

**GELENEKSEL YIĞMA YAPILARDA STRÜKTÜREL SORUNLAR
VE ÇÖZÜM YOLLARI**

Filiz KARAKUŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2012
ANKARA**

Filiz KARAKUŞ tarafından hazırlanan “GELENEKSEL YIĞMA YAPILARDA STRÜKTÜREL SORUNLAR VE ÇÖZÜM YOLLARI” adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Can Mehmet HERSEK
Tez Danışmanı, İç Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zühal Özcan
Mimarlık Anabilim Dalı, T.O.B.B. Üniversitesi

Prof. Dr. Can M. Hersek
İç Mimarlık Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Öğr. Gör. Dr., Nurçin Çelik
Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 27/01/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Filiz KARAKUŞ

**GELENEKSEL YIĞMA YAPILARDA STRÜKTÜREL SORUNLAR VE
ÇÖZÜM YOLLARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Filiz KARAKUŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2012**

ÖZET

Tarihi yapılar kültürel mirasın önemli bir parçasıdır ve bulundukları yerin ve geçmişin sosyolojik, ekonomik, kültürel ve politik öğelerini bünyesinde barındırır. Günümüz ile geçmiş arasında çok önemli bir bağ oluşturan tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması çok önemlidir.

Ülkemizdeki ve dünyadaki tarihi yapılar gerektiği gibi korunamamaktadır. Depremler, doğal afetler, olumsuz çevre koşulları ve fiziksel-kimyasal bozulmalar ve insanoğlundan kaynaklı nedenler bu yapıların bozulma sürecini hızlandırmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, strüktürel sistemi zarar görmüş tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için uygulanacak olan onarım ve güçlendirme yöntemlerinin araştırılması ve bu konuda çalışan uzmanlara yardımcı olunmasıdır.

Bu çalışma kapsamında,

- Tarihi yapılarda görülen hasar çeşitleri ve nedenleri,
- Günümüzde uygulanan hasar tespit yöntemleri,
- Tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemleri örnekleriyle birlikte incelenmiştir.

Çalışmanın sonuç bölümünde ise, bu inceleme ve araştırmalar neticesinde eski eser bir yapıya müdahale etmeden önce ve müdahale aşamasında yapılması gereken ve dikkat edilmesi gereken hususlar özetlenmiştir.

Bilim Kodu : 803.1.085
Anahtar Kelimeler : Tarihi yapılar, güçlendirme, strüktürel sorunlar
Sayfa Adedi : 186
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Can M. HERSEK

STRUCTURAL PROBLEMS AND THE SOLUTIONS OF THE TRADITIONAL BUILDINGS

(M.Sc. Thesis)

Filiz KARAKUŞ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

Historical buildings compose an important part of the cultural heritage. They reflect the sociological, economical, cultural and political elements of the past and the places in which they are situated. They are significant links between the past and the present. Therefore, it is crucial to protect them and pass them on to the next generations.

The historical buildings in our country and in the world are not protected as good as they should be. Earthquakes, natural disasters, adverse environmental conditions, physical-chemical decays and causes resulting from human beings accelerate the decay process of these buildings.

The aim of this study is to investigate the restoration and strengthening methods which will be applied to protect the historical buildings whose structural systems have been damaged so that they can be passed on to the next generations and to assist the experts working on this subject.

In this study,

- **Kinds of damage seen in historical buildings and their reasons,**
- **Current methods used to assess the damage,**
- **Restoration and strengthening methods used in historical buildings have been investigated.**

In the conclusion part of the study, as a consequence of this investigation and research, the subject which should be done and taken into consideration before applications and during the intervention phase of the ancient buildings have been summarized.

Bilim Kodu : 803.1.085
Anahtar Kelimeler : Historical buildings, strengthening, structural problems
Sayfa Adedi : 186
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Can M. HERSEK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Sn. Prof. Dr. Can M. HERSEK'e, katkılarından dolayı iş arkadaşlarım İnşaat Mühendisi Sn. Oğuzhan HARMAN'a ve Y. Mimar Sn. Aslı APAYDIN ÖZDEMİR'e, bilgi ve belge temininde yardımcı olan Vakıflar Bölge Müdürlüklerine ve bana her zaman destek olan sevgili eşim Serkan KARAKUŞ'a, kardeşime ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	72
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	iv
RESİMLERİN LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ VE NEDENLERİ	3
2.1. Tarihi Yığma Yapılarda Görülen Hasar Türleri	3
2.1.1. Çatlaklar	3
2.1.2. Ezilmeler	11
2.1.3. Ayrışmalar	11
2.1.4. Parça kopması	12
2.1.5. Kayma	13
2.1.6. Ayrılma.....	14
2.1.7. Sehim.....	14
2.1.8. Burkulma	15
2.1.9. Devrilme ve şakülünden sapma.....	15
2.1.10. Şişme	17
2.1.11. Yıkılma.....	17
2.2. Tarihi Yığma Yapılarda Görülen Hasarın Nedenleri	19
2.2.1. Zemin	19

	Sayfa
2.2.2. Doğal afetler	21
2.2.3. Uzun süreli doğal etkenler.....	23
2.2.4. Taşıyıcı sistem tasarımındaki hatalar	28
2.2.5. Hatalı malzeme kullanımı	29
2.2.6. İnsanların neden olduğu hasarlar.....	30
2.2.7. Kötü işçilik ve detay kullanımı	31
3. TARİHİ YAPILARDA HASAR TESPİT YÖNTEMLERİ VE MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	32
3.1. Tarihi Yapılarda Temel Zemininin Araştırılması.....	33
3.1.1. Zeminin incelenmesi	34
3.1.2. Deneylerin yapılması.....	36
3.1.3. Uygulama örneği	42
3.2. Üst Yapı İle İlgili Sorunların Araştırılması	45
3.2.1. Yapı ilgili yerinde (in-situ) yapılan deneyler	45
3.2.2. Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler.....	52
3.2.3. Uygulama örneği	59
3.3. Uygulama Örneği	45
4. TARİHİ YIĞMAYAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ	72
4.1. Tarihi Yapının Yapıldığı Malzemenin ve Taşıyıcı Sistemin Sağlamlaştırılması.....	72
4.1.1. Değiştirme-yenileme ve tamamlama.....	73
4.1.2. Takviye-güçlendirme	77
4.1.3. Deformasyon-sorun kaynağına çözüm geliştirme.....	111
4.2. Temelin Sağlamlaştırılması	119
4.2.1. Geleneksel yöntemler	120
4.2.2. Zemin iyileştirmesine dayanan yöntemler	124
4.2.3. Temel yüklerinin daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılması ..	135
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	149
KAYNAKLAR	153
EKLER	158

	Sayfa
EK-1 Arazide yapılan inceleme deneyleri	159
EK-2 Laboratuarda yapılan deneyler	164
EK-3 Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler	170
EK-4 Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler	178
 ÖZGEÇMİŞ	 183

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Arazi deneyleri.....	38
Çizelge 3.2. Laboratuarda yapılan deneyler.....	41
Çizelge 3.3. SPT deneyi özet bilgileri.....	44
Çizelge 3.4. Tek eksenli basınç deneyi özet bilgileri.....	44
Çizelge 3.5. Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler.....	51
Çizelge 3.6. Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler	58
Çizelge 3.7. Örneklerin birim hacim ağırlığı (g/cm^3) ve gözeneklilik (%hacim) değerleri.....	62
Çizelge 3.8. İnce agregaların ($<125\mu\text{m}$) puzolanik aktivite değerleri	64
Çizelge 3.9. Asitte çözünmeyen tane oranı (% g).....	64
Çizelge 3.10. Yer altı su seviyesi kotları.....	69
Çizelge 3.11. Alınan sıva örneklerinin birim hacim ağırlığı (g/cm^2) ve gözeneklilik (%hacim) değerleri.....	71
Çizelge 3.12. Örneklerin ultrasonik hız değerleri	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kargir strüktürlerde çatlak ve deformasyonlar	4
Şekil 2.2. Temel oturma çatlakları	5
Şekil 2.3. Temel oturma çatlakları	6
Şekil 2.4. Duvarda tek yönlü eğik çatlaklar	8
Şekil 2.5. Deprem (X) çatlakları	9
Şekil 2.6. Ezilme öncesi çatlaklar	11
Şekil 2.7. Bir döşemenin sehim yapması	15
Şekil 2.8. Piza kulesi kesit	16
Şekil 2.9. Basınçtan şişmiş tuğla duvar.....	17
Şekil 2.10. Düşey yükler altında şişmiş taş duvar.....	17
Şekil 2.11. Yüklerin uygulanması ile ilgili oturmalar.....	20
Şekil 2.12. Kazılardan dolayı olası farklı oturmalar	20
Şekil 2.13. Temellerin oturması ve olası basınç dağılımları	20
Şekil 3.1. Diyarbakır Melik Ahmet Camii araştırma sondajı ve araştırma çukuru planı.....	43
Şekil 3.2. Edirne Ayşe Kadın Camii çatlak genişliği değişimi	46
Şekil 3.3. Bir binanın temellerin altındaki tünel çalışmaları sırasındaki hareketlerin kaydı.....	50
Şekil 3.4. Çekme testi: çekme konisinin farklı şekilleri.....	51
Şekil 3.5. Tane büyüklüğü dağılımı	64
Şekil 3.6. AC13P, AC13 nolu örneğin 125µm altı asitte çözülmeyen parçacıklarının XRD izi	65

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. AC14P, AC14 nolu örneğin 125µm altı asitte çözülmeyen parçacıklarının XRD izi	65
Şekil 3.8. Sondaj yerleri	67
Şekil 3.9. A-A Kesiti	67
Şekil 3.10. B-B Kesiti	67
Şekil 3.11. C-C Kesiti	68
Şekil 3.12. D-D Kesiti	68
Şekil 4.1. Taşlarda tekrar derzleme	75
Şekil 4.2. Donatılı derzleme	76
Şekil 4.3. Kılcal çatlak onarımı	79
Şekil 4.4. Taş duvarlarda düşey çatlakların dikiş yöntemi ile onarımı	80
Şekil 4.5. Köşelerin çelik dikiş kullanılarak güçlendirilmesi	81
Şekil 4.6. Duvarlar ve kemerler arasındaki kesme kuvvetlerinin düzeltilmesi	82
Şekil 4.7. İki duvar arasındaki bağlantılar	82
Şekil 4.8. Orta genişlikteki çatlakların onarımı	82
Şekil 4.9. Kemerlerde gergi uygulaması	86
Şekil 4.10. Duvarların gergi demirleri ile güçlendirilmesi	87
Şekil 4.11. Duvardaki çatlakların onarımında gergi demirleri kullanılması	87
Şekil 4.12. Mihrimah Sultan Camii mihrap cephesi gergi düzenlemesi görünüş ...	88
Şekil 4.13. Mihrimah Sultan Camii mihrap cephesi gergi düzenlemesi plam	88
Şekil 4.14. Gerginin; manşonlu eki ile ağırlık kulesine mesnetlenme detayı	89
Şekil 4.15. (a) Kolonların çemberlemesi (b) Duvarların çemberlenmesi	91
Şekil 4.16. Lifli polimer uygulama detayı	94

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Kubbede uygulanacak kasnak ve gergi sistemi	97
Şekil 4.18. Üsküp Mustafa Paşa Camii pencere CFRP uygulama detayı	100
Şekil 4.19. İstanbul Vefa Lisesi, iki ve üç duvarın birleşim yerine ait püskürtme beton detayı	101
Şekil 4.20. Çelik levhalarla kuşaklama	102
Şekil 4.21. Ön gerilmeli halatlardaki gerilme seviyelerinin izlenmesi	104
Şekil 4.22. San Carlino Kilisesi ışınsal ön germeli çubukları görsen tonoz planı ve kesiti	105
Şekil 4.23. Tonozun yükünü alan bir duvarı desteklemek için ön germeli halatlar	105
Şekil 4.24. Kubbede dıştan çekme çemberi uygulaması.....	106
Şekil 4.25. Kubbede çekme çemberi A detayı	106
Şekil 4.26. Kubbede çekme çemberi B detayı	107
Şekil 4.27. Piza Kulesi ankrajı	108
Şekil 4.28. a) duvarın tepesinde betonarme hatıl, b) hatılı duvara bağlayacak çubuklar c) çatıyı hatıla bağlayacak pim, çivi d) alınlığı mahya kirişine bağlamak için pimler e) yatay bağ çubukları f) dikey bağ çubukları g) pencere altlarındaki bölgeleri sabitlemek için çelik çerçeveler h) çatıyı sabitlemek için çelik çubuk veya ahşap payanda	109
Şekil 4.29. Deprem davranışının iyileştirilmesi için yatay ve düşey bağlantılar	109
Şekil 4.30. Taş ekleme yöntemi	110
Şekil 4.31. Duvar köşelerinde oluşturulacak kolon için yapılan hazırlık	110
Şekil 4.32. Duvarda kolon oluşturulması.....	110
Şekil 4.33. Tonoz üzerinde ince betonarme katman	111
Şekil 4.34. Cenova Düklük Sarayı tonozlarının güçlendirilmesi	113
Şekil 4.35. Edirne Muradiye Camii, temel detayı	122

Şekil	Sayfa
Şekil 4.36. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii tamamlanan kuyu planları	123
Şekil 4.37. Enjeksiyon sistemleri şematik gösterimi	126
Şekil 4.38. Emdirme enjeksiyonu uygulama alanı	127
Şekil 4.39. Kademeli enjeksiyon işlemi	128
Şekil 4.40. Düşey yönde çatlakların oluşumu ve yatay sıkıştırma.....	128
Şekil 4.41. Kompaksiyon enjeksiyonu uygulama alanı	129
Şekil 4.42. Jet grouting süreci	133
Şekil 4.43. Temel jet grouting sistemleri	134
Şekil 4.44. Mini kazık yapım aşamaları	136
Şekil 4.45. Tip 1 mini kazık uygulaması.....	137
Şekil 4.46. Tip 2 mini kazık uygulamaları	137
Şekil 4.47. Enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırma	138
Şekil 4.48. Cenabı Ahmet Paşa Camii mini kazık projesi	140
Şekil 4.49. Temeldeki ankraj, başlık kirişi ve mini kazık detayı	141

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. C.A.P.C. oturmadan kaynaklı çatlağın içeriden ve dışarıdan görünüşü	6
Resim 2.2. Çankırı Ulu Camii oturma çatlağı.....	6
Resim 2.3. Oturmalarla bağlı oluşan çatlaklar	7
Resim 2.4. Duvar yüzeyinde düşey ve diyagonal çatlaklar	8
Resim 2.5. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii silmelerde diyagonal çatlak	8
Resim 2.6. Simav depreminde Halil Ağa Camiinde oluşan deprem çatlakları.....	9
Resim 2.7. Üsküp Mustafa Paşa Camii kubbede diagonal deprem çatlağı.....	10
Resim 2.8. Adana Yeni Camii kubbede deprem çatlakları	10
Resim 2.8. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kemer ve duvarlarda çatlaklar	10
Resim 2.9. Taş ayakta ezilme.....	11
Resim 2.10. Kayseri Melikgazi Türbesi derz boşalması örnekleri	12
Resim 2.12. Sivas Ulu Camii minare şerefesi parça kopmaları ve ayrışmalar	12
Resim 2.13. Ankara Hacı Tuğrul Kümbeti bozulmalar	13
Resim 2.14. Kemerlerde kayma problemi	13
Resim 2.15. Isparta Ertokuş Han kemerde kayma	14
Resim 2.16. Isparta Ertokuş Han duvarlarında ayrılma	14
Resim 2.17. Edirne Atik Ali Paşa Camii ahşap tavanının sehim yapması.....	15
Resim 2.18. Arslanhane Camii şakülünden sapan ahşap sütunlar	16
Resim 2.19. Sivas Ulu Camii minaresindeki düşeyden sapma	16
Resim 2.20. Beypazarı Suluhan, büyük bölümü yıkılmış han	18
Resim 2.21. Edirne Sokullu Hamamı, bir bölümü yıkılmış hamam	18

Resim	Sayfa
Resim 2.22. Ayvalık Çınarlı Camii rüzgâr sonucu yıkılan minare	18
Resim 2.23. Edirne II. Beyazıt Külliyesi	22
Resim 2.24. Edirne Kasımpaşa Camii.....	22
Resim 2.25. Polatlı Hacı Tuğrul Kümbeti bitkisel oluşumlar	24
Resim 2.26. Çankırı Ulu Camii payanda yüzeylerinde ufalanma	25
Resim 2.27. Duvar yüzeylerinde bozulma ve ufalanmalar	25
Resim 2.28. Kayseri Sahabiye Medresesi çatı akaçlama sisteminin çalışmamasından kaynaklı nem sorunu.....	26
Resim 2.29. Ankara Sultan Alaaddin Camii avlusundaki namazgahtaki tuğlalarda oluşan tuzlanma.....	27
Resim 2.30. Polatlı Hacı Tuğrul Kümbeti Vandalizm sonucu yazılan yazılar	31
Resim 2.31. İstanbul Gülhane Parkı çeşmede yazılan yazılar	31
Resim 3.1. Yıkamalı sondaj ekipmanları	35
Resim 3.2. İçi boş burgu ile sondaj ekipmanları	35
Resim 3.3. Yük altında basınç deneyi	47
Resim 3.4. Yük altında kayma dayanımı	47
Resim 3.5. Ultrases aleti ile ses geçiş sürelerinin ölçülmesi.....	48
Resim 3.6. N tipi ve P tipi Schmit çekici ile yüzey sertliğinin ölçülmesi.....	48
Resim 3.7. Endoskopik incelemeler – harç	49
Resim 3.8. Gevşeme deneyinde kullanılan bir tablalı krikon	49
Resim 3.9. Monitör araçları	50
Resim 3.10. Penetration test.....	51
Resim 3.11. Spot tuz testlerinde örneklerin pH tespitlerinin yapılması.....	53
Resim 3.12. İletkenlik ölçer ile toplam tuz içeriklerinin belirlenmesi.....	54

Resim	Sayfa
Resim 3.13. Harç ve sıvalarda asidik agrega ve bağlayıcı analizi	54
Resim 3.14. Harç ve sıva örneklerinin elekten geçirilip tartılması	55
Resim 3.15. Optik mikroskop incelemesi	55
Resim 3.16. Elektron mikroskobu incelemesi	56
Resim 3.17. Işını üreten sol üst başlık ile dedektör (sağ üst) birbirine V şeklinde bir açıyla bağlanmıştır.	57
Resim 3.18. XRF incelemesi.....	57
Resim 3.19. Tek eksenli basınç deneyi	58
Resim 3.20. Ahşap tavandan bir görünüm (solda), çerçeve içindeki alanın kızılötesi ısı görüntüsü (ortada) ve ahşap tavanda ısı dağılımını gösteren sıcaklık eğrisi	59
Resim 3.21. Arslanhane Camiinin K1 kolonunun sobaya bakan tarafı ve +1.10 m kotundaki sıcaklık dağılımı (solda), aynı kolonun arka yüzü ve aynı kottaki sıcaklık dağılımı (sağda).....	60
Resim 3.22. Arslanhane Camii İki nolu kolonun, K2, genel görünüşü (solda), kızılötesi ısı görüntüsü (sağda) ve liflere dik yönde ultrasonik hızlarını gösteren eğri (altta)	61
Resim 3.23. Arslanhane Camii minber arkasından alınan harç örneğinin (AC14) ince kesit görüntüsü.)	63
Resim 3.24. Kızılötesi görüntülerde, doğu cephesindeki pencerenin üzerindeki kemerli takip eden çatlağın derin çatlak olduğu anlaşılmıştır.....	70
Resim 3.25. Duvarların kızıl ötesi görüntülerinde dairelerle işaretlenmiş olan yüzeyler soğuk ve nemli bölgeleri göstermektedir	70
Resim 3.26. CA9 nolu örneğin ince kesit görüntüsü	71
Resim 4.1. Ankara Hacı Tuğrul Kümbeti kısmi tamamlama yapılan bölüm.....	74
Resim 4.2. Ankara Arslanhane Camii ahşap sütunlarda kısmi tamamlama	75
Resim 4.3.a. Ankara Altındağ Arslanhane Camii boşaltılmış derzleri	77
Resim 4.3.b. Ankara Altındağ Arslanhane Camii derz yapılırken.....	77

Resim	Sayfa
Resim 4.4. Malatya Battalgazi Ulu Camii kubbesi enjeksiyon hortumları.....	78
Resim 4.5. İstanbul, Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii enjeksiyon işlemi	80
Resim 4.6. İstanbul Pertevniyal Valide Sultan Camii paslanmaz çelik kenetler	81
Resim 4.7. İstanbul, Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii dikiş işlemi.....	83
Resim 4.8. Malatya Battalgazi Camii mekanik dikiş uygulaması	83
Resim 4.9. Adana Ulu Camii ankraj tijinin atılması ve çakılmış hali.....	84
Resim 4.10. Çankırı Ulu Camii masif payandalar	85
Resim 4.11. San Vitale Kilisesi uçan payandalar	85
Resim 4.12. Gergilerin ankrajı	86
Resim 4.13. Edirne Üç Şerefeli Camii gergi düzenlemesi.....	86
Resim 4.14. Mihrimah Sultan Camii gergi düzenlemesi	89
Resim 4.15. Ayşe Kadın Camii çelik gergilerle kuşaklama	90
Resim 4.16. Uygulama detayları.....	91
Resim 4.17. Edirne Üç Şerefeli Camii sütunları çemberleme uygulaması.....	92
Resim 4.18. Çemberlitaş görüntüleri	93
Resim 4.19. Uygulanan çemberler	94
Resim 4.20. İstanbul Hazine-i Evrak binası yapısal çatlakların karbon fiber ile onarılması.....	95
Resim 4.21. İstanbul Yavuz Sultan Selim Camii karbon fiber uygulaması.....	95
Resim 4.22.a. Paslanmaz gergi ve siliskumu ile kumlama	98
Resim 4.22.b. Birleşim yeri bulonları	98
Resim 4.23. Kurşun örtü yapılması.....	98
Resim 4.24. Mustafa Paşa Camii kubbede karbon lif uygulaması.....	99

Resim	Sayfa
Resim 4.25. İstanbul, Kabataş Erkek Lisesi duvarlara çelik hasır ve ankrajların yerleştirilmesi ve püskürtme betonunun tamamlanması...	101
Resim 4.26. Sivas Divriği Ulu Camii minare kaidesinde genişletme	102
Resim 4.27. St. Ignatio kubbesindeki halatların yerleştirilmesi.....	104
Resim 4.28. Dikey halatlarla gerçekleştirilen güçlendirme	104
Resim 4.29 Mihrimah Sultan Camii ana kubbe eteğinde uygulanan çekme çemberi	107
Resim 4.30. Kayseri Gubaroğlu Mescidi beton atılmış kubbe	111
Resim 4.31. İtalya Modena Düklük Sarayında yapılan uygulama.....	112
Resim 4.32. Tonozu desteklemek için olan yayların ve çelik kirişlerin detayı.....	113
Resim 4.33. Monforte Lemos Kardenal Kolejinin merdivenlerindeki deformasyonu düzeltmek için olan geçici strüktür ve krikolar.....	114
Resim 4.34. Aşağıdaki krikoların etkisini iyileştirmek için konan diğer krikolar ..	114
Resim 4.35. Kauçuk esaslı sismik izolatör.....	115
Resim 4.36. Sürtünme esaslı sismik izolatörler	116
Resim 4.37. Enerji sönmölendirici cihazlar	116
Resim 4.38. Vibrasyon kontrol cihazları.....	116
Resim 4.39. Üsküp Mustafa Paşa Camii su yalıtım uygulaması.....	118
Resim 4.40. Üsküp Mustafa Paşa Camii drenaj çalışması	118
Resim 4.41. Geleneksel yöntemle çukur açılması	121
Resim 4.42. Edirne Muradiye Camii ampartman teşkili ve kalıbın sökölmesi.....	122
Resim 4.43. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kuyu temel uygulaması.....	124
Resim 4.44. Diyarbakır Melik Ahmet Camii kimyasal enjeksiyon işlemi	131
Resim 4.45. Diyarbakır Melik Ahmet Camii kimyasal enjeksiyon işlemi	131

Resim	Sayfa
Resim 4.46. Kırıkkale Yeşilyazı Camii fore kazık uygulamaları	139
Resim 4.47. Açılan gözlem çukuru	142
Resim 4.48. Kazı yapılan makine	142
Resim 4.49. Delme işlemi yapılan kazık yeri	142
Resim 4.50. Mini kazık donatısının yerleştirilişi	143
Resim 4.51. Mini kazık beton imalatı	143
Resim 4.52. Kazı sırasında ortaya çıkan ahşap kazıklar ve yeni imalatı yapılan mini kazıklar.....	144
Resim 4.53. Kazı çalışmaları	144
Resim 4.54. Başlık kirişi kalıp, donatı ve beton imalatı	145
Resim 4.55. Açılan enjeksiyon delikleri ve hortumlar ve enjeksiyonun basıldığı makine	146
Resim 4.56. Ankraj imalatı	146
Resim 4.57. Temelde horosan sıva ve likit membran uygulaması.....	146
Resim 4.58. Drenaj çalışmaları	147

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

Hz

Hertz

sn

Saniye

m

Metre

ΔL , mm

Boy değişimi

Mpa

Megapaskal

Kısaltmalar

Açıklama

ODTÜ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

C.A.P.C.

Cenab-ı Ahmet Paşa Camii

1. GİRİŞ

Tarihi yapıların geçmiş ile bugün, bugün ile gelecek arasında önemli bir işlevi olup kültürel mirasımızın en önemli parçalarıdır. Geçmişteki sosyolojik, ekonomik, politik ve dinsel yaşam hakkında pek çok bilgi aktarmaktadırlar. Bu nedenlerden dolayı tarihi çevreyi oluşturan kültür değerlerini yaşatmak ve bunları özgün nitelikleriyle gelecek nesillere aktarmak korumacılık alanındaki en önemli sorunlardan biridir.

Tarihi yapıların ayakta kalma süreleri zemin problemleri, depremler gibi doğal afetler, çevre ve doğa koşulları, fiziksel ve kimyasal etkiler ile insanların neden olduğu hasarlar gibi pek çok faktöre bağlıdır. Ülkemizde tarihi yapıların büyük bir çoğunluğu strüktürel açıdan iyi durumda değildir, bu yapılar ihmal, yanlış strateji, kasıt ve bilgisizlikle tahrip edilmiş ve kullanılamayacak duruma gelmiştir. Sözü edilen nedenlerden dolayı taşıyıcı sistemlerinde ciddi sıkıntılar ortaya çıkmıştır. Çeşitli medeniyetlerin izlerini taşıyan ülkemizde, günümüze kadar ulaşan zengin mimari mirasın korunması ve onarımı çok önemlidir.

Bu yapıların her birinin tarihi, mimari ve artistik değeri farklı olduğu gibi malzeme özellikleri, yapım teknikleri, taşıyıcı sistem özellikleri ve maruz kaldığı bozucu etkiler de farklıdır. Bu nedenle üzerinde çalışılacak, müdahale edilecek her yapı için ayrıntılı malzeme ve taşıyıcı sistem analizleri yapılmalıdır.

Tarihi yapılarda ortaya çıkan hasarların nedenleri araştırılmadan yapılan onarımlar olumlu sonuç vermeyecektir. Bunun için onarım ve güçlendirme aşamasından önce, yapının bir sanat eseri olarak ayrıntılı tanımı yapılmalıdır. Yapının zemin özellikleri, taşıyıcı sistemi, taşıyıcı sistemde oluşan hasarlar, kullanılan malzemeler ve özellikleri tamamen incelenmelidir. Gerekli incelemeler yapılmaması durumunda, koruma amacıyla yapılan uygulamalar istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Yapılan çalışmalarda restorasyon uygulamalarının disiplinlerarası bir çalışma olduğu göz ardı edilmemelidir.

Burada takdim edilen tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Tezin esas amacı, tarihi yapıların günümüzden geleceğe aktarılmasını sağlayacak onarım ve güçlendirme yöntemleri hakkındaki bilgilerin derlenmesi ve bu yöntemlerin hangi durumlarda ve nasıl uygulandığı konusunda bilgi verilmesidir. Bunun için öncelikle ülkemizde ve diğer ülkelerde uygulanan güçlendirme teknikleri incelenmiş ve gruplandırılmıştır. Söz konusu yöntemlerin ne amaçla kullanıldığı, uygulamanın nasıl yapıldığı anlatıldıktan sonra bu yöntemlerin uygulandığı birer örnek verilmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin uygulanmasının avantaj ve dezavantajları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bu tez kapsamında öncelikle tarihi yapılarda görülen hasar türleri ve nedenleri örnekleriyle beraber açıklanmıştır. Üçüncü bölümde tarihi yapılarla ilgili bilgi edinme ve hasar tespit yöntemleri açıklanmış ve uygulama örnekleri verilmiştir.

Tez çalışmasının son bölümünde ise onarım ve güçlendirme yöntemleri gene uygulama örnekleri ile birlikte ele alınarak irdelenmiştir.

2. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ VE NEDENLERİ

Binaların yapısal davranışı, kullanılan malzeme özellikleri, form ve ölçüler ile farklı elemanların birleşimlerine bağlıdır. Yapısal davranışın zarar verici şekilde değişmesi, mekanik hareketlerin artması veya taşıyıcı sistem verimliliğinin azalmasından kaynaklanır [17].

Bu bölümde tarihi yapılarda görülen hasar türleri ve nedenleri incelenmiştir:

2.1. Tarihi Yığma Yapılarda Görülen Hasar Türleri

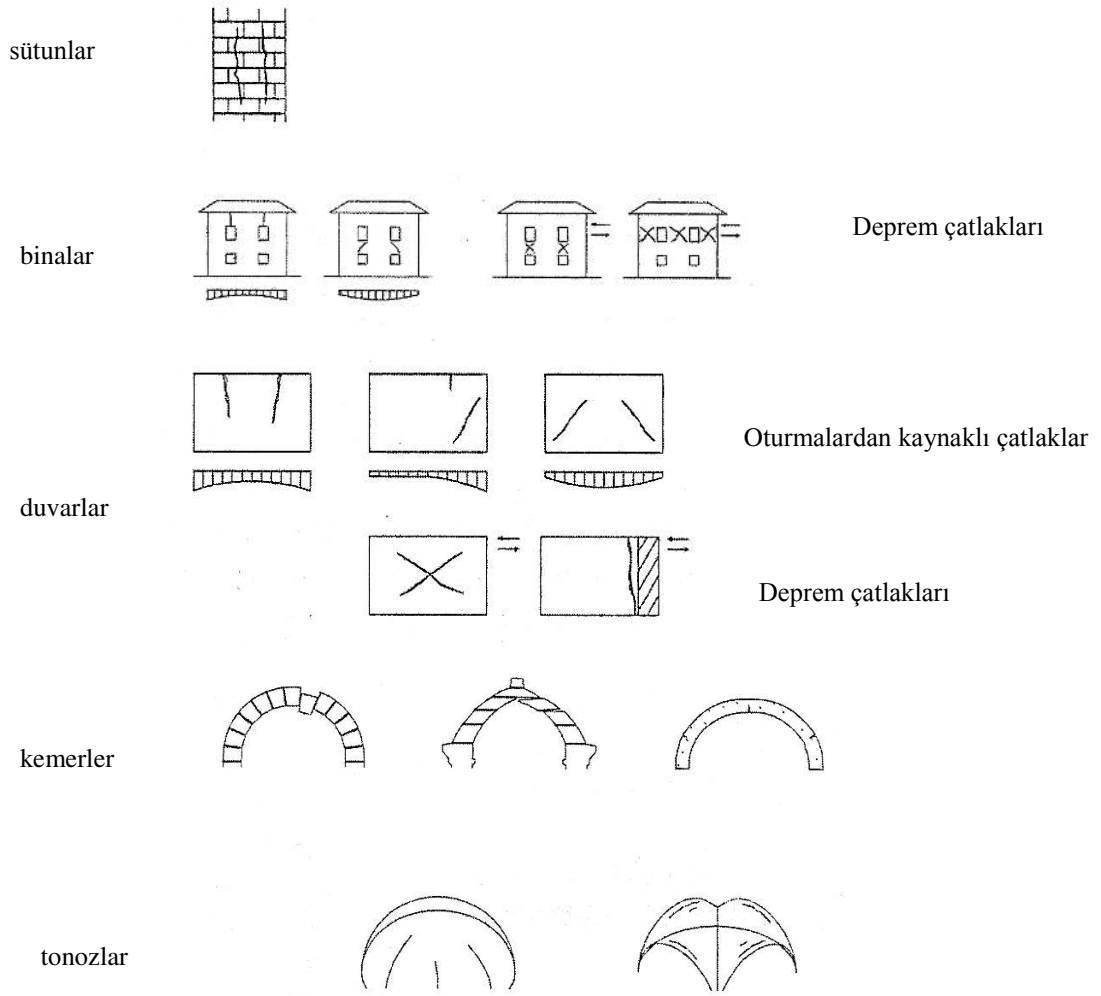
Tarihi yapılarda görülen zararın seviyesi, taşıyıcı sistemin çeşidine, oluşan hareketlerin yoğunluğu ve türüne bağlıdır. Binanın kısmi veya tamamen çökmesi önemli taşıyıcı sistem eksikliklerini veya güçlü hareketlerin olduğunu gösterir.

Tarihi yapılarda hasarlar; çatlaklar, ezilmeler, ayrışmalar, parça kopması, kayma, ayrılma, sehim, burkulma, devrilme-şakülünden sapma, şişme ve yıkılma şeklinde ortaya çıkar.

2.1.1. Çatlaklar

Yapıda oluşan hareketlerin yapı malzemesi üzerinde, beklenen deformasyon sınırını aşması ve nihayetinde bununla alakalı meydana gelen gerilmelerin, malzemenin mukavemet sınırını aşması halinde oluşurlar. Yapının çekme ve kayma gerilmelerine karşı en zayıf olduğu; çekme ve kayma zorlanmalarının maksimum olduğu bölgelerde çatlaklar meydana gelir [39].

Çatlaklar, hasarın en sık görülen işaretleridir. Burada önemli olan, çatlaklar ile yük dağılımları, olası toprak hareketleri ve depremler arasında ilişki kurmaktır. Çeşitli taşıyıcı sistemlerde görülen çatlak dağılımlarını Şekil 2.1.'deki şemalar ile izah etmek mümkündür [17].

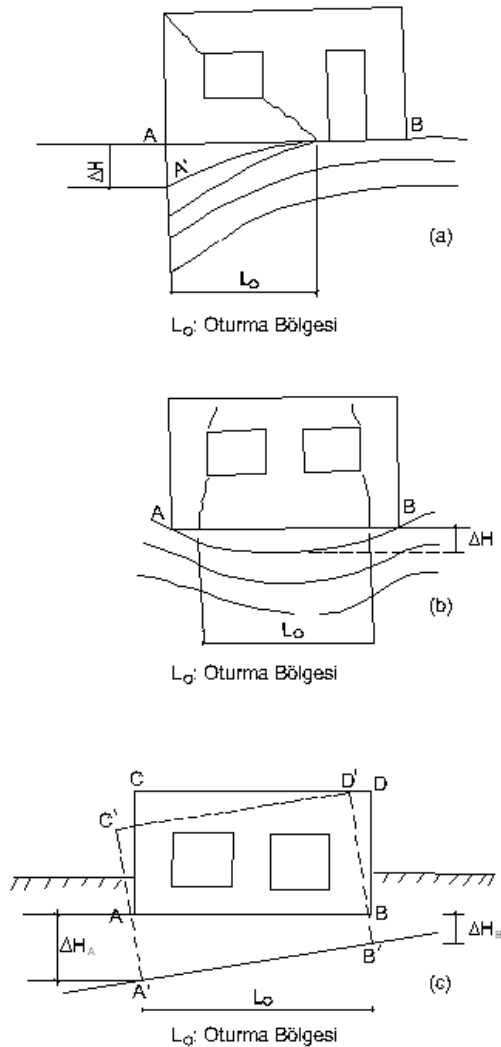


Şekil 2.1. Kargir strüktürlerde çatlak ve deformasyonlar [17]

Yığma duvarlar zemindeki oturmalarla uyum sağlayamaz ve duvarlar elastik deformasyon yapamadıkları için çatlaklar. Bunun dışında depremlerin oluşturduğu yatay ötelemeler sonucu da duvarlarda çatlaklar oluşur.

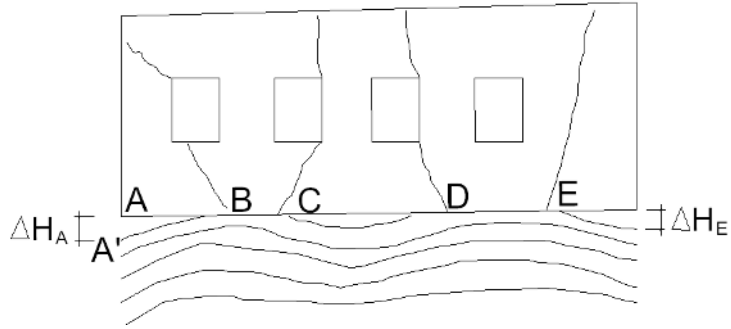
Yapı duvarlarındaki çatlaklar, yapı temellerinde bölgesel oturmalar olduğu zaman oluşabildiği gibi farklı oturmalar sonucu da oluşabilmektedir. Çatlakların yeri temel oturmasının olduğu bölümü belirlemektedir. Temel oturmaları, yeraltı sularının etkisi ile temel zemininin taşıma gücünün azalması sonucu oluşur. Özellikle yüksek plastiteli geçirimsiz killerde konsolidasyon oturması meydana gelir. Bu durumda oturmalar yavaş olur ve yapının yapımından belli bir süre sonra çatlaklar belirginleşir. Yeraltı suyunun kuruması sonucunda ise kilde büzülme oluşur ve temel

oturmaları bir süre daha devam eder. Bu nedenle kurak mevsimlerin sonuna doğru suyun azalması ile artan büzülme sonucu oturma çatlaklarının boyutu artar. A noktasında oluşan oturma sonucu yapı, Şekil 2.2.a'da görüldüğü gibi çatlamıştır. B noktasında ise bir oturma oluşmamıştır. Şekil 2.2.b.'de ise A, B noktaları arasında bir çökme biçiminde oturma olduğundaki çatlamlar görülmektedir. Yapının A, B noktalarının farklı oturmalar yapması sonucu ise Şekil 2.2.c'de görüldüğü gibi çatlamlar oluşur [20].

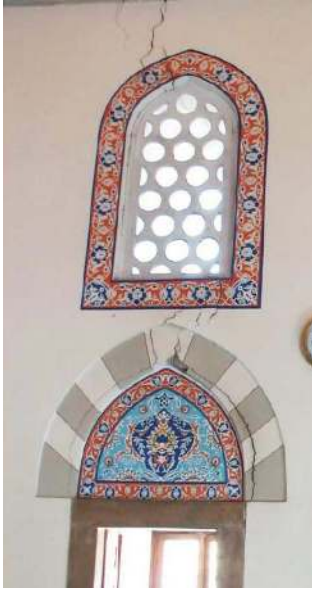


Şekil 2.2. Temel oturma çatlakları (Çamlıbel'den düzelterek)

Uzun yapılarda farklı oturmalar sonucunda çeşitli çatlaklar oluşur ve Şekil 2.3'de görüldüğü gibi yapı ayrı bölümlere ayrılmış olur.



Şekil 2.3. Temel oturma çatlakları (Çamlıbel'den düzelterek)



Resim 2.1. C.A.P.C. oturmadan kaynaklı çatlağın içeriden ve dışarıdan görünüşü, 2008 [5]



Resim 2.2. Çankırı Ulu Camii oturma çatlağı, 2008 [5]

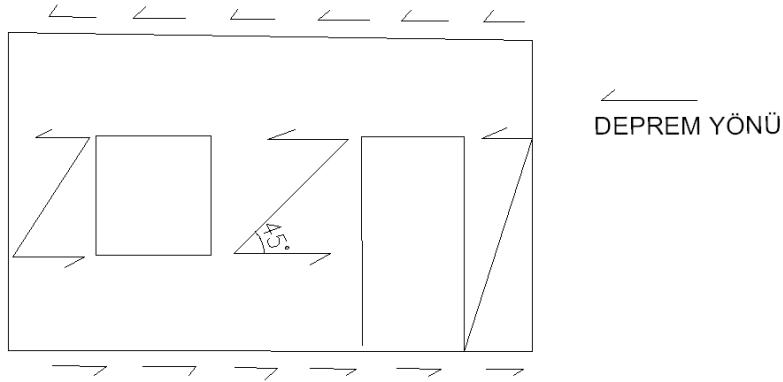


Resim 2.3. Oturmalarla bağılı oluşan çatlaklar [23]

Duvarlarda oluşan çatlaklar, gerilme yoğunluğu yüksek bölgelerde gözlenir. Kapı ve pencere kenarındaki çatlaklar, duvar düzlemine dik eğilme ya da düzlemi doğrultusunda oluşan kayma gerilmeleri nedeniyle oluşur. Kapı ve pencere boşluğu olmayan uzun duvarlarda, duvar düzlemine dik kuvvetler alt bölgede yatay çatlaklar ile duvar birleşimlerinde düşey ya da diyagonal çatlaklar oluşturur [39].

Basınç ve kayma gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgelerde paralel çatlaklar, çekme gerilmelerinin olduğu bölgelerde ise genellikle tekil çatlaklara rastlanır.

Yığma yapılarda deprem sırasında duvarlarda kesme gerilmeleri oluşur ve eğer duvar malzemesinin kesme dayanımı aşılsa ve kapı pencere boşluklarının alanı duvar alanının üçte birinden büyük olursa 45 derecelik eğimli çatlaklar oluşur (Şekil 2.4.). Duvarda oluşan aksenal basıncın büyüklüğüne göre çatlakların açısı değişmekte ve 45 dereceden büyük olabilmektedir [12].



Şekil 2.4. Duvarda tek yönlü eğik çatlaklar (Çamlıbel'en düzelterek)

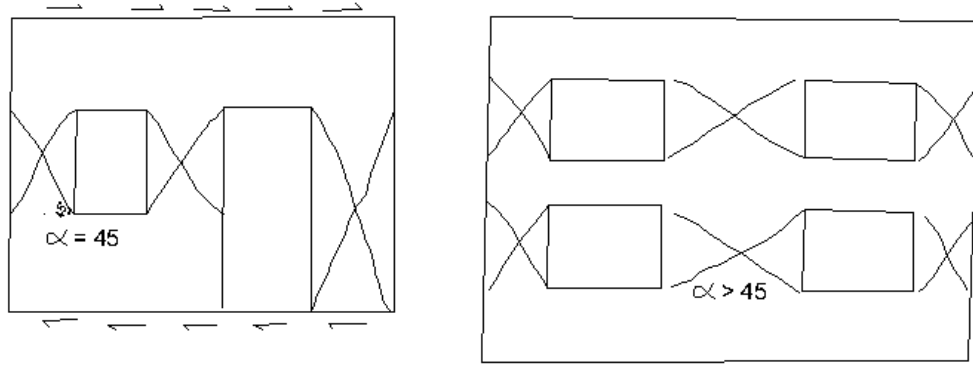


Resim 2.4. Duvar yüzeyinde düşey ve diyagonal çatlaklar [23]



Resim 2.5. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii silmelerde diyagonal çatlak [33]

Deprem yükünün ters yönden etkilemesi durumunda ilk oluşan çatlakların aksi yönünde yeni çekme çatlakları oluşacaktır. Bu durumda (X) şeklindeki çatlak görünümleri ortaya çıkar. Ayrıca çok katlı yığma yapılarda, deprem hareketinin düşey bileşeninin büyük olduğu depremin merkezine yakın yerlerde pencere altlarında (X) çatlakları oluşur [20].



Şekil 2.5. Deprem (X) çatlakları (Çamlıbel'den düzelterek)



Resim 2.6. Simav depreminde Halil Ağa Camiinde oluşan deprem çatlakları, 2011 [58]

Kemer, kubbe ve tonozlarda çekme gerilmeleri sınırlandırılır ve basınca karşı çalıştırılırlar. Buna rağmen, simetrik olmayan yüklemeler, farklı oturmalar ve deprem etkileri ile çekme gerilmeleri yoğunlaşır ve çekme gerilmelerine dik doğrultuda çatlaklar oluşur. Bu nedenlerle yük aktarımının sürekliliği kaybolarak çatlamlar, göçmeler ve dökülmeler görülür.



Resim 2.7. Üsküp Mustafa Paşa Camii kubbede diagonal deprem çatlağı, 1968,2008 [55]



Resim 2.8. Adana Yeni Camii kubbede deprem çatlakları, sıva raspası sonrası yapılan sıvada aynı yerlerden çatlamış durumda, 2005, 2011 [1]



Resim 2.9. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kemer ve duvarlarda çatlaklar, 2009 [33]

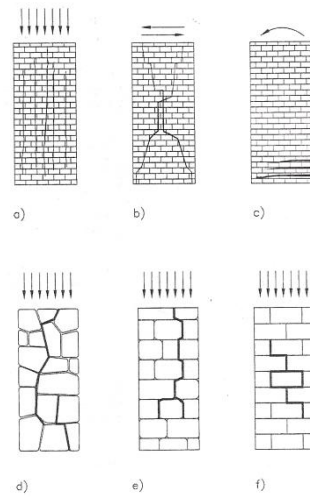
2.1.2. Ezilmeler

Ezilme, basınç gerilmeleri malzemenin direnme gücüne ulaştığında oluşur. Basınç gerilmeleri yükseldiğinde, gerilim yönüne paralel çatlaklar ortaya çıkar. Eğer yanıl baskı yoksa, enine şişme oluşuncaya kadar, durum daha kötüleşebilir, kılcal çatlaklar ayrılır ve sıkıştırılan elemanın iç çekirdeği aniden parçalanabilir (Şekil 2.6) [17].

Ezilme olgusu, çok az uyarı verdiği için ve binanın tamamı için yıkıcı sonuçları olabildiğinden son derece tehlikelidir. Ezilmenin görülebilir işaretleri malzemeye göre değişebilir ve çok zor algılanabilir. Duvarlarda genel olarak çatlak görülmesine rağmen taş ayaklardaki hasarlar ezilme ile karakterize edilir [17].



Resim 2.10. Taş ayakta ezilme [17]



Şekil 2.6. Ezilme öncesi çatlaklar [17]

2.1.3. Ayırışmalar (derz boşalması)

Zaman içerisinde sürtünmelere, darbelere, rüzgârlara, su ve çeşitli kimyasallara maruz kalan duvar yüzeylerinde derzler aşınmaya başlar ve bir süre sonra tamamen boşalabilir. Derzlerin zarar görmesiyle duvarın bünyesine su, asit vs. girerek duvarın zayıflamasına neden olur.

Ayrışmanın nedenlerini dış ortamdan kaynaklanan sülfat etkisi gibi kimyasal etki ve donma-çözülme olayından kaynaklanan etkiler gibi fiziksel etki olarak ikiye ayırabiliriz. Kimyasal etkiler daha derin bölgelere yayılırken, donma-çözülme sonucu oluşan hasar yüzeyseldir [39].



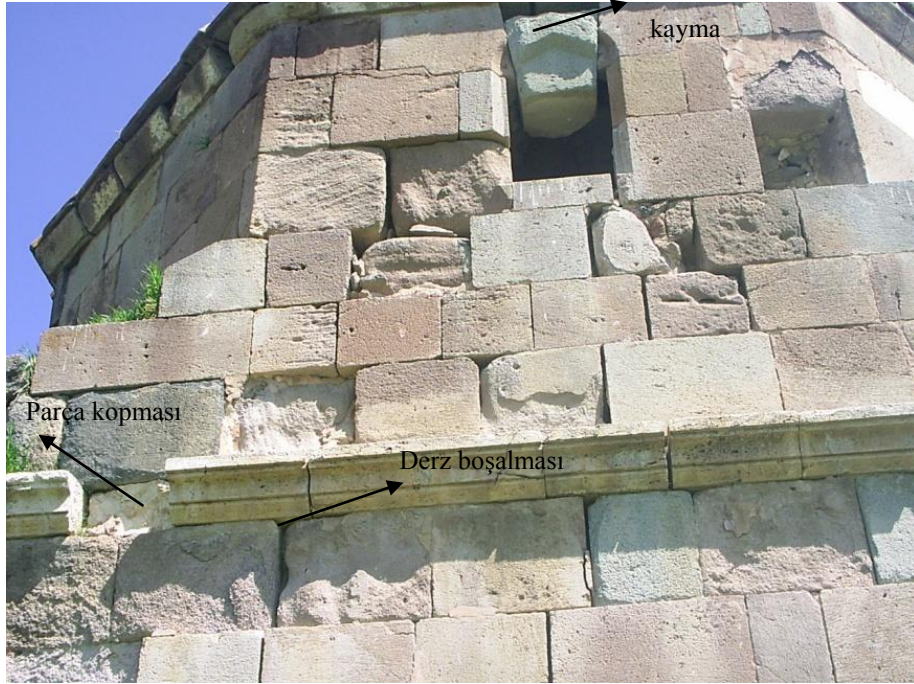
Resim 2.11. Kayseri Melikgazi Türbesi derz boşalması örnekleri, 2011 [44]

2.1.4. Parça kopması

Atmosfer etkisi, iç sıcaklık yükselmesi, kimyasal reaksiyonlar gibi faktörlerin yanı sıra deprem ve benzeri şok dalgalarının etkisi ile parça kopmaları oluşabilmektedir [39].



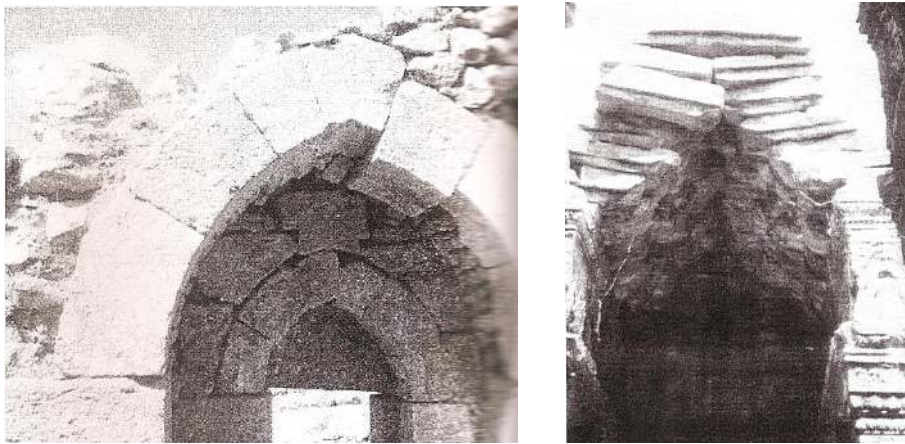
Resim 2.12. Sivas Ulu Camii minare şerefesi parça kopmaları ve ayrışmalar, 2007 [15]



Resim 2.13. Ankara Hacı Tuğrul Kümbeti bozulmalar, 2008 [5]

2.1.5. Kayma

Kemer ve tonozlardaki hasarın ana nedeni desteklerin duvarlardan dışa doğru hareket etmesi veya hatalı bağlantı ankrajları yüzünden desteklerin yer değiştirmesidir. Bunun sonucunda bloklar arasında kayma oluşabilir. Ayrıca; harç kullanılmadan yapılan blok taş kubbelerde, çatlaklar yerine bloklar arasında kayma oluşabilmektedir [17].



Resim 2.14. Kemerlerde kayma problemi [17]



Resim 2.15. Isparta Ertokuş Han kemerde kayma, 2007 [6]

2.1.6. Ayrılma

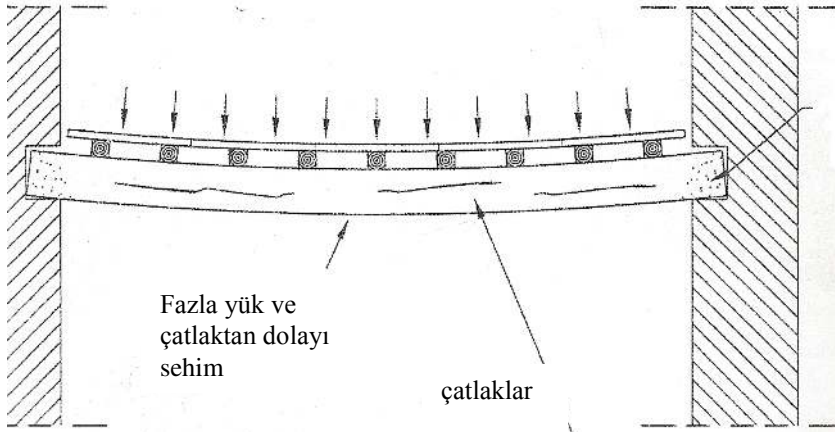
Köşeler çoğunlukla zayıf alanlar olup, sık sık kısmen veya tamamen ana taşıyıcı sistemden ayrılır.



