

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN
ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yasemin Hazel YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Ali Osman KURUŞCU

Ocak, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN
ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yasemin Hazel YILDIRIM tarafından hazırlanan tez çalışması 27.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr.Öğr.Üyesi Ali Osman KURUŞCU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr.Öğr.Üyesi Ali Osman KURUŞCU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç .Dr. Dilek Ekşi AKBULUT, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç .Dr. Ali Rıza PARSA, Üye
İstanbul Arel Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman KURUŞCU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Tarihi Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Etkinliğinin Değerlendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yasemin Hazel YILDIRIM

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Yapı Bilim Dalı'nda yaptığım yüksek lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Ali Osman KURUŞCU hocamla birlikte tüm bölüm hocalarıma,

Çalışmalarım süresince verdiği destek ve yardımdan dolayı aileme,

en derin saygı ve sevgilerimle teşekkür ederim

Yasemin Hazel YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xix
ÖZET	xx
ABSTRACT	xxii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
2 TARİHİ YAPILARDA YAPIM SİSTEMLERİ VE KULLANILAN MALZEMELER	4
2.1 Yığma Yapılar.....	4
2.1.1 Doğal Taş Malzeme	5
2.1.2 Kerpiç.....	6
2.1.3 Tuğla	7
2.1.4 Harçlar	9
2.2 Çerçeve Sistemli Yapılar.....	10
2.2.1 Ahşap	10
2.2.2 Metal	12
2.3 Karma Sistemli Yapılar	15
3 TARİHİ YAPILARDA HASAR NEDENLERİ	16
3.1 Zeminden Kaynaklı Hasarlar	16
3.2 Taşıyıcı Sistem ve Plan Tasarımındaki Düzensizlik ve Hatalar.....	22
3.3 Niteliksiz ve Hatalı Malzeme Kullanımı	24
3.4 Yapının Yapım Aşamasında Kötü İşçilik ve Detay Kullanılması	25
3.5 Doğal Afetler.....	26
3.5.1 Deprem.....	27
3.5.2 Yangın	30
3.5.3 Sel	31
3.6 Uzun Süreli Doğal Etkenlere Maruz Kalma	32
3.6.1 Hava Kirliliği ve Sıcaklık Değişimleri	32

3.6.2 Su ve Nem	33
3.6.3 Rüzgar	34
3.7 İnsanların Neden Olduğu Hasarlar	34
3.7.1 Yapıya Uygun Olmayan Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Kullanılması	34
3.7.2 Bakımsızlık, Yapının Kullanılmaması ve Vandalizm	35
3.7.3 Savaş	37
3.7.4 Bayındırlık Etkileri	38
3.7.5 Trafik ve Titreşim	38
4 TARİHİ YAPILARDA HASAR ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	39
4.1 Yapı İle İlgili Gözlem, Durum Analizi ve Belgeleme	39
4.1.1 Makro Gözlem	39
4.1.2 Mikro Gözlem	40
4.2 Zemin İncelemesi	40
4.2.1 Arazi Çalışmaları	40
4.2.2 Sondaj Çalışmaları	41
4.2.3 Arazi Deneyleri	41
4.3 Alan ve Laboratuvar Deneyleri	43
4.3.1 Alan Deneyleri	43
4.3.2 Laboratuvar Deneyleri	48
4.4 Sayısal Analiz Yöntemi	51
5 TARİHİ YAPILARDA UYGULANAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME METOTLARI	52
5.1 Basit Müdahale	52
5.2 Esaslı Müdahale	52
5.2.1 Sağlamaştırma	52
5.2.2 Bütünleme	74
5.2.3 Yenileme	74
5.3 Yeniden Yapım	75
6 TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ÖRNEKLERLE İNCELENMESİ	76
6.1 Parthenon- Yunanistan	78
6.2 Pisa Kulesi –İtalya	87
6.3 Metropolitan Katedrali-Mexico City	97
6.4 Noto Katedrali (Myra Aziz Nikolaos Katedrali)-İtalya	105

6.5 Santa Maria dei Miracoli Kilisesi-Venedik	116
6.6 Santa Maria Kilisesi Paganica-İtalya	123
6.7 Kasthamandap Tapınağı-Nepal	135
6.8 San Marco Çan Kulesi- Venedik.....	142
6.9 Saint Peter Beauvais Katedrali -Fransa	151
6.10St. Francis Assisi Bazilikası-İtalya	158
6.11Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası.....	170
7 SONUÇ VE ÖNERİLER	178
KAYNAKÇA	186
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	204



SİMGE LİSTESİ

C°	Celsius
°	Derece
G	Gram
CaCl ₂ .6 H ₂ O	Kalsiyum klorür hegzahidrat
Kg	Kilogram
khz	Kilohertz
KN	Kilonewton
Mpa	Megapascal
m	Metre
m ²	Metrekare
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
N	Newton
s	Saat
sn	Saniye
cm	Santimetre
cm ²	Santimetrekare
NaCl	Sodyum Klorür
Ca(OH) ₂	Sönmemiş kireç (kalsiyum oksit)
h	Yükseklik
%	Yüzde
yy	Yüzyıl

KISALTMA LİSTESİ

CNC	Sayısal Kontrol
CPT	Koni Penetrasyon Deneyi
CTP	Cam Elyaf Takviyeli Plastik
FEM	Sonlu Eleman Yöntemi
FRP	Fiber Takviyeli Polimer
ICFEP	Imperial College Finite Element Program
ISMES	Istituto Sperimentale Modelli e Strutture
MÖ	Milattan Önce
MS	Milattan Sonra
MSGSÜ	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
PSD	Güç Spektral Yoğunluğu
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
UNESCO	Birleşmiş Milletler Eğitim Bilim ve Kültür Örgütü
XRD	X-Işını Kırınım Yöntemi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Taş Yığma Yapı, Ahşap Eseler Müzesi, Eskişehir.....	5
Şekil 2.2 Kepiç Yapı, Mali [11].....	7
Şekil 2.3 Tuğla Yapı, Lübeck, Almanya [12].....	8
Şekil 2.4 Ahşap Yapı, Büyükkada Rum Yetimhanesi [7].....	11
Şekil 2.5 Demirin Köprülerde Kullanılması; Coalbrookdale Köprüsü [7].....	13
Şekil 2.6 Kenet Demiri [20].....	14
Şekil 2.7 Demirin Gergi Sistemi, Kazdağlıoğlu Camii, Safranbolu.....	15
Şekil 2.8 Karma Sistem, Safranbolu Evi.....	15
Şekil 3.1 Oturma Kaynaklı Çatlaklar [27].....	17
Şekil 3.2 a)Yapılarda Oturma Şeması ;b) Homojen Olmayaz Zeminlerde Çatlak Şeması [27].....	18
Şekil 3.3 Duvarlardaki Çatlak Tipleri [10].....	20
Şekil 3.4 Zemin Oturması Sonucu Yapının Duvarlarında Oluşan Çatlaklar, Val de Loire, Fransa [29].....	20
Şekil 3.5 Tonozda Meydana Gelen Çatlak, Mimar Sinan Çifte Hamamı [33].....	21
Şekil 3.6 Kubbede Meydana Gelen Dairesel Çatlaklar, Fatih Külliyesi [33].....	21
Şekil 3.7 Düşeyden Sapma, Sivas Ulu Camii Minaresi [34].....	22
Şekil 3.8 Tarihi Yapılarda Ayrılma, Hosh al-Basha, Mısır [35].....	23
Şekil 3.9 Ayasofya [36].....	23
Şekil 3.10 San Marco Çan Kulesi'nin 1902'de Yıkılması, Yetersiz Temel Boyutlandırma [37].....	24
Şekil 3.11 Niteliksiz Taş Kullanılması Sonucu Yapıda Oluşan Hasarlar, Havana'da Tarihi Yapı [7].....	25
Şekil 3.12 Yanlış Tuğla Örümü.....	25
Şekil 3.13 a) Duvarda Tek Yönde; b) İki Yönde Şişme Durumu [4].....	26
Şekil 3.14 Süunlarda Kayma [33].....	26
Şekil 3.15 Van'daki Depremler Sonucu Zoradır Surp Eçmiadzin Ermeni Kilisesi'nin Hasar Görmesi [38].....	27
3.16 a) 45 Derecelik Deprem Çatlağı Şematik Gösterimi; b) 45 Derecelik Deprem Çatlağı [39].....	28
Şekil 3.17 a) Depremde Duvarlarda Oluşan Kesme Çatlakları Şematik Gösterimi b) Depremde Duvarlarda Oluşan Kesme Çatlakları -Halil Ağa Camii [21].....	28

Şekil 3.18 1999 Depreminde Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Kemerinde Oluşan Hasar [41].....	29
Şekil 3.19 Tarihi Yapıların Taşıyıcı Sistemlerinde Görülen Çatlak ve Deformasyonlar [22].....	30
Şekil 3.20 a) Notre Dame Katedrali; b) Notre Dame Katedrali 'nde Çıkan Yangın [43].....	31
Şekil 3.21 Venedik Su Baskını [44].....	32
Şekil 3.22 Sivas Ulu Camii Parça Kopması [34].....	33
Şekil 3.23 Su ve Nemden Dolayı Ahşap Elemanlarda Bozulma, Büyükada Rum Yetimhanesi [33].....	33
Şekil 3.24 Kayseri Melik Gazi Türbesi Derzlerin Boşalması [46].....	34
Şekil 3.25 Sakarya, Taraklı Tarihi Evde Bakımsızlıktan Dolayı Yapının Hasar Görmesi.....	36
Şekil 3.26 Tescilli Kağıthane Su Sarnıcı Bakımsızlık ve Yapının Kullanılmamasından Dolayı Hasar Alması (2020 yılına ait fotoğraf).....	36
Şekil 3.27 Tescilli Kağıthane Su Sarnıcı Vandalizm Sonucu Zarar Görmesi (2020 yılına ait fotoğraf).....	37
Şekil 3.28 a) Halep Ulu Camii Savaş Öncesi ; b) 2013 Yılından Savaş Sonrası Halep Ulu Camii.....	37
Şekil 4.1 SPT Deneyi [49].....	41
Şekil 4.2 CPT deneyi [49].....	42
Şekil 4.3 Yüzey Sıcaklığı ve Nemin Belirlenmesinde Kullanılan Alet [40].....	44
Şekil 4.4 Ultra Ses Deneyi [7].....	44
Şekil 4.5 Ultra Ses Deneyinde Çatlak Derinliği ve Yönün Belirlenmesi [40].....	45
Şekil 4.6 P Tipi Schmidt Çekici Testi Uygulaması [30].....	45
Şekil 4.7 Kocaeli Ulugazi İlkokulu Kızılötesi Kamerayla Yapılan Ölçümler ve Tespitler Bodrum Kattaki Problemler [51].....	46
Şekil 4.8 Yapı İçinde ve Dışında Georadar Uygulaması [8].....	46
Şekil 4.9 Basınç Deneyi [40].....	47
Şekil 4.10 Yerinde Kayma Deneyi [40].....	47
Şekil 4.11 Tarihi Yapılarda Endoskopi Yöntemi [7].....	48
Şekil 4.12 St. Jean Kilisesi' den Alınan Harcın X Işınım Kırınımı Grafiği (Alınan Numunelere Göre Malzemede Bulunan Elementler Belirlenmesi) [52].....	49
Şekil 5.1 Donatılı Derz İşlemi [41].....	54
Şekil 5.2 a) Kağıthane Tarihi Çamaşırhane Binası'nda Enjeksiyon Yöntemi ; b) Enjeksiyon Boruları.....	56
Şekil 5.3 Dikiş Yöntemi [29].....	57

Şekil 5.4: Notre Dame Katedrali Uçan Payanda Sistemi [44].....	57
Şekil 5.5 Kağıthane Tarihi Çamaşırhane Binası Gergi Uygulaması.....	58
Şekil 5.6 Çemberlitaş Çemberleme Yöntemi [59].....	59
Şekil 5.7 Çelik Hasır ile Güçlendirme [41].....	60
Şekil 5.8: Sivas Divriği Ulu Camii Ek Kütle Eklenerek Kesit Genişletme [60]	60
Şekil 5.9 a) FRP Izgara Sistemi File; b) FRP Tamir Harcı ile Uygulama.....	61
Şekil 5.10 Hasanpaşa Gazhane Binası'nda Uygulanan FRP Izgara Sistemi.....	61
Şekil 5.11 FRP şerit yöntemi [63].....	62
Şekil 5.12 FRP Kumaş ile Güçlendirilmesi [64].....	62
Şekil 5.13 FRP Halat Yöntemi [62].....	63
Şekil 5.14 Çelik levha ile güçlendirilmesi [22].....	63
Şekil 5.15 Mihrimah Sultan Camii 'nde Kullanılan Çekme Çemberi [65].....	64
Şekil 5.16 Pisa Kulesi Zemin Sabitleme Yöntemi [66].....	64
Şekil 5.17 Jet grout Uygulama Yöntemi [69].....	65
Şekil 5.18: Mini Kazık Uygulaması [74].....	70
Şekil 5.19 Tip 1 Mini Kazık [74].....	70
Şekil 5.20 Tip 2 Mini Kazık [74].....	71
Şekil 5.21 a) Tarihi Yapıların Cephesinin Ahşap Geçici Takviye ile Desteklenmesi, b) Çelik Geçici Takviye ile Desteklenmesi [75].....	72
Şekil 5.22 Çanakkale Herodes Atticus Hamamı Kemerleri' nin Çelik Konstrüksiyon ile Desteklenmesi [76].....	73
Şekil 5.23 San Francisco Sanat Müzesi Sismik Yalıtım Uygulaması [77].....	73
Şekil 6.1 Parthenon Tapınağı[81].....	78
Şekil 6.2 Parthenon Plan Şeması [81].....	79
Şekil 6.3 Parthenon'nun 1922 Restorasyonundan Önce Kuzey Cephesinin Durumu [85].....	80
Şekil 6.4 a) Parthenon Tapınağı'nın 1890 Yılındaki Durumu, b) 1922-1930 Yılları Arasında Geçirdiği Onarımlar Sonrası Görünümü [85].....	80
Şekil 6.5 a) Nikolaos Balanos'un Akropolis Restorasyonunda Kullandığı Demir Kenet Uygulaması, b) Atmosferik Etkenlerden Dolayı Mermer Dokuda Çatlaklar [86].....	81
Şekil 6.6 Manolis Korres Tarafından Sütunlar İçin Tasarlanan Cihaz [81].....	83
Şekil 6.7 Parthenon'da Yeni ve Eski Mermerinin Birlikte Kullanımı [84].....	84
Şekil 6.8 Parthenon'da Dionysos Mermerinin Yapıda Kullanılması [82].....	84
Şekil 6.9 a) Parthenon'da Sütunlarda Uygulanan Enjeksiyon İşlemi; b) Enjeksiyon Boruları [82].....	85

Şekil 6.10: a) Parthenon’da Kolonlarda Titanyum Takviyesi Kullanılması, b) Titanyum ile Birleştirme [89].....	85
Şekil 6.11 Parthenon’da Demir Kenetler Kaldırılarak Yerine Titanyum Kenetler Kullanılması [82].....	86
Şekil 6.12 Parthenon’nun Kuzey Cephesindeki Balanos Restorasyonunda Elemanın Yanlış Yerleştirilmesi (her sütun, bitişik saçaklığına uygun bir renk olmalıdır) [89].....	86
Şekil 6.13 2010 yılına ait Parthenon’nun Kuzey Cephesindeki Çalışma [89].....	87
Şekil 6.14 Pisa Kulesi Genel Görünüm [92].....	87
Şekil 6.15 a) Pisa Kulesi Plan, b) Temel Kısmi Kesiti [92].....	88
Şekil 6.16 Pisa Kulesinin Yıllara Göre Yapımı ve durumu [92].....	89
Şekil 6.17 Pisa Kulesi’ nin 1934 Yılındaki Eğikliği [97].....	90
Şekil 6.18 Pisa Kulesi Zemin Katmanı [97].....	91
Şekil 6.19 Edmund Küçük Ölçekli Fiziksel Test Modeli [98].....	91
Şekil 6.20 Edmund Küçük Ölçekli Fiziksel Test Yükleme Testi Sonucu Çıkan Eğim [98].....	92
Şekil 6.21 Pisa Kulesi FEM Model Ağ Sistemi [72].....	93
Şekil 6.22 FEM Model Sistemi Temelde Gösterimi [99].....	93
Şekil 6.23 Pisa Kulesi FEM Model Sistemine Göre Oturma ve Eğim Grafiği [99].....	94
Şekil 6.24 Pisa Kulesi FEM Model Sistemine Göre Ağırlık ve Düşeyden Sapma Grafiği [99].....	94
Şekil 6.25 Pisa Kulesi Çelik Kablo Uygulaması [101].....	95
Şekil 6.26 Pisa Kulesi’ nde Kullanılan Geçici Kurşun Ağırlıklar [101].....	95
Şekil 6.27 Pisa Kulesi Zemin Boşaltma Yöntemi [102].....	96
Şekil 6.28 Pisa Kulesi Zemin Boşaltma Şematik Gösterimi [97].....	96
Şekil 6.29 Mexico City Metropolitan Katedrali [103].....	97
Şekil 6.30 Mexico City Metropolitan Katedrali Zemin Yapısı [106].....	98
Şekil 6.31 1989 yılında Metropolitan Katedrali Zemindeki Farklı Oturma Değerleri[104].....	100
Şekil 6.32 Metropolitan Katedrali’nde Yaklaşık 20 m Derinlikde 30 Şaftın Şeması [108].....	101
Şekil 6.33 20 derece Eğimle ile Yerleştirilen Zemin Boşaltma Sistemi [108]... 	101
Şekil 6.34 a) Metropolitan Katedrali Kurulan İç İskele ve Yapısal Destekler, b) Dış İskele ve Yapısal Destek [108].....	102
Şekil 6.35 1993 yılında Metropolitan Katedrali Zemin Boşaltma Uygulamasından Başladığındaki Zemindeki Farklı Oturma Değerleri [107].....	103

Şekil 6.36	1998 yılında Metropolitan Katedrali Zemin Boşaltma Bittiğinde Zemindeki Farklı Oturma Değerleri [107].....	103
Şekil 6.37	Metropolitan Katedrali'ndeki Sütun Üst Kısımlarındaki Sorun [110].....	104
Şekil 6.38	Metropolitan Katedrali'ndeki Sütun Derzlerindeki Taş Takozlar [110].....	104
Şekil 6.39	Metropolitan Katedrali'nin İçinde Asılı Duran Sarkaç [111].....	105
Şekil 6.40	a) Noto Katedrali Ön Cephe; b) Meydan Görünümü [112].....	106
Şekil 6.41	Noto Katedrali Payanda, Travers ve Şapelin Planda Görünümü [116].....	107
Şekil 6.42	Noto Katedrali'ndeki Payandalar [116].....	107
Şekil 6.43	Noto Katedrali Tarihsel Olarak Yapıda Yapılan Uygulamalar [116]	108
Şekil 6.44	1950 'li Yıllarda Noto Katedrali'nde Düz Betonarme Döşemeli Çatı Uygulaması [120].....	109
Şekil 6.45	1996 Yılındaki Noto Katedrali'nin Yıkılması [121].....	109
Şekil 6.46	Noto Katedral'inde Yapılan Malzeme Test Örneği [122].....	111
Şeki 6.47	Noto Katedrali'nde Özgün Ahşap Çatının Yapılması [124].....	112
Şekil 6.48	Noto Katedrali Orta Nefin Yapılışı [125].....	113
Şekil 6.49	Noto Katedrali'nde Kemerlerin Yapım Aşaması [125].....	113
Şekil 6.50	Nota Katedrali'nde Yapılan FEM Analiz Örneği [126].....	114
Şekil 6.51	Noto Katedrali Temel Güçlendirme Planı [126].....	114
Şekil 6.52	a) Noto Katedrali Temel Bağlantı Çubukları, b) Ters Kemer Sistemi [126].....	115
Şekil 6.53	Noto Kubbe Restitüsyon Çalışması [125].....	115
Şekil 6.54	a) Miracoli Kilisesi Dış; b) İç Görünümü [129].....	116
Şekil 6.55	Mirocoli Kilisesi Sol Cephe (Kanal Cephesi) Yapılan Araştırma Sonucu Veriler [130].....	117
Şekil 6.56	Mirocoli Kilisesi Sağ Cephesinde Yapılan Araştırma Sonucu Veriler [130].....	118
Şekil 6.57	Koruma İşleminde Önce Miracoli'nin Tuz Birikintileri ve Yüzey Kiri İçeren Dış Görünümü [134].....	119
Şekil 6.58	Mirocoli Kilisesi'nde Yüksek Nem ve Sıcaklığın Yoğunlaştığı Planda Gösterimi [128].....	120
Şekil 6.59	Miracoli Kilisesi Kanal Cephesi Yüksek Nem ve Sıcaklığın Yoğunlaştığı Kısımlar [128].....	120
Şekil 6.60	Miracoli Kilisesi Sağ Cephesinde Yüksek Nem ve Sıcaklığın Yoğunlaştığı Kısımlar [128].....	121
Şekil 6.61	Miracoli Kilisesi Mevsimlere Göre Yoğunlaşma [128].....	121

Şekil 6.62 Miracoli'nin Mermerlerinin Tuz Birikintileri Arındırma İşlemi [134].....	122
Şekil 6.63 Tuzdan Arındırma İçin Mermer Levhalar Kaldırıldıktan Sonra Miracoli Duvarı [134].....	123
Şekil 6.64 : Santa Maria Paganica Kilisesi Ön Cephesi [139].....	124
Şekil 6.65 Santa Maria Paganica Kilisesi [139].....	125
Şekil 6.66 Santa Maria Paganica Kilisesi Şematik Yapım Aşaması (hem planda hem de kesitte) [140].....	126
Şekil 6.67 Santa Maria Paganica Kilisesi 2009 Depremi' den Sonraki Çökmüş Hali [139].....	127
Şekil 6.68 a) Santa Maria Paganica Kilisesi Yığma Nef Duvar Birleşim Detayı b) Kesiti [140].....	128
Şekil 6.69 Santa Maria Paganica Kilisesi'ndeki Çatlaklar [140].....	128
Şekil 6.70 Santa Maria Paganica Kilisesi'nin Çatısında Kullanılan Betonarme Döşeme Parçaları [140].....	129
Şekil 6.71 FRP Sisteminin Yapıda Uygulanması [145].....	129
Şekil 6.72 Santa Maria Kilisesi'nde Kullanılan FRP Sistemi [145].....	130
Şekil 6.73 Santa Maria Kilisesi'nde Yapı 1 ve 2 için Kullanılan Düzlem Çerçevesler (boyut metre olarak) [145].....	131
Şekil 6.74 Santa Maria Kilisesi'nde Yapı 3 ve 4 için Kullanılan Düzlem Çerçevesler (boyut metre olarak) [145].....	131
Şekil 6.75 Santa Maria Paganica Kilisesi FEM model analizi [146].....	132
Şekil 6.76 Santa Maria Paganica Kilisesi Yapı 1 bölümü (Nef Bölümünden) Montaj Aşaması [147].....	133
Şekil 6.77 Santa Maria Paganica Kilisesi Yapı 2 bölümü (Apsis bölümünden) Montaj Aşaması [145].....	133
Şekil 6.78 Santa Maria Paganica Kilisesi Yapı 3 Bölümü Montaj Aşaması [145].....	134
Şekil 6.79 Santa Maria Paganica Kilisesi 'nin FRP Sistemi Yapı Bölümlerine Göre Gösterimi [145].....	134
Şekil 6.80 Santa Maria Paganica Kilisesi FRP Sistemi'nin Kesitte Görünümü [147].....	135
Şekil 6.81 Santa Maria Paganica Kilisesi FRP Sisteminin Planda Uygulama Şekli [147].....	135
Şekil 6.82 Sonrası Kasthamandap 2015 Deprem Öncesi, b) Deprem Sonrası Kasthamandap [150].....	136
Şekil 6.83 Kasthamandap Zemin Kat Planı [151].....	137
Şekil 6.84 Kasthamandap Birinci Kat ve İkinci Kat Planı [151].....	137
Şekil 6.85 Kasthamandap Kesit ve Görünüş [151].....	138

Şekil 6.86 Kasthamandap Ahşap Eleman Detayı [151].....	138
Şekil 6.87 Genel Güney Asya Temel Tapınak Şeması (Mandala) [152].....	139
Şekil 6.88 2016 yılı kazılarında Kashtmandap Temelinde Mandala Şemasının Bulunması [152].....	139
Şekil 6.89 Kasthamandap Yapılan Testler [153].....	140
Şekil 6.90 Kasthamandap'ın Temellerinde Tespit Edilen Dikey Çatlaklar [149].....	141
Şekil 6.91 Kasthamandap Restitüsyon Çalışması [155].....	142
Şekil 6.92 San Marco Meydanı ve Çan kulesi [157].....	143
Şekil 6.93 San Marco Çan Kulesi [157].....	143
Şekil 6.94 a) San Marco Çan Kulesi 1489 Yılından Önceki, b) 1514'te ki Görünümü [156].....	144
Şekil 6.95 San Marco Çan kulesi Kesit ve Planlar [156].....	144
Şekil 6.96 San Marco Çan Kulesinin Çöküşünden Sonra Meydan [37].....	145
Şekil 6.97 a) San Marco Çan Kulesi'nin 1902-1911 Yılları Arası Yeniden İnşa Edilmesi, b) 1911 yılından San Marco Çan Kulesi Çalışması [37]...	146
Şekil 6.98 a) 1903 Yılında Yapılan Çalışmalarda Ortaya Çıkan San Marco Çan Kulesi' nin Eski Temelleri, b) 1903 Yılında San Marco Temel Çalışması [37].....	147
Şekil 6.99 San Marco Çan Kulesindeki Basamaklarda Oluşan Çatlaklar [161].	148
Şekil 6.100 a) San Marco Çan Kulesi Çevresinde CPT Testleri , b) Çevresinde Yapılan Çalışmalar [161].....	148
Şekil 6.101 San Marco Çan Kulesi'nin Temelinin Değerlendirilmesi İçin Alınan Numunelerin Kesitte Gösterimi [161].....	149
Şekil 6.102 San Marco Çan Kulesi'nin Temeline Titanyum Çubukların Montajı [161].....	150
Şekil 6.103 San Marco Çan Kulesi'nde Yapılan Temel Güçlendirme Çalışması Kesitte Gösterimi [161].....	150
Şekil 6.104 Beauvais Katedrali ve Çevresi [163].....	151
Şekil 6.105 Beauvais Katedrali Görünüş [163].....	151
Şekil 6.106 Beauvais Katedrali Mevcut Planı [167].....	152
Şekil 6.107 Beauvais Katedrali İlk Tasarım Planı [163].....	152
Şekil 6.108 2. Dünya Savaşı'ndan Sonra Zarar Gören Beauvais Katedrali [163].....	154
Şeki 6.109 Beauvais Katedrali Uçan Payandalar Arası Demir Gergiler [167]...	154
Şekil 6.110 Beauvais Katedrali Demir Halka ve Bağlantı Elmanları İle Güçlendirilmesi [167].....	155
Şekil 6.111 Beauvais Katedrali'nde Kullanılan Demir Kenetler [167].....	155

Şekil 6.112	Beauvais Katedrali'nde Sütunlarda Alınan Önlemler [174].....	156
Şekil 6.113	Beauvais Katedrali'nde Kullanılan Geçici Ahşap Kafes Kiriş Sistemi [174].....	157
Şekil 6.114	3-D Model Sistemi Beauvais Katedrali'nin Taraması [174].....	158
Şekil 6.115	3-D model Sistemi Beauvais Katedrali'nin Taraması ile Sütundaki Kaymanın Tespiti [174].....	158
Şekil 6.116	St. Francis Assisi Bazilikası [175].....	159
Şekil 6.117	St. Francis Bazilikası 1997 yılında Yaşadığı Hasarlar [66].....	160
Şekil 6.118	St. Francis Bazilikası 'nın Çökmesi ve Umbria Televizyonu Tarafından Kayıdı [66].....	161
Şekil 6.119	St. Francis Bazilikası 'nın Tonozlarının Çökmesi [66].....	162
Şekil 6.120	St. Francis Bazilikası'nda Tonozlarda Oluşan Çatlaklar ve Deformasyonlar [66].....	162
Şekil 6.121	St. Francis Bazilikası'nda Tonozu Çatıya Asmak İçin Geçici Yay Sistemi [66].....	163
Şekil 6.122	St. Francis Bazilikası'nda Çelik Asma Köprü Uygulaması [178]....	164
Şekil 6.123	St. Francis Bazilikası'nda Typanum(alın duvar/ kalkan duvar) Hasar [179].....	165
Şekil 6.124	St. Francis Bazilikası'nda Typanum'da Çelik Kafes Sisteminin Konulması [66].....	165
Şekil 6.125	St. Francis Bazilikası: Kemer Sırtları Üzerindeki Nervür Ağı [102]	166
Şekil 6.126	St. Francis Bazilikası'nda Kullanılan Ahşap Nervür Şeritler [102]	166
Şekil 6.127	St. Francis Bazilikası'nda Nervürler Üzerinde Yapılan Laboratuvar Testleri [102].....	167
Şekil 6.128	St. Francis Bazilikası'nda Nervürlerin Yay ve Bağlantı Çubukları Çatıya Bağlanması [179].....	167
Şekil 6.129	Sismik Etkide AltındaTonozlardaki Deformasyon Modeli- St Francis Assisi Bazilikası [66].....	168
Şekil 6.130	St Francis Assisi Bazilikası'nda Ana Kemerlerde Uygulanan Takviye [179].....	168
Şekil 6.131	St Francis Assisi Bazilikası'nda Tonoz Stabilizasyon Sisteminin Bir Parçası Olarak, Yay ve Amortisör Sistemi [181].....	169
Şekil 6.132 a)	St. Francis Bazilikası Tonozu'nda Enjeksiyon Boruları, b) Enjeksiyon Uygulaması [66].....	169
Şekil 6.133 a)	St. Francis Bazilikası'nda Typanum ve Tonoz Arasında Kullanılan Bağlantı Elemanları, b) Typanum Çalışması [178].....	170
Şekil 6.134	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası [182].....	171

Şekil 6.135 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi'nin Ahşap Kirişli Döşemelerinin Betonarme Döşemeye Çevrilmeden Önceki Hali [182].....	172
Şekil 6.136 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi Zemin Kat Planı [184].....	173
Şekil 6.137 a) Fakülte'nin Koridordaki Planda Çatlakların Olduğu Bölüm, b) Koridordaki Çatlak [182].....	174
Şekil 6.138 Fakülte 'nin 2. kat Dekanlık Bloğu (B2) Hasar Gören Kısımlar [181].....	175
Şekil 6.139 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi'nde Betonarme Kirişli Döşeme ile Yığma Duvar Arasında Oluşan Çatlaklar ve Ayrılmalar [182].....	175
Şekil 6.140 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi'nde Yan Dış Cephesindeki Çatlaklar [182].....	176



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Tarihi Yapılarda Kullanılan Taşların Fiziksel Özellikleri	6
Tablo 2.2	Kerpiğin Fiziksel Özellikleri	7
Tablo 2.3	Tuğlanın Fiziksel Özellikleri	8
Tablo 2.4	Harcın Fiziksel Özellikleri	9
Tablo 2.5	Ahşabın Fiziksel Özellikleri.....	11
Tablo 2.6	Metalin Fiziksel Özellikleri.....	13
Tablo 4.1	Kağıthane Su Sarnıcı'nda Alınan Numunelerin Tuz Analizi –KURAM Raporu.....	50
Tablo 4.2	Kağıthane Su Sarnıcı'nda Alınan Numunelerin Kızdırma Kaybı, Asitle Muamele ve Elek Analizi –KURAM Raporu.....	51
Tablo 6.1	Tez Kapsamında İncelenen Yapılarda Hasar Nedenleri	78
Tablo 7.1	Tez kapsamında İncelenenYapılardaki Hasar Türleri, Onarım ve Güçlendirme Yöntemi ve Yöntem Sonucu Yaşanan Sorunlar.....	181

TARİHİ YAPILARDA GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Y. Hazel YILDIRIM

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Ali Osman KURUŞCU

Asırlar boyunca doğal ve yapay etkenlere maruz kalan tarihi yapılarda bu etkilere bağlı olarak zamanla birçok hasar oluşmaktadır. Bu hasarlar; oluştuğu yere, biçimine ve yapının genel özelliğine göre değişmekte olup yapıların zarar görmesine, yıkılmasına ve yok olmasına neden olabilmektedir. Özellikle koruma ve müdahale aşamasında bu hasar biçimleri doğru bir şekilde yorumlanması gerekmektedir. Bilinçsiz ve yapıya uygun olmayan onarım ve güçlendirme girişimleri yapılarda hasarların tekrarlaması, büyümesi veya başka sorunlar neden olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme metotları incelenmiş bu bağlamda ülkemizden ve dünyadan incelenen tarihi yapılarda, uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinin etkinliği irdelenmiştir. Yapıya uygun olmayan onarım ve güçlendirme yönteminin tarihi yapıya daha çok zarar verdiği tez kapsamında ele alınan yapılar üzerinden anlatılmıştır.

Bu araştırmalar neticesinde,

- hasarlara müdahale ederken hasar nedenleri belirlenmesi,
 - birçok disiplinin bir arada çalışarak onarım ve güçlendirme projesinin hazırlanması,
 - uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemin yapı sistem ve malzemesine uygunluğuna dikkat edilerek seçilmesi,
 - tercih edilen yapısal güçlendirme ve onarım metodunun birçok analiz, deney ve testlerden geçmesi,
 - uygulanacak onarım ve güçlendirme çalışmasının özgün tasarıma uygun ve geri dönülebilir özellikte olması,
- gerektiği gösterilmek istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, hasar nedenleri, onarım ve güçlendirme metotları

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF STRENGTHENING METHODS IN HISTORICAL BUILDINGS

Y.Hazel YILDIRIM

Department of Architecture

Master's Thesis

Supervisor: Dr.Öğr.Üyesi Ali Osman KURUŞCU

Historical buildings, which have been exposed to natural and artificial factors for centuries, cause many damages over time due to these effects. These damages; it changes according to the place where it occurs, its form and the general characteristics of the building and causes damage, collapse and destruction of the structures. Especially in the protection and intervention phase, these damage forms need to be interpreted correctly. Unconscious and unsuitable repair and reinforcement attempts may cause repetition of damage, growth or other problems in structures.

In this study, the repair and strengthening methods applied in historical buildings were examined and in this context, the effectiveness of the strengthening methods applied in exemplary historical buildings from our country and the world was examined. It has been shown through examples that the repair and strengthening method, which is not suitable for the structure, causes more damage to the historical structure.

As a result of these studies,

- the causes of damage should be determined while responding to the damage,
- preparation of repair and strengthening projects by working together with many disciplines,
- the applicability of the applied repair and strengthening method to the building system and material should be considered,
- the preferred structural strengthening and repair applications should go through many analyzes, experiments and tests,
- that the repair and strengthening work to be applied is in accordance with the original design and is reversible

it was aimed to show.

Keywords: Historical buildings, cause of damage, repair and strengthening methods

1.1 Literatür Özeti

İnsanlık tarihinin başladığı günden bugüne kadar binlerce yıllık tarih içinde insanın doğrudan ya da doğa ile birlikte yarattığı değerlere tarihi yapı denmektedir [1]. Tarihi yapılar; sosyolojik, ekonomik, kültürel ve politik öğeleri içerisinde barındırarak geçmiş ile bugün, bugün ile gelecek arasında önemli bir bağ olup kültürel mirasımızın en önemli parçalarıdır. Bu yapıların bugüne kadar ulaşmış olanlarının korunması ve gelecek nesillere aktarılması oldukça önemli bir durumdur. Onlara gösterdiğimiz özen, tarihimize verdiğimiz değerle alakalıdır. Asırlardır ayakta duran tarihi yapılar; zamanın vermiş olduğu yıpratıcı etki, olumsuz çevre koşulları, fiziksel ve kimyasal bozulmalar, yer altı su seviyesindeki değişimler, doğal afetler, uygun olmayan ve hatalı müdahaleler gibi nedenlerden dolayı büyük tehlike altındadır. Bu sebeplerden dolayı yapılarda oldukça büyük hasarlar oluşmakta olup hatta tarihi yapıların yok olmasına neden olmaktadır [2, 3].

Her bir tarihi yapının kendine özgü mimari değeri olduğu gibi kullanılan malzeme, yapım teknikleri, taşıyıcı sistem özellikleri, maruz kaldığı olumsuz etkiler ve oluşan hasarlar da farklıdır. Bu nedenle müdahale edilecek her yapı için ayrıntılı bir çalışma yapılmalıdır.

Tarihi yapılarda oluşan hasarların biçimleri ve sebepleri çok iyi bilinerek yapılacak onarım ve güçlendirme tekniği dikkatli seçilmelidir. Hasar almış bir tarihi yapının kapsamlı bir araştırma, analiz, testlerden geçmeli ve birçok disiplinin bir arada çalışarak oluşturduğu proje ile yapıda doğru onarım ve iyileştirme metodu uygulanmalıdır. İlk olarak, yapıda, zemin ve malzeme etütleri gerçekleştirmelidir. Yapının amaca uygun mukavemet düzeyi belirlenmeli, taşıyıcı sisteminin mevcut durumu değerlendirilmeden müdahaleler yapılmamalı, zemin durumu ve temel stabilitesi incelenmelidir. Günümüzdeki teknik donanım ve programlardan da

yararlanarak bilgisayar ortamında 3-boyutlu yapısal davranış analizleri, sonlu elemanlar analizi vb. yöntemlerden yararlanılarak yapıların davranışları incelenmeli yapılacak müdahaleler bu doğrultuda belirlenmelidir. Özellikle hasar sebepleri ortadan kaldırılması temel hedef olmalıdır. Bu hedefe ulaşmadan yapılan müdahalelerin çözüme yeteri kadar katkı sağlamamakta olup hatta yapı stabilitesinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir.

Bu tez yedi bölümden oluşmaktadır. Bu tez kapsamında, tarihi yapılarda kullanılan malzeme ve sistem türleri, tarihi yapılarda görülen hasar nedenleri, hasar analiz yöntemleri ve tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme teknikleri anlatılmıştır. Daha sonra ülkemizden ve dünyadan seçilip incelenen yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinin etkinliği değerlendirilmiş ve bu uygulamalarda yapılan uygun olmayan yöntemlerden bahsedilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen yapılar, ülkemiz ve dünya tarihinde önemli bir yer elde etmiş olup zaman içerisinde yapılan müdahaleler ile modern koruma ve restorasyon çalışmalarında öncü olmuş yapılardır. Bu yapılarda yeni geliştirilen onarım ve güçlendirme teknikleri kullanıldığı gibi çoğu zaman deneme-yanılma yöntemi ile müdahaleler yapılmıştır. Tarihi eserlerde uygun olmayan onarım tekniğinin doğurduğu sonuçları gösterdiği için koruma, onarım ve güçlendirme konularında birer ders niteliğinde yapılardır. Ayrıca araştırılan bu eserlerde uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinden olan zemin sağlamlaştırma, temel sağlamlaştırma, yenileme ve bütünleme vb. kavramların gelişmesinde katkıda bulunmuş eserlerdir.

Bu değerlendirmeler sayesinde güçlendirme ve onarım metodu seçiminde dikkat edilmesi gereken kısımlar ve izlenecek yol gösterilmek istenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Doğal ve yapay etkenler sonucu eski eserlerde zamanla birçok hasar oluşmaktadır. Bu hasarlar; oluştuğu yere, biçimine ve yapının genel özelliğine göre değişmektedir. Bu hasarlara müdahale aşamasında jeoloji, arkeoloji, inşaat mühendisliği, mimarlık, kimya mühendisliği vb. gibi birçok disiplinin bir arada çalışarak projeler hazırlanır. Özellikle yapısal güçlendirme ve onarım projeleri çeşitli gözlem, deney ve testlerden geçirildikten sonra uygulaması yapılmalıdır.

Çoğu zaman tercih edilen yöntemin kendisi değil yapıya uygun olmayan yöntemin seçimi hatalı sonuçlar doğurmaktadır. Doğru tercih edilmeyen müdahale yöntemi yapıyı korumak yerine daha fazla zarar verebilmektedir.

Araştırma kapsamında ele alınan yapılar, bugün koruma, onarım ve güçlendirme alanında detaylı çalışılan ve bu kavramların gelişmesinde önemli rol oynayan yapılardır. Bu yapılarda uygulanan zemin sağlamlaştırma, temel sağlamlaştırma, yenileme ve yeniden yapım vb. onarım ve güçlendirme metotlarının uygulanmasında yaşanan sorunlar bu alanda çalışanlar için literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Yapılara uygun olmayan veya bilinçsiz yapılan müdahalelerin doğurduğu sonuçlar gösterilmek istenmiştir. Bu tarihi yapılarda yeni yöntemler araştırılmış, geliştirilmiş ve denenmiş ancak bu yöntemlerin uygulanması sonucunda bazen olumlu bazen olumsuz sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar bundan sonra yapılacak olan restorasyon, onarım ve güçlendirme çalışmalarında değerli bilgi alt yapısı oluşmasında önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında; hasarlara müdahale ederken yapının özgün niteliklerini bozmadan, anıtsal değerinin korunmaya çalışılması esas alınarak, onarım ve güçlendirme yöntemi etkinliğini değerlendirerek uygun olan güçlendirme yöntemi seçimini nasıl yapılması gerektiği anlatılmak istenmiştir.

1.3 Hipotez

Tarihi yapılara yapılacak yapısal müdahalenin özenle hazırlanmış bir restorasyon projesi kapsamında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yapıdaki hasarlar araştırılmadan yapılan müdahaleler, bilinçsiz ve hatalı onarım ve güçlendirme girişimleri yapılara zarar vermekte olup hatta göçmesine neden olmaktadır. Bu tez kapsamında seçilip anlatılan yapılarda yapılan onarım ve güçlendirme metotları incelenerek uygulanan yöntemlerin doğurduğu sonuçlara değinilmiştir. Bu doğrultuda tarihi eserlerde yapılacak uygun olmayan ve hatalı müdahalelerin önleneyeği düşünülmektedir. Bu akademik çalışma ile restorasyon projelerinde çalışacak teknik elemanların daha önceden yaşanmış olan hatalı ve uygun olmayan uygulamalardan kaçınmasına yardımcı olacağı hedeflenmektedir.

TARİHİ YAPILARDA YAPIM SİSTEMLERİ VE KULLANILAN MALZEMELER

Fonksiyonel gereksinimler, kullanım amacı, malzeme seçimi, yapım sistemi, teknik bilgi ve deneyime bağlı olarak tarihi yapılar farklı türlerde ve çeşittedir. Bu yapılar çalışma kapsamında kullanılan yapım sistemleri ve kullanılan malzemelere göre incelenecektir.

2.1 Yığma Yapılar

Taş, tuğla, kerpiç vb. gibi malzemeler ile taşıyıcı özellikte olacak şekilde, üst üste konup, harçla bağlanarak oluşturulan duvarlara ve döşemenin bindirme yolu ile monte edilerek oluşturulan sisteme yığma yapı denir. Yığma sisteminde duvarlar hem bölücü hem de taşıyıcı duvarlardır [4]. Yığma yapıya kârgir yapı da denmektedir. Bu kelime Farsça'da taş, tuğla, kerpiç malzeme ile yapılan yapı manasına gelmektedir [5].

Yığma yapı sisteminin malzeme özelliklerinden kaynaklı yapıya etki eden gerilmeler karşısında basınç mukavemetleri yüksek iken çekme mukavemetlerine karşı düşüktür [5]. Bu yüzden yığma yapıların çekme kuvveti taşımadığı varsayılmaktadır.

Yığma yapılarda taşıyıcı sistem geometrisi göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma çizgisel (kemer), düzlemsel (yük taşıyan yığma duvar), hacimsel (tonoz, kubbe) şeklindedir. Ayrıca yapım tekniğine göre ise donatısız, donatılı, kuşatılmış olarak da sınıflandırılabilir ama genelde tarihi yığma yapılar donatısız olarak yani taş, tuğla vb. malzemelerin harç ile örülmesiyle yapılan yapılardır [5].

Tarihi yığma yapılarda en çok kullanılan yapı malzemelerinden olan taş, kerpiç, tuğla ve harçlar alt başlıklarda incelenmiştir.

2.1.1 Doğal Taş Malzeme

Taş; atmosfer etkilerine dayanıklı, akıcı magma tabakasının zamanla soğuması ve sertleşmesi sonucunda oluşan bir malzemedir [6]. Doğada mevcut halde bulunan ya da taş ocaklarından çıkarılmaktadır.

Taş, en eski ve önemli yapıların inşasında özellikle tercih edilen yapı malzemelerinden biridir. Taşın eski eserlerde yaygın olarak kullanılmasının nedeni, kolay erişebilir ve temin edilebilir olmasıdır. Taş, yapıda doğal yollarla ya da kayanın insanlarca oyulup şekillendirilmesi ile taş ocaklarından çıkarıldıktan sonra moloz, kaba yonu, ince yonu ya da kesme taş olarak farklı boyutlarda biçimlendirilmesiyle kullanılır [7, 8].



Şekil 2.1 Taş Yığma Yapı, Ahşap Eseler Müzesi, Eskişehir

Taş, basınç kuvvetlerine karşı dayanıklı ama çekme kuvvetlerine karşı çok zayıftır. Genellikle tarihi yapılarda basınç yüklerini alan duvarlar ve ayaklar taş malzemeden yapılmıştır (Şekil 2.1). Yalnız basınç kuvveti alan kemerler, tonozlar ve kubbelerde taş kullanılır [8, 9]. Tablo 2.1 de tarihi yapılarda en çok kullanılan taşların fiziksel özellikleri ve dayanımları verilmiştir.

Tablo 2.1 Tarihi Yapılarda Kullanılan Taşların Fiziksel Özellikleri [10]

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	15000-70000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç Taşı	18-65	6-20	2-6	10000-55000
Kum Taşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Tüf	6-31	2-6	0-0,2	800 -3000

Taş malzemesinden yapılan yapı elemanlarının mukavemeti genellikle taş-harç kombinasyonunun ortak davranışı ile belirlemektedir.

2.1.2 Kerpiç

Kerpiç; kilin şekillendirilip biçimlendirilerek, başka maddeler de katılıp kurutularak elde edilir. Genellikle kerpiç hamuru elde etmek için bir ölçü kum, yağlı killi toprak ve bir miktar saman ve su katılır. Homojen hale geldiğinde kullanılması gerekmektedir [7]. Şekil 2.2 'de kerpiçten yapılan yapı örneği verilmiştir.

Hazırlanan kerpiç hamuru, genelde ahşap ile oluşturulan iskelet duvar üzeri kalın bir tabaka kerpiç hamuru ile sıvanarak ya da kalıplanıp kurutulmuş bloklar şeklinde kullanılır. Duvar örülürken kerpiç bloklar harç ile birleştirilir [7, 8].



Şekil 2.2 Kepiç Yapı, Mali [11]

Dayanımı ve dayanıklılığı çok düşüktür fakat ekonomik olduğundan tercih edilir. Dayanımını ve dayankılığını kil miktarı, lifli malzemenin cinsi ve oranı etkilemektedir. Tablo 2.2’ de kilin fiziksel özellikleri ve dayanımı verilmiştir.

Tablo 2.2 Kilin Fiziksel Özellikleri [10]

Ortalama Kil	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Kil	0,29-3,00	0,1-0,5	0,1-0,4	250-500

2.1.3 Tuğla

Tuğla, pişmiş veya kurutulmuş kil bazlı yapı malzemesidir. Pişmiş kilden üretilen tuğlalar, görünümleri ve işlevlerine göre sınıflandırılır; fırınlarda yüksek ısı altında pişirilir ya da güneşte kurutularak üretilir [7, 8].



Şekil 2.3 Tuğla Yapı, Lübeck, Almanya [12]

Tuğla ile yapılan yapıların mukavemeti; malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzeni belirlemektedir. Tuğlaların malzeme özelliklerine göre basınç dayanımı, 10 MPa ile 30 MPa arasında bir değerdir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanım özelliğindedir [8].

Tablo 2.3 Tuğlanın Fiziksel Özellikleri [10]

Tuğla Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Dolu Fabrika Tuğlası	10-30	10-20	2,5-5	3000-30000
Delikli Fabrika Tuğlası	8-20	8-15	1,5-4	1500-20000
Dolu Harman Tuğlası	3-5	1-5	0,1-0,5	800-15000
Delikli Harman Tuğlası	2,5-5	0,5-5	0,1-0,4	500-10000

Tarihi yapılarda genellikle harman tuğlası kullanılmaktadır. Bunun nedeni kolay yapılabilir olmasıdır. Harman tuğlası; kil, kiremit tozu, kum gibi maddelerin harman adı verilen yerlerde şekillendirilmesi, kurutulması ya da 600–800 C° gibi ısıda pişirilmesi oluşmaktadır [8]. (Şekil 2.3)

2.1.4 Harçlar

Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, şekil verilebilen, yapışma ve katılaşma özelliği olan malzemeye harç denir [13].

Yapılarda harç kullanımının temel amacı, taş, tuğla, kerpiç gibi belirli büyüklükteki yapı malzemelerinin ve bileşenlerinin birbirileri ile oluşturduğu boşlukları doldurarak yapı elemanları oluşturarak ve bu elemanların bütün olarak davranmasını sağlamaktır. Harcın basınç dayanımı agreganın boyutu ve cinsi, yoğunluğu, bağlayıcının cinsi, su oranı etkilemektedir. Harcın dayanımı; fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra yapının plan şekli, tasarımı, malzemelerinin biribiri ile uyumuna, uygulama şekline, geçirmiş olduğu onarımlar ve oluşan bozulmalar gibi birçok etkene bağlıdır [14]. Tablo 2.4 'de tarihi yapılarda kullanılan harçların fiziksel özellikleri özet halinde verilmiştir.

Tablo 2.4 Harcın Fiziksel Özellikleri [13]

Harcın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Horasan Harcı	6-8	0,1-4	0,1-1
Kireç Harcı	1-2	0,1-1	0,1-0,5

Harçlar, içinde kullanılan bağlayıcı malzemelere göre alçı harcı, kireç harcı, çimento harcı vb. harçları olarak ya da kullanıldıkları yere göre duvar harcı ve sıva harcı olarak adlandırılırlar [13].

Eski eserlerde genellikle kireç harcı ve horasan harcı kullanımı yaygındır.

2.2 Çerçeve Sistemli Yapılar

Çerçeve sistemli yapılar; yapı üzerindeki yük dağılımı dikkate alınarak yapı bileşenlerinin boyutlandırılıp, yatay, dikey ve diyagonal elemanların bir noktada toplanarak ve bağlanması sonucu elde edilen sistemlerdir. Yapının tüm yüklerinin kolon (dikme), kiriş, çerçeve gibi yapı bileşenleri ile temel sistemine iletildiği yapım sistemidir. İskelet veya karkas sistem olarak da adlandırılır. Geleneksel sivil mimaride kullanıldığı gibi büyük açıklıklı yapılarının yapılmasında da bu yapı sistemi tercih edilmektedir [15].

Dikme ya da kolon ve kiriş, çerçeve sistemin rijit ve doğrusal elemanıdır. Kiriş ve kolon ya da dikmenin birlikte çalışacak şekilde mafsallı veya ankastre birleştirilmesiyle çerçeve meydana gelir [15]. Bölücü duvarlar masif ve kalın olarak yapılmaz. Hafif malzemeler seçilir. İskelet sistemlerinde taş, tuğla, kerpiç gibi küçük boyutlu malzemenin birleşmesi sonucu yapı elemanlarının oluşturulması yerine tarihi yapılarda genelde ahşap, metal gibi malzemeler ile taşıyıcı iskelet oluşturulmaktadır. Çerçeve içerisinde taş, kepiç vb. yapı malzemeler ile dolgu yapılmaktadır [15, 16].

2.2.1 Ahşap

İşlenmesi ve taşınması kolay bir malzeme olan ahşap, çekme, basınç ve eğilmeye karşı dayanımı olduğundan tercih edilmektedir. Yenilebilir, ısı yalıtımı yüksek ve doğru kullanıldığında uzun ömürlü bir yapı malzemesidir. Genelde tarihi yağma yapılarda tavan ve döşeme sistemi malzemesi olarak ahşap kullanılırken çekmeye karşı dayanımından dolayı duvarlarda hatıl olarak, eğilmeye karşı dayanımından dolayı çatı, saçak, cumba kısımlarında ahşap kullanılmıştır [10] . Şekil 2.4 'de ahşap malzemenin kullanılması oluşturulan yapı örneği verilmiştir.



Şekil 2.4 Ahşap Yap, Büyükada Rum Yetimhanesi [7]

Sıcaklık ve nem ahşabın elastisite modülünü olumsuz yönde ve mukavemetini azaltan bir faktördür. Özellikle mekanik özelliklerde değişimlere neden olmakta olup ahşabın ömrünü büyük oranda azaltmaktadır. Tablo 2.5'te de görüldüğü gibi ahşabın liflere dik yönde basınç kuvveti çok düşüktür ama liflere paralel yönde burkulmaya ve ezilmeye karşı dayanıklıdır. Ağaçların kalitesi, yüksekliği, mukavemeti, genişliği gibi özelliklerinin iyi olduğu bölgelerde ahşap taşıyıcı sistemli yapılar daha çok görünmektedir [10] .

Tablo 2.5 Ahşabın Fiziksel Özellikleri [10]

Ahşabın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
İğne yapraklı (Liflere Dik Yönde)	1-3	4-6	8,5-10,5	200-400
İğne yapraklı (Liflere Paralel Yönde)	6-11	4-6	8,5-10,5	800-1200
Meşe, Kayın (Liflere Dik Yönde)	2-4	8-12	10-11	400-800
Meşe, Kayın (Liflere Paralel Yönde)	7-12	8-12	10-11	1000-1500

2.2.2 Metal

Tarihi süreçte yaygın olarak mimari yapılarda kullanılan ilk metaller; demir, bakır, pirinç, çinko ve kurşundur [7].

Metalin yapılarda ilk kullanımı malzeme olarak ya da ahşapların birbirlerinin kenetlenmesinde kullanılmış olup zamanla teknolojinin getirdiği yeniliklerle birlikte yapıların taşıyıcı sistemlerde ve çerçeve sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır. Demirin gelişimi ve çeliğin keşfi ile bu duruma yardımcı olmuştur. Ana taşıyıcılarda hatta yüksek katlı yapıların inşa edilmesini sağlamıştır. Metal yapı elemanlarında ana malzeme kullanılması 19. yüzyıla kadar mümkün olamamıştır. 1800' lerde kullanımda olan üç "demirli metal" formu vardı: dövme demir, dökme demir ve çelik malzemesidir [17].

2.2.2.1 Demir

Demirin yapısında karbon, fosfor, kükürt gibi maddeler var olmakta olup bu maddelerden oluşması mukavemeti artırmakta ve sünekliği azaltmaktadır. Elastisite modülü ortalama 210.000 MPa'dır. Demir korozyona karşı dayanıklılığı, galvanizleme ve emaye işlemleri ile artırılmaktadır. Tarihi yapılarda dökme demir veya dövme demir olarak kullanılmıştır. Dökme ve dövme demirin korozyona karşı direnci çelikten daha iyidir [7]. Dökme demir, üretimi kolay, kalıplaması kolay, çekme mukavemeti düşük, basınç mukavemeti çok yüksek ve gevrek bir malzemedir. Şekil 2.5 'teki 18.yy'da köprü yapımında ve daha sonraki yıllarda yapıların kolonlarında kullanılmıştır [18, 19] . Dövme demir, dökme demirin daha arıtılmış halidir. Yapıda kullanılan türü temper dökümlü demirdir. Eski eserlerde gergi ve kenet gibi elemanlarında kullanılır. Dövme demirin çekme ve basınç dayanımı eşittir. Belli bir sünekliği olduğu için kirişlerde de kullanılmaktadır [18]. Dövme demirin katmanlı bir yapısı vardır. Yüzeyinde koruyucu bir pas tabakası oluşmaktadır.



Şekil 2.5 Demirin Köprülerde Kullanılması; Coalbrookdale Köprüsü [7]

20. yüzyılın başından itibaren elektrik fırınlarında, ham demirin artırılarak dökme çelik üretimi yapılmaya başlanmıştır. Bu şekilde dövme çelikten dökme çeliğe geçilmiştir [7].

