklı Bozulmaların Tespitine İlişkin Yöntemler. *1. Uluslararası Mimarlık, Sanat ve Tasarım Sempozyumu*, (s. 265-290).
- Pamuk, E., ve Büyüksaraç, A. (2017). Investigation of Strength Characteristics of Natural Stones in Ürgüp (Nevşehir/Turkey). *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 7(2), 74-79.
- Parla, C. (1990). Türk-İslam Şehri Olarak Diyarbakır. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Arkeoloji-Sanat Tarihi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Parla, C. (2005). Diyarbakır Surları ve Kent Tarihi. *ODTÜ MFD* 22(1), 57-84.
- Payaslı Oğuz, G., ve Halifeoğlu, F. M. (2017). Geleneksel Diyarbakır Evlerinde Yapım Tekniği ve Malzemede Koruma Sorunları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(2), 345-358.
- PCE Instruments. (2024). PCE Teknik Cihazlar Paz. Tic. Ltd.Şti.: <https://www.pce-instruments.com/turkish/> adresinden alındı
- Pehlivan, G. F. (2023). Pehlivan, G.F. Condition and characterization analysis of a twentieth century cultural heritage through non-destructive testing (NDT) methods: the case of the Sivas industry school ironworking atelier in Turkey. *Heritage Science*.
- Rajendran, V. (2012). *Engineering Physics*. Tata McGraw Hill.
- RTI Laboratories. (2024). <https://rtilab.com/techniques/sem-eds-analysis/> adresinden alındı
- Salma, A. (2011). Tahribatsız Muayene Metotları ve Doğalgaz Boru Hatlarındaki Kaynaklı Bağlantıların Radyografik Araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

- Sarıçiçek, I. (2014). Mühendislik Problemlerinde GPR Yöntemi. *Jeofizik Mühendisliği Eğitimi Sertifika Programı Kurs Notları*. Gümüşhane: Gümüşhane Üniversitesi Sürekli Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi.
- Schabowicz, K. (2019). Non-Destructive Testing of Materials in Civil Engineering. *Materials*, 12(19), 2-13.
- Seçim, C. (2011). Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Uygulama Alanları. *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Seçkin, N. P. (2017). Tarihi Ahşap Yapıların Değerlendirme İlkeleri. *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, Sayı:15, 8-13.
- Sert, Ö. F., Binan, C. Ş., ve Aras, S. (2024). Klasik Dönem (15. yy - 17. yy) Osmanlı Anıt Mimarisinde Kullanılan Strüktürel Demir Elemanların Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Tespiti, Sultan Ahmet Camii Üzerinden Bir Kesit. *The Journal of Academic Social Science Studies*, Yıl: 17 - Sayı: 99, 265-280.
- Sesigür, H., Çelik, O., ve Çılı, F. (2007). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme. *Yapı Dergisi*, Sayı:303.
- Silvan Sanayi A.Ş. (2024). Tahribatsız Muayene Yöntemleri.
- Snethlage, R. (2014). Natural Stones in Architecture: Introduction. S. Siegesmund, ve R. Snetlage içinde, *Stone in Architecture Properties, Durability*. Springer.
- Sömer, S. (2014). Antik Yapılarda Kullanılan Tuğla Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Saptanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Şahin Kılavuz, F., ve Şen, M. (2021). Dünyanın Zaman Kapsülü: Zirkon. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, (32), 25-39.
- Takahaski, T. (2004). Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering. *Rock Mechanics and Mining Science*, 41, 885-914. *Rock Mechanics and Mining Science*, 41, 885-914.
- Tanaç Zeren, M. (2010). *Tarihi Çevrede Yeni Ek ve Yeni Yapı Olgusu Çağdaş Yaklaşım Önerileri*. İstanbul: Yalın Yayıncılık.
- Tanrıverdi, Ş., Çelik, T., Ural, A., ve Fırat, F. K. (2022). Kenet Genişliğinin Yığma Taş Blokların Kayma Davranışı Üstündeki Etkisinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (10), 1811-1825.
- (2016). *Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu*.