Resim 2.16. Isparta Ertokuş Han duvarlarında ayrılma, 2007 [6]

2.1.7. Sehim

Sehim, yapı elemanların zamana ve üzerindeki yüke bağlı olarak şekil değiştirmesidir diğer bir deyişle, eğilme etkisi altındaki bir yapı parçasının bel vermesi olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.7. Bir döşemenin sehim yapması [17]



Resim 2.17. Edirne Atik Ali Paşa Camii ahşap tavanının sehim yapması, 2011 [44]

2.1.8. Burkulma (narinlik)

Kendi içinde eğilme demek olan burkulma; boyun, kesite oranla belli bir sınırı geçmesi halinde, basınç etkisi altında görülen eğilmedir.

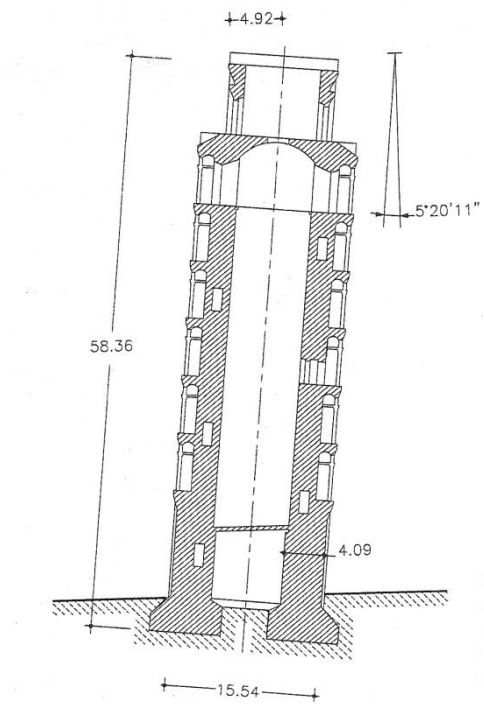
2.1.9. Devrilme ve şakülünden sapma

Düzgün oturmalar, temellerde katı yer değiştirmelere ve binanın dönmesine sebep olur. Temeller döndüğü zaman önemli eğilmeler ortaya çıkar. Bunun en iyi örneğini Piza Kulesinde Şekil 2.8.'de görüyoruz [17].

Minareler, kuleler ve saat kuleleri toprak oturmalarına çok duyarlı sistemlerdir. Akıntı yönündeki basıncı yükseltmek için çok küçük bir eğiklik yeterli olduğu için eğilme etkileri çok kolay oluşur. Minarelerin çoğunda bu durumu görebiliyoruz.



Resim 2.18. Ankara Arslanhane Camii, şakülünden sapan ahşap sütunlar, 2008 [5]



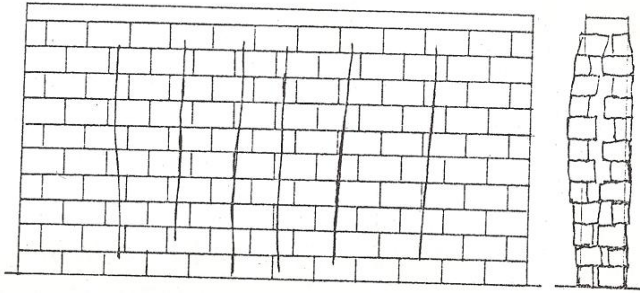
Şekil 2.8. Piza kulesi kesit [17]



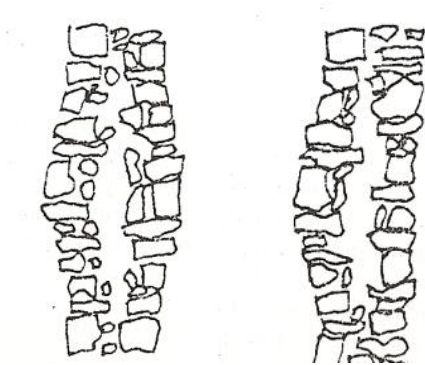
Resim 2.19. Sivas Ulu Camii minaresindeki düşeyden sapma, 2007 [15]

2.1.10. Şişme

Depremi yatay yükünden dolayı çatlayarak zayıflamış duvarlarda düşey yüklerden dolayı genişleme oluşur. Şişme duvarın bir ya da iki yanında olabilir (Şekil 2.10). Yığma yapı duvarlarının düşey yükler altında şişmiş olması oldukça ağır bir hasar aşamasıdır [12].



Şekil 2.9. Basınçtan şişmiş tuğla duvar [12]



Şekil 2.10. Düşey yükler altında şişmiş taş duvar [12]

2.1.11. Yıkılma

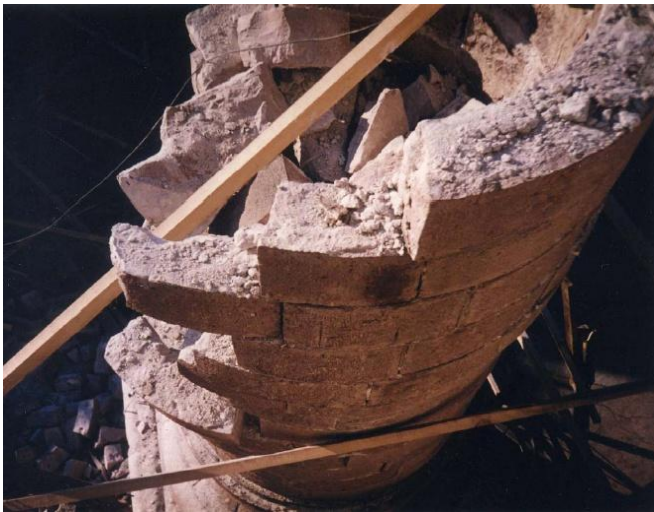
Bina deprem vb. nedenlerle oluşan daimi hasarlardan (bağlantısızlıklar, çatlaklar, şakülünden sapma vb.) etkilenir ve bu hasarlar bazen yıllar bazen yüzyıllar sonra büyük ölçekli yıkımlara sebep olabilir.



Resim 2.20. Beypazarı Suluhan, büyük bölümü yıkılmış han, 2007 [5]



Resim 2.21. Edirne Sokullu Hamamı, bir bölümü yıkılmış hamam, 2011 [44]



Resim 2.22. Ayvalık Çınarlı Camii rüzgâr sonucu yıkılan minare, 2002 [15]

2.2. Tarihi Yığma Yapılarda Görülen Hasarların Nedenleri

Tarihi yapılarda görülen hasarların nedenlerini zemin, doğal afetler, uzun süreli doğal etkenler, taşıyıcı sistem tasarımındaki hatalar, hatalı malzeme kullanımı, insanların neden olduğu hasarlar ve kötü işçilik ve detay kullanımı olarak sıralayabiliriz:

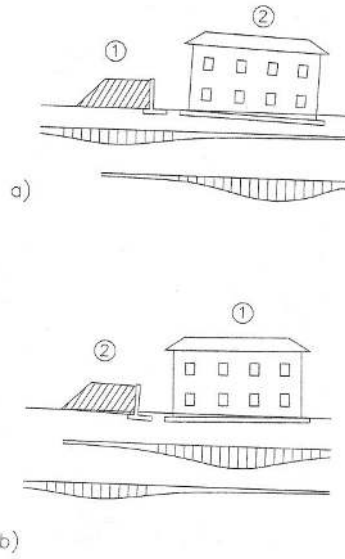
2.2.1. Zemin

Toprak deformasyonu binanın göreceği zararların en önemli nedenlerinden biridir. Toprak az çok düzenli olarak birbiri üzerine gelen katmanlardan ve çok farklı malzemelerden oluşur.

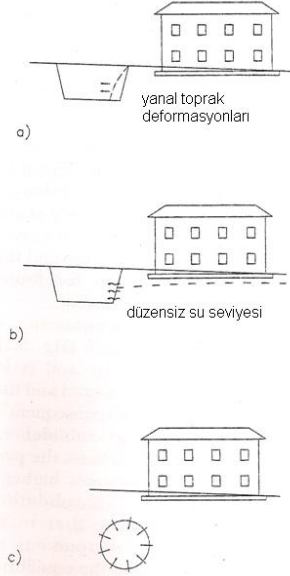
Su, toprakta özellikle killi toprakta en önemli bileşendir. Doymuş toprak, suyun bütün boşlukları doldurduğu topraktır.

Toprakta oluşan oturmanın nedenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Bina ağırlığının artması (ekstra kat ilavesi vb.), yapısal çalışmalar nedeniyle sütun ve duvarlardaki yük dağılımının değişmesi, bitişikteki yanal toprağın temel üzerindeki etkisi gibi nedenlerle ortaya çıkan temeldeki yüklerin artması,
- Toprak dolgular ve yeni binalar yüzünden yüklerin artması, kazılar yüzünden yüklerin azalması gibi nedenlerle binayı çevreleyen alandaki yüklerin değişimi,
- Su seviyesinin düşmesi, su seviyesinin yükselmesi, periyodik ve mevsimsel değişiklikler ile suyun buharlaşması gibi hidrolik koşulların değişimi,
- Dinamik etkiler ve titreşimler [17].



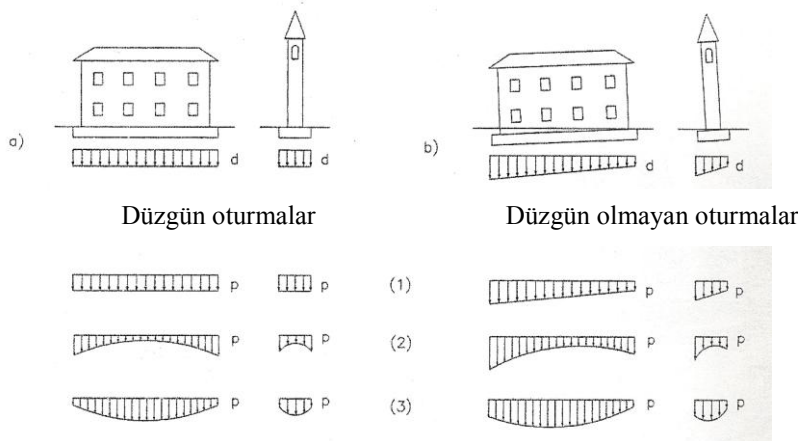
Şekil 2.11. Yüklerin uygulanması ile ilgili oturmalar [17]



Şekil 2.12. Kazılardan dolayı olası farklı oturmalar [17]

Oturmaları düzgün ve düzgün olmayan (uniform ve farklı oturma) olarak iki gruba ayırabiliriz:

a) Düzgün (uniform) oturma: Uniform oturmada yapının temel tabanı, sıkışma neticesinde ilk konumu ile aynı düzlemde kalır ve bu düzleme paralel oturur. Fakat bu düzleme paralel kalmazsa uniform yatma veya devrilme ortaya çıkar. Eğer yapı yeteri kadar esnek değilse ya da yapının temeli oluşacak sehimlere karşı koyacak kadar rijit değilse yapıda çatlaklar oluşur [39].



Şekil 2.13. Temellerin oturması ve olası basınç dağılımları [17]

b) Düzgün olmayan (farklı) oturma: Bu oturma şekli, yapılarda hasar oluşumuna neden olan en tehlikeli oturma şeklidir. Yapı temeli altında oluşan kısmi oturmalar ve düzgün olmayan oturmalar neticesinde yapı duvarlarında çatlaklar oluşur. Düzgün olmayan oturmalar, kendi içerisinde tek taraflı oturma, yapının bel vermesi ve yapı altındaki zeminin yanlara kaçması şeklinde ortaya çıkmaktadır [39].

Tek taraflı oturmalar, yapının iki ayrı kısmının ağırlıkları farklı ise ağır kısmın altında daha fazla sıkışma olacağı için oluşur ve kesme çatlaklarına neden olur. Bu çatlakların şekli, yapı malzemesinin çekme mukavemeti derecesine göre değişir. Eğer çekme mukavemeti düşük ise düşey, büyük ise belli bir eğimde olur ve oturmanın fazla olduğu tarafa doğru yükselir. Tarihi yapılarda basınç, yapının özellikle ortasında etkisini gösterir ve homojen bir zeminde maksimum oturma yapının orta kısmında meydana gelir. Bu olaya binanın bel vermesi denilmektedir. Vadi sırtı ve tepe gibi yerlerde inşa edilmiş yapılarda temel zemini yanlara kaçtığı için kenar kısımlarda ortaya göre daha fazla oturma meydana gelir. Bunun sonucunda ise düşey yönlü kesme çatlakları oluşur [42].

2.2.2. Doğal afetler:

Tarihi yapıların taşıyıcı sisteminin en önemli düşmanlarından biri depremlerdir. Depremler, büyük gerilmelerin olduğu dünya zemininin katmanlarındaki ani kırılmalardan kaynaklanır, bunlar büyük miktarlarda malzemelerin yavaş hareketleri sonucudur, biriken bu enerji bu nedenle anında serbest bırakılır ve dalgalar halinde yayılıp yüzeye ulaşır.

Tarihi yapıların kütlece ağır ve sistem özellikleri bakımından rijit olmaları, deprem etkilerine karşı rijit cisim davranışı göstermelerine sebebiyet verir. Deprem dalgaları, genişleme dalgaları veya kesme dalgaları olarak sınıflandırılabilir ve yatay ve düşey kuvvetler yaratır. Hasar ve yıkımların çoğu yatay bileşenlerden üretilir çünkü taşıyıcı sistemler özellikle tarihi binalar, düşey olanlara direnmek için daha iyi tasarlanmıştır [17].

Deprem sırasında yığma kargir yapılarda duvarların düzlemi içinde kesme çatlaklarının oluşması, düzlemi dışında devrilmesi, duvarların köşelerden ayrılması ve döşemelerin duvarlardan ayrılıp yıkılması gibi hasarlarla karşılaşılabilir.

Depremi diğer bir etkisi, deprem dalgalarının zemin boşluk suyu basıncını arttırması, çok ince daneli ve uniform kum zeminlerin sıvı gibi davranması yani sıvılaşma denen olayın gerçekleşmesidir. Sıvılaşmış zemin yapıyı taşıyamaz ve göçer [42].

Deprem dışında toprak kayması, sel, tayfun, yanardağ patlaması gibi olaylar da tarihi anıt yapılarının hasar görmesine neden olan doğal afetler arasındadır. Yanardağ patlamasının en önemli örneğini İtalya’da Vezüv’ün patlaması ile küller altında kalan ve 18. yüzyılda kazılarla ortaya çıkarılmaya başlayan Pompei kentinde görüyoruz. Bu kentte yaşanan afetin ardından kentin üzerine başka bir dönem müdahalesi gelmeden küller altında fosilleşmiştir. Bu sayede arkeologlar 1. yüzyıl Roma yaşamı ve mimarisi üzerine ayrıntılı çalışmalar yapma imkânı bulmuşlardır [2].

Seller özellikle akarsu yanındaki tarihi yerleşmeler için sorun olan bir afettir. Edirne, Amasya gibi tarihi kentlerde taşkınlar yüzyıllar boyunca sıkıntı olmuştur. Edirne’de Meriç nehrinin taşması sonucu sular altında kalan tarihi yapılar Resim 2.23. ve 2.24.’de görünmektedir.



Resim 2.23. Edirne II. Beyazıt Külliyesi, 2006 [27]



Resim 2.24. Edirne Kasımpaşa Camii, 2006, [27]

2.2.3. Uzun süreli doğal etkenler

Isı farklarından kaynaklanan donma çözünme olayları, suyun kapilarite ile bina içindeki hareketi, zeminden yükselen nem, suyun kristalleşmesi, yağmur sularının binadan uzaklaştırılamaması, toprak depositleri, biyolojik ve botanik faktörler, rüzgâr vb. doğal etkenler tarihi yığma yapılarda bozulmalara neden olmaktadır.

Sıcaklık farkı ile malzemelerde oluşan genleşme ve büzölmeler, taneler arasında farklı yönde ve büyüklükte iç basınçlar oluşturur. Bu durumun tekrarlaması ile yorulan malzemelerin bünyesinde kılcal çatlaklar oluşur. Sıcaklık değişimlerinin yenilenmesi, kılcal çatlakların gelişimini hızlandırdığı gibi yeni çatlak ve kırıkların oluşmasına neden olur. Bu tür çatlakların artması ile malzemede fiziksel anlamda parçalanma ve ufalanma ortaya çıkar [38].

Gece ve gündüz sıcaklık farklılıkları ve güneşin etkisi ile malzemeler özellikle taşlar zamanla renk değiştirirler. Ultraviyole ışınlarının etkisi ile rengi atmış olan taş yüzeyleri, mat ve soluk bir görüntüye sahiptir.

Yangından kaynaklanan aşırı sıcaklık da malzemelerde felaket sonuçlar yaratabilir. Alevle yanan taş malzemelerin yüzeylerinde süratle bir hacim genleşmesi oluşur. Fakat ısı taşın iç yüzüne aynı süratle nüfuz etmez ve taşların içi soğuk kalır. Bu durumda malzemenin direncini aşan iç gerilmeler oluşur. Sonuçta taşlarda kabarma ile plak ve parça halinde kopmalar oluşur [38].

Su; yağmur, kar, buz ve zemin suyu şeklinde yapı ile etkileşir ve taşın nem içeriğini farklı şekillerde etkiler. Yağmur ve kar suları, ister yüzey üzerinde olsun ister malzemenin içine nüfuz etsin, taş, ahşap, sıva gibi gözenekli malzemelerde değişiklikler yaratır.

Yağmur sularının bozulan bir çatı kaplaması nedeniyle binadan uzaklaştırılmaması, Ankara Polatlı Hacı Tuğrul Kümbeti'nde olduğu gibi (Resim 2.25.) yosun ve otların gelişmesine uygun ortamı hazırlar; yosun ve mantarlar gelişir. Ayrıca; bu suların

yüzeyden akarken yaptıkları aşındırıcı etki kolay aşınabilen taşlarla yapılan anıtlarda oyulmalara neden olmaktadır ve oyulan kısım koparak düşmektedir.



Resim 2.25. Polatlı Hacı Tuğrul Kümbeti bitkisel oluşumlar, 2008 [5]

Buz bozulmanın diğer nedenlerinden biri olup bünyesinde su bulunan çatlaklı ve boşluklu malzemelerde suyun donması ve çözünmesi sonucunda oluşan gerilmeler, malzemenin kırılmasına ve parçalanmasına yol açar. Gözenekler arasına girmiş olan su hacim genişlemesine uğrayarak malzemeyi çatlatır. Büyüyen çatlak don olayının tekrarlaması ile daha da büyüyerek taşın direncini azaltır. Bu durum birkaç kez tekrarladığında malzeme yapraklanma, parçalanma ve hatta toz haline gelme tehlikesi ile karşılaşır [17,38]. Çankırı Ulu Camiinin taş payandalarında don olayının tekrarlaması sonucu taşın direncinin azalması ile ortaya çıkan parçalanma ve ufalanmalar Resim 2.26.'da görülmektedir.

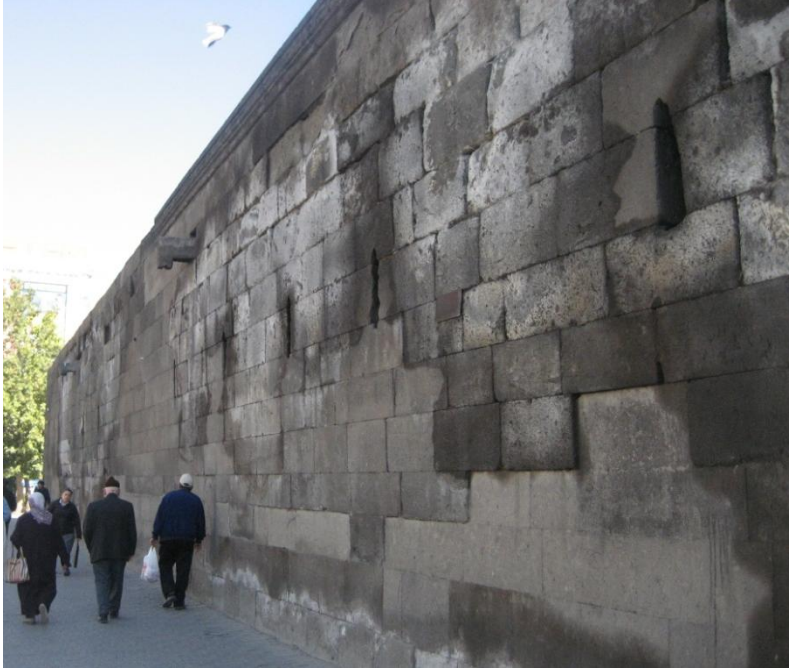


Resim 2.26. Çankırı Ulu Camii payanda yüzeylerinde ufalanma, 2011 [34]



Resim 2.27. Duvar yüzeylerinde bozulma ve ufalanmalar [23]

Nem, tüm malzeme ve yapıların bir numaralı düşmanıdır. Zemin suyu temellerin arasından emilir ve duvarlarda kapiler (kılcallık) hareket ile yükselir. Bu emilim ve hareketin miktarı bina malzemelerinin gözenekliliği, buharlaşma ve sıcaklığa bağlıdır. Zeminden kılcallıkla yükselen suyun dışında çatı ve diğer yüzeyler arasından yağmur suyunun sızması ile ve havada mevcut olan su buharının yoğunlaşması ile nem oluşur. Kayseri Sahabiye Medresesinde çatı akaçlama sisteminin çalışmamasından kaynaklı nem sorunu Resim 2.28.'de açık bir şekilde görülmektedir. Her malzemenin bir miktar neme ihtiyaç duymasına rağmen nemin fazla olması çeliğin korozyonuna ve mantar ve bakterilerin gelişimine neden olur, aşırı kuruma olması ise büzülme arttırır ve harç gibi malzemeler kırılğan hale gelir.



Resim 2.28. Kayseri Sahabiye Medresesi çatı akaçlama sisteminin çalışmamasından kaynaklı nem sorunu, 2011 [44]

Nemin yarattığı ana problem ise suda çözünebilir tuzların varlığıdır. Tuzların kristalizasyonu taş bozulmaları içinde en yaygın ve tahrip edici olanıdır. Sülfat, nitrat, klor gibi çözülebilir tuzlar, su ile taşınarak veya herhangi bir yolla taşın gözeneklerine ve çatlaklarına ulaşarak buharlaşır. Buharlaşma sonucunda tuz taşın yüzeyi ile kılcal çatlaklarda birikir. Bu süreç, rüzgâr ve sıcaklık değişiklikleriyle hızlanır. Tuzların kristalleşmesi sırasında bünyesine su alması ve molekül hacminin artması sonucu taşın yüzeyinde oluşan kristalizasyona çiçeklenme denir. Kristallenme esnasında taş içinde basınç artar, kılcal çatlaklar oluşur ve yüzeye yakın yerlerde parçalanma başlar. Çiçeklenme ile taş ve sıva kabırır, çözünür, dökülür ve yüzeydeki tuz birikimi kabuk oluşturarak kirliliğe yol açar [17,38]. Ankara Sultan Alaaddin Camiinin avlusunda yer alan tuğla namazgah minberine bitişik sur duvarlarından süzülen su, yağmur ve kar nedeniyle oluşan nemden kaynaklı tuzlanma Resim 2.29.'da açıkça görülmektedir.



Resim 2.29. Ankara Sultan Alaaddin Camii avlusundaki namazgahtaki tuğlalarda oluşan tuzlanma, 2011 [34]

Rüzgârın taşıdığı tohumların çatılara, duvar oyuklarına ve derzlere yerleşmesi sonucu yapı cephelerinde bitkiler kök salıp gelişir. Rüzgâr, deniz tuzu ve kumlarla birlikte etkidiğinde hızlı ve ciddi yüzey aşınmalarına neden olmaktadır [2].

Likenler ve karayosunları, rüzgârla gelen toz, tohumlar, böcek ölümleri gibi organik kalıntıları yakalayarak taşlarında üzerinde toprak oluşumuna neden olurlar. Böylece daha yüksek bitkilerin gelişimine olanak sağlanmış olur. Bu şekilde taşların üzerinde gelişen mantarlar, mavi-yeşil yosun, algler ve likenler gibi organizmalar taşların yüzeyinde oyukların oluşumuna neden olur [38].

Dalgalar da rıhtım ve limanlarda aşınma ve bozulmalara neden olmaktadır. Dalgalar bunun dışında bitişik yapıların temellerinin zayıflamasına ve denize doğru kaymalarına neden olmaktadır. Yeraltı suları ve nehirleri de temel altındaki toprağı sürükleyerek binalarda ani çatlamalara neden olabilmektedir [2].

Kuşlar, böcekler, fareler gibi hayvanlar da anıtlara zarar verebilmektedir. Kuşların pisliklerindeki asitler, özellikle güvercinler fizyo-kimyasal korozyon ürettikleri gibi bu pisliklerin kendileri bakteri kaynağıdır ve bitkiler tarafından gübre olarak kullanılırlar [17].

2.2.4. Taşıyıcı sistem tasarımındaki hatalar

Yapım alanındaki gelişme bilimsel bilgiden çok sezgi ve tecrübeyle elde edilmiştir. Bu nedenle güvenlik benzer şekil ve ölçülerin tekrarlanmasıyla sağlanmıştır. Şekil, biçim ve oranların gelişimi, hasar ve yıkıma daha az yatkın olan daha erken modellere ve tecrübelerine dayanır, fakat bu yol bile riski tamamen engellemez [17].

Binaların taşıyıcı sistemleriyle ilgili boyutlandırma hataları varsa ciddi hasarlar ortaya çıkabilir. Kesitleri yetersiz olan duvar zamanla bel verir, aynı durum payandalarda olursa destek verdiği kemer, tonoz ve kubbede açılmalara neden olabilir [39].

Temellerin zayıf ve kesitlerin yetersiz olması durumunda da üst bölümlerde, duvarlarda, taşıyıcı ayaklarda çatlamalara ve düşeyden ayrılmalara neden olabilmektedir.

Taşıyıcı sistemi hatalı tasarlanmış yapıların en önemlisi İstanbul Ayasofya'dır. İlk tasarımı alçak bir yelken tonozla örtülen bina, 31 m. açıklığındaki kubbeyi destekleyecek bir sisteme sahip olmadığı için kubbenin itmesiyle yan duvarlarda açılmalar olmuş ve geçirdiği ilk deprem sonrasında 558 yılında çökmüştür [2]. Strüktür yeni baştan inşa edildiğinde, itmeyi azaltmak için, merkezi kubbenin yüksekliği 6,25 m arttırıldı ve kubbe meridyen doğrultusunda iç mekânda algılanan 40 nervürle rijitleştirildi. Bu strüktür de deprem etkisine dayanamayıp 989 yılı depreminde batı tarafındaki yarım kubbe, 1346 yılında da doğu tarafındaki yarım kubbe, kemer ve merkezi kubbenin 1/3'ü ile birlikte çöktü. Ayasofya'nın günümüze kadar ayakta kalması sürekli olarak yapılan onarım ve güçlendirmeler sayesinde mümkün olmuştur. En etkin güçlendirme Mimar Sinan'ın yapının çevresinde dıştan belli aralıklarla inşa ettiği güçlü 24 taş payandanın yarattığı bir tür kuşaklama etkisiyle sağlanmıştır [41].

2.2.5. Hatalı malzeme kullanımı

Tarihi yapılarda malzeme seçimi her zaman önemli bir unsur olmuştur. Doğru malzeme seçimi kadar, doğru malzemelerin birlikte kullanılması da tarihi yapıların uzun süre ayakta kalması açısından önemlidir.

Tarihi yapılar taş, tuğla, kerpiç, ahşap gibi doğal kökenli malzemeler kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanılan malzemenin niteliği yapının dayanıklılığı ve bozulma süreci açısından önemlidir. Örneğin, taşın içeriğinde kil tabakalarının ve başka yabancı maddelerin bulunması hızlı aşınmaya, taşın yabancı maddenin bulunduğu tabakadan kopup ayrılmasına yol açar. Taşın işlenmesi sırasında cepheye gelecek kısımlara dikkat edilmeli, taş ocaktaki katmanlara uygun olarak biçimlendirilmelidir. Bu katmanlara dikkat edilmeden yerine konursa, taşın direnç göstermeyip cepheden geriye doğru katman katman döküldüğü hatta parçalandığı görülür. Taşın yapısının dayanıksız olması da, taşın kolayca ayrışıp dağılmasına neden olur. Tuğla yapılarda tuğlanın iyi pişirilmiş olması yapının dayanımını olumlu etkileyen önemli bir etkidir. İyi pişirilmeyen tuğlalardan yapılan duvarlarda hızlı aşınma, dökülme, yüzey kayıpları, ayrışma, dağılma gibi hasarlar gözlenir. Ahşap strüktürlerde sert ve kuru ağaç kullanılması yapının ömrünü uzatır. Böcekler sert ahşapta zorlandıkları için yuva yapmak için yumuşak ahşabı daha çok tercih ederler ve bu nedenle bozulma yumuşak ahşapta daha kolay gerçekleşir. Bunun yanında kesilecek ahşabın mutlaka erişkin olması gerekir. Yaş ahşap böceklerce daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca kullanılacak ahşabın mutlaka kurutulması gerekmektedir.

Yapı elemanlarının ısı genleşme katsayıları farklı olup genleşme katsayıları farklı elemanların bir arada kullanılmaları durumunda birbirlerini bozduğu, tahribatlara ve deformasyonlara yol açtığı görülür. Betonarme, çimento harç ve metaller, mermer, kalker ve kum taşından 2 kat fazla genleşme gösterirler ve birlikte kullanılmaları durumunda ısı karşısında oluşan farklı basınçlar, elemanlardan zayıf olanın tahrip olmasına yol açar [38].

Kargir yapılarda kullanılan harcın niteliği de binanın mukavemetini etkileyen önemli bir etkidir. Zayıf harçlarla örülen duvarlarda, bozulan harç taşların dağılmasına neden olmaktadır. Kullanılan harcın bileşimindeki malzemelerin birbiri ile uyumlu olması yanında birleşiminde kullanılacak malzeme ile de uyumlu olmalıdır. Harç içinde kullanılacak çimento vb. malzemelerin tuzlanma, çiçeklenme vb. olumsuz etkileri göz önünde bulundurulmadan kullanılmaması gerekir.

2.2.6. İnsanların neden olduğu hasarlar

Bir tarihi yerleşmenin veya bir tarihi yapının terk edilmesi kentsel dokuda ve tarihi yapılarda tahriplere ve yok olmalara neden olabilmektedir. Kötü kullanım yapıların yok olma sürecini hızlandıran etkenlerden biridir. Tarihi yapılarda bilinçsizce yapılan değişiklikler ve onarımlar yapının taşıyıcı sistemini değiştirmekte, bozulma sürecini hızlandırabilmektedir [2].

İhmal, dikkatsizlik ve kasıt sonucu çıkan yangınlar pek çok ahşap yapının çoğu kez kullanılamaz, bazen de onarılamaz duruma gelmesine neden olmaktadır.

Yeni yollar açılması, barajlar yapılması gibi bayındırlık etkinlikleri de tarihi çevreyi ve yapıları tehdit edebilmektedir. Değişik tarihi dönemlere ait arkeolojik sit alanları barajların altında kalmıştır. Önlem almadan tarihi binaların bitişiğinde derin kazılar yapmak, yer altı geçitleri ve tünelleri yapmak temellere zarar vererek hasara yol açmaktadır [2].

Atmosferi kirleten atıklar, ısınma sistemleri, kömürle çalışan vapurlar ve motorlu taşıtların çıkardığı zararlı gazlar, anıtlar üzerinde kirlenmelere ve taşları eriten asit yağmurlarına neden olmaktadır.

Bunlar dışında savaşlar, vandalizm, turizm ve trafik tarihi çevre ve yapılarda zararlara yol açan insan faaliyetleridir.



Resim 2.30. Polatlı Hacı Tuğrul Kümbeti duvarlarına yazılan yazılar, 2008 [5]



Resim 2.31. İstanbul Gülhane Parkı çeşmede yazılan yazılar, 2010 [34]

2.2.7. Kötü işçilik ve detay kullanımı

Yapıyı oluşturan bileşenlerin uygun malzeme ve teknikler kullanılarak bir araya getirilmesi dayanımları açısından gereklidir. Taş yapılarda bağlantı elemanı olarak kullanılan demir gibi madeni elemanların korozyona uğramasının olumsuz etkileri arasında en başta geleni, korozyona uğrayan metallerin zamanla genleşmeleri ve taşı zorlayarak basınçla patlatmalarıdır. Bu durumun ortaya çıkma nedeni metallerin korozyona karşı önlem alınmadan kullanılmasıdır. Ayrıca taşların yüzeyinde ortaya çıkan sarı-kahve rengi lekelerin nedeni, taşların tespit edilmesinde kullanılan lamaların oksidasyonudur [38].

3. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA HASAR TESBİT YÖNTEMLERİ VE MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde müdahalenin minimum düzeyde tutulması esastır. Bir eski esere yapılacak müdahalede yapının özgünlüğünü yitirmemesi gerekir.

Tarihi bir yapının onarım veya güçlendirilmesine başlamadan önce yapının mevcut durumunun tespiti yapılmalıdır: binanın genel özellikleri, çatlakların varlığı, hareketlerin işaretleri, eğilme, malzeme bozulmaları, yapılan restorasyonlar, yeniden yapımlar vb.

Tarihi araştırma yapı ile ilgili tespitler yapılırken ki ilk aşamadır. Bu aşamada; yapımı ilgilendiren dokümanlar, yapının geçirdiği onarımlar, deprem, yangın ve sel gibi afetler araştırılmalıdır. Bu araştırmalarda; yazılı veya resimli beyanlar, yapının yer aldığı alanı ve politik tarihini ilgilendiren kayıtlar, eski yolculuk günlükleri ve rehberleri, mimari raporlar veya arkeolojik çalışmalar, tarihi gravürler, yapıyla ilgili vakfiye ve vakfa ait gelir gider kayıt defterleri, onarım ve kazı raporları ve sözlü beyanlardan faydalanılır.

Tespit aşamasının en önemli adımını mimari rölöve projelerinin hazırlanması oluşturmaktadır. Rölöve çizimleri; 1:100, 1:50, 1:20, 1:10 ve 1:1 vaziyet planı, kat planları, kesit, cephe, sistem detayı ve mimari elemanların detaylarından oluşur. Bu çizimlerin hangi yöntemler kullanılarak hazırlanırsa hazırlansın doğru ve hassas olmaları ve olası değişiklikler göz önünde bulundurularak belli aralıklarla tekrar hazırlanmaları gerekir. Projelerin hazırlanması dışında yapının mekânsal, mimari, strüktürel ve bezeme özelliklerinin tanımını içeren yazılı belgeler hazırlanır. Fotografik incelemelerin rölöve çizimleri ile birlikte gerçekleştirilmesi tercih edilir, fotoğrafçının konumuna ve fotoğrafların yönüne göre notlar alınır.

Yapıda kullanılan malzemeler, yapım teknikleri ve strüktürel sistemin ayrıştırılarak projeler üzerinde gösterilmesi gerekmektedir. Yapısal bozulmalar, deformasyonlar ve

dağılımları, temel sorunları, yatay ve düşey yönde taşıyıcı sistem sorunları, dolgu malzemesinin sorunları, cephe elemanları sorunları, cephe kaplama ve üst örtü malzemesine ait sorunlar, cephe mimari süslemelere ve yapı malzemesine ait sorunların tespitinin de yapılarak projeler üzerine işlenmesi gerekmektedir.

Taşıyıcı sistemin ve bozulmaların incelenmesi sadece çatlakların yeri konusunda değil, çatlakların genişliği, kenarları arasındaki yer değiştirmelerin yönü, uzunluğu, derinliği vb. konularda da bilgi vermelidir. Taşıyıcı sistem deformasyonunun durumu; şakül sapması, oturma, çökme vb. konular incelemenin önemli bir parçasıdır. Eğer hareket hala devam ediyorsa, belli bir süre içinde çatlaklardaki değişiklikleri, deformasyon ve hareketleri izlemek gereklidir [17].

Yapının ve taşıyıcı sistemin mevcut durumunun tespit edilmesi kadar taşıyıcı sistemin zaman içerisindeki yapısal davranışının gözlenmesi de gereklidir. Bu nedenle, yapı ve zemin deformasyonlarının izlenmesi için gözlem ve izleme sisteminin kurulması gerekmektedir. Ayrıca yapının temel geometrisi ve temel malzemesinin belirlenmesi için yapı zemininde jeolojik ve geoteknik incelemelerin yapılması gerekir.

Yapıyı oluşturan malzemelerin (taş, tuğla, ahşap, harç, sıva vb.) analizlerinin yapılarak bu malzemelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespit edilmesi gerekir.

Yapıya yapılacak müdahalelerin yapılan tüm bu inceleme ve analizler sonucunda belirlenmesi ve uygulamaların mutlaka uzman ekiplerce yapılması gerekmektedir.

3.1. Tarihi Yapılarda Temel Zemininin Araştırılması

Yapının mevcut güvenlik düzeyinin yeterli olup olmadığına karar verebilmek amacıyla yapılacak hesaplamalar yanında yapıda belirlenen bozulmaların izlenmesi, yapıda kullanılan her tür malzemenin mekanik özellikleri ile temel zemini ve temel sisteminin tüm özelliklerinin belirlenmesi gerekir [50].

3.1.1. Zeminin incelenmesi

Geleneksel yapılarda temel derinliğini belirlemek, zemin katmanlarının saptanması ve zemin direncinin belirlenmesi için temel zemininin yeterli sayıda araştırma çukuru ve sondaj yöntemleri ile incelenmesi gerekir.

a) Araştırma çukuru (gözlem çukuru, muayene çukuru) ve kuyuları: Zeminin yatay ve düşeydeki durumunun incelenmesi, zeminde mevcut süreksizliklerin doğrultusunun saptanması, zeminden örnekler almak ve yerinde deneyler yapmak amacıyla açılmaktadır [28].

b) Araştırma sondajı: Genellikle araştırma çukurları ile ulaşılamayan 6 m'nin altındaki incelemelerde, araştırma çukurları için elverişsiz zemin şartlarında, yer altı su seviyesi altındaki derinliklerde kullanılmaktadır [46].

Sondaj yapılırken sahanın jeolojik-jeofizik özellikleri ve arazinin dolgu kalınlığı, yer altı su seviyesi ile zemin profili tespit edilebilmektedir.

Araştırma sondajları, yıkamalı sondaj ve içi boş burgu ile sondaj olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır [19].



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

a- Sondaj makinası
yerleşimi

b- Muhafaza borusu ve
muhafaza borusu ucu

c- Delgi için kullanılan
uçlar

d- Delme sıvısı çıkışı

e- Elek

f- Çamur tankı

Resim 3.1. Yıkamalı sondaj ekipmanları [19]



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

a- İçi boş ve içi dolu
burgu

b- Tipik delgi yerleşimi

c- Değişik boyutlarda içi
boş burgular

d- Orta delgi aparat ucu

e- Dış aparat uçları

f- İç ve dış aparatlar

Resim 3.2. İçi boş burgu ile sondaj ekipmanları [19]

3.1.2. Deneylerin yapılması

Zemin ile ilgili sorunların araştırılması arazide yapılan inceleme deneyleri ve laboratuvar deneyleri olarak iki bölümde incelenebilir.

Arazide yapılan inceleme deneyleri:

Sondaj deliklerinde, yerinde yapılan deneyler temelin cinsi ve yapısı hakkında bilgi edinmek ve temelin yük altındaki mekanik davranışlarını incelemek ve belirlemek için yapılmaktadır. Bu deneylerle örnek alma işlemi sırasındaki örselenme (bozulma) minimuma indirilmekte, zemin içinde bulunduğu hakiki çevre koşullarında (gerilme durumu, boşluk basıncı, doygunluk derecesi) deneye tabi tutulmakta ve inceleme maliyeti azalmaktadır [28,46].

Arazide yapılan inceleme deneylerini standart penetrasyon deneyi, koni penetrasyon deneyi, vane deneyi, pressiometre deneyi ve plaka yükleme deneyi olarak beş başlık altında inceleyebiliriz.

a) Standart penetrasyon deneyi (SPT): Bu deney, arazide muhtelif noktalarda zemin durumlarının mukayesesi ve kohezyonsuz zeminlerin taşıma gücü ve emniyet gerilmelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. (Uygulama detayları için Ek-1'e bakınız)

Avantaj- dezavantaj: Bu deneyin, deney sırasında numune elde edilmesi, çok basit ve kolay yapılabilir olması, birçok zemin için uygun olması, yumuşak ve zayıf kayalarda uygulanabilir olması ile çoğu sondaj firmaları tarafından yapılabilir olması gibi avantajlarının yanı sıra alınan numunelerin bozulmuş olması, sert killer ve molozlu-bloklı zeminlerde yanıltıcı sonuçlar vermesi ve sondaj firmalarına göre değişiklik göstermesi gibi dezavantajları vardır [19].

b) Koni penetrasyon deneyi (CPT): Bu deney, temellerin taşıma güçlerinin ve emniyet gerilmelerinin belirlenmesinde, kazık taşıma güçlerinin ve sıvılaşma

potansiyellerinin belirlenmesinde ve kontrol sondajları arasındaki zemin profilinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [46]. (Uygulama detayları için Ek-1'e bakınız)

Avantaj- dezavantaj: Bu deneyin en önemli avantajı deney için sondaj kuyusu açmaya gerek olmaması ve bu nedenle maliyetinin düşük olmasıdır [46].

Ayrıca, deneyin hızlı olması ve zemin profilinin sürekli olarak belirlenebilmesi, sonuçların deneyi yapan operatöre bağlı olmaması, numune alımı çok zor olan yumuşak killer ve siltli zeminler için uygun olması, deney sonuçlarının yorumlanmasında dünyada çok yaygın olarak yöntemlerin bulunması gibi avantajları olduğu gibi ülkemizde ekipmanın sınırlı olması, belirli aralıklarla kalibrasyon gerektirmesi, zemin numunesi alınamaması, çakıllı ve bloklu zeminlerde uygulanamaması gibi dezavantajları vardır [19].

c) *Vane deneyi:* Yumuşak ve ince taneli zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek için kullanılan bu deney genellikle 1 metre düşey aralıklarla yapılır [19]. (Uygulama detayları için Ek-1'e bakınız)

Avantaj- dezavantaj: Elde edilen numunenin fazla örselenmemiş olması ve basit ekipmanlarla yapılabilir olması en önemli avantajlarından. Yumuşak-sert killerle sınırlı olması, kum bantlarından etkilenmesi en belirgin dezavantajdır [28,19].

d) *Pressiometre deneyi:* Bu deney deformasyon ve mukavemet parametreleri gibi mekanik karakteristiklerin belirlenmesi için yapılmakta olup her türlü zemin koşullarında uygulanabilmektedir [28]. (Uygulama detayları için Ek-1'e bakınız)

Avantaj- dezavantaj: Bu deneyin diğer arazi deneylerine göre en önemli üstünlüğü, yatay zemin gerilmelerinin, zeminin gerilme deformasyon ilişkisinin ve zeminin yenilme basıncının doğrudan yerinde ölçülebilmesini sağlamasıdır. Bu deneyin dezavantajı ise, sondaj deliğine ihtiyaç duyduğu için test edilen zeminin ister istemez bir miktar örselenmiş olmasıdır [46].

e) *Plaka yükleme deneyleri:* Zeminlerin taşıma gücü (zemin emniyet gerilmesi), temellerin muhtemel oturmaları ve zeminin elastisite modülü, zemin yatak katsayısı ve sıkışma özelliklerini yerinde belirlemek için yapılmaktadır [56]. (Uygulama detayları için Ek-1'e bakınız)

Avantaj- dezavantaj: Modellenen deneyin gerçek temel boyutundan çok küçük olması nedeniyle çok katmanlı zemin tabakalarında sonuçların yanıltıcı olması, suya doygun kil zeminlerde meydana gelen uzun süreli konsolidasyon oturmasını yansıtmaması, pahalı olması, uzun zaman alması ve yer altı su düzeyi altında yapılmasının çok güç olması gibi dezavantajları vardır [56].

Arazide yapılan inceleme deneylerini aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi özetleyebiliriz:

Çizelge 3.1. Arazi deneyleri

UYGULAMA METODUNUN ADI	KULLANIM AMAÇLARI	KULLANIM YERLERİ
Standart Penetrasyon Deneyi	- Zemin durumlarının mukayesesini yapmak - Kohezyonsuz zeminlerin taşıma gücü ve emniyet gerilmelerini belirlemek	1,50-2,00 m aralıkla her zeminde uygulanır
Koni Penetrasyon Deneyi	- Yumuşak killer ve siltli zeminler için temellerin taşıma güçlerinin ve emniyet gerilmelerini belirlenmek, - kazık taşıma güçlerini ve sıvılaşma potansiyellerini belirlemek	Yumuşak killer ve siltli zeminler hariç uygulanmaz
Vane deneyi	- Yumuşak ve ince taneli zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek	Genellikle 1 metre düşey aralıklarla sadece killi zeminlerde uygulanır
Pressiometre deneyi	- Deformasyon ve mukavemet parametreleri gibi mekanik karakteristiklerin belirlemek	Her tür zemin koşulunda uygulanabilmesine rağmen genelde kritik projelerde tercih edilir.

Çizelge 3.1. (Devam) Arazi deneyleri

Plaka yükleme deneyleri	- Zeminlerin taşıma gücü (zemin emniyet gerilmesi), temellerin muhtemel oturmaları ve zeminin elastisite modülü, zemin yatak katsayısı ve sıkışma özelliklerini yerinde belirlemek	
-------------------------	--	--

Laboratuarda yapılan deneyler:

Temel zemininden her tabaka için alınan numuneler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda toprak katmanlarındaki dane büyüklükleri, birim hacim ağırlıkları, su muhtevası ve boşluk oranı, zemin türleri, zeminlerin kayma direnci, zemin sıkışması gibi bilgilerin edinilmesi mümkün olmaktadır [50].

Araştırma çukurlarından ve araştırma sondajlarından elde edilen örnekler poşetlenip etiketlenerek laboratuvar ortamına gönderilir.

Araştırma çukurundan ve araştırma sondajından alınan numuneler ile laboratuvar ortamında yapılan deneyler atterberg limitleri, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi, kompaksiyon deneyi, üç eksenli basınç deneyi, serbest basınç dayanımı deneyi, permeabilite deneyi ve konsolidasyon deneyi olarak incelenebilir:

a) Atterberg limitleri:

Atterberg limitleri, ince taneli zeminlerin plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı veya yağsız oluşu gibi özelliklerin belirlenmesinde kullanılır. Atterberg limitleri bunun dışında tane boyu değerleri ile birlikte zeminlerin sınıflandırılmasında da kullanılmakta olup likit limit, plastik limit ve rötre limitinden oluşur [26].

Likit limit deneyi: Bu deney; ince taneli zeminlerin viskoz bir sıvı kıvamından plastik bir kıvama dönüştüğü su içeriği olarak tanımlanan likit limit değerinin hesaplanması için yapılır [46]. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

Plastik limit deneyi: Bu deney, zeminin düşük su içeriğinde plastik halden katı hale geçişi sırasındaki su içeriği olan plastik limit değerinin hesaplanması için yapılır. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

b) Özgül ağırlık deneyi: Özgün ağırlık, zeminin tane birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranı olup bu deneyde zemin tanelerinin kuru birim hacim ağırlıkları belirlenebilmektedir [46].

c) Tane boyu analizi: Zemini oluşturan tane boyutlarının dağılımı ve miktarını belirlemek için iri taneli zeminlerde elek analizi, ince taneli zeminlerde ise hidrometre yöntemi kullanılmaktadır.

Hidrometre analizi: Bu deneye göre, viskoz sıvı içinde düşen tanelerin nihai hızı tanelerin çapına ve süspansiyon halindeki taneler ile sıvının yoğunluğuna bağlıdır. Düşüş mesafesi ve zamanı bilindiğinden dolayı tanenin çapı hesaplanabilir [46]. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

Elek analizi: İri taneli zeminlerdeki numunelerin yüzde olarak çakıl ve kum oranlarının tespiti için yapılır [46]. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

d) Kompaksiyon (Standart proctor) deneyi: Laboratuarda sıkıştırma (kompaksiyon) deneyi, verilen bir zemin için belli bir sıkıştırma enerjisinde en büyük sıkışmayı (en büyük kuru birim hacim ağırlığı) sağlayacak belirli ölçüdeki su içeriğinin yani optimum su içeriğinin saptanması için yapılır [46,26]. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

e) Üç eksenli basınç deneyi: Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak için kullanılan deney yöntemlerinin en gelişmişlerinden olan üç eksenli basınç deneyi ile

zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemeti gerçeğe en yakın olarak tespit edilebilmektedir. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

f) Serbest basınç (Tek eksenli) dayanımı deneyi: Bu deney, herhangi bir yanal destek olmaksızın kendini dik olarak ayakta tutabilecek zeminlerde yani yalnızca killi zeminlerde uygulanabilmektedir. Eksenel yüklemeye önce zemini konsolide etmek ve eksenel yükleme sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarını ölçmek mümkün olmamasına rağmen killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemekte yaygın olarak kullanılmaktadır [46]. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

g) Permeabilite deneyi: Permeabilite, doymuş bir zeminin belli bir kesitinden belirli bir sürede suyun geçiş hızı olarak tanımlanabilir. Doymuş zeminlerin permeabilite katsayılarını belirlemede tane boyutu yanı sıra boşluk oranı, tane boyu dağılımı, zemin yapısı, zemin tabakalanması ve zemin kusurları gibi birçok önemli faktör etkilidir. Permeabilite katsayısı; laboratuarda kil ve silt oranı yüksek olan zeminler için düşen seviyeli permeabilite deneyi, kum ve çakıl oranı yüksek olan zeminlerde sabit seviyeli permeabilite deneyi yapılır [26]. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

h) Konsolidasyon deneyi: Bir zeminde meydana gelecek toplam konsolidasyon oturması ve konsolidasyon oranları laboratuarda yapılan konsolidasyon deneyi ile belirlenebilir. (Uygulama detayları için Ek-2'ye bakınız)

Laboratuvar ortamında yapılan deneyleri aşağıdaki çizelgedeki gibi özetleyebiliriz:

Çizelge 3.2. Laboratuarda yapılan deneyler

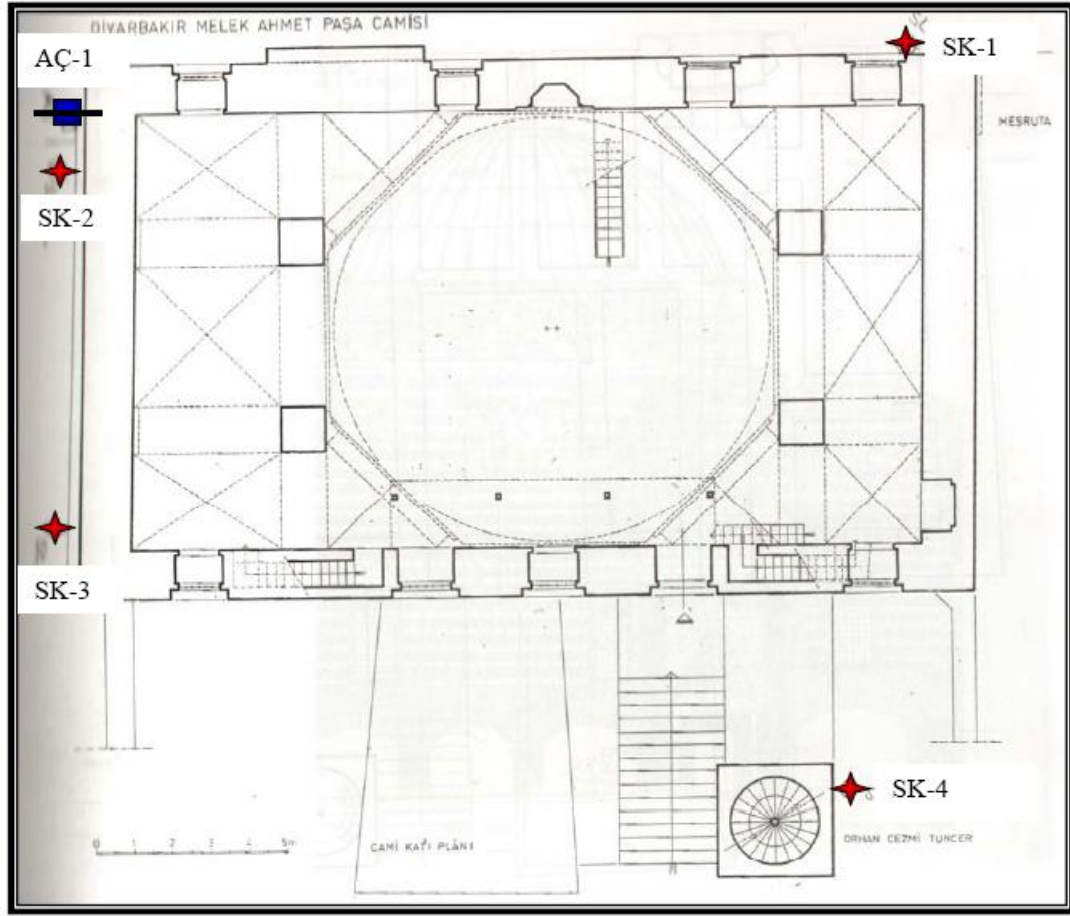
UYGULAMA METODUNUN ADI	KULLANIM AMAÇLARI
Atterberg limitleri	- ince taneli zeminlerin plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı veya yağsız oluşu gibi özelliklerini belirlemek
Özgül ağırlık deneyi	- zemin tanelerinin kuru birim hacim ağırlıkları belirlemek

Çizelge 3.2. (Devam) Laboratuarda yapılan deneyler

Tane boyu analizi	- Zeminini oluşturan tane boyutlarının dağılımı ve miktarını belirlemek
Kompaksiyon (Standart proctor) deneyi	- bir zemin için belli bir sıkıştırma enerjisinde en büyük sıkışmayı sağlayacak belirli ölçüdeki su içeriğini yani optimum su içeriğini saptamak
Üç eksenli basınç deneyi	- Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak
Serbest basınç (Tek eksenli) dayanımı deneyi	- killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemek
Permeabilite deneyi	- Doymuş zeminlerin permeabilite katsayılarını belirlemek
Konsolidasyon Deneyi	- Bir zeminde meydana gelecek toplam konsolidasyon oturması ve konsolidasyon oranlarını belirlemek

3.1.3. Uygulama örneği

Diyarbakır Melik Ahmet Camiinin kubbesinde 30 yıl kadar önce oluşan çatlakların giderek açıldığı ve aşağılara doğru uzadığı tespit edilmiştir. Camide görülen çatlakların ve kısmi oturmaların yapının zemininden kaynaklandığı ihtimali düşünüldüğünden dolayı onarım ve güçlendirme projesi kapsamında yapının temel ve zemin jeoloji-jeoteknik durumunu belirlemek amacıyla caminin her köşesinde birer adet, toplam 4 adet 45 m temel araştırma sondajı açılmıştır. Ayrıca, cami temel derinliğini ve yapısını araştırmak üzere, 2.00 metre derinlikte araştırma çukuru açılmış ve cami temelini 1.80-2.00 m de olduğu görülmüştür [60].