Tablo 2.6 Metallerin Fiziksel Özellikleri [7]

Metalin Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Demir	60-120	800-840	150-300	205000-215000
Pirinç	50-80	350-360	50-100	95000-100000
Bakır	50-90	450-470	100-300	100000-120000
Kurşun	4-12	12-20	46-84	12000-16000
Çinko	45-75	350-400	90-200	30000-96500

Tarihi yapılarda demirin kullanımına kenet, zıvana ve taşıyıcı unsur olarak da gergilerde bazı döşem ve kirişlerde uygulandığı görülmektedir. Tablo 2.6 'da tarihi yapılarda bu elemanlarda en çok kullanılan metallerin fiziksel özellikleri ve dayanımı özet şekilde verilmiştir.

a. Kenet demiri

Kenetler genelde bakır, tunç veya demir malzemelerden üretilmiş olup U biçiminde uygulamaları olsa da farklı şekillerde de yapılmıştır. şekil 2.6 ‘da da grldėđđ gibi eski eserlerde yer alan kenetler yđđma yapılar da çeşitli örgü tiplerindeki duvarlarda duvar elemanlarının birbirine baėđlanması, taşları taşa baėđlamak ve yapı içerisinde yer alan ahşap elemanları taşa baėđlamak amacıyla kullanılmıştır [20].



şekil 2.6 Kenet Demiri [20]

b. Zıvana demiri

Duvarlarda birbirlerinin üzerine gelen taşları baėđlamak için kullanılan elemanlara zıvana demiri denir. Yatay ve düşey baėđlantı elemanlarıdır. Sıyrılmadan yerinde kaldıkları için yatay etkilerin olduėđ yerlerde tercih edilmektedir. Eski eserlerde zıvanalar sütün ve başlıkların baėđlanmasında, kemerlerin taşları arasında, minarelerde ve basamak bloklarını baėđlamakta kullanılmıştır [20, 21].

c. Taşıyıcı unsur olarak demir

Tarihi yapılar da demirin strüktür kullanılması; döşemelerde, kirişlerde, kasnak, kuşaklama, gergi ve baėđlantı elemanlarında kullanılmıştır (şekil 2.7). Taşıyıcı sistemin, aıklıėđn (kubbe, tonoz gibi sistemlerin) desteklenmesi ve mesnetlenmesinde kullanılmıştır [20, 21].



Şekil 2.7 Demirin Gergi Sistemi, Kazdağlıoğlu Camii, Safranbolu

2.3 Karma Sistemli Yapılar

Karma sistemli yapılar iki ya da daha fazla yapım sistemini birarada bulunduran, farklı sistemlerin farklı özelliklerini taşıyan sistemlerdir. Karma yapım sistemlerde farklı sistemlerin birbirlerini tamamlayarak tasarım için doğru sistemin kurulmasını sağlar. Sistemlerin bir araya gelmesinden dolayı farklı kurgu ve detaylar kullanılır. Tarihi yapılarda; yığma ve karkas sisteminin bir arada kullanıldığı yapılar bulunmaktadır.(Şekil 2.8)



Şekil 2.8 Karma Sistem, Safranbolu Evi

Tarihi yapıların yapısal davranışı yapıda kullanılan malzeme özelliklerine, yapı elemanlarının form ve ölçüleri ile bu elemanların birleşimlerine bağlıdır. Yapısal davranışların zarar verici şekilde değişimi yapılarda ciddi hasarlara neden olmaktadır [22, 23]. Bu bölümde tarihi yapılarda görülen hasar nedenleri zeminden kaynaklı hasarlar, taşıyıcı sistem ve plan tasarımındaki düzensizlik ve hatalar, niteliksiz ve hatalı malzeme kullanımı, yapının yapım aşamasında kötü işçilik ve detay kullanılması, doğal afetler; uzun süreli doğal etkenlere maruz kalma ve insanların neden olduğu hasarlar başlıkları altında incelenecektir.

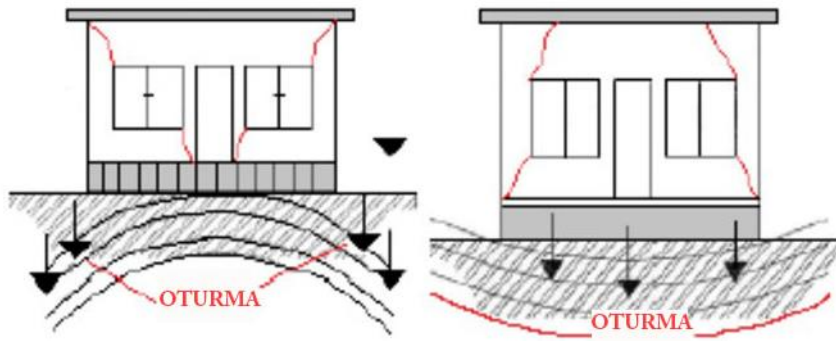
3.1 Zeminden Kaynaklı Hasarlar

Zemin deformasyonu yapıların ciddi hasar nedenlerinden biridir. Toprak bir çok katmandan ve malzemedan (kil, kum, su vb.) oluşur. Yapının üzerine oturduğu zeminin mukavemetinin düşük olması, homojen olmaması ve zeminin fiziksel ve yapısal özelliği gibi durumlardan dolayı yapılarda ciddi sorunlar oluşabilmektedir. Bu sorunların engellenebilmesi için zemin sağlamlaştırma, sağlam zemine inen temel yapımı, temel güçlendirme vb. gibi işlemler gerektirebilir. Zeminden kaynaklanan hasarların tanınması ve düzeltilmesi zemin mühendislerinin uzmanlık alanına girmektedir. Ayrıntılı inceleme ve güçlendirme projelerinde onlara danışılarak çalışmalar yapılmalıdır [24]. Zeminden kaynaklı hasarlar çatlaklar, ayrılmalar, şişme, parça kopması, düşeyden sapma, göçme ve yıkılma olarak kendini göstermektedir.

Zeminden kaynaklı hasarların en büyük sebebi oturmalarlardır. Yapılarda oturma hasarının nedenlerine baktığımızda genellikle zemin taşıma gücünün zayıf olması ya da zamanla zayıflaması, yer altı su seviyesi değişmesi ve sismik hareketlerden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir fakat birçok farklı sebeplerde zemin oturmalarına neden olmaktadır [23]. Oturmalar; düzgün oturmalar ve farklı oturmalar olarak ikiye ayrılır. Temel altında oluşan farklı oturmalar (bölgesel oturmalar) strüktürel elemanlarda ve taşıyıcı sistemde çok büyük iç gerilmeler yaratmakta

olup oluşan kuvvetler yapı elemanının hasar görmesine veya tüm yapının çökmesine sebep olabilir [25].

Düzgün oturmalar, binanın dayanımı çoğunlukla tehlikeye sokmaz ve oturma hasarı da oluşturmaz. Düzgün oturmada yapı yeteri kadar esnek olmadığında sorun yaratabilir. Oturma tehlikesi; zeminin kırılması, zeminin kesme direncinin artması, temel boyutlarının azalması, yükün dış merkezi ve eğimin büyümesi ile artar [25]. Farklı oturma, yapılarda hasar oluşumuna sebep olan en tehlikeli oturma şeklidir. Gevşek zemine inşa edilen yapılarda özellikle deprem etkisi altında farklı oturmalar meydana gelir [25, 26]. Temelin altında meydana gelen lokal oturmalar, yapı duvarlarında çatlaklar oluşturur. Şekil 3.1’de de gösterildiği gibi zemin oturmasından kaynaklı çatlaklar genelde duvar düzleminde eğik çatlaklar şeklindedir. Özellikle yığma yapı duvarlarında bu durum gözlemlenebilir [26].



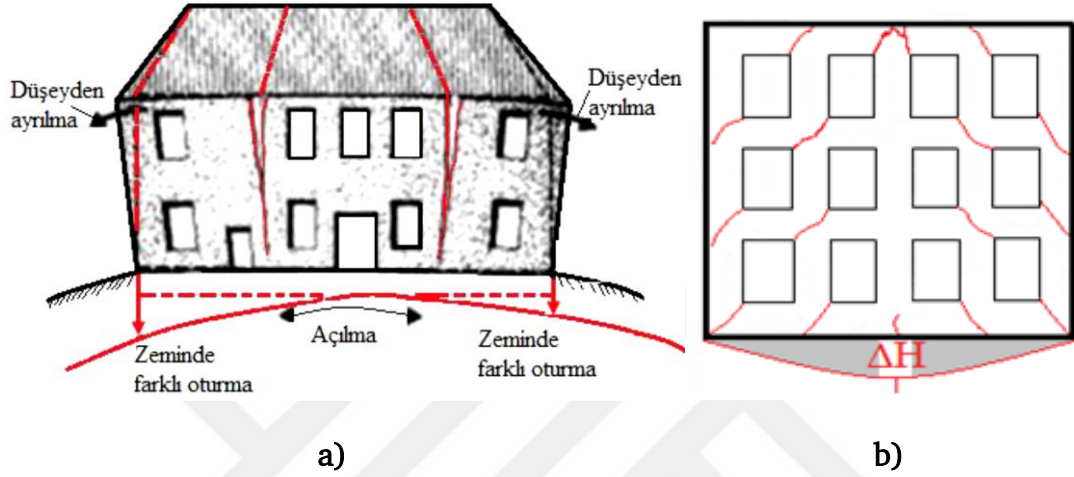
Şekil 3.1 Oturma Kaynaklı Çatlaklar [27]

Farklı oturmalarının başlıca nedenlerini şöyle sıralayabiliriz.

- Yer altı su seviyesi değışikliğı (Mevsimler, kuraklık, nüfusun artması vb. etkenler)
- Zemin yüklemesinin yüklemisinin artması (Yapıdaki yük sisteminin değışmesi, yapıda yapılacak değışiklikler ya da dolgu yapılması vb.)
- Temel elemanlarının ve kazıkların deformasyonu
- Yapı çevresinde yapılan kazılar ve çukurlar
- Drenaj yetersizliğı
- Yetersiz temel boyutlandırılması

- Sismik hareketler, titreşimler vb.
- Toprak kayması
- Don olayı [9].

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi çatlakların yerleri ve şekilleri, temel oturmasının olduğu kısımlar hakkında bize bilgi vermektedir [9].



Şekil 3.2 a)Yapılarda Oturma Şeması b) Homoje Olmayaz Zeminlerde Çatlak Şeması [27]

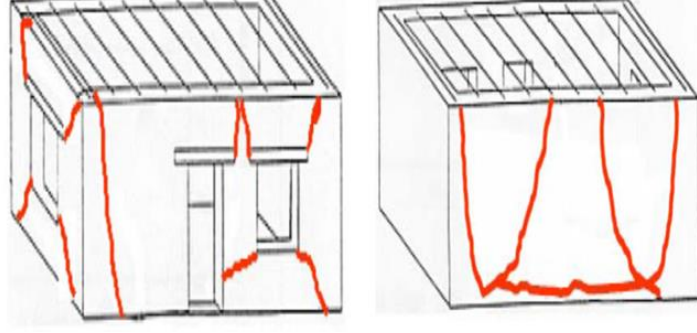
Farklı oturma yapıda şu şekillerde gözlenebilir;

- Tek taraflı oturmalar meydana gelir. Binanın iki farklı kısmı ağırlıkları farklı ise ağır kısım altındaki zemini daha fazla sıkıştıracağından o kısımdan itibaren duvarlarda kesme çatlakları oluşur. Bu çatlaklar, yapı malzemesinin çeşidine göre şekilleri değişebilir. Yapı malzemesinin çekme dayanımı düşük ise düşey çatlaklar, çekme dayanımı büyük ise belli bir eğime sahip çatlaklar meydana gelir. Oturmanın fazla olduğu tarafa yönelerek artar.Yapının bel vermesine de neden olabilir. Özellikle eski eserlerde basınç, yapının ortasında etkisi fazladır. Bu durumdan dolayı homojen bir zeminde maksimum oturma yapının orta kısmında meydana gelir, yapı sehim yapar.
- Yapıda düşey yönlü çekme çatlaklar oluşur. Yapının temel altındaki zeminin yanlara kayması dolayı kenarların boşalması ve kenarların kısımlarda ortaya kıyasla daha fazla oturmalar olur . Bu durumda yapının

üst kısımlarında uzamaya zorlandığından düşey yönlü çekme çatlakları meydana gelir. Genellikle bu olay vadi sırtı ve tepeler yapılan binalarda rastlanır [24].

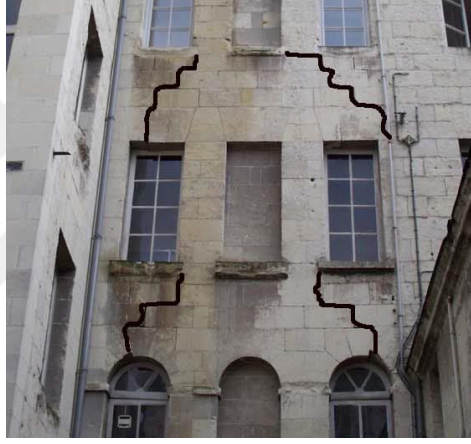
Yapılarda çatlak, yapı malzemesinde veya elemanında yüzeyden içe doğru ya da bitişik elemanlar arasında ilerleyen gözle görülebilir kırılma ve ayrılmalara denmektedir [28]. Yapı hareketleri sonucu çekme ve kayma gerilmelerinin zorlandığı ve bu gerilmelerin yapı malzemesi üzerinde mukavemet sınırını aşması sonucu bu noktalarda deformasyonlar oluşmaktadır [10]. Çatlaklar yapıdaki zayıf bölgeleri göstermekte olup çatlakların konumu ve yapı üzerindeki dağılımı, yapıdaki gerilme dağılışı ve çatlak ortaya çıkmasının nedeni hakkında bilgi vermektedir [29]. Çatlaklar her zaman yapıda göçmelere ve yıkımlara neden olmaz. Önemli olan çatlağın zaman içinde gelişip yapının stabilitesini tehdit etmemesini sağlamak olduğundan çatlakların devamlı izlenmesi ve çatlak rölövesinin çıkarılması gerekmektedir [10, 30, 31] . Zaman içinde yapılan hatalı restorasyon ve onarımlar da çatlakların tekrarlaması ve büyümesine neden olmaktadır.

Duvarlarda, gerilmenin yoğun olduğu noktalarda ve elastik deformasyon yapamamalarından dolayı çatlaklar oluşmaktadır [10]. Özellikle yığma yapılar, çekme gerilmelerine karşı zayıftır ve dolayısıyla deprem gibi yatay kuvvetler sonucu duvarlar kesme kuvveti ile zorlanır ve çatlaklara neden olabilir. Yığma yapılarda duvar çatlakları önemli bir sorundur çünkü duvarlarda oluşan her tür çatlak taşıyıcı sistemi etkiler [4] . Duvar düzlemine dik eğilme veya düzlemi doğrultusunda oluşan kayma gerilmeleri pencere ve kapı kenarında çatlaklara neden olmaktadır. Kapı ve pencere boşluğu olmayan uzun duvarlarda ise duvar düzlemine dik kuvvetler aşağı bölgede yatay çatlaklara ve duvar birleşim kısımlarında düşey veya diyagonal çatlaklar neden olabilmektedir [10]. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3 Duvarlardaki Çatlak Tipleri [10]

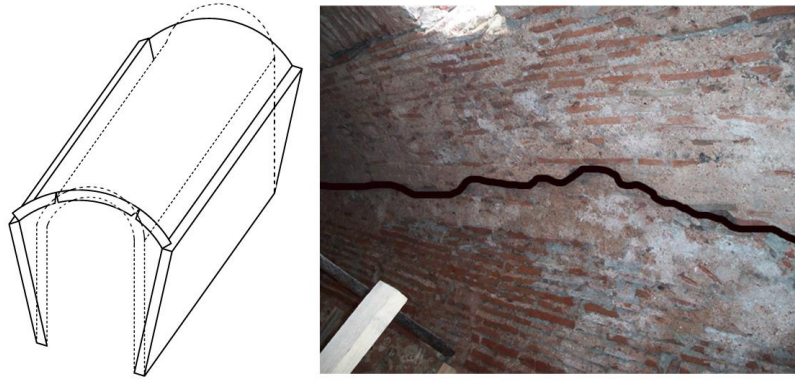
Yapılarda basınç ve kayma gerilmelerinin olduğu bölgelerde paralel çatlaklar görülürken, çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı kısımlarda ise tekil çatlaklara meydana gelebilmektedir [10].



Şekil 3.4 Zemin Oturması Sonucu Yapının Duvarlarında Oluşan Çatlaklar, Val de Loire, Fransa [29]

Kemer, tonoz, kubbe gibi yapı elemanları tarihte büyük açıklık geçebilmek için kullanılmıştır. Tarihi yığma yapılar basınç dayanımları olmasına karşın, çekme kuvvetlerine karşı dayanımsızdır. Bundan dolayı eğilme etkisinde çalışacak döşeme, çatı vb. yapı elemanları kemer, kubbe ve tonoz gibi eğrisel elemanlar olarak yapılırlar [32].

Tonozlarda zemin hareketleri ve oturmalar sonucu çatlaklar oluşmaktadır. Tonoz etekleri çekmeye çalıştığı için bu kısımların ağır yapılması gerekmektedir. Şekil 3.5' te görüldüğü gibi tek eğrilikli tonozlarda, sismik ve zemin hareketleri, tonoz eteklerinin hafifletilmesi veya boşalması sonucu yer çekimi etkisi ile tonoz doğrultusunda uzunlamasına çatlaklar oluşabilir [32].



Şekil 3.5 Tonoza Meydana Gelen Çatlak, Mimar Sinan Çifte Hamamı [33]

Şekil 3.6’da zemin hareketleri, sismik hareketler ya da temel oturmasından dolayı kubbe tabanına paralel doğrultuda dairesel çatlaklar görülmektedir [33].



Şekil 3.6 Kubbede Meydana Gelen Dairesel Çatlaklar, Fatih Külliyesi [33].

Zeminden kaynaklı hasarlara bakıldığında tarihi yapılarda en çok düşeyden sapma durumu gözlemlenmektedir. Minareler, kuleler ve saat kuleleri gibi narin yapılar zemin hareketlerine, burulmalara, temel oturmalarına ve dönmelerine karşı çok hassastır. Bu durumlarda eğilmeler ortaya çıkar. Çok küçük bir eğiklik ve değişiklik düşeyden sapmaya neden olur. En önemli örnek Pisa Kulesi’dir. Ülkemizde birçok minarelerde bu durum vardır [22, 27]. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 Düşeyden Sapma, Sivas Ulu Camii Minaresi [34]

3.2 Taşıyıcı Sistem ve Plan Tasarımındaki Düzensizlik ve Hatalar

Eski eserlerin ilk tasarım ve uygulama aşamasında taşıyıcı sistemi alakalı boyutlandırma hataları varsa yani temel, duvar, payanda, kolon, kubbe, kemer, tonoz vb. gibi taşıyıcılar yatay ve düşey yükleri karşılayacak kesitlerde yapılmamışlarsa ciddi hasarlar ortaya çıkabilir [10]. Ayrıca plandaki düzensizliklerden kaynaklı yük aktarımındaki sorunlar ve yapının rijitlik ve kütle merkezinin birbirinden uzaklaşması sonucu oluşan ilave burulma kuvvetleri yapıya etki etmekte, kritik bölgelerde hasarlar oluşmaktadır [21].

Yapılarda temel boyutlarının yetersiz olması, taşıyıcı sistem tasarımındaki hatalar ve yetersiz kesitlerde dolayı yapıda ayrılmalar neden olabilir. Yapılarda zayıf kısımların ana kütlede ya da taşıyıcı sistemden ayrılması olayıdır. Örneğin Şekil 3.8 'de de görüldüğü gibi yapılarda köşeler ve ek kısımlar zayıf alanlardır [22, 31].



Şekil 3.8 Tarihi Yapılarda Ayrılma, Hosh al-Basha, Mısır [35]

Örneğin; asırlar boyunca Ayasofya’da kubbe sorunu yaşanmıştır. Yapıldığı dönem bu kadar büyük açıklık geçebilecek bir teknolojiye sahip olunmaması, payandaların tasarlanamaması ve hızlı inşa edilmesinden kubbe sismik hareketlerden ve kendi ağırlığından kaynaklı yıkılmalar yaşamıştır. Bu da onu taşıyıcı sistemi hatalı tasarlanmış en ünlü yapılarından biri yapmıştır [10, 27]. Şekil 3.9’da Ayasofya’ ya sonradan eklenen payandaları görmekteyiz.



Şekil 3.9 Ayasofya [36]

Bir başka örnek ise San Marco Çan Kulesi’nin inşa aşamasından günümüze kadar defalarca hasar alıp yıkılmıştır. Bu hasarların ana sebebine bakıldığında temel boyutlarının düzgün tasarlanmamış olmasından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10 San Marco Çan Kulesi'nin 1902'de Yıkılması, Yetersiz Temel Boyutlandırma [37]

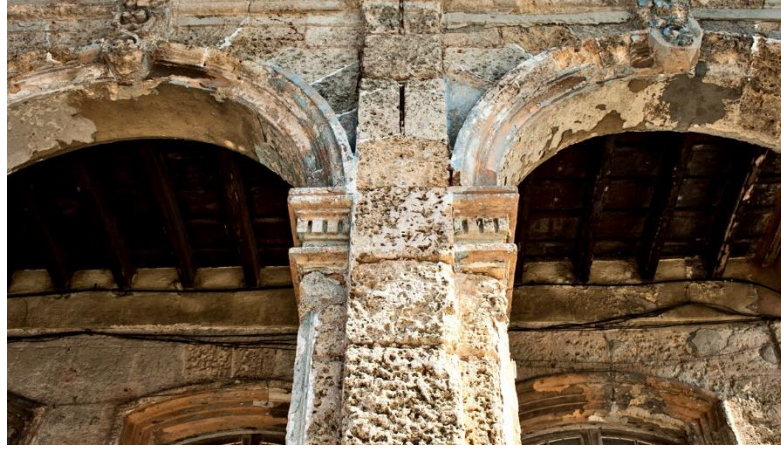
3.3 Niteliksiz ve Hatalı Malzeme Kullanımı

Eski eserlerde malzeme seçimi önemli bir etkindir. Taş, tuğla, kerpiç, ahşap gibi doğal kökenli malzemeler kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanılan malzemenin niteliği ve özelliği yapının dayanımı ve bozulma süreci açısından önemli bir unsurdur. Kullanılan malzemelerin (taş, tuğla, kerpiç, ahşap) iyi nitelikli olmaması, doğru kesilip şekillendirilmemesi yapı stabilesini bozulmasını doğrudan etkilemektedir. Dayanımı yüksek malzemeler tercih edilmelidir [10, 31].

Örneğin Noto Katedrali'nde iyi şekillendirilmemiş ve dayanımı düşük nehir taşların kullanılmasından kaynaklı asırlar boyunca depremler sonucu yapının yıkılmasına neden olmuştur.

Tuğla yapılarda tuğlanın iyi pişirilmiş olması yapının dayanımını olumlu etkilerken, iyi pişirilmeyen tuğlalardan yapılan duvarlarda hızlı aşınma, dökülme ve ayrılma gibi hasarlar gözlenmektedir [10, 31].

Şekil 3.11'de de görüldüğü gibi mukavemeti düşük ve çevre şartlarından(yağmur, rüzgar vb.) kolay etkilenen taşların yapıda kullanılması yapıda ciddi yapısal sorunlara sebep verebilmektedir.



Şekil 3.11 Niteliksiz Taş Kullanılması Sonucu Yapıda Oluşan Hasarlar, Havana’da Tarihi Yapı [7]

3.4 Yapının Yapım Aşamasında Kötü İşçilik ve Detay Kullanılması

Yapısal bileşenlerin ve elemanların mukavemetleri için doğru bağlayıcı malzeme ve teknikle birleştirilmesi veya bir araya getirilmesi önemlidir [10].

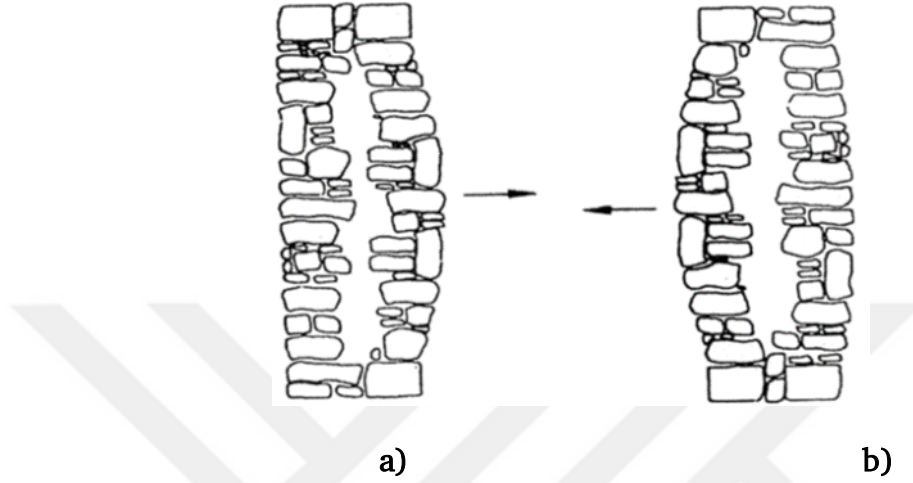
Örneğin; Şekil 3.12’deki gibi tuğla ya da taş duvar örümünde yapılan hatalı işçilik ya da yapı elemanlarının birleşimde yeterli derecede bağlayıcı kullanılmaması gibi hatalar, hasarlara yol açmaktadır Kenet ve mil gibi kesme taş yapılarda blokları birleştirmek için kullanılan elemanların iyi izole edilmemeleri nedeniyle, derzlerden içeri giren su, demirden yapılmış bu malzemelerin paslanmasına neden olmaktadır. Bu durumda taş ya da tuğlada pastan kaynaklı çatlaklara neden olabilir [10, 21].



Şekil 3.12 Yanlış Tuğla Örümü

Yapının yapım aşamasında kötü işçilik ve detaylarda dolayı tarihi yapılarda şişme olayıda görülmektedir. Çatlayarak zayıflamış, derzleri uygun olmayan, en kesiti yetmeyen veya birden fazla cidarlı ve ara dolgu malzemesi ile duvar dış

yüzeylerinin birleşimi iyi durumda olmayan duvarlarda düşey kuvvetlerin etkisiyle genleşme meydana gelir. Bu duruma şişme denmektedir. Duvarın bir ya da iki yanında oluşabilmektedir [4]. Şişme olayı, çift cidarlı duvarlarda daha çok görülmektedir [33]. Şekil 3.13’de şematik olarak yapı duvarlarında şişme olayı gösterilmiştir.



Şekil 3.13 a) Duvarda Tek Yönde b) İki Yönde Şişme Durumu [4]

Sütun, kemer, tonoz, kubbe vb. parçalar ve bloklardan oluşan yapı elemanlarında; yatay düşey kuvvet etkisi, derzlerin boşalması, yanlış bağlantı detayları, harç kullanımda yapılan hatalar vb. nedenlerden dolayı parçaların veya blokların yer değiştirmesi olayına kayma olayları gözlemlenir [22].(Şekil 3.14)



Şekil 3.14 Sütunlarda Kayma [33]

3.5 Doğal Afetler

Aniden ortaya çıkan deprem, sel, yangın gibi doğal afetler sonucu tarihi yapıların dengesi bozulur ve hasarlar oluşmaktadır.

3.5.1 Deprem

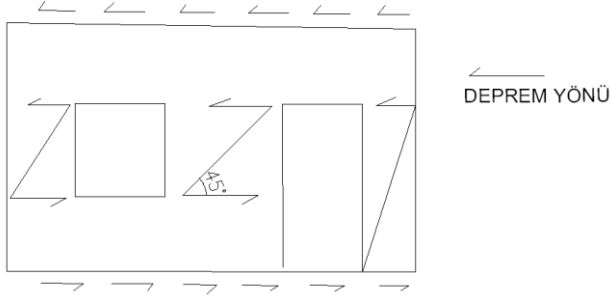
Büyük gerilmeler sonucu zeminin katmanlarında ani kırılmalar sonucu depremler oluşmaktadır. Depremler ile biriken enerji anlık serbest kalır ve dalgalar halinde yüzeye ulaşmaktadır [31]. Eski eserlerin kütlece ağır olmalarından dolayı sismik hareketlere karşı rijit davranış gösterirler [10]. Sismik hareketler sonucu bir yapının belirli bir kısmında yük taşıma kapasitesi geçildiğinde o kısımdaki yapı elemanın iç gerilmeler meydana getirir. Bu iç gerilmeler önemli hasarlara yol açar [29]. Yapının kısmen veya tamamen yıkılmasına sebep olabilir. Depremlerin oluşturduğu sarsıntılar sonucu zeminde kayma, sıvılaşma vb. olaylar da yaşanmaktadır.



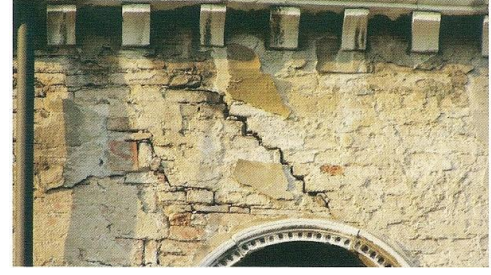
Şekil 3.15 Van'daki Depremler Sonucu Zoradir Surp Eçmiadzin Ermeni Kilisesi'nin Hasar Görmesi [38]

Depremler sonucu yığma tarihi yapıların duvarlarında kesme çatlaklarının oluşmakta olup duvar düzleminin dışında devrilmesi, duvarların köşelerden ayrılması ve yapı elemanlarının ayrılıp yıkılması gibi hasarlarla sebep verebilir [21].(Şekil 3.15)

Sismik hareketler sonucu duvarlarda kesme gerilmeleri oluşacağından kesme dayanımı aşıldığı zaman ve olursa 45 derecelik eğimli çatlaklar meydana gelir. (Şekil 3.16) Çatlakların açısı duvardaki basına göre değişebilmekte olup 45 dereceden fazlada olabilir [4].



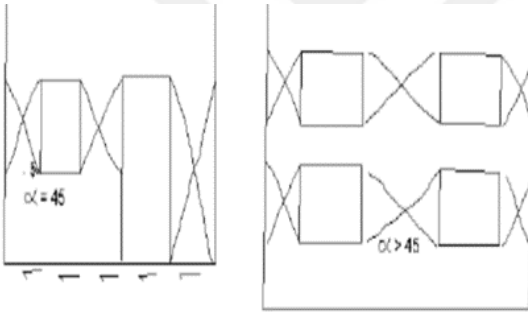
a)



b)

3.16 a) 45 Derecelik Deprem Çatlağı Şematik Gösterimi b) 45 Derecelik Deprem Çatlağı [39]

Deprem yükünün ters yönden etkilemesi durumunda ilk oluşan çatlakların aksi yönünde yeni çekme çatlakları oluşacaktır. Bu durumda (X) şeklindeki çatlak görünümleri ortaya çıkar [4]. (Şekil 3.17)



a)



b)

Şekil 3.17 a) Depremde Duvarlarda Oluşan Kesme Çatlakları Şematik Gösterimi
b) Depremde Duvarlarda Oluşan Kesme Çatlakları -Halil Ağa Camii [21]

Kemer ve tonozlarda, geometrisinden dolayı deprem gibi yanal yük etkisinde çeşitli deformasyonlar oluşmaktadır. Kemerlerde ve tonozlarda kayma meydana gelebilir [40]. (Şekil 3.18)



Şekil 3.18 1999 Depreminde Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Kemerinde Oluşan Hasar [41].

Çatlaklar ve deformasyonların nedeni ve oluştuğu yer, biçime ve yönü yapıların ayakta kalması için önemiyet arz etmektedir. Taşıyıcı sistemde meydana gelen yük değişimleri sonucu bu sistemlerde çatlaklar görülebilmektedir. Taşıyıcı sistemde oluşan çatlaklar dikkat edilmeli ve çatlak dağılımına göre müdahaleler yapılmalıdır. Tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerinde görülen çatlak dağılımları ve deformasyonlar Şekil 3.19 'da özetlenmiştir [22].

SÜTUNLARDA
OLUŞAN
ÇATLAKLAR



YAPILARDA
DEPREM
ÇATLAKLARI



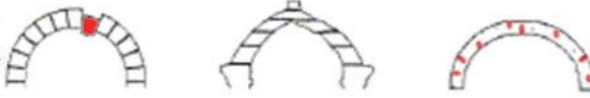
DUVARLARDA
OTURMA
ÇATLAKLARI



DUVARLARDA
DEPREM ÇATLAKLARI



KEMERDEKİ
DEFORMASYONLAR



TONOZLARDAKİ
DEFORMASYONLAR



Şekil 3.19 Tarihi Yapıların Taşıyıcı Sistemlerinde Görülen Çatlak ve Deformasyonlar [22]

3.5.2 Yangın

Yangınlar, geçmişte olduğu gibi günümüzde de tarihi yapıların yok olup yitirilmesine sebep olmaktadır. İnşa edildiği dönemin şartlara bakıldığında, tarihi yapıların çoğunda yangından korunma sorunları vardır. Yangın afeti özellikle tarihi ahşap yapılarda göçme yıkılma sorunu çıkarmakta olup birçok tarihi yapının çatısı da ahşap olduğu için önemli bir sorun oluşturmaktadır [42]. (Şekil 3.20)



a)

b)

Şekil 3.20 a) Notre Dame Katedrali, b) Notre Dame Katedrali 'nde Çıkan Yangın
[43]

Tarihi yapılarda, yıldırım çarpmalarından, çevredeki yangınlardan dolayı termal ısıya maruz kalma veya uzun mesafelerden kıvılcımların taşınması, ihmalkârlık veya dikkatsizlikten vb. durumlardan kaynaklı yangınlar çıkabilmektedir. Günümüzde çok sayıda elektrikli aletle çalışmak gerektiğinden ve kolay yanıcı, sentetik malzemelerin de artmasından kaynaklı yangın çıkma ihtimalinin artmakta olup tarihi yapıları tehdit etmektedir [42].

3.5.3 Sel

Akarsu ve deniz kenarı yanına kurulmuş tarihi yerleşimleri sel baskınlarına maruz kalmışlardır. Hızlı, güçlü akıntılar ve seller yapılara, yerleşim yerlerine, köprü ayaklarına hasarlara neden olurlar. Seller; doğrudan basınç, sürtünme ve sürüklenme etkisinin yanı sıra, altlarındaki toprağı aşındırarak yapıların temellerine zarar verir. Yapıların taşıyıcı sistem dengesinin bozulmasına ve zemin hareketlerine neden olurlar [21].

Ülkemizde Edirne, Amasya gibi tarih kentlerimiz ve dünyadan özellikle Venedik'de bulunan anıtlar yüzyıllar boyunca bahar dönemlerinde taşkınlarından etkilenmişlerdir [31]. (Şekil 3.21)



Şekil 3.21 Venedik Su Baskını [44]

3.6 Uzun Süreli Doğal Etkenlere Maruz Kalma

Uzun süreli hava kirliliği ve sıcaklık değişimleri, su ve nem, rüzgar vb. durumlara maruz kalma yapı malzemesini yapısını bozmakta olup yapılarda ciddi hasarlara sebep olabilmektedir.

3.6.1 Hava Kirliliği ve Sıcaklık Değişimleri

Sanayi atıkları ve zararlı gazlar, motorlu taşıtlardan çıkan egzoz, ısınma sistemi ve fosil yakıtlar sonucu çıkan gazlar yapıların üzerinde kirli bir tabakanın oluşur. Ayrıca havadaki karbondioksit, kükürt dioksit ve kükürt trioksit gazlarının yağmur suyunda erimesiyle taşları eriten asit yağmurları oluşmaktadır. Bu yağmurlar sonucu ıslanan cephe elemanları (taş, tuğla, bezemeler vb.) asidin aşındırıcı etkisiyle bozulur, erir, dökülür ve zarar görürler [10].

Sıcaklık değişimlerinden ve farklarından kaynaklı yapı malzemelerinde oluşan genleşme ve büzülme, taneler arasında farklı yönde ve büyüklükte iç basınçlar oluşturmakta olup bu olayın tekrarlamasıyla yorulan malzemelerin bünyesinde kılcal çatlaklar meydana gelir. Sıcaklık değişimlerinin devamlı olması kılcal çatlakların gelişimini hızlandırarak yeni çatlakların oluşmasına ve malzemenin parçalanmasına neden olur [45].

Fiziksel ve kimyasal bozulmalar, atmosferik etkiler, sıcaklık değişimleri, asit yağmurları, sismik hareketler vb. durumlardan kaynaklı yapılardan parça kopmaları yaşanabilir. Bu durum hem yapılar için çevresindekiler oldukça büyük sorunlar yaşatabilir [24].(Şekil 3.22)



Şekil 3.22 Sivas Ulu Camii Parça Kopması [34]

3.6.2 Su ve Nem

Yer altı suları, yağmur suyu ve havadaki nem tarihi yapıları oluşturan malzemelerin bozulmasına neden olmaktadır. Şekil 3.23’de de görüldüğü gibi yapı bünyesine giren su ve nem bozulmayı başlatır veya var olan bozulma sürecini hızlandırır [27]. Su ve nemden dolayı eski eserlerin malzeme bünyesinde mantar ve küf oluşumu, , renk değişimi, çürümeye ve biyolojik canlıların yaşamasına uygun ortam hazırlanmasına neden olur. Bu şekilde bozulmaya yol açar. Özellikle su ve nem; tarihi yapılarda taşların tuz iyonları etkileşime girip bozulmasına, ahşap elemanların fiziksel yapısında deformasyona ve metal malzemelerden yapılan gergi, zıvana ve kenet sistemlerin paslanmasına sebebiyet verir [33].



Şekil 3.23 Su ve Nemden Dolayı Ahşap Elemanlarda Bozulma, Büyükada Rum Yetimhanesi [33].

3.6.3 Rüzgar

Yığma yapı duvar derzleri doğal ve çevresel etkilere karşı korunmasız ve açık olduklarından duvarın en zayıf bileşenini durumundadır [21]. Sürtünmelere, rüzgarlara, yağmur, kuvvetler ve çeşitli kimyasallara maruz kalan derzler zamanla aşınarak boşalmaya başlar. Derzlerin boşalmasından kaynaklı bu boşluktan su, bitki vb. yabancı maddeler girerek yapıyı zayıflatır [31]. Bu zayıflıklar yapılarda büyük hasarlara neden olabilmektedir. (Şekil 3.24)



Şekil 3.24 Kayseri Melik Gazi Türbesi Derzlerin Boşalması [46]

3.7 İnsanların Neden Olduğu Hasarlar

Yapıya uygun olmayan onarım ve güçlendirme yönteminin kullanılması, bakımsızlık, yapının kullanılmaması, vandalizm, savaş gibi eylemler tarihi kimliğe sahip olan ve korunması gerekli kültür varlıkların hasar görmelerine hatta yok olmalarına sebebiyet verir. Kötü kullanım ve kasıtlı tahrip gibi durumlar yapıların harap olmasına yol açmaktadır [10].

3.7.1 Yapıya Uygun Olmayan Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Kullanılması

Koruma isteği ile bilinçsizce yapılan, uygun olmayan veya hatalı müdahaleler, tarihi yapılarda hasarların tekrarlanması, büyümesine ya da yeni hasar oluşmasına sebebiyet vermektedir. Yapıya uygulanacak onarım ve güçlendirme yöntemi geniş bir teknik ekip ile birlikte hasar tespitleri yapılarak, deney ve analizlerden geçtikten sonra uygulanmalıdır. Yapıya uygun olmayan ve yanlış onarım ve güçlendirme tekniği, malzeme bozulmalarına, taşıyıcı sistem düzeninde aşırı yüklemelere veya süreksizliklere yol açabilir. Bu durumlarda zamanla yapıların yıkılmasına hatta yok olmasına neden olabilmektedir.

Yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, doğru malzeme seçimi kadar, doğru malzemelerin birlikte kullanılması da tarihi yapıların uzun süre ayakta kalması açısından önemli bir etkidir. Taş, tuğla, ahşap vb. malzemelerin birleştirilmesi aşamasında kullanılan harç, kenet, dikiş vb. elemanlar doğru seçilmeli uygun seçilmeyen bu elemanları yapı malzemeleri ile reaksiyona girerek bu malzemelerin bozulmasına ya da parçalar halinde kopup ayrılmasına yol açabilmektedir [10]. Örneğin, tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmesi aşamasında çimento esaslı harçların kullanımı yapılara zarar verdiği tespit edilmiştir. Çimento esaslı harçlar, gözeneksiz, yoğun yapısı ve yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Bu durumlarda tarihi yapının nefes almasını engeller ve doğal kökenli malzemelerden yapılan tarihi yapılardaki malzemelerin bozulmasını hızlandırır. Yapı malzemelerinde hasarlar oluşur. Yapının zarar görmesine neden olur. Çimento esaslı harç kullanımı, Topkapı Sarayı ve Ayasofya gibi tarihi öneme sahip yapılarının onarımında da kullanılmış ve bu yanlış uygulama sonucu eserlerde bozulmaya sebep olmuştur [27].

3.7.2 Bakımsızlık, Yapının Kullanılmaması ve Vandalizm

Tarihi yapılarda bakımsızlık, yapının kullanılmaması, terk edilmemesi yapıda ciddi bozulmalara ve hasarlara sebebiyet vermektedir. Ekonomik nedenler, mülkiyet sorunları veya yasal nedenlerden dolayı terk edilen yapılar, doğal etkenlerden ya da çoğu zaman kimsesizler tarafından barınak olarak kötü kullanılmasından kaynaklı yapıların zarar görmesine neden olmaktadır [27, 33]. Özellikle ülkemizde 2. derece ve 3. derece tarihi eserlerde bu durum gözlenmektedir. Şekil 3.26' da da görüldüğü gibi bakımsızlık ve yapının kullanılmamasından kaynaklı bu yapılarda kısmi göçmeler ve yıkımlar meydana gelmektedir.



Şekil 3.25 Sakarya, Taraklı Tarihi Evde Bakımsızlıktan Dolayı Yapının Hasar Görmesi

Vandalizm, korunması gerekli tarihi eserleri kasıtlı ve kötü amaçlı zarar görmesi için yapılan eylemler olarak adlandırılabilir. Yapıların cam ve pencerelerinin kırılması, duvarlara yazı yazmak, içinde ateş yakmak, kundaklamak, hırsızlık vb. tüm eylemler yapıda ciddi hasarlara neden olur [27, 33].

Örnek olarak Şekil 3.26’da, 2. dereceden tarihi eser olan tescilli Kağıthane su sarnıcı yapısı bakımsızlık ve yapının kullanılmamasından dolayı yapının tonoz kısmı ve cephelelerde kısmi göçmeler bulunmaktadır. Şekil 3.27’ de de görüldüğü gibi yapının kullanılmasından kaynaklı kimsesizler tarafından içinde ateş yakılmış, içine molozlar dökülmüş ve yapının gergileri çalınmıştır. Yapıda 2020 yılında restorasyon çalışmaları başlamış olup 2022 tarihinde çalışmalar bitmiştir.



Şekil 3.26 Kağıthane’deki Tescilli Su Sarnıcı Bakımsızlık ve Yapının Kullanılmamasından Dolayı Hasar Alması (2020 yılına ait fotoğraf)



Şekil 3.27 Kağıthane'deki Tescilli Su Sarnıcı Vandalizm Sonucu Zarar Görmesi
(2020 yılına ait fotoğraf)

3.7.3 Savaş

Savaşlar, tarihi yapılarda en büyük hasar nedenlerinden biridir. Özellikle uzun yıllar süren Orta Doğu, I. Ve ve II. Dünya Savaş' larında dünyanın birçok ülkesinde bulunan tarihi yapılar zarar görmüş ve yok olmuşlardır. Bazı yerlerde bu eserler kurtarılırken bazı tarihi eserler tamamen izleri kaybolmuştur [27]. Kültür varlığımız olan tarihi yapılar, uluslararası savaş hukukuna göre zarar vermek suç olmasına rağmen günümüzde de hala savaşlar nedeniyle birçok tarihi yapı, bombalanmak, yakılmak, yıkılmak suretiyle yok edilmektedir [23]. (Şekil 3.29)



a)

b)

Şekil 3.28 a) Halep Ulu Camii Savaş Öncesi ; b) 2013 Yılından Savaş Sonrası
Halep Ulu Camii

3.7.4 Bayındırlık Etkileri

Kentlerin plansız gelişmesi, kent dokusunda yapılan değişiklikler, imar çalışmaları, yol ve baraj yapılması gibi etkiler tarihi yapılar ve çevresi için tehdit oluşturan durumlardır. Tüm bu olumsuz etkiler tarihi sit alanlarının, yapıların ve dokuların yok olmasına neden olmaktadır. Örneğin ülkemizde Keban ve Atatürk Baraj'larının yapılması ile doğu anadolu bölgesindeki birçok arkeolojik sit alanının yok olmasına neden olmuştur. Bir başka örnek ise 1950'li yıllarda dar sokakların genişletme çalışmalarında Karaköy-Kabataş bölgesindeki birçok önemli tarihi yapı yıkılmıştır [27].

3.7.5 Trafik ve Titreşim

Ulaşım kaynaklı ya da yapı çevresinde yapılan çalışmalar sonucu oluşan titreşimler tarihi yapıların hasar almasına neden olabilmektedir. Yapılan araştırmalara göre tarihi yapılar modern yapılara kıyasla titreşimlerden 2,5 kat daha fazla etkilenmektedir. Tüneller veya yeraltı kazıları, inşaat amaçlı yapılan çalışmalar, yoğun trafik, raylı toplu taşıma sistemleri ve yapıda titreşim yaratacak aletlerin kullanılması gibi etkiler; yapılarda tespiti oldukça güç olan uzun süreli titreşim etkisi yaratır [31]. Titreşimler, rijit olan tarihi yapılarda salınıma neden olarak yapısal hasarlara yol açmaktadır.

TARİHİ YAPILARDA HASAR ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Tarihi yapıların yapısal dayanımı; yapının taşıyıcı sistemi, geometrik formu ve kullanılan malzemenin dayanımına bağlıdır. Eski eserlerde kullanılan malzemelerinin özellikleri ve yapım tekniklerinin oldukça fazla olmasından yapısal bütünlüğünün anlaşılmasında yaşanan zorluklar, birçok hasar çeşidi ve neden olmasından dolayı yapıya yapılacak müdahalede sorunlar oluşabilmektedir [47]. Bu zorluklar ve sorunları iyi anlamak için yapı ve çevresinde gözlemler, deneyler, analizler ve ölçümler yapılır. Bu ölçüm ve incelemeler ile yapının malzeme özellikleri tanımlanır, yapısal hasar biçimleri belirlenir ve bu hasarlara geliştirilecek onarım ve güçlendirme tekniği seçilir. Seçilen doğru onarım ve güçlendirme metodu ile yapıların tarihi dokusu korunup gelecek nesillere ulaştırılması sağlanır [3].

4.1 Yapı İle İlgili Gözlem, Durum Analizi ve Belgeleme

Tarihi yapının ve çevresinin birlikte yapısal bütünlüğünü kavramak, taşıyıcı sistem özelliklerini belirlemek, yapıda kullanılan malzeme, hasar geçmişi ve yapıya uygulanan onarım ve güçlendirme çalışmaları vb. gibi durumların incelenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı yapıya ilişkin geçmişten günümüze kadar yapılmış tüm araştırmalar toplanır ve belgelenir. Tez kapsamında makro gözlem ve mikro gözlem olarak iki başlıkta incelenecektir [7, 27].

4.1.1 Makro Gözlem

Tarihi yapının ve çevresinin tüm mekansal ve geometrik özelliklerini ortaya koyan gözlem türüdür. Bu gözlem türünde, tarihi eserin yapısı, formu, malzemesi gibi genel özellikleri ile birlikte yapının bulunduğu alanla ilişkisi ve zaman içindeki yaşanan değişimler genel hatlarıyla ortaya konur [7, 27].

4.1.2 Mikro Gözlem

Mikro gözlem, yapının mevcut durumu ve korunmuşluk düzeyi ele alınır ve ortaya konur. İlk olarak restorasyon çalışmaları yapılmadan tarihi yapıyla ilgili tüm tarihi belgeler bulunup değerlendirilir [7, 27].

Yapının geçmişi, yapım sistemi, zaman içerisinde yaşadığı hasarlar, müdahaleler ve değişimler ilgili dokümantasyon toplanır. Yapı için yapılacak onarım ve güçlendirme çalışması için gerekli bilgi altyapısı oluşturulur. Yapının geçirdiği tadilat, onarım, güçlendirme ve müdahalelerin kronolojik olarak ele alınır. Bu şekilde hasar nedenleri ortaya konmaktadır [27].

4.2 Zemin İncelemesi

Zemin özelliklerinin belirlenmesi, zeminden kaynaklı hasarların tespiti için ayrı bir öneme sahiptir. Bunun için yapının çevresinde bir takım araştırma, çalışma, analiz ve laboratuvar deneyleri yapılmaktadır [20, 30].

4.2.1 Arazi Çalışmaları

Zemin özelliklerinin belirlenebilmesi için arazide yeterli sayıda gözlem çukuru ve sondajlar açılıp numuneler alınmalı, yeraltı su seviyesi belirlenmeli ve zemin üzerinde bir takım deneyler yapılarak zeminden kaynaklı hasarlara müdahale edilmelidir [30].

Binaların temel durumlarının ve derinliklerinin belirlenmesi için bina kenarında yeterli miktarda kontrol amaçlı gözlem kuyuları açılır. Yüzeysel temelli binalarda, temelin biçimi ve derinliği hakkında bilgi verecek kadar açılması yeterlidir. Kazıklı temele sahip binalarda ise kazığın başlık kotu ve yeraltı suyunun başladığı yer belirlenir ve yapının çevresinde yapılması olası kazı çalışmalarının hangi derinlikte ve mesafede yapıya olumsuz etkisi olabileceği belirlenerek çalışma yapılır. Çoğunlukla gözlem çukurları yaklaşık 3,5 - 4 m derinliktedir. Fakat uygun zemin şartlarında kazı makineleri ile 8 m derinliğe kadar açılabilir. Yer altı su seviyesinin fazla olduğu yerlerde kullanılmaz. Gözlem kuyuları düşey ve gözlem galerileri ise yatay açılır. Açılan gözlem çukurlarına tüpler çakılır ve örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınır [20, 30, 48].

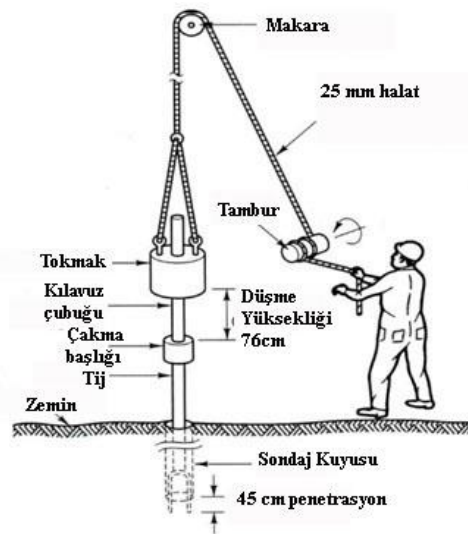
4.2.2 Sondaj Çalışmaları

Sondaj sayısı yapı alanı, derinliği ve temel genişliği ile orantılıdır. Zemin sondajları genellikle 3 m'den daha derin incelemelerde, gözlem kuyuları kullanılmadığı zeminlerde tercih edilir. Sondaj çapları 50 mm ile 250 mm arasında değişmektedir. Sert zeminlerde sondaj deliği desteksiz gevşek zeminlerde kaplama borusu ile veya sondaj deliği içi harç ile doldurularak kullanılmaktadır. Sondaj ile delik açılması işleminde burgu, darbeli yıkama veya dönel sondaj tekniklerinden biri ile yapılmaktadır [30, 48].

4.2.3 Arazi Deneyleri

Zeminin özelliklerini belirlemek için bazı arazi deneyleri kullanılır. Arazi deneyleri ile laboratuvar deneylerinin birlikte değerlendirilmesi gerekir.

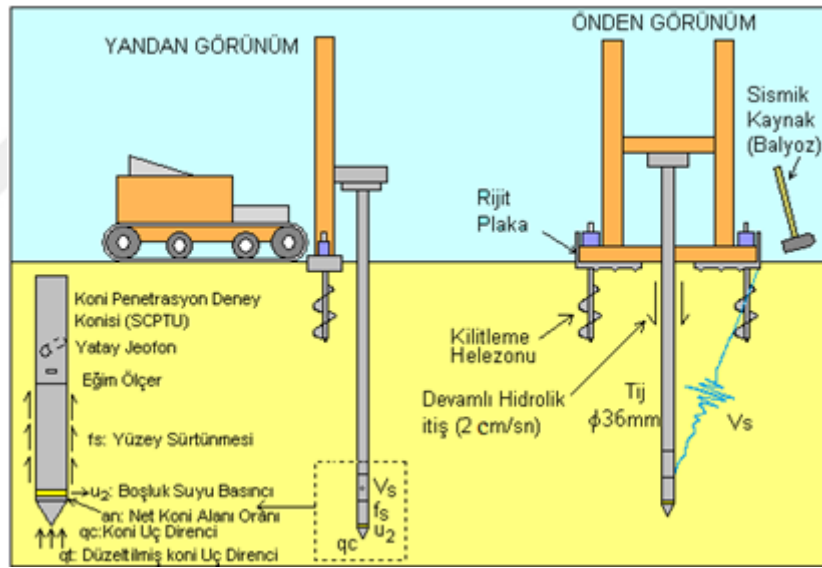
Standart penetrasyon deneyi (SPT) arazide en yaygın yapılan deney türüdür. Bu deneyi yumuşak killi ve gevşek kumlu, sert killi ve çok sıkı kumlu çeşitli zemin türlerinde tercih edilir. Zemindeki kaba dane oranı fazla ise bu deneyin yapılması uygun değildir. Bu testte 50 mm dış çaplı uç kullanılarak kaplama borusu çakılmış sondaj çukuru tabanından itibaren zemine çakılması ile yapılır. Şekil 4.1'de verildiği gibi; 635 N'luk ağırlık 0.76 m den düzeneğe düşürülerek sondaj deliği tabanından itibaren yaklaşık 0.15 m girmesi için gerekli düşüş sayısı tespit edilmektedir. Kohezyonsuz zeminlerin katmanlar hakkında bilgi verir. Düşüş sayısının büyük olması, zeminin sağlam olduğunun göstergesidir [48].



Şekil 4.1 Spt Deneyi [49]

Arazide uygulanan bir diğer deney ise Veyn deneyidir. Veyn deneyi ile özellikle yumuşak normal konsolide killerin drenajsız kayma mukavemeti belirlenebilir. Veyn deney aleti zemin içine batırılır ve zemin içinde dönmesi sağlanır [30].

Koni penetrasyon deneyi (CPT), gelişen teknoloji ile birlikte zemin profili ve özellikleri tespit edilir. Bu testin kısa zaman alması, tekrarlanabilir olması, zeminden numune alınmasına ve laboratuvar çalışmasına gerek duyulmaması, deneyin yapılmasının ve sonuçların yorumlanmasının diğer yöntemlere göre daha az iş gücü ve maliyet açısından avantajları olduğundan tercih edilir [30, 49]. Şekil 4.2 verildiği gibi; koni penetrasyon deneyi ucu koni şeklinde olan bir silindirik borunun zemine itilmesi sırasında beliren dirençlerin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Test sırasında 1 m uzunluğundaki tijler zemine yaklaşık 20mm/s hızla itildikten sonra ucun direnci, çevre sürtünmesi ve boşluk suyu basıncı değerleri devamlı kaydedilmektedir [49].



Şekil 4.2 CPT deneyi [49]

Kesme deneyi, kumlu zeminler için kayma mukavemeti tespitinde kullanılır. Serbest basınç deneyi ise killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için kullanılır. Üç eksenli basınç deneyi ile drenajlı ve drenajsız şartlarda, kayma mukavemeti ile elastisite modülü belirlenir [49].

Kompaksiyon deneyi; Mekanik yöntemler yardımıyla zeminin boşluklarında yer alan havanın çıkartılarak danelerin birbirine yaklaşması sağlayan yöntem

kompaksiyon denir. Kompaksiyon deneyi ile arazide sıkıştırılacak zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve bu birim hacim ağırlığına ulaşılan su muhtevası (optimum seviye) değeri bulunmaktadır Bu testin amacı, zeminin boşluk oranını azaltarak geçirimsizliği azaltmak, su emme özelliklerini kontrol etmek, zeminin taşıma gücünü arttırmak, oturma ve deformasyonunu azaltmaktır [30].