- Tavukçuoğlu , A., Caner, E. N., Akoğlu, K. G., Işıkoğlu, M., ve Caner, E. (2011). In Situ Examination of Nemrut Dağ Sandstone and Limestone Statues by Ndt Methods. *Proceedings of International Conference on “Jardins De Pierres – Conservation of stone in Parks, Gardens and Cemeteries”*, (s. 204-213). Paris.
- Technology Directorate Architectural and Engineering Services Real Property Services Branch. (2002). Guidelines for the Seismic Assesment of Stone-Masonry Structures. Hull, Qubec.
- Tellioğlu, S., ve Satıcı, B. (2023). Tarihi Yapılarda Restorasyon Tekniklerine Göre Uygulanacak Malzemelerin Belirlenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 6(1), 37-49.
- Temel, R. (2023). Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Korunmasına Yönelik Analitik Bir Yaklaşım. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Tepe, E. (2009). Yüzey Tahribatsız Muayene Metotları. *Mühendis ve Makina Cilt:50 Sayı:597*, 24-29.
- Top, M., ve Koç, E. (2011). Diyarbakır'ın Osmanlı Dönemi Öncesi Cami ve Mescitleri. İ. Yıldız içinde, *Medeniyetler Mirası Diyarbakır Mimarisi* (s. 227-256). Diyarbakır: T.C. Diyarbakır Valiliği.
- Topuz, A. (1993). *Tahribatsız Muayeneler*. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Török, A., ve Prikryl, R. (2010). Current Methods and Future Trends in Testing, Durability Analyses and Provenance Studies of Natural Stones Used in Historical Monuments. *Engineering Geology* 115 , 139–142.
- TUA. (2024). Türkiye Uzay Ajansı: <https://tua.gov.tr/tr/blog/havacilik-ve-teknoloji/dalgalar-ve-elektromanyetik-tayf-spektrum> adresinden alındı
- Tuğla, R., Kılıç Demircan, R., ve Kaplan, G. (2010). In Situ Examination of Structural Cracks at Historic Masonry Structures by Quantitative Infrared Thermography and Ultrasonic Testing. *JOURNAL OF MODERN OPTICS*, 1779–1789.
- Tuğrul, B. (1992). Tarihi Eserlerin Radyografi Tekniği ile Değerlendirilmesi. *Bilim ve Teknik* .
- Tuncer, O. C. (1996). *Diyarbakır Camileri Mukarnas Geometri Orantı*. Diyarbakır: Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Kültür Sanat Yayınları.
- Tuncer, O. C. (1999). *Diyarbakır Evleri*. Diyarbakır: Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Kültür Sanat Yayınları.

Tuncer, O. C. (2012). *Diyarbakır Surları*. Ankara: T.C. Diyarbakır Valiliği Kültür Sanayi Yayınları:6.

Türk Standardı TS EN 1991-1-1-4. (2007). *Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4: Genel Etkiler - Rüzgar Etkileri*. Türk Standardları Enstitüsü.

Türkiye Kültür Portalı. (2024). <https://www.kulturportali.gov.tr/portal/catalhoyukneolitikkenti> adresinden alındı

Uzbaş, M. (2016). Doğaltaş Blokları İçindeki Bozuklukların Yer Radarı ile Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Madem Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

Uzun, S. (2018). Tarihi Ahşap Taşıyıcı Sistemlerinin İncelenmesi ve Boğaziçi Örneği: Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

Vatan Kaptan, M. (2010). Anıtsal Yığma Binalarda Risk Düzeyinin Tespitine İlişkin Bir Öndeğerlendirme Yöntemi. *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Doktora Tezi*.

Vatan, M., ve Arun, G. (2010). A Method for Assessing The Risk Level of Monumental Historical Structures by Visual Inspections. *Proceedings of The 14th European Conference on Earthquake Engineering (14ECEE)*. Ohrid, Macedonia.

Vikipedi Özgür Ansiklopedi. (2024). https://tr.wikipedia.org/wiki/Diyarbak%C4%B1r_%28il%29 adresinden alındı

Vikipedi Özgür Ansiklopedi. (2024). https://en.wikipedia.org/wiki/Energy-dispersive_X-ray_spectroscopy adresinden alındı

Weil, G. J. (2004). V. M. Malhotra, ve N. J. Carino içinde, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. CRC Press.

Yağcı, T., Çidem, A., ve Durmuş, H. (2018). Geçmişten Günümüze Tahribatsız Muayene Yöntemleri. *MCBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Sayı:27 Cilt:3*, 49-61.

Yakupoğlu, A. (2005). Girdap Akımı Probu ile Yüzey Çatlaklarının Algılanması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

- Yalçiner, C. Ç. (2019). Coordinated Application of Structural Strengthening Injections with GPR Method for Restoration of Historical Artifacts: Example Study of Bodrum Castle. *Journal of Geophysics and Engineering*, 16(2), 325-331.
- Yalçiner, C. Ç., Gündoğdu, E., Kurban, Y. C., ve Altunel, E. (2017). Eski Eserlerdeki Tahribatların Termal Görüntüleme ve Mikrodalga Nem Ölçümleri ile Belirlenmesi: Ayasofya Müzesi Örnek Çalışması. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 3(2), 34-47.
- Yalçiner, C. Ç., Kurban, Y. C., ve Belce, E. (2018). Kargir (Yığma) Yapılarda Uygulanan Güçlendirmeye Yönelik Enjeksiyon Çalışmaları Öncesi ve Sonrası GPR Araştırmaları: Bodrum Kalesi Örneği. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi ATAG 22 Çalıştayı*.
- Yaşar, S. (2016). Kaya Sertliği Belirleme Deneyi (Schmidt Çekici). *Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Dersi Laboratuvarı*.
- Yıldırım, H. (2007). Yığma Yapı Elemanları İçin İzotropik Hasar Modeli Geliştirilmesi ve Sonlu Eleman Uygulamaları. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Yüzer, N. (2015). Tarihi Yapıların Tuğla Duvar Özgün Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yük Altında Davranışının Model Deneylerle Araştırılması. İstanbul: TÜBİTAK.
- Yüzer, N., ve Ekşi Akbulut, D. (2024). Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi Uygulamadan Örnekler. *Ders notu*.
- Zakar, L. (2013). Restorasyon Uygulamalarında Kullanılan Çağdaş Teknikler. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Restorasyon Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Zolfaghari, A., Zolfaghari, A., ve Kolahan, F. (2018). Reliability and Sensitivity Of Magnetic Particle Nondestructive Testing in Detecting The Surface Cracks Of Welded Components. *Nondestructive Testing and Evaluation*.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

BAŞEGMEZ, İlkay Mizgin

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans		
Lisans	Dicle Üniversitesi	2020
Lise	Diyarbakır Anadolu Lisesi	2014

İş Denevimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2023	İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü	Büro Personeli

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- İlkay Mizgin BUDAK-Nursen IŞIK, Hz. Süleyman (Kale) Cami’deki Yapısal Sorunların Gözlemsel Tespiti ve Değerlendirilmesi, Diyarbakır’ın Gelecek Tasavvuru -Şehir ve Mimari/ Kent Tarihinden Geleceğe Yolculuk Kitabı, s.157-170, ISBN: 978-625-6506-95-4, Ensar Neşriyat A.Ş., İstanbul.
- İlkay Mizgin BUDAK-Nursen IŞIK, 2024, Diyarbakır’daki 'Cumba' ve 'Kabaltı'larda Gözlemsel İncelemelerle Yapısal Sorunların ve Hasarların Tespiti, Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi, s.25-50
- İlkay Mizgin BUDAK-Nursen IŞIK, Diyarbakır Tarihi Behram Paşa Cami'deki Yapısal Sorunların Gözlemsel Tespiti ve Güçlendirme Önerileri, 2023, Dicle Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, ISARCH, Diyarbakır, s.365-375
- İlkay Mizgin BUDAK-Nursen IŞIK, Diyarbakır Suriçi Bölgesindeki ‘‘Kabaltı’’lardaki Yapısal Sorunlar ile Hasarların Gözlemsel Olarak Tespiti ve Değerlendirilmesi, 6. Uluslararası Fen Bilimleri ve İnovasyon Kongresi, 2023, ISARCH, Ankara, s.80-92

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	İlkay Mizgin BAŞEGMEZ		
Öğrenci No	22808015		
Ana Bilim Dalı	Mimarlık		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Doç. Dr. Nursen IŞIK		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Tahribatsız Test Yöntemlerinin Tarihi Yapılardaki Taş Malzemede Kullanımı ve Değerlendirilmesi: Hz. Süleyman (Kale) Cami Örneği		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	217		
Raporlama Tarihi	12.02.2025		
Benzerlik Oranı (%)	7		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 217 sayfalık kısmına ilişkin, 12/02/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından 'Turnitin' isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒ Kaynaklar hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: İlkay Mizgin BAŞEGMEZ

Tarih:17.02.2025

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Doç. Dr. Nursen IŞIK

İmza:

Tarih:17.02.2025

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Havva

İmza:

ÖZYILMAZ

Tarih:17.02.2025