-  SK Açılan araştırma sondajı
 AÇ Açılan araştırma çukuru

Şekil 3.1. Diyarbakır Melik Ahmet Camii araştırma sondajı ve araştırma çukuru planı [60]

Sondaj çalışmalarının delgisinde, kamyonla monteli bir adet Crellius D-500 marka temel sondaj makinesi kullanılmıştır. Temel araştırmalarında T tipi karotiyer ve elmas kesiciler kullanılmıştır.

Temel araştırma sondajlarından yalnızca SK-1 no.lu araştırma sondajında 1.00-1.50 m ve 4.50-5.00 m arasında SPT yapımına uygun zemin bulunmuştur. Diğer kuyularda SPT yapımına uygun zemin olmadığı için SPT yapılmamıştır. Yapılan SPT deneyleri ile zeminin emniyet gerilmesi hesaplanmıştır. Açılan temel araştırma

sondajlarında bazalt kaya yüzeye yakın olduğu için pressiometre, vane deneyi ve plaka yükleme deneyleri yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır [60].

Çizelge 3.3. SPT deneyi özet bilgileri

SONDA J NO	DERİNLİK (m)	SPT DARBE SAYISI				SONUÇ	ZEMİN CİNSİ
		I	II	III	II+II I		
SK-1	1.50-2.00	50/6	-	-	50<	Çok Sıkı	Eski Dolgu Malzemesi
	3.00-3.50	50/3	-	-	50<	Çok Sıkı	Eski Dolgu Malzemesi

Elde edilen numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney ve analizlerinde zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca yer altı ve yer üstü suları ile ilgili veriler elde edilmiştir. Yapılan incelemelerde, yapı zemininin üstte eski dolgu-yapı kalıntısı, altta ise bazalt kayası olduğu görülmüştür. Eski dolgu ve yapı kalıntısı bazalt blok parçaları ile kumlu-siltli kilden ve heterojen çakıl ile kiremit parçalarından oluşmakta olup yük taşıma gücü düşüktür. Temel kaya olan bazalt ise sert, sağlam, yer yer gözenekli, seyrek çatlaklı ve az kırıklı olup taşıma kapasitesi yüksektir. Yer altı suyu ise 1.14-1.90 m derinlikte bulunmuştur. Her kuyudan alınan karot örnekleri laboratuvar ortamında tek eksenli basınç dayanımı testine tabi tutulmuş ve bazalt kayanın basınç dayanımları tespit edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımlarına göre de zemin emniyet gerilmeleri hesaplanmıştır [60].

Çizelge 3.4. Tek eksenli basınç deneyi özet bilgileri

YERİ	KUYU NO	TÜRÜ	ÖRNEK DERİNLİĞİ	EBADI	BASINÇ DAYANIMI
Melik Ahmet Camii	SK-1	Karot	6.30–6.60 m	7X7	530 kgf/cm ²
Melik Ahmet Camii	SK-2	Karot	2.40–2.70 m	7X7	282 kgf/cm ²
Melik Ahmet Camii	SK-3	Karot	2.50–2.70 m	7X7	495 kgf/cm ²
Melik Ahmet Camii	SK-4	Karot	0.50–0.70 m	7X7	248 kgf/cm ²

Yapı temelindeki eski dolgu içinde yer altı suyunun hareketleri ile kil-mil gibi ince malzemenin yıkıldığı ve yük kaldırma kapasitesi giderek azaldığı tespit edilmiştir. Bu tespitler göz önünde bulundurularak temelden kaynaklanan deformasyonların

önlenmesi için, taşıyıcı elemanların altının enjeksiyon ile sağlamlaştırılmasının uygun olacağına karar verilmiştir [29].

3.2. Üst Yapı İle İlgili Sorunların Araştırılması

Tarihi yapılarda taşıyıcı sisteminin değerlendirilmesinde birim ağırlık, basınç ve çekme dayanımları ile elastisite modülü gibi mekanik özelliklerin belirli olması gerekir.

Üst yapı ile ilgili sorunların tespiti için yapılan araştırmaların bir kısmı yerinde (in-situ) uygulanabildiği gibi bir kısmı da laboratuvar ortamında uygulanmaktadır.

3.2.1. Yapı ile ilgili yerinde (in-situ) yapılan deneyler

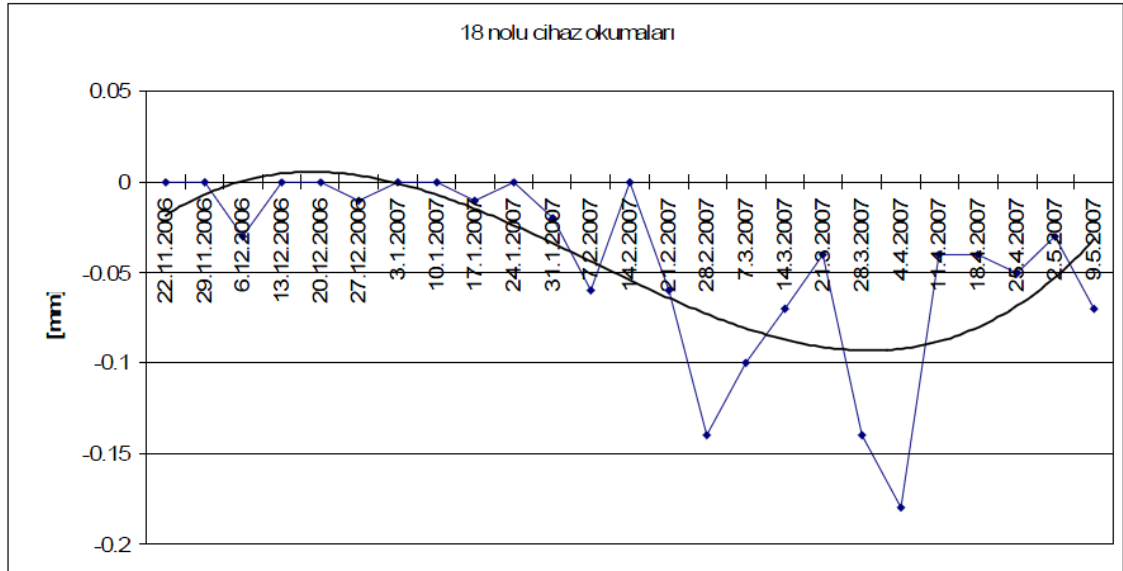
Bu tür deneyler çatlak hareketleri, ısı, nem ve yapının deprem karşısındaki davranışı gibi özellikleri belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Yapı elemanlarının ve taşıyıcı sistemin mevcut durumunun tespit edilmesi ne kadar önemliyse, taşıyıcı sistemin yapısal davranışının zaman içindeki yapısal davranışının tespit edilmesi de o kadar önemlidir.

Yerinde yapılan deneyler taşıyıcı sistemde ve malzemede herhangi bir değişiklik oluşmadan (örnekleme sırasında veya laboratuvar ortamına alınırken) incelemeyi mümkün kılar ve malzeme ile taşıyıcı sistem özellikleri hakkında faydalı bilgiler sağlar.

Yapıda çatlak oluşumu, yapının o bölgesindeki dayanımın sona ermesi ve serbest hareketin başlaması demektir. Önemli olan çatlağın zaman içinde gelişip yapının stabilitesini tehdit etmesidir. Çatlak genişliği, yapıda hareketli yük ve sıcaklık değişimine bağlı olarak artıp eksilebildiği için önemli olan çatlak gelişiminin uzun zaman içindeki eğilimidir. Çatlak genişliğinin uzun zaman içindeki değişimden çatlağın sabit ya da gelişen çatlak olduğuna karar verilebilir. Çatlakların hareketli

olup olmadıkları veya hareket miktarları değişik yöntemlerle ölçülebilmektedir [50].

Çatlak hareketlerini ölçmek için kullanılan geleneksel yöntemler şunlardır:



Şekil 3.2. Edirne Ayşe Kadın Camii çatlak genişliği değişimi [51]

Çatlakların alçıyla sıvanması: Çatlak alçı ile sıvanır, çatlak üzerindeki alçının kırılması yapıda ki hareketlerin devam ettiğini göstermektedir.

Cam levhalar kullanılması: Alçıyla çatlak üzerine yerleştirilen cam levhanın kırılması çatlağın hareketliliğini, zemindeki oturmanın devam ettiğini gösterir.

Kayan yüzeyler arasındaki skala yöntemi: İki cam arasına yerleştirilmiş ölçülü bir skala hareketin ölçüsü ve yönünü tespit etmeye yardımcı olur.

Mikrometre ile ölçüm: Çatlağın iki tarafına iki lama tespit edilir ve aralarındaki uzaklığın mikrometre yardımı ile sürekli ölçülmesi sonucu çatlaklardaki hareketler belirlenmektedir.

Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler ise; yerinde basınç deneyi, yerinde kayma dayanımı testi, georadar testi, ultrases testleri, sertlik ölçer, endoskopi testi, infrared tomografi yöntemi, gevşeme testleri, monitör-izleme, çekme testleri ve duvar harçlarının performans testi olarak incelenebilir.

a) Yerinde basınç deneyi: Yığma yapılarda, elamana uygulanan kuvvetin ve kuvvete karşılık gelen boy değişiminin ölçülmesi için yapılır [39]. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)



Resim 3.3. Yük altında basınç deneyi [3]

b) Yerinde kayma dayanımı testi: Bu deney ile yığma yapılarıdaki kayma dayanımı belirlenmektedir. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)



Resim 3.4. Yük altında kayma dayanımı [3]

c) Georadar testi: Bu yöntem ile malzemenin mekanik özellikleri belirlenemez, fakat; gözle veya karotla belirlenemeyen fiziksel özellikleri belirlenebilir [3]. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)

d) Ultrases testleri (sonic and ultrasonic tests): En önemli testlerden biri olup taşıyıcı sistemin arasından iletilen eksenel ses dalgasının hızı ölçülmektedir. Bu hız rijitlik,

homojenlik ve taşın yoğunluğuna bağlıdır. Bu testler bozulmayı ilgilendiren mikro çatlaklar vb. konularda ve restorasyon yöntemlerinin etkililiği gibi konularda bilgi sağlar [17]. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)



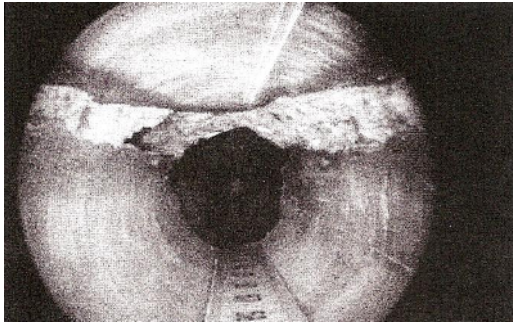
Resim 3.5. Ultrases aleti ile ses geçiş sürelerinin ölçülmesi [3]

e) Sertlik ölçer: Sertlik, bir malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği direnç olup cismin dayanımı hakkında bilgi verir. Sertlik deneyleri kolay olup deneyde malzeme tahrip edilmeyip malzemenin kökeni ve farklı iki numunenin aynı malzemeye ait olup olmadığı hakkında bilgi edinilir. Bu deney elle taşınabilir aletler ile laboratuvar dışında yapılabildiği gibi laboratuvar ortamında da yapılmaktadır [3]. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)



Resim 3.6. N tipi ve P tipi Schmit çekici ile yüzey sertliğinin ölçülmesi [3]

f) Endoskopi Testi (Endoscopic examination): Bu yöntemle duvar kalınlığı boyunca malzeme ve iç yapıdaki değişiklikler, kullanılan harcın kalınlığı ve durumu, duvar iç bünyesindeki çatlakların durumu ve yönleri, daha önce yapılan müdahaleler hakkında bilgi sahibi olunabilir [8]. Bu yöntem, yapı elemanının gözle görülmeyen kısımlarına ulaşarak görüntüsünün elde edilmesini sağlar. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)



Resim 3.7. Endoskopik incelemeler – harç [17]

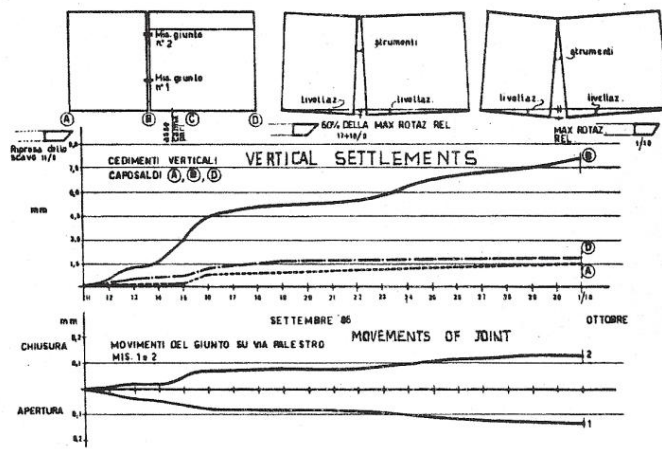
g) Infrared tomografi yöntemi: Bu yöntemde, kızılötesi ışınlar ile yüzey sıcaklığı ölçülerek yüzeye yakın hasarlı bölgeler, farklı malzeme, bozulma ve oyukların dağılımı tanımlanmaya çalışılır. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)

h) Gevşeme deneyleri (relaxation tests): Bu testler ile verilen bir bölgedeki gerilimin mevcut durumu, direnç ve ilgili esneklik katsayısı değerlendirilebilir. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)



Resim 3.8. Gevşeme deneyinde kullanılan bir tablalı kriko [17]

i) Monitör- İzleme (monitoring systems): Bir taşıyıcı sistemi izlemek; çatlakların genişlemesi veya azalması, eğilme açısındaki değişiklikler, deformasyonlar vb. durumlarda oluşan değişiklikleri kontrol etmek anlamına gelir. Monitör sistemi genelde merkezi bir birime bağlı sensörlerden oluşur ve sadece bilgileri kaydetmez ayrıca telefonla veya başka araçlarla bir bilgisayara iletir. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)

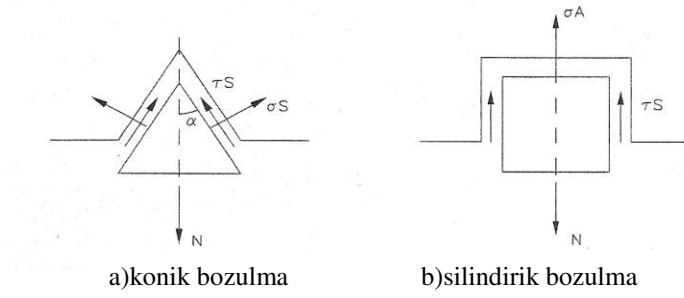


Şekil 3.3. Bir binanın temellerin altındaki tünel çalışmaları sırasındaki hareketlerin kaydı [17]



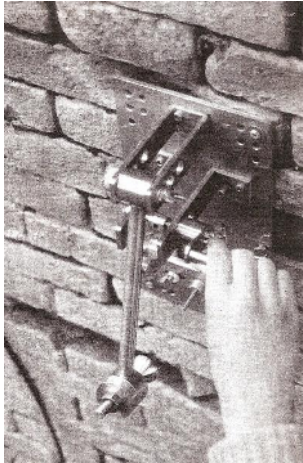
Resim 3.9. Monitör araçları [17]

j) Çekme testleri (Pull-out tests): Betonarme ve kargir elemanların çekme ve kesme gerilmelerine olan dirençlerini değerlendirmek için bu testler kullanılır. (Uygulama detayları için Ek-3'e bakınız)



Şekil 3.4. Çekme testi: çekme konisinin farklı şekilleri [17]

k) Duvar harçlarının performans testi (Penetration test): Harçların mukavemetinin hesaplanmasında kullanılır.



Resim 3.10. Penetration test [17]

Çizelge 3.5. Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

UYGULAMA METODUNUN ADI	KULLANIM AMAÇLARI
Yerinde basınç deneyi	- elamana uygulanan kuvvetin ve kuvvete karşılık gelen boy değişimini ölçmek
Yerinde kayma testi	- yığma yapılarıdaki kayma dayanımı belirlemek
Georadar testi	- malzemenin gözle veya karotla belirlenemeyen fiziksel özelliklerini belirlemek
Ultrasonik testleri	- taşıyıcı sistemin arasından iletilen eksenel ses dalgasının hızını ölçmek - bozulmayı ilgilendiren mikro çatlaklar vb. konularda ve restorasyon yöntemlerinin etkililiği gibi konularda bilgi sağlamak

Çizelge 3.5. (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

Sertlik ölçer	- cismin dayanımı hakkında bilgi verir. - malzemenin kökeni ve farklı iki numunenin aynı malzemeye ait olup olmadığı hakkında bilgi edinmek
Endoskopi testi	- yapı elemanının gözle görülmeyen kısımlarına ulaşarak görüntüsünün elde edilmesini sağlamak - duvar kalınlığı boyunca malzeme ve iç yapıdaki değişiklikler, kullanılan harcın kalınlığı ve durumu, duvar iç bünyesindeki çatlakların durumu ve yönleri, daha önce yapılan müdahaleler hakkında bilgi sahibi olmak
Infrared tomografi yöntemi	-yüzeye yakın hasarlı bölgeler, farklı malzeme, bozulma ve oyukların dağılımını tanımlamak
Gevşeme deneyleri	-verilen bir bölgedeki gerilimin mevcut durumu, direnç ve ilgili esneklik katsayısını değerlendirmek
Monitör- izleme	-bir taşıyıcı sistemi izlemek; çatlakların genişlemesi veya azalması, eğilme açısındaki değişiklikler, deformasyonlar vb. durumlarda oluşan değişiklikleri kontrol etmek
Çekme testleri	-betonarme ve kargir elemanların çekme ve kesme gerilmelerine olan dirençlerini değerlendirmek
Duvar harçlarının performansı testi	-harçların mukavemetini hesaplanmak

3.2.2. Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler

Bazı durumlarda onarım ve güçlendirmede kullanılacak malzemenin belirlenmesi için mevcut duvarları oluşturan bileşenler üzerinde fiziksel ve kimyasal deneylerin yapılması gerekir, bunun için yapıdan numune alınarak laboratuvar ortamında deney yapılabilir. Bu amaç için alınacak numuneler kargir yapının çeşidine bağlı olarak birkaç cm'den on cm'lere kadar çeşitlilik gösterir ve yapı güvenliği açısından sorun yaratmaz. Yapıda karot alınacak yerler belirlendikten sonra, yeterli sayıda karot numune çıkarılır ve numuneler kodlanarak plastik torba içerisinde korumaya alınır. Laboratuara getirilen karotlardan minimum 3 cm kalınlığında parça kesilir. Karot alınan bölgeler ise tekniğine uygun olarak kapatılır.

Laboratuvar ortamında yapılan testler ile kargir yapı strüktürü ile ilgili; ağırlık, gözeneklilik, gözenek boyutu dağılımı, su emilimi ve tuz kristalleşmesi riski, donma-çözülme direnci gibi fiziksel parametreler ile petrografik kompozisyon türü ve kargir yapı taşıyıcı sistemindeki değişikliklerin ciddiyeti, suda çözülebilir tuzların varlığı, sülfatlar, klorlar vb. ve bağlayıcıların çeşidi (hidrolik kireç, çimento, puzolon vb), agrega türü ve oranları gibi kimyasal özellikler ile ilgili bilgi elde edilir [17].

Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler; fiziksel testler, spot tuz testleri, kondaktometrik analiz, asidik agraga ve bağlayıcı analizi, granülometrik analiz, optik mikroskop analizi, elektron mikroskobu analizi, Eds (Energy dispersive X-ray spectroscopy), X-ray diffraction, X ışını floresan analizi, tek eksenli basınç deneyi başlıkları altında incelenebilir:

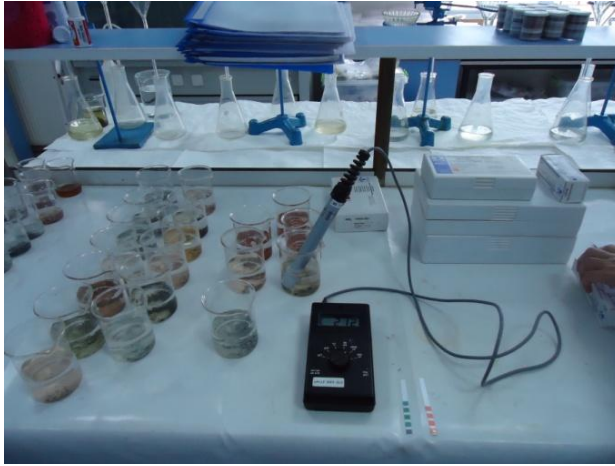
a) Fiziksel testler: Uygulanan fiziksel testler ile yapı malzemelerinin (özellikle taş/kayaç) özgün niteliklerini koruyup korumadıkları tespit edilebilmektedir [4]. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)

b) Spot Tuz Testleri: Bu testler malzemelerin içeriğindeki suda çözünebilen tuzların türlerini tespit etmek için yapılmaktadır. Anyon-kasyon testleri olarak bilinen bu testler ile malzemelerin yapısındaki sodyum, potasyum ve magnezyum tuzları olan sülfatlar, fosfatlar, nitrat ve nitritler, klor ve karbonat vb. tespit edilmektedir [4]. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)



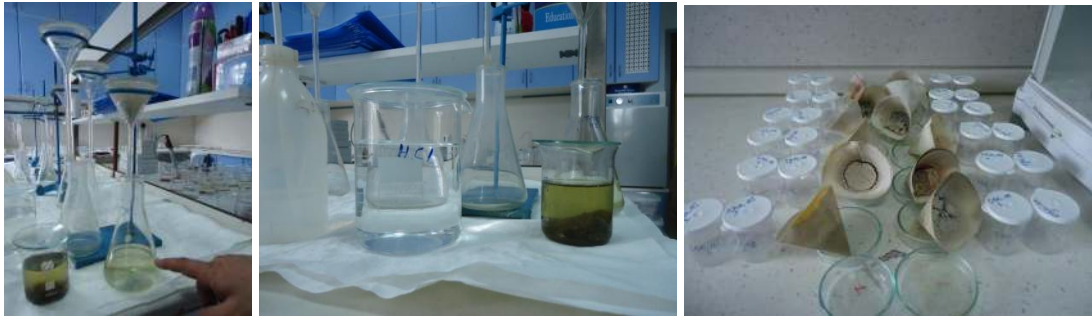
Resim 3.11. Spot tuz testlerinde örneklerin pH tespitlerinin yapılması, 2011 [34]

c) Kondaktometrik analiz: Yapıları oluşturan malzemelerin özellikle seramik ve taş için toplam tuz içerikleri (%) olarak belirlenerek yapıların fiziksel durumları hakkında bilgiler edinilmesini sağlar [4]. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)



Resim 3.12. İletkenlik ölçer ile toplam tuz içeriklerinin belirlenmesi, 2011 [34]

d) Asidik agrega ve bağlayıcı analizi (Asit kaybı analizi): Harç ve sıvalarda agrega ve bağlayıcıların oranının tespiti için yapılmaktadır. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)



Resim 3.13. Harç ve sıvalarda asidik agrega ve bağlayıcı analizi, 2011 [34]

e) Granulometrik analiz (Elek analizi): Harç ve sıvalarda agrega tanecik dağılımı oranlarını tespit etmek için yapılmaktadır. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)



Resim 3.14. Harç ve sıva örneklerinin elekten geçirilip tartılması, 2011 [34]

f) Optik mikroskop analizi: İnce kesitlerin optik ve özellikle elektron mikroskobu incelemesi, tuğlaların (köken, yanma sıcaklığı vb.), taşların (köken, değişme vb.) ve harçların (kireçli veya silisli agregalar, bağlayıcılardaki eksiklikler, gözeneklilik, mikro parçalanmalar vb.) sınıflanması için en önemli testtir [17]. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)

Optik mikroskopla yapılan doğrudan görsel gözlemler, nihai karakterizasyon öncesi ve diğer analizlere ön hazırlık için kullanılır.

Harçların karakterizasyonu için ince kesitlerde yapılan bu çalışma çok etkili analitik bir tekniktir [7].



Resim 3.15. Optik mikroskop incelemesi [32]

g) Elektron mikroskobu analizi (SEM): Optik mikroskobun yetersiz kaldığı büyütmelerde doğrudan başvurulmuş inceleme yöntemidir. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)

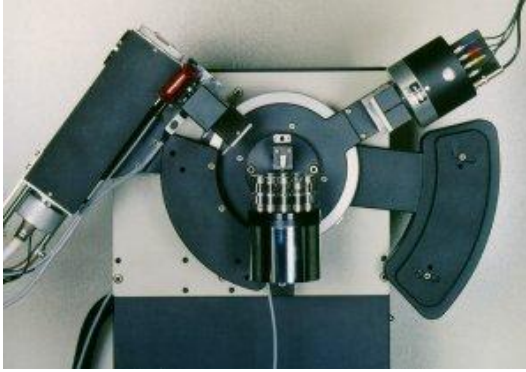


Resim 3.16. Elektron mikroskobu incelemesi [32]

h) Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (Eds): Bu analiz ile malzemedeki her bir elementin tipi ve miktarının belirlenmesi sağlanır. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)

i) X-Ray Diffraction: Bu testler, spektroskopisi olarak bilinen X-Işını Difraksiyon spektroskopisi isminden anlaşılacağı üzere X-ışını denilen *Ultraviyole ışıdan* daha kuvvetli fakat *Gamma ışıından* daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)

Bu teknik, taş, tuğla ve özellikle harç numunelerinin mikro-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için kullanılır [39].



Resim 3.17. Işını üreten sol üst başlık ile dedektör (sağ üst) birbirine V şeklinde bir açıyla bağlanmıştır. Bu açı değişebilmekte olup orta hazne örnek yüklemesi için kullanılmaktadır.

j) X-Işını Floresan Analizi (X-Ray Fluorescence): Mineral, kayaç veya herhangi bir katı, sıvı, toz, film örneklerin incelenmesine olanak veren kimyasal bir analiz tekniğidir. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)

Bu analiz, hızlı olması ve yıkıcı olmayan özellikleri nedeniyle malzemelerin incelenmesinde vazgeçilmez bir araçtır. Fakat sınırlayıcıları nedeniyle sayısal belirlenmeler yapmak oldukça zordur [38].



Resim 3.18. XRF incelemesi [32]

k) Tek eksenli basınç deneyi: Taş ve tuğla numunelerde uygulanan mekanik bir deney olup basınç etkisinde meydana gelen boy değişimi, yük-boy değişimi ve kırma yükü ile basınç mukavemetinin belirlenmesini sağlar [3]. (Uygulama detayları için Ek-4'e bakınız)



Resim 3.19. Tek eksenli basınç deneyi [3]

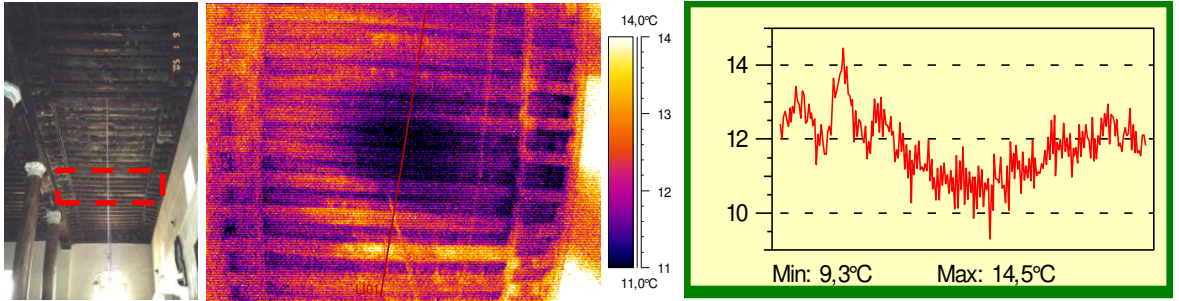
Çizelge 3.6. Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler

UYGULAMA METODUNUN ADI	KULLANIM AMAÇLARI
Fiziksel testler	- yapı malzemelerinin (özellikle taş/kayaç) özgül niteliklerini koruyup korumadıklarını tespit etmek
Spot tuz testleri	- malzemelerin içeriğindeki suda çözünabilen tuzların türlerini tespit etmek
Kondaktrometrik analiz	- yapıları oluşturan malzemelerin özellikle seramik ve taş için toplam tuz içerikleri (%) olarak belirlemek ve yapıların fiziksel durumları hakkında bilgiler edinilmesini sağlamak
Asidik agrega ve bağlayıcı analizi	- harç ve sıvalarda agrega ve bağlayıcıların oranının tespitini yapmak
Granülometrik analiz	- Harç ve sıvalarda agrega tanecik dağılımı oranlarını tespit etmek
Optik mikroskop analizi ve elektron mikroskobu analizi	- tuğlaların (köken, yanma sıcaklığı vb.), taşların (köken, değişme vb.) ve harçların (kireçli veya silisli agregalar, bağlayıcılardaki eksiklikler, gözeneklilik, mikro parçalanmalar vb.) sınıflanmasını yapmak için
Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (Eds)	- malzemedeki her bir elementin tipi ve miktarının belirlenmek
X-Ray Diffraction	- taş, tuğla ve özellikle harç numunelerinin mikro-kimyasal özelliklerinin belirlenmek
X-ışını floresan analizi	- mineral, kayaç veya herhangi bir katı, sıvı, toz, film örneklerin incelenmesini sağlamak
Tek eksenli basınç deneyi	- basınç etkisinde meydana gelen boy değişimi, yük-boy değişimi ve kırma yükü ile basınç mukavemetinin belirlenmesini sağlamak

3.2.3. Uygulama örneği :

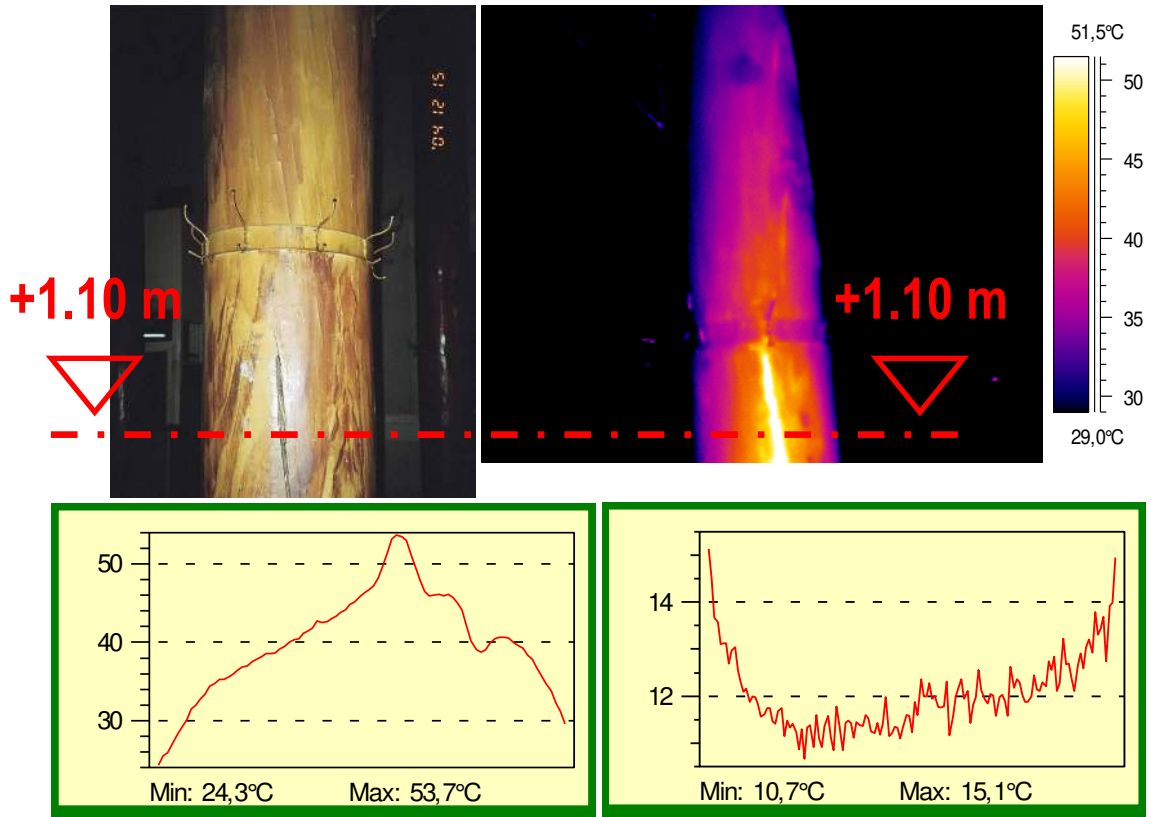
Ankara İli, Altındağ İlçesi Arslanhane Camii için ODTÜ Malzeme Koruma Laboratuvarı tarafından Kızılötesi Isıl Görüntüleme ve Harç ve Sıva Analizleri Ön Çalışmaları yapılmıştır.

Kızılötesi ısı görüntüleri, çatı akaçlama düzeneğindeki aksaklıkların sebep olduğu nemli bölgeleri açıkça göstermektedir. Kızılötesi ısı görüntülerde yapı duvarlarında, aşağıdan yukarıya doğru yükselen nem sorunu da açıkça görülmektedir.



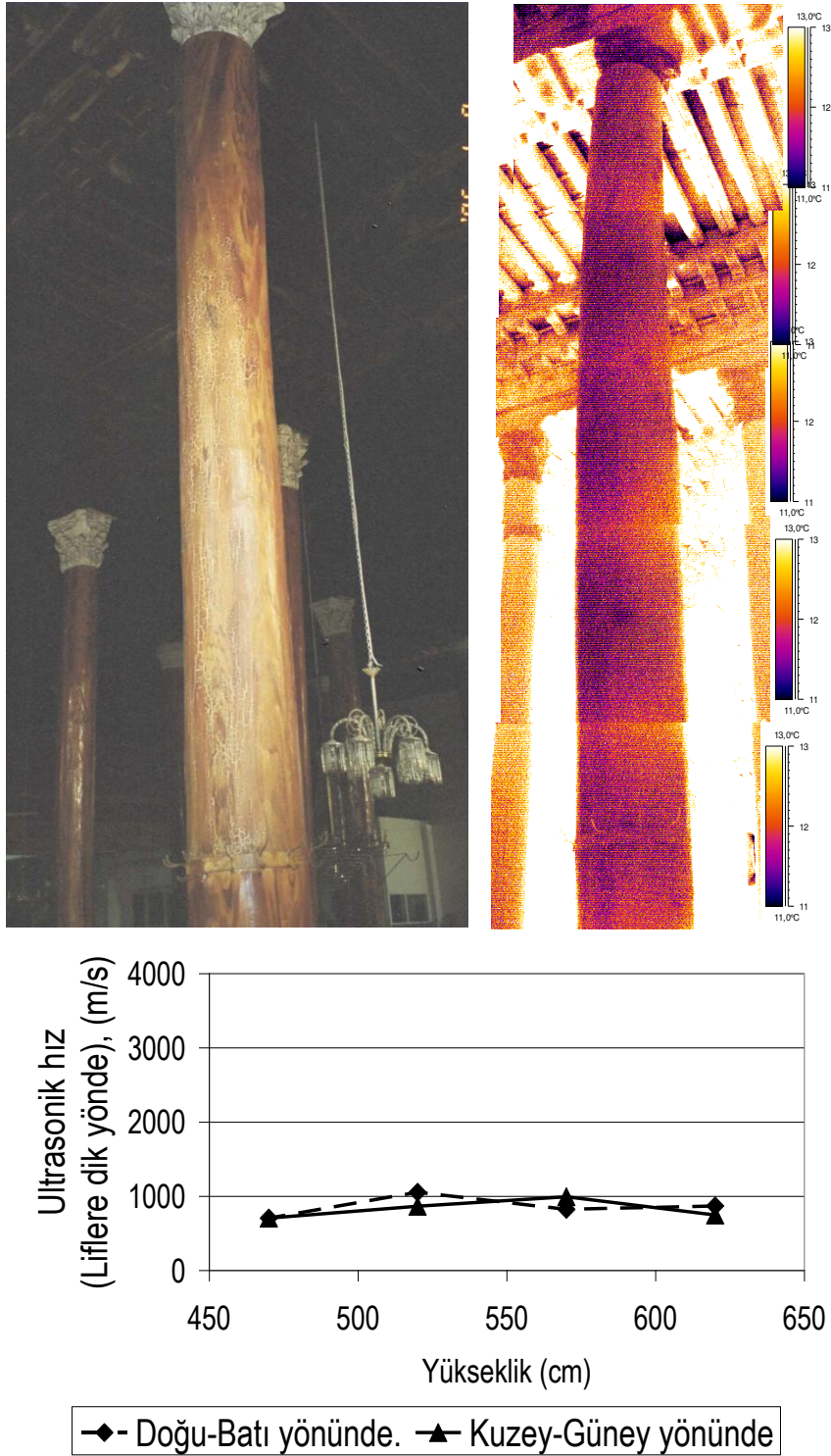
Resim 3.20. Ahşap tavandan bir görünüm (solda), çerçeve içindeki alanın kızılötesi ısı görüntüsü (ortada) ve ahşap tavanda ısı dağılımını gösteren sıcaklık eğrisi: ahşap tavan yüzeyindeki sıcaklık farklılığı 5 °C'ye kadar ulaşmakta, bu durum, soğuk bölgenin ıslak olduğunu ve tavanda çatı drenaj sistemindeki problemlerden kaynaklanan nem sorunlarının varlığını göstermektedir [48]

Yapının tarihi ahşap kolonların sağlamlılık durumu ise, ultrasonik hız ölçümleri ve kızıl ötesi ısı görüntü analizleri ile değerlendirilmiştir.



Resim 3.21. Arslanhane Camiinin K1 kolonunun sobaya bakan tarafı ve +1.10m kotundaki sıcaklık dağılımı (solda), aynı kolonun arka yüzü ve aynı kottaki sıcaklık dağılımı (sağda): Kolonun sobaya yakın tarafındaki aşırı kuruma/ısınma sonucunda çatlakların olduğu görülmüştür [48]

Ultrasonik hız ölçümleri ve kızılötesi ısı görüntüleme çalışmalarından elde edilen ön veriler, ahşap kolonların sağlam olduğunu, ancak anıtın diğer kısımlarında ahşap elemanlar için tehlike oluşturan nem sorunlarının bulunduğunu göstermiştir. Yapılan ilk çalışmalar, tarihi yapıdaki nem sorunlarının çatı akaçlama düzeneğindeki aksaklıklar/sorunlar, yüzey suyu akaçlamasının yetersizliği, çimento katkılı harç ve sıva yağlı boya onarımlarından kaynaklandığını göstermektedir [48].



Resim 3.22. Arslanhane Camii İki nolu kolonun, K2, genel görünüşü (solda), kızılötesi ısı görüntüsü (sağda) ve liflere dik yönde ultrasonik hızlarını gösteren eğri (altta): K2 ahşap kolonu halen sağlamdır. Kolonun sağlamlığı yüksekliği boyunca elde edilen ortalama $1001\text{m/s} \pm 145$ ultrasonik hız değerlerine ve homojen yüzey sıcaklık dağılımına sahip olması ile anlaşılmaktadır [48]

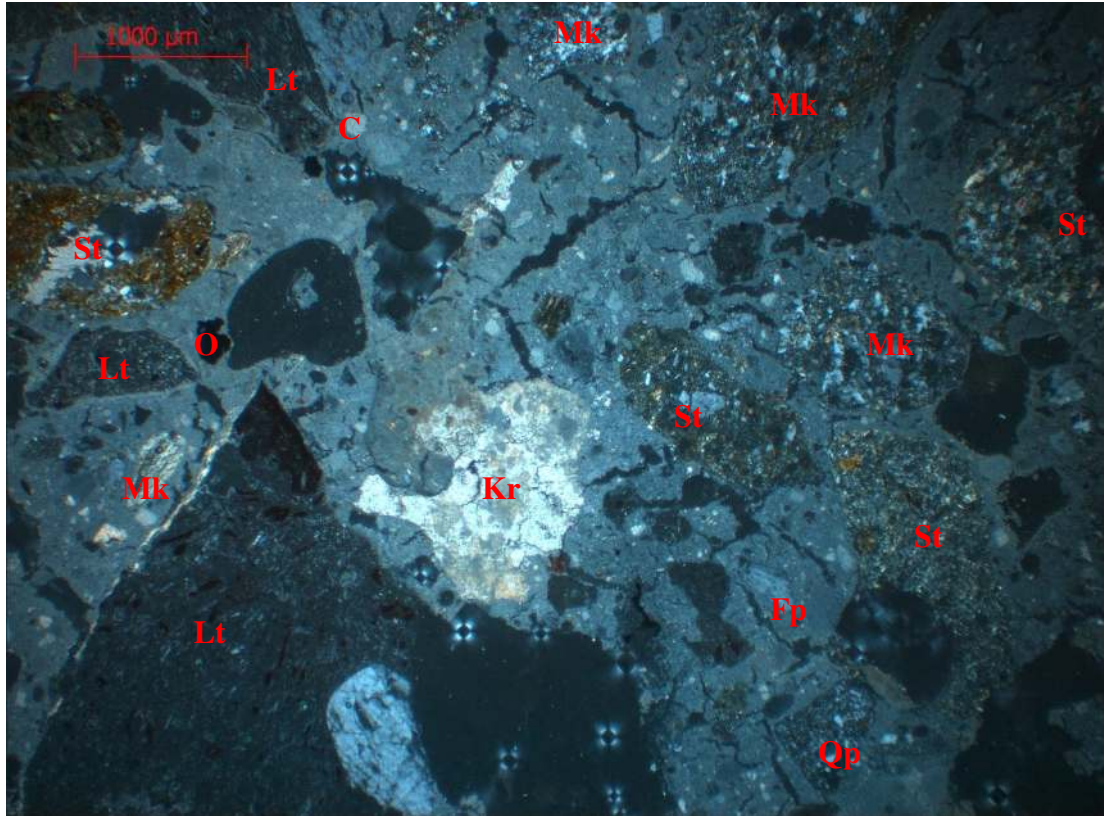
Tarihi yapı malzemelerinin tanımı için fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlığı ve gözeneklilik durumları belirlenmiştir. Bunun sonucunda harçların yüksek gözenekli (%31-%60) ve düşük birim hacim ağırlığına ($1.16 \text{ g/cm}^3 - 1.42 \text{ g/cm}^3$) sahip oldukları görülmüştür.

Çizelge 3.7. Örneklerin birim hacim ağırlığı (g/cm^3) ve gözeneklilik (%hacim) değerleri

Örnek	Birim hacim ağırlığı g/cm^3	Gözeneklilik %
AC 12	1.82	31
AC 13	1.22	50
AC 14	1.87	54
AT 16	1.17	52
AT 17a	1.16	50
AT 18	1.18	60
AT 19	1.23	52
AT 20	1.42	39

Aslanhane Camii ve Türbesi'nden alınan harç ve sıva örneklerinden bazılarının ince kesitleri hazırlanmış; agregalarının mineralojik ve petrografik tanımları ve bağlayıcı malzemelerin özellikleri açısından incelenmiştir.

AC14 nolu harç örneğinde agregalar köşeli ve az yuvarlanmış biçimdedir. Yapılan ince kesit incelemelerinde, agregaların, latit, yüzey kayacı parçası, hidrotermal kuvars parçası, silttaşı, metamorfik kayaç parçası, kireçtaşı, opak mineral, plajiyoklaz gibi mineral ve kayaç parçalarından oluştuğu görülmüştür [48].



Resim 3.23. Arslanhane Camii minber arkasından alınan harç örneğinin (AC14) ince kesit görüntüsü. Lt: Latit, Kr: Kireçtaşı, St: Silttaşı, Qp: Hidrotermal Kuvars Parçası, Fp: Plajiyoklaz, Mk: Metamorfik Kayaç, O: Opak Mineral, C: Kalsit [48]

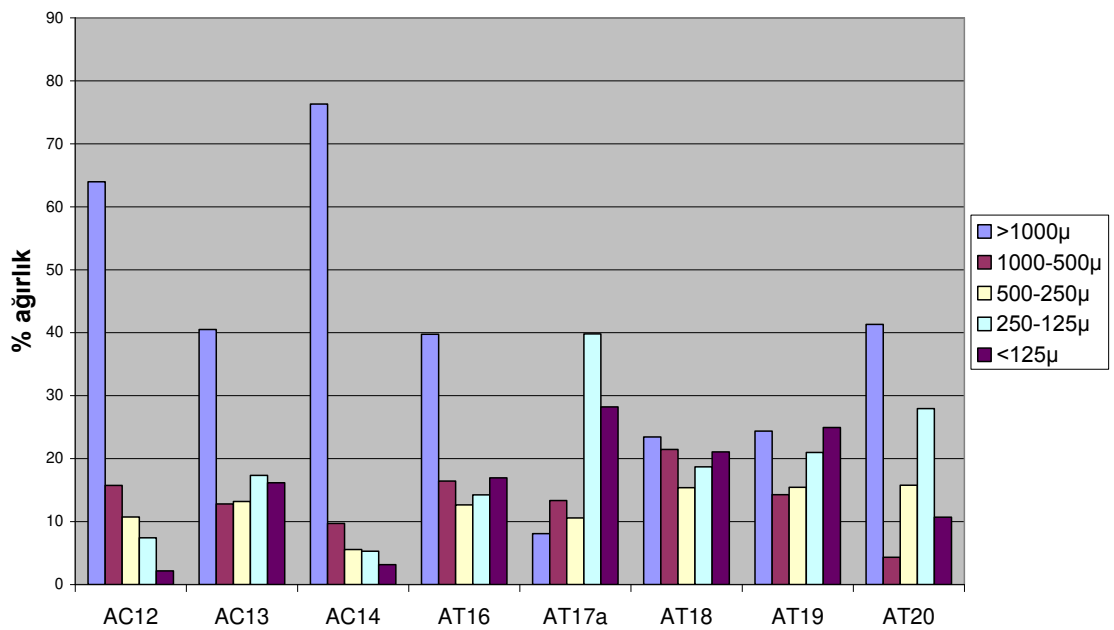
Çalışılan harç ve sıvalarda kullanılan agregaların tane boyu tanımı karma taneli olarak yapılmıştır. İnce kesit analizleri sonuçları bu agregaların (kumun) Ankara'nın jeolojik yapısını yansıtan alüvyonlardan alındığını göstermektedir. Taneler andezit benzeri yüzey kayaçlarını ve mika-kuvars-şistler gibi metamorfik kayaç parçalarını içermektedir. Bağlayıcı ise saf kireçtir [48].

İnce kesit gözlemlerine ek olarak harç ve sıvaların asitte çözünmeyen agregalarının oranı, tane boyu dağılımı ve ince tanelerin puzolanik aktivite tayinleri yapılmıştır. Sonuçlar harç ve sıvalarda kullanılan agregaların karma taneli olduğunu desteklemiştir. Harç ve sıvalarda kullanılan ince agreganın puzolanik aktifliği yüksektir (Çizelge 3.8.). Yüksek puzolanik aktiviteye sahip ince agregaların (<125 µm) harçların ve sıvaların fizikomekanik özelliklerini olumlu etkilediği düşünülmektedir. Harç ve sıva karışımlarına önemli miktarlarda (toplam agreganın

%10'u - %50'si arasında değişen) puzolanik aktif ince agrega eklenmiş olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.5). Onarım harçlarının hazırlanmasında kullanılacak ince agreganın puzolanik aktivitesi de yüksek olmalı ve karışımda yeterli miktarda kullanılmalıdır [48].

Çizelge 3.8. İnce agregaların (<125µm) puzolanik aktivite değerleri

Örnek	ΔEC (mS/cm)
AC13	25.0
AC14	13.4
AT19	23.8
AT20	9.4



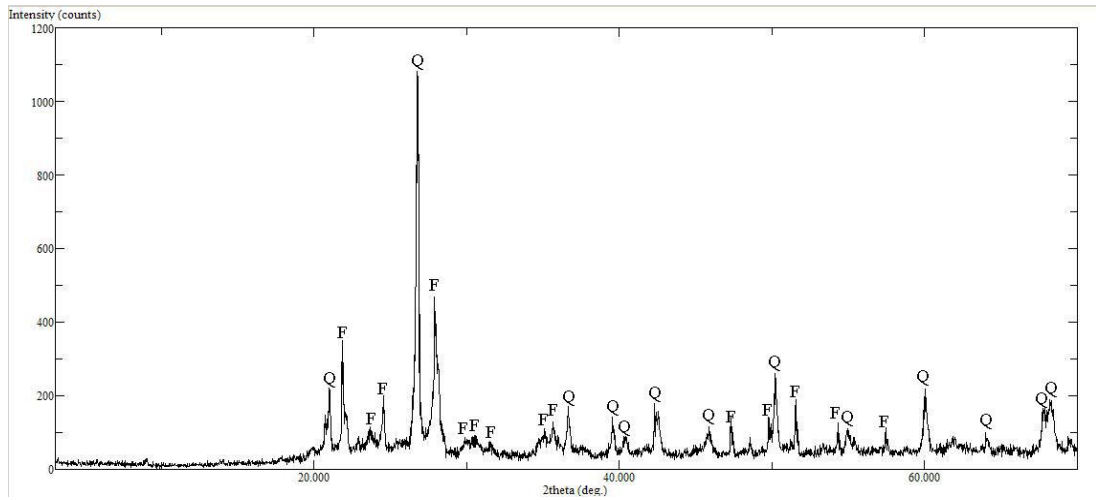
Şekil 3. 5. Tane büyüklüğü dağılımı

Çizelge 3.9. Asitte çözünmeyen tane oranı (% g)

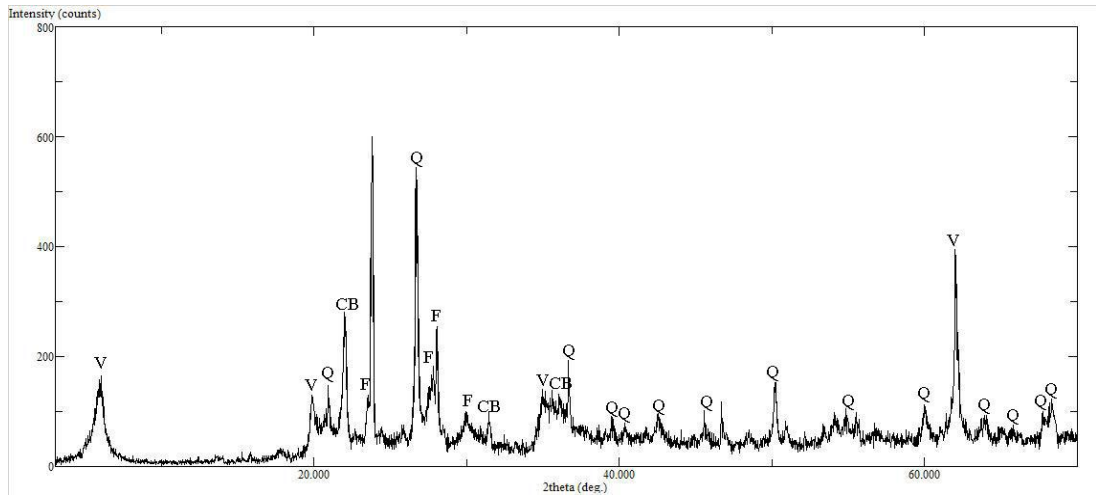
Örnek Kodu	Asitte Çözünmeyen Tane Oranı (% g)
AC12	73
AC13	42
AC14	77
AT16	7
AT17a	14
AT18	7
AT19	6
AT20	41

Harç ve sıvalarda asitte (%5'lik HCl) çözünmeyen tane oranı, agregata tane büyüklüğü dağılımı ve ince kesit analizleri beraber değerlendirildiğinde, cami harç örneklerinde %50 - %60 oranında saf bağlayıcı kireç kullanılmış olduğu görülmüştür [48].