Bu deneyler sonucunda zeminde oturma, sıvılaşma vb. sorunlardan dolayı kaynaklı hasarların oluşma nedenleri bulunabilmektedir. Bu deneylerin sonucunda hasarlara müdahale edilebilmektedir. Örneğin zeminde sıvılaşma tespiti için en eski ve en sıkça kullanılan yöntem Standart Penetrasyon Deneyidir.

4.3 Alan ve Laboratuvar Deneyleri

Yapılan alan ve laboratuvar deneysel çalışmalar sonucunda belirlenen malzeme özellikleri ve hasar nedenleri ortaya çıkmaktadır.

4.3.1 Alan Deneyleri

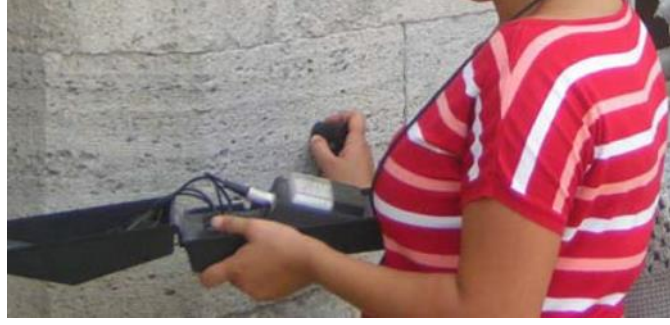
Tarihi yapılarda hasar nedenleri araştırıldığında ilk aşamada zemin incelemesi yapıldıktan sonra ikinci aşamada alan deneyleri yapılmalıdır. Tarihi yapılarda alan deneyleri tez kapsamında tahribatsız deneyler ve az tahribatsız deneyler başlıkları altında incelenecektir.

4.3.1.1 Tahribatsız Deneyler

a. Yüzey Sıcaklığı ve Nem Analizleri

Eski yapılarda pek çok hasarın nedenine bakıldığında yapının bulunduğu bölgenin iklim koşulları, sıcaklık ve nem etkisinden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Yapının genelinde ve yapı malzemesinde sıcaklık ve nemin ölçülmesi, mikroiklim koşulları ortaya koymaktadır. Bu durum da hasara neden olan sürecin açıklanmasında, seçilecek onarım yöntemi ve restorasyon çalışmasında fayda sağlamaktadır. Yüzey sıcaklığının ve neminin ölçülmesinde bu kapsamda geliştirilmiş çeşitli elektronik ve elektronik olmayan aletler kullanılmaktadır. Bu aletlerin hepsinde iyi bir kalibrasyona ihtiyaç duyulmaktadır [50]. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, kullanılan aletler ve kalibrasyonlar sayesinde ortam sıcaklığı, bağıl nem, özgül nem, yoğuşma noktası ve çiğlenme noktası sıcaklığı vb. yapısal

özellikler ölçülür ve kayıt altına alınır. Kış ve yaz ayında tekrarlanması gerekmektedir [40].



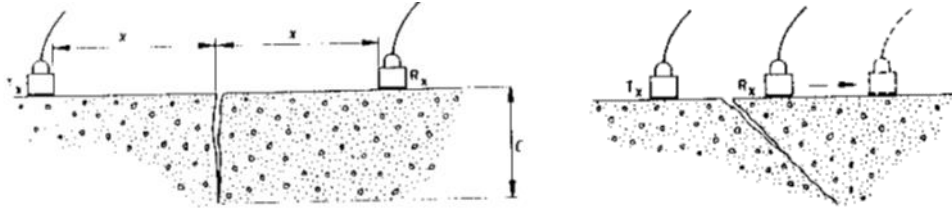
Şekil 4.3 Yüzey Sıcaklığı ve Nemin Belirlenmesinde Kullanılan Alet [40]

b. Ultra Ses Deneyi

Bu metot da yüksek frekanslı ses dalgası (frekansı 16.000 fazla olan ultra ses dalgaları) üreten aletlerden yararlanılır. Ölçüm karşılıklı yüzeylerde doğrudan veya aynı yüzden dolaylı olarak yapılır. Şekil 4.4 ‘dek düzenekteki gibi alıcı ve verici arasındaki ses dalgalarının iletim süresi ve hızı zaman ölçülür. Malzeme boşluklu bir yapıya sahip yani yoğunluğu az ise ya da bünyesinde çatlaklar var ise ses geçiş hızı düşüktür. Şekil 4.5 ‘te ki gibi veriler sürekli incelenerek çatlak oluşumu, derinliği ve yönü tespit edilir. Çatlaklara müdahale aşamasında enjeksiyon uygulaması yapılmadan önce kullanılmalıdır. Ultrasonik test tekniği, sütunların içerisindeki çatlak derinliğinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Çatlağın iki tarafına eşit mesafede tutulan 40 khz’lık transduser yardımıyla çatlak oluşumu izlenebilmektedir. Bu şekilde malzemenin dayanımına ölçülür. Ultra ses deneyleri tek başına yeterli değildir. Diğer yöntemler ile birlikte kullanılmalıdır [7, 40].



Şekil 4.4 Ultra Ses Deneyi [7]



Şekil 4.5 Ultra Ses Deneyinde Çatlak Derinliği ve Yönünün Belirlenmesi [40]

c. Sertlik Ölçümü

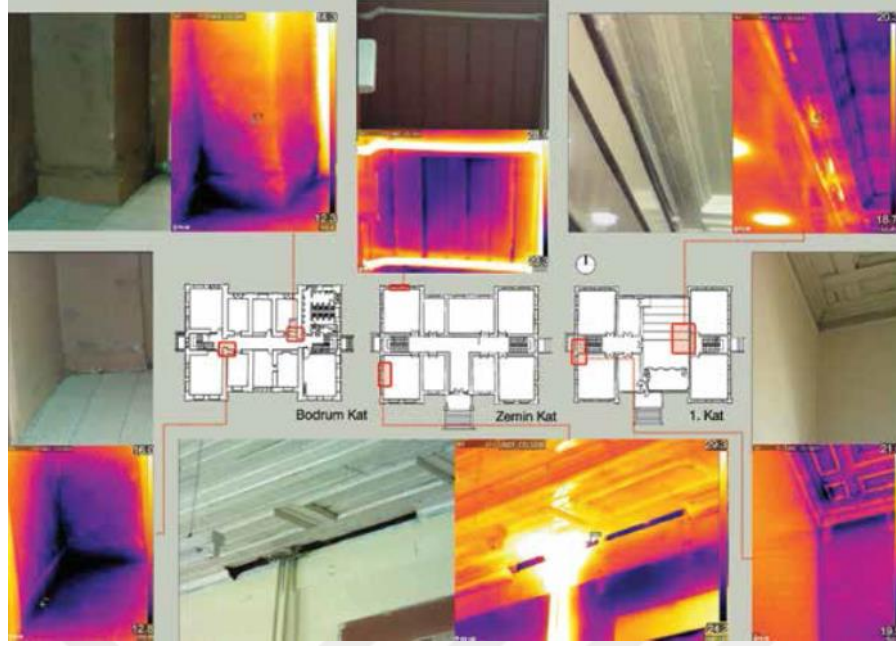
Boşluklu yapı malzemelerinde dayanımını ve sertliğin belirlenmesi için çoğunlukla geri sıçramanın ölçülmesi prensibine dayanan N tipi (beton, doğal taş vb. yüzeylerde) veya Şekil 4,6'da ki gibi P tipi Schmidt (harç, tuğla gibi yüzeylerde) çekicinden yararlanılır. Bunlardan, N tipinde, bir bilye, P tipinde ise bir pandül, arkasında bulunan yay yardımı ile yüzeye vurulur. Bilye veya pandül taş cismin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrar, geri sıçrama ne kadar büyük ise sertlik o kadar yüksektir. Yapı elemanın yüzeyi temizlenir (sıva ve kaplamadan) değişik noktalara en az 10 vuruş yapılmalı, maksimum vuruş değeri ile minimum vuruş değeri arasındaki fark 10'dan küçük olmalıdır [7, 40].



Şekil 4.6 P Tipi Schmidt Çekici Testi Uygulaması [30]

d. Termografi Yöntemi

Yapı malzemelerin yüzeyinin sıcaklığına bağlı olarak belirli bir yoğunlukta elektromanyetik ışınım yaymasına bakılması yöntemidir. Yapıdaki hasarlı kısımlar, kusurlu olmayanlara göre farklı termal iletkenlik göstermesinden dolayı ısı akışında aksama olur ve yüzey sıcaklığı değişir. Yüzey sıcaklığı kızılötesi tarayıcılar yardımı ile ölçülür ve videoya kaydedilir. Bu şekilde malzemedeki ısı kaçış noktaları, hasarların yeri ve yapıdaki sorunlar tespit edilebilir [7, 51] . Malzemelerin ayırt edilmesinde kullanabilir. (Şekil 4.7)



Şekil 4.7 Kocaeli Ulugazi İlkokulu Kızılötesi Kamerayla Yapılan Ölçümler ve Tespitler Bodrum Kattaki Problemler [51]

e. Radar / Georadar Yöntemi

Bu yöntemde ortam içine elektromanyetik dalgalar gönderilir, alıcı ve verici arasında geçen süre kaydedilerek yapıdaki boşlukların ve çatlakların yeri tespit edilir. Genellikle tabakalı duvarların ve karot alınamayan bölgelerindeki boşluk ve çatlakların varlığı ile malzemelerin fiziksel özelliğini tespit etmede kullanılır [7]. (Şekil 4.8)

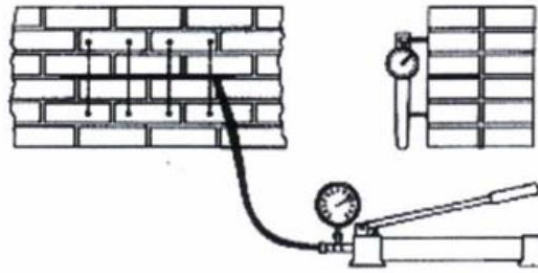


Şekil 4.8 Yapı İçinde ve Dışında Georadar Uygulaması [8]

4.3.1.2 Az Tahribatlı Deneyler

a. Yerinde Basınç Gerilmesinin Belirlenmesi (Flat-Jack) ve Kayma Deneyi

Basınç deneyinde; yapı elemanına uygulanan kuvveti ve kuvvete karşılık gelen boy değişiminin ölçülmesine imkân sağlayan Şekil 4.9' taki flat-jack deney düzeneğinden faydalanılır. Basınç uygulayan bir kompresör ve bir basınç ölçer, basınç kuvvetini yüzeye uygulamaya yarayan plaklar, deplasmanı ölçmeye yarayan komparatör ve komparatörü tespit etmeye yarayan pimlerden oluşmaktadır. Açılan bölgeye plak yerleştirilir, gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra kuvvet uygulanarak belirli aralıklar ile kuvvet ve deplasmanlar ölçümü yapılır. Elemanların gerilme ve şekil değiştirmeler ve elastisite modülü bulunmuş olur [7, 40].



Şekil 4.9 Basınç Deneyi [40]

Yerinde kayma deneyi, ölçüm yapılacak kısmın iki tarafı açılarak bir taraftan yatay kuvvet uygulanır. Diğer tarafa yerleştirilen sensörün maksimum deplasmanı kaydettiği andaki gerilme, yapıdaki kayma gerilme noktasıdır. Şekil 4.10 'taki gibi düzenek ile yapıların kayma dayanımı ölçülür [40].



Şekil 4.10 Yerinde Kayma Deneyi [40]

b. Endoskopi Uygulaması

Endoskopi yöntemi; eski eserlerde ulaşılmayan bölümlerde ve taşıyıcı elemanların boyutlarının çok büyük olduğu, karot ile ulaşılamayan bölgelerde tercih edilir. Şekil 4.11’de de görünen düzenele yapıda ortalama bir cm çapında delik açılarak kamera ile görüntü alınır. Çalışma yapılan derinlikteki malzemelerin neler olduğuna karar verilir. Endoskopide georadar yönteminin sonuçlarıda değerlendirilip dorulanabilir [7].



Şekil 4.11 Tarihi Yapılarda Endoskopi Yöntemi [7]

c. Yapıdan Numune Alınması

Hasarların nedeni ve malzemenin belirlenmesi amaçlı, Koruma Bölge Kurulu’nun izni ile yapılarda az sayıda, görünür olmayan algıyı bozmayacak şekilde karot numune alınır. Karot numuneler, yapının önemi dikkate alınarak mümkün olduğu kadar az sayıda ve görünür olmayan, algıyı bozmayacak noktalardan alınmalıdır. Alınan numuneler laboratuvar ortamında test edilir [7].

4.3.2 Laboratuvar Deneyleri

Yapının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılacak malzeme ile mevcut malzemenin uyumunun araştırılması için alınan numunelerin fiziksel, mekanik ve mikro yapısal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi için laboratuvar deneyleri yapılmaktadır.

4.3.2.1 Mekanik Deneyler

Yapıdan alınan karot numuneleri deneyler için hazırlanır. Numuneler tartılır, çapı ve yüksekliği belirlenir eğer numune uygunsa ultrases ölçümü yapılır.

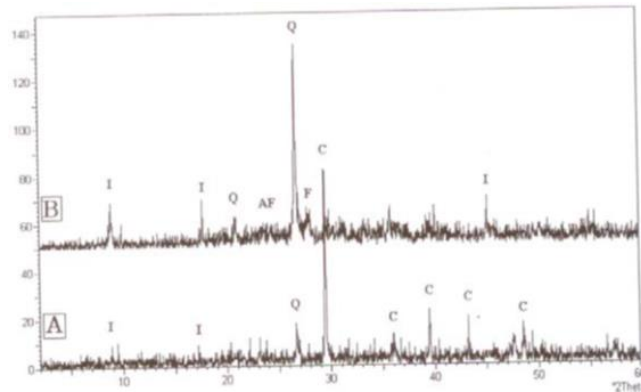
Deneyleri için alınan numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılır. Bu şekilde gerilme, düşey ve yanal şekil değiştirme değerleri tespit edilir. Deney sonucunda numunelerdeki malzemelerin basınç mukavemeti ve elastisite modülü bulunur [7, 40].

4.3.2.2 Fiziksel Deneyler

Yapıdan alınan numunelerdeki malzemelerin fiziksel özellikleri belirlemek için deneyler yapılır. Birim hacim, yoğunluk, boşluk oranı, özgül ağırlık, porozite, su emme kapasitesi, kılcal kapiler vb. katsayılar belirlenir [14].

4.3.2.3 İç Yapı Analizi

Alınan numunelerin malzemelerin iç yapısının belirlenmesi amacı ile SEM (Scanning Electron Microscopy), XRay analizi, petrografik ve XRD analizleri yapılır. SEM yönteminde taramalı elketron mikroskobu kullanılır. Malzeme içindeki elementlerin varlığı ve oranı araştırılır. XRay analizi ile malzemenin puzolanik özelliği araştırılır. Petrografik analiz yönteminde alınan taş numunelerinin jeolojik sınıfının belirlenmesi amacı ile yapılır [7]. XRD yönteminde, kristal yapılarının X ışınları kullanılarak incelenmesi esasına dayanır ve malzemelerin mikro yapı özelliklerinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [40]. XRD yöntemi her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimi olduğu ve X ışınlarını karakteristik bir düzende kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz kendine özgü bir kırınımı vardır. X-ışını kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numune ile analizlerinin yapılmasını sağlamaktadır [52]. (Şekil 4.12)



Şekil 4.12 St. Jean Kilisesi’ den Alınan Harcın X Işınım Kırınımı Grafiği (Alınan Numunelere Göre Malzemede Bulunan Elementler Belirlenmesi) [52]

4.3.2.4 Kimyasal Deneyler

Kimyasal deneyler ile eski eserlerden alınan ve toz haline getirilen numuneler, belirli çözeltilerde bekletilerek ve çeşitli kimyasal deneylerin yapılması ile bileşenleri belirlenir [14].

a. İletkenlik Testleri ve Tuz Analizleri

Alınan numuneler (özellikle sıvalar, harçlar ve taşlardan) puzolanik aktivite deneyi yapılarak elektrik iletkenlikleri tespit edilir. Bu analizde, doygun $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin çözeltisine elek analizi sonrasında alınan numunenin agregasının $125 \mu\text{m}$ altında kalan ince kısmı karıştırılıp sonra elektrik iletkenliği ölçülür. Çözelti ile karışımın elektrik iletkenlik değerleri arasındaki farkın $0,4 \text{ mS/cm}$ 'den büyük olması numenin puzolanlık özelliği taşıdığını $1,2 \text{ mS/cm}$ 'den büyük olması ise iyi puzolan olduğunu göstermektedir. Daha sonra tuz analizlerindeki sonuçlara bakıldığında ise yapıya hangi iyonların zarar verdiği ortaya çıkar ve bu veriler ışığında müdahaleler yapılır [53].

Tablo: 4.1 Kağıthane'de Bulunan Su Sarnıcı'nda Alınan Numunelerin Tuz Analizi
–KURAM Raporu

Örnek No	SUDA ÇÖZÜNEBİLİR TUZLAR						ORGANİK MADDE	
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	İLETKENLİK (μS)	Tuz Miktarı (%)	PROTEİN	YAĞ
1A	-	-	-	-	87	0,51	+	-
1B	-	-	-	+	172	1,01	+	-
2	-	-	-	-	90	0,53	-	-
3A	-	+	-	+	332	1,96	+	-
3B	-	-	-	+	250	1,48	-	-
4A	-	-	-	-	2770	16,34	+	-
4B	-	-	-	-	836	4,93	+	-
5A	-	-	-	-	67	0,40	+	-
5B	+	-	-	+	2570	15,16	-	-
6	+	-	-	+	375	2,21	+	-
7A	-	-	-	+	195	1,15	+	-
7B	-	-	-	-	2900	17,11	+	-

b. Kızdırma Kaybı, Asitle Muamele ve Elek Analizi

Yapıdan alınan numuneler, asitle muamele (akabinde stereo mikroskop), kızdırma kaybı ve elek analizleri uygulanmaktadır. Alınan örnekler üzerinde

yapılan kalsinasyon (kızdırma kaybı) işleminde 105, 550 ve 1050 derecelerde kalsine edilir ve soğutma işleminin ardından ağırlık kayıpları bakılır. Asitle muamele işleminde ise sonucunda asitle tepkimeye girmeyen parçalanmadan kalan agregalar tanımlanır. Bu iki işlemden sonra elek analizi yapılır ve agrega boyutları tespit edilir. Bu testler sayesinde taş, harç ve sıva örnekleri hakkında daha detaylı bilgiler elde edilerek onarım ve güçlendirmeye uygun, yapıya özel malzeme seçilir [14].

Tablo 4.2: Kağıthane’de Bulunan Su Sarnıcı’nda Alınan Numunelerin Kızdırma Kaybı, Asitle Muamele ve Elek Analizi –KURAM Raporu

Örnek No	Kızdırma Kaybı (%)			Asitle Muamele (%)		Elek Üzerinde Kalan (%)									
	Nem (105°C)	550 °C	CaCO ₃	Kayıp	Kalan	> 8,0 mm	> 5,6 mm	> 4,0 mm	> 2,0 mm	> 1,0 mm	> 500 µ	> 250 µ	> 125 µ	> 63 µ	< 63 µ
1A	5,13	5,63	43,51	50,00	50,00	44,07	11,38	5,08	8,72	6,17	5,21	11,08	4,72	2,66	0,91
1B	1,89	4,64	60,88	59,99	40,01	0,00	13,51	7,58	10,95	12,45	16,40	17,83	12,64	6,01	2,63
2	*			8,36	91,64	*									
3A	1,43	4,83	53,45	68,93	31,07	41,22	10,84	5,20	5,38	5,02	6,90	11,20	7,44	5,02	1,79
3B	5,03	6,99	59,14	62,28	37,72	0,00	12,68	12,76	9,71	5,72	13,64	19,21	15,40	7,39	3,51
4A	9,75	12,92	27,74	59,49	40,51	0,00	16,74	16,67	18,65	6,76	13,64	11,62	9,35	4,61	1,96
4B	6,88	8,79	39,95	50,87	49,13	0,00	12,86	9,98	10,93	9,29	14,98	18,52	14,01	6,57	2,87
5A	1,25	2,37	26,04	31,11	68,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,28	15,15	2,44	1,13
5B	5,81	7,10	59,11	67,74	32,26	0,00	14,66	10,68	14,75	17,64	14,68	12,83	9,45	4,14	1,18
6	23,57	13,18	22,60	50,85	49,15	0,00	0,00	0,00	14,13	14,71	17,99	17,33	18,06	11,51	6,26
7A	2,88	8,12	55,64	73,47	26,53	0,00	0,00	13,09	19,57	18,93	15,63	11,94	11,05	6,86	2,92
7B	28,08	9,65	38,61	66,29	33,71	0,00	0,00	0,00	22,54	14,77	17,70	16,93	14,85	8,89	4,32

4.4 Sayısal Analiz Yöntemi

Sayısal analiz yöntemi, mühendislik ve matematiksel modellerin kullanılarak yapılardaki hasarların tespitinde ve yapılacak uygulamanın doğruluğunu kontrol edilmesinde kullanılmaktadır.

En çok kullanılan sayısal analiz yöntemi FEM (Sonlu eleman yöntemi) yöntemidir. Özellikle yapı statığı, ısı aktarımı, akışkanlar mekaniği ve kütle aktarımı problemlerinde kullanılır. İki veya üç boyutlu kısmi diferansiyel denklemleri ve sınır değer problemlerinin çözümünde uygulanır.

TARİHİ YAPILARDA UYGULANAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME METOTLARI

Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme, bir yapının yük taşıma gücü, rijitliği, dayanımı, sünekliği, vb. özelliklerini eski duruma getirmek ya da gerekiyorsa mevcut durumun üzerine çıkarmak amacıyla, yapıda bir takım müdahaleler olarak tanımlanabilir [30]. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmenin ana amacı, yapısal güvenliğin daima koruma ilkesi olup yapıda öngörülen performans düzeyinin sağlanmasıdır. Bununla birlikte yapılan tüm çalışmalar, tarihi yapının yapısal sistemine ve mimari özelliklerine saygılı ve uyum içinde değerinin korunması amaçlanarak yapılması gerekmektedir [54]. Tez kapsamında tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme metotları basit müdahale, esaslı müdahale ve yeniden yapım başlıkları altında incelenmiştir.

5.1 Basit Müdahale

Basit müdahale; eski eserlere hiçbir müdahalede bulunmadan, yapıya zarar veren etkenleri ortadan kaldırılması olarak tanımlanabilir. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu'nca 660 sayılı ilke karar da basit onarım tanımı bu şekilde yapılmıştır.

5.2 Esaslı Müdahale

Esaslı Müdahale; basit müdahaleyi aşan müdahale türlerinde başvurulması gereken müdahale türüdür. Bu müdahale türünde yapının rölövesi alınarak oluşturulan restitüsyon ve restorasyon projeleri ile ilgili diğer belgelerin içerikleri ve ölçekleri kapsayan detaylı onarım iyileştirme çalışmasıdır [7, 54]. Tez kapsamında esaslı müdahale; sağlamlaştırma, bütünleme ve yenileme olarak üç başlık altında ele alınacaktır.

5.2.1 Sağlamlaştırma

Korunması gerekli kültür varlıklarında sağlamlaştırma uygulaması; tarihi yapının malzemesi ve taşıyıcı sisteminin güçlendirilmesi, zemin güçlendirmesi, temel

güçlendirmesi ve sistemin stabilitesini artırıcı ek müdahaleler olarak dört aşamada incelenecektir.

5.2.1.1 Tarihi Yapının Yapıldığı Malzemenin ve Taşıyıcı Sisteminin Güçlendirilmesi

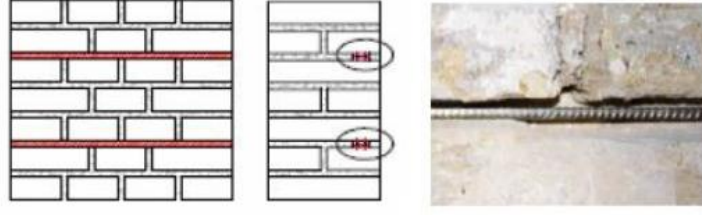
Eski eserler yapıldıkları coğrafyanın özellikleri ve geleneklere bağlı olarak çeşitli yapı malzemelerinden meydana gelmektedir. Özellikle kerpiç, tuğla, taş, ahşap gibi doğal kökenli malzemelerden yapılmaktadırlar. Zamanla doğal ve yapay etkiler sonucu bu malzemelerde bozulmalar ve deformasyonlar oluşmakta olup bu yapıların doğru olarak güçlendirilmesi için yapının özgün malzemelere uygun olan onarım, malzeme ve sistem kullanılmalıdır [22].

a. Sıva, Derz ve Yapı Malzemesinin Sağlamaştırılması

- Sıva ve derzlere müdahale:

Zaman içerisinde, çeşitli etkilere maruz kalan duvar yüzeylerindeki sıvalar ve derzler yıpranmaya başlar. Eski eserlerde bu durum yapısal sorunlar yaratabilir. Yapıya ait harç ve sıvaların kimyasal içeriklerinin ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi üretilecek yeni malzemelerin özgün ve diğer yapı malzemeleri ile uyumlu olması için zorunludur. Bu malzemeler üzerinde yapılması gerekli olan malzeme ve numune testleri göz ardı edilmemesi elde edilen veriler ışığında sıva ve derz yenilemesi yapılmalıdır. Yeni oluşturulan harç özgün olanıyla benzer özellik ve niteliklerde değilse derz ve sıva yenileme işlemi yapı malzemelerinin bozulmasını neden olabilir.

Donatılı derz uygulaması, derz yerlerinin dayanıklılık iyileştirilmek ve derz aralarına suyun girmesine engellemek için tercih edilmektedir. Bu uygulamada, bozulmuş derzler temizlenir. Şekil 5.1'deki gibi, derz araları harç ile doldurulmadan önce derzlerin kalınlığına göre uygun ebatlarda donatı çubukları konularak harç uygulaması yapılır [31].



Şekil 5.1 Donatılı derz işlemi [41]

- Ahşap öğelerin sağlamlaştırılması:

Ahşabın yüzeyine yangın, mantarlaşma vb. etkilerinin azaltılması için koruyucu, nitelikte maddeler sürülerek, püskürtülerek ya da emprenye edilerek sağlamlaştırılması sağlanmaktadır. Ayrıca yapı yüklerini karşılaması ve sistem stabilitesi arttırmak için ahşap elemanlara ek bağlantılar ve takviyeler yapılmaktadır. Örneğin ahşap döşemede kiriş sayısının artırılması ya da döşeme altına ek X şeklinde bağlantıların yapılması gibi uygulama teknikleri vardır [55].

- Taş öğelerin sağlamlaştırılması:

Taş yüzeylerinde ya da derin olmayan çatlaklarda koruyucu, yapıştırıcı, doldurucu nitelikte çeşitli kimyasallar ve harçlar sürülerek, püskürtülerek, emprenye edilerek veya enjeksiyon yöntemi ile sağlamlaştırılması sağlanmaktadır. Bu onarım yöntemlerinde özgün taşın rengine ve yapısına uyum sağlayabilecek malzeme seçimi yapılmalıdır.

- Kerpiç malzemenin sağlamlaştırılması:

Kerpiç malzeme çamur harcı ile sıvanarak korunmaktadır. Bu yöntemle kerpiç hava koşullarına karşı korunmuş olmaktadır.

b. Kısmi Değişirme ve Tamamlama

Ciddi hasar durumlarında (Derin çatlak, ayrılma, parça kayıpları, malzemenin bozulması vb. gibi) en etkili yöntem zarar görmüş malzeme, parça ve elemanın kademeli olarak kaldırılarak aynı ya da daha geniş alanda tekrardan yapılmasıdır. Bu yöntem, yağının tarihi değerine göre detaylı değerlendirilmelidir [22].

Malzemenin kısmi değiştirilmesi, zarar gören, çürüyen ve bozulan malzeme yeni malzemeyle yenilenir. Yeni kullanılan malzeme, bir önce ki kullanılan özgün

malzeme ile benzer mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu konuya dikkat edildiğinde uyum nedeniyle ortaya çıkabilecek problemlerin önüne geçilmesi sağlanır. Yeni uygulanan malzeme aynı zamanda bozulma ve hasara neden olan problemleri de çözüm olması gerekmektedir. Değiştirme uygulaması sadece yapı malzemenin değiştirilmesi değil yapı elemanı ve taşıyıcı sistemin yenilenmesi şeklinde yapılmaktadır. Dikmeler, sütunlar, çatılar, döşemeler vb. yapı elemanı ve parçasında kısmi değiştirme yöntemi uygulanır. Bu yöntemin temel amacı yapı elemanı ve taşıyıcı sistemin orijinal fonksiyonunu, dengesini ve bütünlüğünü iyileştirmektir [41]. Bu yöntem minimum kuralları çerçevesinde sadece işlevsel ve fiziksel bütünlüğünü yitirmiş kısımlarda yapılması gerekmektedir.

c. Takviye ve Güçlendirme

- Enjeksiyon yöntemi

Enjeksiyon yöntemi; yapıya özgün mekanik özelliklerini kazandırabilmek için, yapı içine uygun fiziksel ve kimyasal özellikte sıvı malzeme enjekte edilmesi uygulamasıdır. Enjeksiyon uygulaması ile yapı içerisinde bulunan boşlukların ve çatlakların doldurularak yapı kesitinin sürekliliğini sağlamak ve tekrar tek parça şeklinde bir yapı elde etmek amaçlanır. Böylece yapı üzerindeki yükler kesintisiz olarak temellere aktarılır ve olası göçmeler engellenmiş olur [7].

Enjeksiyon uygulaması yapılmadan önce boşlukların yerleri, yönleri ve boyutları tespit edilmeli, enjeksiyon harç oranı ayarlanmalı ve enjeksiyon basınç değerlerinin belirlenmelidir [31].

Uygulamada; öncelikle yüzey harç, sıva vb. katmanlardan temizlenir. Delik açılır ve duvar ebadına ya da çatlak boyutuna göre enjeksiyon borusu delik içine yerleştirilir . Boru ucu kenarları enjeksiyon macunu ile kapatılır. Uygun oranlarda hazırlanan enjeksiyon malzemesi enjekte edilmeye başlanır. Enjeksiyon uygulaması ortalama 3 Mpa basınçta yapılmalıdır. Enjeksiyon malzemesi en alt noktadan uygulanmalı ve üst noktaya ulaşınca kadar durdurulmamalıdır. Bu işlemlerden sonra temizleme işlemi yapılmalıdır [57]. (Şekil 5.2)



a)



b)

Şekil 5.2 a) Kağıthane Tarihi Çamaşırhane Binası'nda Enjeksiyon Yöntemi ; b) Enjeksiyon Boruları

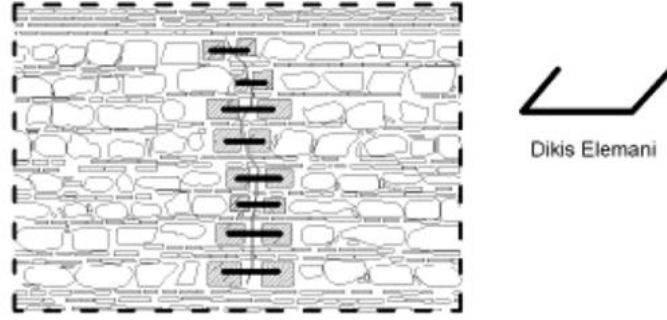
Enjeksiyon işlemi ince çatlaklarda düşük basınç ve uzun süre, daha büyük çatlaklarda büyük basınçta kısa süre uygulaması yapılmalıdır [57].

Tarihi yapıların enjeksiyon malzemesinin harcı karışımı çok dikkatli seçilmelidir. Özellikle tarihi yapılarda çimento ve çimento esaslı harç karışımları kullanılmamalıdır. Yanlış seçilen ve uygulanan harç karışımların istenmeyen yan etkilere (nem, tuz iyonu oluşturma, taş malzemesinin yapısını bozma gibi) sebep olmaktadır.

Çatlaklar 0,2 mm den küçük ise onarıma ihtiyacı yoktur. Epoksi enjeksiyon yöntemi ile onarım eğer çatlak 0,3 mm den büyük 3 mm den küçük ise yapılması uygun olur. Geniş çatlak olarak adlandırılan 3 mm den büyük çatlaklarda grout enjeksiyonu uygulanabilir. Grout harcı doğal hidrolik kireç, rötre engelleyici, doğal su tutucuları süper akışkanlaştırıcılardan oluşmaktadır. Özellikle bu yöntem çatlak nedeniyle yük taşıma kapasitesi azalmış veya kaybolmuş yapı malzemelerinde boşluklarında, döşeme, duvar, temellerde kullanılır [10].

- Dikiş Yöntemi

Eski eserlerde oluşan çatlaklar 10 mm'den büyükse ve duvarı oluşturan taşlar veya tuğlalarda parça kopması ya da düşmesi mevcut ise daha kapsamlı bir çalışma yapılmalıdır. Çatlağa yakın taş ya da tuğlalar çıkarılır ve Şekil 5.3' taki gibi dikiş elemanı eklenir, taş ya da tuğla duvarın boşlukları uygun görülen harçla birlikte doldurulur. Genellikle dikiş elemanı olarak demir ve paslanmaz çelik elemanlar kullanılır [57]. Son zamanlarda titanyum da bu yöntemde kullanılmaktadır.



Şekil 5.3 Dikiş Yöntemi [29]

- Destekleme ve payanda

Duvar, kemer, tonoz, kubbe gibi taşıyıcılar; zemindeki problemler, sismik hareketler vb. gibi etkiler sonucunda eksenlerinden ayrılır ve bu taşıyıcılarda çatlaklar oluşabilir. Bu sorunu gidermek ve hareketi durdurmak için bu bölgeler masif ya da uçan payandalar ile desteklenerek sağlamlaştırma yoluna gidilir [10]. Bu duruma örnek olarak Mimar Sinan'ın Ayasofya'nın kubbesini payandalar eklenerek desteklemesi verilebilir. En güzel uçan payanda uygulamalarından biri de Şekil 5.4'de görüldüğü gibi Notre Dame Katedrali'nde uygulanan sistemdir.



Şekil 5.4: Notre Dame Katedrali Uçan Payanda Sistemi [44]

Osmanlı dönemi yapılarında özellikle güçlendirme yöntemi olarak masif payandalar kullanılmış fakat Mimar Sinan ile birlikte estetik açıdan ağır kütleli masif payandalar vazgeçilerek uçan payandalar ya da geçici payandalar uygulamaları yapılmıştır.

Duvar yüzeyinden bir noktadan desteklenerek tasarlanan payandalar, duvarı delerek hasar verebileceğinden tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Bundan dolayı uygulama sırasında yastıklama yapılması kuvvetin geniş yüzeye yayılmasını sağlar [10]. Uçan payanda sistemi; tam ya da yarım kemerden faydalanarak, çatı, tonoz ya da duvardan gelen yükü başka bir desteğe ileterek, yükün zemine iletilmesini sağlayan yapıdır. Yapıyı desteklediği ve cephe de çok fazla yer kaplamadığı için tercih edilir.

- Kuşaklama

Bağlantı çubukları-gergi uygulaması : Büyük açıklı yapılarda, mesnetlerin açıklık yönünde açılması en büyük sorundur. Bu durum yapının stabilitesi bozar. Eski eserlerde kullanılan gergiler ve bağlantı çubukları, taşıyıcı sistem ile birlikte çalışması sağlanarak açıklıkları geçen yapı elamanlarının yanal itme kuvvetlerinin azaltılmasına katkıda bulunur. Genellikle metalden yapılırlar. Özellikle gergiler kemer, tonoz, kubbe ya da iki duvar arasında kullanılmaktadır. Bu uygulama sayesinde yapıların düşey ve yatay yükler altındaki davranışını iyileştirilir [41, 58]. (Şekil 5.5)



Şekil 5.5 Kağıthane Tarihi Çamaşırhane Binası Gergi Uygulaması

Mesnetleri bağlamak için gergiler ankrajlanır. Bu işlem sırasında duvar ile bağlantıyı sağlamak için delme işlemi yapılır [41]. Bağlantı çubukları-gergi uygulamasında, yaşanan en büyük sorunlardan biri korozyondur.

Çemberleme- Sıkıştırma: Çemberleme; dağılma tehlikesi gösteren düşey taşıyıcı elemanların Şekil 5.6'taki gibi metal çemberlerle sarıp sıkıştırılmasıyla uygulanan bir yöntemdir. Metal halkalarla uygulanan çemberleme, çok fazla basınç nedeniyle kolon ve ayaklarda çatlama, ezilme, parçalanma görüldüğü yerlerde uygulanabilir. Mekanik bağlantılar ile sabitlenmesi için delikler açılır. Yatay hareketleri engellenerek yapı strüktürüne katkıda bulunulur [10].



Şekil 5.6 Çemberlitaş Çemberleme Yöntemi [59]

- Kesit Genişletme

Kesit genişletme işlemlerinde yapının ya da yapı elemanının yüzeyine yeni bir kütle veya bir malzemelerle eklemeler yapılarak yükün daha geniş alanlara dağıtılması veya mukavemetinin artırılması sağlanır [21]. Bu müdahale için geleneksel ve çağdaş yöntemler geliştirilmiştir.

Püskürtme Yöntemi ve Çelik Hasır Donatı Kullanılarak Güçlendirme: Bu yöntemde yıpranmış duvar, kubbe, tonoz vb. yapı elemanının tümü içinden ve dışından üzeri iç ve dış yüzüne hasır çelik yerleştirilir Şekil 5.7'deki uygulamada görüldüğü üzere püskürtme yöntemi ile uygun olan harç ve donatı entegre olur [41]. Bu yöntem, özellikle yapılara ek yük verdiği için ve depremlerden etkilenmesini arttırdığı için kullanılması önerilmemektedir.



Şekil 5.7 Çelik Hasır ile Güçlendirme [41]

Ek Kütle Eklenmesi: Yapının veya yapı elemanının tabanına ek kütle yapılarak ağırlık merkezinin güvenlik sınırları içinde kalması sağlanır. Şekil 5.8’ de; Sivas Divriği Ulu Camii’ nin minaresinde düşeyden başlayan ayrılmalara çözüm olarak kesit genişletilmiştir. Kaide çevresinde yapılan ek bir kütle ile taban alanı genişletilmiş; düşeyden ayrılan minarenin yıkılması önlenmiştir [41].



Şekil 5.8: Sivas Divriği Ulu Camii Ek Kütle Eklenerek Kesit Genişletme [60]

FRP (Lifli Polimer) Kullanılarak Güçlendirme: Tarihi yapılarda kullanılan malzemelerden dolayı rijit ve oldukça sünekliği düşüktür. Tarihi yığma yapılarda çekme elemanları olmadığından çekme gerilmeleri bakımından da dayanıksızdır. Bu nedenle yapıyı güçlendirmek için yapıya süneklik katacak ve çekme gerilmelerini karşılayacak eleman seçilmelidir. Lifli polimer Elemanı (FRP) bu malzemelerden biridir. Üretiminde karbon, bazalt, cam elyaf, aramid elyaf gibi lif türleri kullanılır. Yüksek korozyon dayanımına, yüksek çekme dayanımına ve hafif bir malzeme olma özelliklerine sahip olmasından nedeniyle geleneksel çelik donatının yerine tercih edilebilir [62].

FRP birçok malzemeden üretilmektedir. Bunlar cam, karbon, bazalt, organik, bor maddelerinde içitki FRP malzemesi üretilmektedir. Bu malzemeler ile üretim biçimlerine ve şekillerine göre sınıflandırılırlar. FRP sistemi ızgara, şerit, kumaş, halat biçiminde üretilmektedir.

FRP Izgaralarla Güçlendirme: Bu teknikte ızgara biçiminde oluşturulan elyaflar uygulanacak yüzeye tamir harcıyla birlikte kullanılır. Genellikle bu yöntem yığma yapıların duvar güçlendirilmesinde tercih edilir. Tamir harcıyla ile birlikte uygulanarak duvarın hem dış yüklere karşı dayanımının hem de sünekliğinin artırılır [62]. (Şekil 5.9)



a)

b)

Şekil 5.9 a) FRP Izgara Sistemi File; b) FRP Tamir Harcı ile Uygulama



Şekil 5.10 Hasnapaşa Gazhane Binası'nda Uygulanan FRP Izgara Sistemi

FRP Şeritlerle Güçlendirme: Şekil 5.11'de ki gibi şerit halinde üretilen FRP elemanları duvar yüzeyine yatay, düşey ya da diyagonal biçimde yapıştırılır. Yapıştırma işlemi genellikle epoksi gibi bağlayıcılar kullanılır. Duvar yüzelerinde, kemer, tonoz gibi yapı elemanlarının güçlendirilmesinde tercih edilir [62].



Şekil 5.11 FRP şerit yöntemi [63].

FRP Kumaşlarla Güçlendirme: Şekil 5.12’de ki gibi kumaş şeklinde üretilen FRP elemanı özellikle kolon kiriş, sütun, ayak vb. yapı elemanlarının sargılanarak güçlendirilmesinde kullanılır. Tekrardan sökülmesi zor bir yöntemdir. Bu yüzden tarihi yapıların güçlendirilmesinde tercih edilirken dikkat edilmelidir [62].



5.12 FRP Kumaş ile Güçlendirilmesi [64]

FRP Halatlarla Güçlendirme: Organik elyaflardan ya da bazalt elyafı gibi elyafların halatlar şekilde üretilerek kullanılmasıdır. Yığma duvarlar güçlendirilmesinde kullanılabilir [62]. (Şekil 5.13)

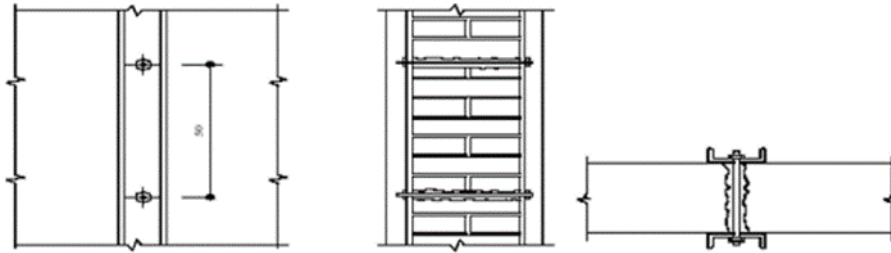


Şekil 5.13 FRP Halat Yöntemi [62]

ICOMOS, Mimari Miras Koruma Bildirgesi' nde de belirtildiği üzere tarihi yapılara uygulanan müdahaleler özgün yapıya olabildiğince zarar vermeden kaldırılabilir ya da yenilenebilir tekniklerle yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu kapsamda FRP sistemi ile güçlendirme yöntemi değerlendirildiğinde tarihi yapıların onarımı için tercih edilmemelidir.

- Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi

Çelik levha ile güçlendirme genellikle duvar güçlendirilmesinde tercih edilen bir tekniktir. Şekil 5.14'de ki gibi duvarlar, çelik levhalarla kuşaklanır ya da monte edilir. Bu yöntem duvarları dikey kuvvetlere karşı güçlendirilir fakat yatay kuvvetlere karşı güçlendirmez [57].



Şekil 5.14 Çelik levha ile güçlendirilmesi [22]

- Ön Germe ile Güçlendirme

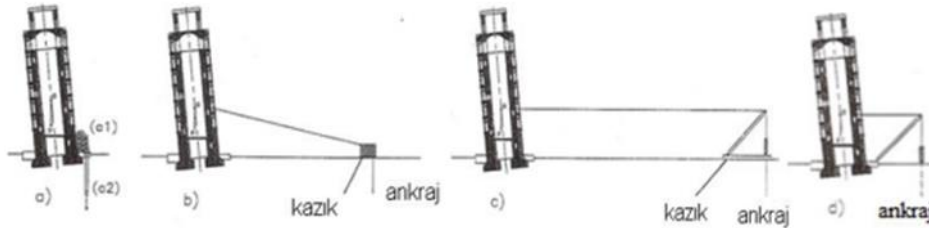
Eski eserlerde ek deprem ve toprak hareketleri meydana geldiğinde hasarları engellemek için gerilme mukavemeti gerekir. Gerilme mukavemeti, ek bağlantılar ile elde edilebilir. Özel paslanmaz çelikler, reçine çubuklar, karbon elyaf lifler, polimerik lifler veya diğer sentetik ipler kullanılır [10, 22]. (Şekil 5.15)



Şekil 5.15 Mihrimah Sultan Camii 'nde Kullanılan Çekme Çemberi [65]

i. Sabitleme-Ankrajlama

Ankraj yöntemi bir yapı elemanın veya tüm yapının sabit bir strüktüre ya da zemine sabitlenmesidir. Strüktür zemine sabitlenmesi için yapılan işlemler görsel açıdan yapının estetiğini değiştirir. Bu yöntem dikkatli bir şekilde seçilmeli ve uygulanmalıdır. Çünkü yapıya ekstra yükler de getirebilir. Farklı oturmaların ve özellikle eğilmenin olduğu yerlerde, bu yöntem kullanılmış ve yük dağılımını ters yönde değiştirmek için kullanılmıştır. Örneğin; İtalya Pisa Kulesinde, devrilme momentini azaltmak için Şekil 5.16'daki görüldüğü gibi zemine ankrajlama sistemi kullanılmıştır [66].



Şekil 5.16 Pisa Kulesi Zemin Sabitleme Yöntemi [66]

5.2.1.2 Zeminin Sağlamlaştırılması

a. Temel Altı Zemininin Islahı

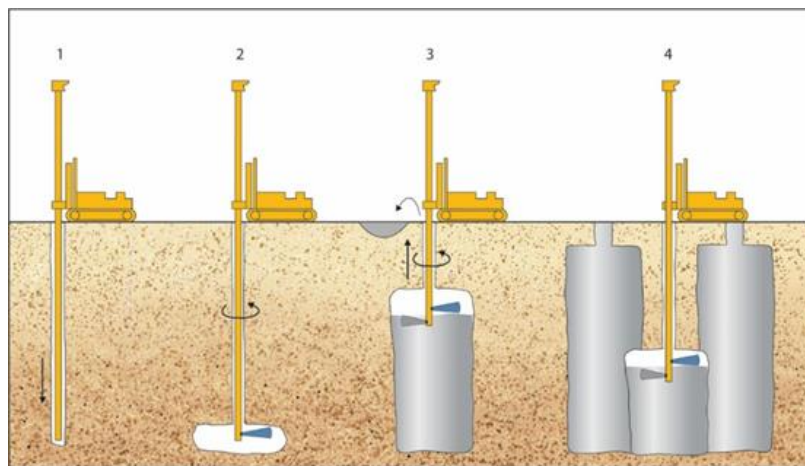
Yer altı suyunun seviyesindeki değişiklikler, sıkışabilir tabakaların varlığı ve bunların farklı kalınlık veya özellikte olması, zemindeki mukavemet kaybı gibi olumsuzlukların giderilmesi için temel zemininin ıslah edilmesi gerekir [48, 22]. Bunu yaparken birçok yöntem ve teknik geliştirilmiştir.

- Jet Grout Uygulaması

Zeminden kaynaklanan oturma ve deformasyonlar gibi olumsuzlukları kontrol edebilmek için jet -grout kolonları kullanılarak temel altı zemin takviye işlemi yapılır. Uygulanan jet-grout kolonlarıyla, yapı yükleri sağlam tabakaya aktarılır ve ayrıca jet grout sistemi yapılan geçirimsiz perde ile denize yakın ya da dolgu alanlarındaki yapılar için temel altı zemininin deniz etkisinden korunması sağlanır [67].

Bu uygulamada delici aletlerle belirlenen derinliğe kadar 4" çapında delik delinir. Daha sonra uygun görülen harç karışımının özel aletlerle alttan yukarıya doğru istenilen seviyeye kadar zemini kesip, çakıl ve kumu bünyesine alarak yüksek basınçla (yaklaşık 320 – 440 atmosfer basınçla) zemine enjekte edilerek kolon oluşturulması ilkesine dayanmaktadır. Yüksek basınçlı karışım uygulaması ile zemindeki boşluklar doldurulur ve yer altı suyu mevcut ise bu karışım yerini alarak zeminle bütünleşir. Böylece zemin yapay olarak taşlaştırılıp, taşıyıcı kolonlar oluşturulmaktadır [67]. Zemin harcında genellikle çimento kullanılarak işlem yapılır.

Eğer gerekirse kolonlar donatılı olarak da üretilebilir ve bu şekilde eğilme momenti kapasitesi ve çekme dayanımı artırılabilir. Kullanılan ekipmanlar diğer yöntemlere kıyasla hafif ve küçük hacimli olduğundan, zor çevresel koşullarda uygulama yapılabilir [68]. Şekil 5.17'deki gibi jet grout sistemi 4 ana bölümden oluşur. Bunlar delgi makinesi, pompa, mikser ve çimento silosudur.



Şekil 5.17 Jet grout uygulama yöntemi [69]

Jet grout sisteminin uygulanması için zeminin cinsi, püskürtülen harcın özelliği, püskürtme basıncı, ağızlıkların yer aldığı delgi borusunun dönme ve yukarı çekilme hızı değişkenleri önemlidir. Bu değişkenler; elde edilen jet grout kolonundaki zemin harç karışımının kalitesini ve mukavemetini, kolonun boyutunu (çap ve boy) ve geçirimsizliğini, kolonun yük taşıma kapasitesini belirler [48].

Jet- grout yöntemi, tek akışkanlı, iki akışkanlı ve üç akışkanlı olarak sınıflandırılır.

Tek akışkanlı sistem: Çimento enjeksiyonu kullanılarak zemin aşındırılıp ayrıştırılır. Zemin ile enjeksiyonun karıştırılması için yüksek enerjili tek akışkanlı su jetinin kullanılır [48].

Çift akışkanlı (hava) sistem: Zeminin ayrıştırılması ve çimento haline gelmesi genellikle çimento hamuru olan bir akışkan ve ikinci bir akışkan olarak düşünülen hava jeti kullanılır [48].

Çift akışkanlı (su) sistem: Zeminin ayrıştırılması ve çimento ile karıştırılması işlemi yüksek enerjili su jeti ile gerçekleştirilir [48].

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 [48].

- Zemin Enjeksiyonu

Enjeksiyon uygulaması, temel zemininin ya da ana kayanın kayma mukavemetini arttırılması ve geçirgenliğini azaltılması hedeflenerek kaya veya zemin içerisine çeşitli özellikte karışımların basıçla basılması yöntemidir [48].

Bu yöntem; gevşek zeminlerin ve parçalı kayaların stabilizasyonu sağlamak, sondaj sırasında su problemlerinin yaşanmaması, zemin içerisindeki boşlukların doldurulması, farklı oturmaların engellenmesi, şişen zeminlerin ıslahı ve sismik hareketler sırasında zemin sıvılaşma riskinin azaltılması için kullanılmaktadır [70].

Enjeksiyon uygulaması üç sınıfta incelenebilir.

Hydrofracture Enjeksiyonu: Bu uygulama çatlatma enjeksiyonu da olarak da bilinmektedir. Genellikle çökelmiş ve alüvyon zeminlerde uygulanır. Çimento esaslı harçla zemin 10–15 kg/cm²'ye kadar bir basınç altında zemin çatlatılır. Böylece zemin içinde enjeksiyon tabakaları oluşur. Birbirleri ile bağlantılı olmayan boşluklar doldurulur, hatta zemin bir miktar sıkışır. Zemini çatlamaya başladığını enjeksiyon basıncının düşmesi ile anlaşılır [71].

Sıkılama Enjeksiyonu : Gevşek veya örselenmemiş zeminleri sıkıştırmak ve zeminin birim hacim ağırlığını artırmak için kullanılır. Zemin – çimento büyük bir basınçla (35 kg/cm²) zemine pompalanır ve yoğun bir kütle oluşturularak zeminin sıkıştırılması sağlanır. Ayrıca bu yöntem binaların kaldırılmasında ve ayaklarının takviyesinde kullanılmaktadır [48, 10].

Geçirimsizlik Enjeksiyonu : Çok ince boşluklu – çatlaklı zeminlerde silikat esaslı ve reçine esaslı harçlar uygulanarak uygulanan enjeksiyon biçimidir. Enjeksiyon harçları daneli süspansiyonlar (çimento, kil, bazen de çok ince kum ile oluşan harçlar) ve kimyasal harçlar (jel, solisyon ve reçinler) olmak üzere ikiye ayrılır [71].

- Yer Altı Suyunun Düzenlenmesi

Tarihi yapıları olumsuz yönde etkileyen bir etken de yer altı sularıdır. Uzun süre su etkisinde kalan eski eserlerin temellerinde bozulmalar meydana gelebilir. Özellikle asit yağmuru veya sülfat etkisine maruz kalan yerlerde temeller daha erken bozulmaktadır. Temelde oluşan bozulmalar farklı gerilmeler ortaya çıkararak taşıyıcı sistemde hasarlar meydana getirir. Bunun için yapının etrafına suların ortamdan hemen uzaklaştırabilecek düzgün drenaj sisteminin yapılmalıdır. Drenaj kanallarının taşıdığı suları sızdırmaması bağlantılarının düzgün yapılması gereklidir. Ayrıca düzgün bir drenajla taban bölgesindeki kapiler su yükselmesinin ve çiçeklenmenin önüne geçilmiş olunur [7].

- Zemin Boşaltma Yöntemi

Farklı oturmalar kontrol etmek, zemindeki farklı yükselmeleri azaltmak ve yapıdaki eğimi düzetmek için taşıyıcı tabakalardan toprağın yavaş ve kontrollü bir şekilde çıkarılması işlemine zemin boşaltması denmektedir. Yapının çevresine dairesel shaftlar yapılarak yapının altındaki zemin yavaşça boşaltılır. Özellikle

yumuşak killi zeminden uzaklaştırılır. Bu şekilde zeminin yüksek kısımları alçak noktalara göre indirilmesi sağlanır [72, 73]. Bu yöntem Pisa Kulesi ve Metropolitan Katedrali gibi yapılarda kullanılmıştır. Farklı oturmaların olduğu ve yapının düşeyden saptığı durumlarda tercih edilmektedir.

5.2.1.3 Temelin Güçlendirilmesi

Temel güçlendirme yönteminin çalışma prensibi, yapının temel yüklerinin daha derin ve sağlam seviyelere iletilip dağıtılması işlemidir. Bu uygulamada mevcut yüklerin tamamen ya da kısmen sorunsuz bir şekilde taşınacağı yeni temeller veya takviyeler yapılır [56]. Tarihi yapıların iyileştirme projelerinde ya da yeni işlev verilmesi sırasında yapılacak değişiklikler, yapı yüklerinin artmasına neden olabileceğinden temellerin ilave yükleri taşıyabilecek şekilde takviye yapılması gerekebilir [71].

Tarihi yapılarda yapılan değişiklikler sonucu ek yükler doğabilir bu durumda temel problemleri ortaya çıkarabilmektedir. Ayrıca yapıların stabilitesini değiştiren birçok durum yaşanmaktadır. Örneğin sismik hareketler, deprem yükü, yapı çevresinde yapılan kazılar, yer altı su seviyesinin değişmesi vb. çeşitli nedenler yapılarda oturma ve hareketlere oluşmakta olup bu durumlar da temel takviyesi yapılmasına ihtiyaç doğabilir. Özellikle bu yöntemde dikkat edilmesi gereken ise yapı yüklerini, oturmalarından etkilenmeyecek bir şekilde daha derin tabakalara aktarılırken zemin profilinin ve özellikleri belirlenmesidir [48].

a. Geleneksel Yöntemler

Geleneksel temel güçlendirme yöntemi, temelin genişletilmesi veya derinleştirilerek temel davranışını daha iyi bir konuma getirilmesi işlemidir. Bu yöntemde mevcut temele yeni ilaveler yapılarak büyütülmesi bu şekilde yüklerin paylaştırılması amaçlanır. Temel altındaki zemin tamamen boşaltılarak ve temel alt kısmının boyutları büyütülerek oluşan boşluk uygun görülen sağlam ve stabil bir malzemeyle yeniden doldurulur. Belirli durumlarda; kazı derinliğinin fazla olması, yer altı suyunun fazla yüksek olması gibi zorluklar ve problemler nedeniyle yapılamayabilir. Zemin konusunda sorunlu yapılarda, uygulandıktan sonra ilave bir yük getireceğinden ve bundan kaynaklı zemin oturmalarına sebep olacağından bu yöntem tercih edilmemelidir [48, 10].

b. Temel Yüklerinin Derinlerdeki Taşıyıcı Tabakalara Aktarılması

- Ayaklar

Geleneksel temel güçlendirme çalışması, bazen temeli derinleştirilerek bir ayak oluşturulma uygulamasına dönüşebilir. Kuyu yöntemi buna örnektir. Taşıyıcı tabakaların çok derinlerde olduğu durumlarda bu yöntemi uygulanamaz [48].