Harç ve sıvaların toz örneklerinde ve asitte çözünmeyen ince agregata örneklerinde XRD analizleri de yapılmıştır. Bu analizler ince kesit analizlerinde tam olarak belirlenemeyen bağlayıcı malzeme bileşimi hakkında daha fazla bilgi edinilmesini sağlamıştır.



Şekil 3.6. AC13P, AC13 nolu örneğin 125µm altı asitte çözünmeyen parçacıklarının XRD izi, Q: kuvars, F: feldspar (anortit, albit) [48]



Şekil 3.7. AC14P, AC14 nolu örneğin 125µm altı asitte çözünmeyen parçacıklarının XRD izi, Q: kuvars, F: feldspar (anortit, albit), CB: kristobalit, V: Volkonskoit [48]

Yapılan bu analiz ve incelemeler neticesinde yapıdaki sorunlar daha sağlıklı olarak belirlenmiş ve çözüm önerileri getirilmiştir. Ayrıca yapılan malzeme analizleri doğrultusunda onarımlarda kullanılacak harç ve sıvaların içeriğinin belirlenmesi sağlanmıştır.

3.3. Uygulama Örneği

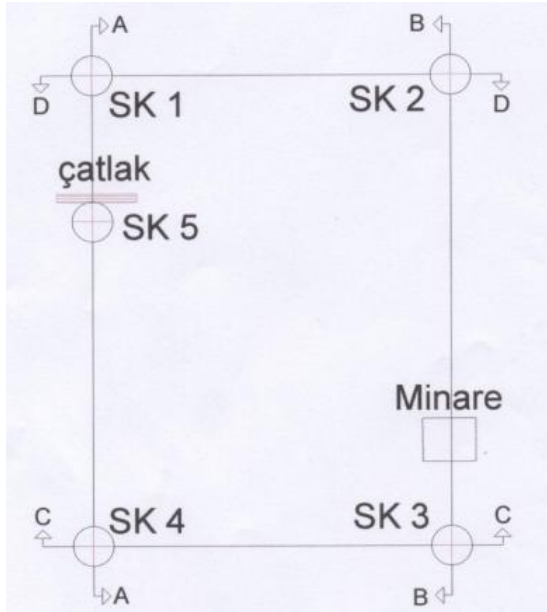
Ankara İli, Altındağ İlçesi Cenab-ı Ahmet Paşa Camii'nin doğu cephesinde temelden başlayıp kubbeye kadar devam eden ve zamanla genişleyen ve temel zemininden kaynaklı olduğu düşünülen bir yapısal çatlak bulunmaktadır. Bu soruna çözüm bulunması ve yapıya müdahale edilmesi amacıyla, Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğünün yapmış olduğu ihale neticesinde söz konusu yapının rölöve, restitüsyon, restorasyon ve statik projelerinin hazırlanması işi Sayka İnşaat Mimarlık Mühendislik Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır. İlgili firma statik sorunların ve nedenlerinin tespiti ile bu sorunlara çözüm önerisi sunulması için Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ile birlikte çalışmıştır. Sözü edilen projelerin hazırlanması aşamasının kontrollüğü de uygulamanın kontrollüğü de benimde içimde bulunduğum bir grup tarafından yapılmıştır.

Yapı ile ilgili çalışmaların ilk adımını fotogrametrik ölçümlerinin yapılarak rölöve projelerinin hazırlanması oluşturmaktadır. Bu aşamayla eş zamanlı olarak yapı ile ilgili tarihi araştırmalar yapılmış, sanat tarihi raporu hazırlanmış ve restitüsyon projesine baz oluşturacak bilgi ve belgeler toplanmıştır.

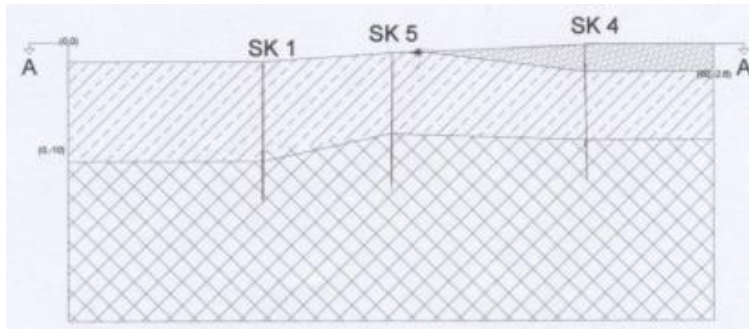
Rölöve projelerinin hazırlanmasını müteakip sorunlar paftaları hazırlanmaya başlanmıştır. Bu aşamada zeminle ve üst yapı ilgili yerinde ve laboratuvar ortamında çeşitli deneyler ve çalışmalar yapılmıştır.

Mevcut yapısal çatlağın temel zemininden kaynaklanıp kaynaklanmadığının tespitine yönelik ilk olarak zemin etüdü çalışması yapılmış; bu çalışmada 5 noktada (caminin dört köşesi ve çatlağın bulunduğu kısımda) toplam 67 m araştırma sondajı yapılmıştır. Bu çalışmalarda değişken olmakla beraber yaklaşık 9 m derinliklere

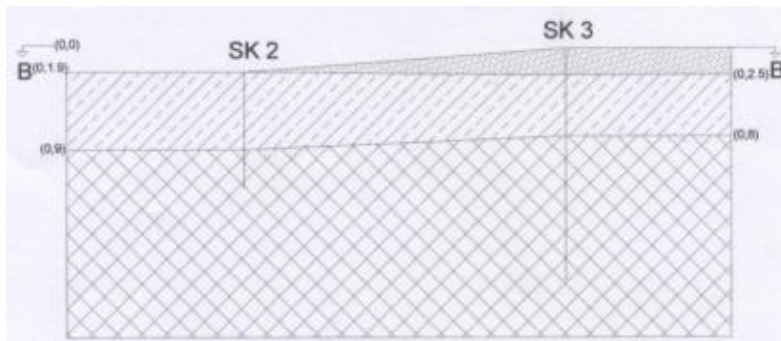
kadar yüzeysel dolgu ve sonrasında Ankara kili, bu tabaka sonrasında ise yer yer killi kum, siltli kum boyutuna kadar ayrılmış andezit tabakasına rastlanmıştır [14].



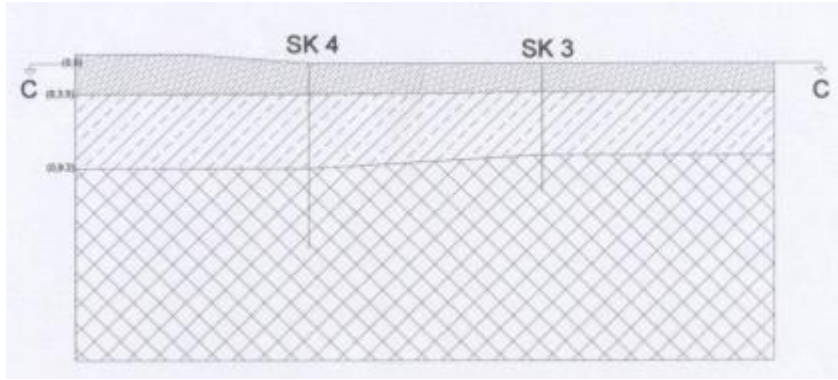
Şekil 3.8. Sondaj yerleri



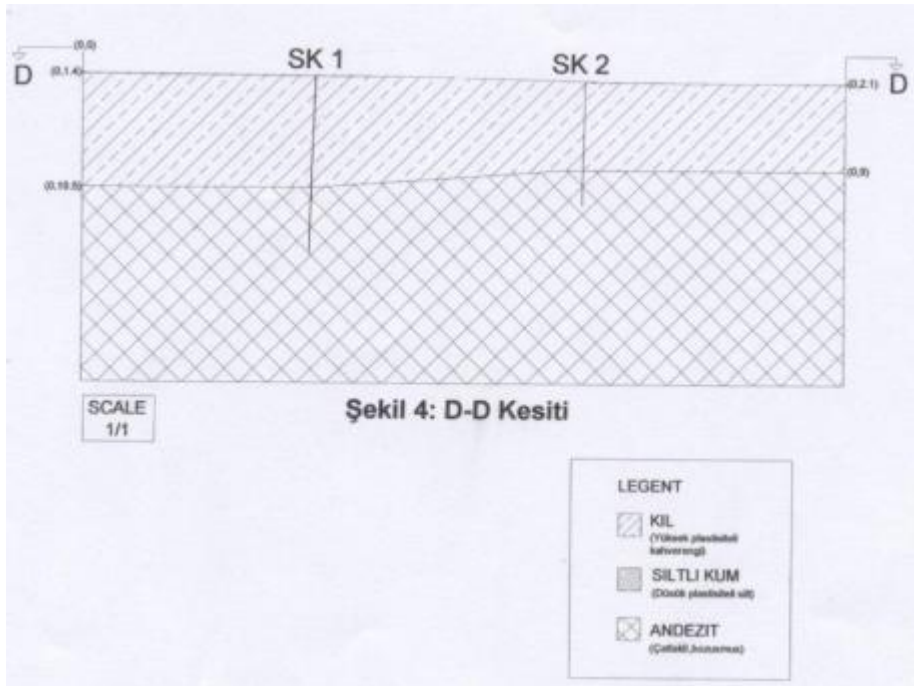
Şekil 3.9. A-A Kesiti



Şekil 3.10. B-B Kesiti



Şekil 3.11. C-C Kesiti



Şekil 3.12. D-D Kesiti

Sondajlarda Ankara kilinin max 9 m derinliğe kadar uzandığı görülmüştür. Yapılan laboratuvar deney sonuçları ve Atterberg limit deneylerine dayalı olarak kilin yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. 7 ile 10 m derinlikler sonrasında andezit tabakaya rastlanılmış olup Ankara kilini takip eden 1 m'ye varan kesimleri killi kum, siltli kum mertebelerine varan bir ayrışmaya uğramıştır [14].

Yapılan ölçümlerde yer altı su seviyesine -5 m ile - 8 m kotları arasında rastlanmıştır.

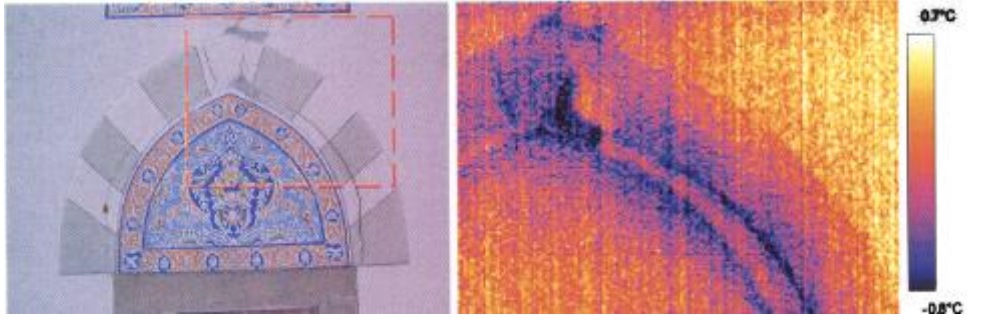
Çizelge 3.10. Yer altı su seviyesi kotları

Sondaj No	Yaklaşık Sondaj Üst Kotu	Yeraltı Su Seviyesi Kotu
SK-1	-1.8	-7.7
SK-2	-2.0	-8.0
SK-3	0.0	-5.0
SK-4	0.0	-7.4
SK-5	-0.8	-6.3

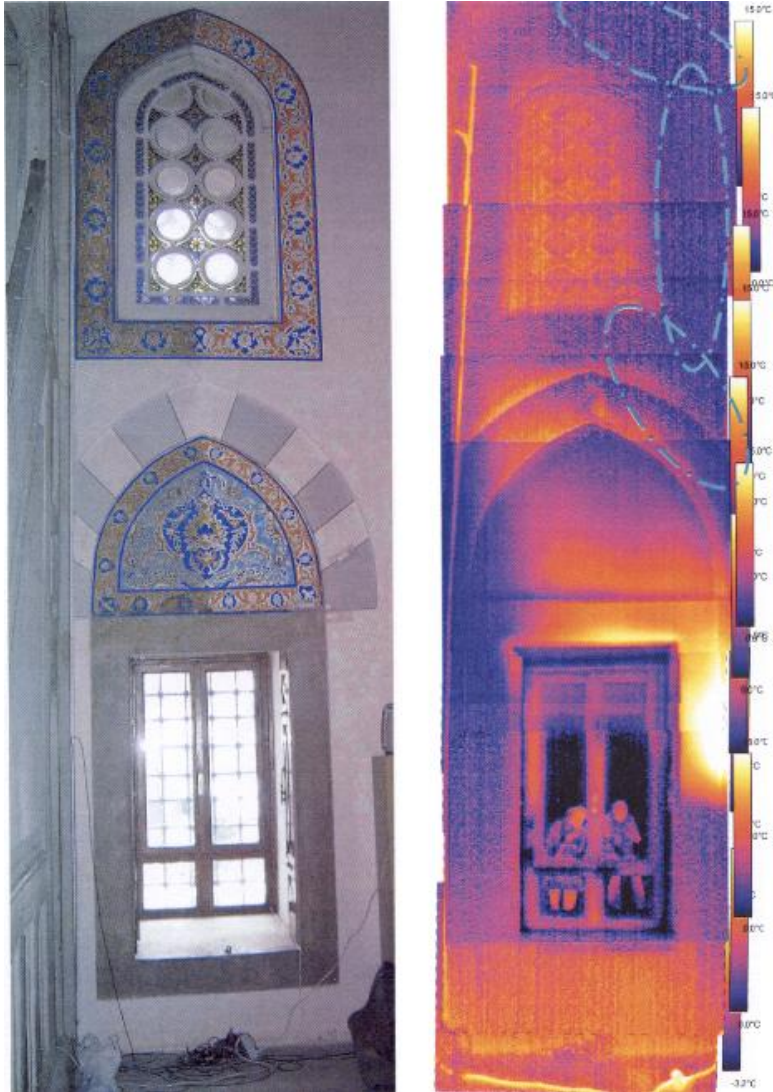
Geoteknik değerlendirme sonucunda; temel altında 5 ile 9 m arasında değişen, yüksek şişme potansiyeline sahip Ankara kili olduğu anlaşılmıştır.

Mart 2008 tarihli Cenab-ı Ahmet Paşa Camii Temel Zeminleri Geoteknik Değerlendirme Raporu'na göre kurak ve yağışlı sezonlar arasında şişme ve büzülme deplasman farklarının, %1 tek boyutlu şişme potansiyeli ve 3 metre su seviyesindeki oynama kabulleri ile 3 cm mertebelerine varabileceği görülmüştür. Çatlakların özellikle kurak geçen son birkaç yaz sonrası daha da genişlemesi bu mekanizmanın etkin olduğunu doğrular mahiyettedir. Bu mertebedeki deplasmanların üst yapı üzerinde çatlamalara sebep olabileceği düşünülmüştür [14].

Zemin ile ilgili yapılan bu araştırmaların yanı sıra ODTÜ Malzeme Koruma Laboratuvarı çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında kızılötesi ısı görüntüleri ile çatlakların derin mi yüzeysel mi ayrıca nem sorunlarının tespiti yapılabilmektedir. Kızılötesi çalışmalara ek olarak yapı duvarlarında ultrasonik hız ölçümleri alınarak farklı sıva katmanları ve kalınlıkları, taş ve tuğla malzeme hakkında bilgi edinilmesi sağlanmıştır. Bunun dışında yapıdan alınan sıva örneklerinin birim hacim ağırlığı ve gözeneklilik gibi fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiş, örneklerin ince kesitleri hazırlanarak agregaların mineralojik ve petrografik tanımları ve bağlayıcı özellikleri tespit edilmiş, daha sonra da ince kesit analizlerde tam olarak belirlenmeyen bağlayıcı malzeme bileşimi hakkında bilgi edinmek için Xrd analizleri yapılmıştır [47].



Resim 3.24. Kızılötesi görüntülerde, doğu cephesindeki pencerenin üzerindeki kemerini takip eden çatlağın derin bir çatlak olduğu anlaşılmıştır [47]



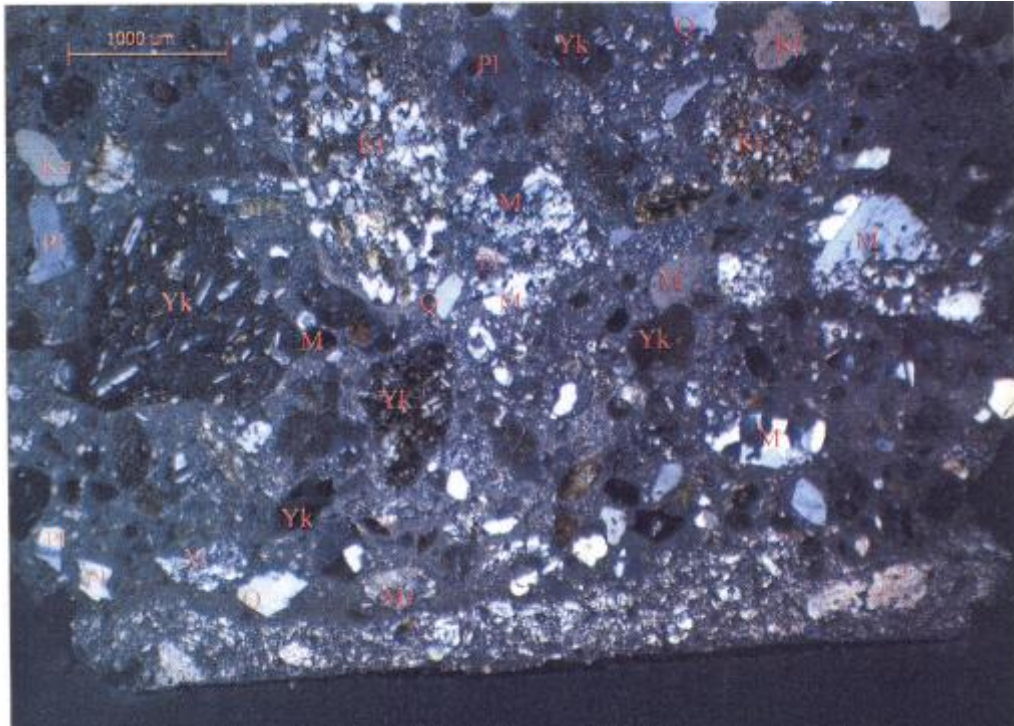
Resim 3.25. Duvarların kızıl ötesi görüntülerinde dairelerle işaretlenmiş olan yüzeyler soğuk ve nemli bölgeleri göstermektedir [47]

Çizelge 3.11. Alınan sıva örneklerinin birim hacim ağırlığı (g/cm³) ve gözeneklilik (%hacim) değerleri

Örnek Kodu	Birim Hacim Ağırlığı (ort.) (g/cm ³)	Gözeneklilik (ort.) (% hacim)
CA7	1.30	41
CA8	1.33	49
CA50B	1.70	35
BP	2.24	12
AB	1.70	35

Çizelge 3.12. Örneklerin ultrasonik hız değerleri

Örnek Kodu	Kalınlık (cm)	Zaman (mics)	USV (m/s)
CA7	1.45	24.5	592
CA8	1.19	25	476



Resim 3.26. CA9 nolu örneğin ince kesit görüntüsü, Kt: Kumtaşı, M:Metamorfik kayaç parçası, Ki:Kireçtaşı, Yk: Yüzey Kayacı parçası, Pl: Plajiyoklaz, Ka:Kalsit, Q:Kuars, Mr:Mermer

Yapılan bu araştırmalar ve gözlemler doğrultusunda yapı ile sorunlar tespit edilmiş ve bozulma ve sorunlar paftaları hazırlanmıştır.

4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

Günümüzde anıtların korunmasındaki temel yaklaşım sürekli bakımlarının sağlanması olmasına rağmen birdenbire ortaya çıkan yangın, deprem, toprak kayması gibi felaketler ise büyük ölçekli müdahaleler yapılmasını gerektirebilir. Bu müdahaleler yapılırken kullanılan yöntemleri tarihi yapının yapıldığı malzeme ile taşıyıcı sistemin sağlamlaştırılması ve temelin sağlamlaştırılması olarak iki ana başlık altında toplayabiliriz. Bu yöntemler ele alınırken derzleme ve tamamlamadan kazık uygulamalarına kadar en basitten en kapsamlıya her tür sağlamlaştırma ve güçlendirme yöntemi ele alınmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında; tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan tüm yöntemler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Fakat şunu unutmamak gerekiyor ki bu yöntemlerin bir kısmında kullanımı anlatılan çimento harçlı imalatlar tarafımızdan kabul görmemesine rağmen bazı durumlarda başka çözüm önerileri henüz geliştirilemediği için bu yöntemlerin ve malzemelerin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Buna rağmen, bu yöntemlerin uygulamasında yapıyı çimentonun olumsuz etkilerinden korumak için gerekli önlemlerin alınması gerekmekte olup eski eser yapıların restorasyonunda çalışan uzmanların bu konuyu göz ardı etmemesi gerekmektedir.

4.1. Tarihi Yapının Yapıldığı Malzemenin ve Taşıyıcı Sistemin Sağlamlaştırılması

Tarihi yığma yapılarda taşıyıcı sistem; temeller, duvarlar, sütunlar, ayaklar, döşemeler, kemerler, tonozlar, kubbeler ve diğer çatı (dam, ahşap çatı vb.) elemanlarından oluşmaktadır. Bu yapılarda ahşap, taş, tuğla, kerpiç, bağlayıcı olarak harç gibi malzemelerin yaygın olarak kullanıldığını görmekteyiz.

Sözü edilen taşıyıcı sistem elemanlarının ve kullanılan malzemelerin sağlamlaştırılmasında uygulanan yöntemleri değiştirme-yenileme ve tamamlama,

takviye-güçlendirme deformasyon ve sorun kaynağına çözüm geliştirme olarak üç grup altında toplayabiliriz.

4.1.1. Değiştirme-yenileme ve tamamlama

Tarihi yapının yapıldığı malzemenin ve taşıyıcı sistemin sağlamlaştırılması konusunda en basit uygulamalar olan kısmi değiştirme ve tamamlama ile tekrar derzleme ve donatılı derzleme uygulamaları bu başlık altında ele alınacaktır.

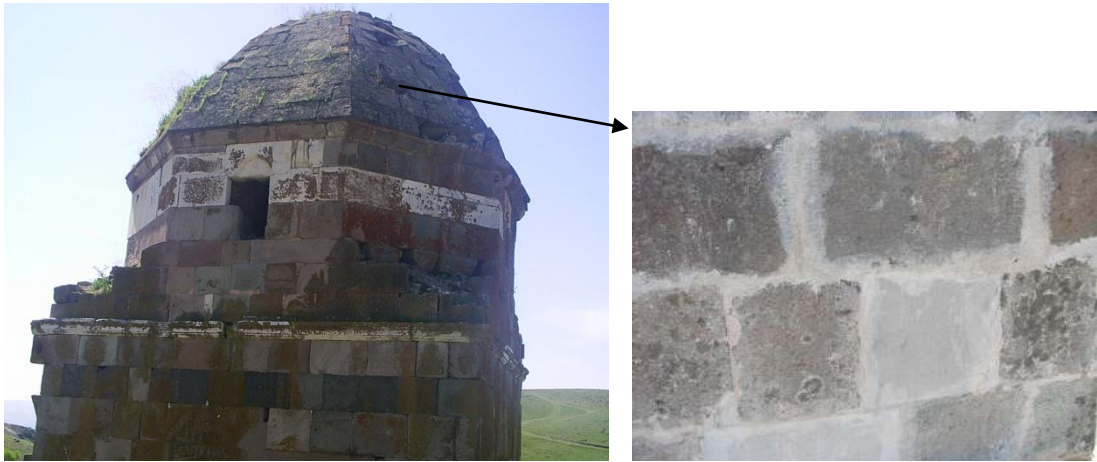
a) Kısmi değiştirme ve tamamlama (Local substitution): Derin çatlak ve ezilme gibi hasar durumlarında, bozulma ve parça kayıplarında, en etkili çare bozulmuş malzemelerin kademeli olarak kaldırılması ve aynı veya daha geniş alanda tekrar inşa edilmesidir. Bu yöntem, binanın tarihi değerine göre değerlendirilmelidir, böylece her bir aşamada kargir yapının belli bir bölümü bozulmamış kalır [17].

Uygulama metodu: Değiştirme işleminin uygulanacağı malzeme ya da eleman kademeli olarak kaldırılır ve yeni malzeme ya da eleman inşa edilir.

Değiştirme işlemi malzemenin değiştirilmesi dışında elemanın değiştirilmesi ve taşıyıcı sistemin değiştirilmesi şekillerinde de uygulama alanı bulabilmektedir. Malzemenin kısmi değiştirilmesinde, hasar gören ve bozulan malzeme yeni malzemeye değiştirilir. Kısmi değiştirme için kullanılan malzemenin benzer mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması uyum nedeniyle ortaya çıkabilecek problemlerin önüne geçer. Eleman bazındaki değiştirme malzeme değiştirilmesinin genişletilmiş versiyonudur ve sütunlar, ayaklar, çatılar, döşemeler gibi tüm elemana uygulanır. Bu yöntem elemanın fonksiyonunu iyileştirmek için, denge ve dayanıklılığını iyileştirmek için etkili olmasına rağmen tarihi görüntüde oldukça büyük bir değişikliğe yol açar. Taşıyıcı sistemin değiştirilmesinde ise eski strüktürdeki yük kaldırılarak yeni strüktürle değiştirilir. Bu yöntem binanın performansını arttırmasına rağmen tarihi değeri ve görüntüyü değiştirdiği için koruma prensiplerine uymaz [36].

Avantaj-Dezavantaj: Kısmi değiştirme geleneksel teknikler arasında sayılır ve değiştirilen parçanın büyüklüğüne göre geri dönüşümlü sayılır. Taşıyıcı sistemin ve elemanın orijinal fonksiyonunu, dengesini ve bütünlüğünü iyileştirir. Fakat minimum müdahale kuralını bozar ve tarihi değeri ve görüntüyü değiştirdiği için rahatsız edicidir ve genel olarak geri dönüşümsüzdür.

Uygulama örneği: Ankara Polatlı Hacı Tuğrul Kümbetinde kubbeye ve duvarlarda bozulmuş ve çürümüş olan taşlar kademeli olarak kaldırılmış, kaldırılan taşların yeri temizlenmiş daha sonra benzer özellikte taş ve benzer özellikte horasan harcı kullanılarak tamamlama yapılmıştır.



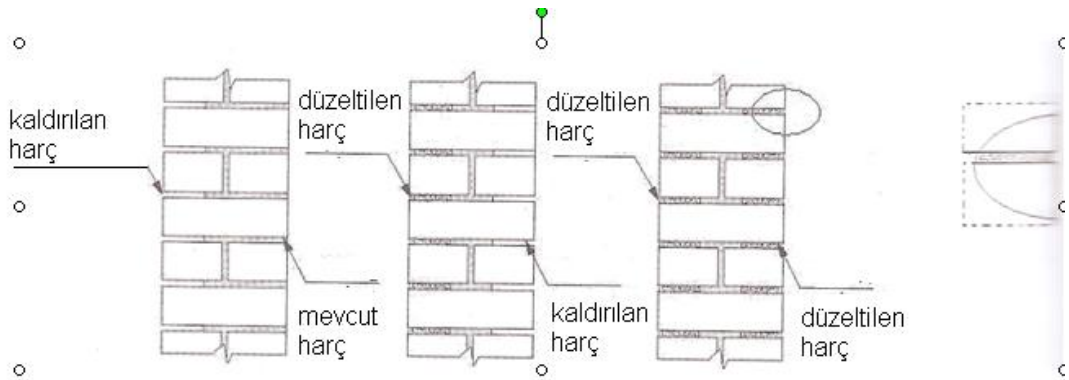
Resim 4.1. Ankara Hacı Tuğrul Kümbeti kısmi tamamlama yapılan bölüm, 2010 [5]

Ankara Altındağ Arslanhane Camiinde sedir ağacından yapılmış ahşap sütunlarda zemin ile temas eden çürüyen bölümler önce el testeresi, keski vb. aletler kullanılarak mekanik yöntemle alınmış, daha sonra sağlam bölümler tekrar böcek, kurt yeniği vb. oluşmaması için emprenye edilmiş ve bunu müteakip aynı tür ahşap malzeme kullanılarak tamamlama yapılmıştır.



Resim 4.2. Ankara Arslanhane Camii ahşap sütunlarda kısmi tamamlama, 2011 [5]

b) Tekrar derzleme/Donatılı derzleme (Repointing/Reinforced repointing): Tekrar derzleme, bozulmuş harçların daha uyumlu ve mekanik özellikleri daha iyi bir harçla değiştirilmesidir. Böylece derzlerdeki gerilme ve sıkıştırma mukavemeti artar. Ayrıca, taşlarda bozulmaya neden olan problemlere yol açan suyun derzlerin arasından nüfuz etmesini engeller. Eğer kullanılan harç orijinal olanıyla benzer özelliklerde değilse uygulama taşın bozulmasını hızlandırır [37].



Şekil 4.1. Taşlarda tekrar derzleme [36]

Derzleme işlemleri boşlukları, bozulmuş derzleri ve küçük oyukları doldurmak için kullanılır. Estetik olarak hoş bir sonuç almak için büyük dikkat gösterilmelidir. Ayrıca kullanılan harç, su yalıtımı sağlamalı, gerilmelere, güneş ışığı ve sıcaklık hareketlerine karşı koymak için yeterli mukavemeti sağlamalıdır [17].

Donatılı derzleme uygulaması da, derz yerlerinden suyun nüfuz etmesinin engellenmesi ve derz yerlerinin dayanıklılık açılarından iyileştirilmesine dayanır. Bu

işlemdede, derzin harç ile doldurulmasından önce derzlerin kalınlığına göre uygun ebatlardaki donatı çubukları yerleştirilir [37].



Şekil 4.2. Donatılı derzleme [36]

Uygulama metodu: Derzleme yapılacak yerde, bozulmuş derzler boşaltılır ve 5 cm derinliğe kadar derz açılır, varsa ot ve bitki ile kökleri ayıklanır, açılan derz yerleri temizlenerek yüzey tekrar derz yapılacak hale getirilir. Eğer donatılı derzleme yapılacaksa açılan derze derzin derinliğine ve genişliğine uygun olarak donatı çubuğu yerleştirilir. Daha sonra orjinal örneğine uygun harçla derz yapılır, tuğla ve taş yüzlerinde kalan harç artıkları temizlenerek, harç prizi tamamlanıncaya kadar 8 saat ara ile sulanır.

Avantaj-Dezavantaj: Derzleme işlemleri kargir yapı bileşenlerinin mukavemetini artırır, derzlerden suyun nüfuz etmesini engeller ve kullanılan harca göre geri dönüşümlü olabilir. Fakat kullanılan harç orjinaliyle ve diğer yapı bileşenleriyle uyumlu değilse bu yapı bileşenlerinin bozulmasını hızlandırabilir. Donatılı derzlemede uygun donatılı çubuklar kullanılmazsa ve önlem alınmazsa korozyona neden olabilir [36].

Uygulama örneği: Ankara Altındağ Arslanhane Camiinde bozulmuş ve çimento kullanılarak yapılmış derzler öncelikle murç ve çekiç kullanılarak boşaltılmış ve boşaltılan derz yerleri temizlenmiştir. Daha sonra horasan harç (bknz. Arslanhane Camii Koruma Raporu) hazırlanarak derz yapılmıştır.



Resim 4.3.a. Ankara Altındağ Arslanhane Camii boşaltılmış derzleri, 2010 [5]



Resim 4.3.b. Ankara Altındağ Arslanhane Camii derz yapılırken, 2011 [5]

4.1.2. Takviye-güçlendirme

Tarihi yapının taşıyıcı sisteminin sağlamlaştırılmasında daha ciddi müdahaleleri içeren takviye-güçlendirme başlığı altında ise enjeksiyon, dikiş, destekleme-payandalama, kuşaklama ve sargı uygulamaları, ön germe ile güçlendirme, sabitleme-ankraj, hatıl oluşturulması, taş ekleme, beton kolon oluşturma ve betonarme katman oluşturulması yöntemleri incelenecektir.

a) Enjeksiyon (Injection): Taş ögelerde meydana gelen çatlaklar 0-2 mm den küçük ise onarıma ihtiyacı yoktur. Eğer çatlak 0.3 mm den büyük 3 mm den küçük ise onarım için enjeksiyon harcı kullanılabilir [39].

Enjeksiyon kargir duvarların zayıf ve gözenekli harçlarının dayanıklılık ve homojenliğini iyileştirmek için de kullanılmaktadır.

Uygulama metodu: Enjeksiyon uygulamasında öncelikle enjekte edilecek karışımın etkililiği, boşlukların olası yerleri ve boyutları, kargir yapının çeşidine ilişkin olarak kullanılacak karışımın çeşidi ve akışkanlığı, uygulanacak işlemlerin sırası ve enjeksiyon basıncının değerlerinin belirlenmesi gerekir [17].

Bozulma ve çatlakların bulunduğu alanda döner bir delgi kullanılarak boşlukların yeri ve boyutlarına uygun mesafelerde 1-3 cm çapında delikler delinir, bu deliklerin içi hava veya su jeti ile temizlenir, kalan harçlar ve maddeler temizlenir. Deliğin içine meme ucu (iğne ucu) veya küçük borular uzatılır, çevresi karışımın basınç altında dışarı akmasına engel olmak için macun veya pamuk ile kapatılır. Boşlukların yıkanmasından birkaç saat sonra çatlak uygun enjeksiyon harcı ile doldurulur.

Kullanılabilecek karışımlardan, çimento ve sudan oluşanlar en basit ve en ekonomik olanlardır. Fakat çimento karışımların tarihi yapıların restorasyonunda istenmeyen yan etkileri (kireç gibi orijinal bileşenlerle istenmeyen tepkimelere girme, karışımın içinde çiçeklenme üreten tuzlar, vb.) göz önünde bulundurulmalıdır. Hidrolik kireç ve ince kum veya puzolan içeren karışımlar çimento içerenlerden daha zayıf karışımlardır, fakat yüzeylerin korunmasında daha uygundur. Bunların dışında epoksi harçlarda enjeksiyon yapmak amacıyla kullanılabilmektedir [17].



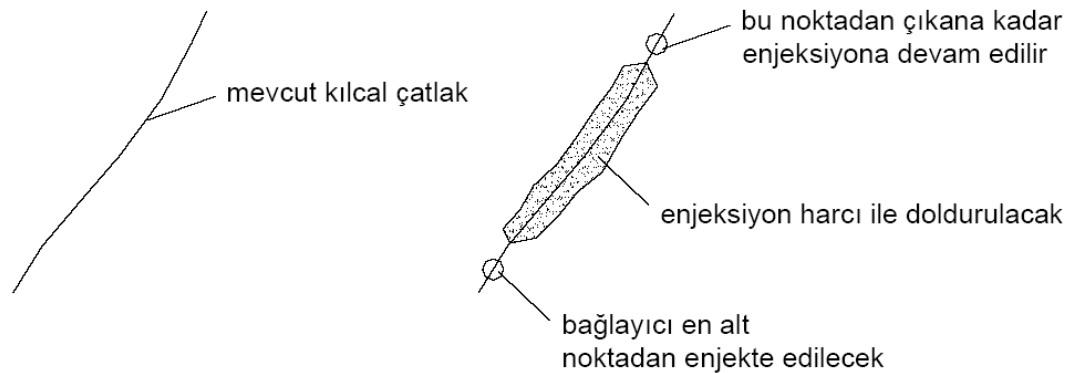
Resim 4.4. Malatya Battalgazi Ulu Camii kubbesi enjeksiyon hortumları, 2005 [40]

Çatlak eğer 3 mm den büyük ise grout enjeksiyonu da uygulanabilir; grout harcı bünyesinde doğal hidrolik kireç, rötre engelleyici, doğal su tutucuları süper akışkanlaştırıcıları barındırır. Çatlak nedeniyle yük taşıma fonksiyonu azalmış ya da kaybolmuş tarihi değer taşıyan taş, tuğla ve tüf yapılarda, boşlukların ve büyük oyukların doldurulmasında, voltaların içine enjeksiyon, duvarın içine enjeksiyon, çatlakların yapıştırılması ve temellerde kullanılır [39].

Enjeksiyon işlemleri alttan üste doğru yapılmalı ve enjeksiyon malzemesinin dış yüzeye sızıntısından kaçınmaya dikkat edilmelidir.

Avantaj-Dezavantaj: Çatlak ve boşluklardan suyun nüfuz etmesini engelleyen bu yöntemde kesitte mukavemetin uniformluğu ve homojenliği de iyileştirilmiş olur. Fakat geri dönüşümsüz olup boşlukların ve boyutların dağılımı hakkında yeterli bilgi olmazsa etkili olmayabilir. Ayrıca kullanılan harç uygun olmazsa malzemeler arasında uyum problemleri ortaya çıkar. Grout harcı kullanıldığında rötre ve segregasyona neden olabilir [36].

Uygulama örneği: Edirnekapı Mihrimah Sultan Camiinde kılcal genişliği 8 mm'den az olan çatlaklar, duvarın özgün harcının kalitesine uyan bir enjeksiyon harcı ile 1~3 bar gibi düşük basınç altında enjeksiyon yöntemi ile dolduruldu [24].



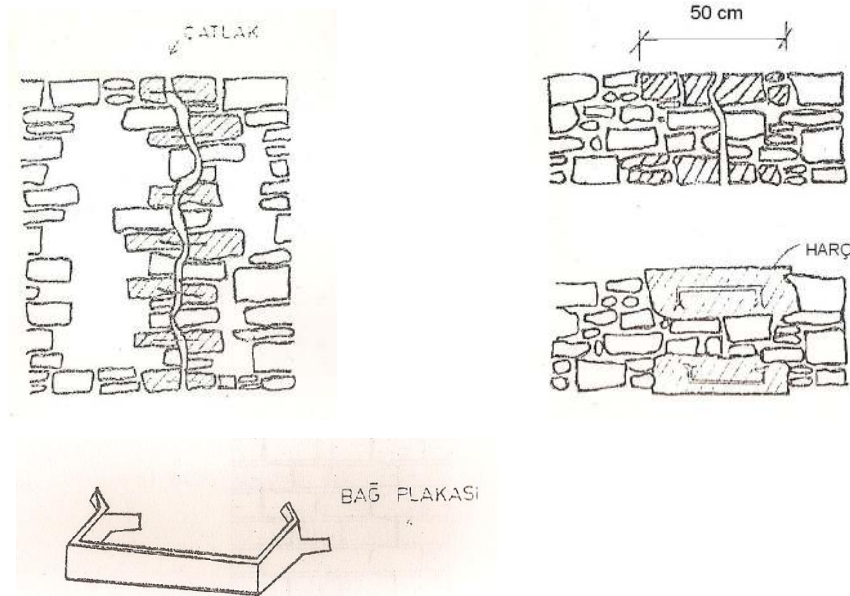
Şekil 4.3. Kılcal çatlak onarımı [24]



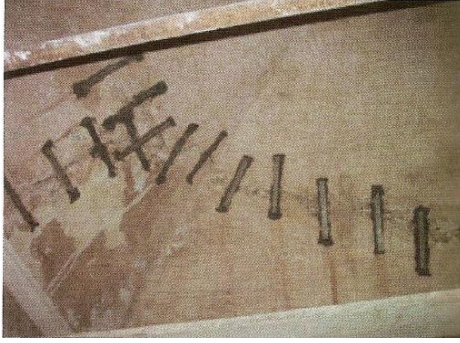
Resim 4.5. İstanbul, Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii enjeksiyon işlemi, 2009 [33]

b) Dikiş (Stitching): Yapıda oluşan çatlaklar 10 mm den büyükse veya duvarı oluşturan taşlar düşmüşse, enjeksiyon işleminden daha geniş bir uygulama yapılması gerekir.

Uygulama metodu: Dikiş yönteminde demir ve paslanmaz çelik elemanlar kullanılarak duvarın iki yüzeyi birleştirilerek kapatılır. Düşey çatlaklarda çatlağa bitişik taş ya da tuğlalar çıkarılır ve dikiş elamanları ya da çelik barlar eklenir, duvarın boşlukları, orjinaline uygun harç ile doldurulur. Bu işlemin duvarın diğer yüzünde de uygulanması gerekir [12].



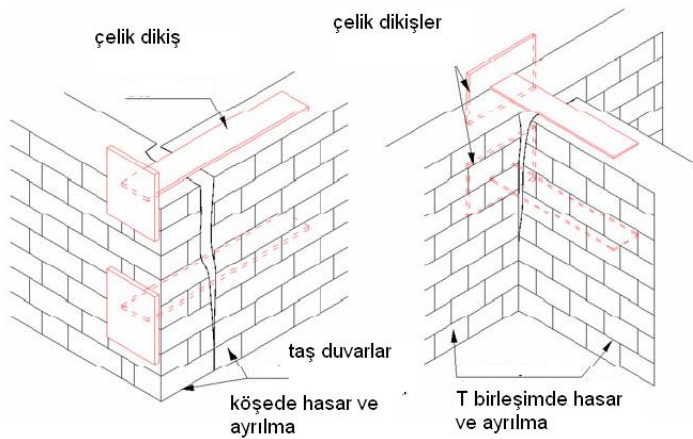
Şekil 4.4. Taş duvarlarda düşey çatlakların dikiş yöntemi ile onarımı [12]



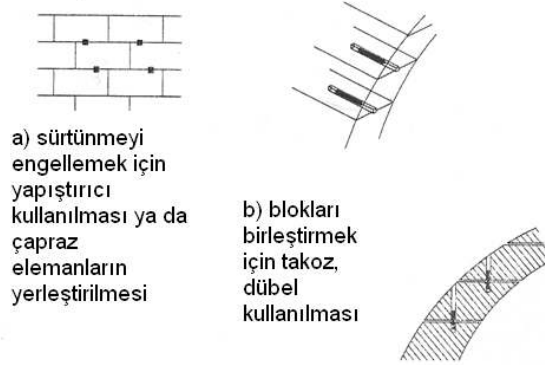
Resim 4.6. İstanbul Pertevniyal Valide Sultan Camii paslanmaz çelik kenetler, [22]

Takoz, kenet vb. bağ çubukları kullanarak dikiş işlemi gerçekleştirilebilir. Kayma ve çekme gerilmeleri uygun olduğu zaman, duvarlarda olduğu gibi taş bloklar arasında da pozitif bir bağ gerekebilir. Bu takoz, kenet, çubuk vb. kullanılarak yapılabilir, özel bağ çubukları veya diğer taşıyıcı sistem bağlantıları dışarıdan görünmeden birleşim yerlerinden hazırlanan boşluklara yerleştirilebilir (Şekil 4.5.) [17].

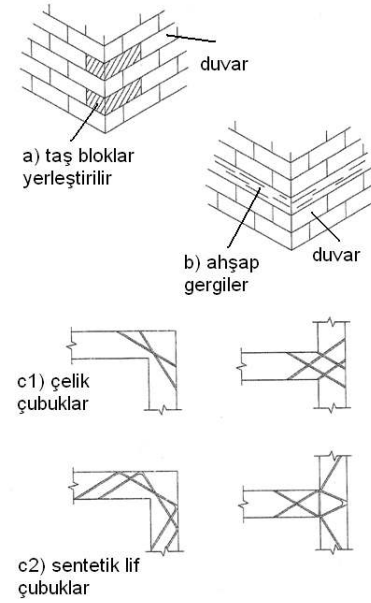
Köşeler çoğunlukla zayıf alanlardır, sık sık kısmi veya tamamen ana taşıyıcı sistemden ayrılabilirler. Bu durumlarda duvarlar arasındaki bağlantıları sağlamak önemlidir. Bu tuğla veya taşlarla (4.7.a), ahşap bağlarla (4.7.b) ve çelik veya sentetik çubuklarla (4.7.c) yapılabilir. Bu bağlantılar taşıyıcı sistemin deprem hareketleri karşısında dayanıklılığını iyileştirmek içinde kullanılmaktadır [17].



Şekil 4.5. Köşelerin çelik dikiş kullanılarak güçlendirilmesi [37]



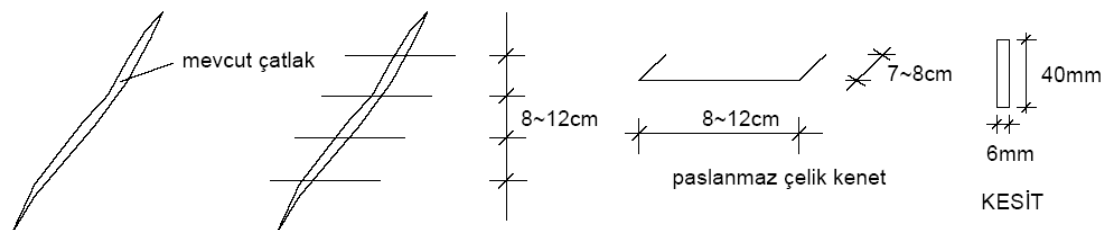
Şekil 4.6. Duvarlar ve kemerler arasındaki kesme kuvvetlerinin düzeltilmesi [17]



Şekil 4.7. İki duvar arasındaki bağlantılar [17]

Avantaj-Dezavantaj: Bu yöntemde, duvar bağlantıları iyileştirildiği gibi duvara ekstra kuvvet ve esneklik verilmiş olur. Bunun yanında çatlak yayılımı kontrol edilmiş olur. Fakat geri dönüşümlülük ancak orijinal yapıya zarar vererek sağlanabilir. Plakaların yerleştirilmesi yoğun müdahale gerektirebildiği gibi kullanılan malzemenin şekline bağlı olarak tarihi görüntü açısından rahatsız edici olabilmektedir [36].

Uygulama örneği: Edirnekapi Mihrimah Sultan Camiinde çatlaklar orta genişlikte ve genişliği 8 mm~24 mm ise, paslanmaz çelik çubuklarla dikildikten sonra yine duvarın özgün harcının kalitesi ile benzer özellikler taşıyan bir enjeksiyon malzemesi ile 1~3 bar gibi düşük basınç altında enjeksiyon yöntemi ile doldurularak onarıldı [24].



Şekil 4.8. Orta genişlikteki çatlakların onarımı [24]



Resim 4.7. İstanbul, Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii dikiş işlemi, 2009 [33]

Geleneseli bir yöntem olan dikiş, çağdaş malzemeler ile birlikte mekanik dikiş olarak uygulama alanı bulmaktadır. Malatya Battalgazi Ulu Camiinde mekanik dikiş şu şekilde uygulanmıştır:

- Taşıyıcı elemanı oluşturan taş veya tuğlanın arasındaki boşluklar delgiler yapıp temizlendikten sonra reçine ile doldurularak birbirine yük aktarması sağlanmıştır.
- Reçine ile dolan delikler matkapla tekrar açılıp uygun çap ve uzunlukta delgiler yapılmıştır.
- Çift komponentli reçine dolu kartuşlar yerleştirilmiştir.
- Ankraj tijleri sıkılarak kartuşlar ile ankre edilmiştir.
- Yüzey dışında kalan tijler kesilip ve üstü kapatılmıştır.



Resim 4.8. Malatya Battalgazi Camii mekanik dikiş uygulaması, 2005 [40]



Resim 4.9. Adana Ulu Camii ankraj tijinin atılması ve çakılmış hali [1]

c) Destekleme-payandalama (Buttressing-Strutting): Kemer, tonoz, kubbe gibi taşıyıcılar zemindeki aksaklıklar, deprem gibi etkiler sonucunda eksenlerinden ayrılırlar, bunun neticesinde çatlaklar oluşur. Bu sorunu çözmek için köşelere, kemer mesnet hizalarına masif, ya da uçan payandalar ilave edilir [39].

Uygulama metodu: Osmanlı dönemi onarımlarında masif payandalar çoğunlukta olmasına rağmen özellikle son dönemlerde görsel nedenlerle, ağır kütleli masif payandalar yerine uçan payandalar ya da geçici payandalar uygulanmaktadır. Uçan payandalar ana binaya yapışmadan, duvarın açığında bulunan bir ayaktan ana kütleyle uzanan yarım kemerlerle yapılmaktadır. Bu tür uygulamalar genellikle cephelerde kapatılması istenmeyen özel ayrıntılar bulunması durumunda yapılmaktadır. Son dönemlerde yapılan diğer bir uygulama da ise önce geçici payandalar uygulanmakta; taşıyıcı sistem sağlamlaştırıldıktan sonra ise bu payandalar kaldırılmaktadır. Payandaların duvar yüzeyine tek noktadan uygulanmayıp yastıklama yapılması, desteklerin geniş bir yüzey üzerine uygulanması gerekir [2].



Resim 4.10. Çankırı Ulu Camii masif payandalar, 2011 [34]



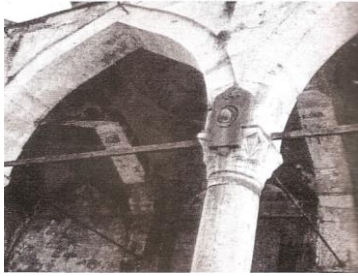
Resim 4.11. San Vitale Kilisesi uçan payandalar [66]

Avantaj-Dezavantaj: Acil ve güvenilir bir müdahale imkânı sağlayan yöntem taşıyıcı sistemi yatayda sıkıştırır ve yapının genel davranışını iyileştirir. Genellikle geçici bir çözüm olup taşıyıcı sistemin mevcut durumunu sürdürür fakat düzeltmez. Görünüşte bir değişiklik yaratır ve genellikle rahatsız edicidir [36].

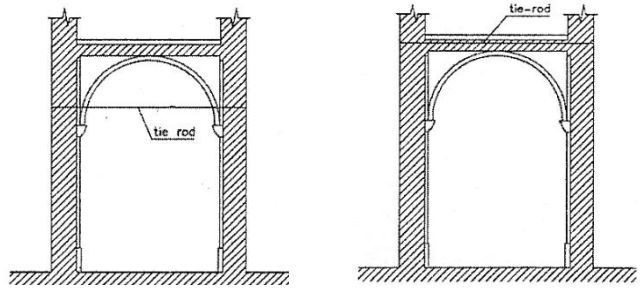
d) Kuşaklama ve sargı uygulamaları: Bu başlık altında bağlantı çubukları-gergi uygulaması, çemberleme-sıkıştırma, dıştan lifli polimerler ile güçlendirme, kesit genişletme-mantolama ve çelik levhalarla kuşaklama uygulamaları ele alınmıştır.

- *Bağlantı çubukları-gergi uygulaması (Tie-bars):* Gergiler, taşıyıcı sisteme ankredilen kemer ve tonozlardaki yanal itme kuvvetlerini hafifletmeye katkıda bulunan çelik elemanlardır [36].

Uygulama metodu: Gergi çubuklarının uygulanacağı duruma bağlı olarak yerleştirme işleminin sırası değişebilir. Kemer ve tonozların mesnetlerini bağlamak için uygulanacak gergi demirlerinde ankraj hazırlanır, fakat duvarların bağlantıları için delme ve bağlama işlemleri yapılır [36].



Resim 4.12. Gergilerin ankrajı



Şekil 4.9. Kemerlerde gergi uygulaması [17]

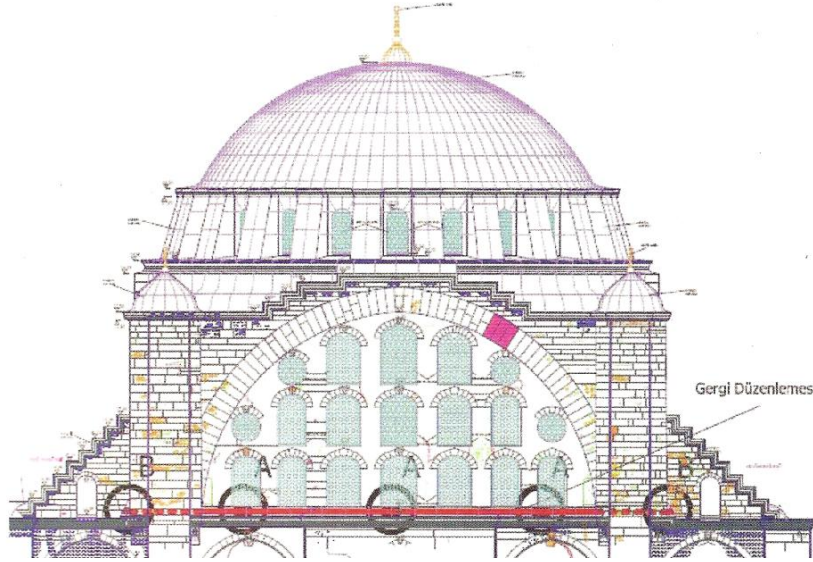


Resim 4.13. Edirne Üç Şerefeli Camii gergi düzenlemesi, 2011 [44]

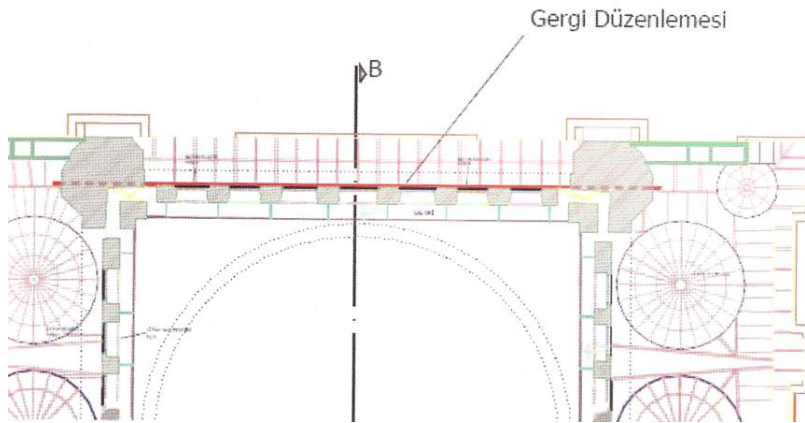
Bu yöntemin yapı duvarlarında uygulanması halinde, gergi demirlerinin uçlarındaki bulonlar mümkün olduğu kadar sıkılarak donatıya bir gerilme verilmekte, bir bakıma ön gerilme sağlanmaktadır. Bu demirler sayesinde duvarın direnci arttırılır ve

dışında eğer gergi çubukları uygun seçilmediyse korozyona neden olmaktadır [36].

Uygulama örneği 1: Edirnekapı Mihrimah Sultan Camiinde yapının düşey ve yatay yükler altındaki davranışını iyileştirmek amacıyla ana kubbeyi mihrap cephesi etrafında taşıyan kemerde üzengi çizgisine yakın bir kotta gergi düzenlemesi yapılmıştır. Caminin düşey ve yatay yükler etkisi altında gergisiz ve gergili durumları için yapılan analizler sonucunda, gergili durumda kemerin mesnet bölgelerindeki basınç gerilmelerinin, gergisiz duruma göre %29-%54 arasında değişen oranlarda azaldığı belirlenmiştir. Buna ek olarak gergili durumda gerilme dağılışındaki iyileştirme açık bir şekilde görülmüştür [24].

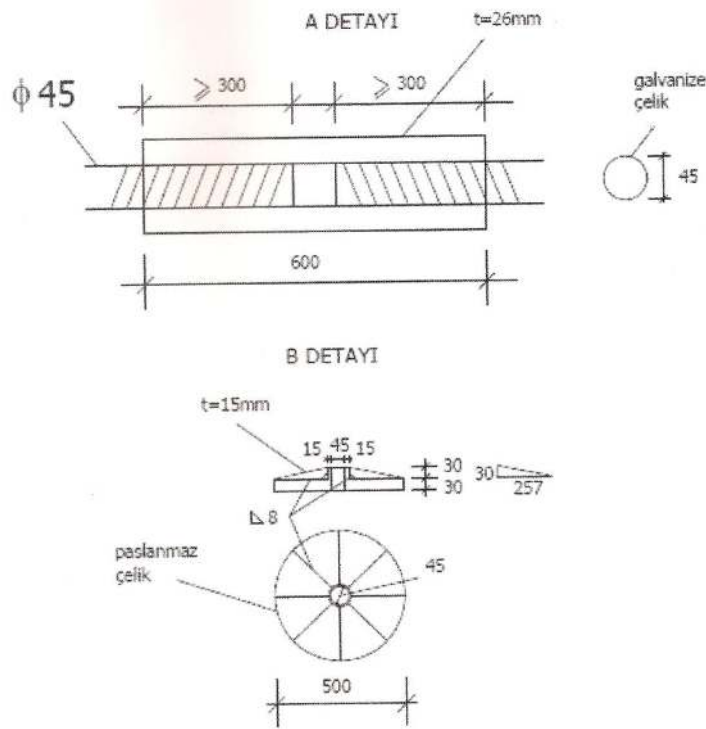


Şekil 4.12. Mihrimah Sultan Camii mihrap cephesi gergi düzenlemesi görünüş [49]



Şekil 4.13. Mihrimah Sultan Camii mihrap cephesi gergi düzenlemesi görünüş [49]

Gerginin ankrajı, ağırlık kulelerinin dış yüzlerinde düzenlenen plakalarla sağlanmıştır. Bu amaçla ağırlık kulelerinin, gerginin geçmesine olanak verecek şekilde özenle delinmesi ve gerginin dış ucunun plakalarla mesnetlenmesi gerçekleştirilmiştir. Gergi, 8.8 kalitesinde 45 mm çapında dolu, dairesel kesitli çelik çubuk olarak seçilmiştir. Gergi 5~6 m boylarındaki çubukların manşonlu eklerle birleştirilerek oluşturulmuş olup sehim yapmasını önlemek amacıyla, yaklaşık 2 m aralılarla yerleştirilmiş ayaklara oturtulmuştur [24].



Şekil 4.14. Gerginin; manşonlu eki ile ağırlık kulesine mesnetlenme detayı [49]



Resim 4.14. Mihrimah Sultan Camii gergi düzenlemesi, 2009 [33]

Uygulama örneği 2: Edirne Merkez Ayşe Kadın Camiinde yer alan yapısal çatlaklar 6 ay süre ile takip edilmiş ve çatlak genişlikleri mekanik yer değiştirme ölçerler ile ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, 2006 ve 2007 yıllarında duvarlardaki düzlem dışı yer değiştirme miktarları da ölçülmüştür. Bu ölçümlerden cami içinde bulunan çatlakların zamanla az da olsa arttığı, bazılarında ise yalnızca mevsimsel değişikliklerin neden olabileceği küçük değişiklikler gözlenmiştir. Düzlem dışı yer değiştirmelerin ise daha belirgin olduğu ve cami beden duvarlarının bina dışına doğru devam eden bir hareketinin olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümlerde bu yer değiştirme farklarının 1 yıl süre içinde en çok 11mm'ye ulaştığı anlaşılmıştır [51].

Bu nedenlerde, duvarların dıştan değişik kotlarda çelik gergilerle kuşaklanması uygun bir güçlendirme yöntemi olarak düşünülmüştür. Buna ek olarak duvarlar açılmaya devam ettiği için kubbeden gelen itkileri de sınırlamak amacıyla dışta kubbe eteğinde, hafif öngerilme verilmiş iki sıra çekme çemberi oluşturulması önerilmiştir [51].



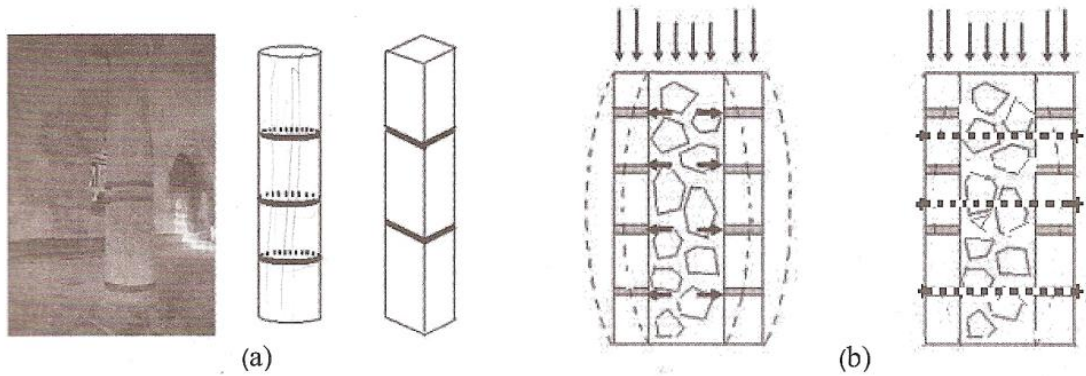
Resim 4.15. Ayşe Kadın Camii çelik gergilerle kuşaklama, 2011 [27]



Resim 4.16. Uygulama detayları, 2011 [27]

- *Çemberleme- Sıkıştırma (Confinement):* Dağılma tehlikesi gösteren düşey taşıyıcı elemanlar metal çemberlerle sarıp sıkıştırılır. Son cemaat yerlerinde ya da iç mekânlardaki çatlayan sütunlar bu metotla sarılarak sağlamlaştırılır [39].

Uygulama metodu: Metal halkalarla çemberleme, çok fazla basınç yüzünden kolon ve ayaklarda çatlama, ezilme, parçalanma görüldüğü yerlerde uygulanabilir. Bu yöntem, donatı çubuğunun mekanik bağlantılar ile sabitlenmesi için delikler açılmasını içerir. Özellikle narin olan ve kubbenin bulunduğu strüktürlerde bu yöntem yatay gerilimleri ve hareketleri engelleyip strüktüre sağlamlık vermek için kullanılır. Bu uygulama, kullanılacağı yere bağlı olarak içeriden ya da dışarıdan gerçekleştirilebilir [36].



Şekil 4.15. (a) Kolonların çemberlemesi (b) Duvarların çemberlenmesi [36]

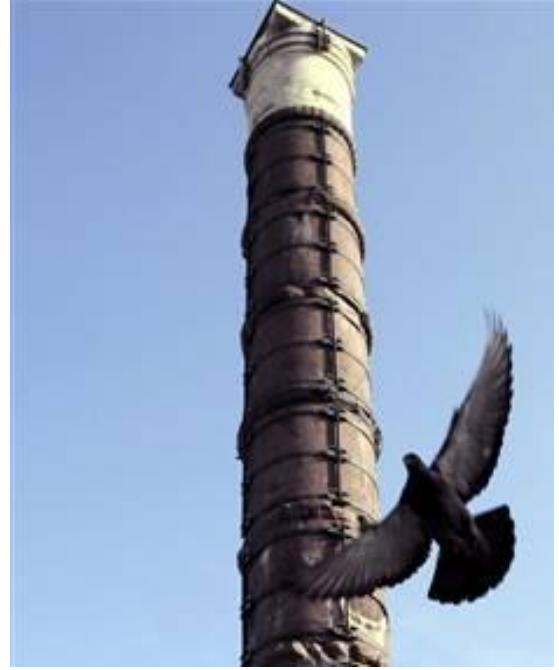


Resim 4.17. Edirne Üç Şerefeli Camii sütunları çemberleme uygulaması, 2011 [44]

Avantaj-Dezavantaj: Bu metod tamamen geri dönüşümlüdür. Uygulandığı taşıyıcı sistem elemanının kapasitesini artırdığı gibi bütün taşıyıcı sistemin de esneklik ve dengesini iyileştirebilir. Kullanılan elemanlar çevre etkilerine maruz kaldığında eğer gerekli önlemler alınmadıysa korozyona uğrar. Ayrıca kullanılan malzemeye ve yerine göre tarihi yapıda rahatsız edici bir görüntüye neden olabilir [36].

Uygulama örneği: Geçirdiği bir yangından sonra mermerleri çok hasar gören ve 2. Mustafa döneminde alttan bir duvar yapılarak desteklenen ve demir çemberler ile çevrilerek sağlamlaştırılan Çemberlitaş sütunu 1999 Marmara depreminde de zarar görmüştür. Bu depremden sonra oluşan zararın ve sütunun statik durumunun tespiti için, zemin ve temel tahkiklerinin yapılması ile mevcut çatlakların derinlikleri belirlenerek ayrıntılı statik rapor hazırlanmış ve gerekli tespitler için 2003 yılında iskele kurularak yılların birikimi olan kirli yüzey ve çimento bazlı dolguların bir kısmı mekanik olarak temizlenmiştir. Temizlik işleminin ardından taş üzerinde oluşmuş derin çatlakların tespit için ultrasonik jeoradar sistemi kullanılarak, sütunun üç boyutlu çatlak haritaları çıkarılmıştır. Üzerinde çatlaklar bulunan sütunda yeni taş

kayıpları olmaması ve statik durumunun korunması için geçici tahkim çemberleri yapılarak sütun bir kat daha çemberle sarılmıştır [63].



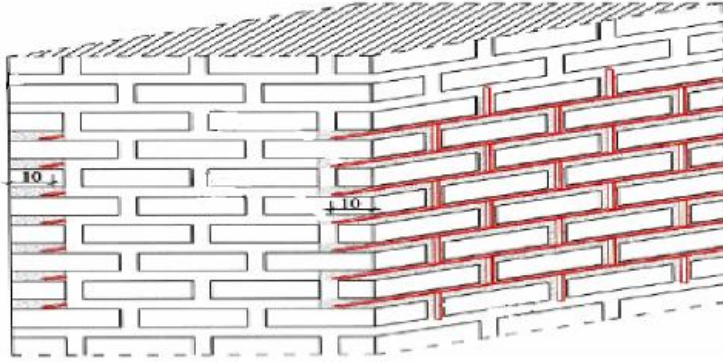
Resim 4.18. Çemberlitaş görüntüleri [63]



Resim 4.19. Uygulanan çemberler

- *Dıştan Lifli Polimerler ile Güçlendirme (External Reinforcement):* Yığma duvarlarda yapılabilecek diğer bir uygulama ise lifli polimer ile güçlendirmedir. Yığma yapıların duvarlarının kesmeye ve eğilmeye karşı mukavemeti lif takviyeli

polimer sistemlerle arttırılabilir. Duvarlarda eğilmeye karşı boyuna, kesmeye karşı enine doğrultuda lifli polimer uygulanabilir [39].



Şekil 4.16. Lifli polimer uygulama detayı [39]

Cam, karbon ve aramid lifler güçlendirmede kullanılan lifler arasında en yaygın olanlarıdır. Lif matrisinin yapısına bağlı olarak bu üç bileşik farklı mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikler gösterir. Karbon elyafı çok güçlü bir malzeme olup çekme dayanımı çok yüksektir. Cam elyafının çekme dayanımı karbon elyafın 1/3'ü olup karbon elyaftan daha ucuzdur. Cam elyafı ultra viole ışınlarına daha duyarlı olup nemden ve alkali metallerden etkilenirler. Diğer tarafta, karbon elyaflar kimyasallara, neme ve ultra viole ışınlarına ve kayma ve yanal yükleme altında parçalanma eğilimine karşı dayanıklıdır. Epoksi reçinesi ve liflerin bileşimi olan aramid ise düşük elastisite modülüne sahip olup kimyasallara karşı yüksek dirence sahiptir. Bunun dışında aramid kolay şekillendirilebilir ve strüktürün çeşitli seviyelerinde tüm dış yüzey sarılarak kullanılabilir [37].

Uygulama metodu: Lifli polimerlerin uygulaması üç şekilde gerçekleştirilmektedir:

- a) FRP plakaların uygulanması: Karbon fiber ve epoksi matriksinden oluşan plakalar uygulandıkları yapı elemanlarının taşıma kapasitelerini arttırmak için kullanılan harici takviye donatılarıdır. Uygulama öncesi uygulama yapılacak yüzeyde düzeltme ve sağlamlaştırma yapılır. FRP plakalar uygulama yerinde istenilen uzunlukta firesiz olarak kesilir ve epoksi reçinesi plakaya ve uygulanacak elemana 2-3 mm kalınlıkta sürülerek plakalar yapıştırılır.

Epoksi reçine kürünü aldıktan sonra yükleri plakalara aktarır. Plakalar yük altında akma limitlerine kadar yüksek gerilmeleri karşılar.

- b) FRP kumaşların uygulanması: Bu kumaşlar tek yönlü ve çift yönlü % 100 karbon liflerden oluşur. Uygulama yapılacak yüzeyde düzeltme yapıldıktan sonra yüzeye epoksi sürülür. FRP kumaş gerilerek yapıştırılır ve epoksi ile iyice doyurulur. Daha sonra kumaşın üzerine son kat epoksi uygulanıp üzerine uygulama sonrasında sıva tutması için silis kumu ile kumlama yapılır.
- c) FRP şeritlerin uygulanması: Bu uygulama, uygulamanın yapılacağı elemana 3 mm genişlik ve 10-15 mm derinlikte kanal açılarak bu kanala epoksiyle birlikte 10-15 cm boyutlarındaki karbon şeridin yerleştirilmesiyle yapılmaktadır. Bu uygulama özellikle derz yataklarında kullanılmaktadır.



Resim 4.20. İstanbul Hazine-i Evrak binası yapısal çatlakların karbon fiber ile onarılması [10]



Resim 4.21. İstanbul Yavuz Sultan Selim Camii karbon fiber uygulaması, 2008 [9]

Avantaj-Dezavantaj: Bu malzemelerin yüksek dayanıklılık ve rijitlik ile korozyona karşı dayanıklı ve hafif olmasının yanında geri dönüşümlü olması, bakım maliyetlerinin düşük olması, estetik görüntü açısından renk opsiyonlarının bulunması, duvarlarda ve kavisli elemanlarda etkili şekilde kullanılabilmesi gibi avantajları vardır. Ayrıca uygulandığı taşıyıcı sistemin mukavemetini ve esnekliğini artırır. Sıcaklık ve radyasyon hassasiyeti, nemden etkilenmeleri ve yüksek maliyetli olmaları ise bu malzemelerin dezavantajları arasında sayılmaktadır [36].

Son dönemlerde yaygın olarak kullanılan bu yöntemin tüm avantajlarına rağmen ileriye dönük olarak yapıyı nasıl etkileyeceği ve ne tür etkileri olacağı bilinmemektedir.

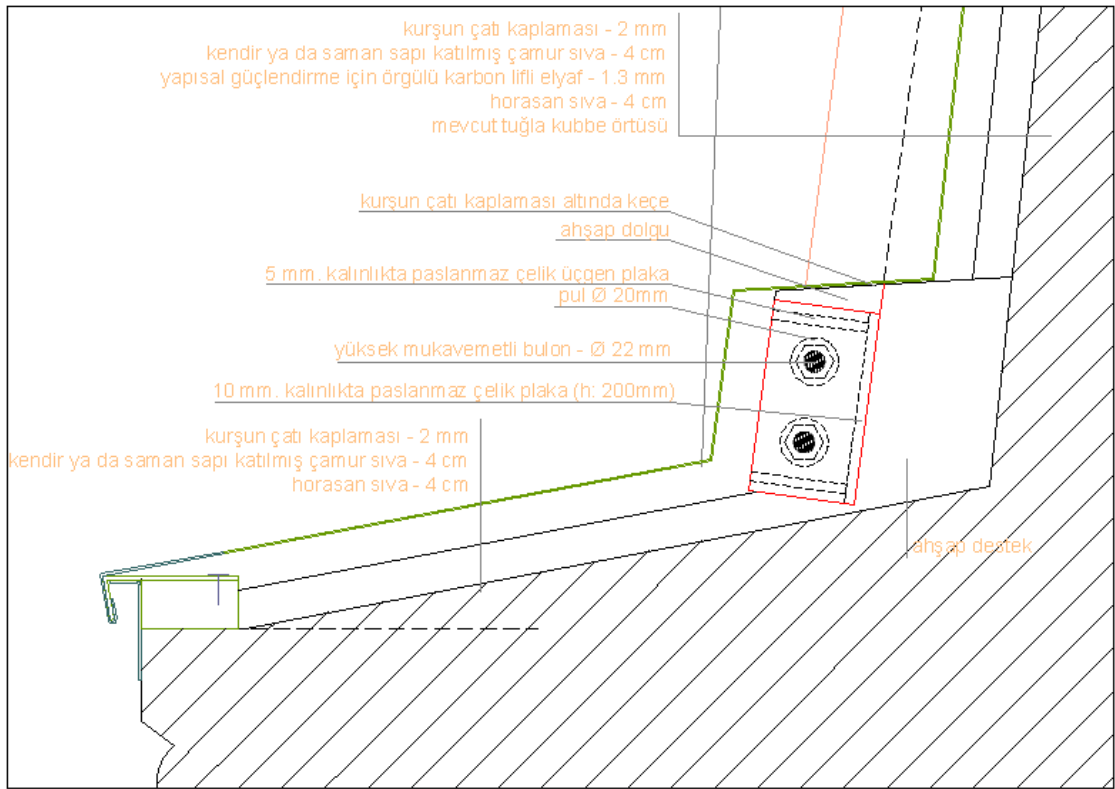
Uygulama örneği 1: Temelden kubbeye kadar uzanan bir yapısal çatlak bulunan Cenab-ı Ahmet Paşa Camii için hazırlanan Nisan 2008 tarihli “Cenab-ı Ahmet Paşa Camii Değerlendirme Raporu”nda ciddi çatlaklara rağmen kubbenin stabilitesini devam ettirmesini sağlamak gerektiği vurgulanmıştır. Çatlaklardan dolayı kubbede yanal deformasyon, yana doğru açılma eğilimi bulunmakta olup bu açılmanın engellenmesi gerektiği, bunun için de kubbenin etrafına dışarıdan gözükmeyecek şekilde bir kasnak sistemi koymanın en doğru çözüm olarak gözüktüğü belirtilmiştir. Bu uygulama için çelik plakalar kullanılabileceği gibi karbon lifli polimerlerin de uygulanabileceği söylenmiştir. Aynı raporda, kullanılacak paslanmaz çelik plakaların 200 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında olması düşünülmüştür. Toplam 8 parça plakadan oluşan kubbe kasnağının birleşim noktalarında 22 mm çapında yüksek mukavemetli bulonlar ile birbirine sabitlenmesi öngörülmüştür [13].

Ayrıca, kubbenin etek kısmından itibaren 30 mm kalınlığında karbon lifli elyaf ile sarım yapılmasının çelik kasnak ile beraber kubbenin tüm stabilite sorununu çözeceği öngörülmüş ve bu doğrultuda projelendirme yapılmıştır.

Uygulama aşamasında, kubbenin kurşun kaplaması ve çamur sıvası kaldırıldıktan sonra yapısal çatlaklarda hava kompresörü ile temizlik yapıp parçacıklar temizlenerek ardından hidrolik kireç esaslı malzeme ile enjeksiyon yapılmıştır.

Bunu müteakip, yapılacak kubbe güçlendirmesine zemin teşkil etmek ve uygulanacak epoksi malzemenin kubbenin orijinal tuğlaları ile irtibatını kesmek amacıyla horasan sıva yapılmıştır.

Daha sonra güçlendirme projesi doğrultusunda kubbe eteğinden itibaren toplam 9 sıra (2*2+5) karbon lifli elyaf malzeme ile sarım uygulaması yapıldı. Bu uygulamada 60 cm bindirme ve 4 adet ankraj ile sabitleme yapılmıştır. Uygulama öncesi sarımda kullanılacak epoksi ile ortalama 3 mm kalınlığında yüzey düzeltme ve sağlamlaştırma, uygulama sonrasında ise tüm yüzeylerin sıva tutması için silis kumu ile kumlanma yapılmıştır.



Şekil 4.17. Kubbede uygulanacak kasnak ve gergi sistemi [5]

Sonraki aşamada ise paslanmaz çelik malzeme ile kubbe kasnağında gergi uygulaması yapılmıştır. Karbon lifli elyaf malzeme ile sarım yapılmasına rağmen paslanmaz çelik gergiye ihtiyaç duyulmasının nedeni; karbon lifli elyaf malzemedeki

ön gerilme olmamasına rağmen paslanmaz çelik malzemenin birleşim noktalarındaki bulonlar vasıtasıyla bir ön gerilme uygulanabilmesidir.



Resim 4.22.a. Paslanmaz gergi ve siliskumu ile kumlama, 2010 [5] Resim 4.22.b. Birleşim yeri bulonları, 2010 [5]

Uygulama sırasında, paslanmaz çelik gerginin geometrisinin kubbe ile uyumlu olmasına özen gösterilmiş, buna rağmen paslanmaz çelik ile kubbe arasında kalan lokal boşluklar hidrolik kireç esaslı horasan harcı ile doldurulmuştur. Daha sonra çamur sıva yapıp kurşun örtü kaplanarak güçlendirme çalışmaları tamamlanmıştır.



Resim 4.23. Kurşun örtü yapılması, 2011 [5]

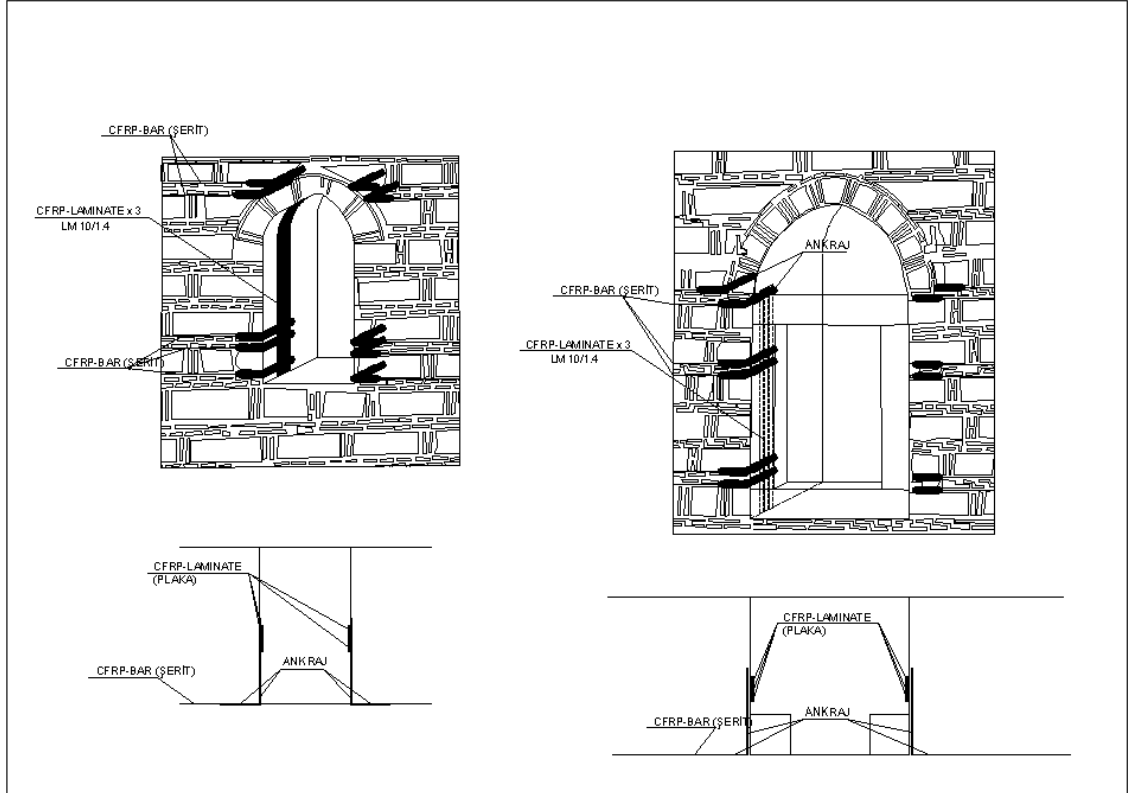
Uygulama örneği 2: Makedonya Üsküp Mustafa Paşa Camiinde, 1963 Üsküp depremi merkez kubbe, son cemaat kubbeleri, doğu cephe ve minare ile cami taşıyıcı sistemine yoğun olarak zarar vermiştir. 1968 yılında bu zararlar çimento harç esaslı karışımların enjeksiyonu ile onarılmıştır.

2007 yılında başlayan onarım çalışmalarında, kubbe üzerinde 1968’de yapılan çimento harç tabakası kaldırıldıktan sonra kubbe taşıyıcı sistemine yönelik müdahalelere geçilmiştir. İlk olarak ana kubbenin tabanında önceden yapılan betonarme halka kireç esaslı bir karışımla kaplandı. Sonraki aşamada kubbede horasan sıva yapıp kubbe tabanının çevresi boyunca epoksi yapıştırıcı ile 2,9 m genişliğinde 7 sıra minimum 330 gr/m² ağırlığında tek yönlü karbon lifli elyaf (CFRP) bantları sarılmış, üzerine sıva tutması için silis kumu ile kumlama yapılmış ve daha sonra çamur harçlı sıva yapıp kurşun kaplama yapılmıştır.



Resim 4.24. Mustafa Paşa Camii kubbede karbon lif uygulaması, 2007 [55]

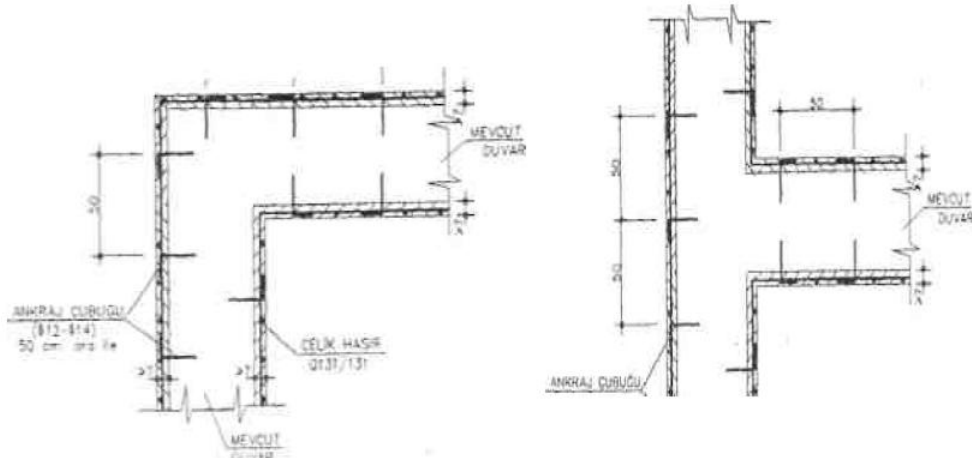
Uygulama taşıyıcı duvarların güçlendirilmesi ile devam etmiştir. Derzler yaklaşık 8 cm derinliğinde temizlenerek 10 mm çapında ve en az 600 cm. uzunluktaki karbon çubuklar taş yüzeyinde açılan oyuklara saf şeffaf epoksi ile gömüldü. Karbon çubukların ortalama çekme dayanımı 1800-2000 MPa olup epoksinin camlaşma sıcaklığı minimum 82 C ° ve dayanımı 120 MPa’dır. Taş yüzeyinde karbon çubuk çakma uygulaması sırasında pencere vb. yerlerde karbon çubuğun başlangıç ve bitişlerinde 8 mm. çapında minimum 40 cm uzunluktaki karbon fiber malzemeyle ankraj yapıldı. Daha sonra mimari koruma projesi doğrultusunda kireç harçlı derz uygulaması yapılmıştır.



Şekil 4.18. Üsküp Mustafa Paşa Camii pencere CFRP uygulama detayı [55]

- *Kesit genişletme, mantolama (Enlargement):* Kesit genişletme yönteminde yeni bir malzeme bir taşıyıcı elemana veya kesite o eleman üzerindeki yükün daha geniş alanlara dağıtılması veya mukavemetinin artırılması için eklenir. Bu yöntem herhangi bir taşıyıcı sistem elemanına uygulanabilir [36].

Uygulama metodu: Bu yöntemde duvarın iç ve dış yüzüne içinde donatı olan güçlendirme bantları eklenir ya da duvarın tümü içinden ve dışından üzeri betonla örtülü bir donatı hasırı ile kaplanır. Önce çatlamış duvarın iç ve dış yüzüne hasır çelik, kümes teli, rabbitz teli vb. yerleştirilir. Duvarda belli aralıklarla delikler açılıp iç ve dış yüzdeki donatıların birbirine bağlanması gerekir. Ayrıca duvara konulan donatı hasırını duvarın alt ve üst başındaki hatılların donatılarına kaynakla ya da uçlarından kanca yapılarak bağlanmaları gerekir. Duvarların yüzüne konulan donatı hasırının üzerine yüksek basınç altında çimento harcı püskürtülür [12].



Şekil 4.19. İstanbul Vefa Lisesi, iki ve üç duvarın birleşim yerine ait püskürtme beton detayı [39]

Avantaj-Dezavantaj: Bu yöntemin geri dönüşümlülüğü yeni inşa edilen bölümün orijinal strüktüre zarar vermeden sökülmesine bağlıdır ki bu bazı durumlarda çok zordur. Bu yöntemde etkililik yeni malzeme ve eski malzemenin uyumluluğuna bağlıdır [39]. Ayrıca, uygulama genelde çimento ile yapıldığı için tarihi yapılarda tercih edilmemesi gereken yöntemlerden biridir.

Uygulama örneği: İstanbul Kabataş Erkek Lisesi'nde açılan muayene çukurları ile yapı temellerinde kullanılan ahşap kazıkların, yer altı suyunun etkisiyle çürümüş olduğu ve temellerin binanın boyutları ile orantılı olmadığı tespit edilmiştir. Duvarlarda ise deprem çatlaklarının olduğu görülmüştür. Taşıyıcı duvarların güçlendirilmesi kapsamında, bütün katlarda taşıyıcı duvarlarda bir veya iki taraflı hasır çelik donatı, duvarlara epoksili ankrajlarla bağlanarak püskürtme betonlu takviye yapılmıştır. Hasır çelikler birbirlerine en az 20 cm bindirilerek yerleştirilmiştir [39].



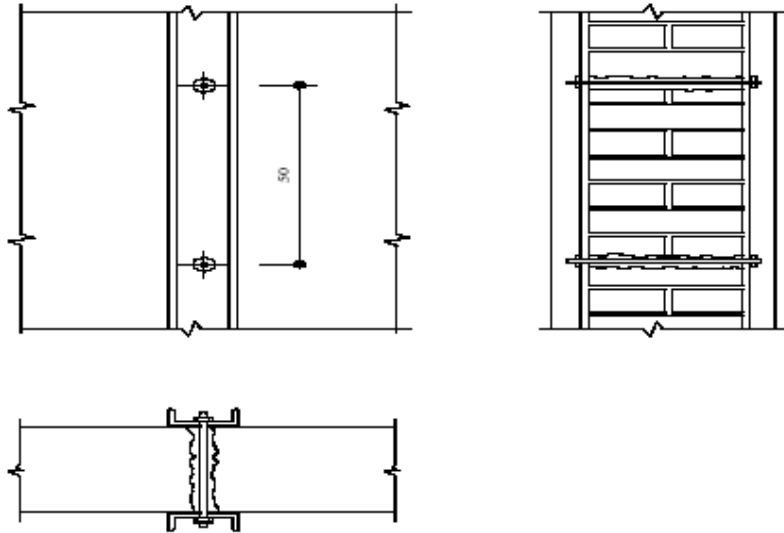
Resim 4.25. İstanbul, Kabataş Erkek Lisesi duvarlara çelik hasır ve ankrajların yerleştirilmesi ve püskürtme betonunun tamamlanması [39]



Resim 4.26. Sivas Divriği Ulu Camii minare kaidesinde genişletme [67]

Sivas Divriği Ulu caminin minaresinde düşeyden başlayan ayrılmalara çözüm olarak kesit genişletilmiştir. Kaide çevresinde yapılan ek bir kütle ile taban alanı genişletilmiş; düşeyden ayrılan minarenin yıkılması önlenmiştir. Caminin iç mekânındaki sütunların bir bölümünün de gövdeleri mantolanarak sağlamlaştırılmıştır.

- *Çelik levhalarla kuşaklama:* Bu yöntemde, duvarlar çelik levhalarla kuşaklanarak veya duvarın çatıya veya döşeme diyaframlarına monte edilerek kullanılan çelik levhalarla güçlendirilir.



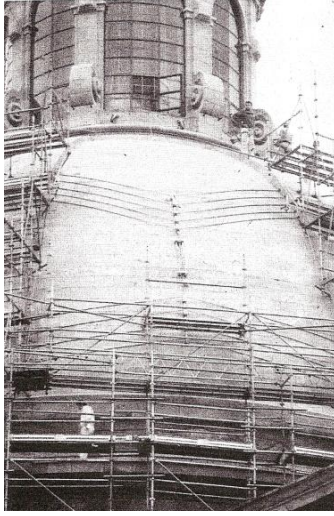
Şekil 4.20. Çelik levhalarla kuşaklama [39]

Avantaj-Dezavantaj: Bu yöntem duvarı dikey kuvvetlere karşı güçlendirmesine karşın yatay kuvvetlere karşı güçlendirmez [39].

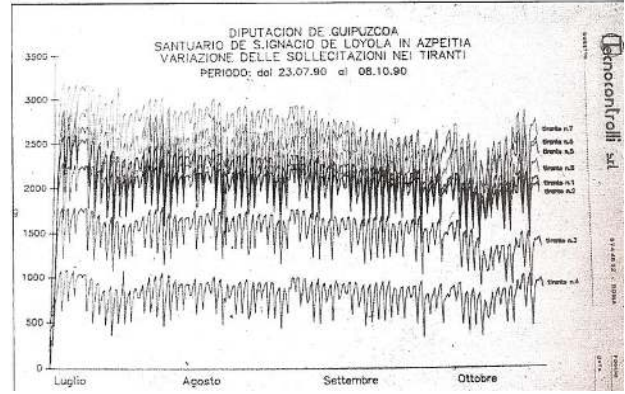
e) Ön germe ile güçlendirme (Prestressing): Kargir yapılar düşük gerilme ve kesme direncine sahiptir, gerilme kuvvetleri minimuma indirgenmiştir. Bazı durumlarda denge koşullarını sürdürebilmek için özellikle önceden oluşan hasar ve bozulmalar olduğunda veya beklenmeyen deprem ve toprak hareketleri meydana geldiğinde belli bir gerilme mukavemeti gerekir. Söz konusu gerilme mukavemeti, harici bağlantılar ile elde edilebilir. En çok kullanılan germe elemanları çelik donatılı çubuklar olup bunların korozyona karşı korumalarına dikkat edilmelidir. Özel paslanmaz çelikler, reçine çubuklar, karbon elyaf lifler, polimerik lifler veya diğer sentetik ipler çeliğe alternatif oluşturan malzemelerdir [17].

Uygulama metodu: Bu uygulama; ön-germe (pre-tensioning) ve ard-germe (post-tensioning) uygulanarak iki şekilde olmaktadır. Ön germe tendonların yerleştirilmesiyle başlar. Sonra, gerilen tendonların çevresine yapı inşa edilir, kuruduktan sonra tendonlar serbest bırakılır. Ard-germe sisteminde ise tendonlar yapı tamamlandıktan sonra gerilir. Ön-germe genellikle yeni yapılarda tercih edilmesine karşın ard-germe tarihi yapıların güçlendirilmesinde tercih edilmektedir. Ard-germe yatay ya da düşey olarak uygulanabilmesine rağmen yatay olarak uygulanan sistem tarihi dokuya daha uygundur. Yatay olarak uygulanan ard-germe işleminde tendonlar dışarıdan strüktüre ankraj yapılarak uygulanabilmektedir [36].

Ön germeli halatlar geniş bir alanda kullanılabilir. Paslanmaz çelik halatlar kubbelerde yeniden gerilme direnci (çekme mukavemeti) oluşturmak için kullanılabilir. Bu sistem maliyette ve dayanıklılıkta önemli avantajlar sağlamaktadır. Küçük dikey demir bağlantılar sistemin daha iyi etkinliğini ve işlemlerin kolaylaştırılmasını sağladığı için tercih edilmektedir (Resim 4.27.). Ön germeli işlemler monitoring sistemi ile sürekli kontrol edilmektedir. Şekil 4.21. ön germe sırasında ve sonrasında halatlardaki gerilmeleri göstermektedir [17].

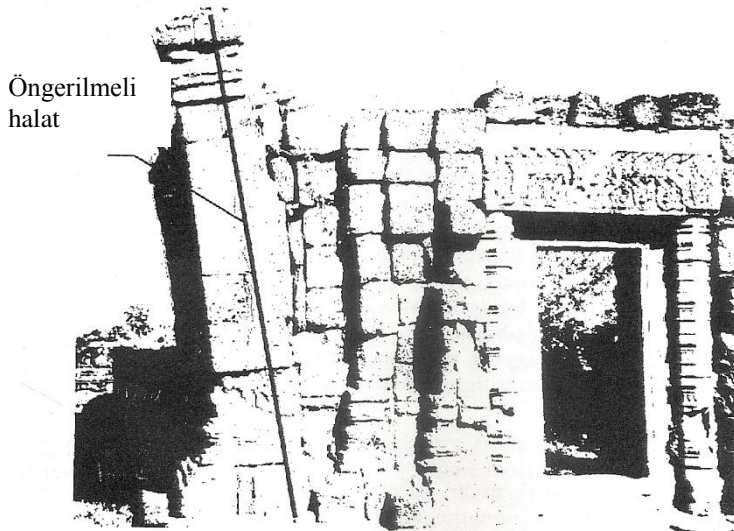


Resim 4.27. St. Ignatio kubbesindeki halatların yerleştirilmesi



Şekil 4.21.Ön gerilmeli halatlardaki gerilme seviyelerinin izlenmesi [17]

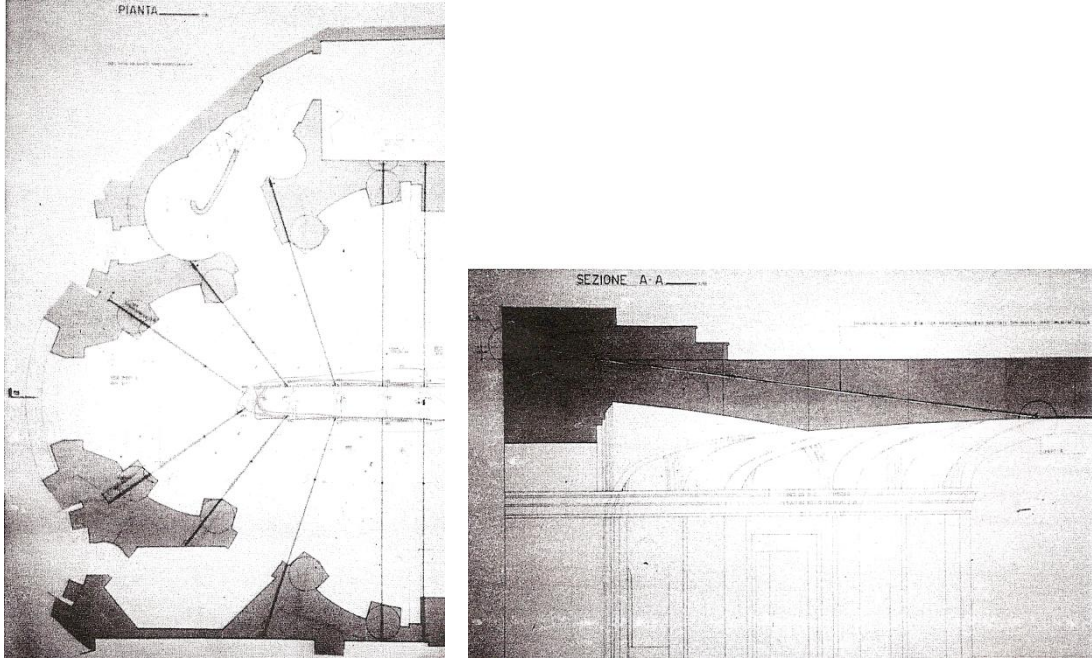
Özellikle daimi eğilmenin olduğu yerlerde sütun ve duvarlarda eğilme mukavemetini iyileştirmek için ön germeli halatlar ve dikey çubuklar kullanılarak taşıyıcı sistem güçlendirilebilir (Resim 4.28.).



Resim 4.28. Dikey halatlarla gerçekleştirilen güçlendirme [17]

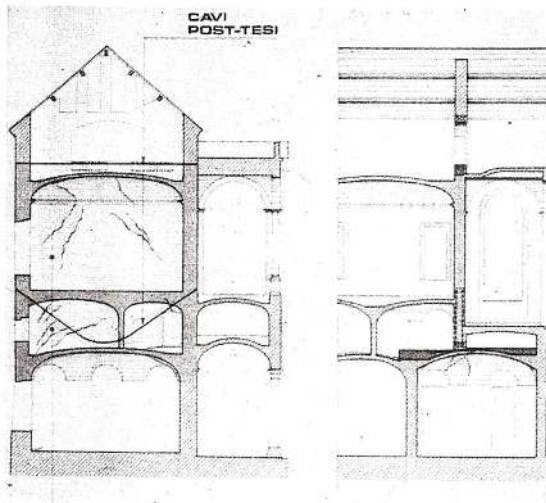
Çok düz tonozlarda destek Cenova Dükük Sarayında olduğu gibi asma kirişler ile sağlanabildiği gibi, San Carlino Kilisesinde olduğu gibi merkez alandaki tonozun alt

tarafında sıvayla gizlenen bir elik halka yerleştirilerek de sağlanabilir. Bu halka tonozun üstünde ışınsal n germeli açılı çubuklarla (halatlarla) asılmıştır [17].



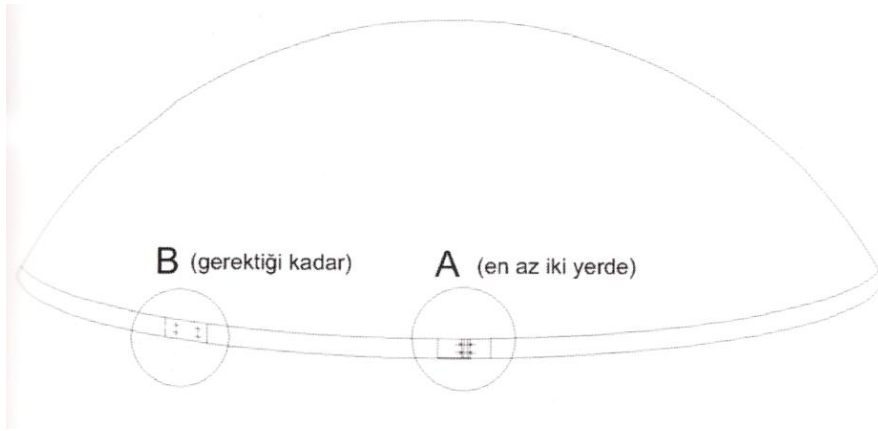
şekil 4.22. San Carlino Kilisesi ışınsal n germeli çubukları gösteren tonoz planı ve kesiti [17]

Bir tonozun yüksek bir yükü desteklemesi gerektiğinde Cenova Düklük Sarayındaki bir duvarda olduğu gibi, kavisli n germeli halat duvarın iki yanına yerleştirilmiş ve bu işlem tonozdan duvarın yükünü başarıyla kaldırmıştır.

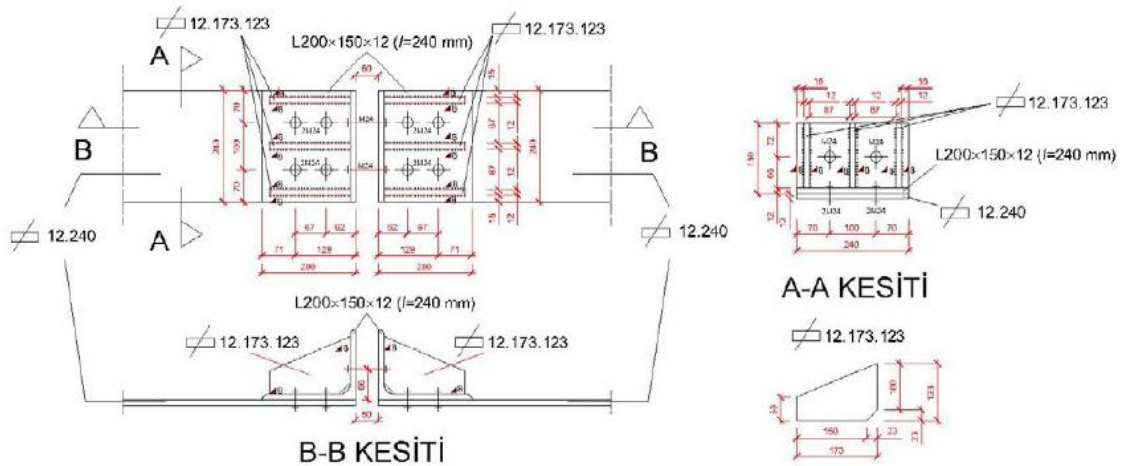


şekil 4.23. Tonozun yükünü alan bir duvarı desteklemek için n germeli halatlar [17]

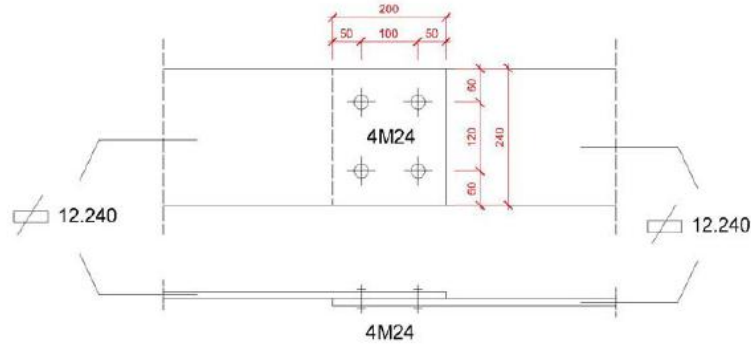
Uygulama örneği: Edirnekapı Mihrimah Camii ana kubbede saptanan çatlakların oluşum nedenlerini belirlemek amacıyla üç boyutlu olarak ANSYS yazılımı yardımıyla modellenmiştir. Yapısal çözümlemeler, kubbenin özgün durumu ve dıştan çekme çemberli durumu için yapılmıştır. Kubbe ile ilgili hesaplar sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda kubbenin güvenlik düzeyinin artırılması için kubbe eteğinde (~ 24 m kotunda) yukarıdaki detaylara uygun olarak 1 adet çekme çemberi düzenlenmesine karar verilmiştir [24].



Şekil 4.24. Kubbede dıştan çekme çemberi uygulaması [49]



Şekil 4.25. Kubbede çekme çemberi A detayı [49]



Şekil 4.26. Kubbede çekme çemberi B detayı [49]

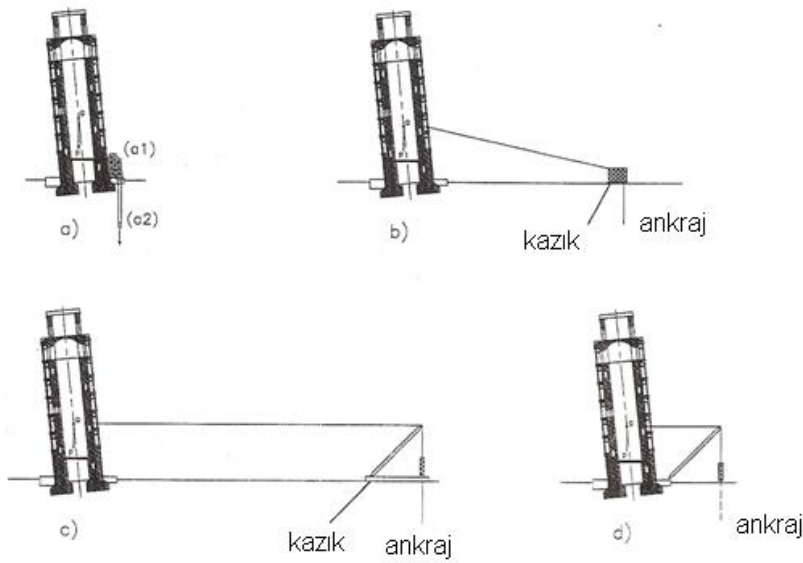


Resim 4.29. Mihrimah Sultan Camii ana kubbe eteğinde uygulanan çekme çemberi [33]

Avantaj-Dezavantaj: Ön germe uygulanacağı elemana veya taşıyıcı sisteme dışarıdan veya içeriden uygulanabilir ve sistemin genel davranışını ve bütünlüğünü iyileştirir. Bu uygulamada tendonlardaki kuvvetlerin etkililiğinin zamanla azaldığı unutulmamalıdır. Çeşitli nedenlerden dolayı tendonlardaki gerilim azalır ve bu nedenle uygulamanın etkili şekilde çalışması için periyodik inceleme ve bakım gerekir [36].

f) Sabitleme- ankraj (anchoring): Ankraj, bir elemanın veya tüm strüktürün sabit bir strüktüre veya zemine sabitlenmesidir. Eleman bazında yapılan veya ankrajlama gerektiren dıştan güçlendirmelerde, elemanlar kesitin içine donatı çubuklarını sabitlemek için boşlukların arasından zorla girer. Diğer taraftan, strüktürü zemine sabitleyeceğin zaman orijinal dokuya zarar vermez ama görüntüyü değiştirir [17].

Uygulama örneği: Farklı oturmaların ve özellikle eğilmenin olduğu yerlerde, bu değişiklikleri dengelemek ve hatta ters çevirmek yük dağılımını değiştirerek mümkün olmaktadır. İtalya Piza Kulesinde, devrilme momentini azaltmak için kaynağa yakın kenarına ölü yükler yerleştirilmiş ve devrilme momenti % 20 seviyesinde azaltılmıştır [17].