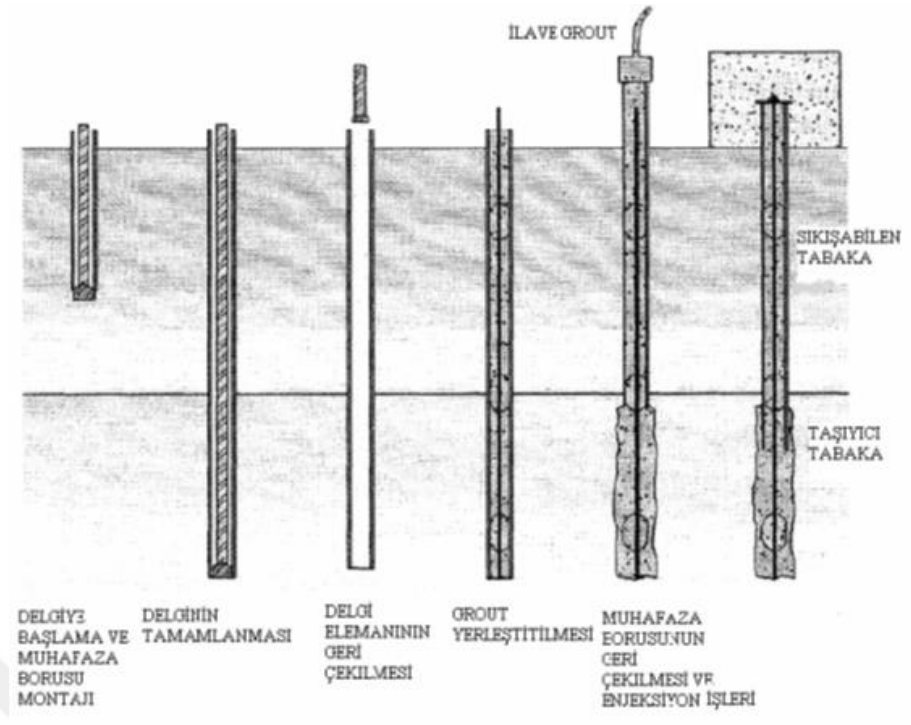
- Altan Destekleme ve Takviye Kazıklar

İtme (burgulu) kazıklar : Zeminde boşluk oranını azaltılmasında kullanılır. 20~60 cm çapında ve 0.50~1.50 m kazıklar, parçalar halinde zemine itilerek sokulur. Kazık zemine itilerek sokulduktan sonra ucu mevcut yapıya bir başlıkla bağlanarak uygulanan sistemdir. Sismik hareketlerin olduğu ve zor zemin şartlarında da uygulanabilmesinden dolayı tercih edilir. Burgu sayısı arttıkça yüksek taşıma kapasitesine ulaşmaktadır [24, 48].

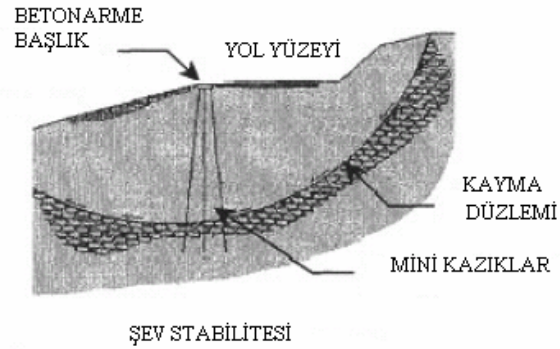
Mini kazıklar: Temel güçlendirmeleri çeşitli çaplarda kazıklar kullanılmaktadır. Çapı 300 mm ile 600 mm arasında olan kazıklara küçük çaplı kazıklar, çapı 75 mm ile 300 mm arası olan kazıklara da mini kazıklar denilmektedir. Mini kazılar küçük çaplı kazıklar olup kazık gereksinimi olan ve tasarım yükleri 3 tondan 500 tona kadar her türlü zeminde kullanılabilir olduğu ve uygulama kolaylığından dolayı tercih edilen bir yöntemdir. Zemin delinerek enjeksiyon ile doldurularak oluşturulan kazık sistemidir. Bu yöntem oturma ve zemin kabarması nedeniyle hasar görmüş yapılarda temelin güçlendirilmesi ve oturmaların durdurulması amacıyla tercih edilip uygulanır [71]. (Şekil 5.18)

Yük etkisinde çalışma prensibine mini kazıklar Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Tip 1 mini kazık: Şevli arazilerde şev stabilitesin sağlamak için tercih edilir. Şevin en kritik kayma yüzeyinde kazık kayma yüzeyinde kazık- zemin teması ve eksenel yüklenmiş kazıklarda da zemin- kazık teması olmaktadır. Tüm mini kazıklar doğrudan yükü karşılamaktadır [74]. (Şekil 5.19)

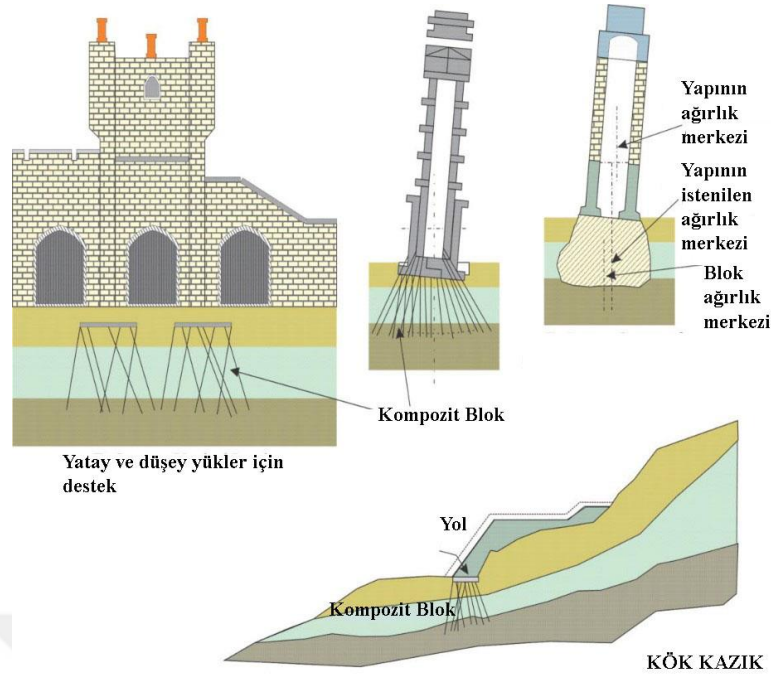


Şekil 5.18: Mini Kazık Uygulaması [74]



Şekil 5.19 Tip 1 Mini Kazık [74]

Tip 2 mini kazık: Kök kazık da denmektedir. Üç boyutlu bir kazık ağı sistemiyle zemin kilitlenir ve bu şekilde stabilizasyon sağlanır. Zemin-kazık ve kompozit blok oluşturularak temel güçlendirilmesi yapılır ve zemin dayanımı artırılır [74]. (Şekil 5.20)



Şekil 5.20 Tip 2 Mini Kazık [74]

5.2.1.4 Sistemin Stabilesini Artırıcı İlave Müdahaleler

a. Bölgesel Müdahaleler

Bölgesel müdahaleler, yapının bütününde uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemiyle benzer karakterde, yapı elemanlarının taşıma gücünü artırıcı bir çalışmadır.

- Yapılarda pencere ve kapı boşlukların kapatılması:

Eski eserlerde pencere ve kapı boşluklarının tuğla ya da taş ile örülerek kapatılması sistem stabilesini artıran ilave uygulamalardan biridir. Bu uygulama çelik çerçeve kullanılarak da yapılabilir [10, 48].

- Ayrılmalar için uygulanan müdahaleler:

Yapı elemanlarında sismik etkiler, yetersiz bağlantı ya da bağlantıların yeterli dayanımda olmaması sonucunda oluşan geniş ayrılmalara taş veya tuğla eklenerek ya da çelik sistem ile yapılan müdahale yöntemidir [10, 48].

b. Acil Müdahaleler

- Geçici takviyeler ve yapının desteklenmesi:

Ağır hasar almış ve kısmi gcmeler yaşamış tarihi yapılar da yıkımların ilerlememesi ve yapının kalan kısımlarının da hasar grmemesi ve tehlikeyi en aza indirmek için uygulanmaktadır. Devrilme ya da düşme eğiliminde yaşayan elemanlar için geçici destek, payandalar, ara bağlantılar vb. takviye elemanları kullanılmaktadır. şekil 5.21'deki gibi ahşap ve çelikten yapılmış takviyeler en çok tercih edilen sistemlerden biridir. Bazı acil durumlarda yapının devrilmesini engellemek ve desteklenmesini sağlamak için iş makineleri de kullanabilinir [14, 53].



a)

b)

şekil 5.21 a) Tarihi Yapıların Cephesinin Ahşap Geçici Takviye ile Desteklenmesi, b) elik Geçici Takviye ile Desteklenmesi [75]

- Yapının askıya alınması

Acil durumlarda kubbe, tonoz, kemer ve yığma yapılar da duvaralar gibi elemanlar bir kalıp-iskele sistemi yöntemi ile askıya alınır. Bu şekilde yüklerin temellere iletilmesi önlenir. Kalıplar, taşıyıcı elemanın formuna uygun olacak şekilde tasarlanır. şekil 5.22' daki gibi iskeleye mesnet noktalarında verilecek ters yüklerle taşıyıcı sisteme ters sehim verilerek yapı yükleri iskeleye iletilmiş olur [76].



Şekil 5.22 Çanakkale Herodes Atticus Hamamı Kemerleri' nin Çelik Konstrüksiyon ile Desteklenmesi [76]

c. Sismik Yalıtım

Sismik yalıtım yapılarak şiddetli depemlerde, yapı rijitliklerini bir noktada azaltarak periyotların uzatılması, sönüm oranlarının artırılması ve böylece yapılara depremde daha az yük etkilenmesini sağlar. (Şekil 5.23)



Şekil 5.23 :San Francisco Sanat Müzesi Sismik Yalıtım Uygulaması [77]

Depremden gelecek ekstra yükler taban yalıtımı uygulaması yapılarak depreme karşı yeterli dayanımı olmayan eski eselerde bu yüklerin indirgenmesini sağlar. Günümüzde bu amaçla üretilmiş sismik yalıtım cihazları ve metotlarını üçe ayırabiliriz [48].

- Kauçuk Esaslı Sismik İzolatörler :

Doğal kauçuk kullanılarak içine rijitlik ve sönüm artışı için karbon siyahı, dinamik sönümü ve yatay stabilitesini yükseltmek amacıyla kurşun çekirdek yerleştirilmesi oluşturulur. Kauçuklar kat kat yerleştirilerek aralarına yine bir kaç milimetre kalınlıkta çelik levhalar konularak oluşturulan sistemdir. İzolatör cihazı orijinal pozisyonuna dönmesi düşey yüke ve içindeki çelik levhaların ve kurşun çekirdeğe bağlıdır. Yatayda %150'ye yakın kayma deformasyonları yapabilir [10].

- Sürtünme Esaslı Sismik İzolatörler:

Sürtünme kuvvetini kullanılması ile depremde gelen enerji sönümlenmesi prensibi çalışır. İç bükey küresel yüzey üzerinde kayabilen mesnet elemanları kullanılır. Deprem etkisini %80 oranında azaltmaktadır [10].

- Sönümlendirici Cihazlar:

Hidrolik esaslı sıvıların sıkışması prensibine dayanarak çalışan cihazlar, depremde gelen enerjiyi minimuma indirmek için amacıyla kullanılan bu sistem, yatay rijitlik sağlaması gereken noktalara konulur. Yatay yükleri lineer olmayan bir mantıkla sönümledikleri için rijit bağlantılarda uygulanması gereklidir [10].

5.2.2 Bütünleme

Bütünleme; bir bölümü hasar görmüş, eksik ya da yıkılmış olan yapı öğelerinin sağlıklı ve güvenilir veriler ışığında (resim, belge, arşiv vb.) ilk tasarımlarındaki bütünlüğe kavuşturacak biçimde geleneksel veya çağdaş malzeme kullanarak tamamlama işlemine denmektedir. Bu uygulama yöntemi yıkılan kısımlar tamamlanarak yapı kullanılır hale gelir ve daha fazla hasar alması engellenmiş olur [78].

Uluslararası komitelerinin de söylediği gibi yeni yapılan kısımlar özgün olandan ayrılabilmesi için farklı bir dokuya sahip malzemelerden yapılması daha uygun bir uygulama olacaktır [78].

5.2.3 Yenileme

Doğal afetler, bakımsızlık, yaşam biçimi ve ona bağlı istekler nedeniyle birçok tarihi yapı özgün işlevinden uzak ilk yapılış amacından farklı durumlarda

olabilmektedir. Ülkemizde ilk tasarıma ait yeterli veri bulunamayan 2. grup yapılarda, yeni bir iç düzenleme yapılmasına izin verilebilir. Dış cephesi aynı kalacak şekilde iç mekanda değişiklikler yapılabilir fakat tarihi anıya saygı duyularak yapılacak çalışmalar daha uygun çalışmalar olacaktır [78, 79].

5.3 Yeniden Yapım

Zamanın yıpratıcı etkilerine karşı yok olan tarihi bir kimliğe sahip olan yapıların birebir replikasının yapılması durumudur. Tarihi açıdan bir değer taşımaz, bir yapım tekniğini sürdürme, geleneği yaşatma bakımından bu yöntem kullanılabilir. Yeniden yapımda teknik verilerin, fotoğraf, rölöve, restitüsyon ve belgelerin var olması gerekmektedir [78].



TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ÖRNEKLERLE İNCELENMESİ

Tarihi yapılarda iç ve dış nedenlerle zaman içerisinde hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarlar sonucu kısmen veya belirli düzeyde yapının dayanımı azalmaktadır. Yapının dayanımını artırmak için yapıya uygun olacak şekilde onarım ve güçlendirme yöntemleri uygulanarak istenilen güvenlik düzeyine getirilmesi gerekmektedir. Yapıya uygun ve doğru olan onarım ve güçlendirme yöntemi seçimi yapılırken kapsamlı araştırma ve çalışmalar yapılmalıdır. Bu veriler ışığında yapılacak iyileştirme metodunun etkinliği irdelenmelidir. Tez kapsamında bu bölümde anlatılacak tarihi yapılar ile onarım ve güçlendirme yöntemlerinin etkinliği örneklerle ele alınacaktır.

Altıncı bölümde ele alınan yapılar; modern koruma ve restorasyon çalışmalarında birer ders niteliğinde yapılardır. Uygun olmayan onarım ve güçlendirme tekniğinin doğurduğu sonuçları, güçlendirme ve onarım metodu seçiminde dikkat edilmesi gereken kısımları ve izlenecek yolları gösterdiği için tez kapsamında incelenmiştir. Bu yapılar yeni geliştirilen onarım ve güçlendirme teknikleri kullanılmış olup zemin sağlamlaştırma, temel sağlamlaştırma, yenileme ve bütünleme vb. kavramların gelişmesinde katkıda bulunmuş eserlerdir.

Tez kapsamında incelenen yapılarda üçüncü bölümde anlatılan tarihi yapılarda hasar nedenleri Tablo 6.1 'de özet şeklinde verilmiştir.

Tablo 6.1 : Tez Kapsamında İncelenen Yapılarda Hasar Nedenleri

YAPIDA HASAR NEDENLERİ															
YAPI İSMİ	Zeminden Kaynaklı Hasarlar	Taşıyıcı Sistem ve Plan Tasarımındaki Düzensizlik ve Hatalar	Nitelsiz ve Hatalı Malzeme Kullanımı	Yapının Yapım Aşamasında Kötu İşçilik ve Detay Kullanılması	Doğal Afetler			Uzun Süreli Doğal Etkenlere Maruz Kalma			İnsanların Neden Olduğu Hasarlar				
					Deprem	Yangın	Sel	Hava Kirliliği ve Sıcaklık Değişimleri	Su ve Nem	Rüzgar	Yapıya Uygun Olmayan Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Kullanılması	Bakımsızlık, Yapının Kullanılmaması ve Vandalizm	Savaş	Bayındırlık Etkileri	Titreşim
Parthenon- Yunanistan					X				X					X	
Pisa Kulesi -İtalya	X	X												X	
Metropolitan Katedrali-Mexico City	X	X	X	X	X										
Noto Katedrali -İtalya		X	X	X	X										
Santa Maria dei Miracoli Kilisesi-Venedik									X	X					
Santa Maria Kilisesi Paganica-İtalya		X	X	X	X										
Kashamandap Tapınağı-Nepal					X										
San Marco Çan Kulesi- Venedik		X			X	X									
Saint Peter Beauvais Katedrali -Fransa		X	X	X	X	X	X							X	
St. Francis Assisi Bazilikası-İtalya		X									X			X	
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası	X												X		X

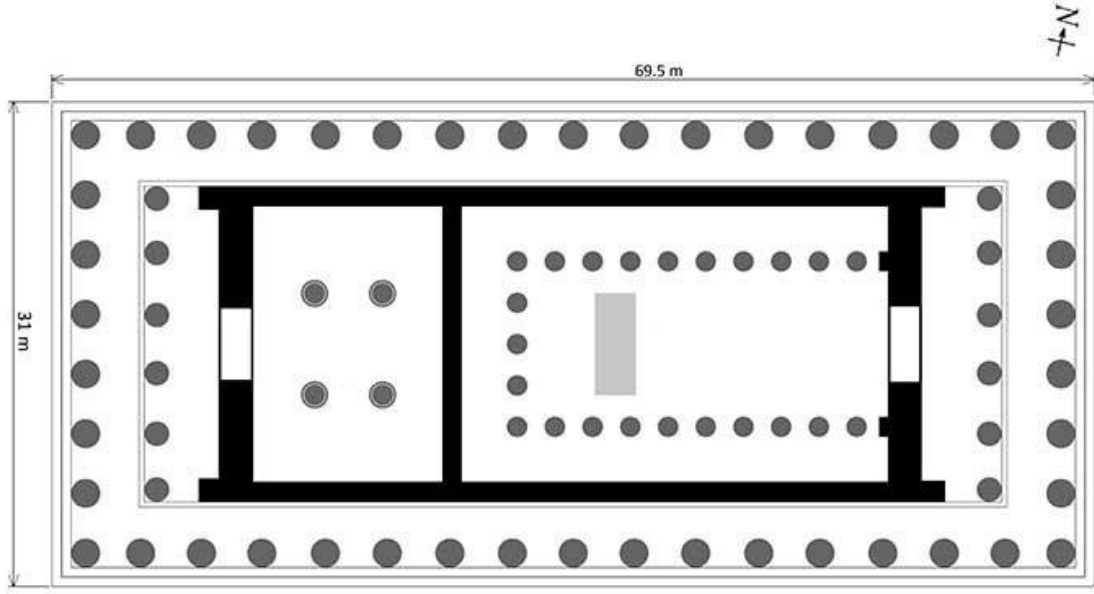
6.1 Parthenon- Yunanistan

Parthenon Tapınağı dünya mimarlık tarihinin ve Yunan kültürünün en önemli simge yapılarından biridir. Parthenon, Atina'da yer alan, MÖ 447-432 yılları arasında Atina Akropolisi üzerine mimarlar İktinos ve Kallikrates ve heykeltıraş Pheidias tarafından tasarlanıp inşa edilmiştir [80].



Şekil 6.1 Parthenon Tapınağı[80].

Yapı beyaz pantelikon mermerden yapılmıştır sadece temel kısmında kireçtaşı kullanılmış olup, geriye kalan tüm elemanların malzemesi pantelikon mermeridir. Şekil 6.2' da görüldüğü üzere yaklaşık olarak 30,9 - 69,5 m boyutlarındadır. 4 e 9 proporsiyona sahiptir. Kısa kenarda 8 her uzun kenarda 17 olmak üzere toplam 46 kolon bulunmaktadır. Parthenon'un tabanı tamamen düz değildir, kenarlardan merkeze doğru bir eğrilik söz konusudur [81].



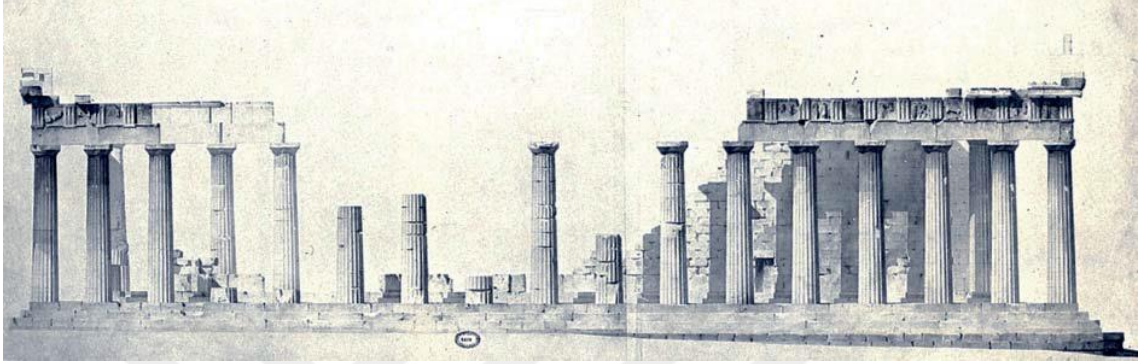
Şekil 6.2 Parthenon plan şeması [81]

Yapı ilk olarak Roma döneminde (MS 267) büyük bir yangında istila sonucu zarar görmüştür. Cellanın tüm iç yüzleri, çatısı ve revakları yok olmuştur. 6. yy 'da Hristiyan kilisesi haline getirilmiş ve doğu köşesine bir altar ilavesi yapılmıştır. Osmanlı Devleti döneminde yapının aslı olduğu gibi korunarak bağımsız bir minare eklenerek camii olarak kullanılmış daha sonra mühimmat deposu olarak kullanılmıştır. 1687 yılında Venedik-Türk savaşı sırasında barut mühimmat deposu olarak kullanılan yapı, Venedik saldırıları sırasında yapının içindeki barutun ateşlenmesi sonucu ikiye ayrılmıştır. Cellanın kuzey ve güney tarafındaki 14 sütun çökmüştür [82].

1835 yılında ilk restorasyon girişimi Alman Mimar Leo von Klenze tarafından yapılmıştır. Klenze'nin planlamalarıyla Akropol'de Osmanlı hakimiyeti sırasında oluşmuş dini ve sivil mimari öğeler tamamen ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca bu çalışmalarda Parthenon'nun yan duvarlarında kısmi restorasyon gerçekleştirilmiş ve kuzey cephesinde 2 sütun dikilmiştir. Cella duvarlarında yıkılmış kısımlar tuğla kullanılarak destek amaçlı doldurulmuştur [82, 83].

Parthenon'da ikinci kapsamlı restorasyon çalışması 1898-1902'de başlamış ve 1922-1933'te Nikolaos Balanos tarafından gerçekleştirilmiştir. Nikolas Balanos Paris'te eğitim almış bir inşaat mühendisi olup ve yaklaşık 40 yıl akropolisin

restorasyon çalışmalarında tek yetkili kişi olmuştur. 1922-1933 yılları arasında Atina Parthenon’unda dağılmış durumda olan sütunların yeniden bir araya getirilmiştir (Şekil 6.3). Yapının güney ve kuzey cephesinde ayağa kaldırılarak görünür kılındığı bir anastilosis uygulaması gerçekleştirilmiştir. Anastilosis uygulamasında sütunlar yeniden dikilirken; arşitrav ve frizler değiştirilmiş ve eksik kısımlar tamamlanmıştır [82, 83, 84]. (Şekil 6.4)



Şekil 6.3 Parthenon’nun 1922 Restorasyonundan Önce Kuzey Cephesinin Durumu [85]



a)

b)

Şekil 6.4 a) Parthenon Tapınağı’nın 1890 Yılındaki Durumu, b) 1922-1930 Yılları Arasında Geçirdiği Onarımlar Sonrası Görünümü [85]

Balanos’un özellikle Parthenon, Erectum ve Nike Tapınak’ında gerçekleştirdiği restorasyonlar, rekonstrüksiyon anlayışıyla ele alması ve bunu yaparken pratikte seçtiği yöntemlerin yanlış olması uluslararası çevrelerden ciddi eleştiriler almasına neden olmuştur. Parthenon’da, sütun sıralarını ayağa kaldırırken parçaları doğru yerlerinde ve gerçek pozisyonlarında birleştirmemiş hatta akropolisde var olan iki farklı antik bloğun malzemelerini farklı tapınaklarda kullanmıştır. Tüm bunları

uygularken parçaları kesmiş, delmiş ve birleştirme aşamasında da demir kenetli bağlar kurşun içine yerleştirmeden kullanmıştır. Bu demir kiriş bağlantıları mermerlerin içine gömmüştür. Ayrıca Parthenon'da kuzeydeki sütun sıralarının onarımında arşitravları tümüyle mermerle tamamlarken sütunlardaki eksik bölümler için çimentodan yeni tamburlar oluşturmuştur. Balanos'un savunarak kullandığı bu yöntemlerin zararları ileriki yıllarda ortaya çıkmış olup birleşimlerde kullanılan demir donatılar ve çimentodan yapılmış tamamlamalar özgün malzemenin bozulmasına neden olmuştur. Zamanla, özgün malzemede çatlaklara neden olmuştur. Açık derzlerin oluşması ve atmosferik nemin nüfuz etmesiyle iç demir takviyeleri aşınmıştır. Aşınmış demir elemanların genişlemesi mermer dokuda çatlamaya neden olarak blokların parçalanmasına sebep olmuştur [82, 83, 84]. (Şekil 6.5)



a)

b)

Şekil 6.5 a) Nikolaos Balanos'un Akropolis Restorasyonunda Kullandığı Demir Kenet Uygulaması, **b)** Atmosferik Etkenlerden Dolayı Mermer Dokuda Çatlaklar [86]

Balanos'un Parthenon'da uyguladığı, çimento ve demir kullanarak rekonstrüksiyon girişimine birçok uluslararası komite karşı çıkmış. Özellikle 1931'de Uluslararası Müzeler Örgütü tarafından Atina'da düzenlenen, "1. Uluslararası Tarihi Anıtlar Mimar ve Teknisyenleri Kongresi, arkasından yayınlana Atina Kartası ve Giovannoni katkılarıyla modern koruma ilkeleri anlatılmış. Bu koruma ilkelerinin Parthenon'da da uygulanması gerektiği söylenmiştir [87].

Parthenon'da 1984 yılında üçüncü kapsamlı restorasyon çalışmasına başlamıştır. 1981 yılında meydana gelen şiddetli deprem doğu yakasının köşelerini etkilemiş ve yetkilileri önlem almaya mecbur bırakmıştır. 1986-1991 yıllarında 1981 depreminde ağır hasar gören doğu cephesinde ilk çalışmalar başlamıştır. Bu çalışma kapsamında eski restorasyonlarla birleştirilen bazı parçaların çatladığı, bazılarının ise birleşim yerlerinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Bu sorunlar ve Balanos'un yapmış olduğu uygun olmayan ve yanlış müdahalelerden dolayı yapı kapsamlı bir restorasyon çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Restorasyon çalışması Mimar Manolis Korres tarafından yürütülmüştür. Çalışmalar Akropolis Anıtlarını Koruma Kurulu'nun bilimsel gözetimi altında olmuştur. Yapı on iki programa bölünerek restorasyon çalışmasına başlanmıştır. Bu program;

1. Doğu cephesi çalışmaları
2. Doğu revak
3. Doğu duvarları
4. Güney duvarı
5. Kuzey duvarı
6. Kuzey cephesi çalışması
7. Batı duvarları
8. Batı koridor kısmının kısmi çatısı
9. Batı revak
10. Batı cephesi
11. Güney cephesi
12. Döşeme

Olarak ele alınmıştır.

Parthenon'un mevcut restorasyonu aşamaları ise;

- Anıtın yapısını korumak,
- Daha önceden restore edilen taşların yerlerini düzeltmek,
- Restore edilen alanları zemine serilen özgün parçalarla tamamlamak,

- Tüm beton tamamlayıcıları mermer olanlarla değiştirmek ve korozyona uğramış demirin çıkarılıp uygun malzeme ile değiştirilmesi,
- Balanos restorasyonuna kıyasla üst yapının daha fazla bölümünün restorasyon çalışması yapılması,
- Mermerin dış yüzeylerini temizlemek ve korumak [82]

Restorasyon alanının hazırlanması sırasında Akropolis'teki Parthenon çevresindeki tüm mermer parçaları Akropolis alanı dışında toplanmıştır. Mermerlerin taşınması için, alanın düzensiz toprağı nedeniyle esnek bir metal kiriş, metal boru sistemi ve vinç sistemi kullanılmıştır [82].

Şekil 6.6' taki özel sistem ile; sütunların yerleri ve yönleri değiştirilmiştir. Tüm sütunun yaklaşık 60 tondur. Kaldırma yöntemleriyle değil, tamamen sürtünme kuvvetleri kullanılarak doğru yönlerine konumlandırılmıştır [82, 83, 84].



Şekil 6.6 Manolis Korres Tarafından Sütunlar İçin Tasarlanan Cihaz [81]

Yürütülen restorasyon projesinin ihtiyaçlarından biri de eksik parçalarını tamamlaması aşamasıdır. Yapıda pentelik mermeri kullanılmış fakat yapılan çekme ve tek eksenli sıkıştırma testinden sonra, günümüzde özgün malzemeye benzer özelliklere sahip dionysos mermerinin kullanılmasının en iyi seçim olacağından restorasyon çalışmasında bu malzeme kullanılmıştır [88]. (Şekil 6.7) (Şekil 6.8)



Şekil 6.7 Parthenon'da Yeni ve Eski Mermerinin Birlikte Kullanımı [84].

(Beyaz ile görülen kısımlar yeni kullanılan mermer iken sarı renkte görülen kısımlar mevcut mermerdir)



Şekil 6.8 Parthenon'da Dionysos Mermerinin Yapıda Kullanılması [82].

Partenon'un batı iç sundurması bölümlerindeki yangına maruz kalan ve büyük iç boşluklara olan sütunlar mevcut olduğundan 1997-1999'da yılları arasında yanmış mermerin çatlaklarından geçebilen özel derzler geliştirilmiştir. Bu iç boşluklara Şekil 6.9'da ki gibi hidrolik harç enjekte edilmiştir. Harcın içeriğinde kireç ve hidrolik katkı maddeleri içermektedir [82, 84].



a)



b)

Şekil 6.9 a) Parthenon'da Sütunlarda Uygulanan Enjeksiyon İşlemi; b) Enjeksiyon Boruları [82].

Paslı demir çıkarılarak yerine titanyum takviyeler kullanılmıştır. Bu malzeme korozyona demirden 500 yüz kat daha dayanıklıdır. Yapıda titanyum takviyesi daha önce restore edilmiş veya yerinde korunmuş olan sundurmanın tüm bölümlerinde, sıra sütunlar, sütun başlıkları, kuzeybatı antanın taç başlığı, taç blokları ve batı frizinin destekleri vb. bölümlerde kullanılmıştır. Bu müdahale, mimarlar Petros Koufopoulos ve Rosalia Christodouloupoulou tarafından yapılan çalışma ile gerçekleştirilmiştir [82, 84]. (Şekil 6.10) (Şekil 6.11)



a)



b)

Şekil 6.10: a)Parthenon'da Kolonlarda Titanyum Takviyesi Kullanılması, b) Titanyum ile Birleştirme [89]



Şekil 6.11 Parthenon'da Demir Kenetler Kaldırılarak Yerine Titanyum Kenetler Kullanılması [82].

Kuzey cephesi ve sütunlar bölgesi programı en kapsamlı ve zor olan restorasyon çalışmasıdır çünkü 1930'larda Balanos tarafından restore edilen saçak ve sekiz sütunun sökülerek restorasyonunu içermektedir. Yaklaşık 185 parçayı içeren bir çalışmadır. Paslanmış metal kelepçeler dübeller kaldırılmış, önceki müdahalenin çimento dolguları yerine yeni mermerler yapılmış ve Şekil 6.12'da ki gibi mimari elemanlar, özellikle sütunlar belirlenen metodolojiye göre doğru konumlarına getirilmiştir [84].



Şekil 6.12 Parthenon'nun Kuzey Cephesindeki Balanos Restorasyonunda Elemanın Yanlış Yerleştirilmesi (her sütun, bitişik saçaklığına uygun bir renk olmalıdır) [89]



Şekil 6.13 2010 yılına ait Parthenon'nun Kuzey Cephesindeki Çalışma [89]

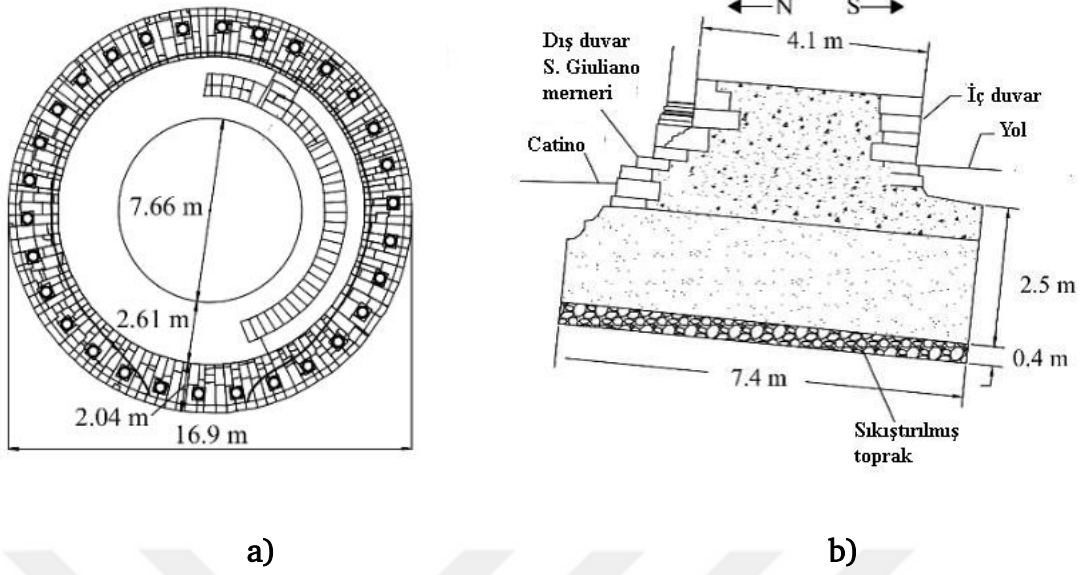
Parthenon'un restorasyonu günümüzde devam etmektedir. Uzmanlar, özgün formunun %60'ında ancak çatısız olarak yapının yapılacağı tahmin edilmektedir. 2017 yılına kadar , 686 özgün parçalardan yeniden birleştirilmiş, 905 yeni mermerle yamalanmış ve 186 parça tamamen yeni mermerden restore edilmiştir. (Şekil 6.13)

6.2 Pisa Kulesi –İtalya

Pisa Kulesi, İtalya'nın Arno Nehri kenarında bulunan Pisa şehrinde bulunmaktadır. Bu şehre ait Pisa Katedralinin çan kulesidir. Pisa Kulesi üst üste bindirilmiş yuvarlak altı sütun dizisi, sekiz kattan meydana gelen 56 metre yüksekliğinde bir kuledir [90]. Dış ve iç duvarlar San Giuliano mermeri kullanılmıştır. Kulenin tepesinde bulunan çan odasına sarmal bir merdiven çıkar. Şekil 6.15' de görüldüğü üzere merkezi açıklığın çapı 7,3 ila 7,7 m arasında değişmektedir. Temel kaidesi 19.6 m çapındadır [91] [92].

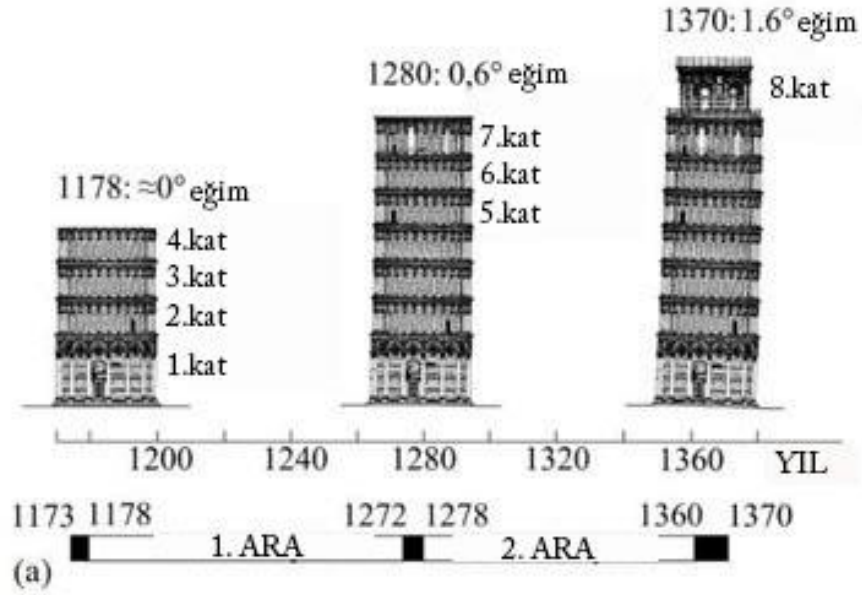


Şekil 6.14 Pisa Kulesi Genel Görünüm [92]



Şekil 6.15 a) Pisa Kulesi Plan, b) Temel Kısmi Kesiti [92]

Kule, 1063-1090 yılları arasında inşa edilmiş daha sonra ana yapıdan ayrı olarak yapımına 1173'te başlanmıştır [93]. 1173 yılında inşasına başlanan kulenin birbirini takip eden savaşlar nedeniyle yapımı pek çok kez kesintiye uğramış yaklaşık 200 yıl sürmüştür. Daha dördüncü katı yapılırken güneye doğru eğilmeye başlamıştır. İnşaat devam ettiği sırada kulenin güney tarafına daha uzun sütunlar ve kemerler eklenmiştir. Fakat dördüncü kata ulaşıldığında güney tarafındaki kemerler kuzeydeki kemerlerden iki santim daha uzun olmuştur. Pisa Kulesi'nin inşaatı savaşlardan dolayı durmuş yaklaşık 100 sene sonra kuleye dört kat daha eklemeye başlanmıştır. Üst katların bir tarafını diğerinden daha uzun inşa edilerek denge sağlanmaya çalışıldıysa da bu durum kulenin daha da düşeyden sapmasına sebep olmuştur. 1319 yılında kulenin yapımına yeniden başlanarak yedinci kat, çanın yer aldığı sekizinci kat ise 1372 yılında yapılmıştır [94, 95]. İnşaatın sonunda, kulenin düşeyden $1,6^\circ$ saptığı düşünülmektedir. Pisa Kulesi'nin eğimine çözüm getirmek için çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. (Şekil 6.16)



Şekil 6.16 Pisa Kulesinin Yıllara Göre Yapımı ve durumu [92].

1838 yılında Mimar Alessandro Della Gherardesca, kulenin çevresine gömülü temel basamaklarını ve sütun kaidelerini ortaya çıkarmak için 3 m genişliğinde bir hendek kazılarak yürüme yolu uygulamasını yapmıştır. Bu yürüme yoluna catino denmektedir. Catino güney tarafında su seviyesinin altında kaldığından, kazı suyun içeriye dolmasına neden olmuştur. Buna takiben kule, yarım derece daha düşeyden sapmasına neden olmuştur [91, 95, 96].

1934 yılında The Department of Civil Works of the Town of Pisa (Pisa Kasabası İnşaat İşleri Dairesi) tarafından kulenin temeline ulaşmak ve Pisa Kulesi'ni dik hale getirmek için kulenin çevresinde 300'den fazla delik açarak enjeksiyon uygulaması yapmıştır. Temel kaidesinin çimento enjeksiyonu ile sağlamlaştırılması düşünülmüş ve bu çalışma sırasında su yalıtımı da yapılmıştır. Ayrıca, catinonun zemini ve duvarlarına 80 cm kalınlığında mermer kaplı bir beton levha konulmuştur. Fakat bu uygulama kulenin ağırlığının artmasına ve daha fazla düşeyden neden olmuştur. İşlemlerin tamamlanmasından sonra da

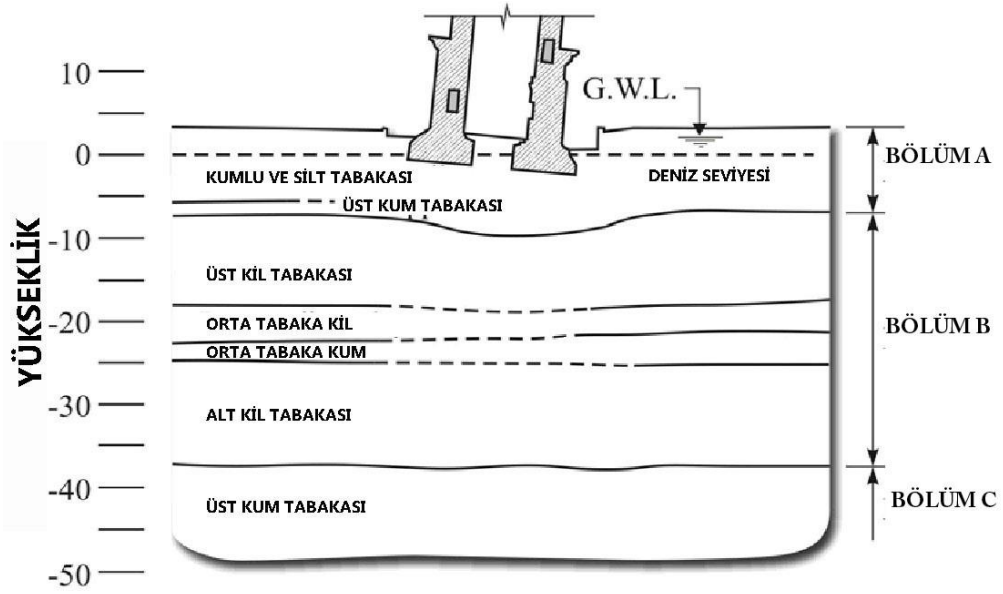
düşeyden sapma devam etmiş olup eğilme hızının 1945 yılındaki düşeyden sapmanın 1990'da iki katına çıktığı hesaplanmıştır [94, 95]. (Şekil 6.17)



Şekil 6.17 Pisa Kulesi' nin 1934 Yılındaki Eğikliği [97]

Yapının eğilmesinin nedenleri araştırılmış bu araştırmalar sonucu eğilmenin ana sebebi temelinin altındaki yumuşak ve kumlu zeminde oluşan çökmeler olduğu ortaya çıkmıştır.

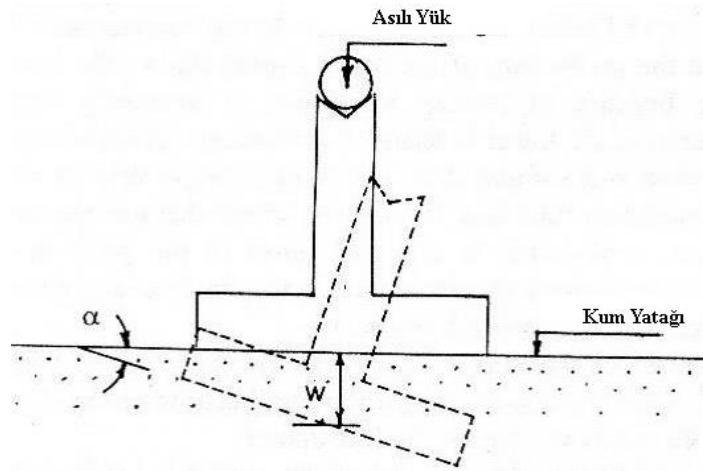
Bu araştırmalardan ilki CPT testidir. Şekil 6.18' de görüldüğü üzere CPT testi sonucu zeminde üç farklı bölümden olduğu anlaşılmış. Bölüm A olarak adlandırılan Zemin; 2 m'lik organik toprak, ve 7 m killi ve kumlu silt tabakasından, Bölüm B; 38 m'ye kadar çeşitli özellikteki killer ile sıkı kum tabakasından ve Bölüm C ise düşük yoğunlukta kum tabakasından oluşmaktadır [91]. Özellikle üstteki kil tabası yüksek oturma potansiyeline sahiptir. Kule temelleri zeminin 3 m altında, deniz seviyesinde ve kuzey yöndeki yeraltı su seviyesi güney yönündekinden daha yüksektir. Kulenin temeli sadece üç metre derinlikte olması, yoğun bir kil karışımı üzerine inşa edilmesi ve yumuşak zeminin kuleyi dik tutacak kadar güçlü olmamasından dolayı kulenin ağırlığı en zayıf noktaya doğru eğilmesine neden olmuştur [66].



Şekil 6.18 Pisa Kulesi Zemin Katmanı [97]

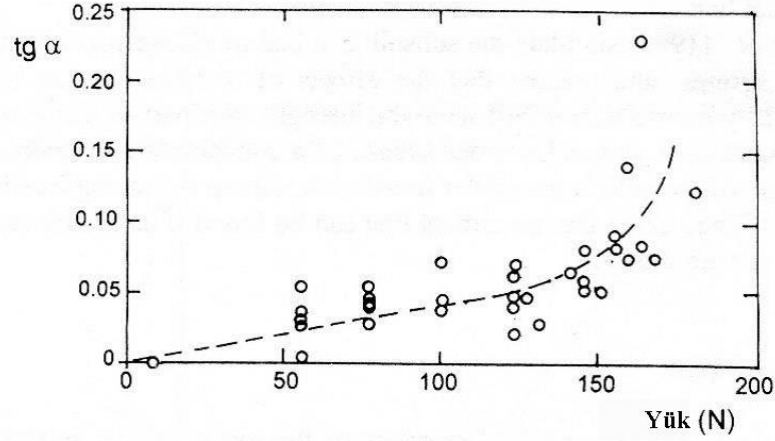
1990'lü yıllarda kulenin düşeyden sapmasının $5,5^\circ$ olduğu saplanınca ilk olarak kule kapatıldı, çanlar kaldırıldı ve restorasyon çalışmalarına başlandı. Pisa Kulesi'nde zemin boşaltma yöntemi kullanılmak istenmiştir. Zemin boşaltma yöntemi için birçok araştırma, deney, analiz ve testler yapıldı.

İlk olarak Edmunds 1993 yılında, çökmeye yakın bir kulede eğimin azaltılması için zemin boşaltma yöntemi etkisini incelemek için ince kum yatağına dayanan bir model kule üzerinde bir dizi küçük ölçekli fiziksel test gerçekleştirdi. Şekil 6.19'da ki gibi model kulenin belirli açılarda ve yüklerde yüklenmeler yapılarak 160 - 165 N yükte eğrilikte belirgin bir değişiklik gösterdiği tespit edildi [98].



Şekil 6.19 Edmund Küçük Ölçekli Fiziksel Test Modeli [98]

Bu fiziksel testlerden sonra, 165 N' luk bir yük ve 5,5°'lik bir dönüşle başlanarak zemin boşaltma testleri gerçekleştirilmiştir. 6 mm' lik bir dış çapa sahip paslanmaz çelik bir boru ve bunun içine bir vakum pompasına bağlı bir iç emme borusu yerleştirilerek zemin boşaltma yapılmıştır. 2.1 mm' lik bir dış çapa sahip olan iç boru, toprağı boşaltmaktadır [98, 72] . (Şekil 6.20)



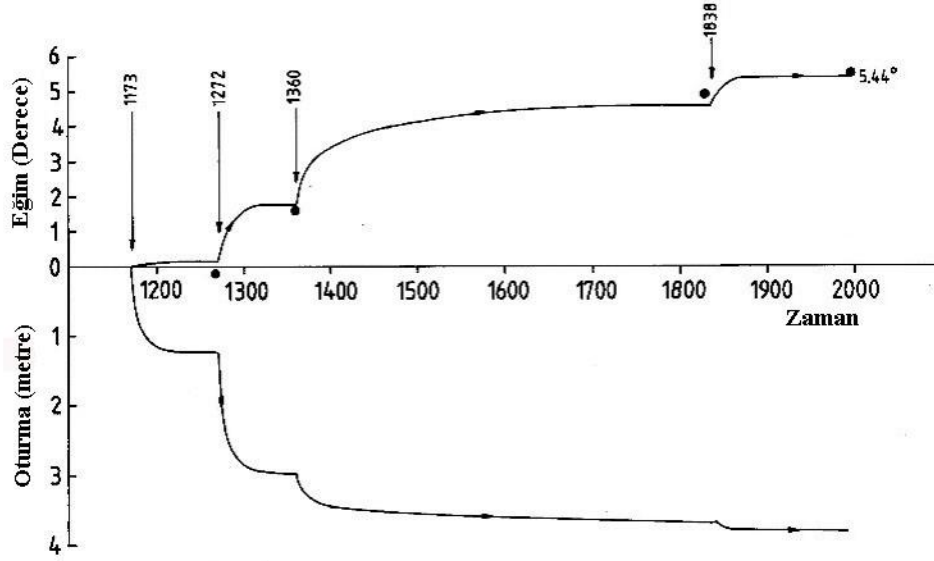
Şekil 6.20 Edmund Küçük Ölçekli Fiziksel Test Yükleme Testi Sonucu Çıkan Eğim [98]

Bu testlerden ortaya çıkan en önemli noktalar Pisa kulesinin eğimini azaltmak için zemin boşaltma işleminin kullanılabilir olduğu ve deneyde kontrol edilebilir şekilde modelde 1°'ye kadar düşeyden sapmanın azalabileceği ortaya çıkmıştır [98, 72] .

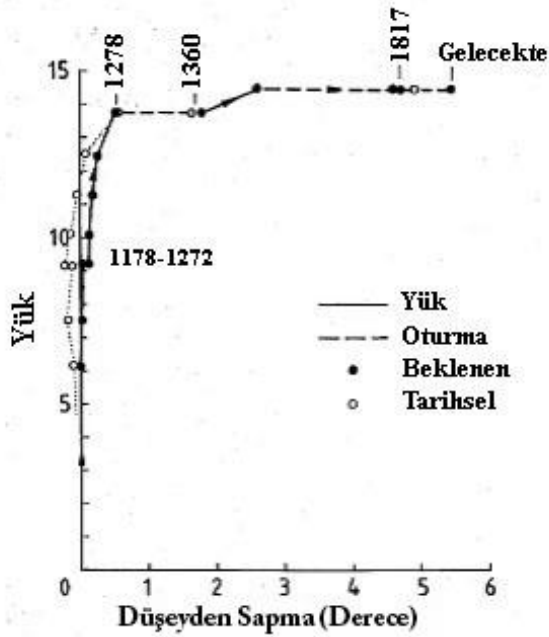
Diğer elde edilen sonuçlar;

- Kulenin etrafındaki çeşitli konumlarda kulenin hareketi, yerleştirilen sondalar kullanılarak yönlendirilebilir olduğu,
- Kulenin merkez ekseninin yaklaşık 10 mm kuzeyinde, altındaki zeminde, ötesinde zemin kaldırmanın eğimi artırdığı, ancak arkasında zemin boşaltma ile eğimde bir azalmaya neden olduğu ve kritik bir noktanın varlığını,
- Bir sondanın izolasyonda tekrar tekrar kullanılması kulenin eğimini önemli ölçüde etkilemediği ortaya çıkmıştır [98, 72] .

Ayrıca kulenin ve alt zeminin davranışının sonlu eleman analizleri (FEM analizi), Imperial College'da geliştirilen ve ICFEP (Imperial College Finite Element Program



Şekil 6.23 Pisa Kulesi FEM Model Sistemine Göre Oturma ve Eğim Grafiği [99]



Şekil 6.24 Pisa Kulesi FEM Model Sistemine Göre Ağırlık ve Düşeyden Sapma Grafiği [99]

Yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda; 1992 yılında binanın geçici olarak stabilize edilmesi amacıyla kulenin etrafına ikinci kata kadar plastik kaplı çelik kablolar inşa edildi (Şekil 6.25) . Mayıs 1993 ile Şubat 1994 arasında kule tabanının kuzey kenarına yaklaşık 600 ton kurşun külçe ağırlıklar yerleştirildi (Şekil 6.26). Bu ağırlıkların kullanılması, düşeyden sapmasını neredeyse bir inç

(2.56 cm) azaltmıştır. Oturma ve açı, FEM yönteminde bulunan değerlere yakın çıkmıştır [100, 101].



Şekil 6.25 Pisa Kulesi Çelik Kablo Uygulaması [101]



Şekil 6.26 Pisa Kulesi' nde Kullanılan Geçici Kurşun Ağırlıklar [101]

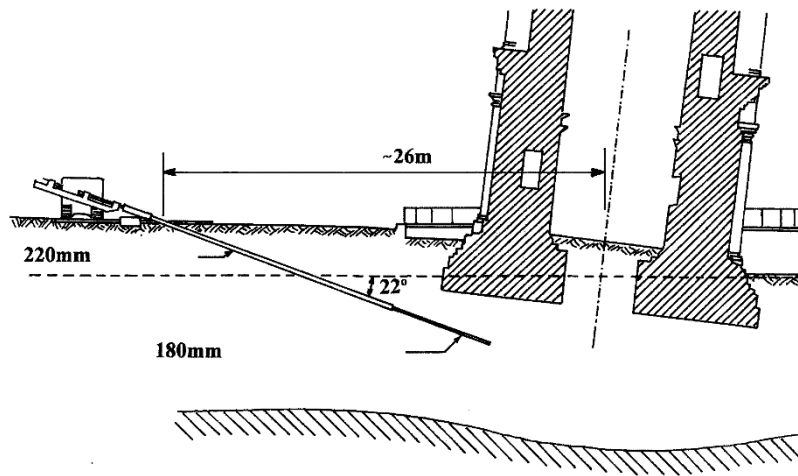
1995 yılların başlarında restorasyonu denetleyen komisyon, göze hoş görünmeyen denge ağırlıklarını yer altı kablolarıyla değiştirmeye çalışmıştır. Kurşun ağırlıkları, 40 m'den fazla derinlikte alt kum tabakasına gerilmiş çelik kablo ile değiştirmek için geçici bir plan geliştirilmek istendi. Bu çalışma esnasında kulenin düşeyden sapmasına önemli bir artışa neden olduğu için proje iptal edilmiştir [97, 101]. Bu uygulama kısaca temel güçlendirme ve zeminin sıvı nitrojen dondurulmasını içermektedir. Kulenin temeli etrafına betondan bir halka yerleştirmiş ve betonu delerek yaklaşık 12,2 m aşağıdaki sıkı kum katmanına bu halkayı ankrajlarla bağlamışlardır. Ankrajların yerleştirilmesi sırasında zemin örselenmiş ve kulenin

sapmasında ani bir artışa neden olmuştur. Eğimin tam tersi yönden daha çok kurşun külçe yerleştirilip operasyon terk edilmiştir [91].

Bir süre herhangi bir işlem yapılmamış fakat 1999 yılında zemin boşaltma yöntemi uygulanması kararı alınmıştır (Şekil 6.27). Kulenin kuzey kısmının altına dikkatli bir şekilde zemine eğik sondaj kuyuları açılmış ve bu deliklerden azar azar zeminin çıkarılması işlemi yapılmıştır. Her bir delikte özel bir burgu ve muhafaza ile 0,5 m aralıklarla 41 çekme deliği kurulmuştur. Bu çalışma çok yavaş bir şekilde ve kulenin eğimi güvenli bir şekilde azaltacak şekilde planlanmıştır. Bu şekilde kulenin altı boşaltılmış olup kulenin kuzey tarafının oturması sağlanmış ve eğim de azaltılmıştır (Şekil 6.28). İşlemler 2001 yılında bitmiştir. Kulenin bugünkü düşeyden sapması 3,97 derecedir. [91, 97].



Şekil 6.27 Pisa Kulesi Zemin Boşaltma Yöntemi [102]



Şekil 6.28 Pisa Kulesi Zemin Boşaltma Şematik Gösterimi [97].