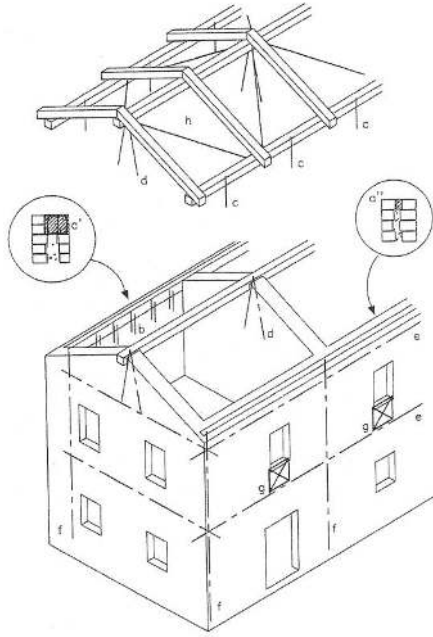


Şekil 4.27. Piza Kulesi ankrajı [17]

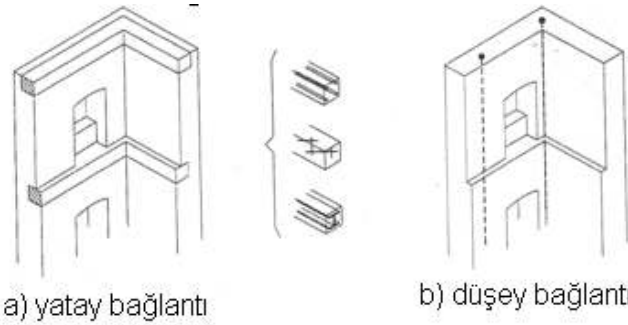
Avantaj- Dezavantaj: Taşıyıcı sistemin ve uygulandığı elemanın dengesini arttıran bu yöntem duruma göre geri dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz olabilir. Özellikle dıştan uygulandığı zaman görüntüyü değiştirerek tarihi dokuyu bozabilir [17].

g) Hatıl (çelik, sentetik çubuk veya betonarme vb.) oluşturulması: Duvarların deformasyonu pencerelerin altında ve üstünde yoğunlaşan çatlaklarla ortaya çıkar; duvar davranışı döşeme seviyesindeki iyi yatay bağlantılar ile düzeltilebilir.

Uygulama metodu: Bu bağlantı çelik veya sentetik çubuklardan yapılan hatıllar kullanılarak yapılabilir. Betonarme hatıllar da bu amaçla kullanılabilmesine rağmen tarihi binalarda kullanılması çok uygun değildir. Kullanımının güvenlik seviyesinin başka yollarla sağlanmasının mümkün olmadığı durumlarla sınırlandırılması gerekir [17].

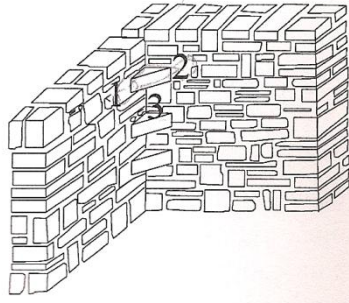


Şekil 4.28. a) duvarın tepesinde betonarme hatıl, b) hatılı duvara bağlayacak çubuklar c) çatıyı hatıla bağlayacak pim, çivi d) alınlığı mahya kirişine bağlamak için pimler e) yatay bağ çubukları f) dikey bağ çubukları g) pencere altlarındaki bölgeleri sabitlemek için çelik çerçeveler h) çatıyı sabitlemek için çelik çubuk veya ahşap payanda [17]



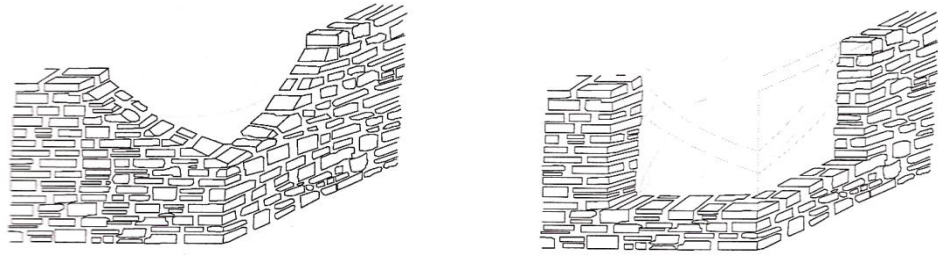
Şekil 4.29. Deprem davranışının iyileştirilmesi için yatay ve düşey bağlantılar [17]

h) Taş ekleme: Duvar birleşimlerinde geniş düşey kırıklar veya ayrılmalar oluşabilir. Duvar bileşimlerini iyileştirmek için tuğla örmek veya kırık boyunca taş eklemek kullanılan bir yöntemdir. (Şekil 4.30.) 1 ve 2 numaralı yerde gösterildiği gibi tuğla veya taş çıkarılır ve yeni malzeme 3 numarada gösterildiği gibi yerleştirilir. İki duvar arasındaki boşlukta uygun harçla doldurulur [39].

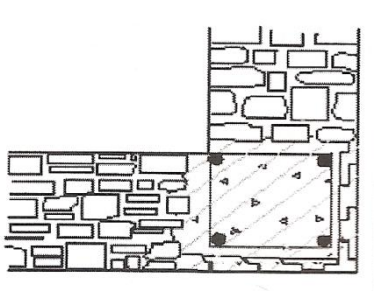


Şekil 4.30. Taş ekleme yöntemi [39]

i) Beton kolon oluşturma: Eğer köşe tamamen kopmuşsa, mevcut duvarı güçlendirmek için; çatı veya taşıyıcı sistem geçici desteğe alınmalı, sonra yığma duvardaki ek yerleri çıkarılıp temizlenmelidir. Betonarme donatısı hazırlanıp köşe duvarların içine bağlanmalıdır. Bu uygulama duvar bileşimini de güçlendirebilir [12].



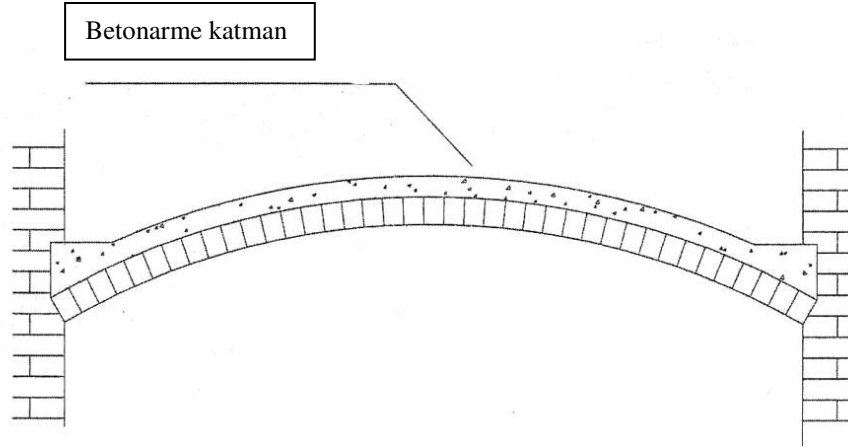
Şekil 4.31. Duvar köşelerinde oluşturulacak kolon için yapılan hazırlık [12]



Şekil 4.32. Duvarda kolon oluşturulması [39]

Duvarda taş ve tuğlaların 15-20 cm genişliğinde birbirinden ayrılması halinde, bütün gevşek taş veya tuğlalar uzaklaştırılır. Çatlak tümüyle betonla doldurulur. Böylece duvarda kolon oluşması sağlanır [39].

j) Betonarme katman: En uç yöntemlerden biri kemer ve ya tonoz sırtının ince bir betonarme katmanıyla kaplanmasıdır. Döşemelerin kendi düzlemlerinde sabitliği için kullanılabilecek olan ince betonarme döşemeler tarihi binalarda son çare olarak düşünülmelidir.



Şekil 4.33. Tonoz üzerinde ince betonarme katman [17]

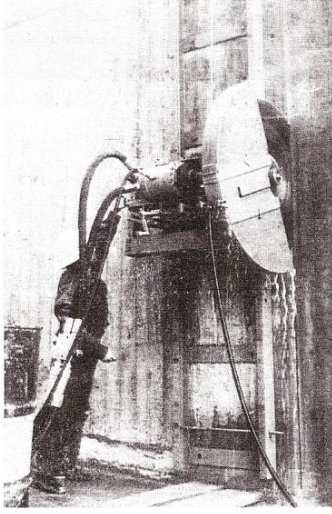


Resim 4.30. Kayseri Gubaroğlu Mescidi beton atılmış kubbe, 2011 [44]

4.1.3. Deformasyon ve sorun kaynağına çözüm geliştirme

Bu başlık altında dilatasyon derzi oluşturma, çelik kirişler ve yayların kullanılması, mekanik sistemler ile güçlendirme, sismik yalıtım ve su yalıtımı ele alınacaktır.

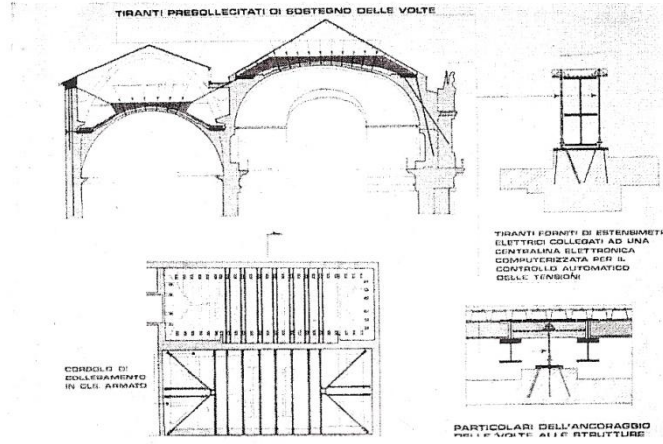
a) Dilatasyon derzi oluşturma: Yapıda oturma probleminden kaynaklı çatlaklar olduğu zaman, özel testereler kullanılarak duvardaki ana çatlakları takip eden dūřey derzler kesilerek dilatasyon derzi oluşturulmuş olur. Böylece, yapının belli bir miktar hareketine izin verilerek, binanın oturmalara daha fazla gerilme yaratılmadan uyum sağlayabilir hale getirilmesi sağlanabilmektedir.



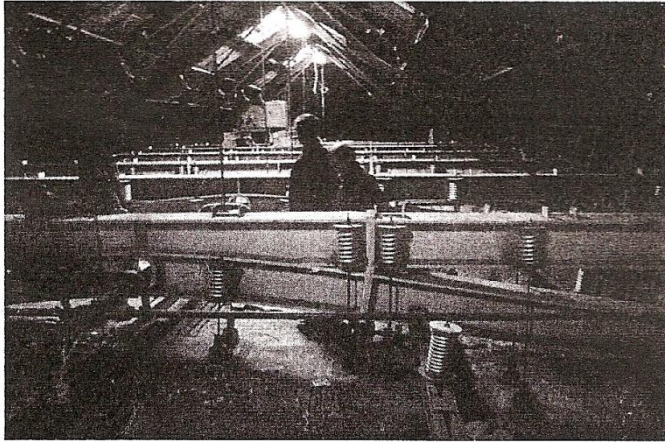
Resim 4.31. İtalya Modena Düklük Sarayında yapılan uygulama [17]

b) elik kirişler ve yaylar kullanılarak: Geniş açıklıklı tonozların güçlendirilmesi, tonozun harici elik kirişlerle asılması ile çözülebilir. Bu tür onarımlarda sıcaklık genleşmesinden doğan gerilmeler ve farklı malzemelerin değişen sıcaklık katsayılarından kaynaklanan taşıyıcı sistem bzlmelerinden kaynaklanan olası yan etkiler göz önünde bulundurulmalıdır [17].

Uygulama rneği: Cenova Düklük Sarayında toprak deformasyonu ana cepheyi etkilemiştir ve salonun ana tonozunda sehime neden olmuştur. Bu problem tonozu, kemerli elik kirişlere bağlanmış yaylar ile çözülmüştür. Bu kemerli kirişler ayrıca bağ gibi hareket eder ve cepheleri birbirine bağlar. Tonozu desteklemek için; elik kirişlerdeki sıcaklık değişimlerinden kaçınmak için yaylar kullanılmıştır [17].



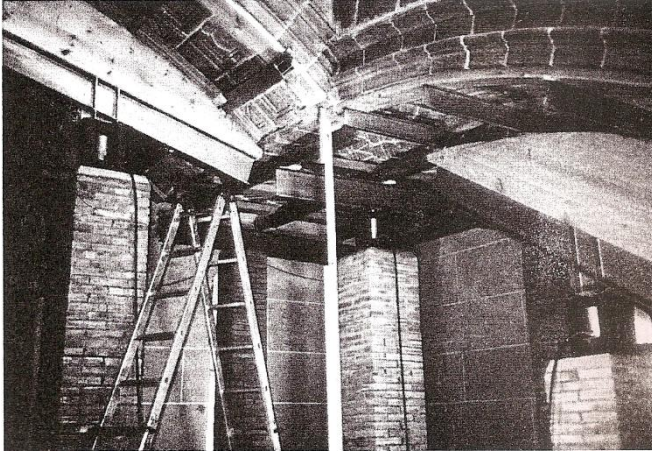
Şekil 4.34. Cenova Dükük Sarayı tonozlarının güçlendirilmesi [17]



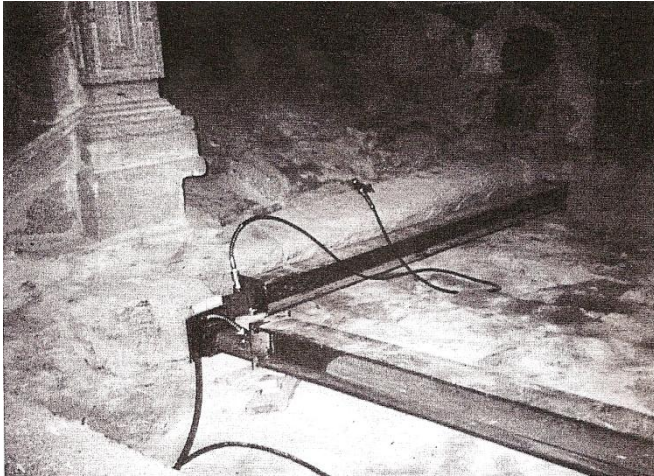
Resim 4.32. Tonozu desteklemek için olan yayların ve çelik kirişlerin detayı [17]

c) Mekanik sistemler ile güçlendirme (kriko vb.): Taş yapılarda, merdivenler genelde büyük hasara ve hareketlere maruz kalır. Uygun çözüm; tablalı kriko gibi mekanik araçlarla uygun bir itme kurularak sağlanabilir, böylece merdiven taşları için gerekli olan basınç tekrar yaratılır. Daha sonra bloklar kriko kullanılarak önceki pozisyonlarına kaldırılır.

Uygulama örneği: Bu tür bir çözüm İspanya’da Monforte Lemos Katedrali’nin tarihi merdivenlerinin dengesini tekrar kurmak için kullanılmıştır, dikey yer değiştirmeleri eski haline getirmek için dikey krikolar yatay olanlarıyla birlikte kullanılmıştır.



Resim 4.33. Monforte Lemos Kardenal Kolejinin merdivenlerindeki deformasyonu düzeltmek için olan geçici strüktür ve krikolar [17]



Resim 4.34. Aşağıdaki krikoların etkisini iyileştirmek için konan diğer krikolar [17]

d) Sismik (Deprem) Yalıtım: Son dönemlerde, tarihi yapılarda ve bazı önemli çağdaş yapıların güçlendirilmesi amacıyla enerjiyi kendi içinde sönüme uğratarak kontrol etme eğilimi ağırlık kazanmaktadır [8].

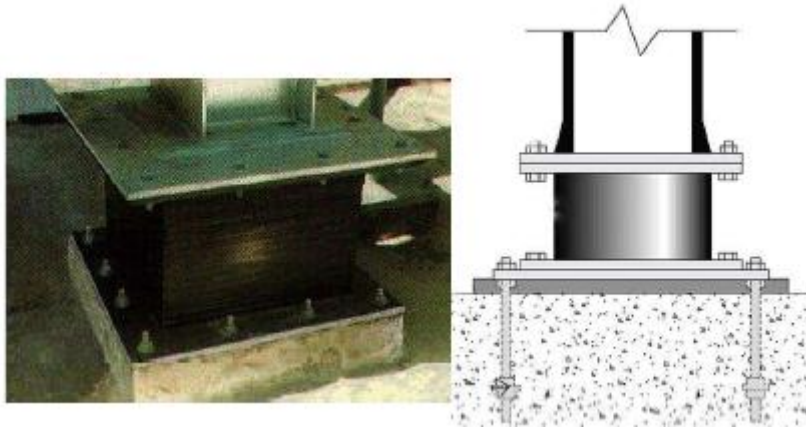
Taban yalıtımının temel ilkesi; yapıların ve kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri göz önüne alınarak; yapıların rijitliklerini azaltıp periyotlarını uzatmak, sönümlerini artırarak yapılara daha küçük yatay yüklerin gelmesini sağlamak, yapıların orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve çok şiddetli depremlerdeki hasarının daha küçük boyutlara indirilmesidir [12,39].

Bir sismik yalıtıcının sahip olması gereken özellikler şöyledir:

- Yapının kuvvet tepkilerini azaltmak için dizgenin titreşim dönemini uzatan esnek bir yapıya sahip olmalıdır,
- Göreceli yer değiştirmeleri denetlemek için söndürücü veya enerji açığa çıkarıcı olmalıdır,
- Rüzgâr, küçük deprem yükleri gibi düşük seviyedeki yüklere karşı yeterli dayanımı olmalıdır [8].

Uygulama metodu: Günümüzde kullanılan sismik yalıtım cihazları ve metotları şunlardır:

- Kauçuk esaslı sismik izolatörler (rubber bearings): Yatay şekil değiştirmesi ve kayma deformasyonu yüksek olan doğal kauçuğun içine rijitlik ve sönüm artışı amacıyla karbon siyahı eklenir. Bunun dışında dinamik sönümü ve yatay stabilitesini yükseltmek amacıyla kurşun çekirdek yerleştirilir. Hesaplanan yatay ve düşey deplasmanları karşılabilecek kapasitede kauçuk esaslı sismik izolatör, taban plakaları yardımıyla kolon altına yerleştirilir [62].



Resim 4.35. Kauçuk esaslı sismik izolatör [62]

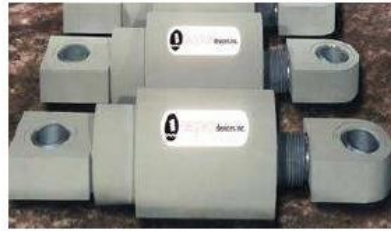
- Sürtünme esaslı sismik izolatörler (friction pendulum): Özel metaller kullanılarak iç bükey yüzey üzerinde kayabilen mesnet elemanı bu yatay hareket sırasında gelen enerjiyi sönümlemekte ve böylece deprem etkisini azaltmaktadır.



Kolon altına yerleştirilen sürtünme esaslı sismik izolatör, içbükey %5'lik sürtünmeli yüzeyi sayesinde tabandan gelen deprem yüklerinin yapıya %5'lik kısmını aktarır. Deprem enerjisini içbükey kısım sarkaç prensibine dayanarak yapının ağırlığını kullanarak sönümler.

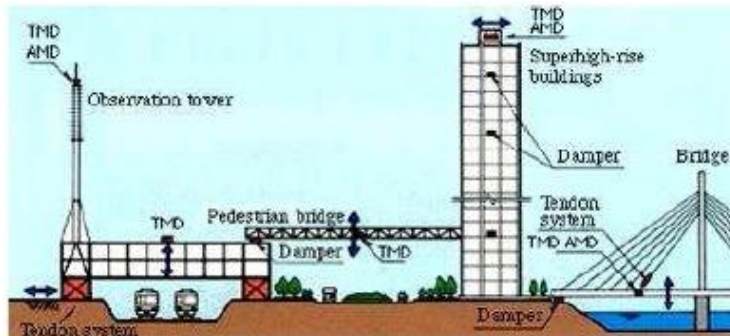
Resim 4.36. Sürtünme esaslı sismik izolatörler [62]

- Enerji sönümlendirici cihazlar: Bu sistem yapıda yatay hareketleri minimuma indirmek ve yatay deprem enerjisini absorbe etmek veya sönümlemek amacıyla kullanılır.



Resim 4.37. Enerji sönümlendirici cihazlar [62]

- Vibrasyon kontrol cihazları: Yapının en üstüne konan kütleler yardımıyla, yapının yatay deplasmanlarını minimuma indirmeye çalışır.



Resim 4.38. Vibrasyon kontrol cihazları

Avantaj- Dezavantaj: Sismik yapı yalıtımı yüksek can güvenliği, minimum deprem hasarı, şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım sağlama, yapının değerli eşya ve cihaz içeriğine etkin koruma, minimum bakım gereksinimi gibi avantaj sağlar. Sismik yalıtım araçları pozitif yönlerine rağmen, yumuşak zeminde inşa edilmiş yapılarda ve bitişik nizam yapılarda kullanılmamalıdır [39]. Ayrıca sismik yalıtımın tarihi yapılarda kullanım alanı sınırlıdır.

e) Nemin uzaklaştırılması (Su yalıtımı): Nemin yapıda kapiler olarak yükselmesi ve kristalize olması duvar genelinde ve yapı malzemelerinde bozulma ve çatlaklara yol açmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için muhtemel sebeplerin incelenmesi ve bu doğrultuda müdahale yönteminin belirlenmesi gerekir. Zemin suyu seviyesinin düşürülmesi, yağmur suyu toplama sisteminin düzenlenmesi ve drenaj yapılması yöntemleri, yapıdan suyun uzaklaştırılması için kullanılmaktadır.

Uygulama metodu: Zemin suyu seviyesinin düşürülmesi uzun zaman gerektiren ve yapılması çok zor bir uygulamadır. Suyun yerçekimi karşısındaki hareketi (cazibe) kullanılarak veya pompalama yöntemiyle uygulanabilmektedir.

Çatıda oluşturulan yağmur suyu toplama sistemleri oluk, çörten vb. ise yağmur suyunun yapıdan uzaklaştırılmasında etkili olmaktadır.

Zemin suyunun neden olduğu nemin önlenmesinde en etkili yol ise drenaj sistemlerinin oluşturulmasıdır. Bunun en basit yolu duvarda drenaj deliklerinin oluşturulmasıdır. Diğer bir uygulama yönteminde ise öncelikle temel kotu seviyesine kadar kazı yapıp bu seviyede, zemin suyunu almak için drenaj borusu (drenflex) döşenir ve üzeri granülometrik malzeme (kum-çakıl) ile doldurularak suyun bu malzemeden süzülerek drenaj borusu vasıtasıyla yapıdan uzaklaştırılması sağlanır. Yapıdan suyun uzaklaştırılması için buna ek olarak su basman seviyesine kadar su yalıtımı yapılabilir. Bu amaçla kullanılan malzemeler membran türü malzemeler olabildiği gibi su itici özelliği bulunan likit sürme malzemelerde olabilmektedir.

Uygulama örneği: Makedonya Üsküp Mustafa Paşa Camiinde depremde kaynaklı yanal yükleri almak ve yapı taşıyıcı sisteminin bir bütün olarak çalışmasını sağlamak amacıyla temelin tamamı perde beton içine alındıktan sonra yapıdan nemin uzaklaştırılmasına çalışılmıştır. Bu amaçla yapılan perde duvarın üzerine iki kat su yalıtım membranı şaluma ile yapıştırmak suretiyle uygulanmıştır. Bu yalıtımın üzerine korunma amacıyla drenaj koruma levhası (fondoline) kaplanmıştır. Daha sonraki aşamada ise zemin suyunun uzaklaştırılması için drenaj çalışmaları yapılmıştır. Drenaj borusu keçe içine alınarak temel kotu seviyesinin 10-15 cm aşağısına gelecek şekilde döşenmiştir. Keçenin amacı, zeminden süzülen çamur vb. malzemenin boruyu tıkamasına engel olmak ve suyun süzülmesini sağlamaktır. Daha sonra üzeri granülometrik malzeme ile doldurularak kapatılmıştır.



Resim 4.39. Üsküp Mustafa Paşa Camii su yalıtım uygulaması, 2007 [55]



Resim 4.40. Üsküp Mustafa Paşa Camii drenaj çalışması, 2007 [55]

4.2. Temelin Sağlamlaştırılması

Temel güçlendirmesi, bir binanın temel yüklerinin daha derin ve sağlam seviyelere dağıtılmasıdır. Bu yapılan işlemde, mevcut yüklerin tamamen veya kısmen zararsız bir şekilde taşınacağı yeni temeller yaratılır.

Temel takviyesi yapılmasına yol açan nedenler şöyle sıralanabilir:

- Farklı oturma: Binanın düzensiz yük yapısından, ağaç köklerinin ya da kohezyonlu zemin davranışlarından dolayı zemin hareketinin düzgün olmayan direncinden kaynaklanabilir.
- Yükte artma: Yapıların yenilenmesi veya binalara yeni bir işlev kazandırılması için, kat ilavesinden ya da yapıyı farklı amaçlarla kullanma isteğinden dolayı yüklerin artmasından kaynaklanır.
- Koruma amacıyla: Komşu arsada yapılan derin bir kazı, sıkı temelli yapılarda oturmalara ve temel zemininde hareketlenmelere sebep olabilir. Yapıyı emniyete almak amacıyla temellerin takviyesi ve derinleştirilmesi gerekebilir. Mevcut yapılarda değişiklik yapılması, yapı yüklerinin kaldırılması veya bodrum kazanmak için kazı yapılması sonucu zeminde önemli kalıcı ya da elastik deformasyonlar meydana gelebilir ve temel takviyesi gerekebilir. Mevcut yapıların yanından kanal, boru, tünel v.s. geçirilmesi gibi durumlarda temel takviyesi gerekebilir. Killi zeminlerde kuruma nedeniyle veya ağaç köklerinden kaynaklanan oturmalar meydana gelebilir. Yer altı su seviyesinin değişmesinin yol açacağı ilave oturmalara karşı da takviye gerekir [11].

Temel takviyesi hangi amaçla yapılırsa yapılsın, takviye yöntemine karar vermeden önce mutlaka sondajlar, deneme çukurları ve numuneler üzerinde laboratuvar ortamında deneyler yapıp incelenmelidir.

Eğer temelin oturmalarına karşı takviyesi gerekiyorsa temel yükleri, oturmalarından etkilenmeyecek bir derinliğe aktarılmalıdır. Bunun için arazi profilinin ve zemin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Öte yandan, temelin takviye edilmesini gerektiren neden doğru olarak belirlenmelidir [11].

Temelin sağlamlaştırılması için yapılan uygulamalar geleneksel yöntemler, zemin iyileştirilmesine dayanan yöntemler ve temel yüklerinin daha derindeki tabakalara aktarılması şeklinde üç başlık altında ele alınacaktır:

4.2.1. Geleneksel yöntemler

Çukur yöntemi olarak da bilinen bu yöntemle yığma yapılarda yapıdan gelen yüklerin daha geniş bir alana aktarılması sağlanır.

Uygulama: Bu yöntemde mevcut temele yeni ilaveler yapılarak yüklerin paylaşımı sağlanarak zemin gerilmeleri azaltılır. Temel altındaki zemin tamamen boşaltılarak temel alt kısmının derinleştirilmesi veya genişletilmesi ile oluşturulan boşluk hacminin sağlam ve stabil bir malzemeyle yeniden doldurulması sağlanır [8].

Bu yöntem bazen oturmayı önlemek için geçici destek olarak da kullanılabilir. Geleneksel yöntemin uygulamasında boşluk hacminin doldurulması mevcut malzeme ile aynı türde bir malzeme ile yapılabileceği gibi beton ve betonarme elemanlarda bu amaçla kullanılabilir [18].

Bu yöntemde en fazla 4-5 m derinlikte kazı yapılabilir ve yer altı su seviyesinin düşük olduğu durumlarda uygulanabilir. Yapının altına planlı bir şekilde kazarak girilir ve yeni bir temel yapılır veya temelde değişiklik yapılır. Uygulamada genellikle duvar altlarında bir işçinin çalışabileceği dar çukurlar açılır ve ano ano çalışılır. Duvar veya sömeller önce geçici desteğe alınır ve yeni temel sistemi inşa edilir [11].

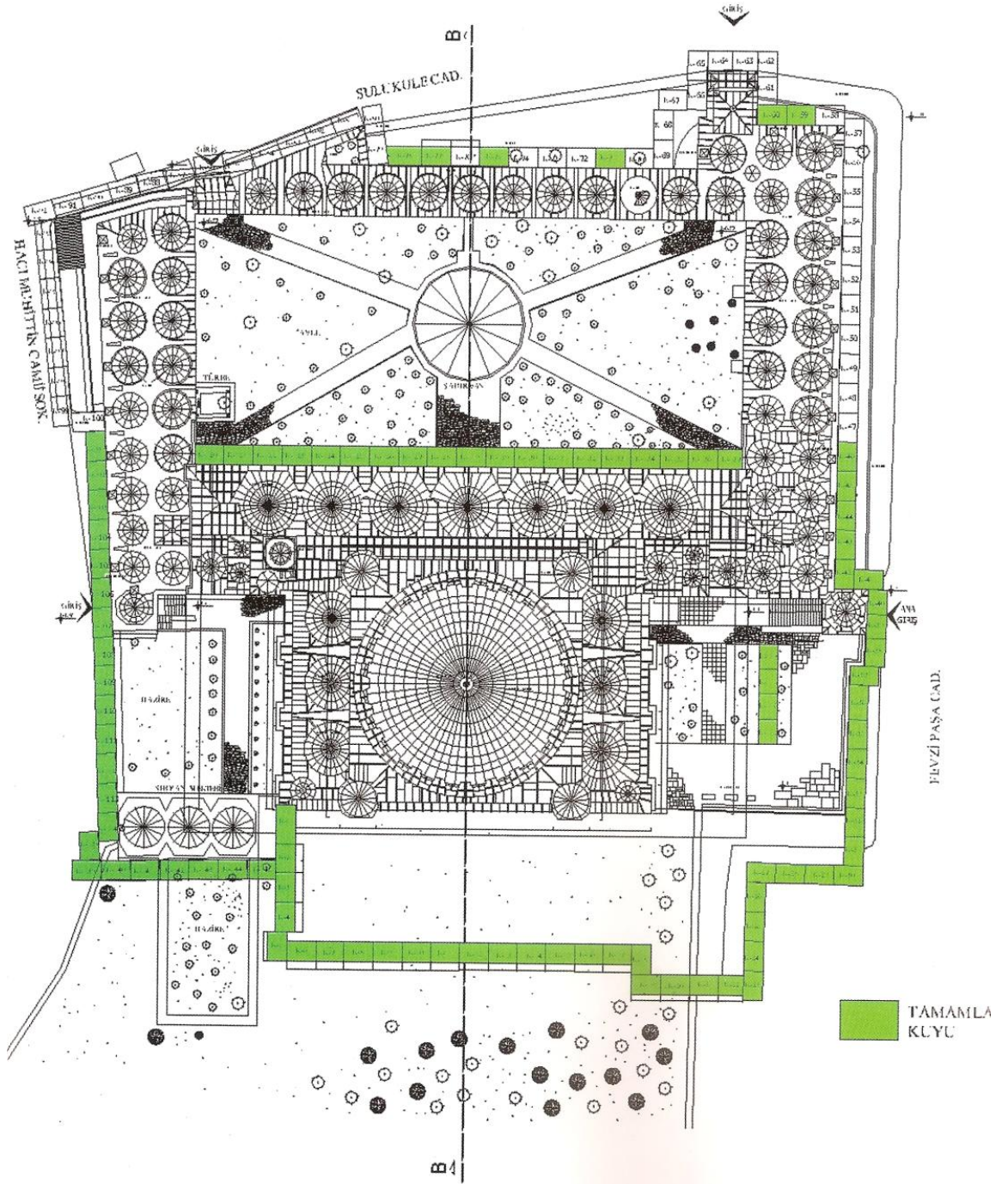


Resim 4.41. Geleneksel yöntemle çukur açılması [68]

Avantaj- Dezavantaj: Bu yöntem uzun bir geçmişe sahip olmasına rağmen yapı deformasyonu ve güvenli olmayan çalışma koşulları oluşmasına neden olur. Yumuşak kohezyonlu zeminlerde ve belirgin kohezyon özelliği olmayan daneli kumlarda ve çakıllarda bu takviye yöntemi uygulanmamalıdır [11].

Kazı derinliği fazla olduğu veya yer altı suyunun sorun yarattığı durumlarda bu yöntem uygulanamayabilir ve ekonomik olmaktan çıkabilir. Ayrıca yapı yükleri çok büyük olduğunda eğer kullanılan malzeme beton ise, ilave bir beton kütlesi kabul edilmeyecek oturmalar neden olabilir [39].

Uygulama örneği 1: Edirne Merkez Muradiye Camiinde temel sistemini belirlemek için açılan muayene çukurunda, temel derinliğinin 230 cm olduğu, moloz taştan yapıldığı ve siltli kum, killi kum, silt ve kil bantlarından oluşan alüvyon tabakasına oturduğu görülmüştür. Yetersiz temel ve temel derinliğine bağlı sorunların çözülmesi için, mevcut temellerin altına inen ve Cami'yi çevreleyen betonarme temeller öngörülmüştür.



Şekil 4.36. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii tamamlanan kuyu planları [33]



Resim 4.43. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kuyu temel uygulaması [33]

4.2.2. Zemin iyileştirmesine dayanan yöntemler

Yer altı suyunun seviyesindeki değişiklikler, sıkışabilir tabakaların varlığı ve bunların farklı kalınlık veya özellikte olması, zemindeki mukavemet kaybı gibi olumsuzlukların giderilmesi için temel zemininin ıslah edilmesi gerekir.

Temel zeminin ıslahında jet-grout ve enjeksiyon uygulaması yapılmaktadır. Uygulanacak yöntemin seçiminde zemin ve yer altı suyunun durumuna ek olarak ulaşılabilme, uygun çalışma alanı, uygulama süresi ve temel takviyesi yapılacak yapının durumu gibi etkenlere dikkat edilmelidir [11].

a) Enjeksiyon yapılması:

Temel zemininin veya ana kayanın kayma mukavemetini arttırmak ve geçirgenliğini azaltmak amacıyla kaya veya zemin içerisine basınç altında çeşitli bileşimdeki

karışımların basılmasına “enjeksiyon” denir [8]. Zemine ve kayaya enjeksiyon yapılarak boşluklar tamamen ve ya kısmen doldurulur.

Enjeksiyon yöntemi, önceleri su sızıntılarını önlemek için maden endüstrisinde ve baraj temellerinde sızdırmazlık perdesi oluşturulmasında uygulanmaya başlanmış, daha sonraları ise inşaat mühendisliğinde tünel kazımı esnasında gevşek zeminlerin ve parçalı kayaların stabilizasyonunda, sondaj ve numune alma esnasında su problemlerinin çözümünde, zemin içerisindeki boşlukların doldurularak aşırı oturmaların engellenmesinde, binaların zemin emniyet gerilmelerinin arttırılmasında ve deprem esnasında sıvılaşabilecek gevşek, suya doymuş granüler zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin azaltılmasında kullanılmıştır [53].

Uygulama: Enjeksiyon konusunda dikkat edilmesi gereken husus, bütün uygulamalar için aynı enjeksiyon malzemesinin ve enjeksiyon parametrelerinin (enjeksiyon basıncı, hızı ve enjekte edilen hacim) kullanılamayacağıdır. Enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon parametreleri dane çapı, rölatif sıkılık, geostatik gerilmeler gibi zemin koşullarına ve uygulamanın amacına uygun olarak tasarlanmalıdır [53].

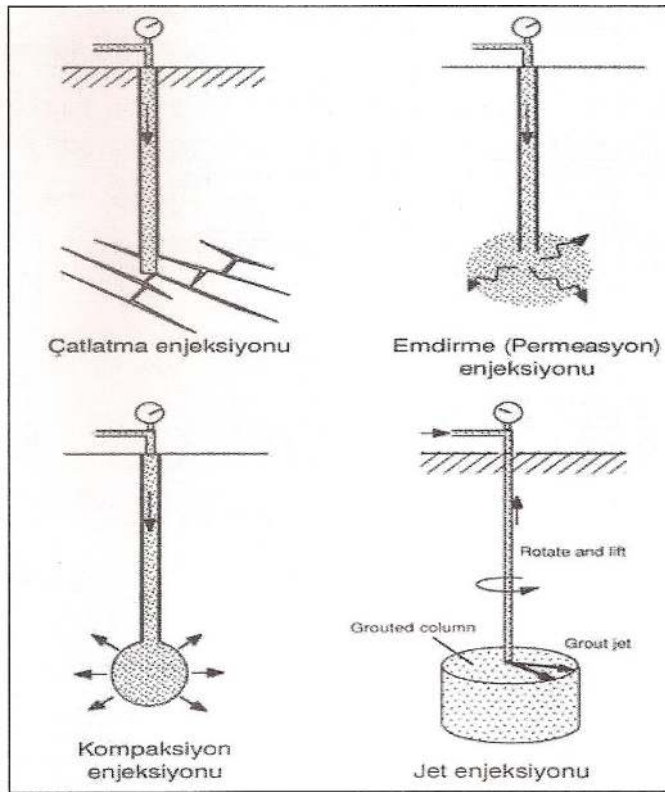
İlk başlangıçta enjeksiyon malzemesi olarak kil, puzolan, hidrolik kireç kullanılmıştır. Portland çimentosunun bulunması ile enjeksiyon malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları kimya endüstrisindeki gelişmeler ile iri taneli kumlarda asfalt emülsiyonu, dolgun kumlarda karpamit polimer, doymuş kumlarda ve lős zeminlerde silikasyonu sağlamak amacıyla cam suyu enjeksiyonu kullanılmaya başlanmıştır [8].

Enjekte edilecek harçların özellikleri toprak özelliklerine ve özellikle toprağın geçirgenliğine bağlıdır. Maximum difüzyon sağlayan harçların bazıları şunlardır:

- a) Çimento ve sudan oluşan kararsız harç çözeltisi: Çatlaklı kaya ve kumlu çakılda boşlukları ve oyukları doldurmak için kullanılır.

- b) Su, çimento ve bentonit gibi iyileştirilmiş kil karışımdan oluşan kararlı harç: Karışımda bentonitin varlığı harcın tortulaşma olasılığını engeller. Bu tür harçlar genellikle çakıl ve kumun alüvyonlu birikintilerinde kullanılır.
- c) Sodyum silikat, bir ayıraç ve epoksi reçinesi gibi kimyasal ürünler: Genelde çok pahalı olan bu ürünler ince kum ve alüvyonlu kum gibi düşük geçirgenlik katsayısı olan topraklarda kullanılmaktadır [17].

Enjeksiyon uygulama teknikleri enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilmesi biçimine bağlı olarak gruplara ayrılır. Buna göre enjeksiyon teknikleri Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



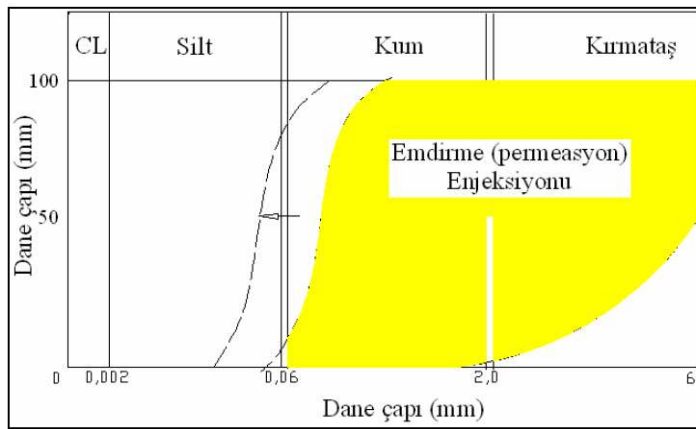
Şekil 4.37. Enjeksiyon sistemleri şematik gösterimi [53]

Emdirme (Permeasyon) enjeksiyonu: Bu teknikte düşük akışkanlı enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara, düşük basınçlarda nüfuz etmekte, böylece zeminin hacmi ve yapısında bir değişiklik oluşmamaktadır. Zemine enjekte edilen

malzeme zamanla sertleşmekte ve zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini değiştirmektedir [53].

Daneler arasına zemin yapısını bozmadan girecek şekilde hazırlanan enjeksiyon karışımı çimento ve sudan oluşuyor ise en çok orta kum ebadına girebilmekte, kil ve çimentodan oluşuyor ise en çok kaba kumlara nüfuz edebilmektedir. Enjeksiyon harcında kum ve su arttıkça enjeksiyon yapılan zeminin direnci azalır [31].

Bu enjeksiyon tekniğinde hem süspansiyon türünde olan çimento şerbeti hem de koloit yapıdaki saf kimyasal çözeltiler kullanılmaktadır. Genel olarak kumlu, çakıllı ve kötü nitelikteki dolgu malzemeler ile çatlaklı zeminler ve parçalanmış kaya yapısındaki zeminlerde başarıyla kullanılmaktadır. Zeminin geçirimliliği azaldıkça hem teknik hem de ekonomik zorluklar artmaktadır [53].

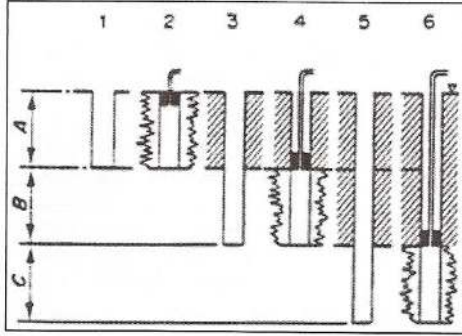


Şekil 4.38. Emdirme enjeksiyonu uygulama alanı [11]

Yüzeysel derinliklerde enjeksiyon işlemi tek aşamada yapılabilir. Enjeksiyon kuyusu uygulama yapılacak derinliğe kadar açılır ve enjeksiyon borusu yardımıyla enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Bunun dışında kuyu açılırken de işlem gerçekleştirilebilir. Kuyu belli bir derinlikte açıldıktan sonra enjeksiyon borusu indirilir ve işlem gerçekleştirilir [11].

Yüksek enjeksiyon basınçlarının gerektiği daha derin zeminlerde ise kademeli enjeksiyon işlemi uygulanır. Bu sistemde enjeksiyon kuyusu belli bir derinliğe kadar

açılır ve enjeksiyon yapılır. Malzeme sertleştikten sonra kuyu biraz daha derinleştirilip tekrar enjeksiyon yapılır [53].

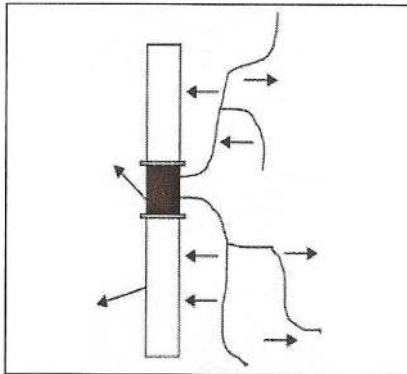


Şekil 4.39. Kademeli enjeksiyon işlemi [53]

Çatlatma enjeksiyonu: Emdirme enjeksiyonunda olduğu gibi zemin daneleri arasına girmek yerine daha yüksek basınçla enjeksiyonun zeminin çatlatılarak yapraklanma şeklinde enjekte edildiği yöntemdir [31].

Bu yöntemde zemin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük vizkoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda çatlatılır. Bu yöntem, düşük geçirimliliğe sahip, ince daneli zeminlerin stabilizasyonunda uygulanmaktadır [53].

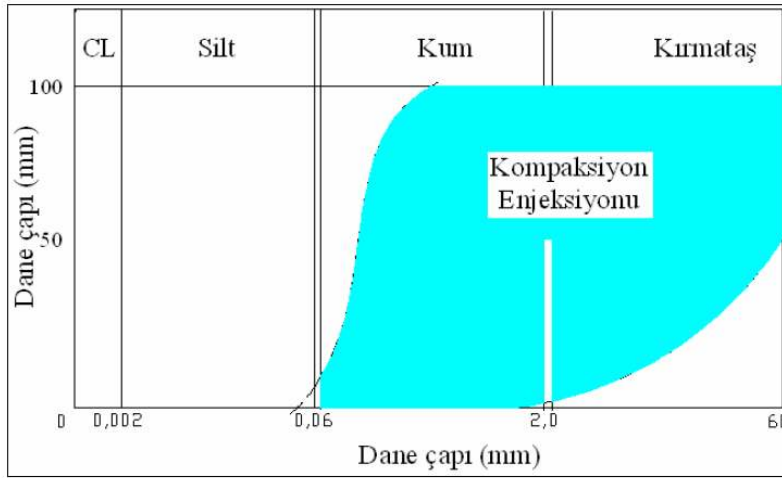
Bu enjeksiyon yönteminde zemin içerisinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve böylece zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır.



Şekil 4.40. Düşey yönde çatlakların oluşumu ve yatay sıkıştırma [53]

Kompaksiyon enjeksiyonu: Zeminin tamamen deplase etmek için, katı kıvamında malzemenin biraz daha yüksek basınçla zemine enjekte edildiği yöntemdir. Dolayısıyla zeminin orijinal yapısı bozulmakta ve bu sayede radyal olarak sıkıştırılabilmektedir. Bu yöntemin başarılı sonuçlar vermesi enjeksiyon malzemesinin katı ve yüksek viskoziteli olmasına bağlıdır [31].

Kompaksiyon enjeksiyonu daha çok farklı oturmaların düzeltilmesinde, temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde kullanılmakla beraber sıvılaşma ve sismik problemlerin önlenmesinde, yumuşak ve gevşek zeminlerde açılan tünel kazılarında dolayı meydana gelecek yüzeysel oturmaların karşılanmasında, yer altı boru hatları veya menfez temellerinin güçlendirilmesinde ve baraj temellerinde yer altı boşluklarının önlenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [54].



Şekil 4.41. Kompaksiyon enjeksiyonu uygulama alanı

Bu yöntemde, enjeksiyon deliklerinin aralıkları ve yerleşimi, zemin tipi, su muhtevası, zeminin mevcut rölatif sıkılığı ve istenilen iyileştirme derecesi, geostatik gerilmeler, mevcut yapısal elemanlar vb. gibi faktörler enjeksiyon malzemesinin enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme şeklini ve dolayısıyla sonucu etkilemektedir [54].

Jet enjeksiyonu: Jet enjeksiyonunda kullanılan malzeme ve uygulanan basınç, zemin cinsine göre farklılıklar göstermektedir. Zemin ile enjeksiyon malzemesi farklı oranlarda karıştırılabileceği gibi zemin tamamen dışarı alınıp enjeksiyon ile de doldurulabilir [31].

Bu teknikte, enjeksiyon yapılacak derinliğe kadar, su kullanılarak delgi yapılmakta ve delgi için kullanılan nozullardan yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine jetlenmektedir. Uygulama neticesinde zemin içerisinde beton-zemin karışımı yüksek dayanımlı ve geçirimsizliği düşük kolonlar elde edilmektedir [53].

Bu uygulama sonucu zemin içerisinde oluşturulan kolonlar, temeller, döşemeler ve dolgular altında taşıma gücü ve oturma kontrolü için kullanılabileceği gibi yumuşak zeminlerde açılan tünellerde tünel kesiti üzerinde taşıyıcı şemsiye, yumuşak killerdeki derin kazılarda kazı tabanı altında payanda elemanı olarak kullanılabilir [53].

Bu uygulamanın yüksek maliyetli olması gelişimini kısmen düşürmüştür.

Avantaj-Dezavantaj: Enjeksiyon uygulamaları büyük deplasmanlar, sıvılaşma, mukavemet ve rijitlik kaybı gibi olumsuzlukları giderebilen ve farklı oturmalarla maruz kalmış kısımların tekrar aynı seviyeye yükseltilmesinde ve oturma kontrolünde başarılıdır [8, 54].

Enjeksiyon işlemi kontrolsüz yapılırsa üst yapıda deformasyonların artmasına neden olabilir. Ayrıca çok yumuşak killerde ekstra boşluk suyu basınçları oluşturur ve bu durum ise uzun vadede oturmalarla yol açar [11].

Uygulama örneği: Diyarbakır Melik Ahmet Camiinde yaklaşık 1 m kalınlığındaki beden duvarları belirli noktalarda yumuşak zemin üzerine oturmaktadır. Duvar temel alt kotu ile bazalt yüzey arasında 4 m'yi bulan kot farkları bulunmaktadır. Arada ise killi, bloklu tuğla parçaları içeren değişken kalınlıkta tabakalar mevcuttur. Bu tabakalardaki ince malzemelerin su hareketleri ile yıkanması sonucunda oturmalar

oluşturmuştur. Çatlakların, yapımı 400 yılı aşan yapıda artmaya devam etmesi, temel zemini erozyonunun sürdüğüne işaret etmektedir. Bu nedenle eksilen malzemenin hızla doldurulması gerekmektedir. Kullanılacak uygun yöntem ve teknoloji ile oturan temellerin, oturma yönünün tersine, yukarı doğru hareketi sağlanarak, başka ek bir deformasyon gereği olmadan yük taşıyabilmelerinin garanti edilmesi gerekir. Bunun dışında seçilen yöntemin tarihi dokuya zarar vermeden, hızlı ve kolay uygulanabilir olması gerekir. Bütün bu hususlar göz önünde bulundurularak, yapı temel zeminlerinin yüksek genleşmeli kimyasal enjeksiyon yöntemi ile güçlendirilmesi uygun görülmüştür. Bu yöntem ile tüm iç ve dış duvarların tabanındaki zeminler hem boşlukları doldurma hem de kompaksiyon yoluyla sağlamlaştırılmış olmaktadır [60].



Resim 4.44. Diyarbakır Melik Ahmet Camii kimyasal enjeksiyon işlemi, 2008 [25]



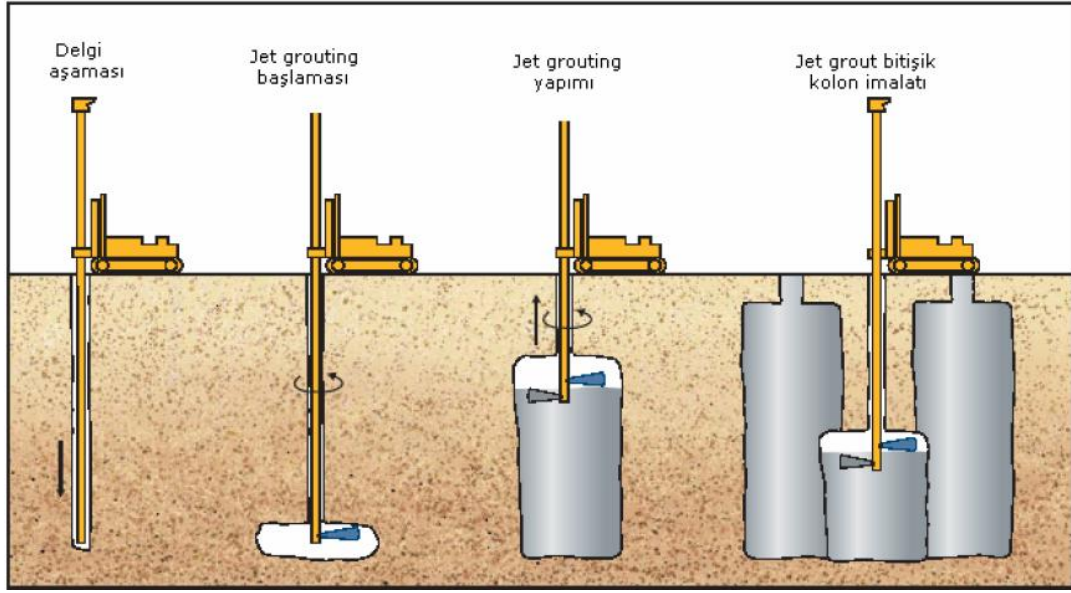
Resim 4.45. Diyarbakır Melik Ahmet Camii kimyasal enjeksiyon işlemi, 2008 [25]

Hazırlanan enjeksiyon planına göre 4 kademedede toplam 4 m derinliğe kadar temel zeminlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan plana göre tüm duvarların altında 1 m aralıklarla 830 adet delik delinerek enjeksiyon yapıp zeminin sağlamlaştırılması amaçlanmıştır. İlk etapta deliklerin delinmesi işlemi yapılmış olup bu delgi çalışmaları sırasında sağlam zemin (bazalt) tabakalarının derinliklerinin tespit edilmesi ile enjeksiyon planında değişiklikler yapılmıştır. Daha etkili ve verimli bir enjeksiyon yapılması için daha çok oturan ve kaya zemin tabakasının daha derinde olduğu bölgelerde enjeksiyon yoğunlaştırılmıştır. Yeniden düzenlenen enjeksiyon planına göre 858 delikten enjeksiyon gerçekleştirilmiştir. Kaldırma işleminin amacı oturan duvarları eski yerine getirmek değil, alttaki sağlam zeminin yeterince sıkışması ve sağlamlaşmasını sağlamaktır. Kaldırma işlemi özel lazerli hassas aletler ile tespit edilmiş, 1 mm kaldırmadan sonra enjeksiyon kesilmiştir [29].

b) Jet grouting:

Zemin iyileştirmesi, zeminin taşıma gücünü ve elastisite modülünü artırırken aynı zamanda geçirgenliğini azaltarak zeminin mekanik özelliklerini değiştirir ve geliştirir. Bu sonuçlara ulaşmak için en başarılı yöntemlerden birisi jet-grouting yöntemidir [61].

Uygulama: Jet grouting, küçük çaplı nozul ile çok yüksek basınçla zemine enjekte edilen stabilite malzemenin (genellikle çimento-su karışımı) doğal zemin ile karıştırılmasıdır. Stabilite malzeme küçük çaplı nozul ile çok yüksek basınçlarda püskürtülür. Bu yöntemde, enjeksiyon nozullarından çok yüksek basınçla püskürtülen malzeme ile zeminin doğal matrisi bozulmakta ve stabilite malzemenin yerindeki zeminle karışması sağlanmaktadır. Sonuçta, homojen ve sürekli yapıya sahip ve temel karakteristikleri önceden belirlenebilen bir yapı elde edilmektedir [11].



Şekil 4.42. Jet grouting süreci [11]

Jet grouting yöntemi, kohezyonsuz az daneli zeminlerde de kohezyonlu plastik kil zeminlerde de uygulanabilir. Jet grouting yönteminde zemin su-çimento karışımı ile karıştırıldığı için zeminin temel özellikleri değiştirilebilmektedir [61].

Bu yöntem özellikle mevcut yapıların oturmalarını azaltmak için kullanılmakta olup, tıkaç betonları, açık kanallar ve barajlarda farklı amaçlı uygulamaları yapılabilmektedir. Jet grouting ayrıca yeni yapılar, dolgular ve istinat duvarları için yumuşak zeminin iyileştirilmesinde de kullanılabilmektedir. Bunun dışında açık kazılarda destek ve şev stabilizasyonunda kullanılabilmektedir [11].

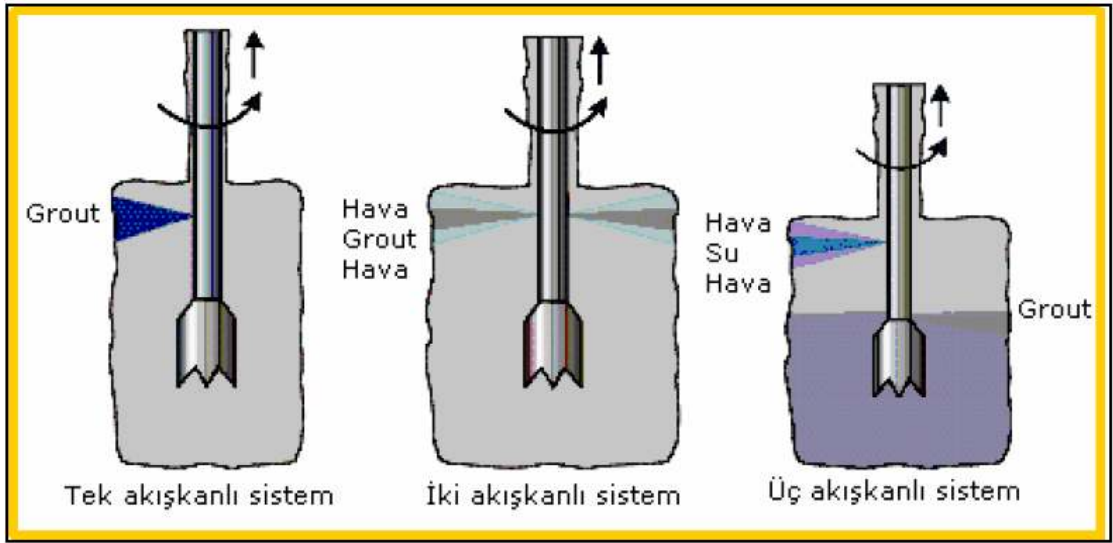
Temel jet grouting sistemleri şu şekildedir:

Tek akışkanlı sistem: Çimento enjeksiyonu kullanılarak zeminin aşındırılıp ayrıştırılması ve zemin ile enjeksiyonun karıştırılması işlevini yerine getirmek için yüksek enerjili tek akışkanlı su jetinin kullanılması esasına dayanır.

Çift akışkanlı (hava) sistem: Zeminin ayrıştırılması ve çimento haline gelmesi genellikle çimento hamuru olan bir akışkan ve ikinci bir akışkan olarak düşünülen hava jeti ile gerçekleştirilir.

Çift akışkanlı (su) sistem: Zeminin ayrıştırılması ve çimento ile karıştırılması işlemi yüksek enerjili su jeti ile gerçekleştirilir.

Üç akışkanlı sistem: Zeminin ayrıştırılması hava jeti ile desteklenmiş yüksek enerjili su jeti ile gerçekleştirildiği ve çimento-zemin karışımının eş zamanlı olarak ayrı bir enjeksiyon jeti tarafından sağlandığı bir sistemdir [11].



Şekil 4.43. Temel jet grouting sistemleri [11]

Jet grout ekipmanı aşağıdaki gibidir:

- Delgi makinesi
- Pompa ünitesi
- Mikser ünitesi
- Çimento silosu
- Su tankı
- Diğer ekipmanlar: Kompresör, kaynak makinesi ve jeneratör [43]

Avantaj-Dezavantaj: Bu yöntem; can güvenliği sağlayan ve çevre kirliliğine yol açmayan ve temel takviyesi sırasında yapının deformasyonu çok az olduğu veya hiç olmadığı için tercih edilen bir yöntemdir [39]. Ayrıca; kohezyonsuz zeminlerden kohezyonlu plastik killere kadar bir çok zemin tipinde uygulanabilir. İstenen uzunluk

ve çapta (5 m'ye kadar) kolonlar imal edilebilmesi sayesinde uygulama maliyeti ve suresinde ciddi tasarruflar sağlanabilmektedir [53].

Uzman ekip ve teçhizat gerektirdiği için pahalı bir yöntem olmasına rağmen teknolojinin ilerlemesi maliyeti kısmen düşürmüştür [53].

4.2.3. Temel yüklerinin daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılması

Eğer temelin oturmalarla karşı takviyesi gerekiyorsa temel yüklerinin oturmalarla etkilenmeyecek kadar sağlam derinlikteki bir zemine aktarılmalıdır [31].

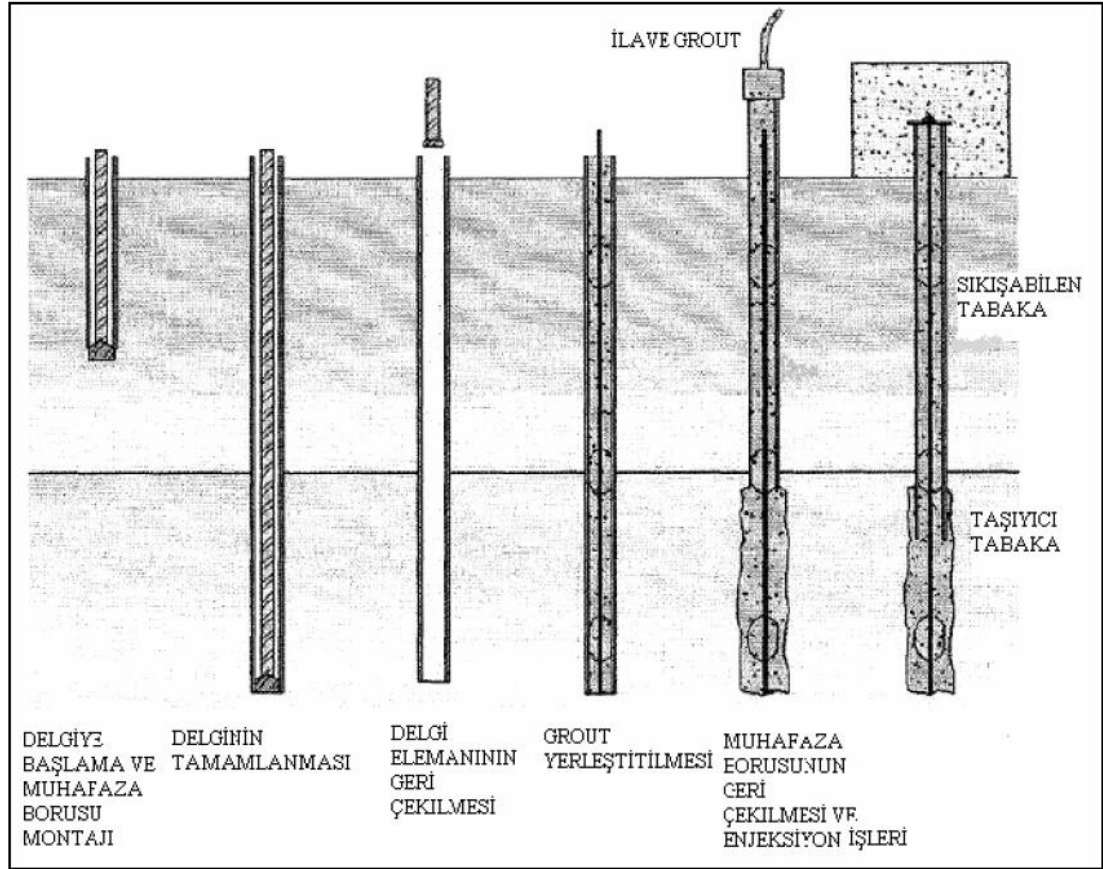
Kazıklı sistemler, yapı yüklerinin daha derin katmanlara aktarılması gerektiği durumlarda uygundur.

Altta destekleme ve takviye kazıkları olarak da isimlendirilen bu yöntemlere bütün kazık ve benzeri elemanları toplayabiliriz [31].

a) Mini kazıklar: Mini kazılar küçük çaplı kazıklar olup kazık gereksinimi olan ve tasarım yükleri 3 tondan 500 tona kadar her türlü zeminde kullanılabilir [11].

Mini kazıklar yük taşıma kapasitesini arttıracak ve oturmaları azaltarak ve mevcut yapıları güçlendirerek birçok zemin iyileştirme uygulamalarında etkili olmaktadır.

Uygulama metodu: Mini kazıklar hem oturma hem de zemin kabarması nedeniyle hasar görmüş yapılarla hem temel takviyesi hem de oturmaların durdurulması amacıyla kullanılmaktadır. şekil 4.44.'de mini kazıkların yapım aşamaları görülmektedir.

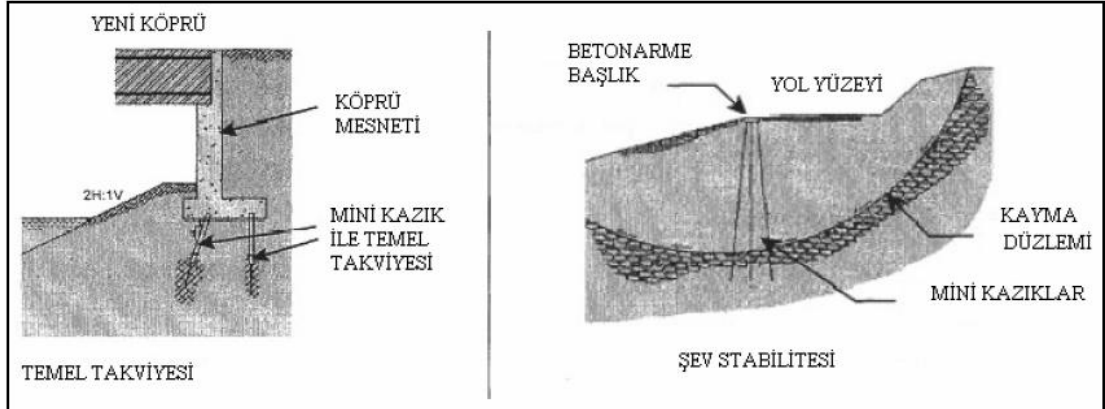


Şekil 4.44. Mini kazık yapım aşamaları [11]

Mini kazıklar tasarım uygulamalarına ve enjeksiyon yöntemlerine göre sınıflandırılırlar. Yük etkisinde çalışma prensibine göre önemli olan fonksiyonun tanımlanmasıdır. Enjeksiyon yöntemine göre ise enjeksiyon ve enjeksiyonun bağlama kapasitesi önemlidir.

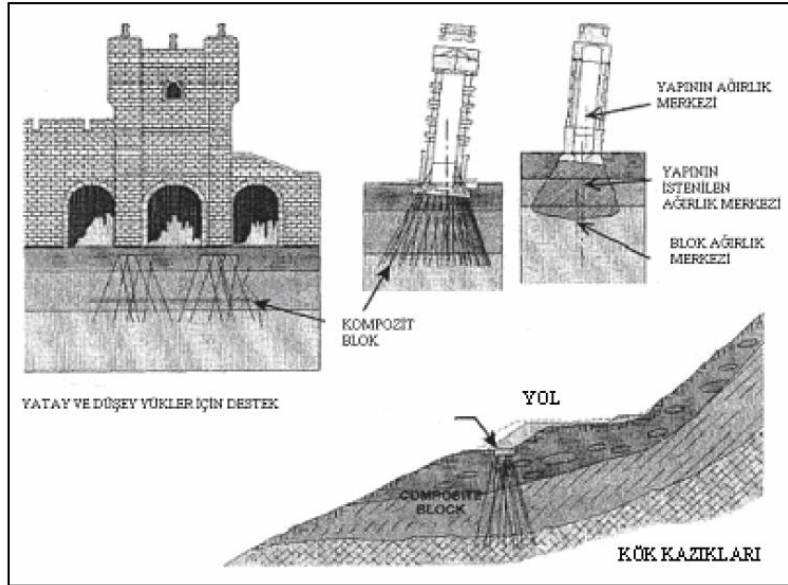
Yük etkisinde çalışma prensibine mini kazıklar Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Tip 1: Genelde bu tipte yükü daha kararlı veya sağlam bir tabakaya aktaracak şekilde tasarlanırlar. Özellikle şevin kayması muhtemel en kritik kayma yüzeyinde kazık kayma yüzeyinde kazık- zemin teması söz konusu olmaktadır. Eksenel yüklenmiş kazıklarda da zemin- kazık teması söz konusu olmaktadır. Her iki durumda da kazık doğrudan yükü karşılamaktadır [11].



Şekil 4.45. Tip 1 mini kazık uygulaması [11]

Tip 2: “Kök kazıkları” olarak da bilinen bu sistemde ağacın köklerine benzeyen üç boyutlu bir kazık ağı örgüsü zeminde kilitlenme sayesinde stabilizasyon sağlamaktadır. Bu uygulama ile yanal olarak sınırlandırılmış bir zemin-kazık kompozit malzeme oluşturularak takviye ıslah ve zemin dayanımı sağlanmaktadır.



Şekil 4.46. Tip 2 mini kazık uygulamaları [11]

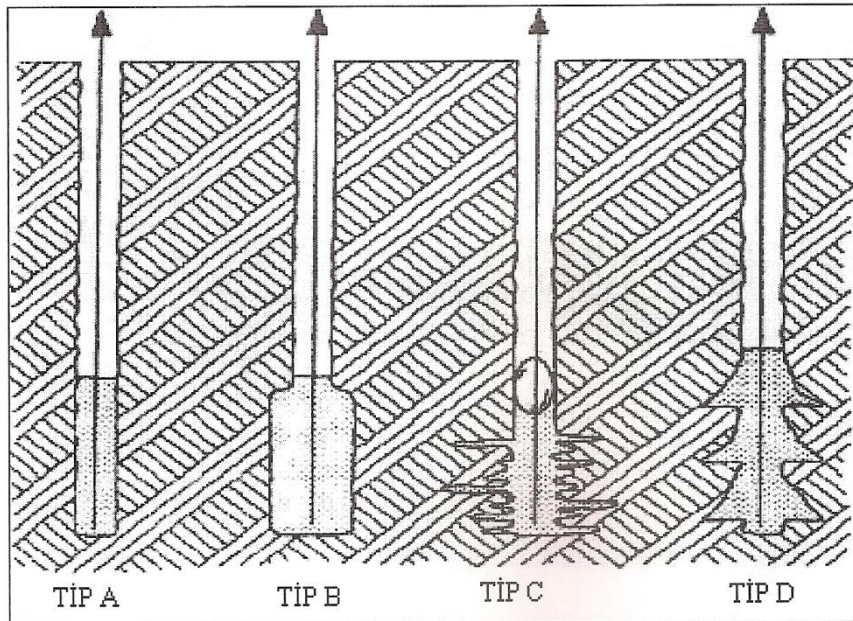
Enjeksiyon yöntemine göre dört tip (Tip A, Tip B, Tip C, Tip D) mini kazık imalatı yapılabilmektedir.

Tip A: Genelde pek kullanılmayan bu kazı tipinde açılan kazı çukuruna tremi yöntemi ile harç dökülür.

Tip B: Katkısız çimento harcı, delgi kaplama borusu geri çekilirken enjekte edilir. Geri çekme işlemi sırasında kaplama borusu etrafının doldurulması ve sızdırmazlık sağlanması sonucu mini kazık elde edilir.

Tip C: Tip A'daki gibi imal edilen kazığa harç donmadan 15-20 dakika içinde en az 1 Mpa basınçla aynı nitelikte bir harç enjekte edilerek, yukarıdaki tıkaç sayesinde aşağı kısım önceden yerleştirilmiş delikli kaplama borusundan kazık imal edilmiş olur.

Tip D: Tip C'dekine benzer şekilde, Tip A'daki gibi bir harç döküldükten sonra, ilk harcın donmasından sonra belirli bir bölgeye nüfuz edecek şekilde tube a manchette kullanılarak 2-8 Mpa basınçla harç basılır ve istenen tabaka şeklinde yerleştirilmiş tıkaç sayesinde, harcın hedeflenen tabakaya, dış oluşturacak şekilde yayılması temin edilir.



Şekil 4.47. Enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırma [11]

Avantaj- Dezavantaj: Örselenmeye hassas yapı ve zemin koşullarında ve değişen zemin şartlarında tarihi yapıların temel takviyelerinde kullanılabilmektedir. Çalışma hacim ve alanının sınırlı olduğu yerlerde, hızlı, ekonomik ve güvenli çözümler sunmaktadır. Küçük çaplı olduklarından her türlü zemin koşullarında rahatlıkla kullanılabilmektedirler.

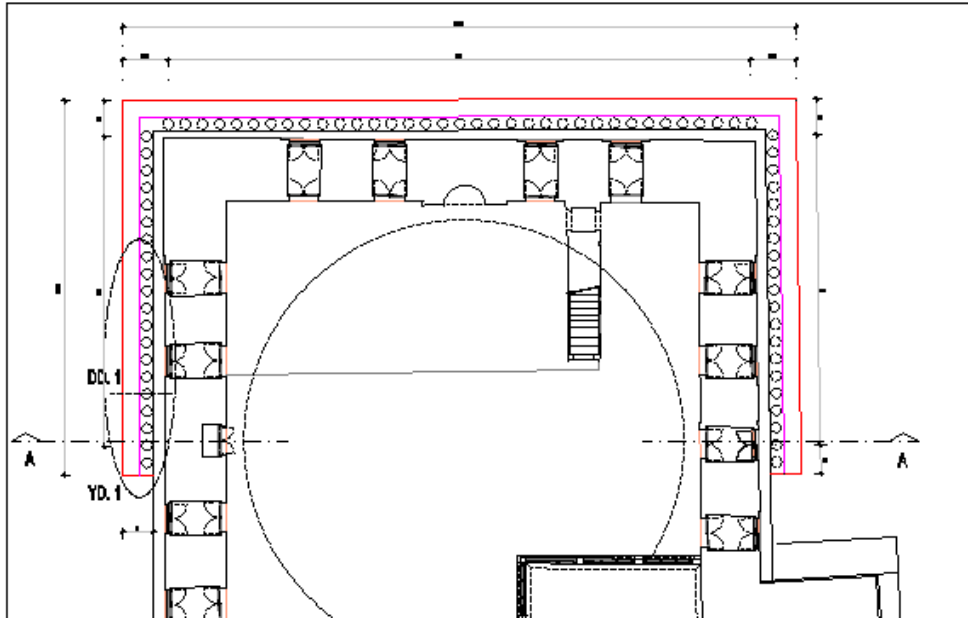
Uygulama örneği 1: Kırıkkale İli, Sulakyurt İlçesi Yeşilyazı Köyü Camiinde oluşan çatlakların nedenlerinin araştırılması amacıyla yapılan sondaj çalışmalarında; çatlakların heyelan hareketine bağlı olarak oluşmuş oldukları gözlemlenmiştir. Bunun neticesinde “Ø80 cm Fore Kazıklı Perde” heyelan önleme sistemi projelendirilmiştir.



Resim 4.46. Kırıkkale Yeşilyazı Camii fore kazık uygulamaları, 2007 [5]

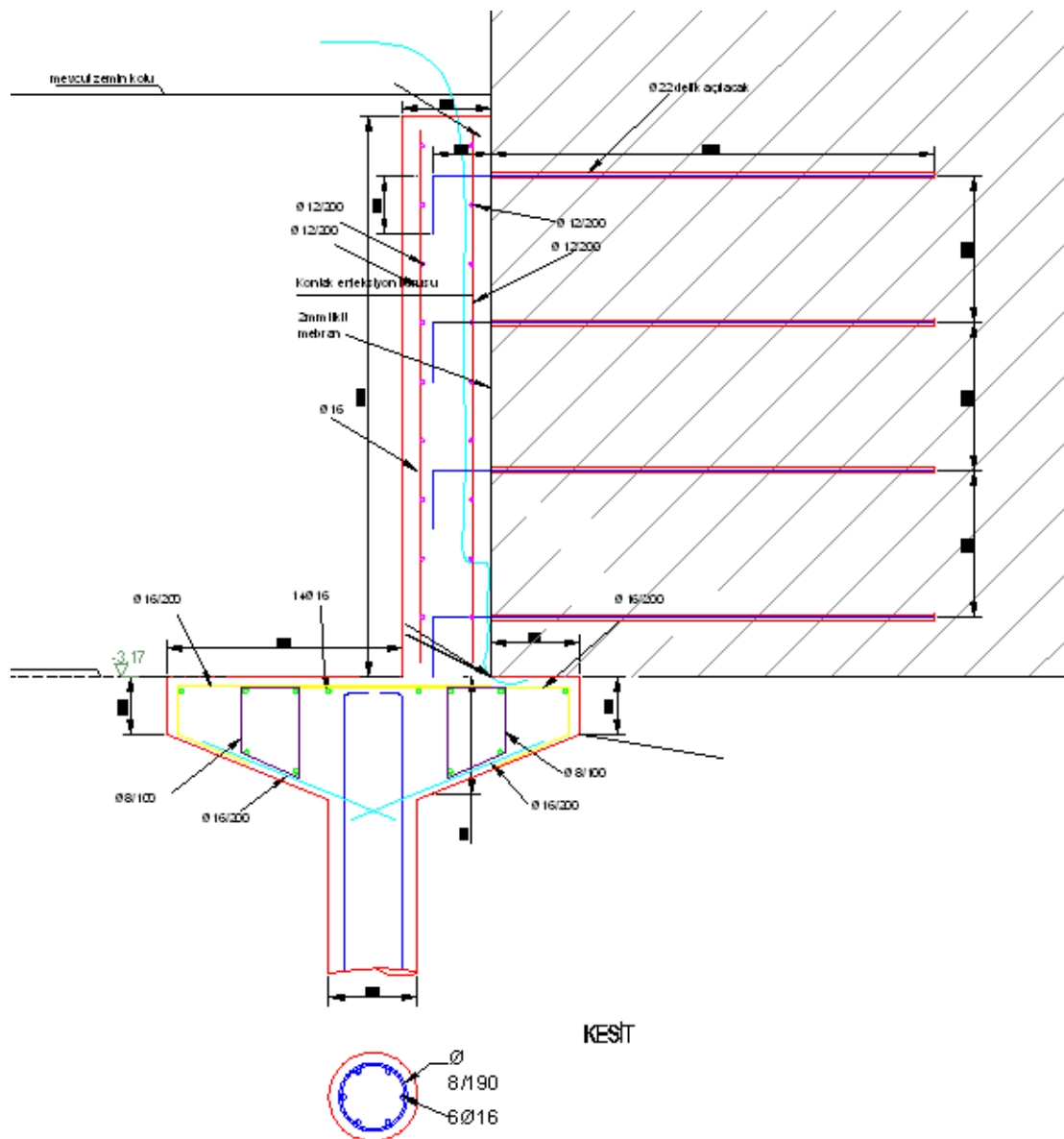
Uygulama örneği 2: Cenab-ı Ahmet Paşa Camii için hazırlanan Mart 2008 tarihli “Cenab-ı Ahmet Paşa Camii Temel Zeminleri Geoteknik Değerlendirme Raporu”na göre; ister kilin şişme ve büzülme davranışı isterse de şev yorulması sebebi olsun temel altı zeminlerindeki farklı deplasmanlarca tetiklendiği düşünülen üst yapı elemanlarında gözlemlenen çatlakların önlenmesine yönelik olarak uygulanabilecek iyileştirme yöntemlerinin somut çözüm önerisi olarak temel pabuçlarının hemen dibinden imal edilecek mini kazıklar ile temel yüklerinin andezit tabakaya aktarılması ve bu iyileştirme yöntemine ek olarak temel çeperi boyunca temel altı kotuna kadar uzanan uygun bir drenaj sisteminin teşkilinin gerektiği düşünülmüştür [14].

Proje hazırlama aşamasında, öncelikle; 30 cm çapında 50 cm aks aralığında doğu, güney ve batı duvarları boyunca olacak şekilde mini kazık projesi hazırlanmıştır. Cami yüklerinin mini kazıklara başlık kirişleri aracılığı ile aktarılmasının; başlık kirişlerinin temel altına yeteri kadar girememesinden dolayı yeterli olmayacağı endişesiyle mevcut projede değişikliğe gidilerek paslanmaz çelik ankrajlar ve betonarme perdeyi kapsayan yeni bir çözüm düşünülmüştür.



Şekil 4.48. Cenabı Ahmet Paşa Camii mini kazık projesi [5]

Temel kısmına belli aralıklarla ankre edilmiş paslanmaz çelik çubuklar vasıtasıyla perde betonuna aktarılan yükün başlık kirişi vasıtasıyla mini kazıklara transferi sağlanmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Bu çözümde Makedonya Üsküp'te Koca Mustafa Paşa Camiinde Predrag Gabrilovic tarafından hazırlanan proje doğrultusunda yapılan temel güçlendirme çalışmasının yerinde incelenmesi sonrasında, her iki caminin gerek taşıyıcı sistem benzerlikleri gerekse temel problemleri arasındaki benzerlikler göz önüne alınarak benzer bir projenin Cenab-ı Ahmet Paşa Camiinde uygulanabileceği kanaatine varılmıştır.



Şekil 4.49. Temeldeki ankraj, başlık kirişi ve mini kazık detayı [5]

Proje aşamasında çatlağın temele uzandığı kısımda gözlem çukuru açılmış olmasına rağmen, camii cephelerinde uygulanacak mini kazıkların hangi kota kadar boş foraj (sadece kazı yapıp herhangi bir betonarme imalatı olmayan kazık) olacağının ve temel derinliğinin uniform olup olmadığının tespiti için güney doğu, güney batı ve kuzey batı köşe noktalarında 3 adet yeni gözlem çukuru açıldı ve temel derinliği tespit edildi.



Resim 4.47. Açılan gözlem çukuru, 2009 [5]

Daha sonra mini kazık uygulaması kapsamında camii çevresindeki asfalt tabakaları kaldırıldı ve mini kazık uygulamasının yapılacağı noktalar işaretlenerek delme işlemine başlandı. Yapılan delme işleminde zeminin yapısına ilişkin hazırlanan sondaj sonuç grafiklerine genelde uygun derinliklerde andezit tabakasıyla karşılaşıldı, sağlam zeminin daha derinlerde olduğu durumlarda sağlam zemine ulaşıncaya kadar delme işlemine devam edildi.



Resim 4.48. Kazı yapılan makine, 2009 [5]



Resim 4.49. Delme işlemi yapılan kazık yeri, 2009 [5]

Kazıkların donatı ve beton imalatları yapılarak mini kazık imalatı tamamlanmıştır. Camiinin yükünün kazıklara sağlıklı bir şekilde aktarılabilmesi için delme işleminin,

delme makinesinin camiye yaklaşılabildiği en yakın noktada yapılmasına dikkat edilmiştir.



Resim 4.50. Mini kazık donatısının yerleştirilişi, 2009 [5]



Resim 4.51. Mini kazık beton imalatı, 2009 [5]

Projesine uygun başlık kirişi imalatı yapılabilmesi için gerekli kota kadar kazı çalışmalarına başlandı. Başlık kirişinin temel altına kadar uzanarak temel yükünü alması için yatayda temel altı kotunda 20-30 cm kontrollü kazı yapılmıştır.

Yapılan alışmalar sırasında mini kazık yapılan alanlar boyunca caminin temelinin altında ahşap kazıklar tespit edildi. Bu kazıkların caminin ilk inşası sırasında şu anda yapılan mini kazık imalatıyla amaçlanan işleve hizmet etmek için yapıldığı düşünülmektedir. Ancak bu kazıkların tamamına yakınının rrdėđ ve işlev göremez durumda olduğu tespit edilmiştir. Bu ahşap kazıklar tek sıra ortalama 70-80 cm yüksekliğinde, 30-40 cm aks aralığında yerleştirilmiştir. Kazı alışmaları ahşap kazıklarla karşılaşıldığı noktada bırakıldı.



Resim 4.52. Kazı sırasında ortaya çıkan ahşap kazıklar ve yeni imalatı yapılan mini kazıklar, 2010 [5]



Resim 4.53. Kazı alışmaları, 2010 [5]

Sonraki aşamada başlık kirişinin kalıp ve donatısı hazırlandı, perde duvarının filizleri bırakılarak başlık kirişinin betonu atıldı.



Resim 4.54. Başlık kirişi kalıp ve donatı ve beton imalatı, 2010 [5]

Daha sonra ilk olarak cami temel kısmında yapılacak kimyasal enjeksiyon işlemine geçildi. Çatlakların ve boşlukların doldurularak temel mukavemetinin artırılması amacıyla cami temel duvarlarında açılan enjeksiyon deliklerine yerleştirilen pnömatik hortumlar aracılığıyla kontrollü basınç altında poliüretan ve silikat esaslı enjeksiyon reçine harcı enjekte edildi. Zemin enjeksiyonu ile eş zamanlı olarak ankraj çalışmalarına başlandı. Bu çalışmalarda öncelikle projesinde belirtildiği gibi düşeyde üç sıra yaklaşık 50 cm aralıklarla 267 adet olmak üzere ankraj delikleri açıldı. Deliklerin son noktalarına kadar girebilen hava tabancası ucu ile tazyikli hava tutularak içeride bulunan serbest parçacıkların ve tozların dışarı atılması sağlandı. Plastik hortum vasıtasıyla açılan deliklerin en dip noktasından dışa doğru çift kompenantlı epoksi harcı basıldıktan sonra paslanmaz çelik ankraj çubukları deliklere yerleştirildi, yeteri kadar epoksi basılmasına dikkat edildi (delik çapı 22 mm, ankraj çubukları 16 mm olduğu dikkate alınarak her bir delik için epoksi miktarı tespit edildi)



Resim 4.55. Açılan enjeksiyon delikleri ve hortumlar ve enjeksiyonun basıldığı makine, 2010 [5]



Resim 4.56. Ankraj imalatı, 2010 [5]

Yapılacak perde duvar imalatında kullanılacak çimentonun, caminin temel ve beden duvarları ile temas etmemesi için caminin temelinde horosan sıva ve likit membran uygulaması yapıldı.



Resim 4.57. Temelde horosan sıva ve likit membran uygulaması, 2010 [5]

Daha sonra perde duvarın kalıp ve donatı imalatlarını müteakip beton dökülerek perde duvar imalatı tamamlanmıştır.

Çevre suyunun betonarme ve temel kısmına zarar vermemesi ve tamamen irtibatını kesmek için perde beton üzerine plastomer esaslı 3 mm. camtülü taşıyıcılı polimer bitümlü örtü ile 2 kat su yalıtımı yapılmış, su yalıtımını korumak için de fondaline malzeme kullanılmıştır.

Daha sonra cami temelini hemen altında başlık kirişi kotunda drenaj çalışması yapılarak cami temeli kapatılmıştır.



Resim 4.58. Drenaj çalışmaları, 2010 [5]

Özetleyecek olursak yapılan uygulamada; enjeksiyon ile sağlamlaştırılan temelin yüklerinin ankrajlar vasıtasıyla perde duvara, perde duvardan başlık kirişlerine, başlık kirişlerinden mini kazıklara, mini kazıklardan da sağlam zemine aktarılması sağlanmıştır.

b) İtme Kazıklar: İlke olarak kısa parçalar halinde bir kriko vasıtasıyla, 20-60 cm. ve 0.50-1.50m parçalar halinde zemine itilerek sokulur. Kuvvet doğrudan itme (burgulu) kazığın ucunda olduğu için zemine doğrudan inebilmektedir. Zeminde

boşluk oranını azaltır. İtme kazık zemine soktuktan sonra ucu mevcut taşıma kapasitesinin belirlenebilmesi bu yöntemi diğer yöntemlere göre daha güvenilir kılmaktadır [42].

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Geleneksel yığma yapılarda onarım ve güçlendirme uygulamalarına başlamadan önce ilk olarak yapı ve çevresi ile ilgili gerekli inceleme ve araştırmaların yapılması gerekir. Yapının rölöve çizimleri hazırlanmalı, taşıyıcı sistemi irdelenmeli, bozulma ve deformasyonlar çizim paftaları üzerine aktarılmalıdır. Bu bozulma ve deformasyonların nedenlerinin tespiti yapılmalıdır. Eğer yapıda strüktürel bozulmalar (çatlak, ezilme vb.) tespit edilmiş ise mutlaka gözlem çukurları açılmalı, sondajlar yapılmalı, mevcut temel ve temel derinliğinin durumu, yer altı suyu durumu belirlenmelidir. Açılan araştırma çukurları ve sondajlarda hem arazi deneyleri yapılmalı hem de alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmalıdır.

Zemin ile ilgili yerinde yapılan arazi deneylerinden standart penetrasyon deneyi her zeminde 1,5-2,0 m aralıklarla uygulanmaktadır. Bunun dışında kalan koni penetrasyon deneyi, vane deneyi, pressiometre deneyi ve plaka yükleme deneyleri ise gerek duyulmadığı için her zaman uygulanmamaktadır.

Zemin ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler; atterberg limitleri, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi, kompaksiyon deneyi, üç eksenli basınç deneyi, serbest basınç deneyi, permeabilite deneyi ve konsolidasyon deneyidir. Bu deneylerin hepsinde zemin ile ilgili farklı bilgiler elde edilmekte olup standart tanımlama deneyleri olarak bilinen atterberg limitleri, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi vb. her durumda zeminin genel özelliklerini tanımlamak için yapılmasına rağmen diğer deneyler gerek duyulmadığı için her zaman uygulanmamaktadır.

Zemin araştırması yapılan herhangi bir proje için gerçekleştirilmesi gereken saha etüt teknikleri, numune alma gereksinimleri, saha ve laboratuvar deneylerinin türü ve sayısı; mevcut yer altı verileri, jeolojik koşullar, proje gereksinimleri (yapı ve yapıların boyutları ve zemine aktardıkları yükler, yapısal düzenleme ve oturma kriterleri, komşu yapıların özellikleri vb.) göz önünde bulundurularak geoteknik mühendisi, jeoloji mühendisi ve maden mühendisleri tarafından belirlenmelidir.

Zemin ile ilgili yapılan çalışmalar dışında yapıdaki hareketlerin devam edip etmediğinin de tespiti yapılmalıdır. Yapıyı oluşturan elemanların ve malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için de yerinde ve laboratuvar ortamında araştırmalar yapılması gerekir.

Yapı ile yerinde yapılan deneyler; yerinde basınç deneyi, yerinde kayma testi, georadar testi, ultrasonik testler, sertlik ölçer, endoskopi testi, infrared tomografi yöntemi, gevşeme deneyleri, monitoring, çekme testleri ve duvar harçlarının performansı testidir. Bu testlerin tamamında yapıya ait farklı bilgiler elde edilmesine rağmen bu testler çoğu kez teknik donanım ve teçhizatın bulunmaması nedeniyle uygulanmamaktadır.

Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler ise fiziksel testler, spot tuz testleri, kondaktometrik analiz, asidik agrega ve bağlayıcı analizi, granülometrik analiz, optik mikroskop ve elektron mikroskobu analizi, Eds, X-ray diffraction, X ışını floresan analizi, tek eksenli basınç deneyidir. Son dönemlerde yapılan çalışmalarda bu deneylerin tamamına yakını uygulanmaktadır.

Yapı ile ilgili yerinde ve laboratuvar ortamında yapılan bu deneyler, edinmek istediğimiz bilgilere ve yapının sorunlarına göre mimar, mühendis, arkeolog, sanat tarihçisi, malzeme bilimcisi, kimyager vb. uzmanların ortak çalışması ile belirlenmelidir.

Bu araştırma ve analizler yapılarak yapıdaki sorunlar daha sağlıklı olarak belirlenebilmekte ve çözüm önerileri de bu doğrultuda getirilmektedir. Yapılan malzeme analizleri doğrultusunda onarımlarda kullanılacak harç ve sıvaların içeriğinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Ama pek çok kez bu araştırma ve analizler yapılmadan verilen müdahale kararları doğrultusunda yapılan onarım ve güçlendirmeler ile geri dönüşü olmayan hatalar yapılmakta ve yapıya zarar verilmektedir. Son dönemlerde korumacılık alanında oluşan bilinçlenme ile bu deney ve analizlerin önemi giderek daha iyi anlaşılabilmiş ve elde edilen bilgilerin daha iyi

yorumlanması ile restorasyon uygulamalarında bu bilgilerden yararlanılması mümkün olmuştur.

Yapı ve çevresinde yapılan inceleme ve araştırmalar neticesinde, yapıya yapılacak müdahaleleri içeren restorasyon ve güçlendirme projeleri hazırlanmalıdır. Bu projelerde yapının özgünlüğünü koruyacak şekilde minimum düzeyde müdahaleler tercih edilmelidir.

Bu tez çalışmasının son bölümünde, günümüzde uygulanan sağlamlaştırma ve güçlendirme yöntemleri uygulama örnekleriyle beraber ele alınmış ve bunların olumlu ve olumsuz yönleri ortaya konmuştur.

Geleneksel yığma yapılarda görülen hasar türleri ve bu hasarlara bağlı olarak kullanılabilecek olası güçlendirme yöntemleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Çizelge 5.1. Geleneksel yığma yapılarda sorunlar, nedenleri ve olası güçlendirme yöntemleri

Yer/ Strüktürel Eleman	Hasar/Problem	Olası Nedenler	Olası Güçlendirme Yöntemi
Derz yerleri	- Harç bozulması - Kumlaşma - Adezyon (bağlayıcılık) kaybolması	- Çevresel etkenler - Biyolojik etkenler	- Yeniden derzleme/donatılı derzleme
Duvar kesiti	- Dolgunun gevşemesi - Şişme - Kabarma, pul pul dökülme - Ezilme	- Dolgu malzemesinin bozulması - Aşırı yükleme - Merkezi olmayan yükleme - Farklı oturma	- Enjeksiyon - Öngerme - Derzleme - Gergi uygulaması - Çemberleme

Çizelge 5.1. (Devam) Sorunlar, nedenleri ve olası güçlendirme yöntemleri

Duvar yüzeyi	- Çatlaklar - Ezilme - Yer değiştirme - Oturma - Eğilme	- Yük transfer mekanizmasında değişim - Farklı oturma - Çevresel etkenler - Devrilme	- Enjeksiyon - Gergi uygulaması - Öngerme - Ankraj- sabitleme - Destekleme- payandalama - Çemberleme - Dıştan güçlendirme - Kesit genişletme - Dikiş - Kısmi değiştirme
Kolonlar	- Çatlaklar - Yer değiştirme - Ezilme - Devrilme	- Aşırı yükleme - Yük transfer mekanizmasında değişim - Farklı oturma - Çevresel etkenler	- Çemberleme - Dıştan güçlendirme - Kısmi değiştirme - Kesit genişletme - Gergi uygulaması - Öngerme
Kemer, tonoz ve kubbeler	- Çatlaklar - Deformasyon - Mesnetlerin açılması - Kilit taşının kayması	- Yetersiz yanıl destek - Aşırı yükleme - Farklı oturma - Çevresel etkenler	- Gergi uygulaması - Dıştan güçlendirme - Öngerme - Kesit genişletme - Çemberleme - Destekleme
Temeller	- Çatlaklar - Ezilme - Devrilme	- Farklı oturma - Su seviyesindeki değişiklik - Oturmadan dolayı merkezi olmayan yükleme - Arazi koşullarında değişiklik (yeni bina yapımı vb.)	- Kesit genişletme - Mini kazıklar - Dıştan güçlendirme - Değiştirme - Zeminin iyileştirilmesi
Kuleler, Saat kulesi, minareler	- Çatlaklar - Ezilme - Eğilme - Deformasyon	- Aşırı yükleme - Farklı oturma - Dolgu malzemesindeki bozulma - Yaşlanma	- Grout enjeksiyonu - Çemberleme - Ankrajlama - Gergi uygulaması

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi bir sorun karşısında uygulanabilecek olan farklı güçlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Onarım ya da güçlendirme için bir çözüm seçileceği zaman sadece strüktürel etkilik ve maliyet değil, ayrıca kullanılan teknik

ve malzemenin anıtın yapımındaki teknik ve malzemelere de uygun olması ve orijinal tasarım ile tarihi değerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bunun yanında dayanıklılık ve önceki duruma dönebilme (reversibility) özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Restorasyon felsefesinin altında yatan en önemli ölçüt önceki duruma dönebilme özelliğidir, diğer anlatımla yapılan müdahalenin yapıya zarar vermeden kaldırılabilmesi veya bir yenisiyle değiştirilebilmesidir. Geri dönüşümünün anıta zarar vermeden mümkün olmadığı malzeme ve tekniklerin onarımlarda kullanılmasından kaçınılması gerekir. Enjeksiyon uygulamaları, derzleme, dikiş, kesit genişletme, sabitleme, temel sağlamlaştırılması uygulamaları geri dönüşümsüz veya geri dönüşümü çok zor olan uygulamalardır.

Özellikle temelin sağlamlaştırılmasının gerekli olması durumunda hangi yöntemin uygulanacağına karar vermeden önce; deneme çukurları açılmalı, araştırma sondajları ve alınan numuneler üzerinde gerekli olan deneyler yapılmalıdır. Bu uygulamalardan geleneksel yöntemde zeminde oluşturulacak beton kütlelerinin yapıda kabul edilemeyecek oturmalara neden olabileceği unutulmamalıdır. Jet grout yönteminin genellikle her türlü zemine uygulanabilmesi, büyük rijitlik sağlaması, yük taşıma elemanının taşıma gücünü artırması, su geçirimsizliği sağlaması gibi avantajlarının yanında yüksek çimento tüketilmesi ve uygulamanın kontrolündeki zorlukları unutulmamalıdır. Mini kazıklar ise özellikle tarihi yapıların temel takviyesinin yapılabilmesi için geliştirilmiş bir teknik olup daha az miktarda çimento kullanımı, daha kolay takip edilmesi gibi avantajları vardır.

Geleneksel yöntemler, enjeksiyon ve jet grout ve kazık uygulamalarında çimento harçlı imalatların yapılması kaçınılmazdır. Bu tür durumlarda çimentoyu ana yapıdan ayıracak horasan sıva, membran uygulamaları vb. önlemlerin mutlaka alınması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında anlatılan yöntemlerden destekleme-payandalama, bağlantı çubukları-gergi uygulaması, çemberleme-sıkıştırma, çelik levhalarla kuşaklama

yöntemleri görünüşte bir değişiklik yaratmaları nedeniyle çağdaş uygulamalarda pek fazla tercih edilmemektedir.

Yeni geliştirilen malzemelerin, uzun vadedeki davranışları bilinmeden hemen uygulamaya girmesi sıkıntı yaratabilmektedir. Son zamanlarda yapılan uygulamalarda sık sık epoksi enjeksiyonları ve FRP kullanımları gündeme gelmekte ve pek çok uygulamada karşımıza çıkmaktadır. Bu malzemeler ile yapılan uygulamalar şu ân için başarılı görünse de önümüzdeki yıllarda ne tür sonuçlar yaratacağı bilinmemektedir. Bu nedenle bu malzemelerin kullanımına karar vermeden önce konunun ve malzemelerin çok iyi irdelenmesi ve öyle karar verilmesi gerekmektedir. Eğer uygun şekilde kullanılırlarsa, modern teknikler ortak mirasımızı etkili şekilde korumamıza yardımcı olacak çözümler sunar.

Bu yöntemlerden bir kısmı sismik yalıtım ve su yalıtımı gibi diğer yöntemlerin aksine düzeltici önlemler olarak değil sorun önleyici önlemler olarak uygulanmaktadır.

Restorasyon uygulamalarında başarılı olunabilmesi için disiplinlerarası çalışmalara önem verilmesi gerektiği de unutulmamalıdır. Koruma alanında arkeolog, sanat tarihçisi, mimar, mühendis, malzeme bilimcisi, kimyager vb. uzmanların ortak çalışmaları gerekmektedir.

Restorasyon çalışmalarında en uygun olanı seçmek ayrıntılı çalışma isteyen, özen gerektiren bir iştir. Restorasyon ve güçlendirme sırasında çalışanların kültür varlığı değerlerine saygılı, tarihi eser koruma bilincine sahip, uygun eğitim almış ve tecrübeli elemanlardan oluşması gerekmektedir.

Tarihi bir yapıya müdahale etmeden önce, her yapının kendi içinde değerlendirilmesi gerektiği, her birinin mimari, strüktürel ve malzeme özelliklerinin birbirinden farklı olduğu unutulmamalıdır. Yanlış yapılacak bir müdahalenin yapıyı korumak yerine daha fazla zarar getireceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Restorasyon alanında çalışan ve yapıya yapılacak müdahaleleri tespit edecek kişilerin bu tez kapsamında ortaya konan sistemi takip etmeleri durumunda daha sağlıklı sonuçlar ortaya çıkacağı ve tarihi eserlerimize yapılan müdahalelerin daha doğru olacağına inançla bu çalışma yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında ayrıntılarıyla anlatılan uygulamaların yapıldığı yapıların belli zaman periyotlarında incelemeleri devam ettirilmeli ve yapılan uygulamaların bu yapılara ne tür etkileri olduğu, doğru çözümlerin uygulanıp uygulanmadığının tespiti yapılmalıdır. Ayrıca bu tespitlerin bu alanda çalışan uzmanlarla paylaşılması sağlanmalıdır. Böylece yeni güçlendirme yöntemlerinin daha doğru bir şekilde geliştirilmeleri sağlanabilir.

Bu tez çalışması kapsamında geleneksel yığma yapılarda hasar türleri ve nedenleri, hasar tespit yöntemleri ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi ile onarım ve güçlendirme yöntemleri tarafımdan incelenmiştir. Bu çalışmadan sonra yapılacak yeni çalışmalarda geleneksel yığma yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarının ve özelliklerinin incelenmesi ile bu sistemlerin etkililiğinin araştırılmasında kullanılan bilgisayar programları üzerinde durulmasının uygun ve yararlı olacağı kanaatini taşımaktayız.