6.3 Metropolitan Katedrali-Mexico City

Aztek tapınaklarının kalıntıları üzerine inşa edilen Metropolitan Katedrali, Mexico City'nin merkez meydanı (Zócalo meydanı) bulunmaktadır. Metropolitan Katedrali'nin yapılışı 1573-1813 tarihleri arasında yaklaşık üç asır sürmüştür. Bu yüzden mimarisinde üç asırlık yapım süreci boyunca egemen olan üç farklı tarzın bir birleşimi olan Barok, Neoklasik ve Neo-Rönesans tarzlar görülmektedir. Yapının bitişiğindeki Sagrario Kilisesi bulunmaktadır. Daha öncede bölgede Aztek tapınaklarının olması ve bundan kaynaklı yükleme geçmişinin varlığı, yumuşak zemin yapısının olması ve sismik yüklerden dolayı devamlı batmakta olan yapı batan katedral olarak da bilinmektedir [73].



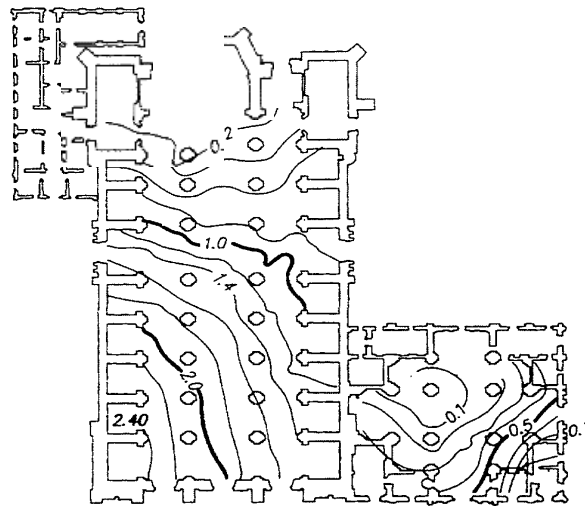
Şekil 6.29 Mexico City Metropolitan Katedrali [103]

Mexico City Metropolitan Katedrali, beş nefli ve on bir çapraz modülden oluşan bazilika tarzında tasarlanan bir yapıdır. 115 m uzunluğunda ve 66 m genişliğinde, 62 m yüksekliğinde iki kulesi ve transeptte 17 m çapında bir kubbesi vardır. Yapı, bir temel kiriş ızgarası (3,5 m derinliğinde) ve yaklaşık 2 m kalınlığında bir temel şiltesi ile desteklenmektedir. Temel şiltesinin altına her 0,6 m'de bir ahşap kazıklar (0,2 m çapında ve 2-3 m uzunluğunda) yerleştirilmiştir. İlk yapı malzemesi olarak, volkanik agregalardan ve kireç-kum harçtan oluşan bir tür zayıf beton seçilmiştir [104, 105].

Mexico City, Texcoco Gölü ve volkanik bir kapalı havza içerisinde bulunmaktadır. Su ve rüzgar aracılığıyla bu küller taşınarak gölde toplanmış, killer ve killi siltler

çatlak oluşmuş ve bu çatlaklar orantısız bir şekilde büyümüştür. Yapıda oluşan çatlaklar ve hasarlar, deprem gibi fazla yüklemelere karşı yapıyı daha hassas yapmaktadır [106, 107]. Katedralin farklı oranlarda batması ve 1970'lerde yapılan çalışmalara rağmen tehlikeli bir şekilde ilerlemiştir. Bu nedenle katedral, Dünya Anıtlar Fonu tarafından Dünya Anıtlar Gözlemine dahil edildi [105].

1989'da yapılan araştırmalarda yapının apsis ile batı kulesinin tabanı arasındaki maksimum 2.43 m olan farklı oturma varlığını göstermiştir. Şekil 6.31'de 1989' da oturma değerleri verilmiştir. İki kule arasında da 1.25 m' lik bir fark oluşmuştur. Bu farklı oturmalarından dolayı tonozlarda, kubbede, kemerler ve duvarlarda çatlaklar meydana gelmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu farklı oturmalar iki mekanizmada açıklanmıştır. Birinci mekanizmada güneybatı köşesinde oluşan durumdur. Bu sistemde merkezi kubbenin yakınında, çatıda ve duvarlarda enine çatlaklar bulunmaktaydı ve güney cephesinde ayrılmalar vardır. İkinci mekanizmada kuzey kesiminde orta nefin kısmındaki mekanizmadır. Sütunların ve yanal hatların dışa doğru dönmüş olup çatıdaki tonozların ve kemerlerin açılmasını neden olduğu bu da çatıda, zeminde ve temelde uzunlamasına çatlakların çıkmasına sebep olmuştur. Özellikle ikinci mekanizma merkezi kubbeyi destekleyen elemanlarda olduğu ve en büyük dikey yükleri alan sütunların eğilmesine neden olduğu için yapısal açıdan en kritik olanı bu mekanizmadır. Sütunların üst ve alt kısımları arasındaki toplam eksantriklik 0,6 m'dir. Kolonların üst kısmındaki bazı dikey çatlaklar, eksantrik sıkıştırmanın oluşturduğu sıkıştırma gerilmelerinden dolayı oluşmuştur [104].



Şekil 6.31 1989 yılında Metropolitan Katedrali Zemindeki Farklı Oturma Değerleri

Farklı oturma oranını azaltmak için dolguların altındaki kil tabakasında zemin boşaltma yönteminin kullanılmasına karar verildi. Bu yöntem Leonardo Terracina tarafından 1962'de Géotechnique'de yayınlanan Pisa Kulesi'nin eğimini düzeltmek için önerilmişti. Fakat ilk olarak Mexico City'de uygulanan bu yöntem ile kazanılan deneyimden sonra Pisa Kulesi'ne başarıyla uygulanmıştır. Enrique Santoyo bu uygulamanın Mexico City Metropolitan Katedrali'nde uygulanabileceğini söylemiştir. Diğer araştırmacılar da desteklenen yöntemi ve projeyi değerlendirmek için uluslararası bir komite oluşturuldu. 1993-1998 yılına kadar zemin sağlamlaştırma ve temel güçlendirme işlemleri yapıldı [104, 107].

Zemin boşaltma tekniğın uygulanmasındaki amaç, farklı yükselmeleri azaltmak ve farklı oturmaların eğimini azaltmaktır. Taşıyıcı tabakalardan toprağın yavaş ve kontrollü bir şekilde çıkarılması yoluyla yüksek kısımların alçak noktalara göre indirilmesi amaçlar. Yöntemi uygulamak için üç özel aşamada yapılması gereklidir. Bunlar;

- a) beton erişim şaftlarının yapımı;
- b) yeraltı suyu seviyesinin anlık düşmesi ve
- c) zeminin kontrollü bir şekilde kazılması içermektedir [104, 107].

Şekil 6.32'daki gibi; yaklaşık 20 m derinlikte 30 şaftın tabanında küçük çaplı radyal sondajlar açılmıştır. Şekil 6.32 bu sistem verilmiştir. Toprak, çelik cidarlı hidrolik silindirli sistem ile şaftların altından çıkarılmıştır. 10 cm çapında olan sondaj delikleri , 20° eğimlidir [104]. (Şekil 6.33)

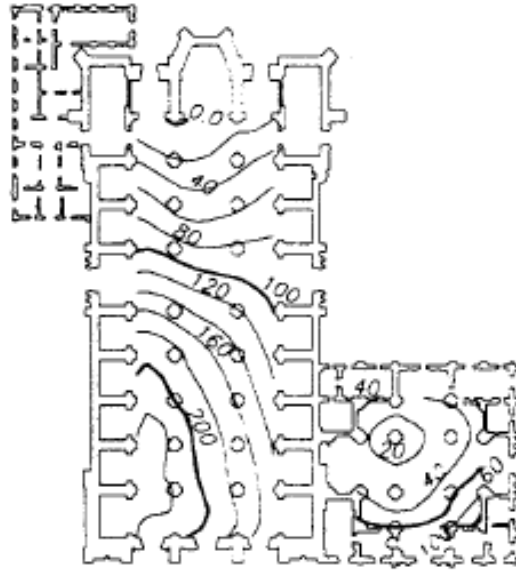
- a) Katedralin çevresi boyunca ve şapellerin kenarları boyunca duvarların oluşturduğu “sınırlayıcı kuşağı” güçlendirmek için yan duvarları kapatmak,
- b) Katedral apsisinin yüksekliğini zemin boşaltma işlemi ile 95cm 'den 80 cm' ye indirmek,
- c) Katedralin Sagrario'nun kuzey tarafında kalan bölümünü zemin boşaltma işlemi ile yüksekliğini 30 cm azaltmak,

Beklenmedik deformasyonları kontrol altına almak ve yapısal hasarları önlemek için yapısal destek yöntemi kullanılmıştır [108]. (Şekil 6.34)

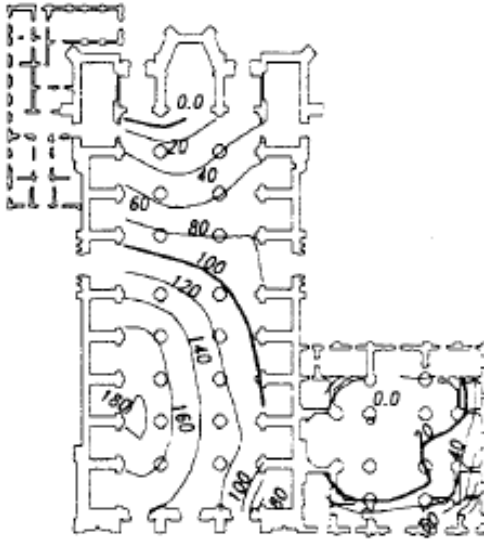


Şekil 6.34 a) Metropolitan Katedrali Kurulan İç İskele ve Yapısal Destekler, b) Dış İskele ve Yapısal Destek [108].

Fakat zemin boşaltma yöntemi yapılırken bir takım yapısal hasarlara neden oldu. Kazma işleminin başlangıcında duvarlar ve tonozda hareketlere neden oldu, tonozun birkaç santimetre yükseldiğini ortaya çıktı. Ayrıca ikinci bir hareket türü olarak, kuzeydoğuya doğru yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Düzeltici oturmalar, çatlakların kapanmasına ve kolonlardaki eğilmelerin azaltılmasına katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, yeni çatlaklar gelişmiş ve zaten var olan diğerleri genişletmiştir. Bununla birlikte, hasarlar projenin başlangıcında beklenenden önemli ölçüde daha küçük çıkmıştır [108].



Şekil 6.35 1993 yılında Metropolitan Katedrali Zemin Boşaltma Uygulamasından Başladığındaki Zemindeki Farklı Oturma Değerleri [107]



Şekil 6.36 1998 yılında Metropolitan Katedrali Zemin Boşaltma Bittiğinde Zemindeki Farklı Oturma Değerleri [107]

1998'de Metropolitan Katedrali ve Sagrario Kilisesi'nde zeminine harç enjeksiyonu yapılmıştır. Seçilen alandaki dolgu, yapının tepkisine uyum sağlamak için üç aşamada yapılmıştır. Katedral ve şapelin altındaki toprak kütlelerinde 30 cm çapında ince harç silindirler ile 35 ile 42 m arasında değişen derinliklerde üst kil oluşumuna harçlar enjekte edilmiştir. Enjeksiyon 1999'dan 2001'e kadar uygulanmıştır. Katedralin altındaki zeminin sıkışabilirliğini azaltmak için önerilen

harç harcı, kontrollü miktarlarda çimento, bentonit, süngertaşı kumu ve katkı maddeleri ile yapılmıştır [108].

Yapıda mevcut çatlaklara da enjeksiyon işlemi yapılmıştır. Tonozlarda, transeptde, nefinin batı kısmında kireç bazlı enjeksiyon uygulanmıştır.

Yapıda duvarlardan ve sütunlardan karot testleri alınmıştır. Bu karot testleri sonucu sütunun alt kısmındaki taşlarının kalitesi ve durumunun iyi olduğu fakat sütunların üst kısmındaki taşların kalitesinin düşük olduğu ve durumunun iyi olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.37). Kötü durumdaki taşlar değiştirilmiş ve özellikle transept sütunların üst kısmının taşları, tören neflerinin başlangıcı ile ana nef arasındaki bölümdekiler değiştirilmiştir. Ayrıca sütunların üst kısımlardaki derz aralarında kullanılan Şekil 6.38'deki taş tokozlar kaldırılarak yüksek kaliteli bir harçla enjekte edilmiştir [109].



Şekil 6.37 Metropolitan Katedrali'ndeki Sütun Üst Kısımlarındaki Sorun [110]



Şekil 6.38 Metropolitan Katedrali'ndeki Sütun Derzlerindeki Taş Takozlar [110]

Yapılan bütün çalışmalar sonucu kabul edilebilir deformasyon ve oturma seviyesine çekilmiştir. Katedralin eşit bir şekilde batmasını sağlanmıştır.

Günümüzde Metropolitan Katedrali'nin içinde Şekil 6.39' daki asılı duran sarkaç, eğimin kaydını tutar ve zemindeki hareketin kaydını işaretler.



Şekil 6.39 Metropolitan Katedrali'nin İçinde Asılı Duran Sarkaç [111]

6.4 Noto Katedrali (Myra Aziz Nikolaos Katedrali)-İtalya

Noto Katedrali, İtalya'nın, Sicilya şehrinin, Noto kasabasında bulunmaktadır. Noto Katedrali, şehrin merkezindeki ana meydan olan Piazza Municipio'da yer almaktadır. Meydana, büyük bir kat merdivenin tepesindeki konumlanmıştır. Yapımı 18. yüzyılın başlarında başlamış ve 1776'da tamamlanmıştır. Myra Aziz Nikolaos'a adanmıştır bundan dolayı S. Nicola kilisesi olarak da kaynaklarda geçmektedir. Yapının cephesinde soluk sarı kireçtaşından yapılmıştır. Katedralin önünde sütunlar üzerinde dört aziz heykeli vardır. Merkez kulede büyük bir pencere vardır. Ayrıca yapının üç kapısı vardır. Geçişin üzerinde büyük merkezi kubbe bulunur. Noto'nun mimarisi, tek tip Barok tarzının bir örneğidir ve tüm kasaba UNESCO'nun koruması altındadır. Katedralin kubbesi, 1990'da meydana gelen depremden ve 1950'lerde yapıda yapılan tadilat, onarım çalışmalarının neden olduğu yapısal zayıflamanın bir sonucu olarak 1996'da çökmüştür. 1996 yılından itibaren restorasyon çalışmalara başlanmış ve 2007 yılında yapı tekrar açılmıştır [112, 113].



a)

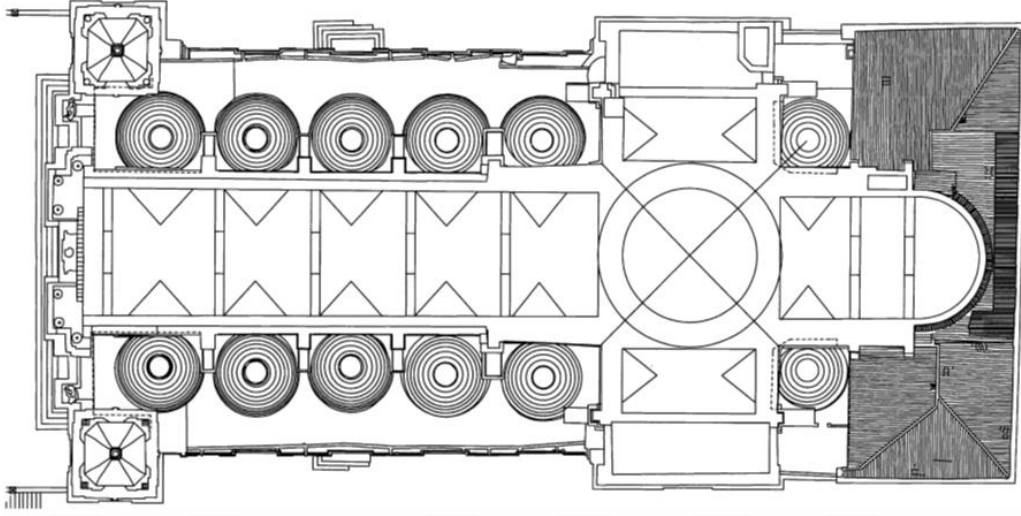
b)

Şekil 6.40 a) Noto Katedrali Ön Cephe; b) Meydan Görünümü [112].

Noto kasabasında tarih boyunca birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. 1693, 1727, 1780, 1818, 1848 ve 1996 tarihlerinde yaşanan depremler sonucu yapı zarar görmüş ve belirli bölgeleri göçmüştür [112, 114]. 1727 yılındaki depremde mermer ana portal çok ağır hasar almış tamamen yıkılma riski altında girmiştir. Kilisenin içi tahribata uğramıştır [115]. 1746 yılında yeni bir yapı yani ikinci bir kilisenin yapılması kararı alındı ve çalışmalar başlamıştır. 1753'te Gagliardi dönemin İtalya'daki en önemli mimarlarından biri o da; ilk kilisenin estetik anlayışının iyi olmaması, yapının duvarlarının çok zayıf olduğu, tonozlarda da sorun olduğu ve yapıda kullanılan taşların yumuşak taşlar olduğu gerekçeleri ile yapının yıkılması gerektiğini söylemiştir. 1764 yılında ilk kilise yıkıldı ve 1769-1776 yılları arasında ikinci kilise yapımları başlamıştır [112, 116].

İlk olarak Gagliardi' nin projeside yanal destekler konulmuş bu şekilde kütle merkezinin aşağı çekilmesi sağlanmak istenmiştir yani yükseklik-genişlik oranına dikkat edilmiştir. Payandalar ekleyerek yan duvarları sağlamlaştırılması hedeflenmiştir. Gagliardi' nin duvarlardaki kütle yükünü azaltmaya çalışmıştır. Çerçevesiz ahşap çatı, asma katlar ve Lombard kubbesi olarak da bilinen bir çatı tasarlayarak sismik tehdit azaltmayı amaçlamıştır. Fakat yapım aşamasında payandalar hizalı yapılmamış ve ilk düşünülen çatıdan daha yüksek tonozlu çatı yapıldığından yapının desteklerinde çatlaklara sebep olmuş, eksen dışı kemerler ve yük düzensizliği nedeniyle yapıda hasarlara neden olmuştur (Şekil 6.42). Ayrıca katedral yapımında Asinaro Nehri' den çıkan iyi kesilmemiş taşlar ve zayıf harç ile bağlanmış taş kullanılmıştır. Bütün bu nedenlerden dolayı katedralin

açılmasında dört yıl sonra 5 Haziran 1780'de meydana gelen depremde ağır hasar gördü. Kubbe çökmüş ve apsis yıkılmıştır [116, 117].



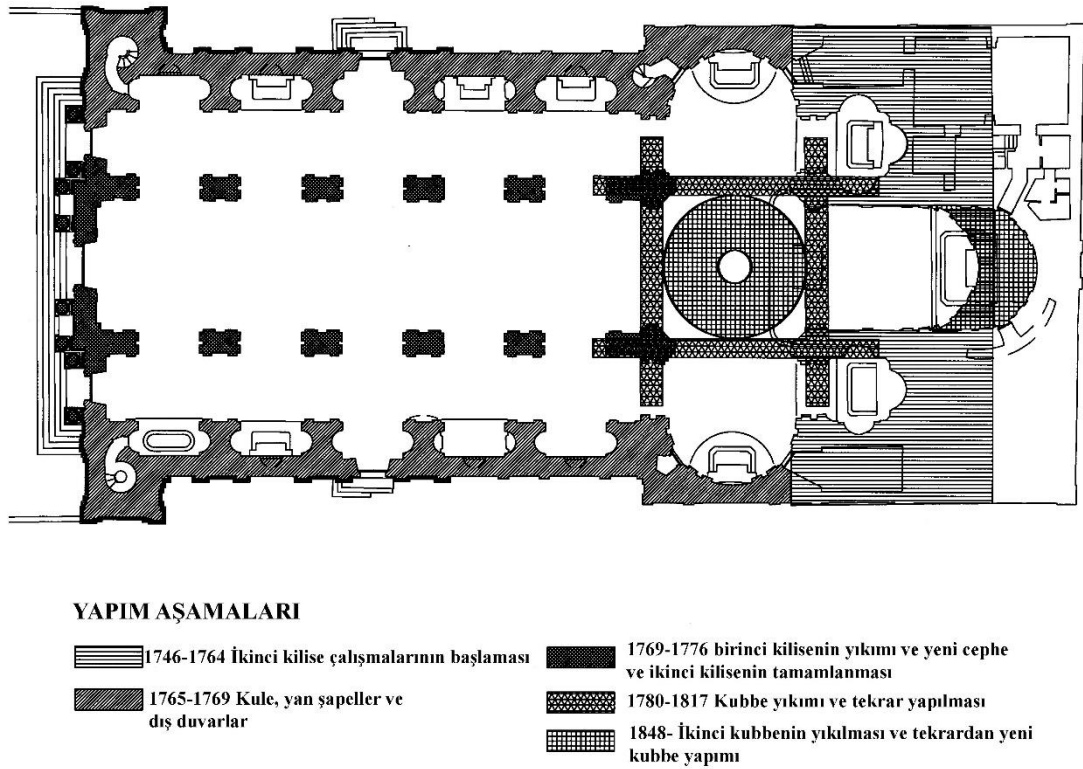
Şekil 6.41 Noto Katedrali Payanda, Travers ve Şapelin Planda Görünümü [116]



Şekil 6.42 Noto Katedrali'ndeki Payandalar [116]

Yapı için Mimar Stefano Ittar görevlendirildi. Ittar kubbeye daha iyi destek sağlamak amacıyla geçiş pencerelerinin boyutlarını küçülmüş ve bunları oval olarak yeniden şekillen bir proje tasarlamıştır. Nefte var olan pencereleri doldurulmuştur. Kubbenin altındaki geçit için payandalar tasarlanmıştır. Kilise 1818'de tekrar açıldı ve 1818'de başka bir depremde yeni ikinci kubbe zarar

görmüştür. Muhtemel onarımlar için 1839'da değerlendirilmiş, ancak 1848'de yapı harabe haline gelmiştir. 1848- 1872'ye kadar yapıdaki çalışmalar bitirilmemiştir [112]. Noto Katedrali'nde bu yıkıcı tahribatların nedeni yeniden yapım aşamasında tekrar edilen hatalı uygulamalar ve teknik olarak çözüm olamayan onarım ve güçlendirme çalışmalarıdır. O dönemde de bilinen ve aynı yakın bölgelerdeki yapılarda da kullanılan demir gergi uygulaması Noto Katedrali'nin kubbesi, tonoz ve duvarlarında uygulanmaması en büyük problem olmuştur [116, 118, 119]. Şekil 6.43 'de Noto Katedrali tarihsel olarak yapıda yapılan uygulamalar özetlenmiştir.



Şekil 6.43 Noto Katedrali Tarihsel Olarak Yapıda Yapılan Uygulamalar [116]

Katedralin yüksek kubbe yapımı ve onarım çalışmaları, 19. yy'da da Luigi Cassone tarafından yapıldı [116]. 1950'li yıllarda katedralde detaylı onarım ve güçlendirme çalışmaları başlamıştır. Yeni kaplamalar ve resimlerle restore edildi. Katedralin özgün ahşap çatısı değiştirilmiştir. Yerine düz betonarme bir döşemeli çatı yapılmıştır. Uygulama aşamasında kemerlerin üst kısmı kesilmiş ve yan duvarlar kaldırılmıştır [120] (Şekil 6.44). 1990'da kenti vuran son deprem kilisede

çatlaklara neden oldu ve 1996'daki çok kuvvetli yağmurlu fırtınasında yapının doğrudan çökmesine sebep olmuştur [113].



Şekil 6.44 1950 'li Yıllarda Noto Katedrali'nde Düz Betonarme Döşemeli Çatı Uygulaması [120].

1996 yılında gerçekleşen afet sonucu; yapının orta nefin sağ kısmının 4 ayağı ve ana kubbeyi ve kubbeyi tutan 4 iskeleden biri, orta nefin çatısı ve tonozu, tamburun dörtte üçü ve fener ile kubbe, transeptin sağ kısmının çatısı ve tonozu ve sağ nefin küçük kubbelerinin bir kısmı çökmüştür [112, 121]. (Şekil 6.45)



Şekil 6.45 1996 Yılındaki Noto Katedrali'nin Yıkılması [121]

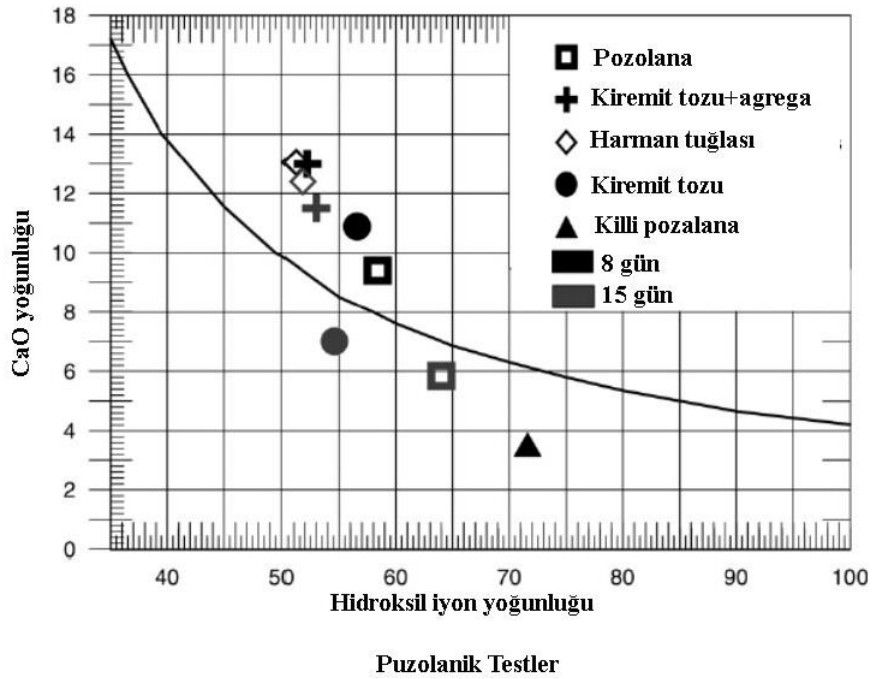
Kalıntıların tasarımcılarla birlikte bir uzman ekip tarafından kaldırılmasının ardından yapılan kapsamlı deneysel ve sayısal araştırma, deprem öncesinde taşıdıkları hasarlı durum nedeniyle çökmenin sütunlardan birinden başladığını açıkça göstermiştir [122]. Yapıdaki yıkım nedenleri araştırıldığında en önemli sebep, 1950'li yıllarda yapılan onarım ve güçlendirme çalışmaları olduğu tespit edilmiştir. Ahşap çatının düz beton çatının döşemesi ile değiştirilmesi yapıya iki şekilde zarar vermiştir. İlk olarak yapıya ekstra çatının ağırlığı eklenmiştir. İkinci olarak da uygulama aşamasında eski enine kemerlerin üst kısımları kesildiğinden yük dağılımında düzensizliğe ve sorunlara sebep olmuştur. Çatı yükü, nefin geri kalanına aktarılmasına ve iç mekanın çökmesine neden olan hasarın yayılmasına neden olmuştur [116]. Yapının çökmesinin diğer sebeplerden biri de 1950'li yıllarda yapılan onarım ve güçlendirme çalışmalarında sütunlardaki dikey çatlaklara niteliksiz müdahaleler yapılmış olmasıdır. Çatlaklara alçı harcı ile müdahale edilmiştir. Yani yapıda 1990 depreminden öncede 1950 'li yıllarda da dikey sıkıştırma çatlakları vardır. Ayrıca yapıda geçmişten beri zayıf inşaat ve malzeme kullanımı, 1980 yılların sonunda, ön ve sağ kanat duvarda betonarme enjeksiyonlarla güçlendirilmesi yapıdaki malzemenin bozulmasına neden olduğundan yapının 1996 yılında göçmesine neden olmuştur [112, 120] .

Yapının çökme nedenleri araştırıldığında, Cauchy tarafından yapılan sayısal kontroller sonucunda katedralin geometrisinde bir sıkıntı olmadığı, sütunlardaki ortalama geriliminin 10 kg/cm^2 olduğu maksimum gerilimin 14 kg/cm^2 olduğu hesaplanmıştır. Değerler oldukça kabul edilebilir değerler olduğu bu durumda zayıf inşaat ve malzeme kullanımı, kötü işçilik detaylarının varlığını ve sütunların bundan dolayı çöktüğünü göstermiştir [120].

1996 yılından sonra, katedralin restorasyon aşamasında bir takım kararlar alındı. Cephe, yan duvarlar, apsis ve transpet korunması kararı alındı. Fakat soldaki ayakta duran dört sütununun yıkılması kararı alındı. Sütunların kırılğan olduğu, malzemenin zayıf olması, takviye veya onarım operasyonlarının çözüm olmayacağı ayrıca enjeksiyon yöntemi de sorunlu ve belirsiz bir çözüm olacağından bu kısımlar yeniden inşa edilmiştir [120]. 1997 yılına kadar molazların temizlenmiştir. Yıkılan blokların numaralandırılması, kataloglanması ve fotogrametrik ölçüm çalışmaları yapılmıştır.

Katedralin kısmen yeniden inşası, kullanılacak yeni malzemelerin seçimi için bir takım kararlar alındı. Özgün olanlarla aynı geometriye sahip, aynı yerel taş ocaklarından gelen taşlar ve daha güçlü ancak mevcut olanlarla uyumlu yeni bir tür harç ile sütunlar inşa edilmesi tercih edildi. Derzlerde hidrolik harçlar ile birlikte kalkarenit kullanıldı. Farklı harçların enjekte edilebilirliği de laboratuvarında test edildi [122].

Noto Katedrali'nin rekonstrüksiyonu sırasında uygun malzemelerin seçilmesi üzerine yaptıkları kimyasal, mekanik ve fiziksel testler sonucunda duvarda yüksek nem içeriği bulunduğu ve toprakta belirli bir sülfat yüzdesi bulunduğundan doğal hidrolik veya puzolanik harçların seçilmesine karar verildi. Harç için yapılan testler sonucu; Orta nefin yeni sütunları için, hidrolik bağlayıcı kullanılmıştır. [122]. (Şekil 6.46)



Şekil 6.46 Noto Katedrali'nde Yapılan Malzeme Test Örneği [122]

Enjeksiyon yöntemi yan duvarlar, tonozların dolgusunu ve katedralin duvarlarında kullanılmıştır. Çatlakların onarımında harcın içinde kullanılan malzemenin boyutu da değişmektedir. Küçük çatlakların onarımında ince malzemeli harçlar kullanılmıştır. Daha büyük çatlaklarda agrega boyutu da büyükmektedir. Onarım müdahalesi için mikro ince parçalar seçilmiştir [122].

Yeni kullanılan taşlarda bir takım testten geçmiştir. Testler sonucu giuggiolena adı verilen daha kompakt bir kireçtaşının hem özgün taşla uyumlu hem de istenilen mukavemet değerlerini taşıdığı için tercih edilmiştir [122].

1996 yılında çöküş yapının hacminin yaklaşık % 60'ı kaybetmiştir. Bundan dolayı tarihi yapıda yeniden tasarım ön plana çıkmıştır. Yapıda zaten hala ayakta duran iki yanıl duvar kalmıştır ve bu ögeler yeniden yapımda en önemli mimari unsurlar olmuştur. İlk aşamada çapraz tonoz sistemi, zafer takları, pandantifler, kemer, kubbe ve payandalarda çalışmalar başlamıştır. Transeptin dört kemerine ve tamburun altına yerleştirilen pandantifler ile desteklenmiştir. Duvar kalınlığı artırılmış, tambur altındaki pandantiflere iki sıra kemer yerleştirilmiştir [123].

2003 yılında orta nefin alın kemerlerinin ve çatı sisteminin rekonstrüksiyonunu yapılmıştır. Orta nefin çatısını destekleyen yeni alın kemerlerinin inşa edilmiştir. 1950'lerde özgün çatının yerine alan betonarme ağır düz çatı değiştirilmiştir. Bu restorasyon çalışmasında yeni ahşap çatı yapılmıştır [124]. (Şekil 6.47)



Şeki 6.47 Noto Katedrali'nde Özgün Ahşap Çatının Yapılması [124].

50 cm kalınlığında kireçtaşı ile yapılan kemerler, karbon fiber ile güçlendirilmiştir. Şekil 6.48'da da görüldüğü üzere 2,60 genişliğinde ve yaklaşık 17 metre uzunluğunda 6 kemer üzerine çimento matrisli X Mesh C10 uygulaması yapılmıştır [125, 124]. Ayrıca karbon fiber yöntemi çökmemiş bölgelerde de kullanılmış. Örneğin sol koridorda çökmemiş sütunlarda bu yöntem kullanılmıştır [124].



Şekil 6.48 Noto Katedrali Orta Nefin Yapılışı [125]



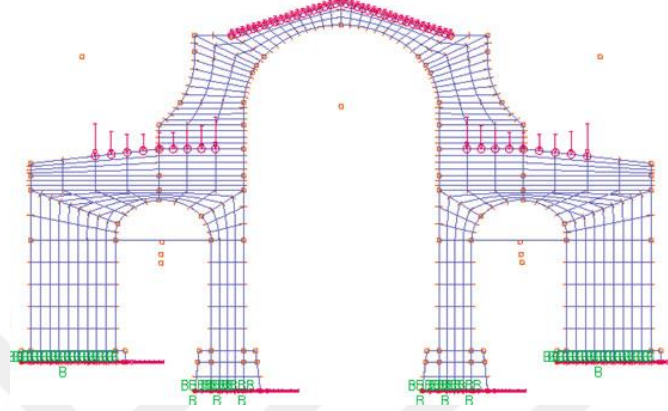
Şekil 6.49 Noto Katedrali'nde Kemerlerin Yapım Aşaması [125]

Yapısal olarak zafer tankının kemerleri, yan neflerin boyuna ve enine kemerleriyle aynı teknikle inşa edilmiştir. Zafer takları, yarıçapı 5,24 m ve derinliği 1,5 m olan yarım daire biçimli kemerlerdir; yüzleri kavis merkezine yakın olacak şekilde şekillendirilerek yapılmıştır. Yıkılan ve kısmen çöken kemerler tamamlanmış ve sağ nef kısmındaki kemerler tamamen yeniden inşa edilmiştir [120, 123].

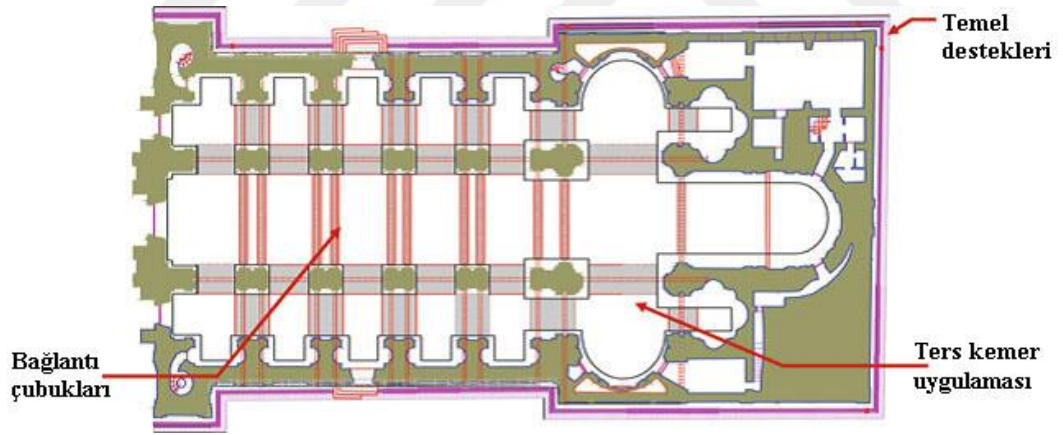
Dış cephelerde kalkirit taşı, iç cephelerde giuggolena taşı kullanılarak yeniden yapılmıştır. Dış duvaralar eski ile yeni ayırt edilmesi için farklı malzemelerden yapılmıştır [123].

Noto Katedrali'nin temel toprağının jeoteknik karakterizasyonu, maksimum 81 m derinliğe sahip 3.200 m² (40 m × 80 m) bir alanı kapsamaktadır. Yapıyı sismik etkilerden daha az etkilenmesi için standart penetrasyon testleri ve FEM analizler yapılmıştır. Şekil 6.50'deki analizlerde görüldüğü üzere katedralin en kritik

bölümünün kemer kısımların olduğunu göstermiştir. Orta nef ve yan neflerin kemerlerde iyileştirilme yapılmasının gerekliliği çıkmıştır. Temelde kullanılan taşların niteliksiz olduğu ve sütun-temel birleşimlerinin yetersiz olduğu için eski-yeni temelin birleşiminde bağlantı çubukları ve ters kemer sistemi uygulamaları yapılmıştır [126]. (Şekil 6.51) (Şekil 6.52)



Şekil 6.50 Noto Katedrali'nde Yapılan FEM Analiz Örneği [126]



Şekil 6.51 Noto Katedrali Temel Güçlendirme Planı [126]



a)



b)

Şekil 6.52 a) Noto Katedrali Temel Bağlantı Çubukları, b) Ters Kemer Sistemi
[126]

Kubbe birçok kez yıkılmış olup son olarak 1996 yılındaki depremde tekrar yıkılmıştır. Yeni kubbe kumtaşı bloklarla yeniden inşa edilmiştir. Sayısal kontroller yapılarak sismik yüklere dayanıklı olarak tasarlanmıştır. Özgün kubbe geometrisinde küçük ve sınırlı düzeltmeler ile geometriyi ve yapısal konseptde uygun yapısal zayıflıkları iyileştirerek ve giderecek şekilde yapılmıştır. Kubbe tabanındaki duvar kalınlığının arttırıldı ve titanyum alaşımında üç metal halkanın eklendi. Eş merkezli halkalar konulmuştur [123]. (Şekil 6.53)



Şekil 6.53 Noto Kubbe Restitüsyon Çalışması [125]

Tüm çalışmalar 2006 yılında bitmiş olup 2007 yılında katedral halka açılmıştır.

6.5 Santa Maria dei Miracoli Kilisesi-Venedik

S. Maria dei Miracoli kilisesi, Venedik'te 1481 -1489 yılları arasında inşa edilmiştir. Kilise olarak tasarlanan yapı daha sonra yapım aşamasında 1485 yılında manastıra dönüştürülmüştür. Manastır, daha sonra yıkılan kapalı bir yürüyüş yolu ile kilisenin galerisine bağlanmıştır. İç kısım, tek nefli ve beşik tonozla çevrilidir [127].

Venedik'teki Rialto Köprüsü'nün kuzeydoğusundaki yerleşim bölümünün bir köşesinde bir kanal geçişinde yer alan kilisenin bir kanal tarafından ve diğeri cadde tarafında olmak üzere iki girişi vardır. Kendine özgü yarım daire biçimli bir alınlığı olan ve cephede, renkli mermer uygulaması vardır. Zaten bu kilisenin benzersiz bir özelliği, binanın mermer kaplamasıdır. Mermer kilise olarak da bilinir. Yapıda çeşitli türde ve renkte mermer kullanılmıştır. Bu mermerlerinin bazıları Mısır, Marmara Adası, Midilli Adası, Verona vb. çeşitli yerlerden gelmiştir [128].



a)

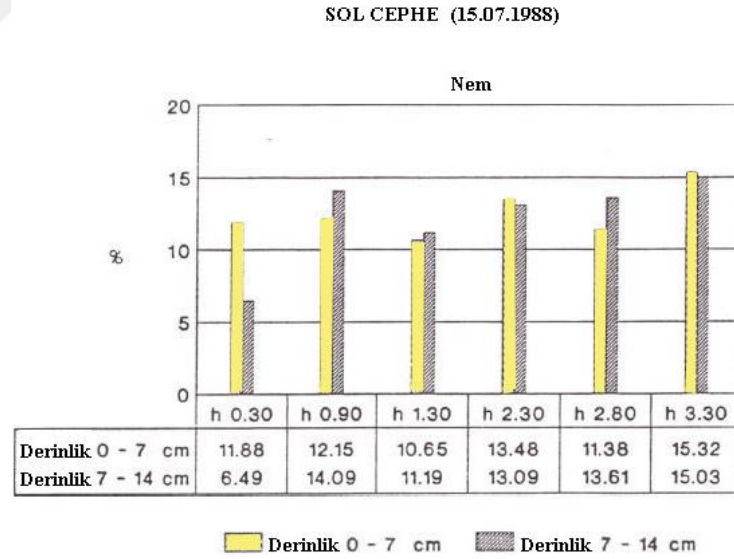
b)

Şekil 6.54 a) Miracoli Kilisesi Dış; b) İç Görünümü [129]

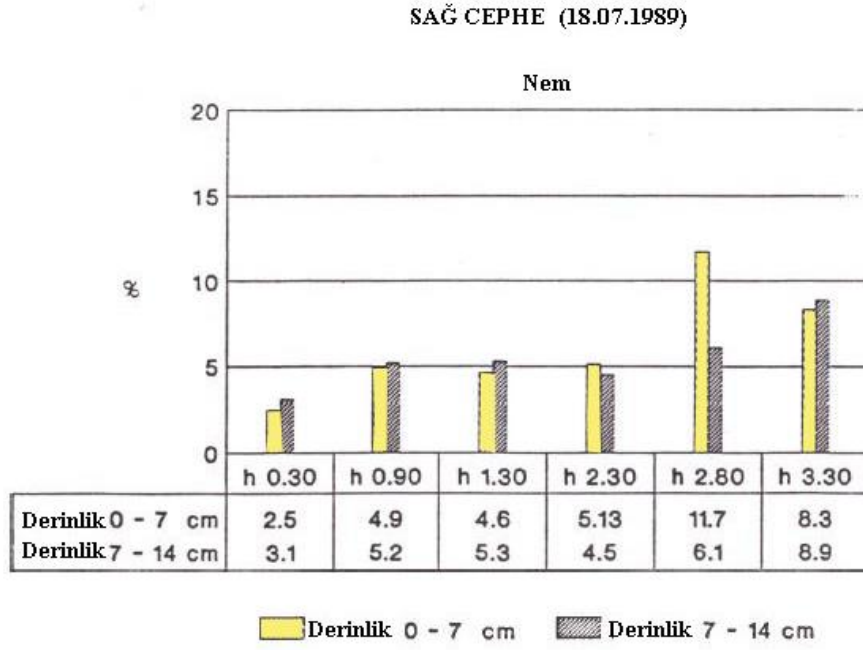
19. yüzyılda iki önemli restorasyon gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada kilisenin hem içindeki hem de dışındaki bozulmuş mermerlerden birkaçı onarılmış ya da değiştirilmiştir. Yeni mermerler Portland çimentosu ile sabitlenmiştir. İkinci aşamada kilisenin çatı ve kubbesinde büyük bir restorasyon gerçekleştirilmiştir.

Özellikle nem sorunu olduğu için yatay bir nem geçirmezlik uygulaması yapılmıştır [128, 130].

Geçen yüzyıllar sonrasında S. Maria dei Miracoli Kilisesi' nin mermer cephelerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Yapının mermer cephelerinde meydana gelen çürüme mekanizmalarını anlamak için 1980-1990 yılları arasında detaylı bir araştırma yapılmıştır. Bilgisayar ortamında mikroklimatik araştırma çalışmasının yanı sıra mermer levhaları destekleyen tuğla duvarlar da incelemeye alınmıştır. Binanın yapısıyla ilgili nem ve tuz içeriği araştırmalarına özellikle önem verilmiştir. Öncelikli olarak kanala bakan cephe olan sol cephe en çok hasarlı cephe olmasından dolayı ilk araştırmalar bu cephede yapılmıştır. İkinci aşamada daha iyi durumda olan sağ cephe incelenmiştir. Şekil 6.55 ve Şekil 5.56' da Mirocoli Kilisesi sol ve sağ cephesinde nem oranları verilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda kilise ve zemini arasındaki mesafenin arttığı tespit edilmiş ve bunun nedenin de yüksek nem olduğu saptanmıştır. 5 m derinliğinde sondaj yapılmıştır. Bu sondajlarda yüksek su miktarı bulunmuştur [128, 130].



Şekil 6.55 Mirocoli Kilisesi Sol Cephe (Kanal Cephesi) Yapılan Araştırma Sonucu Veriler [130]



Şekil 6.56 Mirocoli Kilisesi Sağ Cephesinde Yapılan Araştırma Sonucu Veriler
[130]

Yapılan araştırmalar sonucunda mermerlerin bozulmasının nedenleri; yüksek nem, portland çimentosunun kullanılması ve hava kirliliği olduğu tespit edilmiştir -Yapılan ilk restorasyon çalışmasında döşeme kaldırılmadan müdahale edildiği için, tuğla bölümlerde nemin buharlaşması engellendiğinden eski yüksek nemin olması ortadan kalkmaması,

- Oluklardan ve çevreden dış mermer plakalara sürekli su sızması,
- Özellikle mermer levhaları tuğla duvarlara sabitlemek için 19.yy yapılan müdahalede kullanılan Portland çimento uygulanmasının yapıya oldukça büyük zarar verdiği tespit edilmiştir. Portland çimentosu kullanımında görülen en büyük sorun tuzlanma olayıdır. Bu yapıda da mermerlerin bozulması, tuzun varlığına bağlanmaktadır. Tuzun oluşması, malzeme bünyesine giren suyun kuruyarak buharlaşması ile yüzeyde çiçeklenme denilen yüzey erozyonu oluşmasına sebep olmuştur. Mermerlerin bozulmasındaki en büyük etkenin bu olayın olduğu saplanmıştır [128, 130, 131]. (Şekil 6.57)

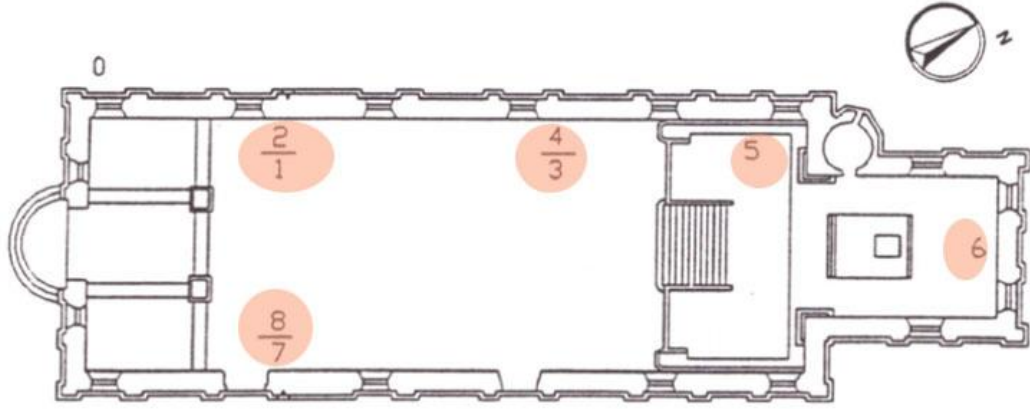
Portland çimentosu yüksek basınç dayanımına, termal genleşmeye ve düşük porozitesi sahip bir yapı malzemesidir ve bundan dolayı yeni harç, eski yapı

malzeme üzerinde basınç oluşturarak, tarihi eserlerin zarar görmesine neden olmaktadır. Özellikle tarihi eseler de portland çimentosu kullanımında görülen en büyük sorun tuzlanma olayıdır. Harç yapımında suyun tepkimeye girmesi ile tuzun oluşmasına sebep olmaktadır. Tuzun oluşması, malzeme bünyesine giren suyun buharlaşması ile yüzeyde çiçeklenme denilen yüzey erozyonuna oluşmasına sebep olmakta olup eski yapılarda kullanılan taşların bozulmalarını hızlandırmaktadır. Yapı yüzeyinde çiçeklenme olgusu meydana gelmesi, hem yağmur suyu hem de deniz suyu ile yapıya girmesine neden olabilmekte olup yüzeyin altında çözünür tuzların kristalleşmesine neden olmaktadır. Bu durum oldukça tehlikelidir çünkü iç çekme gerilmeleri malzemenin kırılmasına neden olmaktadır [132, 133].



Şekil 6.57 Koruma İşleminde Önce Miracoli'nin Tuz Birikintileri ve Yüzey Kiri İçeren Dış Görünümü [134]

Yüksek nemin hangi noktalarda yoğunlaştığını gösteren teknik çalışma yapılmıştır. Sıcaklık ve nem analizleri ile kanal cephesinde nemin yoğunlaştığı tespit edilmiştir [126]. Şekil 6.58, Şekil 6.59 ve Şekil 6.60 planda ve cephelerde nem ve sıcaklığın yoğunlaştığı noktalar belirtilmiştir.



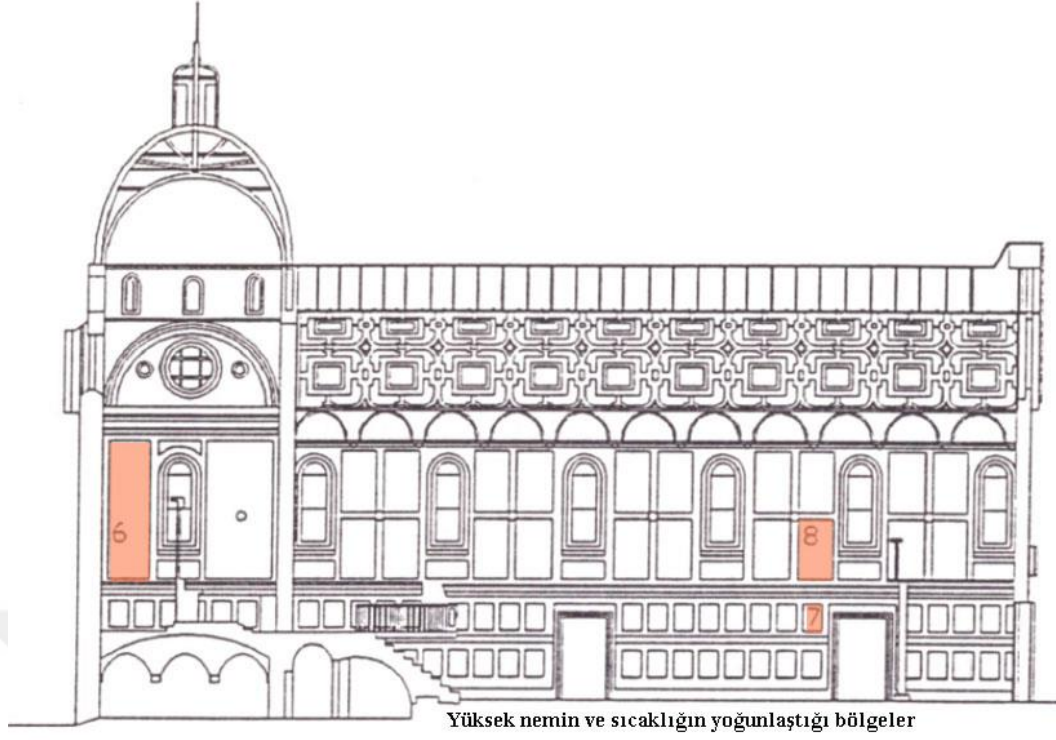
Yüksek nemin ve sıcaklığın yoğunlaştığı bölgeler

Şekil 6.58 Mirocoli Kilisesi'nde Yüksek Nem ve Sıcaklığın Yoğunlaştığı Planda Gösterimi [128]



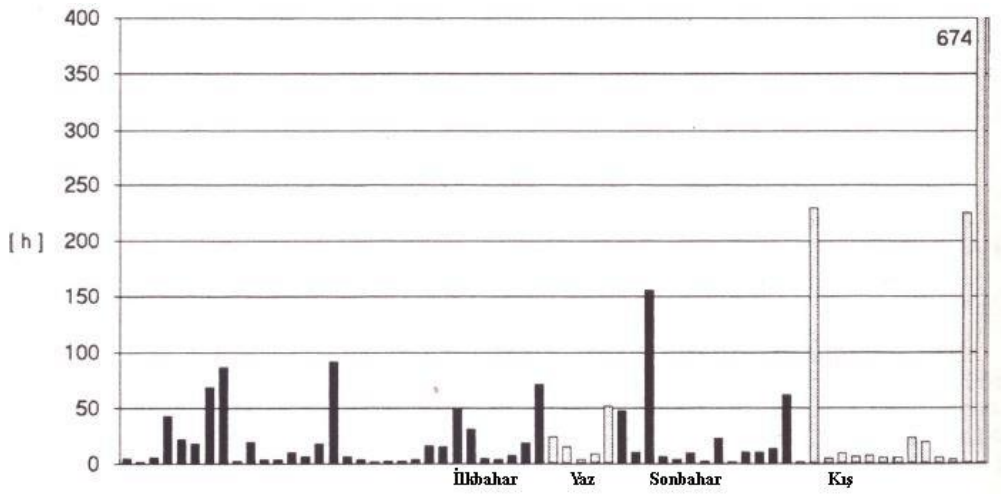
Yüksek nemin ve sıcaklığın yoğunlaştığı bölgeler

Şekil 6.59 Mirocoli Kilisesi Kanal Cephesi Yüksek Nem ve Sıcaklığın Yoğunlaştığı Kısımlar [128]



Şekil 6.60 Miracoli Kilisesi Sağ Cephesinde Yüksek Nem ve Sıcaklığın Yoğunlaştığı Kısımlar [128]

Ayrıca taş bozulmasında sıcaklığında etkisi araştırılmıştır. Su buharı yoğunlaşması, dış kısımlardan çok binaların iç kısımlarında sıklıkla meydana gelmektedir. Bu fenomen, yüksek bağıl nemin varlığında ve sıcaklık değişimlerinde etkilenmektedir. Şekil 6.61’ de da görüldüğü üzere sıcaklık düştükçe aerosollerin ömrü uzadığından, kışın taşın bozulması arttığı tespit edilmiştir [128, 130, 131].



Şekil 6.61 Miracoli Kilisesi mevsimlere göre yoğunlaşma [128]

Yapılan kanal cephesindeki çalışmada, üst seviyelerden alınan taş örneklerinde alt seviyelerden alınan kısımlarda bulunandan daha fazla sodyum klorür içermektedir. Ayrıca yapının altında kalsiyum sülfat bol miktarda bulunmaktadır. NaCl yapının iç tarafı da yoktur ve sülfat konsantrasyonları çok az miktarda bulunmaktadır. Yapılan X ışını difraktometrik analizleri, antarktikit $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (Kalsiyum klorür hekzahidrat) varlığını göstermiştir. Bu durumda hidroklorik asit ile taş arasındaki reaksiyonunun olduğunu da göstermiştir [128, 130, 131].

1990'lı yıllarda başlayan çalışmalar ile hasar kaynaklarını belirlemek ve yapılacak onarım ve güçlendirme uygulamasını belirlemek için Venedik Sanat Eserleri Müfettişliği laboratuvarı tarafından taşın korunması üzerine bir araştırma programı başlatılmıştır. 1990'dan 1997'ye kadar kilise binasının hem iç hem de dış cephesinin mermer kaplaması ve taşlarını tuzdan arındırılmış ve temizlenmiştir. İlk olarak mekanik temizleme yapılmıştır. Sonra tüm mermer kaplama çıkarılmış ve paslanmaz çelik tanklarda damıtılmış su çözeltisi içinde temizlenmiştir. Sıvalardan temizlenmiştir ve sağlamlaştırılmıştır. Yapıdan mermer levhalar kaldırıldığında duvarlardaki sıva ve portland harcı temizlenip yerine çimento içermeyen yeni bir harç kullanılmıştır [134]. (Şekil 6.62) (Şekil 6.63)



Şekil 6.62 Miracoli'nin Mermerlerinin Tuz Birikintileri Arındırma İşlemi [134]



Şekil 6.63 Tuzdan Arındırma İçin Mermer Levhalar Kaldırıldıktan Sonra Miracoli Duvarı [134]

Restorasyonun diğer bir aşaması da yapının iç kısmında yapılmıştır. Sunak kısmı ve eski ahşap şapelde detaylı onarım çalışmasına yapılmıştır. Demir destekler, çelik desteklerle değiştirilmiştir. Tavan temizlenme çalışması yapılmıştır. Cepheye su geçirmez bir gül pencere yerleştirilmiş ve kilise sıralarında kapsamlı onarımlar yapılmıştır. Çanlarda yapılan işlemlerden sonra restorasyon çalışması sona ermiştir [134].

6.6 Santa Maria Kilisesi Paganica-İtalya

Santa Maria Paganica Kilisesi İtalya'nın Paganica şehrinde bulunmakta olup 1308 yılında yapımına başlamıştır. Binanın görkemli cephesi ve çan kulesi vardır. Tek nefli yapı olup görkemli bir kubbe ve yarım daire biçimli apsis ile örtülen büyük bir transepti bulunmaktadır. 1902'de ulusal anıt ilan edilmiştir. 1349, 1456, 1703 ve 2009 depremlerinde ağır hasarlar almıştır. Bu afetlerden dolayı yapı birçok kez restore edilmiştir [135].

İlk olarak 1349 depreminde şehirde birçok yapı gibi Santa Maria Paganica Kilisesi de etkilendi. O dönemki raporlarda belirli kısımlarında çöküş yaşandığı, çan kulesindeki hasarlardan 1365'te tamamlanması için müdahale yapıldığı belirtilmiştir. 27 Kasım 1461'deki 1456 yılındaki depremle ilgili olarak, kısmen Santa Maria Paganica da dahil olmak üzere çeşitli kiliselerin şapel ve çatıların bir

kısımının çökmesi ve aynı zamanda bir miktar çatlaklar meydana geldiği hakkında raporlar vardır [136].

Cephe ile alakalı olarak 1545-1548 yılında, ağır konsolidasyon sonucu müdahaleler yapılmış olup cephenin taşları yeniden birleştirmek için sökülüştür. İç duvara yaslanmış iki şapeli (sunak) iki sütunla güçlendirilmiştir. Kısmen kafes tonozun sağlamlaştırılmasını da içeren çalışmalar, 1545 yılının da başlamıştır. 1557'de, yaşanan depremde hasar görmüş ve aynı yıl İspanyollar tarafından çan kulesinin üst yarısı yıkılmıştır. Kilise'nin bazı yerlerinde bariz yıkım tehlikesi içinde bulunduğu ve ana sunağın arkasındaki tribün, şapelde ve ana kemer de problemler olduğu, yapının yok olma tehlikesi olduğunu Antonio Madalena raporlamıştır [136].

1703'teki deprem sonucu kilise neredeyse tamamen yok olmuş ne dış ne de iç kısımdan hiçbir şey kalmamış sadece bazı payandalar, yan portal ve arka apsisin bir kısmı kalmıştır [135]. 1703 depreminden sonra yapı yeniden yapılmaya başlanmış ve daha görkemli yapılması amaçlanmıştır. Yapı 18.yy sanat anlayışı yansıtmakta olup yan şapelleri olan büyük bir transept ve bir kubbesi vardır [137]. Ana cephe Paganica üzerinden açılır ve iki yan rampa tarafından sunulan yükseltilmiş bir erişim vardır. Cephede kireç taşı kullanılmıştır [138].

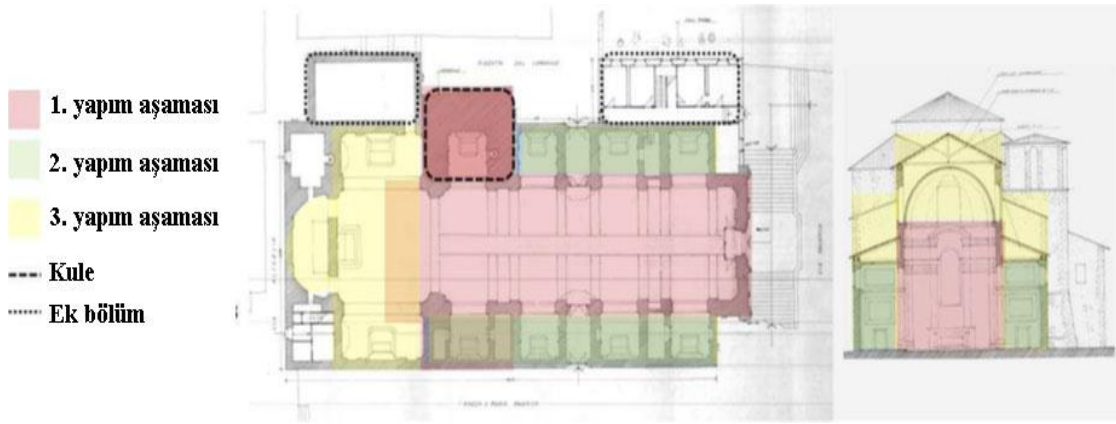


Şekil 6.64 : Santa Maria Paganica Kilisesi Ön Cephesi [139].



Şekil 6.65 Santa Maria Paganica Kilisesi [139].

Şekil 6.66 'da gösterildiği gibi meydana gelen hacimsel dönüşümler özetlemektedir. Mevcuttu var olan kısım yani 14. yy'dan kalma kısım kırmızı bölümdür bu bölüme ek olarak 16.yy da yapılan kısımlar yeşil ile işaretlenmiş ve tek orijinal nefe küçük koridorlar eklenmiştir. Sarı ile işaretlenen kısımlar 1703 yılından sonra yapılan yerlerdir. Kilise genişletilip yükseltilmiştir. Bu aşamada, nefler kapatılmış ve payanda olarak da çalışması amaçlanan enine yığma duvarlar şapellere çevrilmiştir. Aynı zamanda, apsis ve transepte ek olarak, doğrudan aşağıdaki zafer taklarına bağlantı pandantifleri üzerinde konumlanan ve dış sekizgen kubbe giydirmesi yığma payanda ile bağlanan bir kubbe inşa edilmiştir [140]. 1703 depreminden sonra restitüsyon çalışmaları 1828 yılına kadar sürmüş ve kubbe bitirilmiştir. Kilise, Birinci Dünya Savaşı askerleri tarafından çoğunlukla yatakhane olarak kullanılmıştır. 1915 depreminde tekrar yapıda hasarlar saplanmıştır [136].



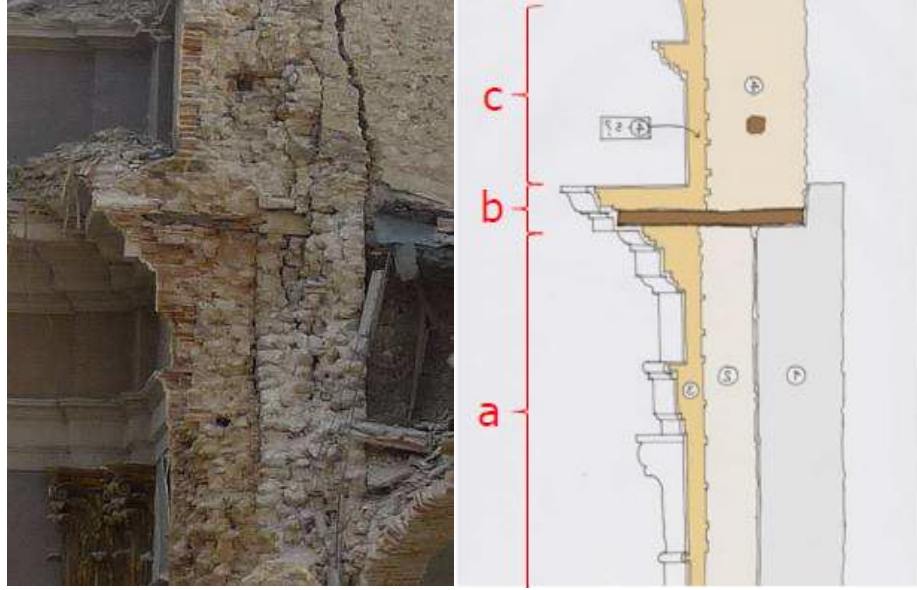
Şekil 6.66 Santa Maria Paganica Kilisesi Şematik Yapım Aşaması (hem planda hem de kesitte) [140]

Yapıda 1960'lı yıllarda tekrar restorasyon çalışmaları yapılmak istenmiştir. Bu çalışma depremin neden olduğu hasarın onarımı, duvarların güçlendirilmesi ve çatının onarımdan oluşmaktadır. Bu müdahaleler ağır betonarme uygulaması içermektedir ve bu uygulamalar sonucu 6 Nisan 2009 depreminde, kilisenin tonozunun tamamen yıkılması neden olmuştur [136]. Fakat yapının çökmesindeki en büyük etken çatıdaki yanlış ve uygun olmayan onarımdır. 2009 depreminden sonra yapının yıkılmasının sebepleri sıralanırken ilk olarak 1960' larda ahşap çatı döşemesinin, betonarme döşeme olarak değiştirilmiş olmasıdır. Bu uygulama sırasında betonarme prefabrik kirişler çelik bağlantı elemanlar ile sabitlenmiştir. Buda yapının daha ağırlaşmasına ve göçmesinin ana sebeplerinden biri olmuştur. Çökme, çeşitli faktörlerin bir araya gelmesine bağlanmıştır. Bunlardan bir diğer faktör ise duvar kalitesinin düşük olmasıdır. Yapıdaki duvarların 1703 sonrası onarımlar nedeniyle kalınlaşma göstermiş olması, homojen ve olmayıp birbirleriyle bütünleşmiş olmaması ayrıca uzun cephedeki duvarın farklı enine rijitliğe sahip olması yapı stabiletisini bozmuştur. Bütün bu yapısal zayıflamalar 2009 yılında yapının yıkılmasına yol açmıştır [138]. 2009 depreminde cephenin üst kısmı, çatı, kubbe ve duvarların bir bölümünün yok olmuştur [139]. (Şekil 6.67)



Şekil 6.67 Santa Maria Paganica Kilisesi 2009 Depremi' den Sonraki Çökmüş Hali [139].

Şekil 6.68'de gösterildiği gibi, duvar kesitin alt kısmı (a olarak adlandırılan) birleştirilmemiş iki ayrı duvar uygulamasından oluşmaktadır. 1703 yılında yapılan duvar onarım çalışmalarında, duvar en kesitin genişlemesine neden olmuştur. İkinci seviyede ise (b olarak belirtilen), ahşap taban elemanda ve duvar en kesitteki süreksizlik görülmektedir. Son olarak, duvar kesitinin üst kısmı (c olarak adlandırılan), hafif dış yaparak iç duvara karşı yerleştirilmiştir. Hem a hem de c bölümlerinde niteliksiz bağlantılarla birleştiğinden, nefin ve duvarın stabilitesini etkilemiştir. Yapının yıkılmasına sebep olmuştur [140].



a)

b)

Şekil 6.68 a)Santa Maria Paganica Kilisesi Yığma Nef Duvar Birleşim Detayı
b)Kesiti [140]

1960'lı yıllarda yapıda enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Fakat bu uygulama tam yapılamamış ve enjeksiyon sınırlı kalmış olup harç yeterli bir şekilde dağıtılmamıştır. Bu durumda enjeksiyon yönteminin etkinliğini azaltan bir durumdur [138].

Ayrıca, 1703 sonrası yapılan payandalarda, kemerlerde ve nefte sonradan eklenen koridorda, eski yapıyla yeni yapıların birleştirilmesinde iyi detaylar kullanılmadığından ve yapısal istikrarsızlıktan dolayı zayıf noktalardan çatlaklar ve ayrılmalar oluşmuştur [140]. (Şekil 6.69)



Şekil 6.69 Santa Maria Paganica Kilisesi'ndeki Çatlaklar [140]



Şekil 6.70 Santa Maria Paganica Kilisesi'nin Çatısında Kullanılan Betonarme Döşeme Parçaları [140]

2010 yılında kiliseye geçici çatı yapılmıştır. Çatıda, FRP profiller kullanılmıştır [141, 142] . FRP'nin kullanılma sebebi, yüksek mukavemet-ağırlık oranı ve korozyon direnci gibi geleneksel yapı malzemelerine göre avantajlarının olması ve nakliye ve montaj kolaylığındandır [143, 144]. Yapı için acil onarım yapılması gerektiğinden ve gelecekteki restorasyon çalışmaları amacıyla inşa edilecek iskele için bir destek oluşturacaktır. Bu özelliklerden dolayı FRP geçici yapı sistemi bu projede tercih edilmiştir [138].



Şekil 6.71 FRP Sisteminin Yapıda Uygulanması [145]

FRP sistemi, kilisenin içine yerleştirilmiş betonarme bir temele sabitlenmiştir [138]. Yaklaşık 1050 m²'li alanı kaplayan ve yüksekliği 30 m'ye kadar olan doğrusal ve ağısı bir çerçeve FRP yapı sistemi uygulanmıştır. Dikme elemanları, paslanmaz çelik cıvatalı bağlantılar ve kanal bölümlerinden oluşur. Tasarım

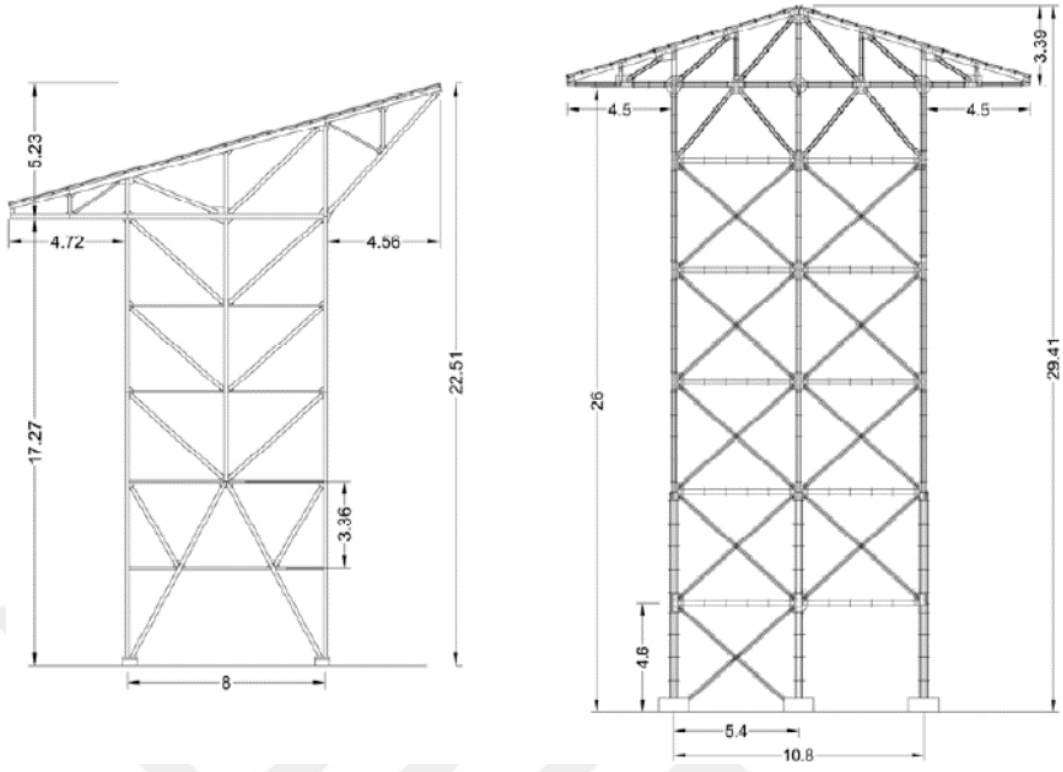
yapılırken; deprem, rüzgar ve kardan kaynaklanan ekstra yükler hesaba katılmış olup hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizlerle belirlenen iç kuvvetler ve momentlere bakılarak sınır değerler belirlenmiştir. [145].



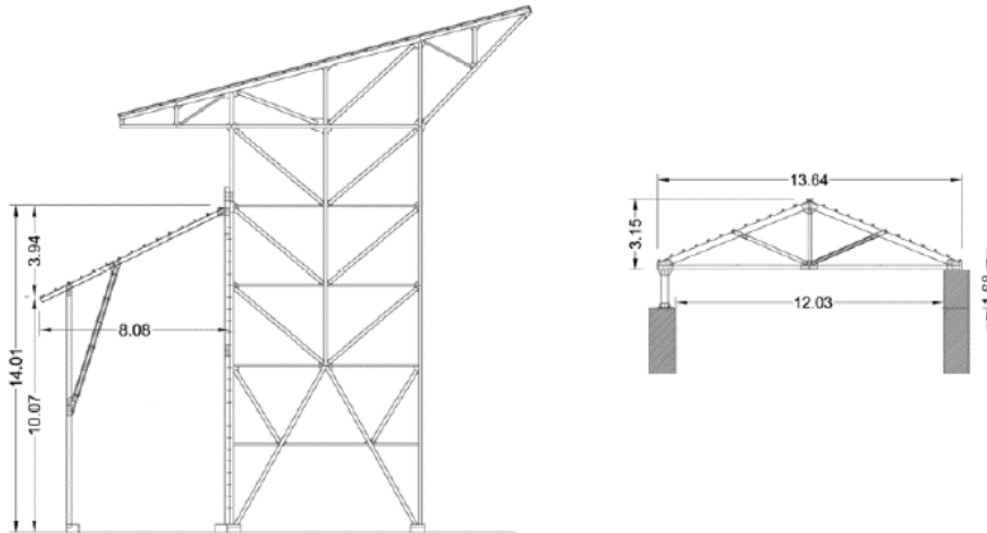
Şekil 6.72 Santa Maria Kilisesi'nde Kullanılan FRP Sistemi [145].

Betonarme blokların serbest duran temelleri ve çelikten yapılmış derzler ve köşebent plakalarından birleştirilmiş ve Şekil 6.72' de gösterilen dört yapıdan oluşmaktadır [145].

Şekil 6.72 ve 6.73'de Yapı 1 olarak gösterilen nef 607 m²' lik bir alanı kaplar ve maksimum 22,5 m yüksekliğe sahiptir; Şekil 6.72 ve 6.73'de Yapı 2 olarak gösterilen apsis için 266 m²' lik bir alanı kaplar ve maksimum yüksekliği 29,4 m'dir; Şekil 6.72 ve 6.74'de Yapı 3 ise 130 m² alanlık kısmı kapsar uzun kenara destek için yapılmıştır. Şekil 6.72 ve 6.74'de Yapı 4 olarak gösterilen bölüm 76 m² alana sahiptir ve giriş cephesini korumak için bulunmaktadır [145].

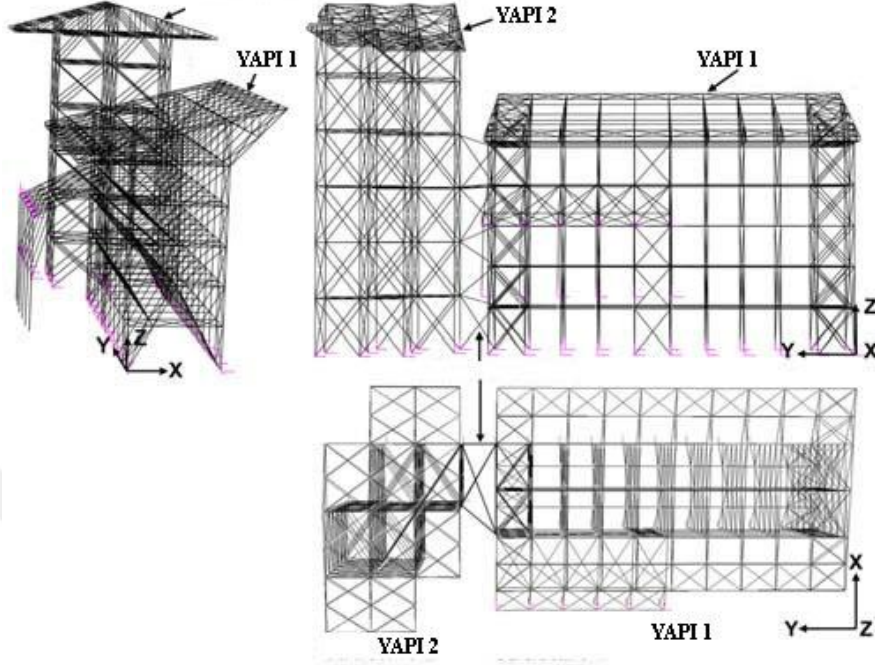


Şekil 6.73 Santa Maria Kilisesi'nde Yapı 1 ve 2 için kullanılan düzlem çerçeveler (boyut metre olarak) [145]



Şekil 6.74 Santa Maria Kilisesi'nde Yapı 3 ve 4 için kullanılan düzlem çerçeveler (boyut metre olarak) [145]

Yapı için dinamik tanımlama için en doğru ayarları ve prosedürü seçmek için FEM model analizi yapılmıştır. Şekil 6.75 rijit düğümler olarak kabul edilen 1725 kiriş elemanı ve 481 bağlantıdan oluşan modeli göstermektedir. [146].



Şekil 6.75 Santa Maria Paganica Kilisesi FEM model analizi [146].

Yapı 1 ve 2'nin montajı Nisan 2010 ile Şubat 2011 arasında dört ay sürmüştür. Giriş cephesi üzerindeki iki yapının inşaatı Ekim 2010'da tamamlanmıştır. 15000 civata bağlantılı 8,5 ton CTP'nin montajı yapılmıştır. Yapı 1 ve 2 kiliseye bağlı değildir. Yapı 3'te, eğimli çatı kirişini destekleyen dikey elemanları, yığma duvara sabitlenirken, kirişin diğer ucu Yapı 1 ile bağlantılıdır. Yapı 4 kafesi doğrudan kilisenin duvarlarına sabitleyen çelik bileşenlere sahiptir. [145].



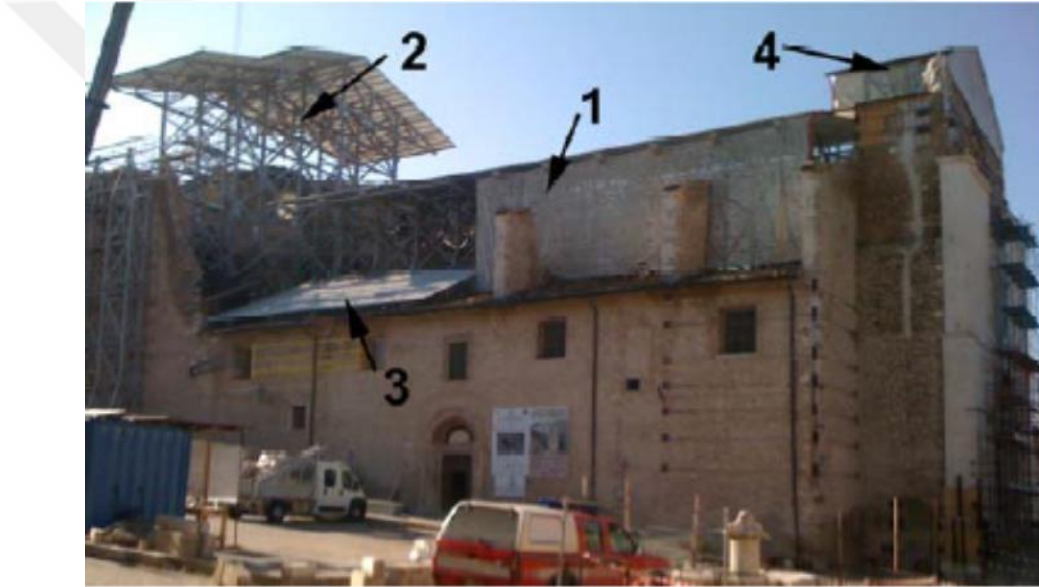
Şekil 6.76 Santa Maria Paganica Kilisesi Yapı 1 bölümü (Nef bölümünden) montaj Aşaması [147]



Şekil 6.77 Santa Maria Paganica Kilisesi Yapı 2 bölümü (Apsis bölümünden) Montaj Aşaması [145].

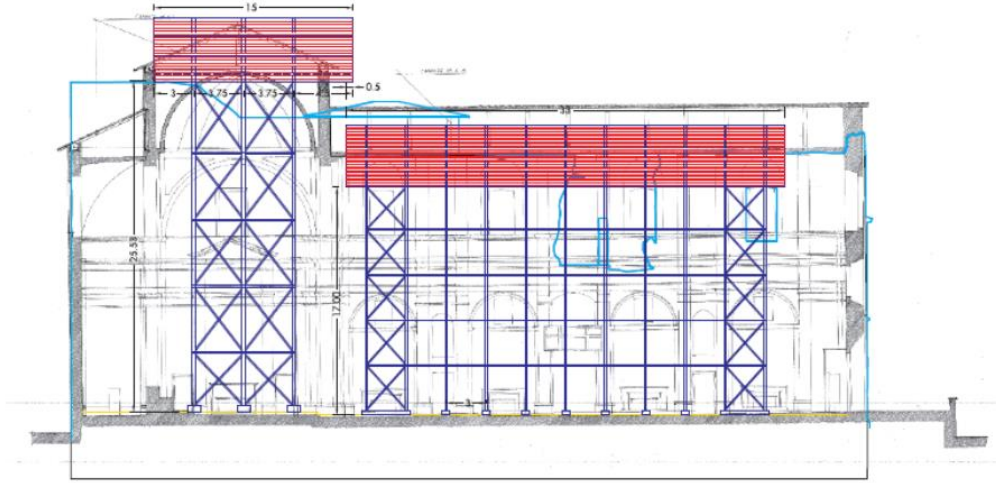


Şekil 6.78 Santa Maria Paganica Kilisesi Yapı 3 Bölümü Montaj Aşaması [145]



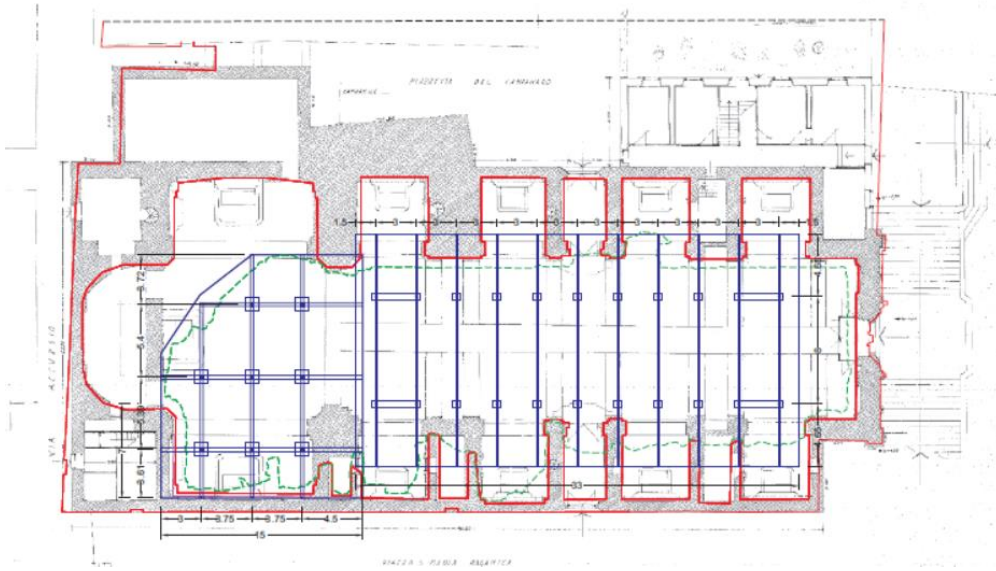
Şekil 6.79 Santa Maria Paganica Kilisesi 'nin FRP Sistemi Yapı Bölümlerine Göre Gösterimi [145]

Günümüzde hala kilisenin ve restorasyon çalışmaları henüz başlamamıştır. FRP sistemi acil müdahale yöntemi olsa da bazı kesimlerden eleştiri almıştır. Geçici önlem olmasına rağmen depremden iki yıl sonra yani 2011 yılında tamamlanması, düşük ağırlığı nedeniyle kilisenin içine inşa edilecek betonarme bir temel gerektirmesi, kullanılan sistemimin önceki çatıya göre yaklaşık iki metre aşması,içeride gezme alanını azaltmasından ve maliyetinden dolayı bir çok eleştiri almıştır [138].



Şekil 6.80 Santa Maria Paganica Kilisesi FRP Sistemi'nin Kesitte Görünümü

[147]



Şekil 6.81 Santa Maria Paganica Kilisesi FRP Sisteminin Planda Uygulama Şekli

[147]

6.7 Kasthamandap Tapınağı-Nepal

Dünyanın en eski ahşap yapılarından biri olan Kasthamandap Tapınağı, Nepal'in Hanuman Dhoka Durbar Meydanı'nın merkezinde bulunan üç katlı bir tapındır. Tapınak Nevari tarzında geleneksel üç katmanlı çatı tarzında inşa edilmiş en büyük yapıdır [148]. Kasthamandap, ahşap köşk anlamına gelmektedir. Yapılan araştırmalara göre Kasthamandap Tapınağı 7. yüzyılda inşa edildiği ortaya

çıkmiştir. Kathamandu Vadisi UNESCO Dünya mirasları listesinde yer almaktadır. 25 Nisan 2015 tarihinde 7,9 şiddetinde büyük Gorkha Depremi ile yıkılmıştır [149] (Şekil 6.82). 2015 yılından sonra yapılan arkeolojik çalışmalar sonucunda yapının yıkılmasının nedeni 40 sene önceki yapılan restorasyon çalışması olduğu ortaya çıkmıştır.

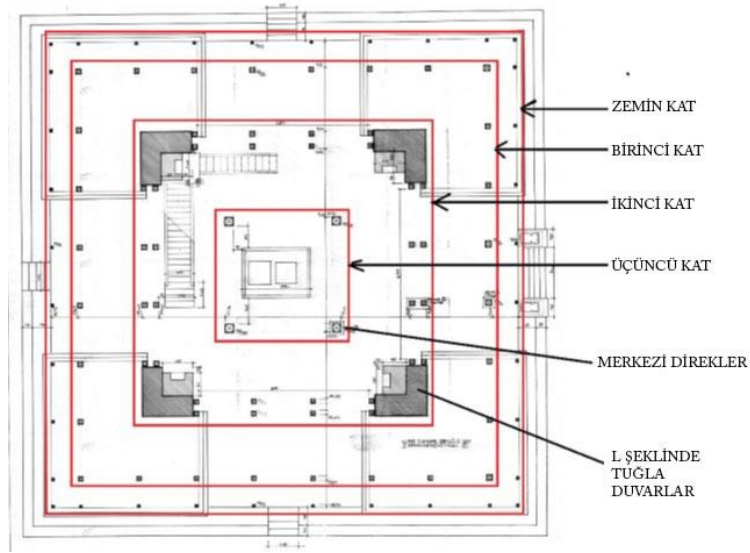


a)

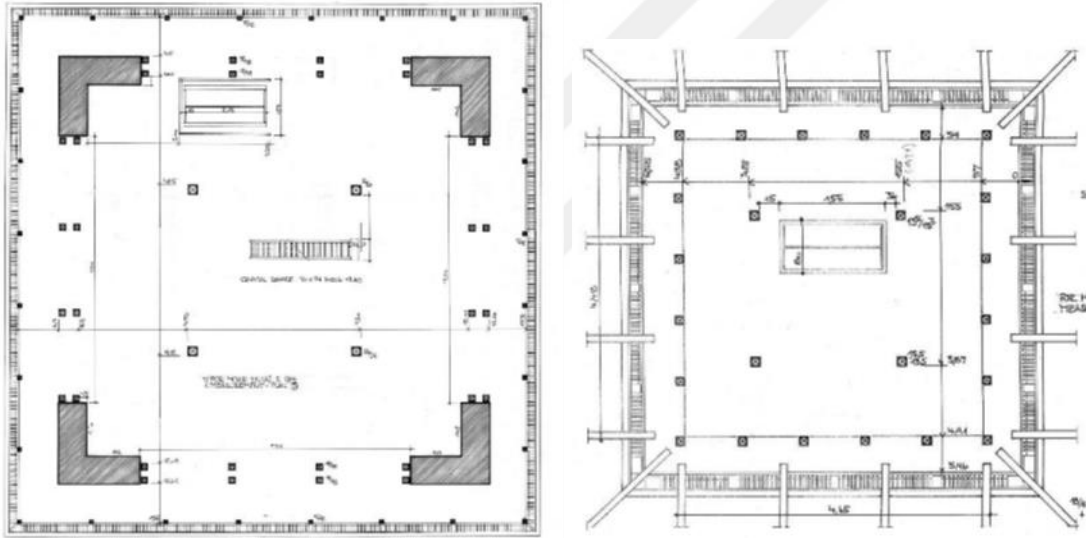
b)

Şekil 6.82 Sonrası Kathamandap 2015 Deprem Öncesi, b) Deprem Sonrası Kathamandap [150]

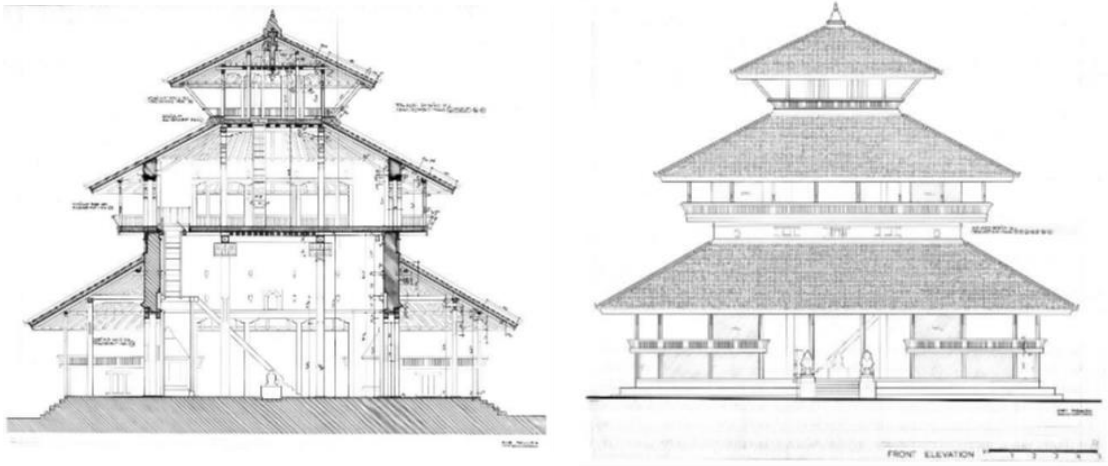
Yapı 18.73 m x 18.73 m ölçülerinde kare bir kaide tabanı üzerine inşa edilmiştir. Baza seviyesinin üzerindeki yapının toplam yüksekliği 16,3 m'dir. Her katta salonlar için geniş açık alana sahiptir. Yükseltilmiş bir tuğla platform üzerine inşa edilmiştir, bundan dolayı giriş de basamaklar bulunmaktadır. Tam ortada dört uzun dikey ahşap sütunlar üst katları desteklemektedir. Üst katlara doğru kat taban alanı ve ahşap sütunların çapı küçülmektedir. Zemin katın dört köşesinin her birinde masif L şeklinde tuğla duvarlar vardır. Ayrıca yapının dört köşesinde dört pavyon bulunmaktadır. Bu pavyonlar daha sonraki eklemelerin sonucu olabileceği düşünülmektedir [151]. Şekil 6.83 ve Şekil 6.84 yapının kat planları ve Şekil 6.85 kesit görünüşü verilmiştir.



Şekil 6.83 Kasthamandap Zemin Kat Planı [151].

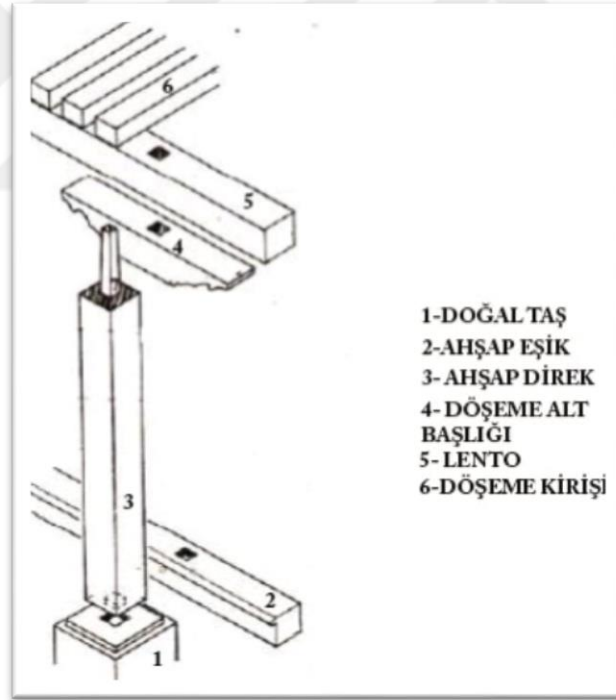


Şekil 6.84 Kasthamandap Birinci Kat ve İkinci Kat Planı [151].



Şekil 6.85 Kasthamandap kesit ve görünüş [151].

Doğal taş ya da ahşaptan oluşan eşik ahşap dikmeyi desteklemektedir. Yükler ilk olarak döşeme kirişinden, döşeme alt başlığına daha sonra ahşap dikmeye aktarılır [151]. (Şekil 6.86)



Şekil 6.86 Kasthamandap Ahşap Eleman Detayı [151].

Güney Asya tapınaklarında biraz daha farklı bir temel tasarımı yani daha farklı mandala sistemini vardır. Şekil 6.87' deki gibi mandala tek bir merkez etrafında odaklanan bölümler halinde düzenlenmiş şekiller oluşan tasarımıdır. Kasthamandap tapınağının temeli, iki metre derinliğinde bir temel duvarı, toprak

malzemeyle doldurulmuş mandalaya benzer bir ızgara deseninde 9 kare oluşmaktadır. Yapının temel mandalasını, çapraz duvarlar dört bağımsız tuğla duvarı birbirine bağlanan ve çevreleyen 2 metre derinliğinde ve 1 metre genişliğindeki temel duvarlarından oluşmaktadır. Bu çapraz tuğla duvarlardan meydana gelmektedir. Şekil 6.88’de de görüldüğü üzere yapılan kazılar sonucunda anıtın temellerinin merkezinde başka, daha küçük bir mandala tasarımının varlığı ortaya çıkmıştır [152].

1	2	3
4	<u>1</u>	5
7	8	9

Şekil 6.87 Genel Güney Asya Temel Tapınak Şeması (Mandala) [152].

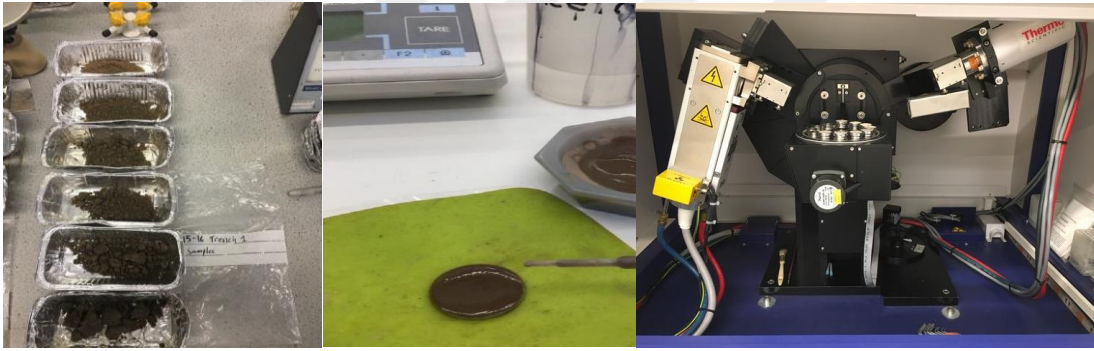


Şekil 6.88 2016 yılı kazılarında Kashtmandap Temelinde Mandala Şemasının Bulunması [152].

Yapının çevresinde 2015 yılından itibaren başlayan arkeolojik çalışma ve birçok uluslararası kuruluş tarafından yürütülen çalışmalarda, Kasthamandap'ın temellerinin depreme dayanıklı olduğunu belirledikten sonra, çöküşünün olası nedenlerini araştırılmıştır [152].

İlk aşamada temelde yapılan incelemelerde temel dolgusundan örnekler alınmıştır. Alınan numuneler parçacık boyut analizi, PSD analizi, X-ışını kırınımı (XRD yöntemi), mikromorfolojik analizi vb. yöntemler kullanılarak deneyler

yapılmıştır. Bu yöntemler ile zemin özellikleri tanımlanmış, zeminin temel içindeki herhangi bir organizasyonunu veya düzenlemesini kuran ve farklı dolgu malzemeleri arasındaki benzerlik derecesini değerlendirilmesini sağlanmış ve zeminden kaynaklı bir problemin varlığı ya da yokluğu irdelenmiştir [152] (Şekil 6.89). Yapılan bu testler sonucunda deprem sonrası temellerin hasar görmemesinden dolayı, bu eski inşaat yöntemden sorun olmadığı anlaşılmıştır [149]. Yapılan tüm testler sonucu zemin profilinden kaynaklı bir problemin de olmadığını göstermiştir. Zeminde düşük kil yüzdesi olduğu ve daha büyük oranda kaba silt ve kumlara sahip bir profilin olduğu tespit edilmiştir [152, 153]. Bu malzemeler, temel yapısının yeterli süneklik sağlaması ve suyun profilden daha hızlı tahliye edilmesini sağlaması nedeniyle depreme dayanıklı temel tasarımında tercih edilmektedir [153].



Şekil 6.89 Kasthamandap Yapılan Testler [153].

Daha sonra yapının hasar ve geçirdiği onarım ve güçlendirme geçmişine bakılmıştır. Yapı yüzyıllar boyunca çok sayıda onarım ve tadilat geçirmiştir. Bu tadilatlar genelde küçük onarımlar şeklinde olmuştur. Çatı kaplaması, ahşap elemanların onarımı, taşların onarımı vb. gibi fazla kapsamlı olmayan tadilatlar geçirmiştir. Kapsamlı restorasyon çalışmaları 1960 yılında yapılmıştır [154].

Yapının 1934 yılı Büyük Nepal Depreminde yıkılmaması fakat 2015 yılı Gorkhe depreminde yıkılmasının nedenleri araştırılmıştır. Yapılan kazılarda Kasthamandap temellerindeki hasarın 2015 depremleri ve önceki şoklardan zarar görmediğini ortaya çıkmıştır. Ayrıca, Kasthamandap'ın yirminci yüzyıldaki uygun olmayan temel güçlendirme çalışmasından kaynaklı olduğu ve üst yapının bu dayanıklı temellere bağlanamamasından yaşanan aksamalardan dolayı yapının çöküşü neden olduğu anlaşılmıştır. Bu restorasyon çalışması 1960 tarihinde,

Kraliçe Elizabeth'in ziyareti için acelele ile yapılan bir çalışmadır. Özellikle yapılan kazılarda ortaya çıkan üst yapının ana ahşaplarını destekleyecek dört büyük kilit taşlarından üçünün mevcut olduğunu birinin yanlış yerleştirildiği ortaya çıkmıştır [149, 152, 153, 154].

Kasthamandap'ın dört ana ahşap sütunu merkezi dört büyük kilit taşına bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Kazılar, bu kilit taşlarının her biri 2 m derinliğinde çamur harçla örülmüş tuğla iskelelere oturduğunu ortaya çıkarmıştır. Bunlar, yine 2 m derinliğinde ve tuğla ve çamur harçtan yapılmış, 12 × 12 m boyutlarında büyük bir temel duvarı ile çevrilmiş, ahşap üst yapıya bağlantı için yüzeyine daha küçük çift kilit taşları yerleştirildiği tespit edilmiştir. Kazılarda dört merkezi kilit taşından sadece üçünün bağlandığı tespit edilmiştir. Kuzeydoğu kilit taşında yaşanan sorundan dolayı buradaki ahşap sütun çürümüş zivana kısmında problem ortaya çıkmıştır. Bu durum Kasthamandap'ın çöküşünde en önemli faktör olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bu süreçte ahşap bağlantıların zamanında bakımının yapılmaması ve ahşap bağlantıların çoğunun kötü durumda olması, ahşap kirişin yer altında kalan kısımları çürümesi, yapının geleneksel malzeme yapısı ve plan şeması dikkate alınmamadan tadilat çalışmalarının yapılması ve onarımında çimento esaslı malzemeler kullanılması ve bu durumda yapı elemanlarının bozulmasını hızlandırmıştır. Tüm bu nedenlerden dolayı Kasthamandap Tapınağı 2015 depreminde meydana geldiğinde kendi ağırlığına ve depremden kaynaklanan ekstra yükleri kaldıramamıştır [149].

Depremlerle ilişkilendirilebilecek tek hasar, yapının ana temelinin batı uzunluğundaki bir çift kilit taşının altında yer alan kısa dikey çatlaklarıdır [149]. (Şekil 6.90)



Şekil 6.90 Kasthamandap'ın Temellerinde Tespit Edilen Dikey Çatlaklar [149].

Özgün Kasthamandap'ın mimari kayıtlarının az olması tekrardan restitüsyonunun yapılmasında zorluklar yaşanmıştır. Yapı yıkıldığında, birçok unsuru kaybolmuştur. Komite kurulmuş ve eksik parçalar tamamlanmaya çalışılmıştır. Yapıyı tekrar yapmak için özellikle Alman mimar Wolfgang Korn'un Kasthamandap'ın mimari çizimleri ve detaylı ölçümlerini kullanılmıştır. Yapının temelleri, özgün temel planına uygun şekilde yapılmıştır. Masif dış temel duvarı arasına dört çapraz duvarın yerleştirilmiştir. 2.01 metre derinlikte yapılmıştır. Ahşap dikmelerin ömrünü uzatmak için ahşap dikmelerin dibinde bakır bir pabuç bulundurmak gibi geleneksel depreme dayanıklı yapı teknikleri kullanılmıştır. Ağırlığı tabana eşit dağıtmak için taş kaideler kullanılmıştır [149].

Restitüsyon aşamasında zor olan sadece projeyi yapmak değil, aynı zamanda yeniden inşa etmek için gerekli becerilere sahip olan çok az kişi (işçi,kalfa,usta vb.) bulmaktı. Yapının yapımında özellikle yerel halkın desteği, teknik bilgi ve becerisinden de yararlanılmıştır. Yapıdaki çalışmalar günümüzde hala devam etmektedir. (Şekil 6.91)



Şekil 6.91 Kasthamandap Restitüsyon Çalışması [155]

6.8 San Marco Çan Kulesi- Venedik

San Marco Çan Kulesi İtalya, Venedik'te bulunmakta olup San Marco meydanında yer almaktadır ve San Marco Bazilikası'nın çan kulesidir. Kule 98,6 metre yüksekliğindedir ve Venedik'teki en yüksek yapıdır. San Marco meydanı ve bazilikası ilk yapımı 10.yy yapımına başlanmış, çan kulesinin eklenmesi 12.yy bulmaktadır. Yıllar içinde bir çok hasar alan ve restorasyon geçiren çan kulesi

1902 yılında oluşan çatlaklar sonucu çökmüştür. 1902-1912 yılları arası tekrar yapılmıştır [156].



Şekil 6.92 San Marco Meydanı ve Çan kulesi [157]

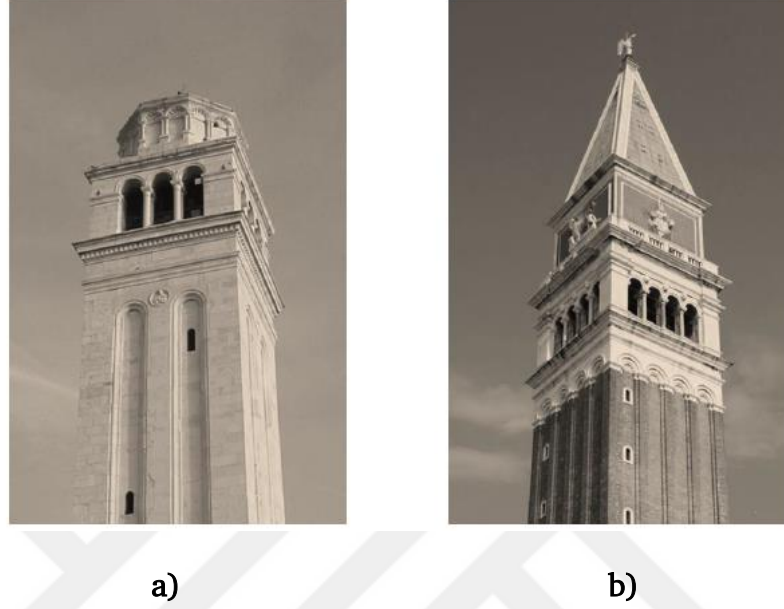
Basit bir forma sahiptir. 12m x12 m boyutlarında kareşeklindedir. Yapı malzemesi tuğladır ve 5 adet çana sahiptir. Kulenin tepesi piramit formundadır [156].



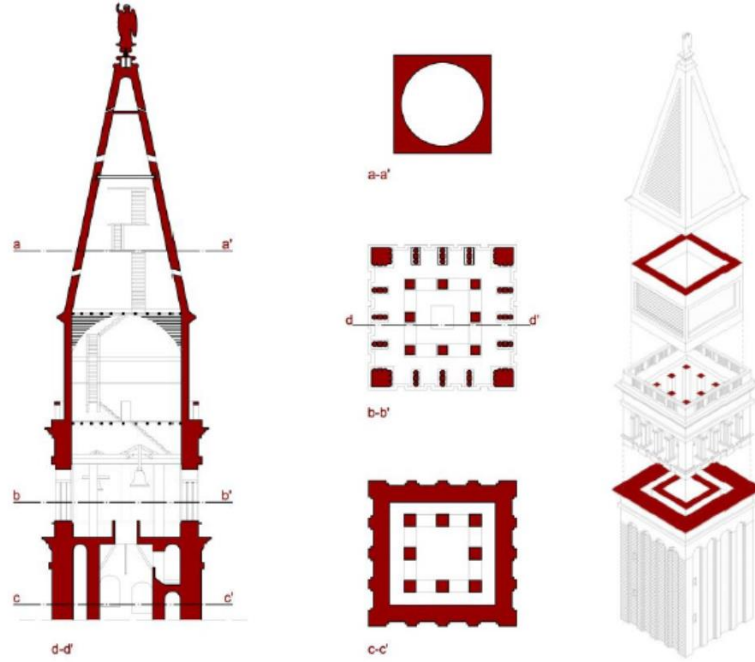
Şekil 6.93 San Marco Çan Kulesi [157]

Kulenin yüksekliği yavaş yavaş yükseltildiği için zaman içinde düzensiz bir şekilde devam etmiştir [156] . Tarih boyunca, çan kulesi devamlı doğal afetlerden özellikle fırtına ve yıldırımlardan zarar görmüştür. 1388, 1489, 1548, 1562, 1565, 1567, 1582 yıllarında yıldırımlar düşmüş ve her seferinde yapı tekrar onarılmıştır. İlk yapıldığı zaman kule ahşap çerçeveden yapılmıştır fakat özellikle yıldırım düşmelerinden her seferinde kulenin yanması ile sonuçlanmıştır. Bundan dolayı 1489 yılındaki yetkililer, yangınları önlemek için çan kulesini ve kulesini tamamen

tuğla ve taştan yeniden inşa etmeye karar verildi. 1512-1514 yılları arasında yapı tuğla ve taştan yapıldı. Çatı katı eklenmiştir. Yapılan çalışmalarda günümüzdeki görünümünü almıştır[156, 158, 37]. Şekil 6.94’de yapının 1489 yılından önceki ve sonrası verilmiştir.



Şekil 6.94 a) San Marco Çan Kulesi 1489 Yılından Önceki, b) 1514’te ki Görünümü [156].



Şekil 6.95 San Marco Çan kulesi Kesit ve Planlar [156]

Fakat bunca yapılan çalışmalar çan kulesinin fırtına ve yıldırımlardan zarar görmesine engel olamadı. 1776'da, Padua Üniversitesi'nde astronomi profesörü olan fizikçi Giuseppe Toaldo , Venedik'te ilk olan bir paratoneri yapıya kurmuştur [159].

1885 yılında San Marco Meydanı'nda yapılan kazılar, temelin durumu ve yapının sağlamlığı konusunda endişeleri artırmıştır. 1892 ve 1898'de mühendisler ve mimarlar tarafından yapılan inceleme raporları, kulenin tehlikede olmadığı konusunda rapor verilmiştir. Bu raporda sadece restorasyon çalışması öncelikle yıpranmış tuğlaların değiştirilmesini içermektedir [156, 158, 37].

Temmuz 1902'de, Loggettanın (çan kulasi altındaki yapı) çatısını onarmak için çalışmalara başlanmıştır. Logetta 15yy'da inşa edilen, Saint Mark meydanının daki çan kulesine bağlı kapalı bir dış galeridir. Logetta çatısının kuleye dayandığı yerdeki kiriş değiştirilerek yerine yenisinin konulması sırasında kule şaftının titrediği gözlemlenmiştir. Kulenin kaymasını gözlemlemek için çatlaklara cam yerleştirilmiştir. Bunların birçoğu ertesi gün kırık bulunmuştur. Daha sonra kulenin kuzey tarafında, tuğla şaftında büyük bir çatlak oluşmuştur. Çatlaklara alçı ile müdahalede bulunulmaya çalışılmıştır. Teknik bir komisyon kurulmasına rağmen yapıya yönelik herhangi bir tehdit bulunmadığı rapor verildi fakat 14 Temmuz 1902 yılında San Marco çan kulesi çökmüştür [158, 37, 159, 160] .(Şekil 6.96)

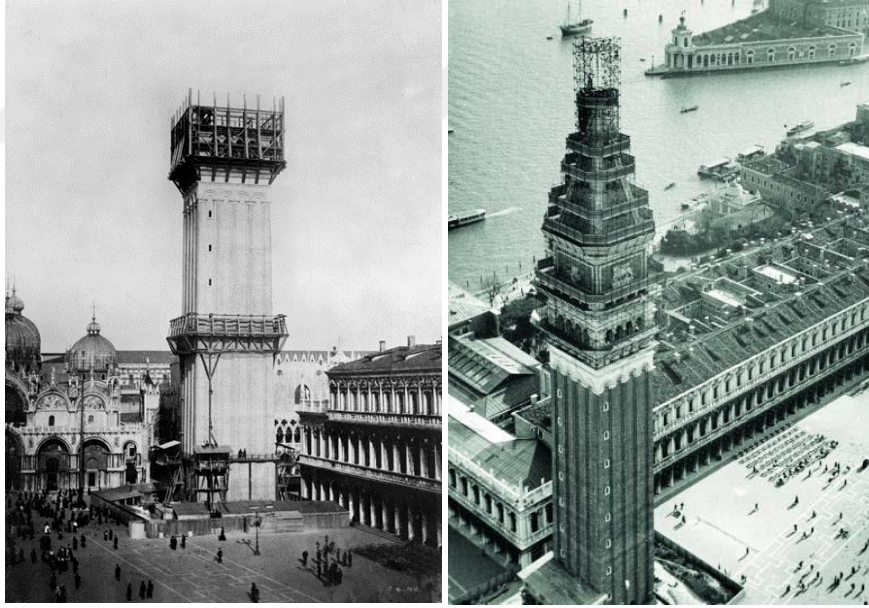


Şekil 6.96 San Marco Çan Kulesinin Çöküşünden Sonra Meydan [37]

Kulenin çöküş nedenleri sıralandığında; ilk neden olarak kule temelinin yetersiz olması olduğudur. Kulenin temeli, karşılıklı iki kat meşe kirişten oluşan bir platform üzerine inşa edilmiştir [160]. Kulenin temeli, yapının ağırlığını

desteklemek için yeterli değildi. Yapılan çalışmalarda San Marco Meydanı'nın sık sık sular altında kalması yapıyı olumsuz etkilenmiş olabileceği ve bunun temeli doğrudan etkilediği belirtilmiştir. Kulenin çökmesinin diğer nedeni, yıllar boyu yapının yıldırım, fırtına, yangın, deprem vb. gibi afetlerden kaynaklı uzun hasar geçişinin olmasıdır. Tüm bu felaketler, kule temelinin yapısal bütünlüğünü, iç yapısı ve dış duvarlarına büyük zarar vermiştir. Yapının yüzyıllar boyunca sürekli restorasyon ve yenileme çalışmaları geçirmiş olması yapıyı zayıflatmıştır. Kuleyi onarmak için yapılan her girişimde farklı malzemeler ve yapım yöntemleri kullanılmıştır [158, 37, 159, 160] .

Kulenin birebir aynısının yeniden yapılması için çalışmalara 1902 yılında başlanmıştır. Ama restitüsyonuna karşı çıkan bir grup da vardır. Çökmenin ardından, Çan Kulesi'ni yeniden inşa etmek için çok disiplinli bir danışma komitesi kurulmuştur. Tekrar yapımı 1912 yılında tamamlanmıştır [160, 161]. Şekil 6.97' de yapının restitüsyon çalışmasından aşamalar verilmiştir.



a)

b)

Şekil 6.97 a) San Marco Çan Kulesi'nin 1902-1911 Yılları Arası Yeniden İnşa Edilmesi, b) 1911 yılından San Marco Çan Kulesi Çalışması [37]

Yeni kule sadece yapısal destek açısından farklılık gösterilmesine karar verilerek tasarlanmıştır. Yeni tasarım, temeli çimento, demirden ve duvara demir kelepçelerle tutturulması ile oluşturulmuştur. Çan kulesinin temeli, yapıyı daha

geniş bir alanda (yaklaşık 22 m ile 41 m arasında) dağıtmaya hizmet edecek bir şekilde temellerin genişletilmiştir. Bu yeni temelle 9 kg/cm'den 4 kg/cm'ye kadar yüklerin azaltılması hedeflenmiştir. Güvenlik faktörü iyileştirilmiştir. Önceden var olan temellerin çevresine, mevcut kazıklara ek olarak, 3086 kazık çakılmıştır. Yeni çakılan kazıklar, zemini 4 ila 8 m derinliğe kadar konsolide etmiştir [37, 161]. (Şekil 6.98)



Şekil 6.98 a) 1903 Yılında Yapılan Çalışmalarda Ortaya Çıkan San Marco Çan Kulesi' nin Eski Temelleri, b) 1903 yılında San Marco Temel Çalışması [37]

Tüm bu çalışmalara karşın, temelle alakalı sorunlar devam etmiştir. Yeni ve eski temelleri tamamen entegre hale getirmek için yapılan ara bağlantılara rağmen bu temellerin bütün olarak çalıştırmak ve yüklerin zeminde üniform bir dağılımı için gerekli monolitikliği elde etmek mümkün olmamıştır. Şekil 6.99 'da da görüldüğü üzere zamanla, bu çan kulesinin tabanındaki trakit basamakları üzerindeki çökmeler nedeniyle çatlaklar olmuştur [161, 162].

1950 yılında, temelin kaide seviyesinde birkaç kesme çatlağı gözlemlenmiş ve bu da kulenin yapısal bütünlüğü ile ilgili ciddi endişeleri yeniden gündeme getirmiştir. Ekstansometre ile yapılan ölçümler sonucu çatlağın doğrusal hareketinin zamanla arttığını göstermiştir. Komisyon kesme çatlaklarının yayılmasının arkasındaki ana nedenin, taş temelin üzerindeki taş blok konstrüksiyonun yetersiz kalınlığı olduğunu belirtmiştir. Taş bloklara; dış betonarme zincir ve çelik bağlantılar kurmayı önermişlerdir. Çatlaklar küçük görüldüğünden çalışma durdurulmuştur. 1975 yılında gözlemler yeniden başladığında çatlakların zamanla stabilize olmadığı, çatlaklar genişliklerinde

doğrusal bir artış olduğu tespit edilmiştir. Çatlak genişliği, 1975'te yaklaşık 2 mm'ye ulaşmıştır, 1955'te tahmin edilen boyutun iki katıdır [161, 162].



Şekil 6.99 San Marco Çan Kulesindeki Basamaklarda Oluşan Çatlaklar [161]

Tüm bilgiler ışığında yığma temel bloğunun farklı oturmasının devam eden bir gelişme olduğunu doğrulandı. Farklı oturmanın nedeni, eski taş blok ile 1903'te inşa edilen yeni taş blok arasındaki bağlantının iyi yapılamamasıdır. San Marco Çan Kulesi yine çökme tehlikesinde olduğu tespit edilmiştir. 1993'ten 2006 yılına kadar San Marco Çan Kulesi çevresinden CPT testleri alındı [161, 162]. Şekil 6.100' de yapının çevresinde alınan testler ve çalışmalar gösterilmiştir.



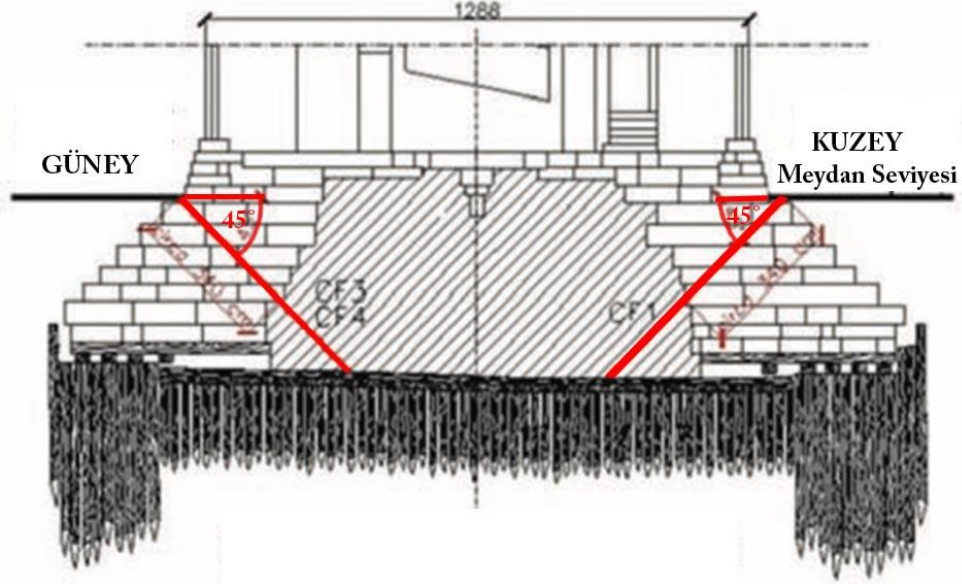
a)

b)

Şekil 6.100 a) San Marco Çan Kulesi Çevresinde CPT Testleri , b) Çevresinde Yapılan Çalışmalar [161]

Eski ve yeni taş blokların birleşim yeni arasında Şekil 6.101' deki gibi 45°'lik açıyla 50 mm çapında altı adet numune delinmiştir. Analiz, hem yüzeyden alınan

numuneler hem de temel bloklarının çekirdeği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yeni temel yığma bloğun, eski temel yığma blok ile bağlantısını kaybettiği anlaşıldı [161].

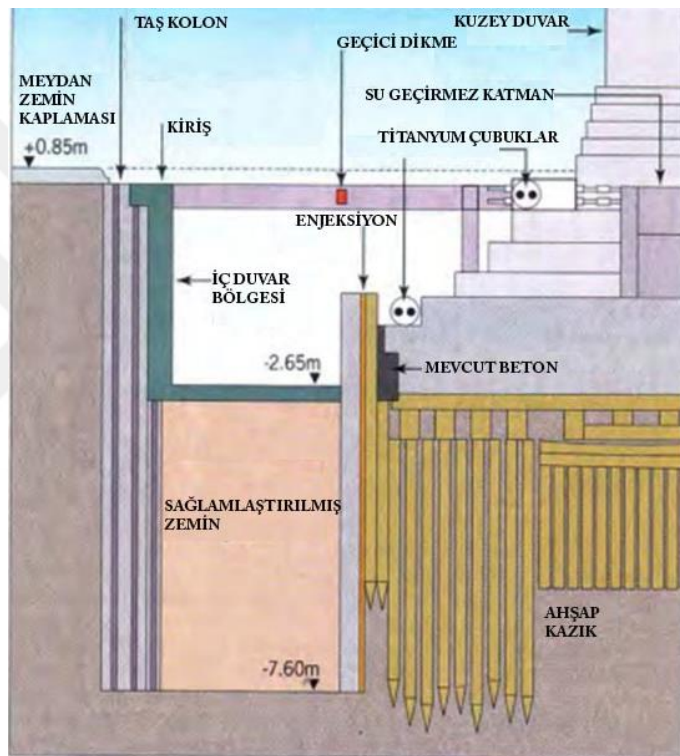


Şekil 6.101 San Marco Çan Kulesi'nin Temelinin Değerlendirilmesi İçin Alınan Numunelerin Kesitte Gösterimi [161].

2007'de, Çan kulesinin temelini yeniden inşası başlamıştır. Yeni iyileştirme çalışmaları, genişletilmiş temeli çiftler halinde iki kat gerilmiş 6 cm çapında titanyum çubuklarla çevreleyerek güçlendirmeyi içermektedir. Temel taş bloğunun çevresi boyunca iki seviyede ön gerilmeli titanyum çubukları döşenmiştir. Döşemenin yaklaşık 40 cm altında ve ikincisi yaklaşık 2,3 m aşağıda tasarlanmıştır. Çubuklar 2 ila 3 m uzunluklarda birbirine cıvatalanmıştır. Köşelerinde titanyum plakalarla sabitlenerek ve her biri 250 kilonewton'a kadar gerdirilmiştir. Ardından, temelin yapısal tepkilerine bağlı olarak, gerilimler birkaç yıl içinde kademeli olarak artırılmıştır. Titanyum çubuklar, temelin genel eğilme sertliğini arttırmak ve çatlakların daha fazla yayılmasını durdurmak için yerleştirilmiştir. Bu nedenle, eğer çatlakların boyutunda bir artış olursa, çatlakların büyümesini önlemek için gereken minimum kuvvetlerin titanyum çubuklar tarafından karşılanacaktır [161, 162]. (Şekil 6.102)



Şekil 6.102 San Marco Çan Kulesi'nin Temeline Titanyum Çubukların Montajı [161].



Şekil 6.103 San Marco Çan Kulesi'nde Yapılan Temel Güçlendirme Çalışması Kesitte Gösterimi [161].

San Marco Meydanı'nın yeraltı suyu seviyesi yüksek olan bir alandır. Temelin kazısı yapılırken, Çan Kulesi'nin temel bölgesinin etrafına su geçirmez duvarı yapılmış olup yüzer taş kolon inşa edilmiştir [162] Şekil 6.103'de yapıda yapılan temel güçlendirme çalışmasının kesiti verilerek özetlenmiştir. 2013 yılında yapılan güçlendirme çalışması bitmiştir.

6.9 Saint Peter Beauvais Katedrali -Fransa

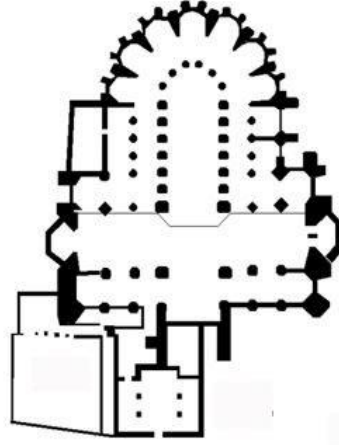
Beauvais Saint Peter Katedrali, Fransa'nın Beauvais şehrinde bulunmaktadır ve gotik tarzda tasarlanan 13.yy katedralidir. Dünyanın en yüksek (48.50 m) Gotik korosuna sahiptir. 1569'dan 1573'e kadar Beauvais Katedrali, 153 metrelik kulesiyle dünyanın en yüksek yapısı olmuştur. Sadece koro ve transept inşa edilmiş olup nef kısmı yapılmamıştır. Kesilmiş bir plana sahiptir. (Şekil 6.106) (Şekil 6.107). İnşasına 1225 yılında başlanan katedral, krallığın en büyük kilisesi olması hedeflenerek yapılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte, yüzyıllar boyunca inşasında birçok sorun yaşanmış, yapıda hasarlar ve çökmeler olmuştur. Beauvais katedral üç kez yıkılmıştır. Katedralde önce 1284 yılında koro kısmı, 1573'te geçiş kulesi çökmüştür ve 1940 yılında II. Dünya Savaşı'ndan oldukça hasar almıştır [163, 164, 165, 166]. Günümüzde hala onarım çalışmaları devam etmektedir.



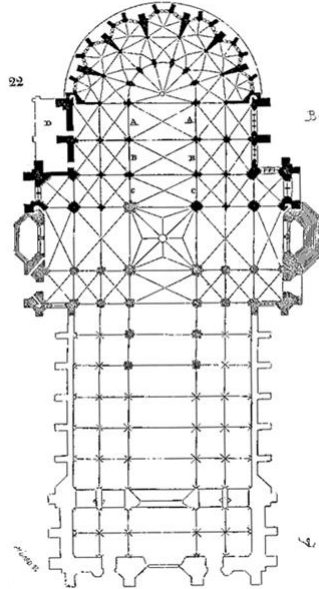
Şekil 6.104 Beauvais Katedrali ve Çevresi [163].



Şekil 6.105 Beauvais Katedrali Görünüş [163].



Şekil 6.106 Beauvais Katedrali Mevcut Planı [167].



Şekil 6.107 Beauvais Katedrali İlk Tasarım Planı [163]

13. yüzyılın en yüksek katedralini inşa etme yarışında, Saint-Pierre de Beauvais Katedralinin tasarımını ve o günün teknoloji sınırlarını zorladı. On metreden daha derin temellerde yapı yapılmaya başlandı. Kullanılan taş, tebeşir taşıdır. Tebeşir yumuşak bir kireç taşıdır, gözenekli, oldukça hafiftir, çok ince bir dokuya sahiptir, işlenmesi, kesilmesi ve yontulması çok kolaydır, ancak aynı zamanda kırılgan bir taştır ve genellikle erozyona karşı çok dayanıklı değildir. Katedral çok yüksek olduğundan rüzgar yapı statüğünü zorlayan bir çok problem oluşturmuştur. Rüzgarın yapı üzerinde yaptığı etki yapı yüksekliği ile doğru orantılıdır. Bu duruma rağmen katedrale maksimum ışık alması için payandalar daha ince

yapılmıştır. 1284'te, koro tonozunun bir kısmı ve birkaç uçan payandayla birlikte çökmüştür. Bu çöküşünün nedeni yüksek rüzgarlardan kaynaklanan rezonanstır. Fırtına ile birlikte tonozların bir kısmı, koridorları ayıran ikinci rıhtımdaki bir zayıflık nedeniyle uçan payandalarının kırılmasına, koro ve transept kısmının çökmesine neden olmuştur [163, 164, 165, 166].

Duvarları kalınlaştırarak ve açıklıkların yapısını değiştirerek yapı sağlamlaştırılmak istenmiştir. Koro kısmı değiştirilmiştir. Açıklıklar daraltılıp ve ara sütunlar eklenmiştir. Transept 1548'de tamamlanmıştır [163, 164, 165, 166].

Daha yüksek yapı yapma isteği nedeniyle 1563 yıllarında geçiş kulesi inşa edilmeye başlanmış olup 1573 yılında bitirilmiştir. Bu kuleyle birlikte Saint-Pierre de Beauvais Katedrali 153 m ile en yüksek binası ünvanı bu dönemler içinde almıştır. Fakat yapı tamamlandıktan sadece birkaç gün sonra geçiş kule kısmı çökmüştür. Bu çöküşün sebepleri ise kulenin transept geçişinde yer alan sadece dört sütun tarafından desteklenmesi ve zaten kendi içinde de kırılğan bir yapıya sahip olan yapı, kulenin de eklenmesi ile kuvvetlere karşı dayanımı başlangıçtan daha da azalmıştır [163, 167].

Kuledeki yükün azalması için 1572 yılında demir haç kaldırılmış fakat bu önlem yetmemiştir. Çünkü öncelikle nefin yapılmayışı, bu sütunların desteği için gerekli olan payandanın batı tarafında olmayışı yapıyı zorlayan en büyük etkindir. Yaşanan savaşlar, Fransız devrimi vb. olaylardan dolayı uzun süre yapımı sürmüştür. Günümüzde dahil daha bitmemiş bir yapıdır. Koro ve transpet kısmı dahil katedralin sadece yarısı inşa edilmiştir [163, 167, 168, 169].

Fransız Devrimi, 1. Dünya Savaşı, 2. Dünya Savaşı gibi olaylardan dolayı yapı oldukça hasar almıştır. Özellikle 6 Haziran 1940' ta katedral bombardıman sonucu ağır hasar almıştır [163]. (Şekil 6.108)



Şekil 6.108 2. Dünya Savaşı'ndan Sonra Zarar Gören Beauvais Katedrali [163].

Katedrale, bu üç çöküş sürecinde ek güçlendirme çalışmaları da yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda ne zaman konulduğu tam olarak bilinmese de 14.yy sonra konulduğu tahmin edilen payandalar arası ek destek elemanları konulmuştur. Payandalar binanın yüksekliği ve kırılganlığı nedeniyle birbirine çok yakındır bundan dolayı bütünü sabitlemek için demir gergi ile bağlanmıştır [167, 169]. Şekil 6.109' da yapıdaki demir gergiler görünmektedir.



Şeki 6.109 Beauvais Katedrali Uçan Payandalar Arası Demir Gergiler [167]

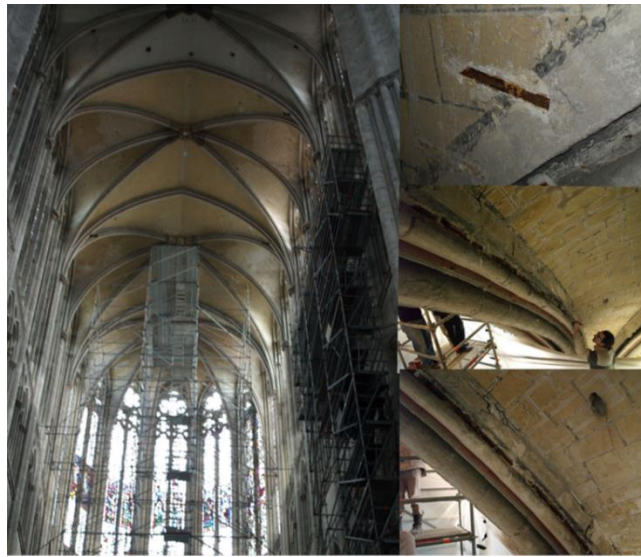
Ayrıca, katedralin içinde, triforyum demir gergilerle güçlendirilmiştir. Ayrıca, 19. yüzyıldan kalma bazı bilinen takviyelere ek olarak, Jean-Lucien Guenoun tarafından koronun orta tonozunda yakın zamanda yürütülen restorasyon

alışması, kemerleri birbirine bağlayan çapraz nervürlerde kenetlerin varlığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca kilit taşında bir demir halka ve tonozun üst kısmında birkaç yatay demir bağlantı çubukları bulunmuştur [167]. (Şekil 6.110).



Şekil 6.110 Beauvais Katedrali Demir Halka ve Bağlantı Elmanları İle Güçlendirilmesi [167]

Yapının ek güçlendirmesi için demir malzemesi yapının farklı kısımlarında bulunmaktadır. Katedralin çatısında, demir zincir sistemi kullanılmıştır. atı duvar birleşim yerlerinde de demir kenet uygulaması yapılmıştır (Şekil 6.111).



Şekil 6.111 Beauvais Katedrali'nde Kullanılan Demir Kenetler [167]

Yapıdaki demir güçlendirme elemanlarında yapılan radyokarbaon analizlerinde yaklaşık bu müdahalelerin 14.yy ait olduğu ortaya çıkmıştır [167].

1960'lı yıllarda demir gergiler çirkin bir görüntü oluşturulduğu düşünüldüğünden ve gereksiz görüldüğünden kaldırılmıştır. Rüzgar nedeniyle salınımlar arttığından, koro ile transept arasında kısmi bir ayrılma olmuştur [163, 170]. Salınımın artmasından kaynaklı çatıdaki ahşap elemanlar ve sütunların 30 cm kayma oluşmuştur. Bu bağlamda yapıda çatlaklar ortaya çıkmaya başlamış ve bu çatlaklar genişleyip 1990'ların ortasında binanın kapanması neden olmuştur. Yıkılma riski nedeniyle, yetkililer 1993 yılında acilen devasa ahşap kafes kirişler kurmuşlardır. Bu sonuçtan sonra gergiler yeniden takılmıştır fakat bu sefer çelikten yapılarak konulmuştur. Çelik gergiler, özgün demir gergilerden daha fazla esnek olduğundan, salınım arttığından yapı daha düzensiz hale gelmiştir. Çünkü çelik demire göre daha fazla sünek bir malzemedir. Bu durum da çatlakların büyümesine neden olmuştur [171, 172, 173, 174] .



Şekil 6.112 Beauvais Katedrali'nde Sütunlarda Alınan Önlemler [174]

Kuzey transeptin çökmesini önlemek için geçici önlem olarak 1990'larda farklı yüksekliklerde büyük ahşap kafes kiriş ve makas sistemi uygulaması yapılmıştır. Şekil 6.112' de da görüldüğü üzere transeptin ana katı, yerden 45 derecelik bir açıyla yükselen çok büyük bir destek sistemi kurulmuştur. Şekil 6.113'daki gibi transeptin kolları için kırk metreden daha yüksek bir yüksekliğe yerleştirilmiş sekiz

dev kirişle sağlamlaştırmıştır. Transept, bir nefin desteğinden yoksun olduğundan transeptin yapısal zayıflığından dolayı sütunları tutmak için büyük ahşap destekler konularak önlem alınmıştır. Bu geçici önlemler, daha kalıcı çözümler belirlenene kadar uygulanacaktır. Yapıyı korumak için neler yapılabileceğini daha emin bir şekilde belirlemek için çeşitli çalışmalar devam etmektedir [174].

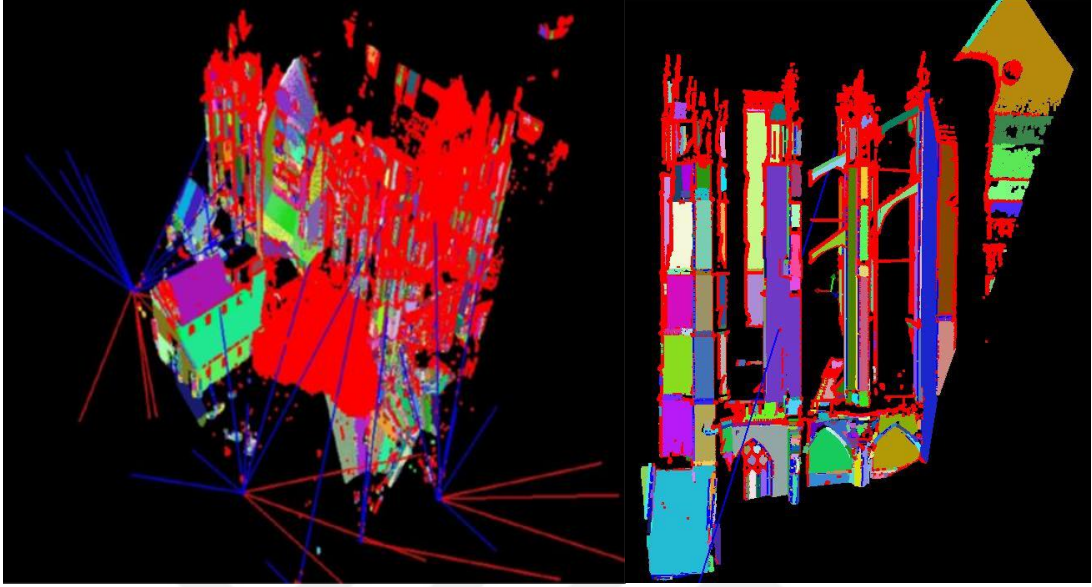


Şekil 6.113 Beauvais Katedrali'nde Kullanılan Geçici Ahşap Kafes Kiriş Sistemi [174].

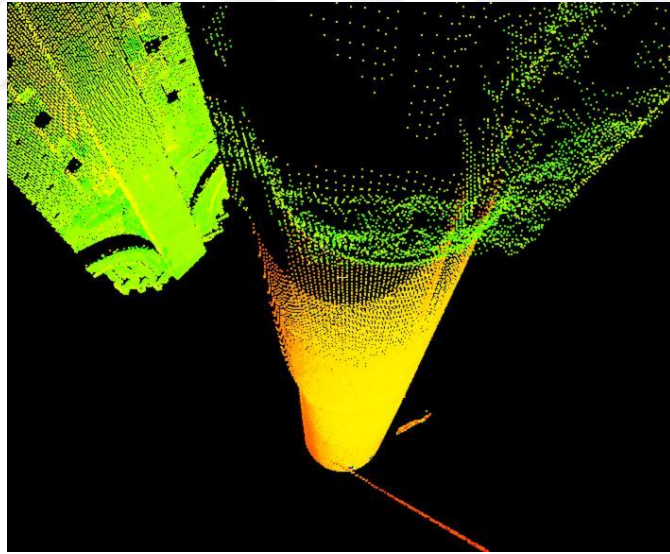
2000 yılından bu yana, bu sorunların üstesinden gelmek için katedralin etrafına iskele kurulmaktadır. İskele zaten kırılğan bir yapıya sahip katedrale dayanmadan kurulmuştur [174]. 1990 yıllarda ahşap ve çelik güçlendirme çalışmalarından sonra 2000 yıllarda temel güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Zemin açısından sert kayalık bir zeminde yapı oturduğu için zemin oturması bakımından sorunlu bir yapı değildir. 2006 yılların başından itibaren yapıdan kopan taşların onarımı ve cephe temizleme çalışmaları yapılmıştır. 2010 yılında çatın restorasyonunu içeren bir dizi çalışma daha başladı. Binanın çatısını oluşturan 120 ton ağır plaka- kurşun tabakanın restore edilmektedir [173].

2001 yılından itibaren yapıya sensörler eklenerek yapının hareketi incelemeye alınmıştır. Lazer tarayıcılar ile yapının hareketi incelenmeye başlanmıştır. Bu şekilde yapısal sorunlar ve hareketler kayıt altına alınmaktadır. 3-D model sistemi kullanılarak doğru onarım çalışması yapılması amaçlanmaktadır. Bu sistem

sayesinde sütunlardaki kayma tespit edilmiş olup doğru dizilim yapılmıştır [174] (Şekil 6.114) (Şekil 6.115). Günümüzde restorasyon çalışmaları hala devam etmektedir.



Şekil 6.114 3-D Model Sistemi Beauvais Katedrali'nin Taraması [174]



Şekil 6.115 3-D model Sistemi Beauvais Katedrali'nin Taraması ile Sütundaki Kaymanın Tespiti [174]

6.10 St. Francis Assisi Bazilikası-İtalya

İtalya, Assisi'de bulunan bazilika, Roma Piskoposlar Katoliğinin ana kilisesidir. 1228 yılında başlamış olup ve 1253'te tamamlanmıştır. Yapı birbirinin üzerine yerleştirilmiş iki kiliseden oluşmaktadır. Bu yapılar Yukarı Bazilika ve Aşağı

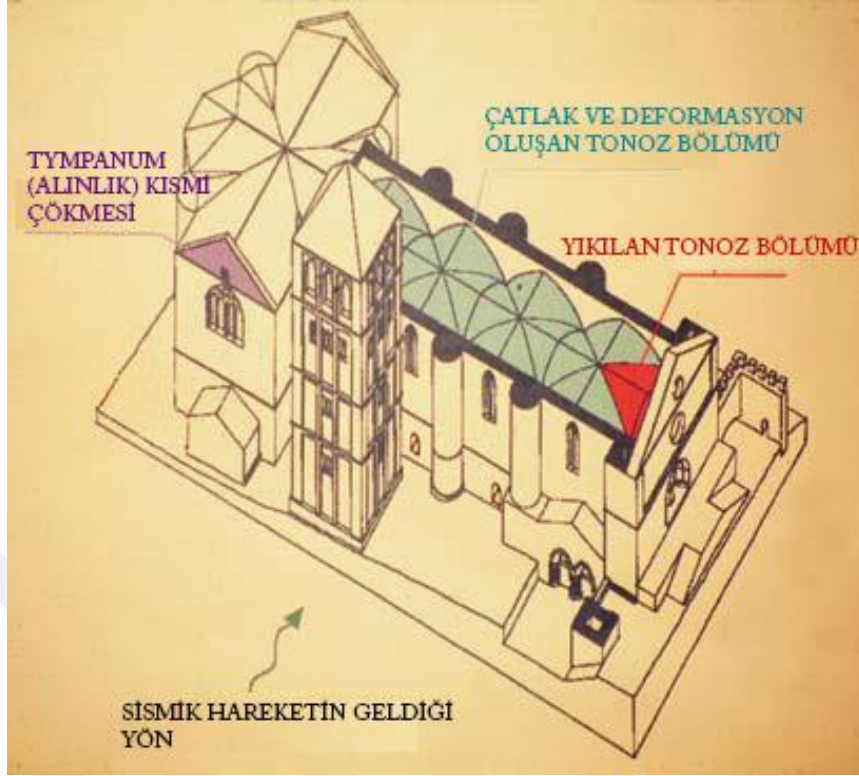
Bazilika olarak adlandırılmaktadır. Her iki yapıda benzer mimari özelliklere sahiptir: dört adet gotik tonoz, bir transept ve bir apsis ile tek nef vardır. Kilisenin boyutları boyu 250 fit, enine yönde 120 fit ve yaklaşık 75 fit yüksekliğindedir. Kilise silindirik payanda ve uçan payanda sistemi ile desteklenmiştir. Bazilikanın iç kısmında dönemin önemli ressamı tarafından yapılan resim ve freskler vardır. Bazilika 1997'de yaşanan depremten dolayı ağır hasar almıştır. Yapı 1999 yılına kadar restore edilmiş ve 2002'de rekonstrüksiyon tamamlanmıştır. 2006 tarihine kadar iç restorasyonlar ve freskler onarılarak çalışmalar sona ermiştir. 2000 yılında UNESCO Dünya Mirası Sit Alanı olmuştur [175, 176, 177].



Şekil 6.116 St. Francis Assisi Bazilikası [175].

Tarihi boyunca, St. Francis Bazilikası'na birçok depreme maruz kalmıştır. 1279, 1328, 1703, 1747, 1781, 1799, 1832, 1859, 1917 ve 1979'da yıllarında depremler meydana gelmiştir. En yıkıcı deprem, 26 Eylül 1997'de (yer ivmesi boyuna eksene dik yaklaşık 0.20 g kuvvetinde) gerçekleşmiştir. 26 Eylül 1997 depremi, Aziz Francis Yukarı Bazilikası'na etkilemiştir. Cepheye yakın tonozların, transeptte yakın tonozların, sol transeptin bir kısmının tahrip olmasına ve tüm tonozlarda büyük çatlakların ve kalıcı deformasyonların oluşması neden olmuştur. Bu durum

bazilikayı ciddi tehlikeye sokmuştur [66]. Şekil 6.117’ de yapının aldığı hasar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.117 St. Francis Bazilikası 1997 yılında Yaşadığı Hasarlar [66]

Bazilikanın çökme nedenleri araştırıldığında; ilk nedenlerden biri, taş duvarlardaki bağlayıcı harcın çürümesi yani harcın görevini yapmaması ve taş blokların giderek birbirinden ayrılarak düşmesidir. Tonozlarla ilgili çökmenin nedeni araştırıldığında ise, tarih boyunca çatı onarımlarında kırık kiremitler arasını doldurmak için kullanılan dolgu malzemesinin birleşim noktalarında birikmesi ve kullanılan gevşek malzemelerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Sismik etkiler altında, bu dolgu, herhangi bir kohezyon olmaksızın, alternatif olarak sadece bir tarafta hareket ederken, diğer tarafta dolgu ayrılmıştır; üstelik gevşek dolgu, tonozun karşı hareketini takip ederek, kalıcı deformasyonları artırmıştır. Ayrıca bazilika, yüzyıllar boyunca birçok depreme maruz kalmış olup her biri yapıya farklı etkiler ve hasarlar bırakmıştır. Bu durumların hepsi yapının taşıma kapasitesini azaltmış, kırılganlığı artırmış, yapıda kalıcı deformasyonlara ve çökmelere neden olmuştur [178, 179] .

Bazilikanın genel bir modeli ve küresel bir stres analizi yapılmıştır; özellikle tonozların doğrusal olmayan bir modeli dolgunun belirleyici rolünü doğrulamıştır; yatay ivme yaklaşık 0,2g' a ulaştığında, çekme gerilmeleri üretmektedir. Yapının çökmesi kayıt altına alınmıştır. Şekil 6.118'de yapının çökme anının kayıtlarından fotoğraflar verilmiştir. Bu kayıta öne sürülen modelin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Tonozlarda yaşanan durum, kaburgaların kademeli olarak eğrilik kaybından kaynaklanır ve ardından ortada bir mafsallık noktası oluşmakta olup kaburga çökmüştür. Tonozda onunla birlikte çöker. Sonuç olarak çökmeler bu belirli bölgelerde yoğunlaşmıştır. Sismik hareketin yönünün esas olarak nef eksenine dik olması ve bu nedenle küresel olarak bir kiriş gibi davranmış, burada cephe ve transeptin sertliği tarafından uçlarda bir tür kısıtlamasına neden olmuştur. Sonuç olarak dolgunun ağırlığından kaynaklanan yerel gerilmelere ek olarak burada yüksek normal ve kesme gerilmelerinin üretilmesi ile yapı kısmi çökmeler oluşmuştur [66].



Şekil 6.118 St. Francis Bazilikası 'nın Çökmesi ve Umbria Televizyonu Tarafından Kayıdı [66].



Şekil 6.119 St. Francis Bazilikası 'nın Tonozlarının Çökmesi [66].



Şekil 6.120 St. Francis Bazilikası'nda Tonozlarda Oluşan Çatlaklar ve Deformasyonlar [66]

Deprem sonrası ilk müdahaleler, yapının güvenliğini sağlaması ve molozlara dağılmış yüzlerce parçanın kurtarılması amaçlamaktadır. Tonozların çökmesini önlemek için depremden hemen sonra acil önlemler alınması gerekmiştir. Tonozların tümü, büyük çatlaklardan etkilenmiştir. Yaklaşık 30 cm yakın

deformasyonlar olmuştur. Ayakta duran tonozların çökme tehlikesi ve bunun sonucunda insan yaşamı için oluşturduğu risk durum olasılığını engellemek için, tonozların zemin seviyesinden desteklenmesi yerine tonozlar çatıdan bir platform ile askıya alınması işlemi yapılmıştır. Ana depremden sonraki ilk ayda alınan acil önlemler şu şekilde özetlenebilir; [66] (Şekil 6.121)

- Tonzlardaki büyük yükün kaldırılması (yay sistemi ile);
- Fresklere gelebilecek olası hasarı sınırlamak için çatlakların tuzsuz bir harçla doldurulması, harcın dışarı akmasını önlemek için daha büyük çatlaklara bir poliüretan şerit yerleştirilmesi;
- Kemer sırtındaki çatlakların üzerine sentetik elyaf bantlarının uygulanması;
- Tonzların, termal etkilerden ve küçük titreşimlerden bağımsız olarak, kuvveti tasarım değerinde tutmak için iki yay yerleştirildiği bir bağlantı sistemi ile çatıdan asılması, işlemleri yapılmıştır [66].



Şekil 6.121 St. Francis Bazilikası'nda Tonozu Çatıya Asmak İçin Geçici Yay Sistemi [66]

Çatıya geçici bir asma köprü uygulaması yapıldıktan sonra tonozlarda çatlakların üzerine sentetik elyaf şeritler konulmuştur. Kemerleri çatıya asmak için de halat ve yay sistemi yapılmıştır. Kuvveti, termal etkilerden bağımsız olarak tasarım değerinde tutmak ve titreşimlerin iletilmesini kesmek için yay sistemi tercih edilmiştir [102]. Fresklerin zarar görmemesi için altına yumuşak kauçuk dolgulu

bir tür elik beşik yerleştirildikten sonra çatlayan nervürler de bir öncekine benzer bir sistemle çatıdan asılmıştır [178]. (şekil 6.122)

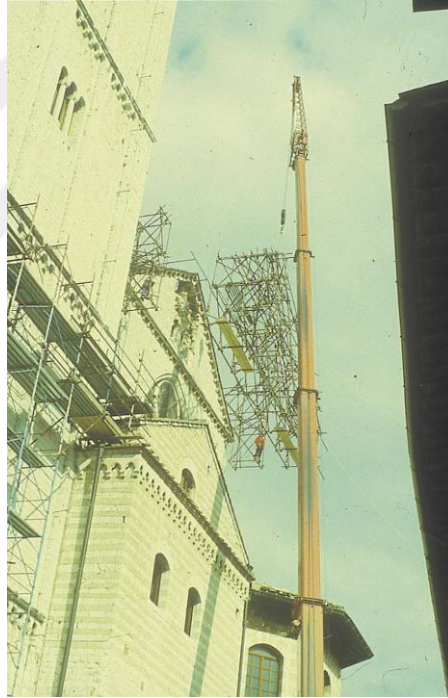


şekil 6.122 St. Francis Bazilikası'nda elik Asma Köprü Uygulaması [178].

Yapının typanum (alın duvar/ kalkan duvar) deprem sonrası zarar görmüştür. Buralara müdahale için 50 m boyunda devasa bir vinç kullanılmasına karar verilmiştir. Bu operasyonu organize etmek, transeptin iki duvarına iki konsol elik kirişin sabitlenmiştir. Makaslar, 8 m yüksekliğinde ve tabanda 17 m yüksekliğinde bir üçgen olacak şeklinde elik ereve ile yapı desteklenmiştir. Duvarın geçici olarak stabilize edilmesi için boş alanlar ve büyük delikler poliüretan köpük ile dolduruldu [66]. (şekil 6.123) (şekil 6.124)



Şekil 6.123 St. Francis Bazilikası'nda Typanum(alın duvar/ kalkan duvar) Hasar [179]

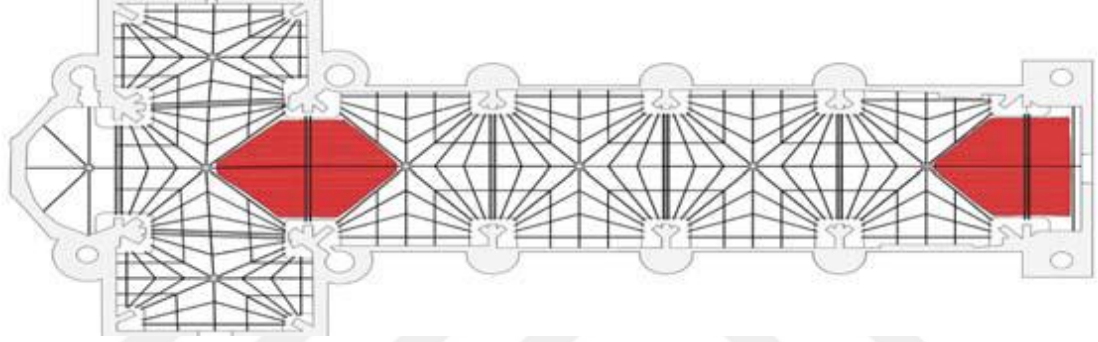


Şekil 6.124 St. Francis Bazilikası'nda Typanum'da Çelik Kafes Sisteminin Konulması [66]

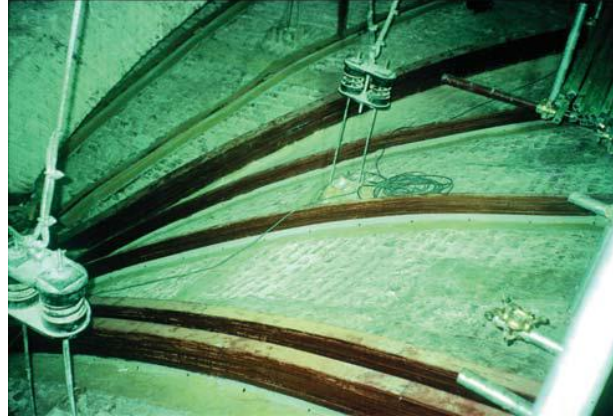
Roma La Sapienza Üniversitesi'nden Dr. Giorgio Croci liderliğindeki bir mühendis ekibi, tonoz ve typananum kalıcı yapısal güvenliği sağlamak için çalışmalar yapmışlardır. İlk aşamada tonoz güçlendirme çalışmaları yapılmıştır.

Yıkılan tonoz bölümlerinde mümkün olduğunca özgün tuğlaları kullanılmaya çalışılmıştır. Bütün tonozları etkileyen büyük çatlaklar ve kalıcı deformasyonlar

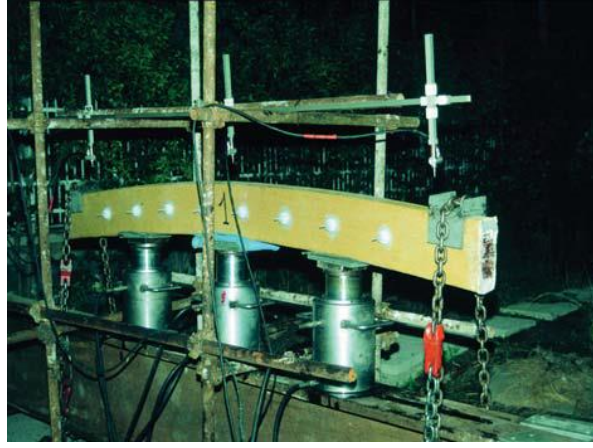
olduğundan ahşap şeritlerinden yapılma aramitik lif ve epoksi reçineden bir kumaşla kaplanmış bir nervür ağı yapılması kararı verilmiştir. Şekil 6.125’de bu sistem planda gösterilmiştir. Şekil 6.126’ da kullanılan aramitik lifler görülmektedir. Bu elemanlar daha önceden laboratuvarlarda test edilerek yapıda kullanılmıştır [102] (Şekil 6.127). Nervürler, tonozların deforme şeklini takip etmek için yerinde inşa edilmiştir: nervürlerin genişliği (8 cm) sabit kalırken, yüksekliğin ortalama değeri 20 cm’dir. Şekil 6.128’deki gibi Nervürleri, çatıyı bağlayan bir bağlantı çubukları ve yay sistemi de yapılmıştır. Acil önlemlerde alınan çözümlere benzer bir uygulama yapılmıştır. Bu takviye ile sismik etkiler altında deformasyon sınırlandırılmıştır [179].



Şekil 6.125 St. Francis Bazilikası: Kemer Sırtları Üzerindeki Nervür Ağı [102]



Şekil 6.126 St. Francis Bazilikası'nda Kullanılan Ahşap Nervür Şeritler [102]

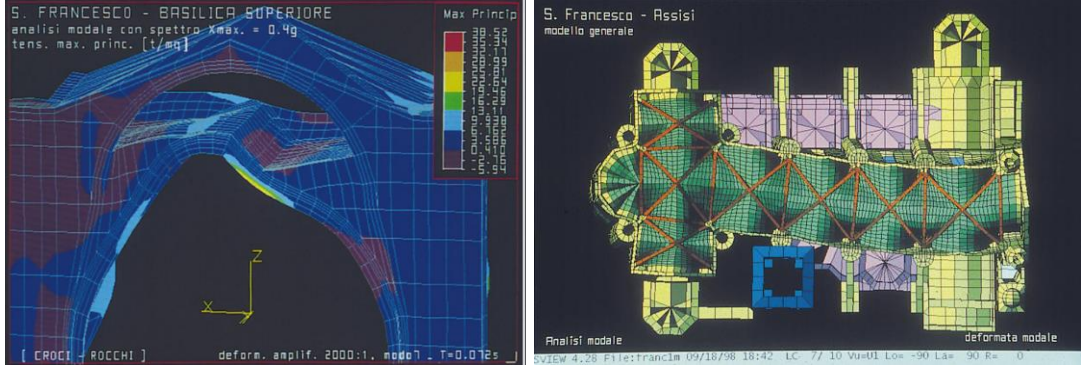


Şekil 6.127 St. Francis Bazilikası'nda Nervürler Üzerinde Yapılan Laboratuvar Testleri [102]



Şekil 6.128 St. Francis Bazilikası'nda Nervürlerin Yay ve Bağlantı Çubukları Çatıya Bağlanması [179]

Bazilikanın, özellikle tonozlarla ilgili olarak, kalıcı restorasyon ve sağlamlaştırılması çalışması, fresklerin varlığı nedeniyle çok hassas ve zor bir durum ortaya çıkarmıştır. Fresklere zarar vermeden, tonozları güçlendirmek ve sağlamlığını sağlamak için farklı çalışmalar, araştırmalar ve matematiksel modeller yapılmıştır [66, 179] . Şekil 129'da da görüldüğü üzere matematiksel modeller depremlerin kemer ve nervürlerde büyük gerilimler yarattığı ve 1997 yılındaki yıkımda da görüldüğü üzere nervürün ortasında oluşan mafsalla yıkım mekanizmasıyla uyumlu olduğunu göstermiştir [102].



Şekil 6.129 Sismik Etkide Altında Tonozlardaki Deformasyon Modeli- St Francis Assisi Bazilikası [66]

Şekil 6.130' daki gibi çatıyı taşıyan yığma ana kemerlerde bir takım takviyeler yapılmıştır. Kemerlerin tabanına çelik bant konularak duvarlara ve arkalarında bulunan kulelere sabitlenmiştir. Çelik bağlantı ve öngerilmeli yatay çubuklarla ankrajlama sistemi yapıldı [179].



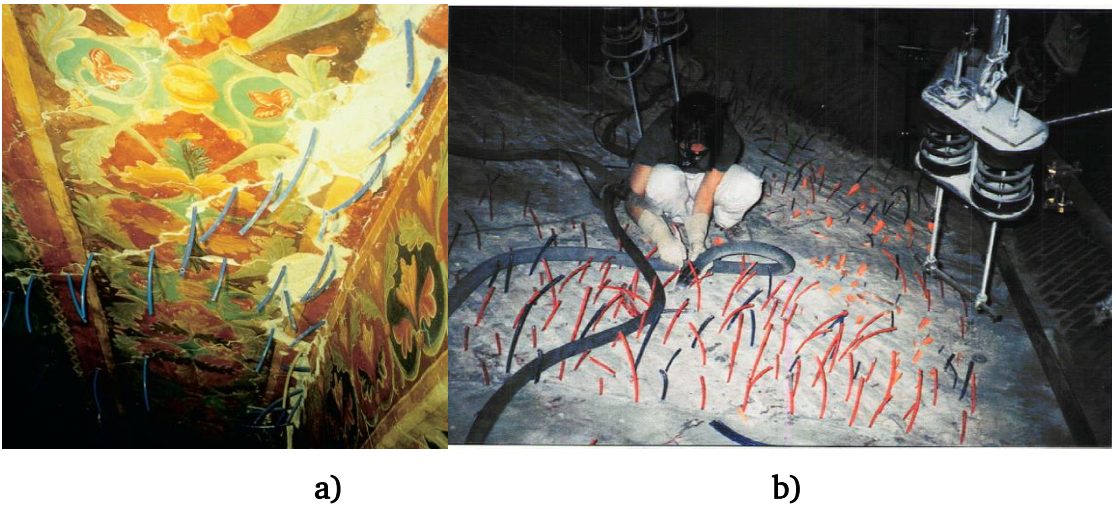
Şekil 6.130 St Francis Assisi Bazilikası'nda Ana Kemerlerde Uygulanan Takviye [179]

Şekil 6.131'deki gibi tonoz stabilizasyonu için, diyagonal kemerler arasına çelik kirişler yerleştirilmiş ve bu kirişlere yay ve bağlantı çubuğu ile birbirine bağlanmıştır. Bu şekilde tonozlar desteklenmiştir [180].



Şekil 6.131 St Francis Assisi Bazilikası'nda Tonoz Stabilizasyon Sisteminin Bir Parçası Olarak, Yay ve Amortisör Sistemi [181]

Deprem sırasında ciddi şekilde çatlamış olan tonozlar, özel bir harç türü kullanılarak güçlendirilmiştir. Tonozların devamlılığını bozan çatlaklarla ilgili olarak, enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Enjeksiyon harcı, tuzsuz, fresklerle uyumlu, tüm çatlaklara ve mikro çatlaklara nüfuz eden ve yeterince akışkan, enjekte edilebilir ve iyi bir dayanıma sahiptir. Bu uygulama sayesinde yapısal bir sürekliliği sağlamıştır [66, 179]. (Şekil 6.132)



Şekil 6.132 a) St. Francis Bazilikası Tonozu'nda Enjeksiyon Boruları, **b)** Enjeksiyon Uygulaması [66]

Typananumda (Kalkan duvar) deprem sırasında düşen özgün taşlar ve tuğlalar özenle korunup kullanılmıştır. Bu taşlar yeni bir harçla derzlenmiştir. Typanum ve tonoz arasındaki bağlantı, tamamen rijit bir bağlantıdan, alaşımlı cihazlar kullanılarak typananum üzerindeki sismik yükü azaltan bir bağlantıya dönüştürülmüştür [178]. (Şekil 6.133)



a)

b)

Şekil 6.133 a) St. Francis Bazilikası'nda Typanum ve Tonoza Arasında Kullanılan Bağlantı Elemanları, b) Typanum Çalışması [178].

Yapıda yapısal güçlendirme çalışmalardan sonra yapının rekonstrüksiyonu işlemleri yapılmıştır. Yıkılan kısımlarda özgün malzemeye uygun özellikte yeni malzemeler kullanılmıştır. Bazilika 28 Kasım 1999, yılında yani depremden 2 yıl 3 ay sonra halka açılmıştır.

6.11 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası

Günümüzde Mimarlık ve Güzel Sanatlar Fakültesi Binası olarak kullanılan yapı, Sultan Abdülmecit döneminde Cemile Sultan ve Münire Sultan için 1856 ile 1859 yılları arasında yapılan saray yapılarıdır. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası; zemin, iki normal, bir çatı katı olmak üzere toplam 4 kattan oluşmakta olup günümüzdeki durumunda deniz ve kara tarafında yığma ve diğer kalan bölüm ise betonarme taşıyıcı sistemdir. Aslında yapının özgün yapı sistemi tuğla yığma duvar ve ahşap kirişli döşeme iken zaman içerisinde yapıda yapılan restorasyon çalışmaları ile döşemeleri betonarme döşemeye çevrilmiştir. Yığma bölümlerinde kısmi asma katla ilave edilmiştir. Betonarme sistem

birbirinden dilatasyonlar ayrılırken yığma sistemde dilatasyon bulunmamaktadır. Çatı katında kesintisiz ve tek parça betonarme döşeme yapılmıştır [182, 183, 184].



Şekil 6.134 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası
[182]

Güzel Sanatlar Fakültesi olarak kullanılan Cemile Sultan Sarayı, 1913 yılında Osmanlı Meclisi toplantı yeri kullanılmış olup binada ilk değişiklikler bu dönemde yapılmıştır. Salonlara takviye amaçlı dikmeler ve asma katlar eklenmiştir. Yapı cumhuriyetin ilanından sonra İstiklal Mahkemesi olarak da kullanılmıştır. 1926 yılında, T.C. Meclisi'nin onayı ile o zaman ki adıyla Mekteb-i Sanayi-i Nefise-i Şâhâne (Sanayi-i Nefise Mektebi) devredilen saray binası eğitim yapısı olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1928 yılında Mekteb-i Sanayi-i Nefise-i Şâhâne, Güzel Sanatlar Akademisi adını almıştır [183, 184].

Yapı, Güzel Sanatlar Akademisi olarak eğitim ihtiyaçlarının karşılayamamasından planda değişikliklere başvurulmuştur. Karaköy yönündeki giriş sofası ikiye bölünerek resim atölyelerine, Kabataş yönündeki giriş sofası ise bölünerek kütüphaneye ayrılmış, üst kat sofası ise konferans salonu yapılmıştır. Binanın

özgün pencere düzeni atölyelere daha fazla ışık alabilmek için değiştirilmiş ve çevresinde bulunan söve ve alınlıklar kaldırılmıştır [183, 184].

1948’de çıkan yangın sonucu yapının ağır hasar almasına neden olmuştur. Yangın sonrası, yapının restorasyon çalışmaları için Sedad Hakkı Eldem, Arif Hikmet Holtay, Ahsen Yapanar, Mehmet Ali Handan, Asım Mutlu, Halit Femir, Feridun Akozan’dan oluşan bir komisyon kurulmuştur. Sedad Hakkı Eldem ve Mehmet Ali Handan tarafından hazırlanan restorasyonu çalışmasının yapılmasına karar verilmiştir. 1953 yılında çalışma tamamlanmıştır [183, 184].

Bu restorasyon projesinde yığma kâgir duvarların korunmuş, içide betonarme olarak yeniden inşa edilmiştir. Ahşap konstrüksiyon dönemin yeni yapım teknolojisi ve malzemesi doğrultusunda betonarme konstrüksiyon olarak tasarlanmış olup yapının döşemeleri ahşap kirişli döşemelerden betonarme döşemeye çevrilmiştir [183, 184]. (Şekil 6.135)



Şekil 6.135 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi’nin Ahşap Kirişli Döşemelerinin Betonarme Döşemeye Çevrilmeden Önceki Hali [182]

Yangın sırasında hasar gören dış cephe de silme ve işlemler kaldırılmış olup kalın fugalar kullanılmıştır. Yapının yangın öncesinde kara ve deniz cephesindeki

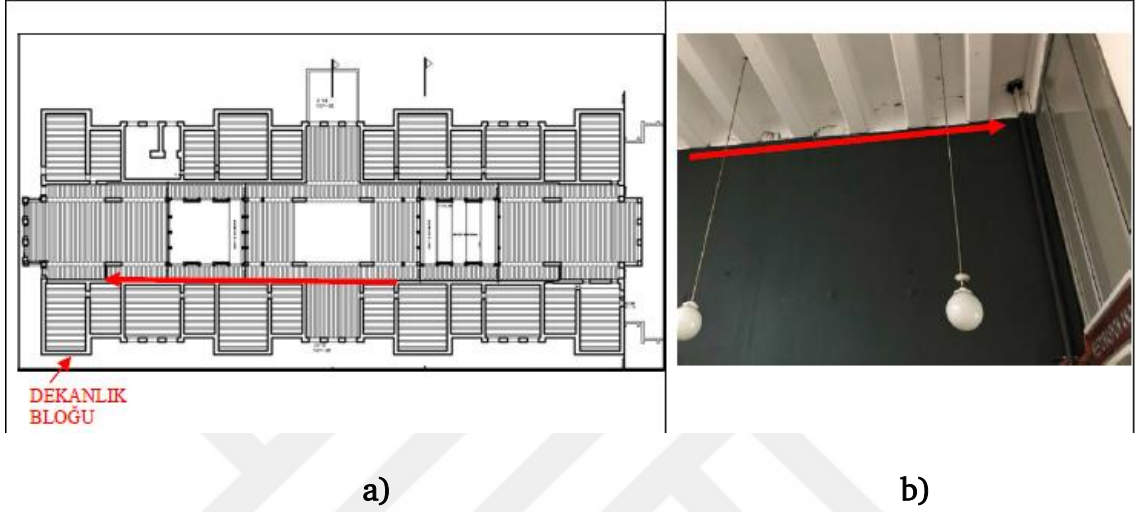
büyütülen pencereler eski haline getirilmiştir fakat Beşiktaş yönündeki cephesinde kuzey ışığını almak amacıyla yüksek ve geniş pencereler açılmıştır [183, 184].

1969 yılında projesi Sedad Hakkı Eldem tarafından hazırlanan, Çifte Saraylar ile Meclis-i Mebusan Caddesi arasındaki bahçede oditoryum ve idari bina olacak yapının inşasına başlanmıştır. Ayrıca Atatürk Kız Lisesi olarak kullanılan (Münire Sultan Sarayı) bina ile Devlet Güzel Sanatlar Akademisi olarak kullanılan (Cemile Sultan Sarayı) binaların arasına kütüphane bloğu inşa edilmiştir. Münire Sultan Sarayı'nda Akademi'den önce de eğitim sürdürülmüş olmasına rağmen yapıda 1976 yılında geçirdiği dönüşüm projesine kadar köklü bir değişiklik yapılmamıştır. Münire Sultan Sarayı (Mimarlık Fakültesi): 1972-1976 yılları arasında ise Sedad Hakkı Eldem tarafından restorasyonu yapılmıştır. Cemile Sultan Sarayı'nın restorasyon projesi de benzer özellikte bir çalışmadır. Cemile Sultan'da yaşanan yangınında etkisiyle bu yapıda da özgün ahşap konstrüksiyon kaldırılarak betonarmeye çevrilmiştir. Yapının giriş aksında iki kat yüksekliğinde boşluk ve binayı ikiye bölen orta sofa düzenlenmiştir. Bu şekilde giriş holü kazandırılmış ve bodrum katının kullanılabilirliğini artırılmıştır. Bu restorasyon projesinde daha öncede Cemile Sultan Sarayı'nda da uygulanan yatay ve düşey boşluklar yapılmış olup yapıya doğal ışık alması sağlanmıştır [183, 184]. Şekil 6.136 'da yapının zemin kat planı verilmiştir.



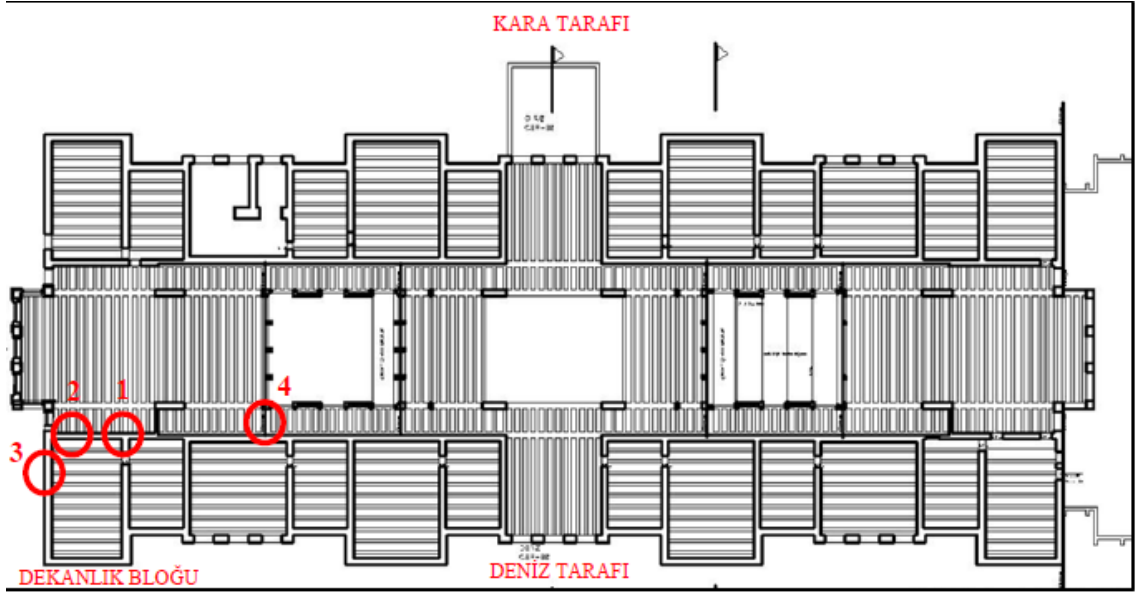
Şekil 6.136 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi Zemin Kat Planı [134].

1999 Marmara Depremi'nden günümüze kadar Mimarlık Fakültesi'nin Dekanlık Bloğu'nda (B2 Bloğu) hasarlar oluşmakta olup hasarlar gün geçtikçe büyümektedir. 2. kattaki koridordan, Restorasyon Ana Bilim Dalı'na doğru gidildiğinde betonarme yığma duvarlar ile nervürlü döşeme kirişler arasındaki çatlakların oluştuğu ve bu çatlakların genişliğinin arttığı tespit edilmiştir [182]. (Şekil 6.137)



Şekil 6.137 a) Fakülte'nin Koridordaki Planda Çatlakların Olduğu Bölüm, b) Koridordaki Çatlak [182].

Binanın 2. katında Restorasyon Ana Bilim Dalı odalarında, betonarme döşeme sistemi ile yığma duvarlar arasında da ciddi çatlaklar meydana gelmiş. Betonarme kat döşemesinin yığma duvar ile birleştiği yerde başlayan çatlaklar taşıyıcı yığma duvarları da etkilemiş olup zarar vermiştir (Şekil 6.138) (Şekil 6.139). Oluşan çatlaklar, ayrılmalar ve hasarlar binanın yan dış cephesinde görülebilmektedir [182] . (Şekil 6.140)



Şekil 6.138 Fakülte 'nin 2. kat Dekanlık Bloğu (B2) Hasar Gören Kısımlar [181].



Şekil 6.139 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi'nde Betonarme Kirişli Döşeme ile Yığma Duvar Arasında Oluşan Çatlaklar ve Ayrılmalar [182].



Şekil 6.140 Mimar Sinan Mimarlık Fakültesi'nde Yan Dış Cephesindeki Çatlaklar [182].

2012 yılında Temelkon tarafından jet grout sistemli zemin iyileştirme projesi yapılmıştır. Zemin güçlendirme projesi sadece Güzel Sanatlar kısmında uygulanmış olup Mimarlık Fakültesi tarafında uygulanamamıştır. Dekanlık Bloğunun deniz tarafındaki dış cephesine her iki taraftan yapışık olan restoran nedeniyle bu alana iş makinesi giremediği için zemin iyileştirme uygulaması bu bölgede yapılamamıştır. Bu zemin iyileştirme projesi yapının tamamını kapsayan ve mevcut yapısal çatlaklara sebep olan oturma ve yanal ötelenmeleri tamamen durduracak bir proje olmadığı için yapılan çalışma yapının sorununa kesin çözüm olmamıştır [182].

2020 tarihinde yapılan çalışmalar ve gözlemlerden, yapıda oluşan bu hasarlar Dekanlık Bloğu ile sınırlı kalmadığı ve yapının diğer kısımlarında da, koridor boyunca betonarme sistem ile yığma duvar arasında ayrılmaların olduğu ve bu hasarların zamanla büyüdüğü tespit edilmiştir.

Mimarlık Fakültesi Binası Dekanlık Bloğu' ndaki hasarlar incelendiğinde bu hasarların zemin probleminden kaynaklı olduğu, yığma duvarlarda oluşan oturma çatlakları ve özellikle de betonarme nervürlü döşeme sistemi ile yığma duvarlar arasında oluşan ayrılmadan anlaşılmaktadır. Yapı dolgu alana yapıldığı için temel

ve rıhtımlarının denizden etkilenmesi ve günümüzdeki statik yönetmeliklere uymayan taşıyıcı sistemden kaynaklı sebeplerden dolayı yapıda hasarlar oluşmaktadır. Binanın özgün hali ahşap kirişli döşeme ve yığma sistemden oluşmaktadır. Fakat zaman içerisinde yapının içine betonarme taşıyıcı sistem ilaveleri yapılmasıyla yapı yığma ve betonarme olarak iki ayrı taşıyıcı sisteme sahip olmuştur. Bu iki ayrı taşıyıcı sistemin birleşimi yapılmadığından yatay yük aktarımı sadece sürtünme kuvvetiyle olmaktadır. Zaman içerisinde yapıda fonksiyon değişikliğinden kaynaklı asma katlar ilave edilmiştir. Bu yapılan değişikliklerden kaynaklı binaya ilave yükler eklenmiş ve yapının yük dağılımı değişmiştir. Ayrıca dolgu zeminde meydana gelen oturmalar ve aşınmalar sonucunda yapıda denize doğru bir hareket etmeye başlamıştır. Bu hareketlerin nedenin yapının yakınındaki tramvay hattından oluşan titreşimlerden, Galataport çalışmaları kapsamındaki kazık uygulamaları sonucu oluşan titreşimlerden ve yapı etrafında yapılan yapılaşma sonucundaki zemin değişikliklerinden kaynaklıdır [182].

Bundan sonraki yapılacak çalışmalar için Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi tarafından oluşturulan komisyonca,

- Mimarlık Fakültesi Binası Dekanlık Bloğunun tahliye edilmesi,
- Binanın köşesinde yer alan restoran yapısının yıkılması ve yapı duvarlarının deniz tarafında ve Denizcilik İşletmeleri cephesinde dışarıdan askıya alınması,
- Askılama işlemi sırasında zemin iyileştirme çalışmalarına engel olmayacak şekilde gerektiğinde sökülüp takılabilecek ahşap veya çelik payanda sistemi yapılması,
- Yapının özgün dönemleri gösteren çok katmanlı yapısı olduğu için çatı döşemelerinde ve sonradan eklenen kısımlarında mümkün olduğu kadar hafifletme yapılması,
- Ayrıca daha önceden yapılmış zemin iyileştirme müdahalelerinin istenen parametrelerde olmadığı için yapı için tekrar üst yapı güçlendirme projelerinin hazırlanması ve zeminin iyileştirilme çalışmalarının yapılması, gerektiği belirtilmiştir [182].

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihi yapılar, birçok olumsuz çevre koşulları, doğal afetler ve fiziksel-kimyasal bozulmaların yanında, insanoğlunun bu yapılara karşı aldığı tavırdan dolayı zarar görmektedir. Bu zararların giderilmesi için tarihi eserlerde onarım, güçlendirme ve iyileştirme çalışmaları yapılır. Bu sayede tarihi eserlerin korunması ve gelecek nesillere ulaşması sağlanmaktadır. Tarihi yapılarda yapılan onarım, güçlendirme ve iyileştirmede ana amaç onların yapısal bütünlüğünü korumaktır.

Onarım ve güçlendirme yöntemi seçilirken en az müdahale yapılan müdahalenin yapıya zarar vermeden sonradan da kaldırılabilmesi ve iyi analizler yapılarak seçilen yöntemin oluşan hasara en doğru çözüm olması gerekmektedir. Tarihi eserlerin korunması müdahale edilme aşamasında birçok disiplinin bir arada çalışarak yapılacak yapısal güçlendirme ve onarım müdahalelerinde teşhis, izleme, güvenlik değerlendirilmesi yapıldıktan sonra (gözlem, deney ve testler) uygulaması yapılmalıdır. Onarım ve güçlendirmeye başlamadan ilk olarak yapı ve çevresi ile ilgili gerekli inceleme ve araştırmaların yapılması gerekir. Zemin, malzeme ve taşıyıcı sistemi irdelenmeli, bozulma ve deformasyonlar nedenlerine bakılmalıdır. Eğer yapısal bozulmalar (çatlak, ezilme, kopma vb.) varsa mutlaka zemin ile alakalı çalışmalar yapılmalı, gözlem çukurları, sondajlar ve arazi deneyleri yapılmalı, temel ve taşıyıcı sistem durumu, boyutları irdelenmeli, yer altı su seviyesi belirlenmelidir. Bunlar yapılırken bilgisayar ortamında 3-boyutlu yapısal davranış analizleri, sonlu elemanlar analizi, modelleme sistemleri vb. yöntemlerden yararlanılarak yapıların davranışları incelenmelidir. Bu araştırma ve analizler ışığında yapıda uygulanacak onarım, güçlendirme ve iyileştirme tercih edilmelidir.

Çoğu zaman tercih edilen yöntemin kendisi değil yapıya uygun olmayan yöntemin seçimi hatalı sonuçlara neden olur. İyi ve uygun olduğu düşünülüp daha sonrasında yapıya teknik yönden olumsuz yönde etkileyen uygulamalar kısa veya uzun vadede yapılara çeşitli hasarlar oluşturmakta olup yapı stabilesini bozabilme ihtimali olan durumlar ortaya çıkarabilmektedir.

Bu çalışmada tarihi yapılarda kullanılan malzeme ve sistem türleri, tarihi yapılarda görülen hasar türleri ve nedenleri, hasar analiz yöntemleri ve tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme metotları hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Bunların akabinde çalışma kapsamında seçilen tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme metotları anlatılmıştır.

Tez kapsamında incelenen tarihi yapılar ülkemiz ve dünya tarihinde yer elde etmiş ve onarım - güçlendirme teknikleri yorumlanması ve geliştirilmesi açısından önemli yapılardır. Bu eserlerde uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinden olan zemin sağlamlaştırma, temel sağlamlaştırma, yenileme ve yeniden yapım vb. kavramların gelişmesinde katkıda bulunmuşlardır. Tez kapsamında seçilip, anlatılan yapılarda bazen deneme-yanılma yöntemi ile onarım ve güçlendirme müdahaleleri yapılmıştır. Tarihi eserlerde uygun olmayan onarım ve güçlendirme tekniğinin doğurduğu sonuçları gösterdiği için koruma, onarım ve güçlendirme konularında birer ders niteliğinde yapılar olduğu için tez kapsamında incelenmiştir. Farklı zamanlarda bu yapılarda koruma amacıyla müdahaleler yapılmış ancak bir koruma politikası çerçevesinde yapılmayan bilinçsiz uygulamalar olduğundan veya yapıda teknik sorunlar yaşattığından, yapılara daha fazla zarar vermiş ya da özgünlüğünden uzaklaştırmıştır. Uygulanan restorasyon çalışmalarından ve varsa uygun olmayan ya da hatalı onarım ve güçlendirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu şekilde yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinin etkinliği irdelenmiştir.

Uygun olmayan ya da hatalı uygulamalar sonucu yapılarda hasarların tekrarı, yeni hasarların oluşumu hatta yapıların göçmesine neden olabileceği gösterilmek istenmiştir. Ayrıca onarım ve güçlendirme yöntemi seçilirken taşıyıcı sistem etkinliğin yanı sıra kullanılan teknik ve malzemenin tarihi eserin yapımındaki özgün teknik, malzeme ve tasarım ile uyumlu olması gerektiği unutulmamalıdır.

Aşağıdaki Tablo:7.1’ de tez kapsamında anlatılan çeşitli yapılardaki hasar türleri, yapıda yapılan onarım ve güçlendirme yöntemi ve bu yöntem sonucu yaşanan aksaklıklar özetlenmiştir.

Tablo 7.1: Tez kapsamında İncelenenYapılardaki Hasar Türleri, Onarım ve Güçlendirme Yöntemi ve Yöntem Sonucu Yaşanan Sorunlar

YAPININ ADI	YAPIDAKİ HASAR TÜRÜ	UYGULANAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ	UYGULANAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ SONRASI YAŞANAN SORUNLAR
Parthenon	Göçme ve Yıkılma	• 1922-1933 tarihleri arasında Nikolaos Balanos tarafından demir kenet ve çimento enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. • Nikolaos Balanos tarafından yapılan bütünleme yöntemi	• Uygulama sonucu yapıdaki mermerin çatlamasına ve bazı parçaların birleşim yerlerinden ayrılmasına neden olmuştur. • Modern bütünleme anlayışına aykırı yöntem uygulanmış olup parçalar yanlış yerlerde ve konumlarda yerleştirilmiştir.
Pisa Kulesi	Düşeyden Sapma	• 1838 yılında yapı çevresinde zemin ve temel ıslah çalışması ve yürüme yolunun yapılması • 1934 yılında zemini sağlamlaştırmak amacıyla temel altı çimento enjeksiyonu ve yürüme yolu duvarlarına beton levhaların yerleştirilmesi • 1995 yılında yapılan çalışmalarda denge ağırlıklarını yer altı kablolarıyla değiştirilmiştir.	• 1838 yılında yapılan bu uygulamalar yapının düşeyden sapması yarım derece artmasına neden olmuştur. • 1934 yılında yapılan bu uygulamalar kulenin ağırlığının artmasına ve daha fazla düşeyden sapmasına neden olmuştur. • 1995 yılında yapılan yer altı kablolarıyla ankarajlama yöntemi kulenin düşeyden sapmasına artmasına neden olmuştur.

Tablo 7.1: Tez kapsamında İncelenenYapılardaki Hasar Türleri, Onarım ve Güçlendirme Yöntemi ve Yöntem Sonucu Yaşanan Sorunlar (Devamı)

Metropolitan Katedrali-Mexico City	Düşeyden Sapma, çatlakların oluşması ve ayrılmalar	•Yapıdaki sütunların derz aralarında ne zaman yapıldığı bilinmeyen taş takoz uygulaması •1993-2001 yılları Zemin sağlamlaştırma, zemin boşaltama ve temel güçlendirme yöntemleri uygulanmıştır.	•Taş takoz uygulaması sonucu yapının sütunlarında çatlaklar ve ayrılmalar oluşmuştur. •1993-2001 yılındaki bu çalışma sonrası yapıda yeni çatlakların ve hasarların oluşmasına neden olmuştur.
Noto Katedrali	Göçme ve Yıkılma	•Yüzyıllar boyunca doğal afetler sonucu yıkılan yerlerin bilinçsiz bir şekilde tekrar yapılması •1950’li yıllarda ahşap çatı yerine betonarme döşeme ile değiştirilmesi •1980’li yıllarda duvarlara çimento enjeksiyon uygulaması yapılmıştır	• Yüzyıllar boyunca doğal afetler sonucu yıkılan yerlerde kalitesiz malzeme ,harç ve birleşim detayları sonucu yapıda çatlakların oluşturmuştur. Yapıda gergi sisteminin uygulanmaması hasarların tekrarına sebep olmuştur. • 1950’li yıllarda ahşap çatı yerine betonarme döşeme değiştirilmesi hem yapının daha ağırlaşmasına hemde kemerlerin üst kısmı kesilip yan duvarlar kaldırıldığından yapının yük dağılımını etkilemiştir. Bu uygulama yapının 1996 yılında göçmesinin ana sebebi olmuştur.

Tablo 7.1: Tez kapsamında İncelenenYapılardaki Hasar Türleri, Onarım ve Güçlendirme Yöntemi ve Yöntem Sonucu Yaşanan Sorunlar (Devamı)

Santa Maria dei Miracoli Kilisesi	Bozulmalar ve çatlaklar	• 19.yy'da yapılan restorasyon çalışmasında mermerlerin sabitlenmesi için harcın yenilenme işleminde Portland çimentosu kullanılması	• Yapıda uygulanan Portland çimentosu uygulaması mermerlerin bozulmasına ve yapının zarar görmesine neden olmuştur.
Santa Maria Kilisesi Paganica-İtalya	Göçme ve Yıkılma	• 1703 sonrası doğal afetler sonucu yıkılan yerlerin bilinçsiz bir şekilde tekrar yapılması ve duvar güçlendirme çalışmalarının yapılması • 1960'lı yıllarda ahşap çatı döşemesinin yerine betonarme döşeme ile değiştirilmesi ve duvar güçlendirme çalışmalarının yapılması	• 1703 yılından sonra yapılan onarımlar; özellikle duvarların kalınlaşmasına neden olmuştur. Duvarlar homojen olmayıp birbiriyle bütünleşmemesinden dolayı yapıda çatlaklar ve ayrılmalar oluşmuş olup 2009 yılında yapının göçme nedenlerinden biri olmuştur. • 1960'larda ahşap çatı döşemenin betonarme döşeme olarak değiştirilmiş olması ve betonarme prefabrik kirişlerle (bu elemanlar çelik bağlantı elemanlar ile sabitlenmiştir) yapının daha ağırlaşmasına ve 2009 yılında yapının çökmesine neden olduğu saptanmıştır.

Tablo 7.1: Tez kapsamında İncelenenYapılardaki Hasar Türleri, Onarım ve Güçlendirme Yöntemi ve Yöntem Sonucu Yaşanan Sorunlar (Devamı)

Kasthamandap Tapınağı	Göçme ve Yıkılma	• 1960'lı yıllarda yapılan temel güçlendirme çalışmasında üst yapının temellere bağlanamaması ve ahşap yapının onarımında çimento esaslı malzeme kullanılması	• 1960'lı yıllarda yapılan çimento esaslı onarım malzemenin bozulmasını hızlandırmış ve yapının temelindeve dört ana taşıyıcı kilit taşından birinin bağlanamaması sonucu 2015 yılında deprem sonucu göçmüştür.
San Marco Çan Kulesi	Göçme ve Yıkılma	• 1902 yılına kadar yapıda zarar gören parçalar değiştirilmiş ve yenilenmiştir. 1902-1912 yılları arası yapının çökmesi ile yapının rekonstrüksiyonu yapılmıştır. Bu çalışmada temel sağlamlaştırma yöntemi uygulanmıştır.	• Yapının temel boyutlarının yetersiz olması ve bundan dolayı yapının afetlerden zarar görmesine neden olmuştur. 1912 yılında yapılan temel sağlamlaştırma çalışmasında eski ve yeni temel birleşimi iyi yapılmadığından çatlakla ve hasarlara sebep olmuştur.
Saint Peter Beauvais Katedrali	Çatlakların Oluşması ve Ayrılmalar	• 1990'lı yıllarda yapıdaki demir gergi elamanların çelik gergi elemanlarla değiştirilmesi	• 1990'lı yıllarda çelik gergi elamanların, demir gergilerle değiştirilmesi yapının daha fazla sünek olmasına ve salınımın artmasından dolayı çatlakların büyümesine neden olmuştur.

Tablo 7.1: Tez kapsamında İncelenenYapılardaki Hasar Türleri, Onarım ve Güçlendirme Yöntemi ve Yöntem Sonucu Yaşanan Sorunlar (Devamı)

St. Francis Assisi Bazilikası-İtalya	Göçme ve Yıkılma	•Yüzyıllar boyunca çatıda yapılan onarım çalışması ve duvarlarda yapılan onarım çalışmalarının yetersizliği	•Çatı onarımları kırık kiremitler arasını doldurmak için kullanılan dolgu malzemesinin birleşim noktalarında birikmesi ve kullanılan gevşek malzemelerden dolayı 1997 yılında tonoz kısmı çökmüştür. Ayrıca tarih boyunca yapılan onarım çalışmalarında duvarlarda harcın yenilenmemesi yapıda ayrılmalar oluşarak 1997 yılında yapının çökmesine neden olmuştur
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası	Çatlakların Oluşması ve Ayrılmalar	•1972-1976 yılları arasında ahşap kirişli döşemeler betonarme döşemeye çevrilmesi ve asma katlar ilavesi •2012 yılında yapılan jet grout sistemi ile zemin güçlendirme çalışması	1972-1976 yılları arasında yapılan çalışma sonucu yapı daha ağırlaşmış olup konumu itibari ile zayıf zeminde inşa edilmiş olan yapının oturmasına bağlı çatlaklar ve ayrılmalar oluşmuştur. • 2012 yılında yapılan zemin güçlendirme çalışmaları istenen parametleri sağlamamış olup yapıdaki hasarlara çözüm olmamıştır. Çatlaklar ve hasarlar zamanla büyümeye devam etmiştir.

Onarım ve güçlendirme metodu tercihinde uygulamanın özgün tasarıma uygun ve geri dönülebilir özelliği de olmalıdır. Onarım ve güçlendirmenin geri çevrilebilir olması; gerektiğinde onarım ve güçlendirmenin uygulandığı kısmın özgün malzemeye zarar vermeyecek şekilde kaldırıp ve geri çevrilebilir olması gerekmektedir. Tüm bu değerlendirmeler ışığında güçlendirme ve onarım metodu seçiminde hangi konular dikkat edilmesi gerektiği gösterilmek istenmiştir. Bu konuda çalışacak kişiler için doğru onarım ve güçlendirme yöntemi tercihinde yol gösterici olacağı inancı ile bu çalışma yapılmıştır.



- [1] E. Gürpınar, “Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Üzerine, ” I.Ü.Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, cilt 24, no. 23, pp. 185-193, 2001.
- [2] E. Ö. Özden ve Z. Görgülü, “ Planlama- Koruma İlişkisi Üzerine Yeni Bir Sistem Önerisi, ” Megaron, cilt 1, no. 4, pp. 234-255, 2006.
- [3] H. T. Örmencioğlu, “Tarihi Yapıların Yapısal Güçlendirilmesinde Ana İlkeler ve Yaklaşımlar, ”Politeknik Dergisi, cilt 13, no. 3, pp. 233-237, 2010.
- [4] N. Bayülke, Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, İzmir: İzmir İMO, 2001.
- [5] T. Tetik, “Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı ve Güçlendirme Teknikleri, ” Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [6] Ç. Türkçü, Yapım, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2000.
- [7] Z. G. Ünal, Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, İstanbul: T.C Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2019.
- [8] A. İ. Ünay, Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, Ankara: ODTU Mimarlık Fakültesi Yayınları, 2002.
- [9] N. Çamlıbel, Geleneksel Yapılarda Stabilitenin İyileştirilmesi ve Temellerin Takviyesi, Ankara: Birsen Yayınevi, 2000.
- [10] H. A. Mahrabel, “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, ” Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [11] abvNews, Ancient Mud Brick Buildings in Danger with Instability in Mali, UNESCO Says, Erişim tarihi: 12.12.2022. <https://abcnews.go.com/International/ancient-mud-brick-buildings-danger-instability-mali-unesco>.
- [12] Wikimedia, Lübeck-Brick, Erişim tarihi: 12.12.2022, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Lübeck-Brick>.

- [13] O. Şimşek, Yapı Malzemesi II, Ankara: Beta, 2001.
- [14] D. E. Akbulut, “Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri, ” Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [15] Z. Ö. Biçer Parlak ve N. Şahin, “Geleneksel Ahşap Yapım Sistemlerinin Uygulamalar Üzerinden İncelenmesi, ” Mimarlık ve Yaşam Dergisi, cilt 5, no. 2, pp. 577-602, 2020.
- [16] V. Tokyay, Mimarlık Ve Ahşap İlişkileri, İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, 2017.
- [17] S. G. Küçük, “Tarihi Eserlerde Demir Malzeme Kullanım ve Uygulama Teknikleri, ” 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Tarihe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 2015. İstanbul
- [18] K. Onaran, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, 2000.
- [19] S. Stuart , J. Moy, W. Howard ve J. Clarke, “Strengthening wrought-iron structures using CFRP, ” Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, cilt 162, pp. 251-261,2009.
- [20] K. Armağan, “Tarihi Yapılarda Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi, ” Yüksek Lisans Tezi , Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012 .
- [21] H. G. Kara, “Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, ” Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [22] G. Croci, The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage, UK and Boston, USA: Computational Mechanics Inc, 1998.
- [23] M. S. Döndüren, Ö. Şişik ve A. Demiröz, “Tarihi Yapılarda Görülen Hasar Türleri, ” Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, no. 13, pp. 45-88, 2017.

- [24] M. Namlı, “Tarihi Yapıların Temel Sistemeleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [25] S. Köseoğlu, Temeller Statiği ve Konstrüksiyonu II Yüzeysel Temeller, İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1986.
- [26] İ. F. Çırak, “ Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler, ” Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, cilt 3, no. 2, pp. 55-60, 2011.
- [27] Z. Ahunbay, Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon, İstanbul: YEM Yayıncılık, 2009.
- [28] G. Arun, “Restoration and Conservation of Architectural Heritage, ” Structural Engineers World Congress – SEWC 2007, Bangalore, 2007.
- [29] H. Sesigür, O. C. Çelik ve F. Çılı, “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme, ” İMO İstanbul Bülten, no. 89, pp. 10-21, 2007.
- [30] A. H. Aköz, “Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, ” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [31] F. Karakuş, “Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Sorunlar, ”Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [32] G. Arun, Behaviour of Masonry Vaults and Domes: Geometrical Considerations, New Delhi, India: Eds.: P.B. Lourenço, P. Roca, C. Modena, S. Agrawal, ISBN 972-8692-27-7, 2006.
- [33] M. V. Kaptan, “Anıtsal Yığma Binalarda Risk Düzeyinin Tespitine İlişkin Bir Öndeğerlendirme Yöntemi, ” Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [34] Sivas.Net.tr, Sivas Ulu Cami (Eğri Minare) Fotoğraf Galerisi, Erişim tarihi: 04.06.2022 <https://www.sivas.net.tr/resimler-ulu-cami-egri-minare>.
- [35] A. Elyamani, N. Bader, M. Algohary ve R. A. Hassan, “Explanation of the Damage to the Royal Family’s Cemetery in Historic Cairo and Examination of

the Building Materials, ” Open Journal of Civil Engineering, no. 11, pp. 28-59, 2011.

- [36] Theconversation, Hagia Sophia: turning this Turkish treasure into a mosque is at odds with its Unesco status, Erişim tarihi: 12.12.2022 <https://theconversation.com/hagia-sophia-turning-this-turkish-treasure-into-a-mosque-is-at-odds-with-its-unesco-status-143372>.
- [37] A. Fradeletto, l Campanile Di San Marco Riedificato: Studi, Ricerche, Relazioni, a Cura del Comune di Venezia, Commune di Venezia, 1912.
- [38] Collectif2015, Sorader, Erişim tarihi: 12.12.2022 <https://www.collectif2015.org/tr/100Monuments/L-Eglise-de-la-Sainte-Croix-d-Aghpag-ou-de-Saint-Edchmiadzin-de-Sorader/>.
- [39] O. C. elik, Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi, BASF'den Master Builders Solutions, 2016.
- [40] F. Aköz ve N. Yüzer, “Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler, ”IMO-1. Insaat Muhendisligi Egitimi Sempozyumu, İstanbul, 2009.
- [41] B. Küçükdoğan, “A Study on Strengthening and Repair Methods for Historical Costruction, ” Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2,, Diyarbakır, 2007.
- [42] G. F. Pehlivan, “ Tarihi Yapılarda Pasif Yangın Önlemlerinin Artırılmasına Yönelik Bir Yöntem Önerisi, ” Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ensititüsü, ” 2017.
- [43] BBC, Notre-Dame Yangını, Erişim tarihi: 05.06.2022 <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-47941760>.
- [44] BBC, Venedik'te Su Baskını , Erişim tarihi: 05.06.2022, <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-50453019>.
- [45] A. Küçükkaya, Taşların Bozulma Nedenleri Koruma Yöntemleri, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2004.
- [46] A. Özdemir, Kayseri Melik Gazi Türbesi. Anadolu Ajansı Arşivi, 2011.

- [47] A. İ. Ünal, Tarihi Yapıların Depreme Karşı Dayanımı, Ankara: ODTU Mimarlık Fakültesi Yayınları, 2002.
- [48] M. M. Saraç, “Tarihi Yığma Kagir Yapıların Güçlendirilmesi, ” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [49] E. Bol, A. Özocak ve S. Sert, “Koni Penetrasyon Deneyi ile Zeminlerin Karakterizasyonu, ” Academic Platform Journal of Engineering and Science, cilt 2, no. 2, pp. 22-33, 2014.
- [50] H. Garrecht, “Climatic Problems at Speyer Cathedral-Monitoring as a Contribution to Preservation, ”RILEM TC 177-MDT Workshop on On-Site Control and Non-Destructive Evaluation of Masonry Structures, Mantova, Italy, 2001.
- [51] N. Y. Bayrak ve E. Kishali, “Tarihi Yapılarda Hasarsız Testler Aracılığıyla Önleyici Korumanın Sağlanması: Kocaeli Ulugazi İlkokulu Örneği, ”Mimarist, no. 3, 200-255, 2017.
- [52] F. Aköz, Yığma Kagir Yapılarda Hasar Tespiti, Ankara: YDGA2005, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2005.
- [53] G. K. Altaş, S. A. Özgünler ve E. Gürdal, İstanbul'da Bulunan Erken Bizans Dönemi Savunma Yapılarında Kullanılan Horasan Harçların Özelliklerinin İncelenmesi, Vakıf Restorasyon Yıllığı, 2013.
- [54] ICOMOS, “Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü, ” http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_0901543001353670596, 1999.
- [55] G. Arun, “Yığma Kagir Yapı Davranışı,» YDGA2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2005.
- [56] F. Karakuş, “Tarihi Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin İncelenmesi, ” International Journal of Scientific and Technological Research, cilt 5, No.5, 90-107,2019.

- [57] P. Gavrilovic, N. İgnatiev, P. Kremezis ve N. Laszlo, "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick, " Masonry Buildings, Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region, Vienna, 1983.
- [58] F. Arslan, "Depremden Zarar Görmüş Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [59] Tarihlisanat, Çemberli Taş Sütunu, Erişim tarihi: 08.06.2022, <https://www.tarihlisanat.com/constantinus-sutunu-cemberlitas>.
- [60] Sivas.Net.tr, Sivas Resimleri, Erişim tarihi: 08.06.2022 , <http://www.sehirler.net/resim-sivas-resimleri>.
- [61] İ. Değirmenci ve M. Sarıbiyık, "Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar ve FRP Malzemelerin Kullanımı, ".3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. Valencia, 2015
- [62] M. Yeğin, "Geleneksel Yapıların Restorasyonunda Malzeme, Teknoloji ve Tekniklerin Araştırılması Geliştirilmesi, " Üniversite-Sanayi İşbirliği Merkezleri Platformu (USİMP) Üniversite Sanayi İşbirliği Ulusal Kongresi, Ankara, 2008.
- [63] L. La Mendola, M. Accardi, C. Cucchiara ve V. Licata, "Nonlinear FEM Analysis of out-of-Plane Behaviour of Masonry Walls with and without CFRP Reinforcement, " Construction and Building Materials, pp. 54,190-196, 2014.
- [64] Dmskentseldonusum, FRP ile Güçlendirme, Erişim tarihi: 08.06.2022 <https://dmskentseldonusum.com/sayfa/frp-guclendirme-yontemi>.
- [65] İ. V. B. Müdürlüğü, 2008-2010 Restorasyon Arşivi.
- [66] G. Croci, "General methodology for the structural restoration of historic buildings: the cases of the Tower of Pisa and the Basilica of Assisi, " Journal of Cultural Heritage 1, no. 1, pp. 7-18, 2000.

- [67] E. Toğrol, M. T. Özkan, F. Ören ve M. Özbatır, “Fethi Ahmet Paşa Yalısı Temel Takviyesi, ” Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi, İzmir, 1996.
- [68] A. O. Erol ve Z. Ç. Bayram, Jet Enjeksiyon Yöntemi., Ankara: Yüksel Proje Uluslararası A.Ş, 2018.
- [69] Arin Zemin, Zemin İyileştirme, Erişim tarihi: 10.06.2022, http://www.arinzemin.com.tr/zemin_iyilestirme.php.
- [70] F. Tunçdemir, “Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi, ” Türkiye Mühendislik Haberleri, cilt 2, no. 430, pp. 59-64, 2001.
- [71] E. Toğrol, “Temel Takviyesi Yöntemlerine yeni bir bakış” Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi, Ankara, 1994.
- [72] J. B. Burland, M. B. Jamiolkowski ve C. Viggiani, “Underexcavating the Tower of Pisa: Back to Future, ” Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, cilt 46, no. 4, 2015.
- [73] E. S. Ovando, M. O. P. Oliveira, E. S. Villa ve V. Hernández, “Mexico City: Geotechnical Concerns in the Preservation of Monuments, ” International Journal of Architectural Heritage, cilt 2, no. 1, pp. 60-82, 2008.
- [74] K. Baş, “Temel Takviye Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, ” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [75] T. Rossetto, D. F. D'Ayala, F. Gori, R. Persio ve J. Han, “The value of multiple earthquake missions: the EEFIT L'Aquila Earthquake experience, ” Bulletin of Earthquake Engineering, cilt 1, no. 12, pp. 277-305, 2014.
- [76] Anadolu Ajansı, Bin Yıllık Hamama Çelik Desteği, Erişim tarihi: 11.06.2022 <https://www.aa.com.tr/tr/kultur-sanat/2-bin-yillik-hamama-celik-destegi/1285415>.
- [77] Sfcityguides,Public_Guidelines, Erişim tarihi: 12.05.2022, http://www.sfcityguides.org/public_guidelines.html.
- [78] Venedik Tüzüğü, 1964.

- [79] Kültür ve Turizm Bakanlığı; Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu, Taşınmaz Kültür Varlıklarının Gruplandırılması, Bakım ve Onarımları, Ankara: <https://teftis.ktb.gov.tr/TR-13918/660-nolu-ilke-karari-tasinmaz-kultur-varliklarinin-grup-.html>, 1999.
- [80] British Museum, Ancient Greece: The Parthenon British Museum, Erişim tarihi: 12.05.2022, <https://www.britishmuseum.org>.
- [81] M. Korres, G. Panetsos ve T. Sekki, Parthenon Architecture and Conservation, Atina: Osaka City Museum, 1996.
- [82] N. Toganidis, "Parthenon Restoration Project, " XXI International CIPA Symposium, Athina, 2007.
- [83] J. Jokilehto, A History of Architectural Conservation, Butterworth Heinemann: Oxford, 2002.
- [84] L. Lambrinou, "Acropolis Restored, " Parthenon North Side, British Museum editions, 2012, pp. 49-56.
- [85] N. Balanos, C. Massin ve A. Lévy, Le monuments de l'Acropole: Rel vement et Conservation, Atina: Michigan Üniversitesi, 1938.
- [86] PBS, Secrets of Parthenon, Erişim tarihi: 12.05.2022 <https://www.pbs.org/wgbh/nova/parthenon/rest-01.html>.
- [87]  . M. Tarhan, " Beycesultan ve Laodikeia  rneklerinden Hareketle Kazı Alanlarındaki Arkeolojik Koruma Olgusunun Değerlendirilmesi, " Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2019.
- [88] S. Kourkoulis, E. G. Papageorgiou ve M. Mentzini, "Dionysos marble beams under bending: A contribution towards understanding the fracture of the Parthenon architraves, " Engineering Geology, no. 115,3,4, pp. 246-256, 2010.
- [89] M. Mentzini, "Structural Interventions on the Drums of the Parthenon's North Colonnade, " Frattura ed Integrit  Strutturale, no. 40, pp. 95-106, 2017.
- [90] Encyclopaedia Britannica, "Leaning Tower of Pisa, " <https://www.britannica.com/topic/Leaning-Tower-of-Pisa>, 2020.

- [91] M. B. Jamiolkowski, "The Leaning Tower of Pisa: End of an Odyssey, " 15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, İstanbul, 2001.
- [92] G. Fiorentino, G. Quaranta, G. Mylonakis, D. Lavorato ve A. Pagliaroli, "Seismic Reassessment of the Leaning Tower of Pisa: Dynamic Monitoring, Site Response, and SSI, " *Earthquake Spectra*, cilt 35(2), no. May, pp. 703-776, 2019.
- [93] Ç. N. Hıdıroğlu, "HTTM (History/Theory/Technology/Modeling) Öğrenme Sürecine Bir Bakış (Beklentiler, İhtiyaçlar ve Sürecin Akışı): Galileo ve Pisa Kulesi Deneyi HTTM Etkinliği, ".İstanbul, 2018.
- [94] G. Barsali, *History & Masterpieces of Pisa (History and Masterpieces)*, Italy: Bonechi Edizioni 'Il Turismo' s.r.l., 1999.
- [95] A. M. Puzrin, E. E. Alonso ve N. Pinyol, *Geomechanics of Failures-Leaning Instability: The Tower of Pisa*, Italy, Springer, 2010.
- [96] A. Melis ve J. Gatley, "A romantic in Tuscany: Alessandro Gherardesca and the transformation of Pisa's Piazza del Duomo, " *Cogent Social Sciences*, cilt 4, no. 1, pp. 1-21, 2018.
- [97] J. B. Burland, M. B. Jamiolkowski,, N. Squeglia ve C. Viggiani, *The Tower of Pisa: History, Construction and Geotechnical Stabilization (Built Heritage and Geotechnics)* 1st Edition, CRC Press; 1st edition, 2003.
- [98] H. Edmund, "The use of underexcavation as a means of stabilising the leaning tower of Pisa: scale model tests, " MSc Thesis, Imperial College, 1993.
- [99] D. M. Potts ve A. Gens, "The effect of the plastic potential in boundary value problems involving plane strain deformations, " *Int. Journ. Anal. Numer. Methods in Geomechanic*, no. 8, pp. 259-286, 1994.
- [100] C. Viggiani, *The leaning tower of Pisa: present situation*, Proceedings of the X ECSMFE, Florenca: Associazine Geotechnica Italiana, 1991.
- [101] J. B. Burland, M. Jamiolkowski, N. Squeglia ve C. Viggiani, *The Leaning Tower of Pisa*, London: Taylor&Francis Group, 2013.

- [102] G. Croci, "Seismic Behaviour and Reinforcement Criteria of Monuments and Historic Buildings, "Türkiye ve İtalya'dan Restorasyon Uygulamaları, İstanbul, 2004.
- [103] Encyclopaedia Britannica, Metropolitan- Cathedral – Mexico – City, Erişim tarihi: 12.05.2022, [https:// www.britannica.com/place/Metropolitan-Cathedral-Mexico-City-Mexico](https://www.britannica.com/place/Metropolitan-Cathedral-Mexico-City-Mexico).
- [104] P. P. Rossi ve S. S. Zalvidar, "Testing and monitoring for the restoration of the Metropolitan Cathedral in Mexico City," In Int. Conference, Napoli, 1996.
- [105] E. Tamez, E. Santoyo ve E. S. Ovando, "Invited lecture: Underexcavation of Mexico City's Metropolitan Cathedral, "14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, 2015.
- [106] A. M. Puzrin, E. E. Alanso ve N. M. Pinyol, "Interaction between Neighbouring Structures: Mexico City Metropolitan Cathedral, " Mexico, Geomechanics of Failures, Dordrecht, Springer, 2010, pp. 9-20.
- [107] O. Shelley ve L. R. Manzalina, "An Archaeological Interpretation of Geotechnical Soundings Under the Metropolitan Cathedral ,Mexico City, " Archeometry, no. 39, pp. 221-235, 1997.
- [108] V. Hernandez, E. Santoyo ve J. Hernández, "Geotechnical behavior of the Cathedral after 10 years of the intervention of subsoil, " Proceedings of SAHC 2014,, Mexico City, 2014.
- [109] Instituto de Ingeniería Unam, Catedral Metropolitana Hundimiento Rescate, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [110] Revista.unam, La Rehabilitación de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México, Erişim tarihi: 13.06.2022, <http://www.revista.unam.mx/vol.2/num2/proyec1/index.html>.
- [111] Viajalavid, Mexico, Erişim tarihi: 12.05.2022, <https://viajalavida.com/que-hacer-en-ciudad-de-mexico>.

- [112] B. Linda, A. Saisi, D. R. Benedictis, ve S. Tringali, "Experimental study on the damaged pillars of the Noto Cathedral, " WIT Transactions on The Built Environment, no. 66, p. 100, 2003.
- [113] C. Gavarini, "La cattedrale di Noto, Analisi Statica e Dinamica Delle Strutture. In: Abstract, Seminario Internazionale, Ricostruendo la Cattedrale di Noto e la Frauenkirche di Dresda, "Due casi studio di ricostruzione in muratura. Noto, Nato, 2000.
- [114] E. Boschi, E. Guidoboni ve D. Mariotti, "I Terremoti dell'Area Siracusana e i Loro Effetti in Ortigia, "Codice di Pratica Per Gli Interventi Antisismici Nel Centro Storico., Nato, 1993.
- [115] C. Canella, "Noto-La Struttura Continua Della Citta` Tardo Barocca, " Palermo: Flaccovio, no. 58, pp. 288-289, 1976.
- [116] S. Tobriner, "Building the Cathedral of Noto; Earthquakes, Reconstruction and Building Practice in 18th-century Sicily, " Construction and Materials, no. 17, pp. 521-532, 2003.
- [117] P. Nifosi, Una Citta` Tardobarocca, Sicili: Comune di Scicli, 1998.
- [118] F. Mancini ve A. E. Scotti, "La basilica di S. Maria degli Angeli, " Storia Architettura, cilt Pereguai: Elacta 1, 1989.
- [119] Archivio di Stato Siracusa, Notary Natale Marotta, Obligatio Per La Nuova Chiesa di S. Maria la Rotonda. In the Church 'una Catena di Ferro Per Rifornire Della Med.sa', 7455, 245-47, 1729
- [120] S. Triangali, D. R. Benedictis ve R. L. Rosaa, "The Reconstruction of the Cathedral of Noto, " Construction and Materials, cilt 17, pp. 573-578, 2003.
- [121] G. Abate, M. R. Massimino ve M. Maugeri, "Effects of DSSI on Noto Cathedral Behaviour: Evaluation by Means of FEM Analyses, " In Protection of Historical Buildings: Proceedings of the International Conference on Protection of Historical Buildings, PROHITECH 09, Rome, 2009.

- [122] L. Binda, A. Saisi, D. R. Benedictis ve S. Tringali, "Experimental Research for the Choice of Adequate Materials for the Reconstruction of the Cathedral of Noto, " *Construction and Building Materials*, no. 17, pp. 629-639, 2003.
- [123] S. Tringali, "The Partial Reconstruction Design of the Cathedral of Noto Part I: the Social-Economic Impact on the Town and on the Territory and the Cross-Vaults, Arches and Dome System, " *Construction and Building Materials*, no. 17, pp. 595-602, 2003.
- [124] V. Alvaro, "Materiali compositi a matrice cementizia per i rinforzi strutturali, " . Doctoral Dissertation, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, 2007.
- [125] Lct-architettura, Lavori di Ricostruzione e Restauro Della Chiesa di S.Nicolo' di Noto, Erişim tarihi: 12.05.2022, http://www.lct-architettura.it/public_news/news_Articolo.
- [126] M. Maugeri, G. Abate ve M. R. Massimino, "Soil-Structure Interaction for Seismic Improvement of Noto Cathedral (Italy), " *Special Topics in Earthquake Geotechnical Engineering*, Catania, Springer Science+Business Media B. V., 2012, pp. 217-239.
- [127] D. Howard, "The Church of the Miracoli in Venice and Pittoni's St Jerome Altar-Piece, " *The Burlington Magazine*, cilt 131, no. 1039, pp. 684-692, 1989.
- [128] V. Fasinna, "Microclimatic survey in S. Maria dei Miracoli Church in Venice in Relation to Marble Decay, " *International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 1992.
- [129] E. R. C. Richards, "Marine Hybrids, the Lombardo Workshop and the Immaculate Virgin of Santa Maria dei Miracoli, " Doctoral dissertation, Ohio University, Venedik, 2010.
- [130] V. Fasinna ve A. G. Stevan, "The moisture behaviour in Venetian buildings structure, " *Proc. of the 4th Expert Meeting of Conservation of Historic Brick Structures*, Amsterdam, 1990.

- [131] V. Fassina, "A survey on air pollution and deterioration of stonework in Venice," *Atmospheric Environment*, no. 12, pp. 2205-2211, 1978.
- [132] İ. Kılıç, "Horasan Harç ve Sıvaları," *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1-Malzeme Araştırmaları*, İstanbul, 2007.
- [133] S. E. Pusat, "Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Üretimi," *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2002.
- [134] Savevenice, Church of Sanata Maria dei Mirocoli, Erişim tarihi: 12.05.2022 <https://www.savevenice.org/project/church-of-santa-maria-dei-miracoli>.
- [135] N. Augenti, "Chiesa di Santa Maria Paganica," *L'Università e la Ricerca per l'Abruzzo. Il patrimonio culturale dopo il terremoto del 6 aprile 2009*. L'Aquila: Textus, 7, 70-77, 2012.
- [136] F. Giustizia, "Documenti e Regesti dell'Archivio di S. Maria Paganica in L'Aquila," *L'Aquila*, 2019.
- [137] G. D. Gasperis ve S. Mantini, "The Virtual Reconstruction Project of Unavailable Monuments: An Example of the Church of Santa Maria Paganica in L'Aquila. P. Fogliaroni et al. (eds.)," *Proceedings of Workshops and Posters at the 13th International Conference on Spatial Information Theo*, 2018.
- [138] C. Bartolomucci, G. Botti, A. Donatelli, A. Placidi ve M. Zuppiroli, "Dopo la catastrofe: una casistica rappresentativa dello stato dei monumenti danneggiati dai terremoti aquilano ed emiliano," *Materiali e Strutture*. 1, 2012.
- [139] A. Borri ve M. Corradi, "Architectural Heritage: A Discussion on Conservation and Safety" *Heritage* 2, no. 1: 631-647, 2019.
- [140] C. Croci, S. Cattari, S. Lagomarsino ve C. Tocci, "The Case Study of Santa Maria Paganica Church Damaged by 2009 L'Aquila Earthquake," *Advanced Materials Research*, Cilt 1, 133-134, pp. 163-168, 2010.

- [141] E. Madenci, "A Refined Functional and Mixed Formulation to Static Analyses of FGM Beams," *Structural and Mechanics*, cilt 69, no. 4, pp. 427-437, 2019.
- [142] L. Gemi, U. Köklü, Ş. Yazman ve S. Morkavuk, "The Effects of Stacking Sequence on Drilling Machinability of Filament Wound Hybrid Composite Pipes: Part-1 Mechanical Characterization and Drilling Tests," *Composites Part B: Engineering*, no. 186, pp. 107-787, 2020.
- [143] L. Gemi, E. Madenci ve Y. Özkılıç , "Cam FRP ve Hibrit Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme Performansının İncelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 8, pp. 1470-1483, 2020.
- [144] J. T. Mottram, "Does Performance Based Design with Fibre Reinforced Polymer Components and Structures Provide Any New Benefits and Challenges," *Structure Engineering*, cilt 6, no. 89, pp. 23-27, 2011.
- [145] S. Russo., G. Bascota ve J. T. Mottram, "Design and Free Vibrations of a Large Temporary Roof FRP Structure for the Santa Maria Paganica Church in L'aquila," *Proceedings of CICE 2012 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*, L'aquila, 2012.
- [146] G. Boscato, A. D. Cin ve S. Russo , "Dynamic Identification of All-FRP Pultruded Structures," *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, cilt 7, no. 2, 2015.
- [147] S. Russo, "Sulla Risposta Sismica di Strutture in PFRP: Il Caso della Copertura della Chiesa di S. M. Paganica All'Aquila "Parte II: la struttura Progettazione Sismica , 2011.
- [148] D. Risal, "Kasthamandap: Microcosm of Kathmandu's Living Culture and Storied History," <https://www.semanticscholar.org/paper/Kasthamandap>, 2015.
- [149] R. A. Coningham, K. P. Acharya, C. E. Davis, R. B. Kunwar ve I. A. Simpson, "Preliminary results of post-disaster archaeological investigations at the Kasthamandap and within Hanuman Dhoka," *Kathmandu Valley UNESCO*

World Heritage Property (Nepal).', Ancient Nepal, no. 191-192, pp. 28-51, 2016.

- [150] Wikipedia, Kasthamandap, Erişim tarihi: 11.06.2022, <https://en.wikipedia.org/wiki/Kasthamandap>.
- [151] W. Korn, The Traditional Architecture of the Kathmandu Valley. Kathmandu, Ratna Pustak Bhandar, 1996.
- [152] I. A. Simpson, L. Kelly ve T. Kinnaird, "Geo-Archaeological Assessment of Foundation Fills, Kasthamandap, Nepal, "Geoarchaeological Assessment of Post-earthquake Kasthamandap Working Paper 2., Nepal, 2019.
- [153] D. Gautam , "Unearthed lessons of 25 April 2015 Gorkha earthquake (Mw 7.8): geotechnical earthquake engineering perspectives, "Geomatics, Natural Hazards and Risk, no. June, pp. 1-25, 2017.
- [154] C. Davis, R. Coningham, K. P. Acharya ve R. B. Kunwar, "Identifying archaeological evidence of past earthquakes in a contemporary disaster scenario: case studies of damage, resilience and risk reduction from the 2015 Gorkha Earthquake and past seismic events within the Kathmandu Valley UNESCO World Heritage Pr, " Journal of Seismology, cilt 24, no. 4, 2020.
- [155] Onlinekhabar, Kasthamandap Reconstruction: The tough task has taught lessons about Kathmandu's ancient architecture, Erişim tarihi: 12.09.2021, <https://english.onlinekhabar.com/kasthamandap-reconstruction-progres>.
- [156] A. Garozzo, "Il Rinnovamento dei Campanili nel Cinquecento: I casi di Venezia, Siviglia, Messina, " Archivio istituzionale della ricerca dell'Università degli Studi di Palermo Prodotti della, 2017.
- [157] Wikipedia, St Mark's Campanile, Erişim tarihi: 12.06.2022, https://en.wikipedia.org/wiki/St_Mark%27s_Campanile.
- [158] D. Donghi, "La Ricostruzione del Campanile di S. Marco a Venezia, " Stab. Tip. del Genio Civile, 1913.
- [159] G. Gattinoni, Il campanile di San Marco in Venezia, Pranava Books (Hard copy 2020), 1912.

- [160] M. Marchesini, *Un Secolo All'ombra - Crollo e Ricostruzione del Campanile di San Marco [1902-2002]*, Momenti AICS, Venice, 2002.
- [161] G. Macchi, S. Macchi, M. Jamiolkowski ve D. Pastore , “Geotechnics and Heritage, ” Strengthening of the San Marco bell tower foundation in Venice, CRC Press, 2013.
- [162] V. Daniele , M. Siepi, S. Macchi ve S. Pastore, “Deep Soil Mixing Helps Venice San Marco Bell Tower, ” The Magazine of the Deep Foundations Insitute, no. July, pp. 71-73, 2012.
- [163] S. Murray, *Beauvais Cathedral: Architecture of Transcendence*, Princeton: Princeton University Press, Beauvais, 1989.
- [164] J. J. Bourassé, *Les Plus Belles Cathédrales de France*, Bastion, Beauvais, 1891.
- [165] J. L. Taupin, “Cathédrale de Beauvais: de L'incertitude à la Decision, ” Proceedings of the IABSE symposium on structural preservation of the architectural heritage., Zurich., 1993.
- [166] M. I. Wolfe ve R. Mark, *The Collapse of the Vaults of Beauvais Cathedral in 1284*, Speculum, Beauvais , 1976.
- [167] P. Dillmann, “From Soissons to Beauvais: the use of iron in some French cathedrals., ” The Archaeometallurgy of Iron e Recent Developments in Archaeological and Scientific Research, ASCR, Prague, 2011, 173-197
- [168] P. Dillmann ve M. L'Héritier, “Slag Inclusion Analyses for Studying Ferrous Alloys Employed in French Medieval Buildings: Supply of Materials and Diffusion of Smelting Processes., ” Journal of archaeological science, cilt 34, no. 11, pp. 1810-1823, 2007.
- [169] P. Dillmann, A. Perez, E. Vega, D. Arribet-Deroin ve R. Aranda, “Understanding the Walloon Method of Iron Refining: Archaeological and Archaeometric Experiments, Phase I, ” Historical Metallurgy, cilt 46, no. 1, pp. 19-31, 2012.

- [170] V. Quintas, A Study of Structural Behaviour of Beauvais Cathedral, WIT Transactions on The Built Environment 16, Spain, 1970.
- [171] D. Theodossopoulos ve B. Sinha, "Structural Safety and Failure Modes in Gothic Vaulting Systems, " In Proceedings of the 8th International Seminar on Structural Masonry, Edinburgh, 2008.
- [172] V. Quintas, "On Gothic Vaults Structural Behaviour, " Public Assembly Structures From Antiquity to Present, İstanbul, 1993.
- [173] A. Disser, P. Dillmann, C. Bourgain ve M. l'Héritier, "Iron reinforcements in Beauvais and Metz Cathedrals: from Bloomery or Finery? The Use of Logistic Regression for Differentiating Smelting Processes. J, " Journal of Archaeological Science, no. 42, pp. 315-333, 2014.
- [174] P. K. Allen, A. Troccoli, B. Smith ve I. Stamos, "The Beauvais Cathedral Project, " Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, IEEE, Madison, 2003, 100-137.
- [175] M. G. Angelini, V. Baiocchi, D. Costantino ve F. Garzia, "Scan to BIM for 3D Reconstruction of the Papal Basilica of Saint Francis in Assisi in Italy, " International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences,, Florence, 2017.
- [176] G. Bonsanti, G. Roli ve S. Sartarelli, The Basilica of St. Francis of Assisi: Glory and destruction, New York: H.N. Abrams, 1998.
- [177] J. Castex, Architecture of Italy, Conn: Greenwood Press, Westport, 2008.
- [178] E. Piermarini ve I. E, "The Dynamic Behavior of the Basilica of San Francesco of Assisi, " Degree of Master of Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering in Partial Fulfillment of the Requirements, 2013.
- [179] G. Croci, "Strengthening the Basilica of St Francis of Assisi after the September 1997 earthquake., " Structural Engineering International, cilt 3, no. 11, pp. 207-210, 2001.

- [180] G. Basile, *Restauri in San Francesco ad Assisi: Il Cantiere Dell'utopia : Studi, Ricerche e Interventi Sui Dipinti Murali e Sulle Vetrate Dopo il Sisma del 26 Settembre 1997*, Quattroemme, Perugia, 2007.
- [181] M. Gambetti, F. Garzia, V. Baiocchi ve F. Borghini, *The Intenet of Everything System for the Papal Basilica and Sacred Convent of Saint Francis in Asisi*, WEF2017, Roma, 2017
- [182] M. S. Ökten, “Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası’nın Taşıyıcı Sistem Güvenliği Konusunda Teknik Rapor, ” Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, 2020.
- [183] N. R. Aysel, “Konferans Salonu: Sanayi-î Nefise Mektebinden Üniversiteye Bir Mekânın Tasarım ve Değişimi, ” *Tasarım + Kuram*, Cilt 8, no. 13, pp. 11-33, 2012.
- [184] D. Binan, T. Töre ve S. Kut, “Mimari Koruma Alanında Arttırılmış Gerçekliğin Kullanımı ve Değerlendirmesi Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Örneği, ” *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri* (<https://www.researchgate.net/publication/271496941>), İstanbul, 2019

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. Y. H. Yıldırım ve A. O. Kuruşcu , "Eski Eserlerin Onarım ve Güçlendirilmesinde Yapılmış Uygun Olmayan Yöntemler", AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture, c. 6, sayı. 2, ss. 263-289, Ara. 2022, doi:10.53600/ajesa.1123408