KAYNAKLAR

1. Adana Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Arşiv, (1999-2003)
2. Ahunbay, Z., “Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon”, *Yapı-Endüstri Merkezi Yapı Yayın*, İstanbul, (2004)
3. Aköz, F., “Yığma Yapılarda Hasar Tespiti Deney ve Ölçüm Yöntemleri”, *Yığma Yapılarda Değrem Güvenliğinin Araştırılması Çalıştayı, ODTÜ*, (2005)
4. Akyol, A. A., “Ankara, Ayaş Ulu Camii Yapı Malzeme Analizi Raporu”, *Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksek Okulu Restorasyon-Konservasyon Programı Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarı, Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi*, 3-24 (2008)
5. Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Arşiv, (2007-2010)
6. Antalya Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Arşiv, (2007)
7. Aras, F., “Earthquake Protection of Beylerbeyi Palace by Reversible Mixed Technologies”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007)
8. Arslan, F., “Depremden Zarar Görmüş Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006)
9. Art-Yol Mühendislik Mim. San. ve Tic. Ltd. Şti., Arşiv, (2008)
10. Avunduk A., “Hazine-i Evrak’tan Ulusal ve Uluslararası Araştırma, Arşiv, Belgeleme ve Okuma Salonu’na”, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 2:153-170 (2011)
11. Baş, K., “Temel Takviye Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006)
12. Bayülke, N., “Yığma Yapılar”, 2. baskı, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı*, Ankara, (1992)
13. Canbay, E., “Cenab-ı Ahmet Paşa Camii Değerlendirme Raporu”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi*, 2-5 (2008)

14. Canbay, E., Çetin, K., Ö., “Cenab-ı Ahmet Paşa Camii Temel Zeminleri Geoteknik Değerlendirme Raporu”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi*, 2-9 (2008)
15. Cengiz, Ş., Özel Arşivi, Ankara, (2002-2007)
16. Ceylanoğlu, A., Gül, Y., “Plaka Yükleme Deney Düzenekinin Oluşturulması ve Denenmesi Çalışmaları”, *VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas, (2004)
17. Croci, G., “The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage”, *Computational Mechanics Inc.*, UK and Boston, USA, (1998)
18. Çakır, F., Yetimoğlu, T., “Tarihi Yapı Temellerinin Onarımı ve Güçlendirilmesi”, *Tarihi Eserlerin güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2*, Diyarbakır, 269-277 (2009)
19. Çalışan, O., Arkün, M., “Zemin Mekaniği”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Van Şubesi Seminerleri*, Van, (2008)
20. Çamlıbel, N., “Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, (2000)
21. Çamlıbel, N., “Temellerin Takviyesi”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, (2000)
22. Çebi M., Y., “Bir Restorasyon Öyküsü Pertevniyal Valide Sultan Camii”, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 2:65-79 (2010)
23. Çelik, O.,C., “Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi”, *BASF Yapı Kimyasalları A.Ş.*, İstanbul, (2007)
24. Çılı, F., Üstündağ, C., Sesigür, H., “Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Taşıyıcı Sistemde Önerilen Güçlendirme Yönteminin Etkinliğinin İncelenmesi Hakkında Teknik Rapor”, *İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Statik ve Betonarme Birimi, İstanbul Vakıflar Bölge Müdürlüğü*, (2009)
25. Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Arşiv, (2008)
26. Duygun, F., “Dikilitaş Göleti Islah Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2008)
27. Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Arşiv, (2006-2011)
28. Erbulak, A., Bayça, S., U., “Zemin Araştırmalarında Arazi Çalışmaları”, *Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi*, Manisa, 2004-1 (2004)

29. Erdemgil, M., Halifeoğlu, F., M., “Yenilikçi Yöntemlerle Diyarbakır Melik Ahmet Camii Temel Zemini Güçlendirmesi”, **Tarihi Eserlerin güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2**, Diyarbakır, 281-291 (2009)
30. Erken, S., “Türkiye’de Vakıf Abideleri ve Eski Eserler, **V.G.M. Yayınları**, Ankara, 399-404 (1972)
31. Ergun, U., “Temel Takviyesi ve Eski Eserlerin Korunması”, **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği III. Ulusal Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 887-917, (1994)
32. İssi, A., “Tarihi Buluntuların Karakterizasyon Teknikleri”, **Anadolu Üniversitesi**, Eskişehir, (2005)
33. İstanbul Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Arşiv, (2008-2010)
34. Karakuş, F., Özel Arşivi, Ankara, (2011)
35. Kılıç, R., Ulaıış, K., “Zemin Mekaniği Uygulama Notları”, **Ankara üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü**, Ankara
36. Küçükdoğan, B., “A Study on Strengthening and Repair Methods for Historical Costructions”, **Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2**, Diyarbakır, 711-723 (2009)
37. Küçükdoğan, B., “An Investigation of Strengthening of Historical Masonry Constructions by Steel Skeleton ”, Yüksek Lisans Tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2007)
38. Küçükkaya, A., “Taşların Bozulma Nedenleri Koruma Yöntemleri”, **Birsan Yayınevi**, İstanbul, 2004
39. Mahrabel, H.A., “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2006)
40. Malatya Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Arşiv, (2005)
41. Mungan, İ., “Erken Ortaçağın Şahaseri Ayasofya’yı Örtten Strüktürün Güçlendirilmesi İçin Bir Konsept”, **Tarihi Eserlerin güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2**, Diyarbakır, 347-364 (2009)
42. Namlı, M., “Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2001)

43. Okan R., “Fore Kazık-Jet Groutlu Bir İksa Uygulaması”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 430-2004/2: 55-58, (2004)
44. Özdemir, A. A., Özel Arşivi, Ankara, (2011)
45. Özgen, E., “Standart Penetrasyon Deneyi ve Bu Deney Neticelerinin Değerlendirilmesine Ait Notlar”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 22-23 (1970)
46. Palalı, M., “Handere Kiline Su İçeriği Değişimi ve Kompaksiyon Enerjisinin Mukavemete Olan Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2006)
47. Saltık, E. C., Tavukçuoğlu, A., Akoğlu, K. G., Güney, B. A., Aydın. A., “Cenab-ı Ahmet Paşa Camii Kızılötesi Isıl Görüntüleme, Akustik Özellikler ve Sıvı Analizleri Ön Çalışmaları”, *ODTÜ Malzeme Koruma Laboratuvarı, Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi*, 13-15 (2008)
48. Saltık, E. C., Tavukçuoğlu, A., Akoğlu, K. G., Yaşar, T., Kandemir, A., Er, M., “Aslanhane Camii Kızılötesi Isıl Görüntüleme ve Harç ve Sıva Analizleri Ön Çalışmaları”, *ODTÜ Malzeme Koruma Laboratuvarı, Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi*, 5-12 (2008)
49. Sav, M., Kuşüzümü, K. H., “Restorasyon Çalışmaları Çerçevesinde Mihrimah Sultan Camii”, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 1: 43-53 (2010)
50. Sesigür, H., Çelik O. C., Çılı, F., “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme”, *İstanbul Bülten*, 89/2007:10-21 (2007)
51. Sesigür, H., Çelik, O. C., Çılı, F., “Edirne İli, Merkez Ayşe Kadın Camisi Taşıyıcı Sistemin Mevcut Durumu Onarım ve Güçlendirme Önerileri Hakkında Ek Rapor”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi*, 1-3 (2007)
52. Şan, B., “Kırıkkale, Sulakyurt Yeşilyazı Köyü Camii Zemin Etüt Raporu”, *Etna Jeoteknik Ltd. Şti., Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü*, (2007)
53. Tunçdemir, F., “Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 430-2004/2: 59-64 (2004)
54. Tunçdemir, F., “Kompaksiyon Enjeksiyonuna Teorik ve Pratik Yaklaşımlar”, *İMO Teknik Dergi*, 269: 4069-4080 (2007)
55. Türkiye İşbirliği ve Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Arşiv, (2007-2008)
56. Uzuner, B. A., “Plaka Yükleme Deneyi Üzerine”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 340: 15-18 (1988)

57. Ünlü, G., Kasım, E., “Yeşilyazı Köyü Camii Heyelan Önleme Projesi Raporu”, *Toker Sondaj ve İnş. Tic. Ltd. Şti., Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü*, (2007)
58. Vakıflar Genel Müdürlüğü, Arşiv, 2011
59. Yavuz, A., “Selçuklu Döneminde Malzeme ve Mimarlık İlişkisi”, *Geçmişten Geleceğe Anadolu’da Malzeme ve Mimarlık Sempozyumu*, İstanbul, (2005)
60. Yersu Müh. Sondaj İnş. Taah. Tic. Ltd. Şti., “Diyarbakır Melik Ahmet Camii Zemin ve Temel Etüd Raporu”, *Yersu Müh. Sondaj İnş. Taah. Tic. Ltd. Şti., Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi*, 7-11,24 (2007)
61. İnternet: Layne Geoconstruction “Jet Grouting Technical Summary”, <http://www.laynegeo.com> (2010)
62. İnternet: Tolay Mühendislik “Sismik İzolatörler”, <http://www.tolay.com.tr> (2011)
63. İnternet: Ntvmsnbc “Çemberlitaş Sütunu Gün Işığına Çıktı”, www.ntvmsnbc.com/id/25060019 (2010)
64. İnternet: Mühendislik Paylaşım Platformu “Koni Penetrasyon Deneyi”, http://www.muhendisim.org/koni_penetrasyon_deneyi_cpt-t2734.0.html (2011)
65. İnternet: Türkiye İnşaat Sitesi “Vane Deneyi”, <http://www.insaatim.com> (2011)
66. İnternet: Wikimedia Commons “Basilica San Vital di Ravenna”, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basilica San Vital di Ravenna.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basilica_San_Vital_di_Ravenna.JPG)
67. İnternet: Şehirler “Sivas Divriği Ulu Camii”, <http://www.sehirler.net/resim-sivas-resimleri-49-sivas-divrigi-ulu-camii-878.htm>
68. İnternet: <http://www.parmeleegeology.com/foundation%20underpinning.JPG>

EKLER

EK-1. Arazide yapılan inceleme deneyleri

Standart penetrasyon deneyi (SPT):

Uygulama: Bu deneyde dış çapı 50 mm, iç çapı 35 mm ve boyu 65 mm olan çelik tüp (penatrometre) önce sondaj çukuru içerisinde zemine 15 cm girecek şekilde çakılır. Daha sonra ağırlığı 63.5 kg kütlesi olan düşme çekici (şahmerdan) düşme yüksekliği 76 cm olan kılavuz bir milden düşmeye bırakılır. Penatrometrenin zemine 30 cm girmesi için gerekli olan düşme (darbe) sayısı belirlenir ve bu sayıya standart penetrasyon sayısı denir. Özellikle kumlu zeminlerde iyi sonuç veren deney iri çakıllı zemin tabakalarında faydalı değildir. [48]

Bu deney arazide 1.5-2.0 m gibi sabit aralıklarla, sondaj boyunca tekrarlanmaktadır. Örselenmemiş numune alınamayan kohezyonsuz zeminler için geliştirilmiş olmasına rağmen her tür zeminde kullanılmaktadır. [49]

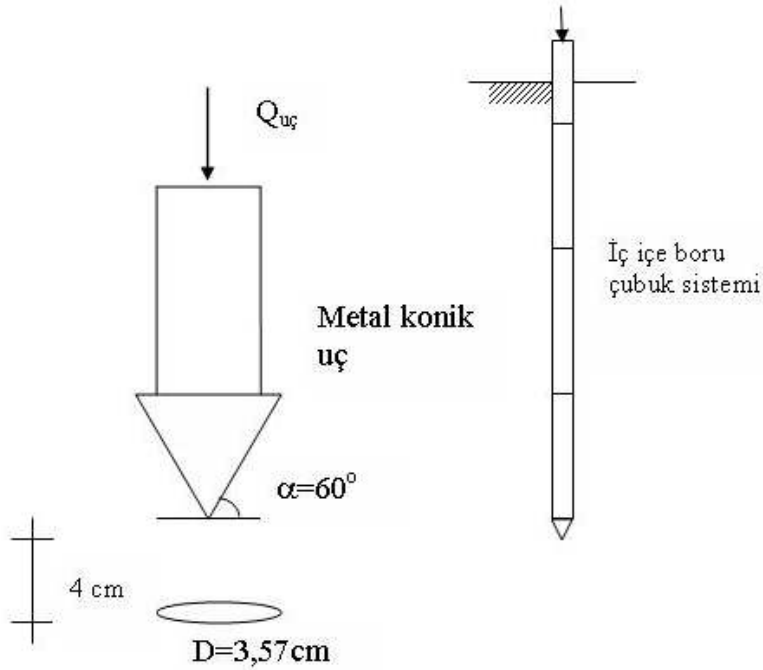


Donanım: Sondaj makinesi ve kule, standart penetrasyon borusu ve çarıklar, düşme çekici (şahmerdan), kılavuz borusu ve dövme başlığı, çakma borusu, tijler ve karotiyerler, kedibaşı ve sıızal halat

EK-1. (Devam) Arazide yapılan inceleme deneyleri

Koni penetrasyon deneyi (CPT):

Uygulama: Bu deneyde bir çelik boru ile bunun içinden geçen ve ucunda 3.6 cm çaplı ve 10 cm² alanlı uç açısı 60° olan bir koni bulunan çubuk, sıra ile zemine itilerek uç ve sürtünme dirençleri ayrı ayrı saptanır. Boru ve koni hidrolik bir güç vasıtasıyla zemine itilir ve daha sonra uç tek başına itilerek itme için gerekli basınç ölçülür. Daha sonra boru itilerek sürtünme direnci ölçülür ve işlem aynı sıra ile devam ettirilir. Bu deney gevşek üniform ince taneli zeminlerde başarıyla kullanılmasına rağmen sıkı köşeli taneli ve çakıllı zeminlerde tercih edilmemektedir. [31]



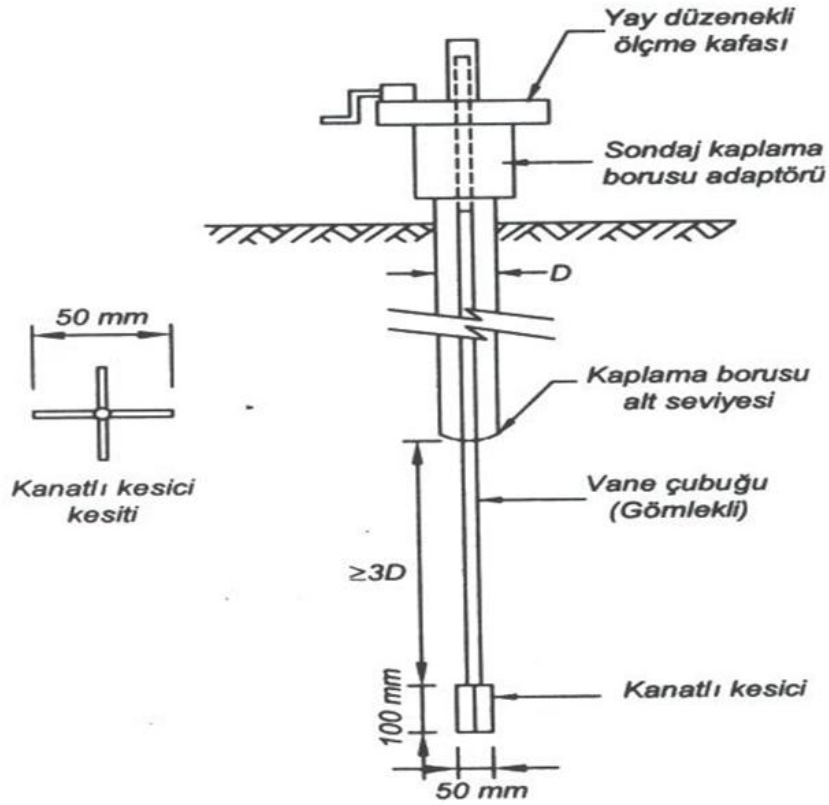
Şekil 1.2. Koni uç [70]

Donanım: Sondaj makinesi ve kule, konik başlık, düşme çekici, sızal halat, tijler, kılavuz borusu ve dövme başlığı

EK-1. (Devam) Arazide yapılan inceleme deneyleri

Vane deneyi:

Uygulama: Bu deney kohezyonlu zeminler içersine sokularak döndürülen kanatlı kesicinin (veyn aleti) kanatlarına zeminin yaptığı direncin ölçülmesi prensibine dayanır. Kanatlı kesici uç (veyn aleti) tijler yardımıyla test derinliğine indirilir ve hidrolik basınçla zemine itilir. Tijlerin yukarıda kalan ucuna ise torkmetre bağlanır. Dört kanatlı veyn aleti zemine batırılarak düşey eksen etrafında belirli bir hızla döndürülür ve deney sırasında ölçülen tork ve veyn aletinin boyutlarından drenajsız kayma dayanımı hesaplanır. [49]



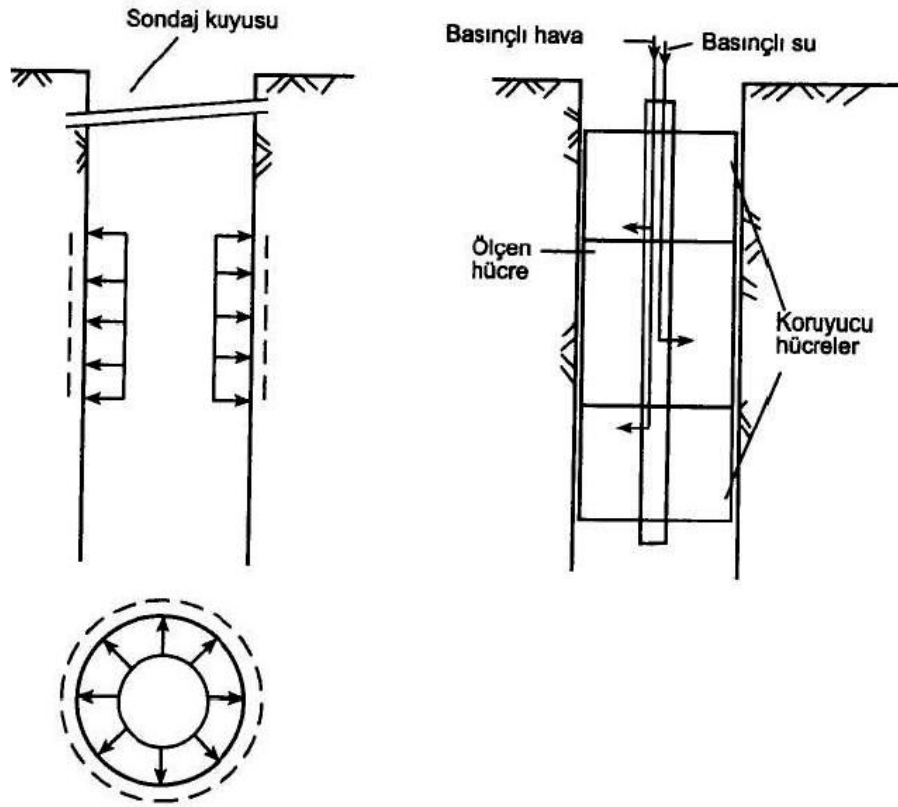
Şekil 1.3. Vane deneyi düzeneği [71]

Donanım: Sondaj makinesi ve kule, veyn aleti (kanatlı kesici), tijler, yatak, torkmetre

EK-1. (Devam) Arazide yapılan inceleme deneyleri

Pressiometre deneyi:

Uygulama: Bu deneyde, 2 ucu gaz, ortası su ile şişebilen silindirik bir prob sondaj kuyusu içinde şişirilir. Bu işlem sırasında prob içine giden sıvının miktarı ve basınç deneyin her safhasında ölçülerek kaydedilir. Yapılan teorik hesaplar sonucunda zeminin gerilme deformasyon eğrisi elde edilir. Bu deney, uygulamada en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. [31] [19]



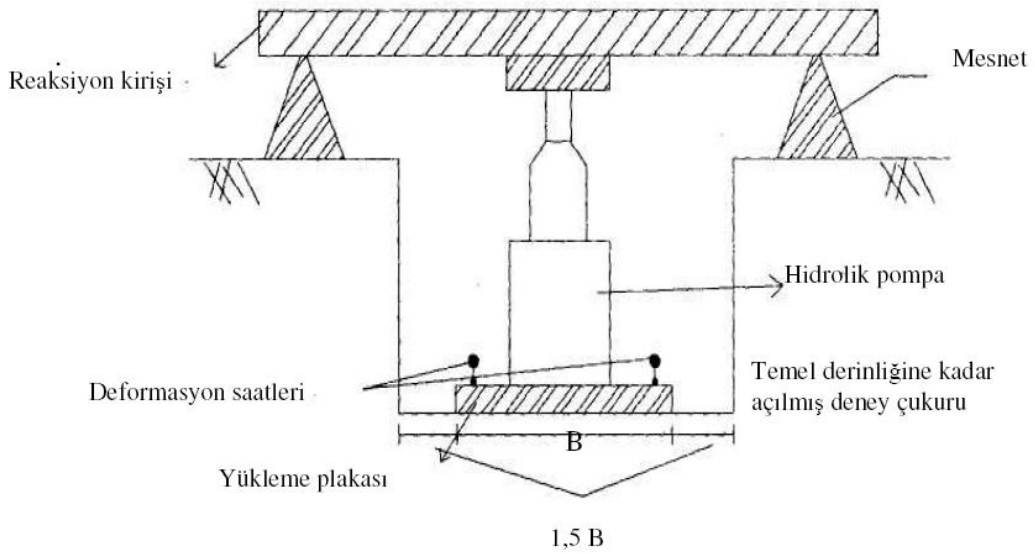
Şekil 1.4. Pressiometre deney düzeneği [49]

Donanım: Sondaj makinesi ve kule, prob (pressimetre sondası), yer üstü ölçme cihazı, basınç ileten borular

EK-1. (Devam) Arazide yapılan inceleme deneyleri

Plaka yükleme deneyleri:

Uygulama: Çapı en az 30 cm olan rijit dairesel veya kare plakaların temel alt kotu seviyesinde belli aralıklarla yüklenmeleri ile gerçekleştirilir. Tahmin edilen taşıma gücünün 1/5 i kadar yük kademesi seçilerek her bir yükleme arası eşit ve en az 1 saat olacak şekilde yükleme gerçekleştirilir ve aynı hızla boşaltım yapılır. Kurulan deney düzeneğinin kapasitesi kadar veya 25 mm toplam oturma gerçekleşinceye kadar yüklemeye devam edilir. Yük altındaki çökme hassas ekstansometreler (cisimlerin deformasyonun ölçmekte kullanılan çok duyarlı bir alet) yardımıyla ölçülür ve çökme basınç eğrisi çizilir. Deney sonucunda zeminin taşıma gücü bulunarak emniyetli taşıyabileceği yük belirlenir. [31]



Şekil 1.5. Plaka yükleme deney düzeneği [49]

Donanım: Sondaj makinesi ve kule, hidrolik silindir, basınç çevirici, deplasman ölçer, veri toplama ünitesi (ekstansometre), güç verici, çekiç ve spatula, metal diskler, hidrolik pompa, dairesel veya kare plakalar [16]

EK-2. Laboratuarda yapılan deneyler

Likit limit deneyi:

Uygulama: 40 nolu elekten elenmiş olan 100-150 g havada kurutulmuş örnek alınıp bir porselen kapta az su eklenip spatula ile karıştırılır ve hazırlanan numuneden bir parça alınıp Casagrande (likit limit) aletindeki pirinç kap içine konur ve yatay olarak düzeltilir. Oluk açma bıçağı ile dik tutularak numune iki eşit parçaya bölünür. Likit limit aletindeki kol saat yönünün tersi yönünde saniyede 2 devirlik hızla çevrilip zeminin iki parçasının oluk tabanında 13 mm boyunda birleşmesini sağlayacak vuruş sayısı saptanır. Su içeriğinin belirlenmesi için, birleşen zemin kısmından yaklaşık 10 gr yaş numune alınıp numune kabına konulur. Kap + Yaş numune ağırlığı tartılıp etüve konur ve kuruması için 24 saat beklenir. Sonra numunenin kuru ağırlığının belirlenmesi ile numunenin su içeriği saptanır. Sonraki aşamada malzeme porselen kaba alınır ve su içeriği arttırılarak yeni bir vuruş sayısı saptanır. Bu işlemler 10 ile 50 arasında en az 3 vuruş sayısı saptanıncaya kadar devam edilir ve saptanan her vuruş sayısı için su içeriği belirlenir. Elde edilen su içeriğine karşı vuruş sayısı için bir grafik çizilir ve elde edilen noktalardan bir doğru geçirilir bu doğru üzerinde 25 darbeye karşılık gelen su içeriği değeri zeminin likit limit değerini verir. [38]

Donanım: Likit limit kabı, oluk açma bıçağı, porselen kap, spatula, numune kapları, etüv (110+ 5 C° sıcaklıkta), terazi (0,01 gr duyarlıkta), desikatör, 40 no'lu elek

Plastik limit deneyi:

Uygulama: 40 no'lu elekten elenmiş örnekten 20 g alınır ve kabın içinde azar azar saf su ile karıştırılıp çamur elde edilir. Çamurun çapı 3 mm oluncaya kadar buharlaştırıcı cam levha üzerinde elle yuvarlatılır ve bu işlem zemin yüzeyinde çatlamalar ve kopmalar meydana gelinceye kadar devam edilir. Zemin istenen özelliklere ulaşıncaya 5 gr'lık numune bir kaba konulup Kap + Yaş numune tartılıp ağırlığı kaydedilir. Daha sonra 24 saat etüvde kurutulan numune ağırlığının belirlenmesi ile numunenin su içeriği saptanır. Bu işlemler birkaç defa tekrarlanıp su

EK-2 (Devam) Laboratuarda yapılan deneyler

içeriği değerleri bulunur ve bunların ortalaması alınarak, zemine ait plastik limit değeri belirlenir. [29]

Donanım: Porselen kap, spatula, numune kapları, etüv (110 ± 5 C° sıcaklıkta), terazi (0,01 gr duyarlıkta), desikatör, 40 no'lu elek, buharlaştırıcı cam levha, saf su, cetvel

Özgül ağırlık deneyi:

Uygulama: Etüvde, 24 saat süreyle kurutulan örnek bir desikatör içinde soğutulur ve tartılır. Piknometre kapağı ile tartıldıktan sonra saf su ile doldurularak tartılır ve sıcaklığı ölçülür. Piknometre, içinde zemin örneği bulunurken hacminin 2/3'üne kadar damıtık su ile doldurularak tartılır ve sıcaklığı ölçülür. Karışım içindeki hava vakumlanarak çıkartılır veya 10-15 dk kaynatılır. Hava alma işleminin ardından piknometreye, havası alınmış saf su ilave edilerek menüsküsün tabanının, piknometre üzerinde bulunan kalibrasyon çizgisine kadar gelmesi sağlanır. Piknometre, içerisindeki karışım ile birlikte 0,01 gr duyarlıklı terazide tartılır ve kaydedilir. Daha sonra kaydedilen değerler doğrultusunda özgül ağırlık hesaplanır. [38]

Donanım: Piknometre, termometre, terazi (0,01 gr duyarlıkta), 4 no'lu elek, etüv, vakum uygulayıcı alet, ısıtıcı levha veya gaz lambası, saf su, huni

EK-2 (Devam) Laboratuarda yapılan deneyler

Hidrometre analizi:

Uygulama: Killi zeminleri için 50 gr, kumlu zeminler için 100 gr etüzde kurutulmuş numune alınıp üzerine sodyum hegza metafosfatlı saf su eklenir. Sonra cam çubukla karıştırılır ve 24 saat bekletilir. Numune saf su kullanılarak karıştırıcı kabı içerisine aktarılır ve plastisite indisine göre belirtilen süre kadar karıştırılır. Karışım mezüre eklenip 1000 ml çizgisine kadar saf su eklenir. Karışım homojen duruma getirildikten sonra okumalar alınır. Daha sonra hidrometre süspansiyondan çıkarılıp karışımın tekrar homojen hale gelmesi sağlandıktan sonra ilk iki dakika yeni okumalar alınır. Karışımın sıcaklığı ölçülür ve süspansiyon tekrar karıştırıldıktan sonra ilk iki dakika için okuma alınmadan 5., 10., 20., 30. dakikalarda hidrometre ve sıcaklık ölçümleri yapılır. Elde edilen ölçüm değerleriyle tane çapı hesabı yapılır. [29]

Donanım: Hassas terazi, karıştırıcı (mikser) ve karıştırma kabı, hidrometre, mezür, termometre, elek seti ve temizleme fırçaları, sabit sıcaklık banyosu, beher, kronometre, piset, saf su, sodyumhekzameta-fosfat, cam çubuk veya spatula, buharlaştırma kapları, etüv

Elek analizi:

Uygulama: Zeminden alınan 400-500 g numune etüvde 24 saat kurutulur. Tanelerin yapışmaması için örnek suda veya su-hidrojen peroksit karışımı içinde bekletilir. Bunu müteakip örnek 200 nolu elekten elenerek ince malzeme uzaklaştırılır. Eleğin üstünde kalan örnek, elek setinden geçirilir. Sonuçta, her elekte kalan örnek ayrı kaplara alınır ve kurutulduktan sonra tartılarak numune ağırlıkları bulunur. Toplam örnek ağırlığı esas alınarak her elekte kalan ve geçen tanelerin yüzdeleri bulunarak granülometri eğrisi (tane boyu eğrisi) çizilir. [38] [29]

Donanım: Elek seti, fırça, petri, terazi ve etüv

EK-2 (Devam) Laboratuarda yapılan deneyler

Kompaksiyon (Standart proctor) deneyi:

Uygulama: Havada kuruyan ve 4 no'lu elekten geçirilen numune alınır ve bir kap içerisine konur. Örneğe bir miktar su verilerek deneye başlanır. Kürünü tamamlamış numune moldun içine 5-7 cm yükseklikte bir katman oluşturacak şekilde konur ve malzeme yüzeyi bastırılarak düzeltilir. Daha sonra belirli yükseklikten düşen tokmakla, 25 darbe vurularak malzeme sıkıştırılır. İkinci ve üçüncü tabaka ile sıkıştırma işlemine devam edilir. Moldun dış yüzeyindeki malzemeler iyice temizlendikten sonra mold alt tablası çıkartılıp numune ve mold tartılır. Numune molddan kriko yardımıyla çıkartılıp su içeriğinin belirlenebilmesi için alt, orta ve üst olmak üzere 3 parçaya bölünür ve etüvde kurutulur. Bu işlemler her kompaksiyon için tekrarlanır. Elde edilen değerlerden örneğin su içeriği ve kuru yoğunluğu hesaplanarak kuru yoğunluk-su içeriği eğrisi çizilir. Eğrinin maksimum noktasına karşılık gelen kuru yoğunluğa maksimum kuru yoğunluk, buna karşılık gelen su içeriğine ise optimum su içeriği denir. [38]

EK-1 İkinci bölüme ait ekler (devam)

Donanım: Kompaksiyon tokmağı, terazi, 4 no'lu elek, standart kompaksiyon moldu, etüv, su kapları, numune karıştırma kabı, spatula, desikatör, kriko, zemin bıçağı

Üç eksenli basınç deneyi:

Uygulama: Silindirik bir zemin numunesi bir hücre içerisine yerleştirilir ve hücreye uygulanan hava veya su basıncı vasıtası ile numune üzerine hidrostatik bir basınç uygulanır. Numune etrafına zeminin hücreyi dolduran su ile temasını önlemek için lastik bir kılıf geçirilmektedir. Numuneye üst başlığa temas eden bir piston vasıtası ile eksenel gerilme uygulanır. Deney sırasında zemin suyunun dışarı çıkıp çıkmaması kontrol edilmektedir. Eksenel yük zemin numunesinde göçme meydana gelinceye kadar artırılmaktadır. Göçme anındaki gerilme durumunu gösteren Mohr dairelerine teğet olarak çizilen doğru zeminin kayma mukavemeti zarfını verir. [49]

EK-2 (Devam) Laboratuarda yapılan deneyler

Donanım: Pres, su sızdırmaz hücre, kılıf, piston

Serbest basınç (Tek eksenli) dayanımı deneyi:

Uygulama: Bu deneyde numuneler daha önce kompaksiyon deneyinde belirlenmiş optimum su içeriklerine getirilerek, standart kompaksiyon enerjisinde sıkıştırılır ve çeşitli numune alıcılar yardımı ile standart serbest basınç deneyi numunesi haline getirilir. Hazırlanan numune deney aygıtının alt tablasının merkezine yerleştirilir. Deformasyon okuması ve kuvvet halkası saatleri sıfırlanır ve numunenin yüklenmesine başlanır ve deformasyon saatinin kuvvet halkası saatinden okumalar alınır. Yükleme hızı numunenin en çok 15-20 dk içinde kırılmasını sağlamalıdır. Yüklemler numunede kırılma düzlemi görülünceye kadar devam ettirilir. Yapılan ölçümlere göre gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilir. Eksenel gerilmenin en büyük değeri zeminin serbest basınç mukavemeti değerini vermektedir. [29] [49]

Donanım: Serbest basınç deneyi aygıtı, okuma saati, numuneyi çıkartmak için kriko, su içeriği için kaplar, etüv, numune düzeltme tüpü, maket bıçağı, standart kompaksiyon ekipmanı, kronometre, terazi, açölçer, kumpas

Permeabilite deneyi:

Uygulama: Sabit seviyeli permametre deneyinde; deneye başlamadan önce hava boşluklarını uzaklaştırmak için vakum uygulanır. Örnek, alt ve üstüne filtre kağıdı yerleştirilmiş molda konarak arazi sıklığı verilir ve örneğe üç ayrı yoldan su gelir. Bunlardan birincisi örneğe temas ederek çıkan su, ikincisi sabit bir seviyeyi sağlayan su ve üçüncüsü tahliye edilendir. Burada sabit seviye yakalanmadan örneğe su gelmesine izin verilmemelidir. Düşen seviyeli permametre deneyinin farkı ise herhangi bir sabit seviye oluşturulmamasıdır. Su, örneğe bir defada yavaş yavaş verilir ve süre ile beraber takip edilir. [38]

EK-2 (Devam) Laboratuarda yapılan deneyler

Donanım: Filtre kağıdı, örnek kabı, permametre, kronometre, tokmak, termometre, kumpas, numune ringi, numune alıcı, bakır ve lastik contalar, poroz taşlar, cam tüp, saf su, etüv, hassas terazi ve çakıl

Konsolidasyon deneyi: Bir zeminde meydana gelecek toplam konsolidasyon oturması ve konsolidasyon oranları laboratuarda yapılan konsolidasyon deneyi ile belirlenebilir.

Uygulama: Konsolidasyon halkası içindeki zemin numunesi ödometrenin içine yerleştirilir ve yükleme boyunduruğu yerine koyulur. Daha sonra konsolidasyon hücresine damıtık su eklenerek 24 saat bekletilerek istenilen veya standartlarda belirtilen ağırlık konsolidasyon askısına takılır. Deformasyon saati takıldıktan sonra konsolidasyon cihazının kilidi açılarak deney başlatılır. 24 saat sonunda deformasyon saatindeki okuma alınır ve yük artırılarak işleme devam edilir. Bu deneyden zemin numunesinin sıkışmasının zamanla değişimini gösteren sıkışma-zaman grafiği elde edilir. [29]

Donanım: Ödometre cihazı, konsolidasyon hücresi, standart ağırlık serisi, konsolidasyon ringi, hassas terazi, kronometre, deformasyon saati, filtre kâğıtları, poroz taşlar, saf su, etüv, kumpas, su içeriği belirlemede kullanılan araç gereçler

EK-3 Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

Yerinde basınç deneyi:

Uygulama: Bu deneyde flatjack (kriko) deney düzeneğinden yararlanılır. Deplasmanların ölçüleceği pimler, şablona uygun olarak yapıştırılır ve başlangıçtaki uzaklık (L_0 , mm) ölçülür. Plağın yerleştirileceği bölge, matkap ile açılır, harç kaldırıldığı için yapının zati yükü nedeniyle ölçüm bölgesinde meydana gelen boy değişiminin belirlenmesi için pimler arasındaki mesafe (ΔL , mm) tekrar ölçülür. Açılan bölgeye plak yerleştirilip gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra kuvvet uygulanır ve belli aralıklarla kuvvet ve deplasmanlar ölçülür. Yapılan deneylerden gerilme ve şekil değiştirmeler, elastisite modülü ve ölçüm yapılan bölgedeki gerilme seviyesi belirlenir. [3]

Donanım: Basınç uygulayan bir kompresör ve bir basınç ölçer, basınç kuvvetini yüzeye uygulamaya yarayan plaklar, deplasmanını ölçmeye yarayan komparatör ve komparatörü tespit etmeye yarayan pimler

Yerinde kayma dayanımı testi:

Uygulama: Bu deneyde ölçüm yapılacak bölgenin iki tarafı açılır, bir taraftan yatay kuvvet uygulanır, diğer tarafa yerleştirilen transduserin deplasmanı kaydettiği andaki kayma gerilmesi, yapıdaki kayma dayanımı olarak belirlenir. [42]

Donanım: Kuvvet uygulayan kompresör, kuvvetölçer ve deplasmanı tespit eden transducer'dan oluşmaktadır. [3]

EK-3 (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

Georadar testi:

Uygulama: Bu yöntemde verici bir anten araştırma yapılacak yüzeye elektromanyetik dalgalar gönderilir. Gönderilen dalganın bir kısmı geri yansır bir kısmı ise kırılarak yoluna devam eder. Yansıyarak geri gelen dalgalar alıcı bir anten tarafından alınır ve alıcı bir anten tarafından alınır ve veri kaydetme cihazına aktarılır. Böylece ortamdaki fiziksel süreksizliklerin varlığına bağlı olarak bilinmeyen özellikler tespit edilebilir. [66]

Donanım: Elektro manyetik dalgalar, verici anten, alıcı anten, veri kaydetme cihazı

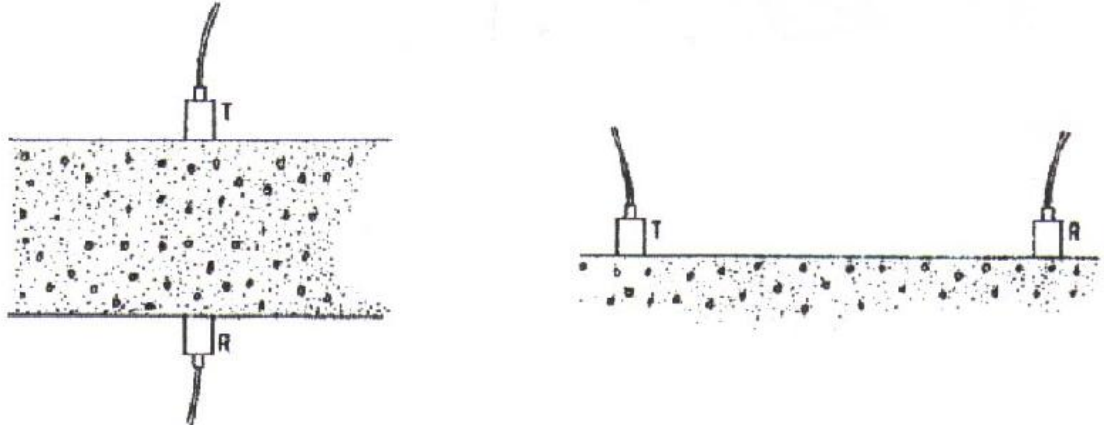
Ultrases testleri (sonic and ultrasonic tests):

Uygulama: Bu deney tekniğinde, duvarın bir yüzüne piezo elektrik alıcısı yerleştirilir, güç üreticisi de duvarın diğer yüzüne genelde simetrik bir yere yerleştirilir. Her ikisi de bir osiloskopa (salınım ölçer) bağlanır ki bu da ses dalgasının birinden diğerine hareketi için gerekli süreyi ölçer. [17]

Cismin yoğunluğu düşük ise veya bünyesinde çatlaklar var ise ses dalgalarının yayılımı ve dolayısıyla ses geçiş hızı düşük olur. [42]

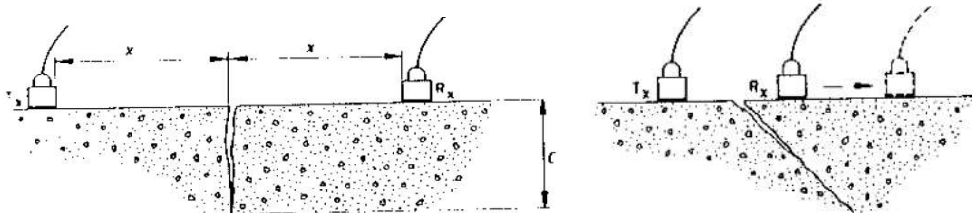
Ultrases aleti ile Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi karşılıklı yüzeylerde doğrudan veya aynı yüzden dolaylı ölçüm yapılarak ses geçiş süresi ölçülür ve ses geçiş hızı hesaplanır. Ses geçiş hızı yüksek olması, boşlukların az, dolayısıyla dayanımın yüksek olması anlamına gelir. [42]

EK-3 (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler



Şekil 3.1. Ultrases ile doğrudan ve dolaylı ses geçiş sürelerinin ölçümü [3]

Çatlak derinliğinin ve yönünün araştırılması amacıyla çatlak bölgelerinde Şekil 3.8’de görüldüğü gibi belirlenen noktalarda, probların yeri değiştirilerek ses geçiş süreleri t_1 , t_2 , t_3 , t_4 ölçülür, gerekli hesaplar yapılarak çatlak derinliği ve yönü belirlenir. [66]



Şekil 3.2. Ultrases ile çatlak derinliğinin ve yönünün araştırılması [3]

Donanım: Piezo elektrik alıcısı (prob), osiloskop (ultrases aleti)

Sertlik ölçer:

Uygulama: Gözenekli malzemelerin sertliğinin belirlenmesi için çoğunlukla geri sıçramanın ölçülmesi prensibine dayanan N tipi ve P tipi Schmit çekicinden yararlanılmaktadır. N tipinde, bir bilye, P tipinde ise bir pandül ile arkasında bulunan yay yardımı ile yüzeye fırlatılır. Bilye veya pandül taş cismin yüzeyine çarptıktan

EK-3 (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

sonra geri sıçrar. Ortaya çıkan geri sıçrama ne kadar büyükse sertlik o kadar yüksek demektir. [42]

Donanım: N tipi ve P tipi Schmit çekici, bilye veya pandül, yay

Endoskopi Testi (Endoscopic examination):

Uygulama: Bu yöntemde, taşıyıcı sistemin içini ortaya çıkarmak için, duvar düzlemine dik 30-40 mm çapında açılacak deliklere endoskopi cihazları yerleştirilir. Elde edilen görüntüler monitörlerle izlenerek videokasete kaydedilir veya fotoğraflanır. [17]

Donanım: Endoskopi cihazı, monitör

Infrared tomografi yöntemi:

Uygulama: Bu teknik, yüzeyin sıcaklığına bağlı olarak belirli bir yoğunlukta elektromanyetik radyasyon yaymasına dayanır. Yüzey oda sıcaklığında iken radyasyon, elektromanyetik spektrumunun kızılötesi ışınlar bölgesinde olup eğer elemanda dışarıdan içeriye veya içeriden dışarıya bir ısı akışı varsa, kusurlu bölgelerin çevresindeki malzeme farklı termal iletkenlik gösterdiği için bu durum ısı akışını etkiler ve bu farklılık nedeni ile yüzey sıcaklığı uniform olmaz. Yüzey sıcaklığı ölçülerek kusurlu bölge tespit edilir. Yüzey sıcaklığının belirlenmesinde video kamera sistemine benzer şekilde çalışan infrared tarayıcılar kullanılmaktadır. Ölçülen ısı değişimleri, bir fotoğraf kağıdı üzerine yazılı olarak kaydedilir. [42]

Donanım: İnfrared tarayıcılar, fotoğraf kağıdı

EK-3 (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

Gevşeme deneyleri (relaxation tests):

Uygulama: Kargir yapılarda bu deney Resim 3.9.'da görüldüğü gibi bir kertiğe bir ve ya daha fazla “tablalı kriko” yerleştirilerek aşağıdaki gibi gerçekleştirilebilir: [17]

- Deneyin yapılacağı duvar alanı tanımlanıp işaretlenir, deformasyon ölçer kullanılarak kesilecek hat boyunca referans ölçümleri yapılır.
- Duvarın kalınlığına ve boyutuna bağlı olarak kargir yapı belirlenen hat boyunca kesilir, önceden ölçülen noktalarda tekrar deformasyonlar ölçülür.
- Kertiğin iki yüzünde dikey basınç gerilmesi yaratmak için genelde tablalı krikolar yerleştirilir. Diğer krikolar kayma mukavemetinin değerlendirilmesi gerektiği zaman yatay basınçlar yaratmak için kullanılır.
- Yavaş yavaş artan bir basınç krikolara uygulanır ve önceden ölçülene eşit ve ters yönde bir “ ϵ_2 ” deformasyon değerine ulaşana kadar her aşamada deformasyon değerleri okunur. Deney, gerilme-deformasyon (strain-stress) eğrisi yatay oluncaya kadar devam eder. [17]

Donanım: Deformasyon ölçer, tablalı kriko, diğer krikolar, testere

Monitör- İzleme (monitoring systems): Bir taşıyıcı sistemi izlemek; çatlakların genişlemesi veya azalması, eğilme açısındaki değişiklikler, deformasyonlar vb. durumlarda oluşan değişiklikleri kontrol etmek anlamına gelir. Monitör sistemi genelde merkezi bir birime bağlı sensörlerden oluşur ve sadece bilgileri kaydetmez ayrıca telefonla veya başka araçlarla bir bilgisayara iletir.

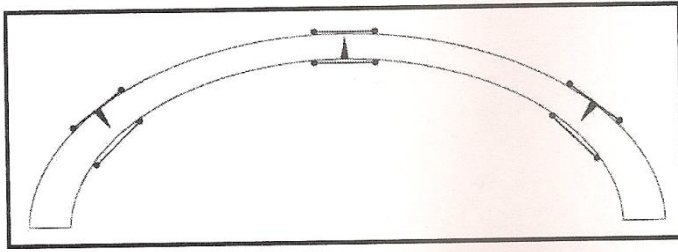
Uygulama: Bu testler, rüzgâr, deprem ve makineler tarafından yaratılan titreşimler veya trafik gibi doğal dinamikler altında taşıyıcı sistem davranışını incelemek için kullanılır. Bu testler belli sayıda sensörün, uygun yerlere yerleştirilmesine dayanır ve dinamik hareketler oluştuğu zaman taşıyıcı sistemin cevabını kaydetmek için

EK-3 (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

elektronik bilgi elde etme birimleri kullanılır. Kaydedilen ivmeler daha sonra hızları ve yer değiştirmeleri ek olarak taşıyıcı sistemin dinamik özelliklerini (doğal frekans ve titreşim modları, sönüm vb.) analiz etmek için kullanılabilir. [17]

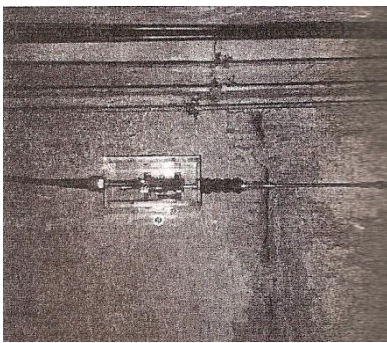
Bu sistem genelde iki ana bileşene sahiptir: bilgi elde etme birimi ve sensörler. En sık kullanılan sensörler:

- sıcaklık sensörleri,



Şekil 3.2. Fiber optik sensörlerin bir kemer ya da tonozda yerleştirilmesi [8]

- genleşme ölçer, çatlak ölçer (fissurometer); çatlak genişliklerindeki değişiklikleri ve iki nokta arasındaki yer değiştirmeleri ölçmek için,



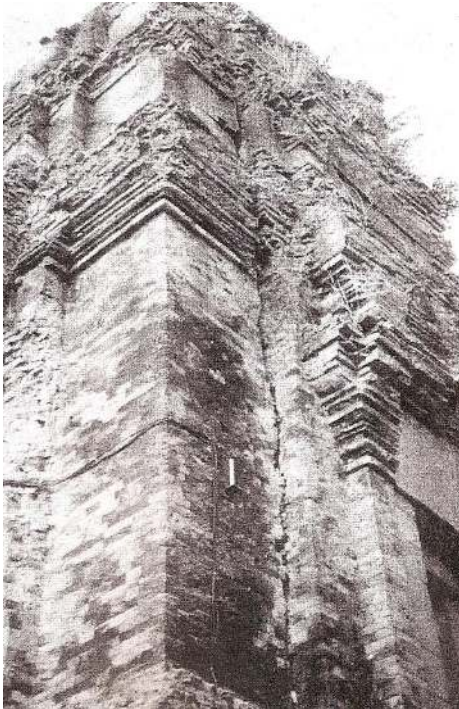
Resim 3.1. Bir çatlakla yerleştirilmiş fissurometer [17]

- gerilim ölçer; malzemelerdeki gerilimlerin değişimlerini ölçmek için,
- düzeçleme sistemleri çeşitli noktalar arasındaki düşey yer değiştirmeleri ölçmek için,

EK-3 (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

- İnklinometrik (eğim ölçme) sistemi genelde sarkaç ilkelerini kullanır, şakül kaçıklıkları veya dikey değişiklikleri % 10 hassasiyetle ölçer,
- İvme ölçerler, daha sonra elektrik sinyallerine dönüştürülen ivmeyi ölçer.

Donanım: Sensörler, bilgi elde etme birimi (monitör araçları)



Resim 3.12. Angkor Pre Rup Tapınağının cephesine yerleştirilmiş inklinometre [17]

Çekme testleri (Pull-out tests):

Uygulama: Küçük bir çelik çubuk duvara ankre edilir, yüzeye dik ve hidrolik bir kriko tarafından kargir duvarın belli bir parçası duvardan kopuncaya kadar çekme kuvveti uygulanır. [17]

Donanım: Çelik çubuk, hidrolik kriko

EK-3 (Devam) Yapı ile ilgili yerinde yapılan deneyler

Duvar harçlarının performans testi (Penetration test):

Uygulama: Bir çivinin içeri girmesine gösterilen direnç hesaplanarak harçların mukavemeti hesaplanır. Darbelerin sayısı çivinin içeri girme derecesi ile ilişkilidir.

[17]

Donanım: Çivi, penetrasyon aleti

EK-4 Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler

Fiziksek testler:

Uygulama: Hazırlanan örneğin önce terazide kuru ağırlığı alınır, daha sonra bu örnek 100 ml su içinde bekletilir ve 50 torr basınç altında gözeneklere ulaşan saf su ile beraber tekrar tartılıp arşimet ağırlığı bulunur. Daha sonra kullanılacak matematiksel eşitlikler yardımıyla yoğunlukları (gr/cm^3), su emme kapasiteleri (%SEK) ve gözeneklilik (%Porozite) değerleri belirlenmektedir. [4]

Donanım: Terazi, 100 ml saf su

Spot Tuz Testleri:

Uygulama: Sülfat testi (SO_4^{2-}) sıva ve harçlarda, özellikle alçı içerikli bağlayıcıların tesbitinde ve hava kirliliğinin malzemeye etkisinin (sülfatlaşma) belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Klor testi (Cl^-) kanalizasyon etkisine yakın yerlerde, çimento içerikli harçların nemle etkileşiminde ve deniz suyunun etkisine açık yerlerde tespit edilebilmektedir. Fosfat testi (PO_4^{3-}) yapıların yakınında veya üzerinde hayvan veya bitki artıkları yer aldığında, atık/piknik alanlarına yakın yerlerde, toprağın içeriğinin yerden su ile malzemeye taşınması halinde, bitki-saman içerikli harç ve sıvalarda tesbit edilebilmektedir. Karbonat testi (CO_3^{2-}) sıva ve harçlarda kireç içeriğinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Nitrit (NO_2^-) ve nitrat testi (NO_3^-) trafik ve hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde, malzeme üzerinde oluşan siyah tabakalarda tesbit edilebilmektedir. [4]

Donanım: 100 ml su, spot tuz kitleri

EK-4 (Devam) Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler

Kondaktometrik analiz:

Uygulama: Hazırlanan 1 gram örnekler, 100 ml su içerisine alınır ve suda bir gün bekletildikten sonra tuz içerikleri iletkenlik ölçer ile (conductometer) kaydedilmektedir.

Donanım: İletkenlik ölçer (conductometer), 100 ml saf su

Asidik agreg ve bağlayıcı analizi (Asit kaybı analizi):

Uygulama: Öncelikle kuru tartıma alınan örnekler daha sonra bağlayıcı (tüm karbonat içerik; CO₃²⁻) içeriklerinden arındırılmak üzere seyreltik asitle (% 5'lik HCl) çözülür. Bir sonraki aşamada süzme işlemi yapılır, bu sırada asitten arındırmak için suyla yıkanır. Kireç ve tüm karbonat içeriklerinden (bağlayıcısından) ayrılan ve agreg kısmı elde edilen harç ve sıva örnekler, oda sıcaklığında kurutulduktan sonra tekrar tartıma alınarak ağırlıkça toplam bağlayıcı ve agreg (% w/w) miktarlarına ulaşılır.

Donanım: Seyreltik asit, terazi, saf su

Granülometrik analiz (Elek analizi):

Uygulama: Harç ve sıva örneklerinde, asidik işlemten sonra elde edilen agregalar (karbon içerikli olmayan) 63, 125, 250, 500 ve 1000 µm arasındaki gözeneklere sahip eleklerden geçirilir. 1 ve 2 numaralı elekten geçenler, 3 ve 4 numaralı elekten geçenler silt, 5 numaralı elekten geçenler silt ve kum olup kutulara konarak tartılırlar. Böylece örneklerin agreg tanecik dağılımı oranlarına ulaşılır.

Donanım: 63-1000 µm arası elekler, terazi

EK-4 (Devam) Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler

Optik mikroskop analizi:

Uygulama: İnce kesit, kullanılacak örneğin 0.03 mm (30 mikron) kalınlığa ulaşınca kadar kuvvetle bastırarak inceltilmesi ve reçine ile lam üzerine yapıştırılması ile elde edilir. Minerallerin çoğu bu kalınlığa geldiğinde şeffaf olduğu için ışık altında mikroskopla çalışılabilir. Alınan numuneler optik mikroskop ile incelenip kamera ile fotoğraflanmaktadır. [7]

Donanım: Reçine, lam, optik mikroskop ve dijital kamera

Elektron mikroskobu analizi (SEM):

Uygulama: Taramalı elektron mikroskobunda numune üzerine gönderilen elektron demeti numune ile etkileşime girerek değişik sinyaller oluşturur. Bu sinyaller (ikincil elektronlar, geri yansıyan elektronlar, x ışınları v.b.) uygun dedektörlerle toplanır ve örnek hakkında elementel bilgi de sağlanabilir. [35]

Donanım: Taramalı elektron mikroskobu, dedektör, sinyaller

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (Eds):

Uygulama: Malzeme içindeki atomlar yüksek enerjili radyasyonla iyonize edildiklerinde karakteristik x ışını oluştururlar. Dedektör tarafından algılanan x ışınları sinyal haline dönüştürülerek belirli şiddetlere sahip piklerden oluşan x ışını enerji histogramı haline dönüştürülür. Bu x ışını histogramı ile malzemede her bir elementin tipi ve miktarı belirlenir. EDS spektrometreleri genellikle elektron kolonuna sahip cihazlara bağlanmış şekilde bulunurlar. [35]

EK-4 (Devam) Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler

Donanım: Yüksek enerjili bir radyasyon kaynağı (genellikle elektronlar), numune, katı hal dedektörü (Si-Li) ve sinyal işleme üniteleri

X-Ray Diffraction:

Uygulama: Bu yöntemde, dalga boyu 0.5-2 aralığında olan X ışınları toz haline getirilen numune üzerine gönderilir ve kırınımına uğrayan X ışınları bir patern (model) oluşturur. Bu paternler ile malzeme kristalinin fazları, yapısal özellikleri (boyut ve oryantasyonları) ve konsantrasyon profili belirlenebilir. [35]

XRD'yi çok kullanışlı yapan şey kristal yapılarında parmak izi hassaslığında veri toplayabilmesi ve güvenilir olmasında yatmaktadır.

Donanım: Numune, ışını üreten başlık, dedektör, orta hazne

X-Işını Floresan Analizi (X-Ray Fluorescence):

Uygulama: Numune üzerine gönderilen x ışını ile oluşan floresan x ışınları kristal spektrometre ile analiz edilir. Piklerin yeri malzemede hangi elementlerin olduğunu, pik yükseklikleri ise her elementin ne miktarda olduğunu gösterir. [35]

Bu analiz, hızlı olması ve yıkıcı olmayan özellikleri nedeniyle malzemelerin incelenmesinde vazgeçilmez bir araçtır. Fakat sınırlayıcıları nedeniyle sayısal belirlemeler yapmak oldukça zordur. [41]

Donanım: Numune, x ışını, floresan x ışını, spektrometre

EK-4 (Devam) Yapı ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan deneyler

Tek eksenli basınç deneyi:

Uygulama: Yapıdan alınan taş ve tuğla numuneler, deneye hazırlık açısından birbirine paralel iki başı, çap/yüksekli oranı 1/1 olacak şekilde taş kesme aleti ile düzeltilir. Söz konusu numuneler 48 saat süre ile laboratuvar ortamında bekletilir. Tek eksenli basınç deneyi ile basınç etkisi altında meydana gelen boy değişimi (ΔL , mm), yük-boy değişimi ve kırma yükü (P_k , kN) belirlenir, basınç mukavemeti hesaplanır. [3]

Donanım: Numune, taş kesme aleti, basınç uygulayan alet

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KARAKUŞ, Filiz
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10/09/1979 SENİRKENT
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0530 642 44 88
 Faks : 0312 309 89 01
 e-mail: : filizerdemir02@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	ODTÜ Mimarlık	2002
Lise	Batıkent Süper Lise	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2012	T.C. Başbakanlık Vakıflar Ankara Bölge Müdürlüğü	Mimar
2004-2005	M.E.B. Yatırımlar ve Daire Başkanlığı	Mimar
2003-2004	GESTAŞ İnşaat A.Ş.	Mimar
2001-2003	A.N.F.A. Mim. Müh. Ltd. Şti.	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce