



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN ZEMİN PROBLEMLERİ:
ARAPGİR CAFER PAŞA CAMİİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Kaan KESKİN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212303406 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi İsmail Kaan KESKİN tarafından hazırlanan “**TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN ZEMİN PROBLEMLERİ: ARAPGİR CAFER PAŞA CAMİİ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Ali KÖKEN

Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 14/08/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İsmail Kaan Keskin

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında çok değerli bilgilerini benimle paylaşan başta danışman hocam Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT “Aksaray Üniversitesi” olmak üzere, değerli hocalarım Prof. Dr. Ali Ural’a “Aksaray Üniversitesi”, Prof. Dr. Mehmet Emin Kara’ya “Aksaray Üniversitesi”, Prof. Dr. Niyazi Uğur Terzi’ye “Aksaray Üniversitesi”, Dr. Öğr. Üyesi Can Erenson’a “Aksaray Üniversitesi”, çalışmam süresince benden yardımlarını esirgemeyen Tarık Öcal’a ve hayatımın her safhasında beni destekleyen aileme teşekkür etmeyi borç bilirim.

İsmail Kaan Keskin
Aksaray, 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
2. ARAPGİR CAFER PAŞA CAMİ.....	4
2.1 Genel Bilgiler	4
2.2 Harım Kısımının Değerlendirilmesi	6
2.3 2006 Yılında Yapılmış Onarım	13
3. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN ZEMİN PROBLEMLERİ	15
3.1 Oturma Sorunları	16
3.1.1 Üniform oturma	18
3.1.2 Yapının yan yatması	19
3.1.3 Farklı oturma.....	20
3.2 Yer Altı Suyunun Yapıya Etkisi.....	21
3.3 Taşıma Gücü Sorunu	22
3.4 Zemin Sıvılaşması	22
3.5 Ağaçlar	24
3.6 Fiziksel ve Kimyasal Ayrışmalar	24
3.7 Kuraklık.....	24
3.8 Yapıya Yakın Yapılan Kazılar ve Trafik	24
3.9 Kayma ve Çökme Sorunları	25
4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA ZEMİN PROBLEMLERİ SEBEBİYLE OLUŞAN ÇATLAKLAR	26
5. ZEMİN İYİLEŞTİRME-GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ	28
5.1 Tarihi Yapılarda Kullanılabilecek Zemin İyileştirme Yöntemleri	30
5.1.1 Drenaj.....	30
5.1.2 Jet grout yöntemi	33
5.1.3 Enjeksiyon yöntemleri	35
5.1.4 Mikro (mini) kazıklar yöntemi	36
5.2 Diğer Zemin İyileştirme Yöntemleri	37
5.2.1 Kompaksiyon.....	37
5.2.2 Çimento ile stabilizasyon.....	38
5.2.3 Kireç ile stabilizasyon.....	39
5.2.4 Bitüm ile stabilizasyon.....	39
5.2.5 Ön yükleme.....	40
5.2.6 Prefabrik drenler	40
5.2.7 Kum drenleri	40
5.2.8 Patlatma yöntemi	41
5.2.9 Taş kolonlar	41
5.2.10 Vakumla su emme metodu	43
5.2.11 Vibro kompaksiyon yöntemi	43
5.2.12 Dinamik kompaksiyon metodu.....	44
5.2.13 Derin karıştırma	45
5.2.15 Kireç kazıkları.....	46

5.2.16 Elektro osmoz	46
5.2.17 Isıl işlemler	47
5.2.18 Geosentetik malzemeler	48
5.2.19 Akıllı zeminler	49
6. CAFER PAŞA CAMİ’NİN YAPISAL ANALİZLERİ.....	50
6.1 Cafer Paşa Cami’nin Modellenmesi	50
6.2 Zati Yük Analizi	52
6.3 Deprem Yüğü Analizi	58
7. CAFER PAŞA CAMİ’NİN ZEMİNİNİN İNCELENMESİ.....	68
7.1 Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler.....	68
7.2 Cami ve Çevresinin Jeolojisi	70
7.3 Arazi Çalışmaları.....	71
7.4 Jeofizik Çalışmaları	71
7.5 Araştırma Çukurları (Sondajlar).....	72
7.6 Laboratuvar Deneyleri ve Sonuçları.....	73
7.7 Kaya Türlerinin Sınıflandırılması	73
7.8 Zemin Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve Öneriler	75
8. SONUÇ.....	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ.....	85

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN ZEMİN PROBLEMLERİ; ARAPGİR CAFER PAŞA CAMİİ ÖRNEĞİ

İsmail Kaan KESKİN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ÖZET

Yığma yapılar bir çerçeve sisteme sahip olmayan ve ana taşıyıcı elemanı genellikle duvarlar olan yapılardır. Bu yapılarda, her birim kendine düşen yükü sonraki elemana aktarır ve yükün dolaylı yoldan zemine iletilmesini sağlar. Tarihi yığma yapılar, gevrek malzemelerden oluştuğu için, zeminde meydana gelen küçük bir oturma tüm sistemi etkiler. Tarihi yapıların zeminden kaynaklanan problemlerinin çoğu oturma kaynaklı olmaktadır. Oturmaların başlıca nedenleri; taşıyıcı sistemde yapılan değişiklikler, zeminde meydana gelen ayrışmalar ve kaymalar, yapı çevresinde yapılan kazı çalışmaları, temel kazıklarının çürümesi, deprem, yer altı su seviyesinin değişmesi, trafik ve diğer insan faktörleri olarak sıralanabilir. Çeşitli sebeplerle zemin problemlerine maruz kalan tarihi yapıların, aslını bozmadan, gelecek nesillere aktarılmasını sağlamak önem arz etmektedir. Bunu sağlayabilmek için iyileştirme ve güçlendirme yöntemleri kullanılabilir. Teknolojik gelişmeler sayesinde zeminlerin elverişli hale getirilmesi için yeni yöntemler geliştirilmektedir. Bu çalışma sırasında Malatya ilinin Arapgir ilçesinde bulunan tarihi Cafer Paşa Cami'nin zemin problemleri yüzünden deformasyonlara maruz kaldığı tespit edilmiştir. Yapı üzerindeki gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri saptamak için cami LUSAS sonlu elemanlar programı ile modellenmiş ve doğrusal analizleri yapılmıştır. Çalışma sonunda analiz sonuçları değerlendirilmiş, caminin ve çevresinin güçlendirilmesi için yapılması gereken önerilerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Yapılar, Zemin Problemleri, Kültürel Miras, LUSAS

Ağustos, 2023; 85 Sayfa

M.Sc. THESIS

GROUND PROBLEM IN HISTORICAL STRUCTURES; THE CASE OF ARAPGİR CAFER PASHA MOSQUE

İsmail Kaan KESKİN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ABSTRACT

Masonry structures are the structures without a load-bearing frame system and whose main carrier element is usually the walls. In masonry structures, each unit transfers its own load to the next unit, and this allows the load to be transferred to the ground indirectly. Since historical masonry structures are made of fragile materials, even the smallest settlements on the ground affects the whole system. The majority of the problems arising from the ground of historical structures are caused by settlement. The main reasons for settlements are as follows; changes to the carrier system, separation and slippage in the ground, excavations around the structure, rotting of foundation piles, earthquake, changes of the groundwater level, traffic and other human factors. It is very important to ensure that historical buildings, which are exposed to ground problems for various reasons, are transferred to future generations without spoiling their essence. In order to achieve this, ground improvement and strengthening methods can be used. By the aid of technological improvements, new methods are being developed to make the ground suitable. During this study, it was determined that the historical Cafer Pasha Mosque in the Arapgir district of Malatya was exposed to deformations due to the ground problems. In order to determine the stresses and deformations on the construction, the mosque was modelled by the LUSAS finite element program and linear analyzes were made. By the end of the study the results of analyses were evaluated, the precautions to be taken to strengthen the mosque and its perimeter were mentioned.

Keywords: Historical Structures, Ground Problems, Cultural Heritage, LUSAS

August, 2023; 85 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Zemin Kat Planı (+1.50 kotu).....	4
Şekil 2.2. Caminin dışarıdan görünüşü.	5
Şekil 2.3. Cafer Paşa Cami'nin vaziyet planı ve kotları.	6
Şekil 2.4. Camide görülen hasarlar.	7
Şekil 2.5. Caminin zemini.....	10
Şekil 2.6. Caminin dış duvarındaki çatlaklar.	10
Şekil 2.7. Caminin iç duvarındaki çatlaklar.....	11
Şekil 2.8. Caminin kemer ve kubbesinde meydana gelen çatlaklar.....	11
Şekil 2.9. Caminin pencere boşluğundan başlayan çatlaklar.	12
Şekil 2.10. Caminin mihrap kısmında meydana gelen çatlaklar.....	12
Şekil 2.11. Doğu cephesinde yapılan onarımlar.	13
Şekil 2.12. Dayanma yapılarının görünüşleri.	14
Şekil 3.1. Pisa Kulesi İtalya.	15
Şekil 3.2. Oturma çatlağı (URL-1).	17
Şekil 3.3. Üniform oturma.	19
Şekil 3.4. Yapının yan yatması.	20
Şekil 3.5. Farklı oturma.	21
Şekil 3.6. Zemin sıvılaşması öncesi ve sonrası tanecik yapısı.....	23
Şekil 4.1. Çatlak çeşitleri.	26
Şekil 5.1. Fransız drenleri (URL-2).	31
Şekil 5.2. Köstebek dren (URL-3).	32
Şekil 5.3. Jet grout yöntemi (URL-4).	34
Şekil 5.4. Jet grout yöntemi görseli (URL-5).	35
Şekil 5.5. Eğimli yamaçta mini kazık uygulaması (Öztürk, 2006).	36
Şekil 5.6. Bina temeline mini kazık uygulaması (Öztürk, 2006).	37
Şekil 5.7. Kompaksiyon işlemi (URL-6)	38
Şekil 5.8. Taş kolon imalatı aşamaları.	42
Şekil 5.9. Vakum su emme uygulaması (Şahan, 2016).	43
Şekil 5.10. Vibro kompaksiyon yöntemi.	44
Şekil 5.11. Dinamik kompaksiyon yöntemi.....	45
Şekil 5.12. Derin karıştırma yöntemi görseli.	46
Şekil 5.13. Elektro osmoz öncesi ve sonrası (Şahan, 2016).	47
Şekil 5.14. Geomembran yerleştirimi (URL-5).	48
Şekil 6.1. Cafer Paşa Cami modeli.	51
Şekil 6.2. Düşey deplasman.	52
Şekil 6.3. Çekme gerilmesi.	53
Şekil 6.4. Basınç gerilmesi.	54
Şekil 6.5. Kayma gerilmesi.....	55
Şekil 6.6. Çekme şekil değiştirmesi.....	56
Şekil 6.7. Basınç şekil değiştirmesi.	57
Şekil 6.8. Kayma şekil değiştirmesi.....	58
Şekil 6.9. Sivrice depremi ivme spektrumları (EW: Doğu-Batı, NS: Kuzey-Güney).....	59
Şekil 6.10. Pazarcık depremi ivme spektrumları(EW:doğu-batı, NS:kuzey-güney).	60

Şekil 6.11. Yapının ilk 8 modunun şekilleri.	61
Şekil 6.12. Deplasman Dx: X yönündeki deplasman, Dy: Y yönündeki deplasman.	63
Şekil 6.13. Çekme gerilmesi.	64
Şekil 6.14. Basınç gerilmesi.	64
Şekil 6.15. Kayma gerilmesi.	65
Şekil 6.16. Şekil değiştirmeler.	66
Şekil 7.1. Cafer Paşa Camii'nin bulunduğu bölgenin uydu görüntüsü.	69
Şekil 7.2. Caminin konumu ve yer bulduru haritası.	70
Şekil 7.3. Sondaj noktaları.	73
Şekil 7.4. Dayanma yapıları şev açısı.	76
Şekil 7.5. Dayanma yapıları ve çevre kotları.	77
Şekil 7.6. Payandaların yerleşim planı.	78



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 7.1. Yerel zemin sınıfları	72
Çizelge 7.2. Kayaç kalitesine göre sınıflandırılma	74
Çizelge 7.3. RMR puanlama tablosu	74
Çizelge 7.4. RMR puanlamasına göre kaya sınıflandırması.....	75



SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	America Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
FRP	Fiber Takviyeli Polimer
LUSAS	London University Stress Analysis System
MASW	Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizleri
MPa	Mega Pascal
PVC	Polivinil klorür
RQD	Kaya Kalitesi Tanımlaması
RMR	Kaya Kütlesi Değerlendirmesi
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
TS	Türk Standardı
m	Metre
cm	Santimetre
t	Ton
m²	Metre kare
V_s	Ortalama Kayma Dalgası Hızı
N₆₀	Ortalama Standart Penetrasyon Darbe Sayısı
C_u	Ortalama Drenajsız Kayma Dayanımı
sn	Saniye
°	Derece
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
+	Anot
-	Katot

1.GİRİŞ

İnsanlar, tarih boyunca barınma, ibadet, eğlence vb. ihtiyaçlarını karşılamak için pek çok yapı inşa etmiştir. Bu yapıların pek çoğu yığma yapılardan oluşur. Yığma yapılar gündelik etkilere karşı dayanıklı olsa da zemin problemleri gibi beklenen veya beklenmedik dış etkilere karşı önemli ölçüde savunmasızdır. Yeni yapılacak bir yapının zeminini iyileştirmek kadar, önceden yapılmış ve tarihi kültürel mirasımız olan bir yapının zeminini güçlendirmek de hayati önem taşır. Normalde uzun yıllar ayakta kalmış bir tarihi yapı zaman içerisinde çeşitli olumsuz etkilere maruz kalarak problem yaşayabilir. Bu problemlerden biri de zemin kaynaklı olabilir. Tarihi yapılarda görülen zemin problemleri zemin taşıma gücünden kaynaklı oturma sorunları, yer altı suyunun yapıya etkisi, zemin sıvılaşması, yapıya yakın ağaçlar, fiziksel ve kimyasal ayrışmalar, kuraklık, yapıya yakın yapılan kazılar, kayma ve çökme sorunları, büyük tonajlı arabaların yapının yakınından geçmesi ve insan kaynaklı olabilir. Kültürel mirasımızı korumak için bu problemlerin yapının aslına ve mimari yapısına zarar verilmeden çözülmesi gerekir. Tarihi yapıları korumak ve gelecek kuşaklara aktarmak bireysel ve toplumsal sorumluluğumuzdur. Tarihi yapıların korunmasını ve gelecek nesillere teslim edilmesini sağlamak için de tarihi yapı davranışını iyi anlamak gerekir.

Tarihi yığma yapıların deprem davranışını üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Mallardo vd. (2008), yaptıkları çalışmada İtalya'da bulunan ve tarihi bir yapı olan Plazzo Renata di Francia'nın sismik davranışı incelenmiş ve 3 boyutlu doğrusal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Eslami vd. (2012), yaptıkları çalışmada Yezd şehrinde bulunan tarihi bir yapıya ait tonozun sismik davranışını belirlemeye yönelik kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Mendes ve Lourenço (2014) yığma yapıların sismik performansını en çok etkileyen parametrelerin tespiti ve deprem davranışı hakkında çalışmıştır. Özmen ve Sayın (2020) tarihi bir yığma köprünün sismik davranışının değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Vlachakis vd. (2020) 2017 yılında meydana gelen ve Midilli Adasını vuran depremin yığma yapılara olan etkisini ve hasara sebep olan etkilere incelemiştir. Bayraktar vd. (2022) güçlü sismik sarsıntılar altında yığma kubbelerin davranışını incelemiştir.

Ayrıca hasar görmüş tarihi yapılarda güçlendirme teknikleri üzerine de pek çok çalışma yapılmıştır. Triantafillou ve Fardis (1997) yığma yapıların geri dönüşümlü bir şekilde fiber takviyeli kompozit malzemelerle güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Sesigur vd. (2007) tarihi yığma yapılara yapılacak onarım ve güçlendirme tekniklerinin aslına uygun ve geri dönülebilir olması konusunda çalışmalar yapmıştır. Mustafaraj ve Yardım (2013), yaptıkları çalışmada 1496 yılında yapılan ve Arnavutluk'un Korçe ilinde bulunan Mirahor İlyas Bey Camii'nin zayıflayan yapısal özelliklerini güçlendirmek amacıyla yapılacak olarak uygun güçlendirme yöntemlerini incelemiştir. Bednarz vd. (2014) yaptıkları çalışmada Polonyada bulunan tarihi St. Ann Kilisesi'nde bulunan papaz evlerinin güçlendirilmesi ve korunması amacıyla yapılacak yapıyı incelemiş ve çeşitli karbon fiber takviye yöntemleriyle güçlendirilmesini incelemiştir. Fırat ve Eren (2015), Zampieri (2020) hasarlı kemerlere FRP (Fiber Takviyeli Polimer) kullanarak yapılmış güçlendirme tekniklerini deneysel olarak incelemişlerdir.

Bazı araştırmacılar da tarihi yığma yapılarda kullanılan bağlantı elemanları hakkında da çalışmalar yapmıştır. Koçak (2013) yığma duvarlarda kayma dayanımının artırılması amacıyla farklı bağlantı elemanlarının kullanılması ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Uslu (2013) tarihi yığma yapılarda kullanılan bağlantı elemanlarının deneysel metotlarla incelenmesi hakkında çalışmalar yapmıştır. Ural vd. (2016) yığma yapılarda kemerlerin ve kemerlerin dayandığı sütunların sağlamlığını sağlayan rot adı verilen ahşap veya demir gergi elemanlarının değiştirilme tekniklerinin uygulanabilirliği hakkında çalışmalar yapmıştır. Calderini vd. (2019), yaptıkları çalışmada tarihi yapılarda kullanılan metal bağlantı çubuklarının yapının yatay hareketleri üzerinde belirleyici rol oynadığını deneysel çalışmalarla incelemiştir. Bir diğer çalışma da Fırat ve Kayabaşı (2022) bu gergi elemanlarının yığma yapının genel davranışını üzerindeki etkisini incelemiştir.

Son olarak tarihi yığma yapılarda temel ve zeminle ilgili de nispeten az da olsa bazı çalışmalar yapılmıştır. Fırat vd. (2020) tarihi yapıların temel sistemlerinin güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Tralli vd. (2020) yığma yapılarda temel oturmalarının etkisinin modellenmesine yeni bir yaklaşım izleyen bir çalışma yapmıştır. Yığma yapılar üzerine yapılan araştırmaların çok fazla olmasına karşın, zemin özellikleri hakkında çalışma çok fazla bulunmamaktadır.

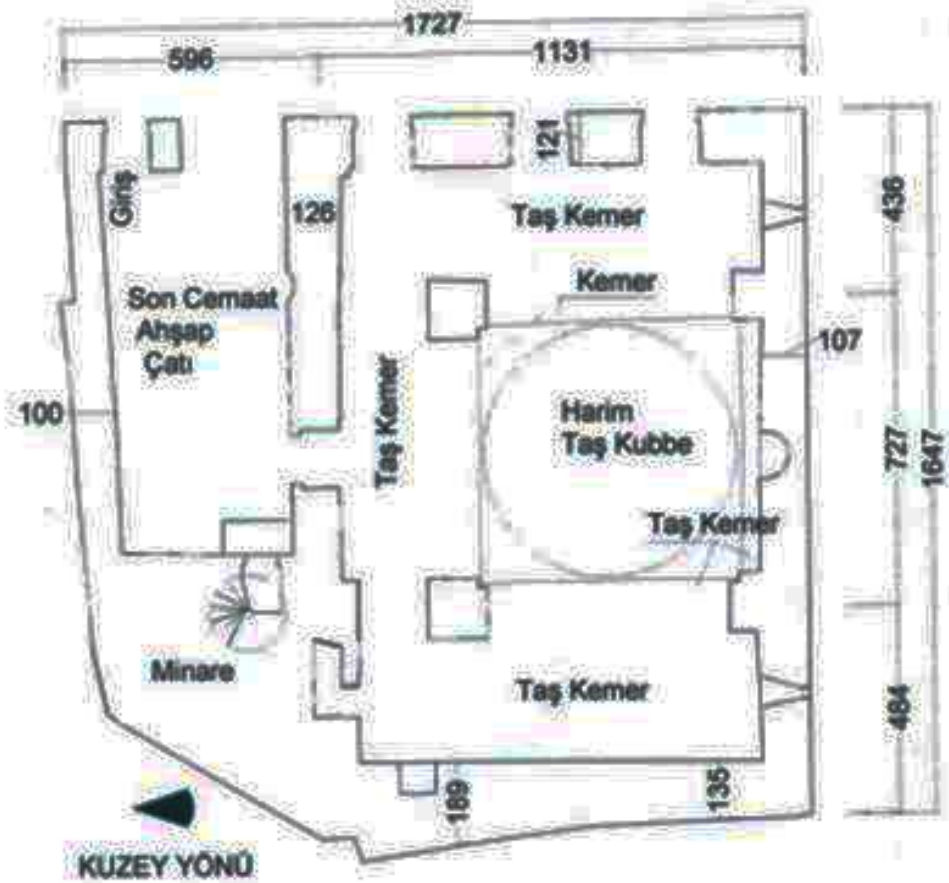
Bu çalışmanın amacı kültürel mirasımız olan tarihi yığma yapılar da görülen olası zemin problemlerini incelemektir. Bu yapıların gelecek kuşaklara sağlam bir şekilde aktarılması için tarihi yapı davranışını analiz edebilmek önemli bir mühendislik bilincidir. Ayrıca tarihi yapılar da uygulanabilecek zemin iyileştirme yöntemleri üzerinde durulacaktır. Son olarak da tarihi ve kültürel bir mirasımız olan Cafer Paşa Cami'nin kendi ağırlığı altında ve maruz kaldığı depremlerin verileri ile yapısal analizleri yapılarak zm önerilerinde bulunmuştur.



2. ARAPGİR CAFER PAŞA CAMİ

2.1 Genel Bilgiler

Cafer Paşa Cami 14.yüzyılda İlhanlılar zamanında Şeyh Hasan tarafından yaptırılmıştır. 1694 yılında Sancak Beyi Cafer Paşa tarafından kapsamlı bir şekilde onarıldığı bilinmektedir. Bu yüzden Cafer Paşa ismini almıştır. 2006 yılında son bir onarım geçiren cami 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ'ın Sivrice ilçesinde meydana gelen depremde minimum düzeyde etkilenmiş ve önlem amaçlı olarak ibadete kapatılmıştır. Caminin batı cephesi minareyi de içine alacak şekilde yapılmıştır. Doğu cephesi 17.2 metre uzunluğunda olup, güney cephesi ve kible duvarları 16.4 m. uzunluğundadır. Caminin plankotesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



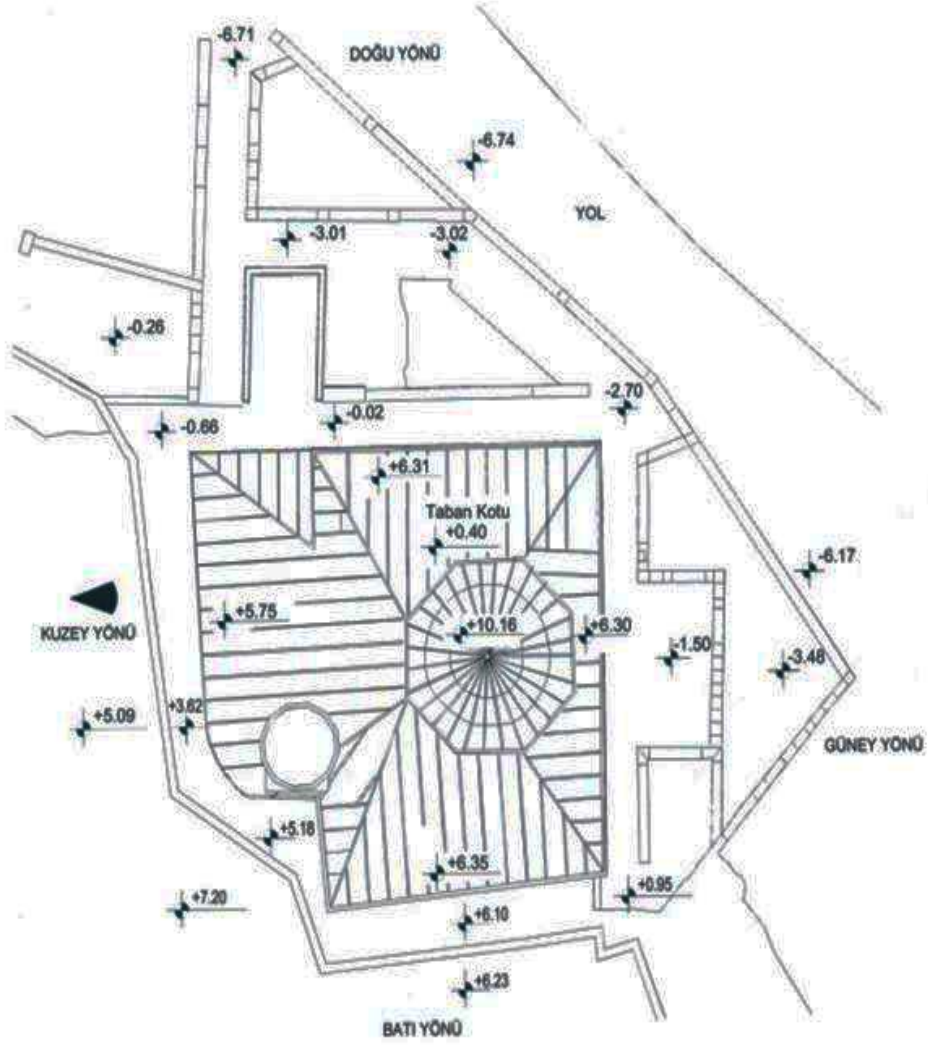
Şekil 2.1. Zemin Kat Planı (+1.50 kotu).

Cafer Paşa Cami'nin dışarıdan görünüşü Şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Caminin dışarıdan görünüşü.

Cafer Paşa Cami'nin merkezinde üç tarafı taş kemerlerle çevrelenmiş bir adet kubbe bulunmaktadır. Batı cephesinde caminin içinden minare yükselmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi yapı eğimli bir araziye inşa edilmiştir. Yapının vaziyet planı ve kotları Şekil 2.3'de verilmiştir. Caminin bahçe ve müstemilatının olduğu kısımda 14 metre düzeyinde bir kot farkı bulunmaktadır. Batı cephesinden yola kadar olan kısımda eğim 28 derece düzeyindedir. Caminin inşasında arazi eğimi önemli rol oynamıştır. Kuzey ve batı cephesi istinat duvarı olarak inşa edilmiştir. Yapının güney ve doğu yönlerinden geçen yol bulunmaktadır.



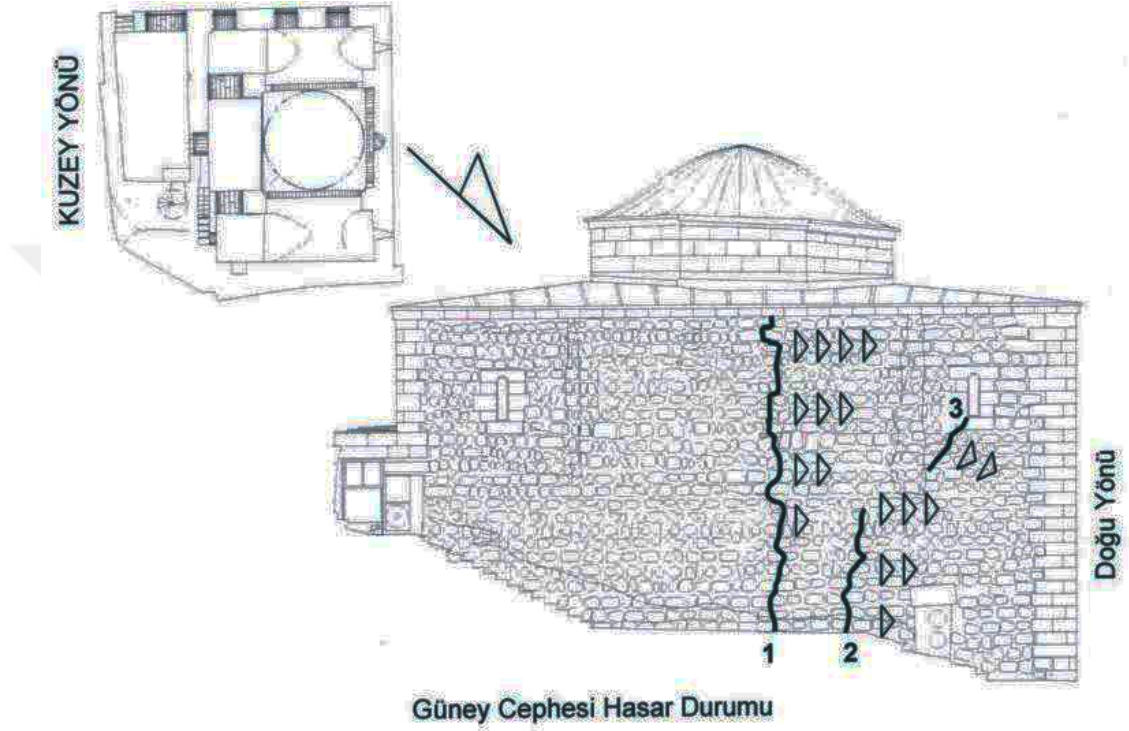
Şekil 2.3. Cafer Paşa Cami'nin vaziyet planı ve kotları.

Caminin beden kubbesinde ve beden duvarlarında çatlaklar ve bozulmalar olmuştur. Yapının etrafındaki istinat duvarları hareket etmiştir. Duvarın üzerinde ve zeminde kullanılan taşlarda bozulmalar meydana gelmiştir. Ayrıca caminin doğu ve güney yönlerine doğru kaydığı belirlenmiştir.

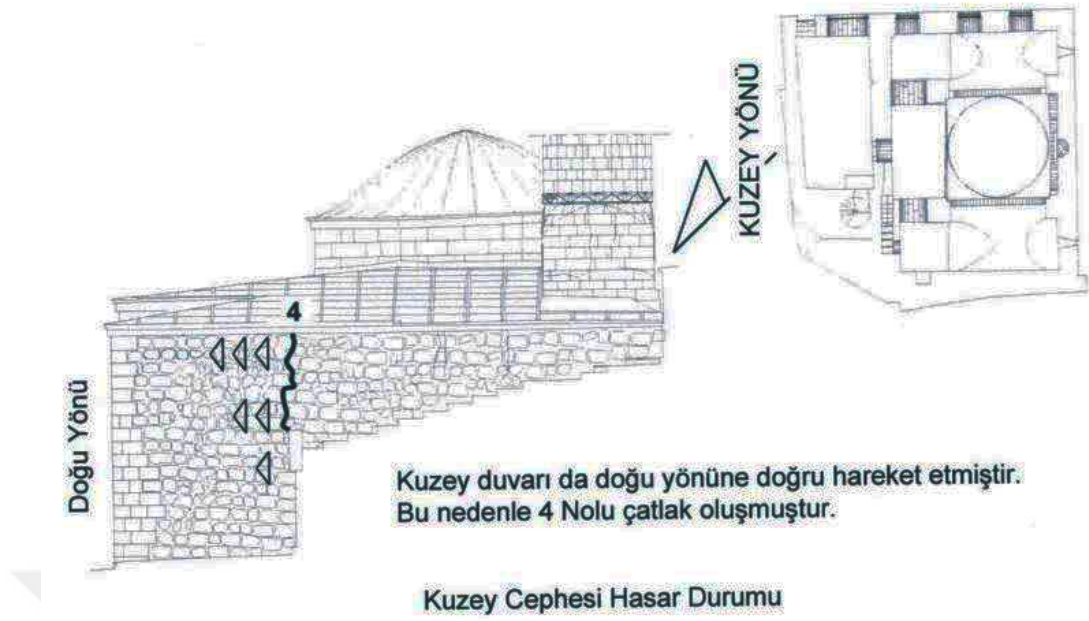
2.2 Harim Kısımının Değerlendirilmesi

Bu bölümde tarihi Cafer Paşa Cami'nin harim kısmında tespit edilen hasarları detaylı şekilde verilmiştir. Güney duvarının bir kısmı doğu yönünde hareket etmiştir. Bu yönde tepede geniş tabanda dar iki adet çatlak oluşmuştur. 1 numaralı çatlak yukarıda kubbede devam etmiştir, kırılma şeklindedir. 2 numaralı çatlak ise kılcal

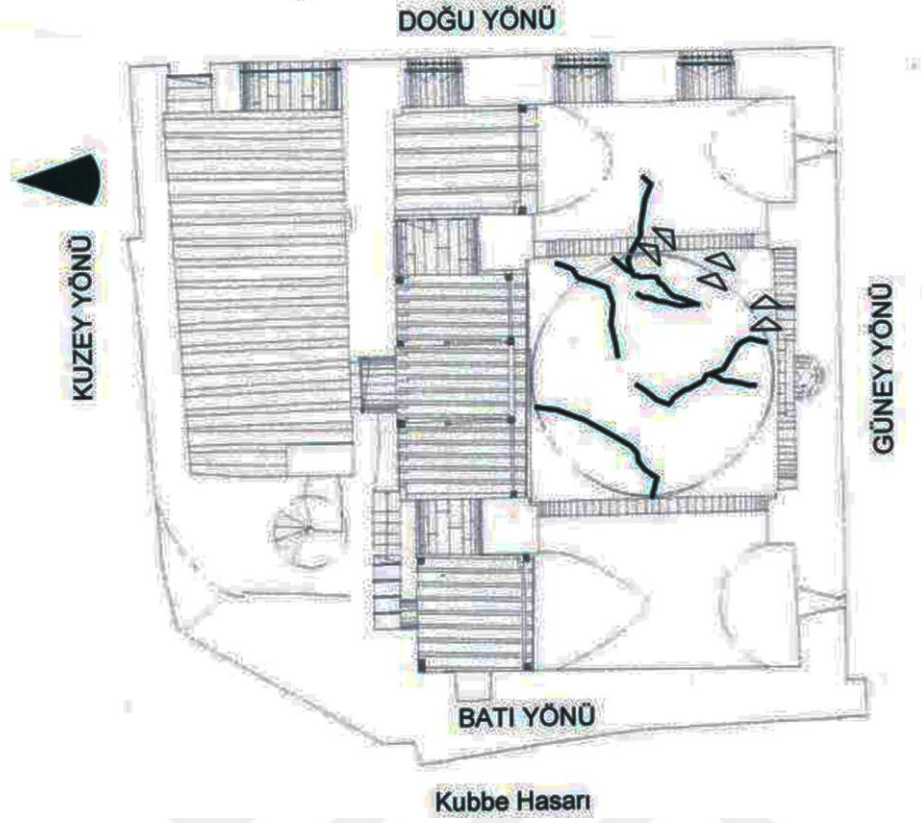
düzeydedir. 3 numaralı çatlak ise içeriden görülmekte ve diyagonal olarak devam etmektedir. Caminin güney doğu köşesi doğuya doğru hareket etmiş ve güney duvarı çatlamıştır. Bu nedenle kubbe güney batıdan başlayıp, kuzey doğuya doğru diyagonal çatlamıştır. Bu harekete bağlı olarak kubbenin doğusunda yer alan tonozda da çatlak oluşmuştur. Aşağıdaki Şekil 2.4' de camide tespit edilen hasarlar görülmektedir.



Şekil 2.4. Camide görülen hasarlar.



Şekil 2.4 (devam). Camide görülen hasarlar.



Şekil 2.4 (devam). Camide görülen hasarlar.

Cafer Paşa Cami'nin geçirdiği depremler, camiye yakın geçen yollar, zeminde meydana gelen ayrışmalar, arazinin eğimi yüzünden yağmur sularının caminin etrafında toplanması, yeraltı suyunun alçalıp yükselmesi vb. sebeplerden dolayı zemin problemlerine maruz kalmıştır. Caminin zemininde meydana gelen ayrışmaları örnekleyen resim şekil 2.5'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Caminin zemin.

Cafer Paşa Cami'nin yukarıda belirtilen problemler yüzünden maruz kaldığı deformasyonlar ve çatlaklar aşağıda Şekil 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 ve 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Caminin dış duvarındaki çatlaklar.



Şekil 2.7. Caminin iç duvarındaki çatlaklar.



Şekil 2.8. Caminin kemer ve kubbesinde meydana gelen çatlaklar.



Şekil 2.9. Caminin pencere boşluğundan başlayan çatlaklar.

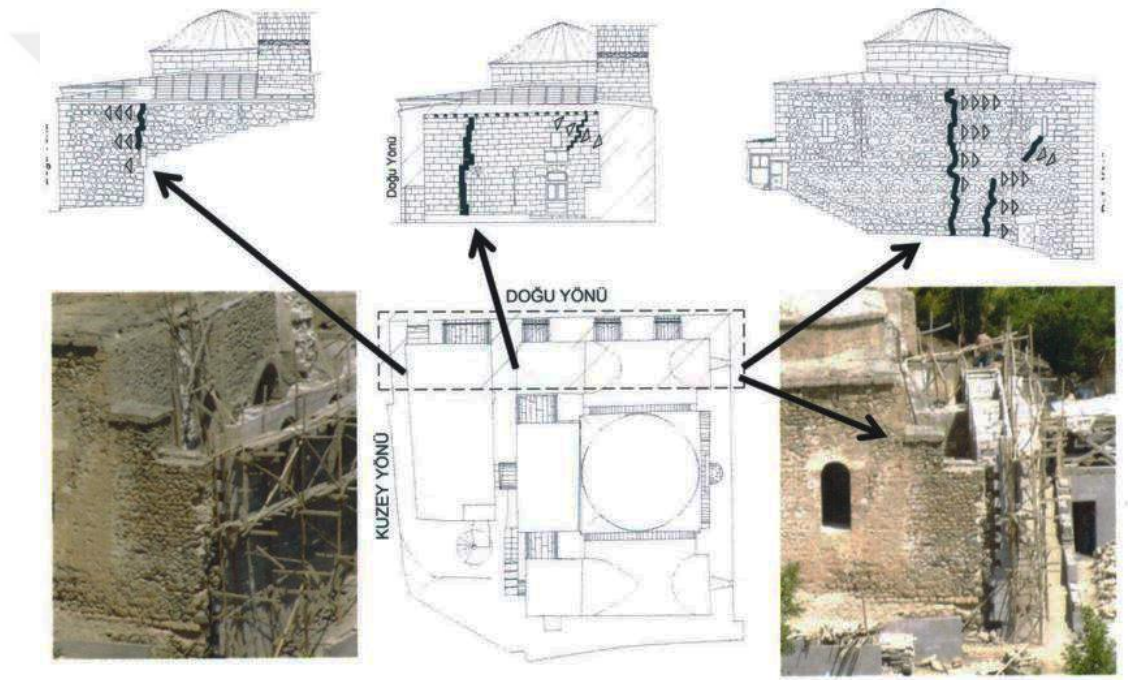


Şekil 2.10. Caminin mihrap kısmında meydana gelen çatlaklar.

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi Cafer Paşa Camisi pek çok deformasyona maruz kalmış ve çatlaklar meydana gelmiştir.

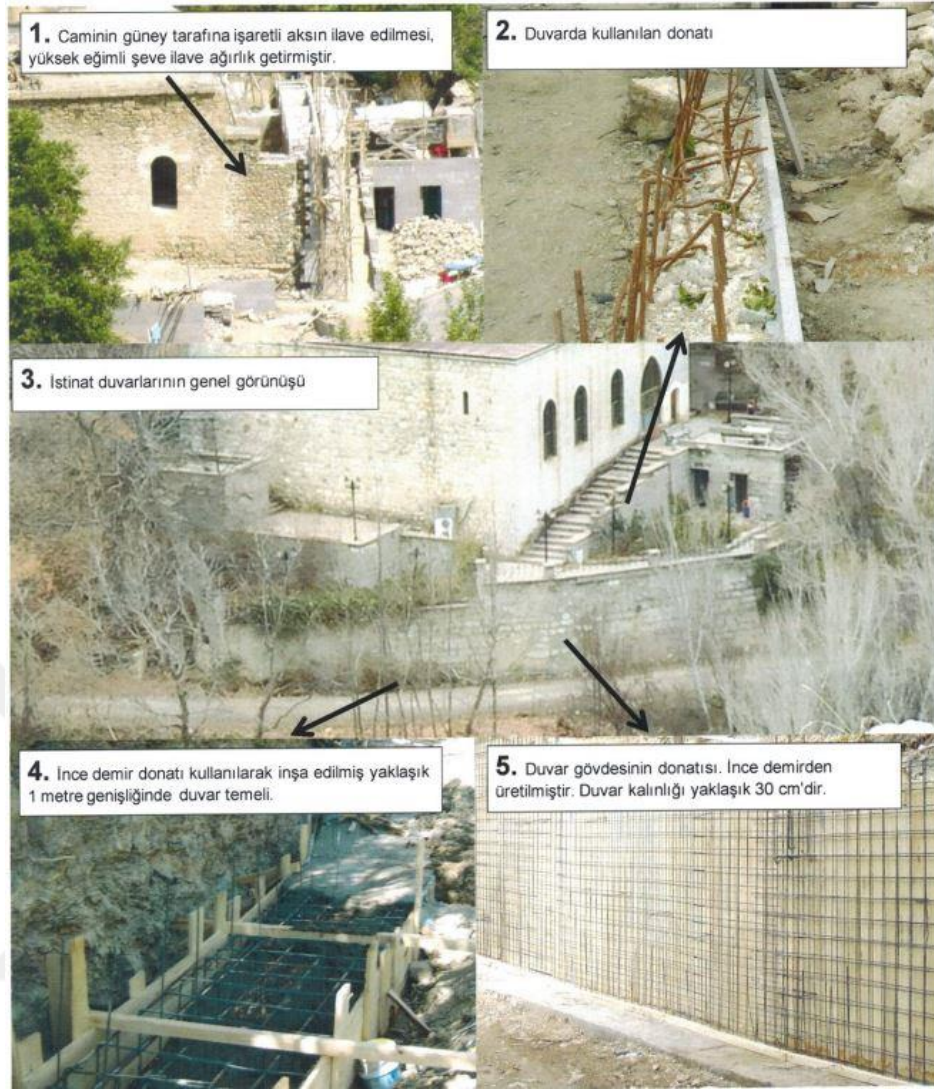
2.3 2006 Yılında Yapılmış Onarım

Cafer Paşa Cami 2004 yılında başlayıp 2006 yılında tamamlanan bir onarım geçirmiştir. Yapılan çalışmalar ile ilgili birtakım temel bilgilere ulaşılmıştır. Harim kısmının doğu yönünde bulunan yaklaşık 4 metre genişliğindeki kemerli kısım yeniden yapılmıştır. Yapılan kısım Şekil 2.11’ de verilen planda taranmıştır. Uygulamanın doğal bir sonucu olarak çatlaklar ve derzlerde uyumsuzluklar oluşmuştur. Daha önceden verilen hasarlar, yapılan bu onarım ile birlikte değerlendirildiğinde anlamlı olmaktadır. Kuzey ve doğu cephelerinde çatlak olarak kendini gösteren bu bölüm, harim kısmı kuzey cephesinde kendini derz uyumsuzluğu olarak göstermiştir.



Şekil 2.11. Doğu cephesinde yapılan onarımlar.

Cafer Paşa Cami’nin yapıldığı arazi eğimlidir. Bu eğim ve zemin özellikleri nedeniyle caminin güney doğu yönünde şev hareketleri değerlendirilmiştir. Caminin restorasyonu ve dayanma yapılarının inşa şekilleri ile ilgili bazı detaylara ulaşılmıştır. Şekil 2.12’ de bu uygulamalar verilmiştir.



Şekil 2.12. Dayanma yapılarının görünüşleri.

Caminin güney doğusunda geçen ve planlarda görülen ana bir istinat duvarı bulunmaktadır. Arazinin zorlu olması nedeniyle yapılan bu duvarın bu boyutta temel ile güvenli olması mümkün görülmemektedir. Ayrıca yapıda kullanılan demir donatı çok az bulunmuştur. Ancak yerinde yapılan incelemelerde bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Bu durum cami yapısından ve avluda yapılan dolgudan, istinat duvarına önemli bir yükün gelmediği şeklinde yorumlanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda istinat duvarı güvenli bulunmamıştır.

Camide görülen hasarların zemin problemlerinden kaynaklandığı ihtimali çok yüksek olduğundan zeminle ilgili bilgiler daha sonraki bölümlerde verilmiştir.

3. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN ZEMİN PROBLEMLERİ

Tarihi yığma bir yapı incelenirken ilk yapılması gereken yapının temel sistemi ve zemin durumunun belirlenmesidir. Zemin durumu incelendikten sonra yapıda oluşmuş ve oluşması olası çatlakların sebepleri daha iyi anlaşılabilir. Tarihi yapılarda zemin problemleri büyük ölçüde yapı inşa edildikten hemen sonra ya da bir süre sonra ortaya çıkmaktadır. Zemin, yapılarda görülen problemlerden bir kısmının kaynağını teşkil eder. Yapıda ve yapının yakın çevresinde ani ve önemli bir değişiklik olmadığı sürece, yıllarca sağlam kalmış bir yapının temel zemininde son yıllarda bir sorun çıkma olasılığı oldukça düşüktür. Dünyada bir simge haline gelmiş en ünlü yapılardan biri olan Pisa Kulesi zemin kaynaklı bir problem sonucu eğilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Pisa Kulesi İtalya.

İtalya'nın simgelerinden biri olan Pisa Kulesi 1063-1090 yılları arasında yapılan büyük bir katedralin çan kulesidir. Kulenin yapımı 1173 yılında başlamıştır. Temel

derinliği yeterli olmasına rağmen 3. Kat inşaatından sonra kule zemin problemlerinden dolayı güneye doğru eğilmeye başlamıştır. Eğilmenin nedeni, temeldeki yumuşak ve ince taneli zeminde oluşan oturma ve kmelerdir. Bu oturma ve çökmeler yer altı su düzeyinin yüksek olduğu sulak bir zemine inşa edilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Kule her yıl 0.7 milimetre kadar (100 yılda 7 cm) eğilmektedir. Normalde kulenin eğimi 5,5° kadar çıkmıştır; ancak, 2001 yılında yapılan restorasyon ile 5.5 derece olan açısı 5 dereceye indirilmiştir. Bugün bile kuleyi bir seferde belli sayıda insanın gezmesine izin verilmektedir. (Hıdıroğlu, 2018)

Tarihi yapılarda zeminden kaynaklanan problemler dokuz başlıkta incelenebilir. Bunlar oturma sorunları, yer altı suyunun yapıya etkisi, taşıma gücü sorunu, zemin sıvılaşması, yapıya yakın ağaçlar, fiziksel ve kimyasal ayrışmalar, ıslanma-kuruma döngüleri, yapıya yakın yapılan kazılar ve trafik, kayma ve çökme sorunlarıdır. Burada yazan sorunlar, yapıyı etkiledikten sonra ekseri çoğunlukla oturmaya neden olsa da farklı başlıklarda incelemekte fayda vardır.

3.1 Oturma Sorunları

Zemin problemlerinden kaynaklanan hasarların büyük çoğunluğu toplam ve farklı oturma kaynaklıdır. Zeminin yapısına göre oturma süresi değişmektedir. Oturnmalar, temeldeki yüklerin neden olduğu, zemin içindeki gerilmelerdeki değişiklikler nedeniyle zemindeki hacim değişimi olarak tanımlanabilir. Siltli zeminlerde oturmalar birkaç yıl içinde, killi zeminlerde ise altmış yetmiş senelik zaman içinde sonuçlandığı düşünülmektedir (Aköz, 2008; Dabanlı, 2008). şekil 3.2’de örnek olarak bir oturma çatlağı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Oturma çatlağı (URL-1).

Dış duvarlarda görülen bu tip çatlaklar genelde oturma kaynaklıdır ve çatlak genişliği yukarıdan aşağıya doğru daralarak temele kadar ilerler. Bu tip çatlaklar genellikle yapı büzülebilir killi zemin üzerine inşa edildiğinde ya da sığ bir temel kullanıldığında ortaya çıkar. Killi zemin kurduğunda büzülecek ve temelin hareket etmesine olanak sağlayacaktır. Bu tip zemine sahip yapılar büyük oturmalarla hatta çökmelere maruz kalabilir.

Tarihi yapılar uzun yıllar oturmalarla maruz kaldığı için neredeyse tamamı oturmasını tamamlamış durumdadır. Ancak temel kazıklarının çürümesi, yapı çevresinde yapılan kazılar, deprem ve yer altı suyunun alçalıp yükselmesi vb. etkilerle yeni oturmaların olması mümkün olmaktadır. Sürekli ve ayrıık temellerde oturma toleransı 2.5-4.0 cm arasındadır. Ayrıca yapının oturmalar sebebiyle yapacağı en büyük eğim de $\tan \alpha = 0.005 B/H$ bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıda B temelin küçük kenarı, H ise yapı yüksekliğidir (Çamlıbel, 2000; Dabanlı, 2008; Saraç, 2003).

Son yıllarda tarihi yapılarda görülen oturmalar hakkında çokça yeni hesaplama yaklaşımları geliştirilmeye çalışılmıştır. Özellikle yığma kemer köprülerde yük taşıma kapasitesinin oturma ile doğrusal olarak azaldığı tespit edilmiştir. Akarsu yatağının yön değiştirmesi ile köprülerin temellerinde oyulmalar oluşabilmektedir. Bu oyulmaların artması durumunda bazı oturmalar meydana gelmektedir. Bu

oturmalar çatlaklara ve kırılmalara neden olabilmektedir (Ural vd., 2007). Tralli vd. (2020) belli bir oturma seviyesinden sonra kemerin taşıma gücünün tam olarak doğrulanamaz olduğu göstermiştir. Ayrıca başka bir çalışmada (Ural vd., 2016), farklı temel oturmaları yüzünden tarihi kemer köprülerin bağlantı çubuklarında burkulma veya kırılma şeklinde büyük hasarlar olabileceğinden bahsedilmiştir.

Araştırmacılar oturmalara maruz kalan tarihi yığma yapıların güvenliği ve zemin değerlendirmesi için sayısal araç geliştirmeye devam etmektedir. Oturma nedeniyle oluşan göçme modlarının analizi, modelleme teknikleri ve temel hareketlerine karşı yığma yapı davranışını etkileyen parametreler hala tartışılan bir konudur.

Bir yığma yapının zemin kaynaklı hasarlarının en önemli nedeni oturmalaradır. Oturmalar bulundukları yere bakılmaksızın tüm yığma binayı etkiler ve bu nedenle ele alınması gereken hayati bir sorundur. Yapıda çatlağa neden olan oturmaları, üniform oturma, eğilme veya yan yatma ve farklı oturma olarak üç bölümde incelemek mümkündür.

3.1.1 Üniform oturma

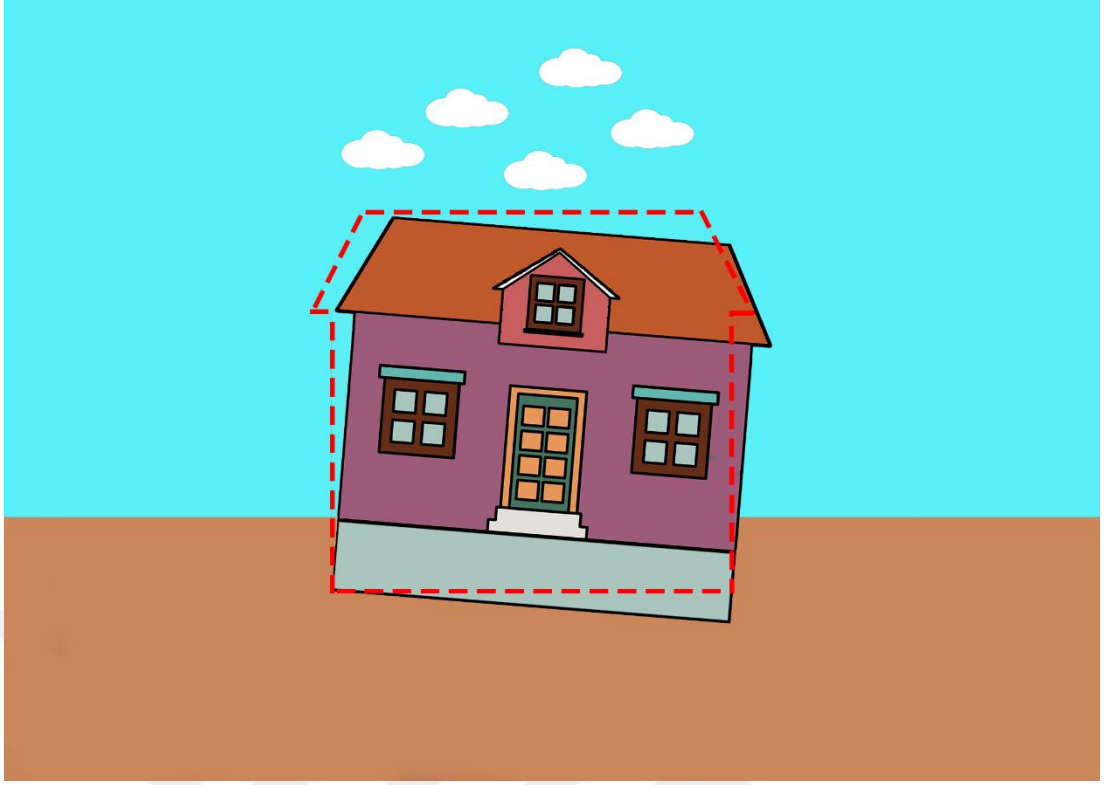
Üniform oturma, yapının bulunduğu zeminin, sıkışma sonucunda binanın tamamının paralel olarak oturup düzlem kalması durumuna denir. Oturma sırasında yapının tabanı, düzlem halini korumasına rağmen yapı ilk konumuna paralel kalmazsa çatlaklar oluşabilir. Yapının yeteri kadar esnek ya da yapının temelinin sehimplere karşı koyabilecek kadar rijit olmadığı durumlarda çatlaklar meydana gelebilir (Mahrebel, 2006). Üniform oturma Şekil 3.3’de temsili olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Üniform oturma.

3.1.2 Yapının yan yatması

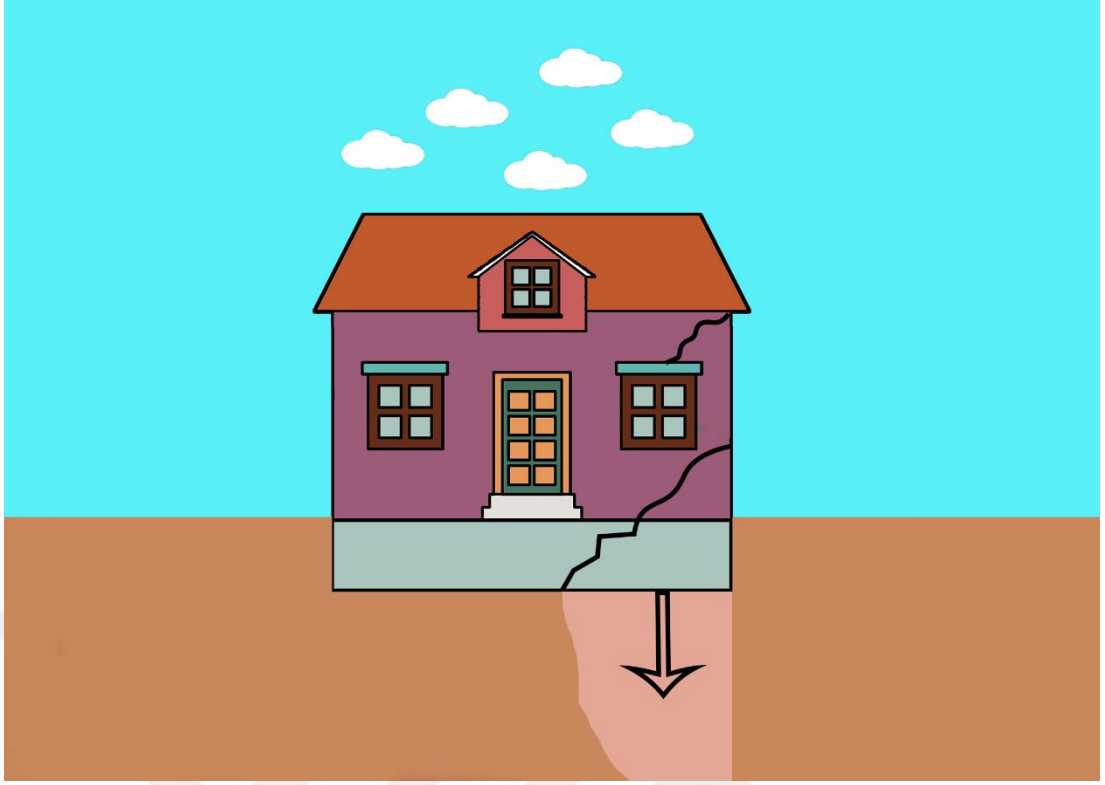
Tek taraflı oturmalar, bir yapının bazı kısımlarının ağırlıkları farklı ise, ağır olan kısmın altındaki zeminde fazla sıkışma olacağından, ağır olan tarafla bağlantı halindeki duvarlarda kesme çatlakları oluşabilir. Bu çatlaklar, yapıdaki malzemelerin çekme mukavemetinin durumuna göre farklı şekillerde görülür. Çekme mukavemeti az ise genellikle dikey, büyük olması halinde ise belli bir eğime sahip çatlaklar oluşur, bu çatlaklar oturma fazlası olduğu tarafa doğru yükselir. Ancak genellikle bu oturma tipinde çatlak oluşumu görülmez. Şekil 3.4’de tek taraflı düzgün oturma olarak da ifade edilebilecek olan yapının yan yatması gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Yapının yan yatması.

3.1.3 Farklı oturma

Farklı oturma, tarihi yapılarda hasar oluşumuna neden olan en sakıncalı oturma şeklidir. Yapı zemini altında olan yerel oturmalar ve temellerin farklı oturması, yapı duvarlarında ve birleşim yerlerinde çatlaklara sebep olabilir. Bu da doğrudan yapının taşıma gücünü etkiler. Şekil 3.5’de gösterilen yapıda binanın sağ tarafı sol tarafından fazla oturduğu için meydana gelen çatlak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Farklı oturma.

Farklı oturma katmanlar içeren zemin üzerine bir yapı inşa edildiğinde ortaya çıkar. Bu nedenle, yapının değişik alanları farklı şekillerde oturma eğilimi gösterebilir. Bu da her elemanda çatlakların oturmasına sebep olabilir. Bu tip oturmaların fazla olduğu durumlarda yapı tamamen göçebilir.

3.2 Yer Altı Suyunun Yapıya Etkisi

Yumuşak zeminlere yapılan yapılarda, yer altı suyunun alçalıp yükselmesi yapıda hasara neden olabilir. Yeraltı su seviyesinin alçalması sonucu, efektif gerilme artışı olacağından, alttaki zemin katmanlarına ilave yük iletir. Oluşan bu artış sebebiyle yapı tekrar oturmaya başlayabilir. Bu oturmaların derecesine göre yapıda hasar oluşabilir (Aköz, 2008; Saraç, 2003). Ayrıca yer altı su seviyesinin alçalması durumunda, kuruyan zemin katmanlarında rötre meydana gelir. Bu durumda özellikle killi zeminlerde, hacim küçülmesi olacağından, oturmalar daha büyük boyutlara ulaşabilir.

Yer altı su seviyesinin yükselmesi durumunda ise, zeminde boşluk su ile dolacağından, zemin doygun hale gelir. Bu durumda zemin mukavemeti azalır,

zeminin kayma direnci parametreleri değişir. Zeminin kayma direncinin azalması ile taşıma gücü azalır (Aköz, 2008; Dabanlı, 2008; Saraç, 2003).

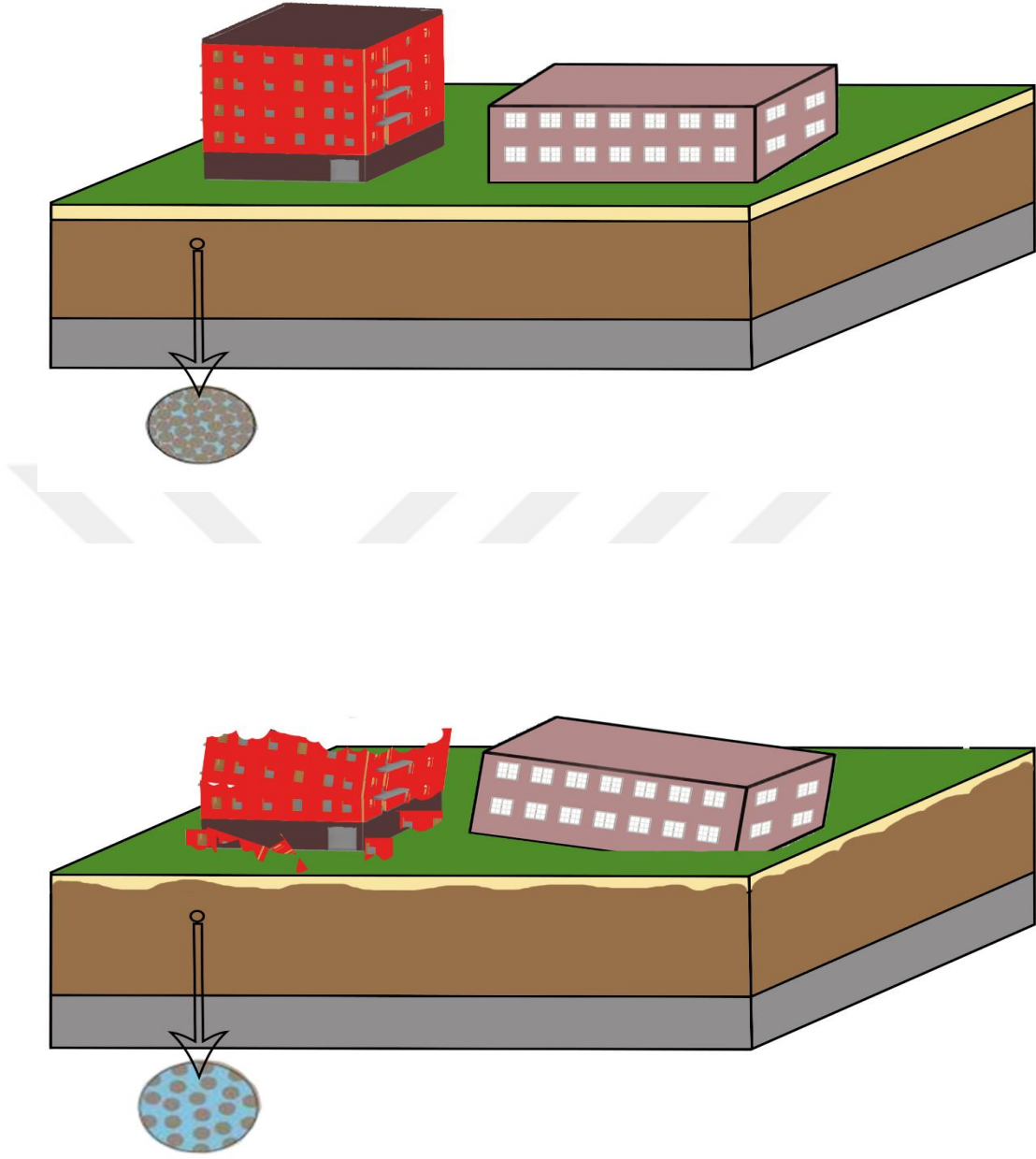
3.3 Taşıma Gücü Sorunu

Her zeminin taşıyabileceği izin verilebilir bir tasarım yükü vardır. Bu miktarların aşılması sonucunda, zemin hareketleri, hatta göçmeler yaşanabilir. Bilhassa kohezyonsuz zeminlerde, zeminin taşıma gücünden fazla yapılan yükleme sonucunda, zeminde zımbalama türü göçmeler meydana gelir. Bu nedenle kohezyonsuz zeminlerde göçme durumu göz önüne alınarak temel boyutlandırması yapılmalıdır (Aköz, 2008; Dabanlı, 2008; Saraç, 2003).

Zeminden ya da temele yakın yerlerden geçen ve sonradan yapılmış tesisatlarda herhangi bir sızıntı olması durumunda, bir süre sonra zemin doygun hale gelebilir ve yük taşıma yeteneklerini ciddi şekilde zayıflatabilir. Kuru ve sert zemin, yumuşak ve suya doygun zeminden daha iyi bir taşıma gücüne sahiptir.

3.4 Zemin Sıvılaşması

Zemin sıvılaşması, deprem anında zeminde boşluk suyu basıncının artması nedeniyle zeminin kesme mukavemetinde görülen ani düşme olarak tanımlanabilir. Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında kalan tabakaların belirli bir süre için mukavemetini kaybederek, katı yerine sıvı gibi hareket etmeleridir. Bilhassa kil barındırmayan kum ve siltli zeminler sıvılaşma potansiyeline sahiptir. Deprem dalgaları, suya doymuş taneli zeminlerden geçerken, boşluk ve tane yerleşim düzeninin farklılaşmasına, tanelerin sıkışmasına ve yerleşmesine neden olur. Bu olay sırasında su, taneler arasından sızamaz ise, boşluk suyu basıncı artar ve bu durum yukarıda bulunan tabakaların ağırlığına benzer bir seviyeye ulaşırsa, tabaka geçici olarak sıvı gibi davranır (şengöz, 2019). Zemin sıvılaşması, olağanüstü yıkıcı etkilere neden olan önemli bir zemin problemidir. Sıvılaşmış zeminde artan kaldırma kuvveti ve azalan kayma mukavemetinin etkileriyle temellerin yükselmesi ve binanın yan yatması gözlenebilir (Huang ve Yu, 2013). şekil 3.6'da zemin sıvılaşmasından sonra gözenekler arası boşluk ve binaların hasar durumu temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Zemin sıvılaşması öncesi ve sonrası tanecik yapısı.

Yukarıdaki görselde görüldüğü gibi, normalde stabil ve istikrarlı olan zemin taneleri içsel sürtünme açısı sayesinde birbirine tutunur. Deprem sırasındaki sallanma taneler arası boşluğu artırarak tanelerin iskelet yapısını istikrarsızlaştırır. Dengesini kaybeden zemin sıvı gibi davranır, bu yüzden de bina altında taşıyıcı bir kütle kalmaz.

Zemin sıvılaşması yaşanan durumlarda, bina zemine batma ya da daha hafif yapılarda zemin üzerinde hareket ederek yüzme eğiliminde bulunabilir. Sıvılaşarak kayma dayanımı yok olan zeminde, değişen kayma gerilmeleri büyük şekil değiştirmelere neden olabilir ve zemin göçmesi meydana gelebilir. Bu durum ciddi hasarlara yol açabilir.

3.5 Ağaçlar

Yığma yapının yakınında hızlı büyüyen ağaçların köklerinin zeminden çok fazla su alması da yapının oturmasına sebep olabilir. Ayrıca kökleri çok derine inen yaşlı ağaçlar zeminden çok fazla su çekebileceği için yapıya tehlike oluşturabilir. Ağaç köklerinin genişleyip hareket etmesi de zeminde gevşemelere ve harekete neden olabilir. Bu durum zeminden kaynaklı problemlere ve oturmalara sebep olabilir.

3.6 Fiziksel ve Kimyasal Ayrışmalar

Ayrışmaya sebep olan hasarları kimyasal ve fiziksel olarak ayırabiliriz. Dış ortamdan kaynaklanan sülfat etkisi kimyasal etki, donma-çözülme olaylarından kaynaklı etkiler ise fiziksel etki olarak isimlendirilir. Ayrışma ile hasara neden olabilecek kimyasal etkiler daha derin bölgelere etki ederken, donma-çözülme ile oluşan hasarlar daha yüzeyseldir. Bu hasarların olması durumunda ortaya çıkan yoğun çatlama belirtilerinin kimyasal etkileri araştırılmalıdır. Ayrıca sıcaklık değişimleri göz ardı edilmemelidir (Mahrebel, 2006).

3.7 Kuraklık

Sürekli kurak bölgelerde ve aşırı kuru havalarda yığma binanın çevresindeki zemin, binanın altındaki zeminden daha fazla büzülebilir. Bu durumda dış duvarlar dışa doğru eğilme eğilimi gösterebilir. Bu eğilme sonucu iç duvarlarda geliş güzel çatlaklar oluşabilir. Ayrıca yağışlı havalarda zemin şişer ve hareket tersine dönebilir. Zemin kararır ve satıh bozulur. Bu durumda zemindeki hacim değişiminden dolayı zeminde çatlaklar oluşabilir.

3.8 Yapıya Yakın Yapılan Kazılar ve Trafik

Yapıya yakın yapılan kazılar yapının altındaki zeminin sıkılığı ve yerini etkileyeceğinden yapıda oturmalara ve ciddi hasarlara yol açabilir. Tarihi yığma

yapıya yakın olan karayolundan geçen büyük araçlar yapıda titreşime ve deformasyonlara sebep olabilir. Örnek olarak, Koçak ve Köksal (2010) küçük Ayasofya Camii ile ilgili yaptıkları çalışmada diğer nedenlerin yanı sıra en büyük etkinin yapıya 5 metre uzaklıkta bulunan demiryolu olduğu saptanmıştır. Yapı trenlerin geçiş yaptığı sırada dinamik titreşimler ile hasar almaktadır.

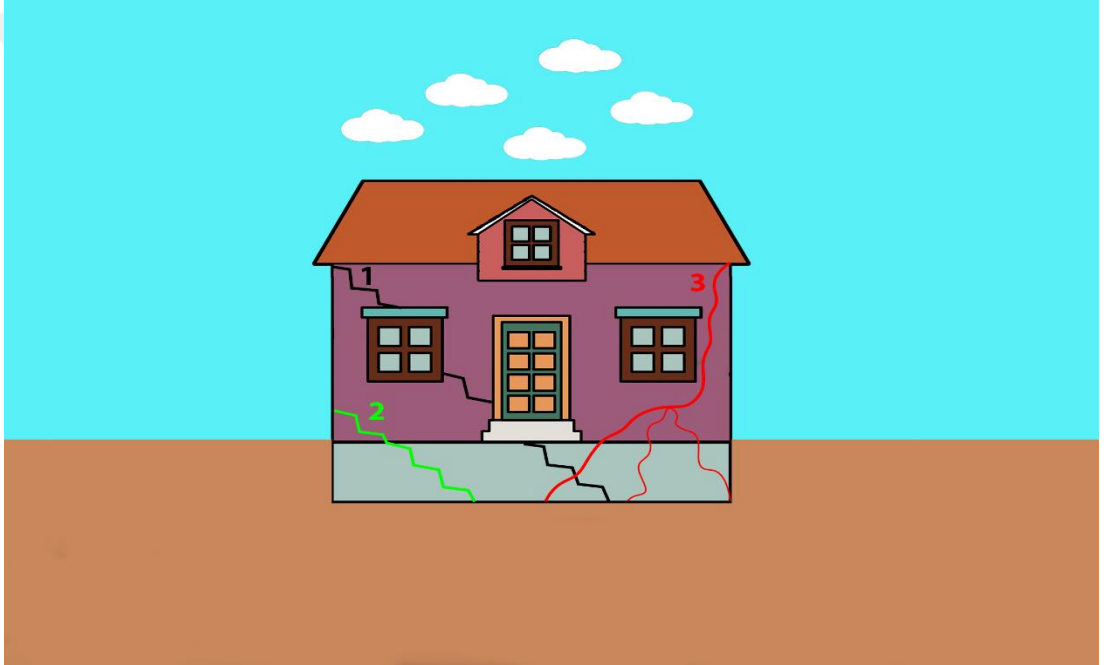
3.9 Kayma ve Çökme Sorunları

Zeminlerde oluşan karstik boşlukların aniden çökmesi sonucu yapıda çok büyük hasarlar meydana gelebilir. Hissedilen depremlerin binalara zarar verdiği zaten bellidir, ancak hissedilmeyen küçük depremler de yer hareketlerine, kayma ve çökmelere sebep olabilir.



4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA ZEMİN PROBLEMLERİ SEBEBİYLE OLUŞAN ÇATLAKLAR

Tarihi yığma yapıların genelde sıvanmış kısımlarında bazen de taş ve tuğla birimlerde görülen kılcal çatlaklar çoğu zaman sadece estetik açıdan sıkıntı olabilir ancak yine de sebebi incelenmelidir. Çünkü daha ciddi bir sorunun belirtisi olabilirler. Yukarıda da anlatıldığı gibi çeşitli sebeplerle oluşan zemin problemleri yapıda oturmaya sebep olur. Bu oturmalar da yapıda çatlaklara sebep olur. Dış duvarlarda görülen daha geniş çatlaklar genellikle oturmaların belirtisidir. Oturmaların sebep olduğu çatlaklar Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 3 şekilde incelenebilir.



Şekil 4.1. Çatlak çeşitleri.

Şekil 19’da 1 numara ile gösterilen çatlak farklı oturmaların yoğun olduğu durumlarda çatıdan başlayarak merdiven şeklinde temele kadar ilerleyen çatlağı göstermektedir. Çatlak kapı ve pencere boşluklarından yani binanın daha zayıf olduğu yerlerden ilerleyebilir. Bu tip çatlaklar oturma ve çökme sorunlarının göstergesidir. Bu çatlaklar harç birleşiminin zayıf olduğu durumlarda görülür. Farklı oturmaya maruz kalan yapı zayıf harç yüzünden derz boşluklarından ayrılma yapar.

2 numara ile gösterilen çatlak farklı oturmaların 1 numara ile gösterilen duruma göre daha az ve yine harçların bağlayıcılığının zayıf olduğu durumlarda sadece binanın alt kısmından temele kadar ilerleyen şekilde oluşabilir.

3 numara ile gösterilen çatlaklar harcın ya da bağlayıcı maddenin birimleri iyi bir şekilde birleştirdiği durumlarda, yığma birimlerin içinden geçecek şekilde dikey çatlakların oluşmasını göstermektedir.



5. ZEMİN İYİLEŞTİRME-GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

İnşaat mühendisliğinin öncelikleri arasında güvenli, işlevsel ve ekonomik yapılar tasarlamak ve inşa etmek bulunur. Bir yapı inşa edilirken zemin koşullarının doğru tespit edilmesi çok önemlidir. Günümüz teknolojisi ve süregelen araştırmalar sayesinde zemin iyileştirme çalışmaları çeşitlilik ve kolaylık kazanmıştır. Yeni yapılacak bir yapının zeminini iyileştirmek kadar, önceden yapılmış ve tarihi kültürel mirasımız olan bir yapının zeminini güçlendirmek de hayati önem taşır. Normalde uzun yıllar ayakta kalmış bir tarihi yapı zaman içerisinde çeşitli etkilere maruz kalarak problem yaşayabilir. Bu problemlerden biri de zemin problemleridir. Tarihi yapılarda görülen zemin problemleri: zemin dayanımından kaynaklı oturma sorunları, yer altı suyunun yapıya etkisi, zemin sıvılaşması, taşıma gücü sorunu, ağaçlar, fiziksel ve kimyasal ayrışmalar, kuraklık, yapıya yakın yapılan kazılar, kayma ve çökme sorunları, trafik ve insan kaynaklı olabilir. Kültürel mirasımızı korumak için bu problemlerin yapının aslına ve mimari yapısına zarar vermeden çözülmesi gerekir. Tarihi yapının daha güvenli bir alana taşınması mantıklı ve ekonomik bir çözüm değildir, ancak yapılan işlemlerin yeterli olmadığı durumlarda değerlendirilebilecek bir durumdur. Bu yüzden zemin iyileştirme ya da güçlendirme yöntemleri denilen yöntemler kullanılmalıdır. Artan dünya nüfusu ile yapı inşasına uygun arsa bulmak zorlaşmıştır. Bu sebepten ötürü elimizdeki alanları verimli kullanmak gerekli hale gelmiştir. Artan teknolojik gelişmeler de yeterli olmayan zeminlerin iyileştirilmesi için daha fazla olanak sağlamaktadır. Bu yüzden kullanacak yöntemler ve bu yöntemlerin uygulanabilirliği giderek kolaylaşmaktadır. Ancak uygun zemin iyileştirme yöntemi her yapı ve yapının bulunduğu bölge için farklılık gösterir.

Bir yapıyı oluşturan en önemli unsurlardan biri yapının temel sistemidir. Binanın altındaki ve etrafındaki zemin yapısı ve davranışı hakkında doğru bilgiye sahip olmak, yapının temel sisteminin özelliklerini tayin etmek önem arz etmektedir. Zeminin mukavemeti zayıf ise zemin iyileştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulur. En uygun zemin iyileştirme tekniğinin seçimi ilk ve en önemli adımdır. Uygun yöntem seçilirken, zemin yapısı, yöntemin kolay uygulanabilirliği, yapının özellikleri, yapının temel sistemi, saha koşulları, şantiye çevresinde bulunan yapılar, yeraltı suyu koşulları, bölgenin deprem durumu ve ekonomik olması göz önüne alınmalıdır. Günümüzde artan nüfus kaynaklı olarak okul, iş merkezi, sanayi yapıları, yol, baraj,

köprü, konut vb. yapı ihtiyacı da sürekli artmasından dolayı yapı inşa edilecek zeminlerin iyileştirilmesine ilişkin çalışmalar giderek artmaktadır. Artan bu zemin iyileştirme çalışmaları sayesinde pek çok zemin iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler sayesinde tarihi yapılarda zemin iyileştirme çalışmaları da çeşitlilik kazanmıştır. Kültürel mirasımız olan tarihi yapıların daha uzun süre ayakta kalmasını sağlamak ve gelecek nesillere aktarmak bizim sorumluluğumuzdadır. Uygulanan yöntemler dünyada ve ülkemizde giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak bazı durumlarda zemin birden çok sorun barındırabilir ve basit yöntemlerle çözüm sağlanamayabilir. Bu yüzden daha karmaşık zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir.

Bir yapının temel zemini yeterli taşıma kapasitesine sahipse, tarihi yapının ayakta kalmasında herhangi bir sorun yoktur. Bazı küçük müdahaleler ile zemin uygun hale getirilebilir. Ancak temel zemini, yapıdan gelen sabit ve hareketli yükleri taşıyamayacak kadar gevşek veya yumuşak ise, yükün daha derin zemin tabakalarına aktarılması gerekir. Zemin iyileştirme, yapının performansını ve dayanıklılığını artırmak için bir zeminin zayıf olan herhangi bir özelliğinin değiştirilmesidir. Kullanılacak yöntemler zeminin karakteristik özelliklerini iyileştirmeye çalışır. Zemin iyileştirme yöntemleri; oturma sorunlarını azaltmak, zemin homojenliğini artırmak, yeraltı ve yerüstü suyu akışını azaltmak ya da kontrol etmek, yamaçlara inşa edilen yapıların kaymasını engellemek vb. işlemler için kullanılabilir.

Zemin iyileştirme yöntemleri uygulanırken yapıda meydana gelen değişikliklerin ve deformasyonların sürekli olarak takip edilmesi gerekir. Bu yüzden ölçüm ve takip sistemi kurulmalıdır. Zemin iyileştirmesi ve yapının inşası sırasında ölçümlerin devamlı, hassas ve doğru bir şekilde yapılması büyük önem arz etmektedir.

Yapının inşa edileceği zemine göre temel projelendirmesi yapılmalıdır. Yapının yükleri zemine eşit dağıtabildiği radye temel yönteminin yetersiz olabileceği durumlarda kazık temel kullanılarak yapının güvenli olması sağlanabilir. Ancak kazık temel de bazı durumlarda yeterli olmayabilir. Bu yüzden zemin iyileştirme ve güçlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Eğer yapı inşasına uygun olmayan zemin tabakasının kalınlığı az ise, bazı doldurma ve sıkıştırma işlemleri yapılarak zemin kararlı hale getirilebilir. Ya da kalınlığı az olan tabaka kaldırılarak daha sağlam olan tabakaya erişim sağlanır ve yapı inşa edilir. Yukarıda bahsettiğimiz yöntemlerle

zemin problemlerine çözüm bulunabilir. Ancak her durumda zemin iyileştirilmesi bu kadar basit çözümlerle sağlanamayabilir.

Zemin iyileştirme ve güçlendirme yöntemleri literatürde genel olarak yüzeysel ve derin zemin iyileştirme yöntemleri olarak incelenmektedir. Ancak bu çalışmada tarihi yapılarda zemin problemleri üzerinde durulduğu için tarihi yapılarda kullanılabilecek zemin iyileştirme yöntemleri ve diğer yöntemler şeklinde incelenecektir.

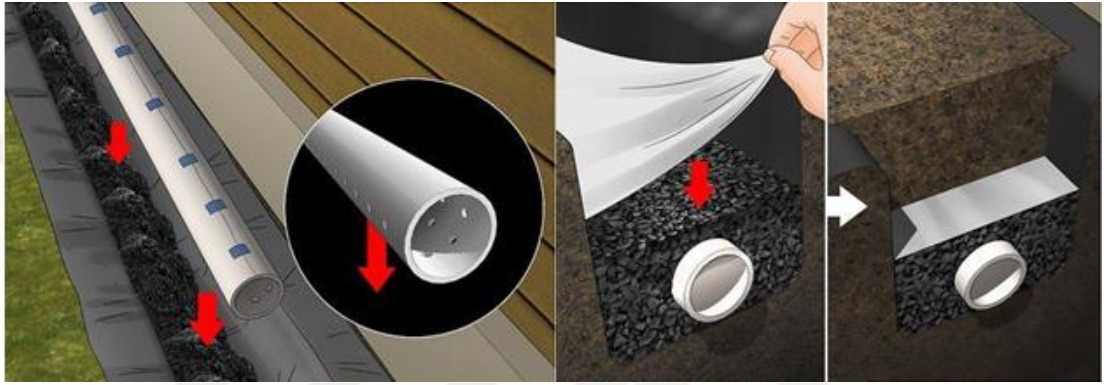
5.1 Tarihi Yapılarda Kullanılabilecek Zemin İyileştirme Yöntemleri

Dünyada ve ülkemizde tarihi yapıların önemi gün geçtikçe daha iyi anlaşılmaktadır. Bu yüzden de tarihi yapıların özüne zarar vermeden yapılan restorasyon çalışmaları önem kazanmıştır. Bu çalışmalardan biri de zemin iyileştirme yöntemleridir. Tarihi yapılarda zemin iyileştirilmesi yapılırken pek çok yöntem kullanılabilir ancak bu yöntemlerden uygun olan ve en kullanılan yöntemler; drenaj, jet grout, enjeksiyon ve mikro (mini) kazık yöntemleridir. En uygun yöntemin seçilebilmesi için yapının ve zeminin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

5.1.1 Drenaj

Yeraltı ve yerüstü sularının uzaklaştırılması işlemine drenaj denir. Su, zemin özelliklerinin ortaya çıkmasını engeller. Tarihi yapılarda drenaj sistemlerinin bulunmaması ya da yetersiz olmasından dolayı yapı temelleri olumsuz etkilenir, temel malzemelerinin bozulmasına ve çürümeye sebep olabilir. Suyun zemindeki artışı taşıma gücünde azalmaya neden olur ve yapıda beklenmedik oturmalarla sebep olabilir. Ayrıca zemin içerisindeki suyun donması, çözülmesi ya da zemin içerisindeki küçük parçalı borulanma gibi sebeplerle tarihi yapının temel sistemini olumsuz etkileyebilir. Son olarak da su organik yapıya etkilerde bulunabilir. Drenajın amacı yapının altındaki zeminde oluşan kaymaları azaltmak, yeraltı su seviyesini düşürmek, suyun yolunu kesip uzaklaştırmak, boşluk suyu basıncını azaltmak, don olaylarının zararlı etkisini azaltmak ve konsolidasyon oturmalarını hızlandırmaktır. Drenaj işleminin gerçekleştirilmesi için kullanılan drenler: Fransız drenleri, çevre drenleri, köstebek drenleri ve kuyu drenleri olarak incelenebilir.

Fransız drenleri, yeraltı yüzey sularının bina temellerine nüfuz etmesini ve bunlara zarar vermesini önlemek amacıyla hendeklere alternatif olarak kullanılmaktadır. Yapının sorunlu olan bölgesine yakın eğime sahip bir bölge seçilir. Binanın çevresinde seçilen bölge için 13-15 santimetre genişliğinde eğimli bir hendek kazılır. Drenaj yapılacak boru (büz) seçimi yapılır. Borunun etrafı su geçirgen kumaş ile sarılır. Hendeğin içi çakıl tabası ile doldurularak borunun sabit tutulması sağlanır. Borunun ucu suyun tahliye edileceği alana doğru verilir. Şekil 5.1’de Fransız drenlerinin görseli gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Fransız drenleri (URL-2).

Çevre drenleri, yapının etrafını hendekler ile tesviye eğrileri boyunca çevreler. Bu sayede drenaj yapılacak sahaya su girişi önlenir ve zeminde olan suyu boşaltmak için yapılan diğer drenaj işleminin maliyeti azalır. Çevre drenleri temel inşaatlarının kuru şekilde yapılmasını sağlar (Şahan, 2016).

Köstebek drenleri, killi zeminler drenaja uygun olmadığından köstebek drenleri kullanılır. Köstebek drenleri, mermi şeklinde bir köstebek sapanının yatay bir kol üzerine monte edilmesiyle oluşur. Bu kol zeminin bir miktar altında tutulur. Kol çekildiği zaman zeminde silindirik kanallar oluşur ve killerdeki suyun drene edilmesi sağlanır. Köstebek drenler belli aralıklarla zemine yerleştirilerek bir kanala bağlanmalıdır. Bu kanallardan suyun uzaklaştırılması sağlanır. Şekil 5.2’de köstebek drenlerinin görseli gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Köstebek dren (URL-3).

Kuyu drenleri, açılan drenaj kuyuları yapının temelinin tabii su seviyesinin altında yapılmasına olanak sağlamak amacıyla su seviyesinin hızlı bir şekilde indirilmesi amacıyla kullanılır. İnşaat alanında farklı çaplarda kuyular açılarak biriken su çekilmeye başlanır. Kuyulardaki suyun çekilmesi işlemi pompalar yardımıyla yapılır. Büyük derinliklerde daha fazla su birikeceğinden daha büyük ve kademeli pompa sistemleri kullanılmalıdır.

Tarihi yapının temel çevresinin sonradan yeniden drene edilmesi birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Örnek olarak, Fırat vd., (2020) Gazi Üniversitesi Rektörlük Hizmet Binası olarak kullanılan Gazi Mustafa Kemal Paşa Muallim Mektebinin etrafına drenaj çalışması yapmışlardır. Bu yapıda temel altına sızan sular, zemin ve bodrum kat duvarlarında nem sorununa sebep olmuştur. Bu problemten ötürü 2013 yılında taban drenajı çalışması yapılmıştır. Yapının doğu, güney-doğu, kuzey-doğu bölgeleri temel seviyesine kadar kazılarak yapılmıştır. Çalışmada hasır donatılı betonarme bloklar sayesinde drenaj çukurları desteklenmiş ve drenaj sistemi kurularak suyun uzaklaşması sağlanmıştır. Yapılan bir diğer çalışmada (Tavukçuoğlu

vd. 2005) Aksaray ilinin Ağzıkarahan köyünde bulunan tarihi bir binanın drenaj sorunları incelenmiştir. Sekiz asırdır ayakta kalmış olan binanın bu kadar uzun yıllar dayanmasının yüzey ve yeraltı drenaj sistemine sahip olması olduğu tespit edilmiştir. Ancak zamanla yüzeysel drenaj sisteminin bozulduğu ve yapının su yüzünden olumsuz etkilere maruz kaldığı görülmüştür. Bunun sonucunda binanın yüzeylerinde göletler oluşmuştur. Yapının stabilitesini sağlamak amacıyla yapının çevresindeki alanların da ara sıra drene edilmesinin önemli olduğu ortaya konmuştur.

5.1.2 Jet grout yöntemi

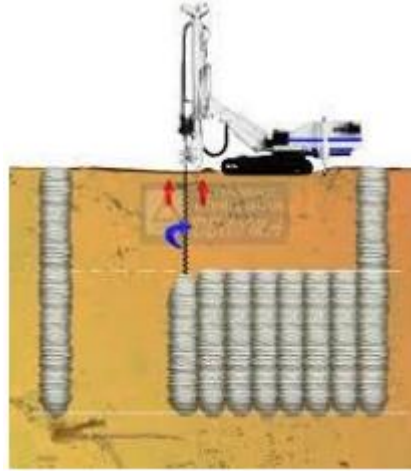
İyileştirilme yapılacak zemine, istenilen derinliğe kadar bir delgi yapılır. Bu delgiye jet grout ekipmanı kullanılarak yüksek basınçta çimento-su enjeksiyonu yapılır. Zemin-çimento kolonları oluşturulur. Bu kolonlar zemindeki boşlukları azaltır ve taşıma gücünü artırır, ayrıca meydana gelen oturmaları da önlemiş olur. Bu sayede zeminin mukavemeti artar, permeabilitesi azalır. Yöntemin uygulandığı zemine göre kolon çapları değişmektedir. Enjeksiyon şerbetinin yüksek basınç ile püskürtülerek zemini kesmesi ile beraber oluşan kolonlar homojen bir eleman olarak çalışır. Bu yöntem kil, kum, çakıl, silt bulunduran zeminlere uygulanabildiği için son yıllarda oldukça kullanılan bir yöntemdir. Jet grout yöntemi ile derin temeller, tüneller, istinat duvarları, batardolar, zemin ankrajları ve geniş sahalarda zemin iyileştirmesi yapılabilir. Şekil 5.3’de çift akışkanlı jet grout uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Jet grout yöntemi (URL-4).

Díaz vd. (2023), jet grout yöntemi ile oluşturulacak kolonların tek eksenli basınç dayanımının tahmini için bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Yapılan çalışmada toprak tipini ve uygulama tekniğini çeşitli basınç parametreleri ile ilişkilendirmiştir. Yapılan çalışma sonucunda oluşturdukları modelin gerekli olan basınç dayanımını optimum bir şekilde tahmin ettiğini göstermişlerdir.

Jet grout yönteminin avantajları, geometrik ölçüler doğrultusunda uygulandığından dolayı kullanılacak malzemenin hesaplanabilmesi, her zemine uygulanabilmesi, genel olarak çimento-su karışımı kullanıldığı için çevre kirliliği yaratmaması, dar sahalarda uygulanabilir olmasıdır. Jet grout yöntemi deprem sırasında zemin sıvılaşmasını da önlemektedir. Jet grout yönteminin gelişimi günümüzde de devam etmektedir. Her türlü zeminde kullanımı ve verimi artmaktadır. Teknolojide meydana gelen gelişmeler ile yüksek basınçlı pompaların kullanılması da yöntemin yaygınlaşmasında etkilidir. Uygulama sırasında insan gücü gerekliliği azaldığı için de verim artmıştır. Tek, çift, üç akışkanlı sistem olarak 3 şekilde uygulanmaktadır. Şekil 5.4’de jet grout yöntemi uygulamasının temsili görseli yer almaktadır.



Şekil 5.4. Jet grout yöntemi görseli (URL-5).

Jet grout yöntemi kabarma oluşturmadiğından dolayı tarihi yapıların zemin güçlendirmesinde kullanılmaktadır. Püskürtme işleminin tarihi yapıya zarar vermemesi için püskürtme basıncının sürekli olarak denetlenmesi gerekir. Düşük basınçla başlanan püskürtme işlemi zamanla ve kademeli olarak artırılmalıdır. Ayrıca uygulamadan önce yapı askıya alınarak deforme olmuş tarihi yapıların etkilenmesi önlenabilir.

5.1.3 Enjeksiyon yöntemleri

Yumuşak zeminleri güçlendirmek ve kayma mukavemetini artırmak amacıyla çeşitli bileşiklerdeki karışımların basınç altında zemine enjekte edilmesi işlemidir. Enjeksiyon yöntemleri; aşırı oturmaların ve su kaçaklarının önlenmesinde, boşlukların doldurulmasında, gevşeyen temel kayalarının üst kısımlarının sağlamlaştırılmasında, tünel inşaatlarında kullanılmaktadır.

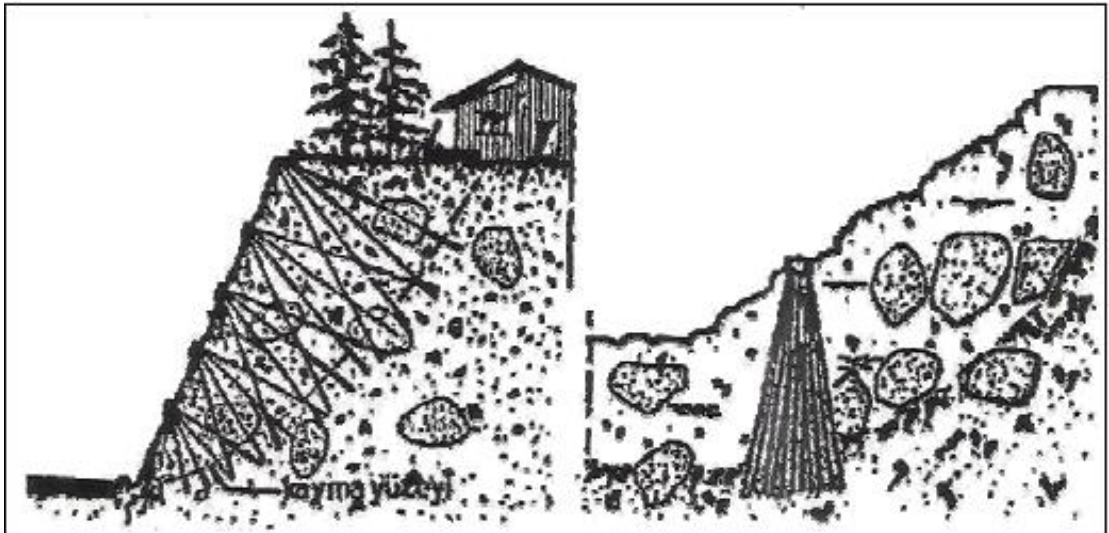
Enjeksiyon yöntemlerinde en basit yöntem su içerisinde çimento süspansiyonudur. Bu yöntem genellikle gevşek ve iri daneli zeminlerde kullanılmaktadır. Çimento harçları büyük ölçüde çökelme yaptığı için kum ve çakıl bulunduran zeminlerde uygulanması doğru değildir. Kum ve çakıllı yani ince daneli zeminlerde kimyasal enjeksiyon kullanılabilir. Yapının yakınında yapılacak kazılarda temelin emniyete alınması için kullanılabilir. Enjeksiyon yöntemleri tarihi yapıların zemin iyileştirmesinde kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca enjeksiyon yöntemleri ile zeminin sıvılaşma potansiyeli de önemli ölçüde azaltılabilir.

Zeminin türüne göre enjeksiyon yapılacak malzemenin belirlenmesi gerekir. Enjeksiyon tekniklerinde kullanılan kimyasal maddelerin zehirsiz olması gerekir. Çünkü enjeksiyon yapılan kimyasal yeraltı suyuna karışarak çevreye zarar verebilir. Kimyasal maddelerin düşük viskoziteye sahip olduğundan dolayı zemindeki küçük boşlukları bile doldurabilirler. Enjeksiyon teknikleri zeminin kayma mukavemetini artırır (Demiröz ve Karaduman, 2009).

Enjeksiyon teknikleri farklı akademik çalışmalarda farklı başlıklarda incelenmektedir. Bazı çalışmalarda jet enjeksiyonu olarak anlatılan jet grout yöntemidir. Ancak çoğunlukla jet grout yöntemi farklı başlıklarda incelenen farklı bir metot olarak ele alınmaktadır.

5.1.4 Mikro (mini) kazıklar yöntemi

Genellikle çimento harcı ile hazırlanan 10-30 cm arasındaki çaplarda yapılan kazıklardır. Beton çeliği ya da özel çelikten üretilmiş donatılar kullanılır. Açılan deliğe donatı yerleştirildikten sonra deliğe beton dökülmesi şeklinde yapılır. Mini kazıklar yatayla açı yapacak şekilde yerleştirilebilir. Yükler kazıkların gövdesinin zemine sürtünmesiyle aktarılır. Her türlü ortamda uygulanabilir, ayrıca yapımı kolaydır (Şahan, 2016). Şekil 5.5’ de eğimli arazilere yerleştirilen mini kazıklar temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Eğimli yamaçta mini kazık uygulaması (Öztürk, 2006).

Mikro kazıklar genel olarak yapıların mevcut olan temellerini desteklemek için kullanılır. Bu yüzden tarihi yapıların zeminlerini iyileştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Enjeksiyon tekniklerinin yapımının zor veya sınırlı olduğu yerlerde kullanılabilirler. Gelişen teknoloji ile birlikte daha düşük çaplarda ancak daha fazla eksenel yük taşıyabilen mini kazıklar üretilmektedir. Şekil 5.6’da bir bina temeline mini kazık uygulama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Bina temeline mini kazık uygulaması (Öztürk, 2006).

5.2 Diğer Zemin İyileştirme Yöntemleri

5.2.1 Kompaksiyon

Zeminin mühendislik özelliğinin artırılması için yoğunluk artışı sağlanmalıdır ve bu da zeminin sıkılaştırılması ile elde edilir. Zemin sıkılaştırması, zeminde yer alan hava boşluklarının mekanik araçlar aracılığı ile azaltılarak daha sıkı hale gelmesi, daneciklerin birbirine yaklaştırılmasıdır. Yapılan bu zemin sıkılaştırma işlemine kompaksiyon denir (Şahan, 2016).

Zeminin sıkılaştırılması ve danelerin yaklaştırılmasını sağlamak dinamik veya statik güçler altında danelerin birbirlerine göre hareket ettirilmesi sonucu elde edilir. Zeminin hareket yeteneği ise, zeminde bulunan su miktarına ve zeminin kompaksiyon enerjisine bağlı olarak değişiklik gösterir. Zeminin kompaksiyon kapasitesinin ölçümü yapılırken kuru birim hacim ağırlığı dikkate alınır. Kuru zemine belirli miktar su eklendiğinde daneler kolayca yerleşir daneler arasında

sürtünme azaldığı için sıkışması daha kolay olur ve kuru birim hacim ağırlığı da artmış olur. Zemine belirlenen miktardan sonra su ilavesine devam edildiği takdirde zemin boşluklarındaki su fazlalığı kuru birim ağırlığında artış sağlamak yerine azalmaya sebep olur bu durumda zemin tamamen suya doygundur ve kompaksiyon yapılamaz (Ayan, 2009). Şekil 5.7’de kompaksiyon işlemi uygulamasına ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 5.7. Kompaksiyon işlemi (URL-6) .

Zemin kompaksiyon işlemi yapılırken sabit sıkıştırma enerjisinde maksimum kuru birim hacim ağırlığının elde edildiği bir su muhtevası vardır ve bu optimum su muhtevasıdır. Optimum su muhtevası zeminin yoğun sıkıştırılabildiği su muhtevasıdır. Optimum su muhtevası her zemin de ince tane oranına göre değişiklik göstermektedir. Tarihi yapıların bulunduğu zeminin yapısı ve türü incelendiği takdirde, yapının en stabil şekilde ayakta kalacağı su muhtevası da belirlenebilir.

5.2.2 Çimento ile stabilizasyon

Çimento kullanılarak yapılan zemin iyileştirme yöntemi ABD’de 1920’li yıllarda başlamıştır. Genellikle hava alanları ve ulaşım yollarının temel altı iyileştirmelerinde kullanılmaktadır. Düşük plastisiteye sahip ve kumlu zeminlerde oldukça kullanılan bir yöntemdir. Zemin içerisine eklenen çimento plastisite indisini ve killerde işlenebilirliği artırır (Al, 2018).

Çimento stabilizasyonunun başarılı olabilmesi için çimento parçacıklarının zemin parçacıklarının çoğunu kaplaması gerekir. Zemin ve çimento partiküllerinin boyut dağılımının doğru olması ve doğru oranlarda karıştırılması gerekir (Afrin, 2017).

5.2.3 Kireç ile stabilizasyon

Stabilizasyon malzemesi olarak kullanılan en eski madde kireçtir. En eski örneklerine Çinliler ve Romalılarda rastlanır. Killi zeminlere genellikle sönmüş kireç eklendiğinde boşluklar azalarak zeminin iyileştirilmesi sağlanır. Lös ve ince kum içeren zeminlerde sönmemiş kireç daha iyi sonuç vermektedir. Sönmemiş kireç suyu emer, bu olay sırasında belirli miktarda ısı açığa çıkar ve bu durum zeminin kurumasına neden olur. Kil içeriği fazla olan zeminlerde uygulandığında iyi sonuç vermektedir. Kireç ile stabilizasyon çevre özelliklerinin etkisi altında zeminin bozulmasının gecikmesini ve sınırlı kalmasını sağlar. Zeminin şekil değiştirme direncinin artmasını, şişme potansiyelinin azalmasını ve mukavemetinin artmasını sağlar (Demiröz ve Karaduman, 2009).

Kireç ile birlikte yüksek ısılı fırınlarda toz haline getirilmiş uçucu kül, şist ve jipsli malzemeler kullanılabilir. Kireç stabilizasyon yöntemi ince taneli zeminlerde etkilidir. Uçucu külün kireç le birleştirilerek kullanılması durumunda iri daneli zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilir. Bazı akademik çalışmalarda (Negi vd., 2013) kireç-uçucu kül ile stabilizasyon ayrı başlıklarda incelenmektedir.

5.2.4 Bitüm ile stabilizasyon

Bitüm petrolün damıtılması sırasında arta kalan, yüksek kaynama noktalı hidrokarbonlardan oluşan, asfaltlamada, çatı ve kâğıtların su geçirmez duruma getirilmesinde vb. kullanılan bir karışımdır. Bitüm su ile karıştırılarak iyileştirilecek zemine uygulanır, oluşturulan karışımın hacmi doldurulacak boşlukların hacminden fazla olmamalıdır. Bitüm karışımının ince taneli zeminlerle karıştırılması zeminin geçirimsizliğini artırır. Bitüm diğer malzemelere göre maliyetli olduğundan dolayı daha az kullanılan bir yöntemdir. İngiltere’de bitüm ile çimento karıştırılarak kullanılan bir yöntem de bulunmaktadır. Bu karışım ince taneli zeminlere uygulandığında bitümün her yere yayılmasını sağlar. Zemine mukavemet kazandırır (Andavan ve Kumar, 2020).

5.2.5 Ön yükleme

Yapıda meydana gelebilecek oturmaları azaltmak ve yumuşak killi zeminlerin mukavemetini artırmak amacıyla en fazla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde yapının inşa edileceği alan çakıl ve kum dolgu ile yüklenmekte ve bu yükleme sonucunda zeminin konsolide olması sağlanmaktadır. Uygulanan basınca bağlı olarak zeminin sıkılığı ve taşıma gücü artmaktadır. Zeminin oturması tamamlandıktan sonra dolgu kaldırılır, zemin dolgu sayesinde önceden oturmaya maruz kaldığı için, yapı inşa edildikten sonra oluşacak oturmalar azaltılmış olur. Killi ve yumuşak zeminlere uygulanan ön yükleme yönteminde, zeminin oturması için gereken süreyi azaltmak için ek olarak kum drenleri ya da drenaj yöntemleri uygulanabilir.

5.2.6 Prefabrik drenler

Birbirine yakın belirli aralıklarla yerleştirilen geçirgenliği yüksek oluklu kağıt ve plastik kullanılarak oluşturulan prefabrik drenlerin ucu çelik bir çubuk mile bağlanır. Çubuk mil vibratör yardımıyla hızlı bir şekilde istenilen yere sokulur ve prefabrik drenler yerleştirilir, mil geri çekilir. Tüm drenler yerleştirildikten sonra zemin sıkıştırılır. Sıkıştırılan zemindeki su bu drenlerden yukarı çıkar ve pompalar yardımıyla uzaklaştırılır. Prefabrik drenler hızlı bir şekilde yerleştirildiği için avantaj sağlar. Konsolidasyon hızını artırmak için drenler yakın yerleştirilir.

5.2.7 Kum drenleri

Stabil ve dayanıklı olmayan killi zemine kazıklar çakılarak delikler açılır. Bu deliklere temiz kum doldurularak, kolonlar yapılır. Kum drenleri kullanılarak, stabil olmayan killi zeminin drenaj yolu kısaltılır ve konsolidasyon hızı artırılır.

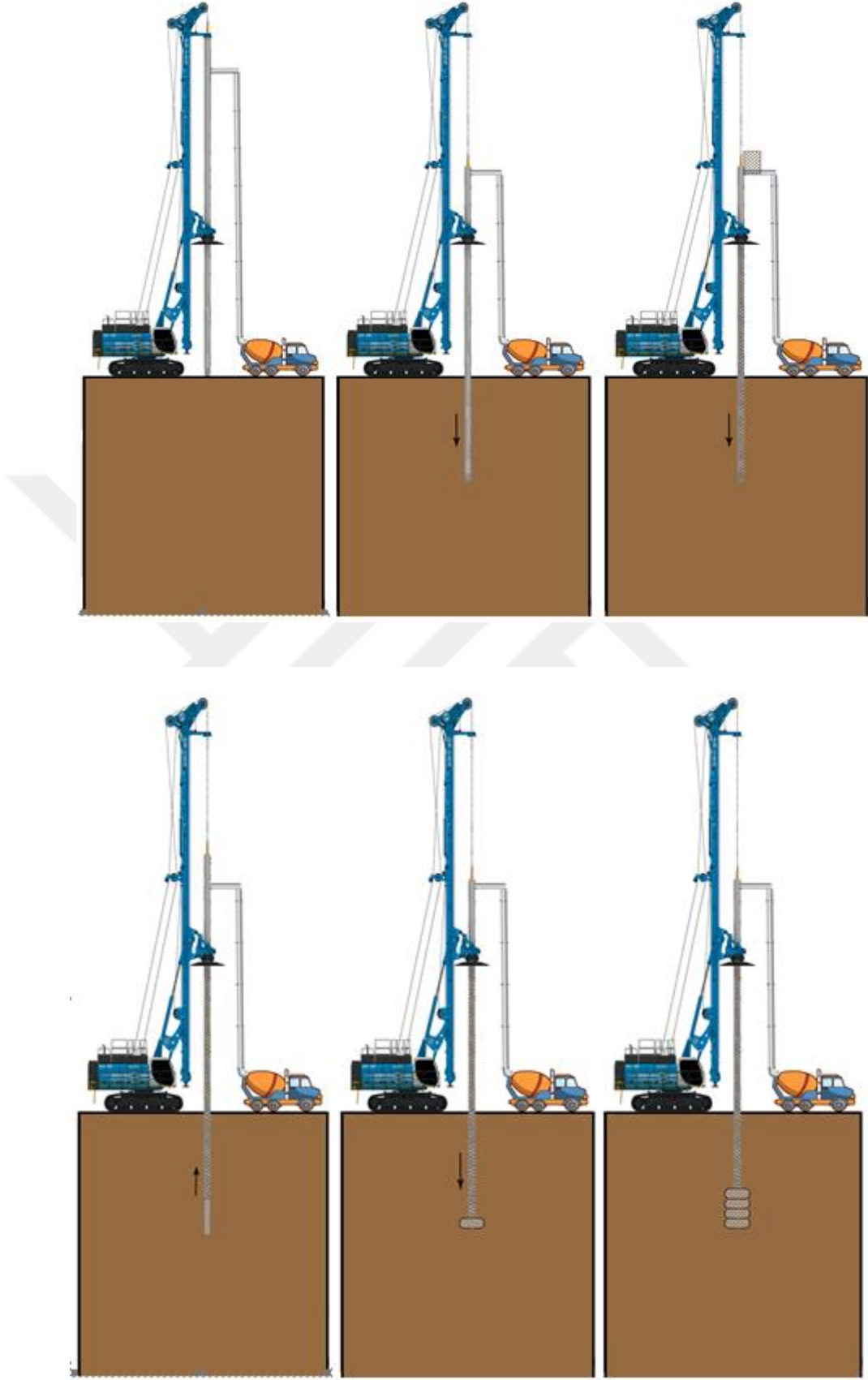
Ön yükleme yöntemi kullanılarak yapılan işlemlerde konsolidasyon oturmaları uzun zaman aldığı için, konsolidasyon hızını artırmak amacı ile kum drenleri zemin içerisine yerleştirilir ve suyun hızlı bir şekilde drenajı sağlanır (Demiröz ve Karaduman, 2009).

5.2.8 Patlatma yöntemi

Patlatma yöntemi uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Uygulanacak zemin içerisinde belli miktarda yerleştirilen patlayıcılar ardışık şekilde patlatılarak basınç dalgaları oluşturulur. Bu yöntem uygulanması kolay ve diğer yöntemlere göre ekonomik bir yöntemdir. Derin zeminlerde sıkıştırma yapmak amacıyla patlayıcı maddeler daha derine yerleştirilir. Ayrıca bu yöntem zeminin biraz üzerinde olacak şekilde su altında da uygulanabilir. Patlamalarla birlikte zeminde basınç dalgaları meydana gelir. Şok dalgası zeminin sıkışmasına sebep olur.

5.2.9 Taş kolonlar

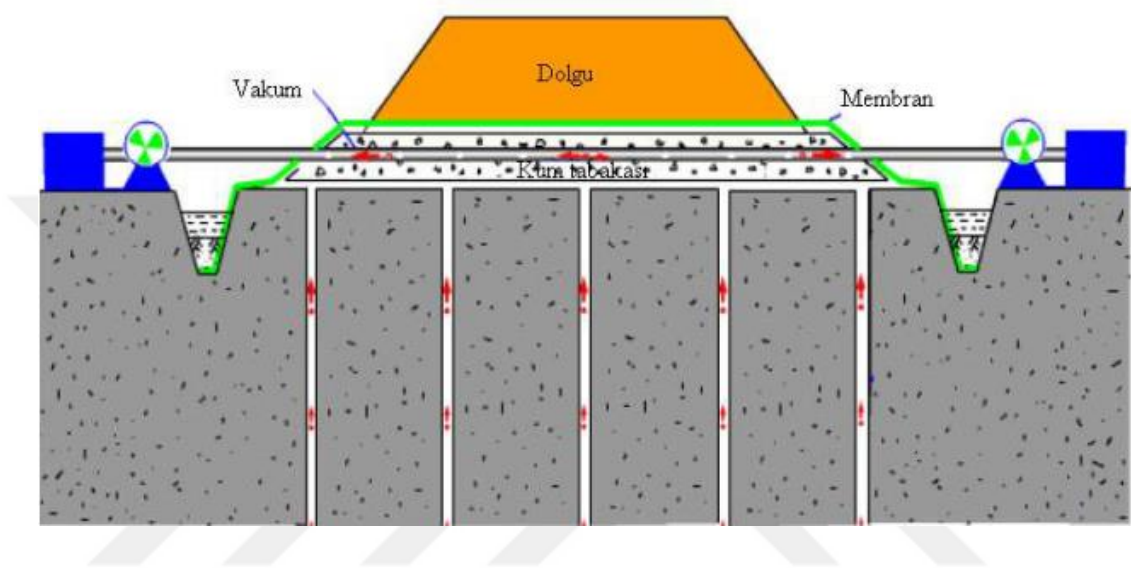
Taş kolon yöntemi genel olarak ince taneli zeminlerde kullanılmaktadır. Bu yöntemde ana mantık zemine gelen yükleri ortaklaşa taşımaktır. Oturmaların azalmasına ve taşıma gücünün artırılmasına yardımcı olur. İnce kum içeren gevşek zeminlerde sıvılaşmaya karşı önerilmektedir. Sıvılaşmaya bağlı zemin deformasyonu riski, taş kolon tekniği kullanılarak önemli ölçüde azaltılabilir. Adalier ve Elgamar (2004) yaptıkları çalışmada taş kolon yönteminin kurulumundan önce zemini yoğunlaştırmak için bir çalışma yapılmazsa drenaj etkilerinin artacağını ve yöntemi olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. Bu yöntemde uygulamayı yapan ekibin deneyimi çok önem arz etmektedir. Vibroflot kullanılarak açılan delikler çakıl agregaya da kırmataş ile doldurularak sıkıştırılır. Şekil 5.8'de taş kolon uygulaması aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Taş kolon imalatı aşamaları.

5.2.10 Vakumla su emme metodu

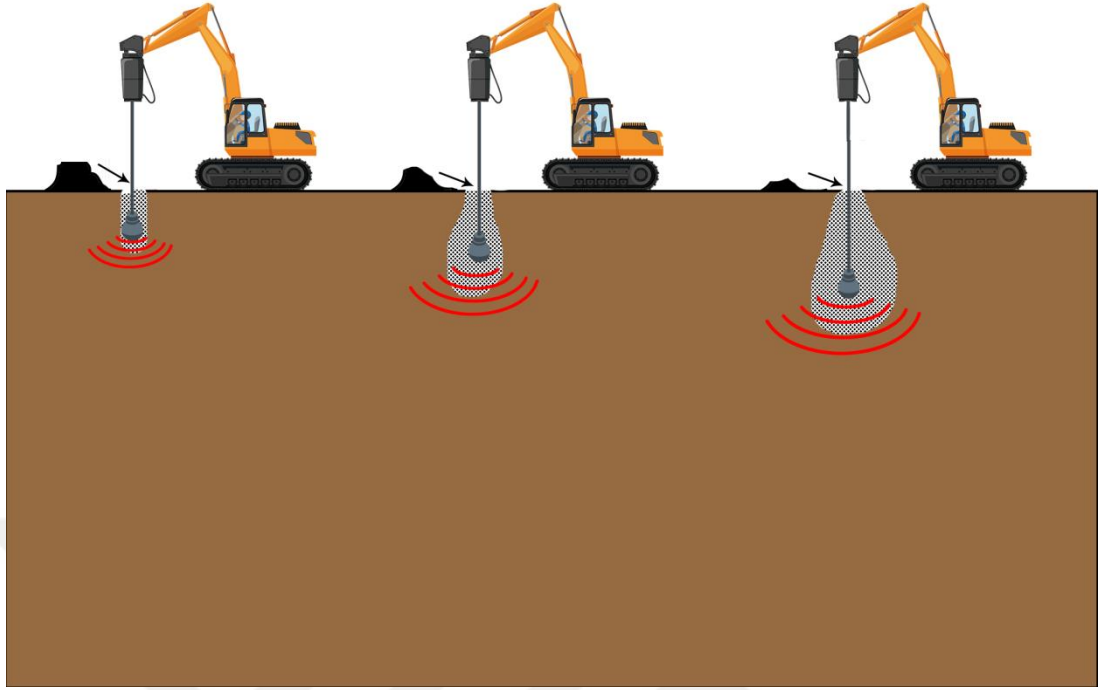
Dolgu yapımı gerekli olan ancak doldurma işleminin ekonomik olmayan inşaatlarda bu yöntem tercih edilebilir. Zemin üzerine geçirimsiz bir yapı yerleştirilir, inşaat alanının çevresi kapatılır. Plastik dren sistemi içerisinde vakum yapılır. Yapılan vakum ile oluşturulan boşluk suyu basıncı konsolidasyona neden olur (Şahan, 2016). Şekil 5.9’da vakumla su emme uygulaması tekniği gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Vakum su emme uygulaması (Şahan, 2016).

5.2.11 Vibro kompaksiyon yöntemi

İri daneli, gevşek zeminlerde, zemine bir sonda yerleştirilmesi ve yüksek enerji titreşimleriyle sıkıştırılması ile uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemle 10-15 metre derinlikteki zeminler sıkıştırılabilir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu, gevşek kum tabakalarına sahip kohezyonsuz zeminlerde etkili olmaktadır. Zeminde büyük miktarda çakıllı kum var ise verim oranı büyük ölçüde azalır. Vibro kompaksiyon yönteminde titreşim verildikçe oluşan boşluklar çakıl veya kumla doldurulur, tekrar titreşimle zeminin sıkışması sağlanır (Ceylan, 2011). Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.10) vibro kompaksiyon yöntemi temsili olarak gösterilmiştir.

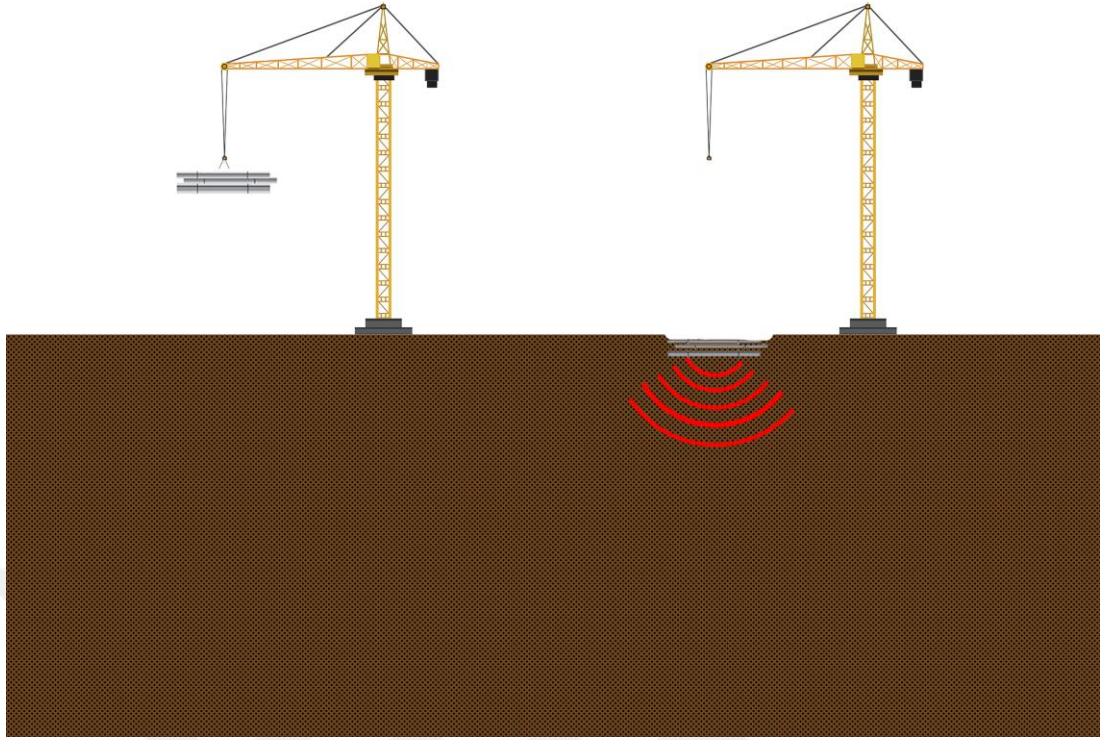


Şekil 5.10. Vibro kompaksiyon yöntemi.

5.2.12 Dinamik kompaksiyon metodu

Bu yöntem ilk olarak 1930'lu yıllarda Almanya'da otoyol yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Dinamik kompaksiyon yönteminde zemin üzerine ağır kütleler (10-40 ton) belirli yüksekliklerden (10-40metre) düşürülerek şok dalgaları oluşur, bu dalgalar ile düşme etrafındaki zemin sıkışmaktadır. Bu yöntem ile 20 metreye kadar zemin iyileştirilmesi yapılabilmektedir. Gevşek ve iri daneli zeminler yüksek oranda sıkışabilmektedir. Yapılan vuruş sayısına göre de zeminin sıkılaşıma oranı değişmektedir (Ayan, 2009).

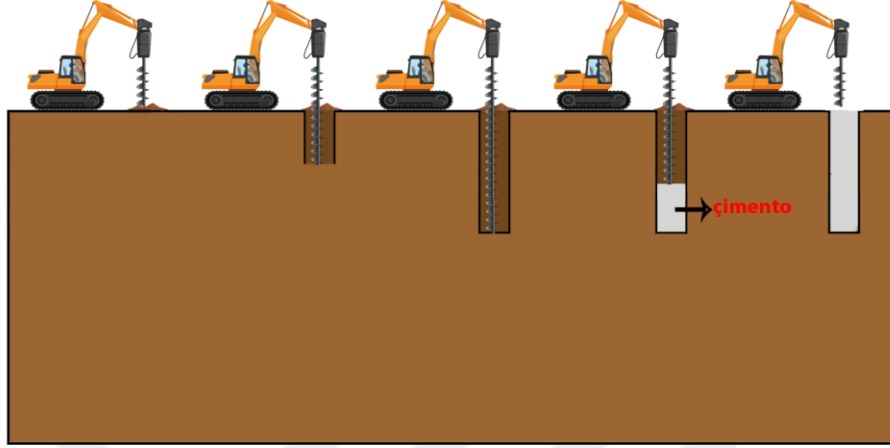
Jafarzadeh (2006) yaptığı çalışmada dinamik kompaksiyon yönteminin fiziksel modelini oluşturarak testler yapmıştır. Farklı ağırlık ve kesit alanlarına sahip 4 adet silindir tokmak kullanarak çeşitli yüksekliklerden düşürülmesini sağlamıştır. Yerleştirilen ölçüm aletleri ile oluşan düşey gerilimleri ölçmüş ve zeminin sıkışmasını incelemiştir. Bu incelemeler sonucunda saha sonuçları ve test sonuçlarını karşılaştırmış, sonuçların uyum içinde olduğunu tespit etmiştir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.11) dinamik kompaksiyon yöntemi temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Dinamik kompaksiyon yöntemi.

5.2.13 Derin karıştırma

Kireç ya da portland çimentosunu belirli karıştırıcılar ile zemine karıştırarak yapılan zemin iyileştirilme yöntemidir. Karıştırılan malzeme prizini alarak sertleşmekte ve zemin taşıma gücünü artırmaktadır. Bu yöntem Japonya ve İsveç'te yaygın olup killi yumuşak zeminlerde uygulanmaktadır. Bu yöntem kullanılırken zemin ve diğer malzemelerin iyi karıştırılması gerekir. Derin karıştırma yöntemleri hakkında yapılan çalışmalar genellikle derin karıştırma yöntemlerinin ekipmanları, kurulumu ve uygulanmasının maliyeti hakkında yoğunlaşmıştır. Navin (2005), yaptığı çalışmada dolguların stabilitesi için derin karıştırma yöntemiyle oluşturulan kenar kolonlarının etkinliğini incelemiştir. Şekil 5.12'de derin karıştırma yöntemi temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Derin karıştırma yöntemi görseli.

5.2.15 Kireç kazıkları

Genellikle Çin’de kullanılan bir yöntemdir. Sönmemiş kirecin kuyulara doldurulmasıyla yapılır. Su muhtevasının fazla olduğu zeminlerde tercih edilmektedir. Sönmemiş kirece su ilave edildiğinde ağırlığının %32’lik kısmına eşit su emmektedir. Bunun sonucunda kirecin hacmi artar, hacmi artan kireç kuyuların kenarlarına baskı yapar ve bu da konsolidasyona sebep olur (Ayan, 2009).

5.2.16 Elektro osmoz

Yumuşak ve ince daneli zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla 1900’lü yılların ortalarında geliştirilen bir yöntemdir. Siltli zeminlere gönderilen akım ile boşluk suyunun + dan – ye doğru hareket ettirilmesine elektro-osmoz denir. Katotta (-) toplanan su boşaltılarak konsolidasyon sağlanır. Özel sıvıların ilavesi ile zemin daha stabil hale de getirilebilir (Şahan, 2016). Şekil 5.13’de elektro osmoz öncesi ve sonrası bir zemine ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 5.13. Elektro osmoz öncesi ve sonrası (Şahan, 2016).

Elektro osmoz yöntemi düşük hidrolik iletkenliğe sahip yumuşak zeminlerde uygulanabilir. Su tahliyesinin yanında zeminin şişmesini azaltması, düşük uygulama maliyeti, konsolidasyonu hızlandırması, mukavemeti artırması gibi avantajları vardır (Andronic vd., 2013). Martin vd., (2019) yaptıkları çalışmada elektro osmoz kullanımında saha ve laboratuvar testlerini karşılaştırarak yöntemin avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirmiştir.

5.2.17 Isıl işlemler

5.2.17.1 Dondurma metodu

Göçme eğilimi gösteren zeminlerde geçici olarak uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Göçmeye karşı dayanıksız olan zeminlerde, tünel ve yeraltı kazılarında inşayı kolaylaştırmak amacıyla yeraltı suyunun dondurulması ile uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir.

Zemine yerleştirilen borulardan soğuk hava ya da soğuk su geçirilerek zemindeki sıcaklık düşürülür. Günümüzde buzdolaplarında da kullanılan amonyak ya da freon gazları kullanılarak soğutulan su borulardan geçirilerek zemin içerisinde dolaştırılır. Ayrıca sıvı karbondioksit ve sıvı nitrojen ile çabuk dondurma metotları da geliştirilmiştir. Zemindeki suyun dondurulması işlemi her ortamda yapılabilir ancak maliyetleri fazla olabilir. Bu yüzden yumuşak zeminlerde yüzeysel derinliklerde tercih edilebilir. Bu metot hareketli yeraltı suyu bulunan zeminlerde kesinlikle uygulanmamalıdır.

5.2.17.2 Isıtma metodu

Suya doayun olmayan killi zeminler ortamın sıcaklığının artırılmasıyla mukavemet kazanır. Sıcaklık arttıkça suyunu kaybeden killi zemin katılaşıır. Sıcaklık yeterli seviyeye ulaştığında katılaşma kalıcı olur. Bu şekilde iyileştirme yöntemleri ekonomik ve pratik değildir. Ancak 400-600°C ye kadar ısıtılan killi zeminlerde mukavemet artışının önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Isıtma ile zemin iyileştirme yöntemleri genellikle doğu bloklu soğuk ülkelerde kullanılmaktadır. Rusya ve Romanya'da ısıtma ile zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Rusya da yaygın olarak kullanılan yöntemde, zemine sondaj delikleri açılarak, bu deliklere basınç altındaki sıvı yakıtların (benzin vb.) yakılması ile yüksek sıcaklıklar sağlanarak zemin iyileştirilmesi sağlanmıştır (Ayan, 2009).

5.2.18 Geosentetik malzemeler

Geosentetik malzemelerin sayısı giderek artmaktadır. Çünkü geosentetik malzemeler, performansı iyileştirmekte ve güvenli yapı inşaatına olanak sağlamaktadır. Ayrıca diğer tekniklere göre daha hızlı ve ucuzdur. Şekil 5.14'de geosentetik bir ürün olan geomembran yerleştirilmesine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 5.14. Geomembran yerleştirimi (URL-5).

Zemin iyileştirilmesinde kullanılan geomembranların su ve kimyasal madde geçirgenliği düşüktür. Ayrıca çatlama ve delinmelere karşı dayanıklıdır. Bu gibi özellikleri sayesinde sızmaya karşı koruma amaçlı kullanılmaktadır. Geosentetik malzemelerin pek çoğu polyester, polietilen, polipropilen, PVC vb. malzemelerden yapılmıştır. Geosentetik ürünler bozulmalara karşı dirençli ürünlerdir. Geosentetik ürünler güçlendirme, koruma, yalıtım, drenaj vb. görevleri vardır.

5.2.19 Akıllı zeminler

Doğada uzun süre sonucunda oluşan mekanizmaların daha hızlı bir şekilde oluşturulmasını sağlayarak geliştirilen yöntemlerdir. Hollanda da geliştirilen bio-geçirimsizlik ve bio enjeksiyon teknikleri bulunmaktadır.

Laboratuvarıda üretilen bakteriler kalsiyum ve üre çözeltisi ile iri daneli (kohezyonsuz) kum bulunan ortama enjekte edilerek bio enjeksiyon yöntemi uygulanır. Bakteriler üreyi karbonata ve kalsiyum kalsit kristallerine dönüştürmektedir. Kalsit kristalleri de aşağı çökerek kum danelerini birbirine bağlar ve kumun mukavemetini artırır. Ancak permeabilitesini çok az etkilemektedir. Bio-geçirimsizlik bakterilerin üremesi için kum zemine besleyici gıda enjeksiyonu yapılmaktadır. Çoğalan bakteri kolonileri zemindeki kum danelerine tutunarak boşlukları doldurarak permeabiliteyi azaltmaktadır (Ayan, 2009).

6. CAFER PAŞA CAMİ'NİN YAPISAL ANALİZLERİ

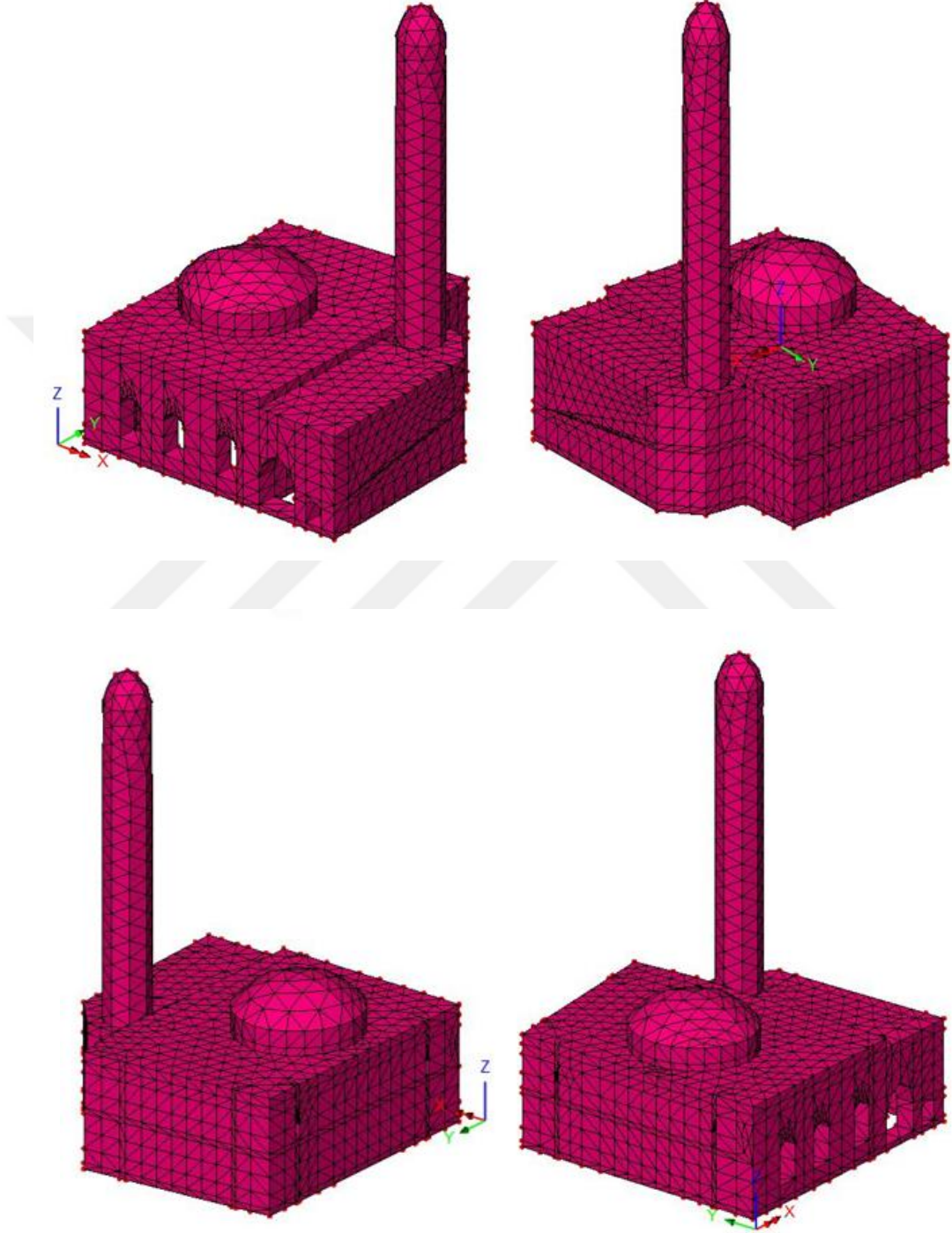
6.1 Cafer Paşa Cami'nin Modellenmesi

Cafer Paşa Cami'nin yapısal davranışını anlamak amacıyla sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlere nispeten kolaylıkla uygulanabilir. Karmaşık ve matematiksel süreksizliklere sahip büyük bir yapıyı daha küçük ve yönetilebilir bölümlere ayırarak çalışır. Bu caminin modellenmesi ve analizi LUSAS (London University Stress Analysis System) yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır. LUSAS doğrusal ve doğrusal olmayan, 3 boyutlu statik ve dinamik analizler yapabilen bir yazılımdır. LUSAS çabuk modellemeye ve kapsamlı yüklemelere olanak sağlayan bir analiz programıdır. LUSAS programı dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar programlarından biridir.

Camide kullanılan malzemelerin sedimanter kayaç (kireçtaşı) kökenli olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan araştırmalar doğrultusunda kireç taşının mekanik özellikleri elde edilmiştir. Kireç taşının minimum basınç dayanımı 49 MPa, Elastise modülü 49000 MPa, Poisson oranı 0.2 ve kütle yoğunluğu 2.50 t/m^3 olarak dikkate alınmıştır. Yığma birimlerin basınç dayanımı yüksektir, bu durum yapının statik açıdan daha stabil ve yüksek mukavemete sahip olmasını sağlamaktadır. Yapıda kullanılan harcın basınç dayanımı ile ilgili herhangi bir veri bulunmadığından literatürde benzer bir harç olan çimentosuz horasan harcının basınç dayanımı ile ilgili bilgiler dikkate alınmıştır. Çimentosuz horasan harcının basınç dayanımının 1 MPa alınması uygun görülmüştür. Bu bilgiler doğrultusunda yapının beden duvarlarının karakteristik basınç dayanımı yaklaşık olarak 5.01 MPa bulunmuştur. Beden duvarlarının elastise modülü yaklaşık olarak 4900 MPa olarak dikkate alınmıştır. Literatürde bu tür elemanların çekme dayanımı, basınç dayanımının 1/10'una tekabül etmektedir. Bu yüzden yapının beden duvarlarının çekme dayanımı 0.5 MPa olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında Cafer Paşa Cami'ni temsil eden bir adet matematiksel model üretilmiştir. Bu modelde 4 adet düğüm noktası ve her düğüm noktasında 3 adet deplasman serbestlik derecesine sahip olan tetrahedral eleman kullanılmıştır.

Oluşturulan sonlu elemanlar modelinde 20102 adet sonlu eleman bulunmaktadır. şekil 6.1’de caminin modeli gösterilmektedir.

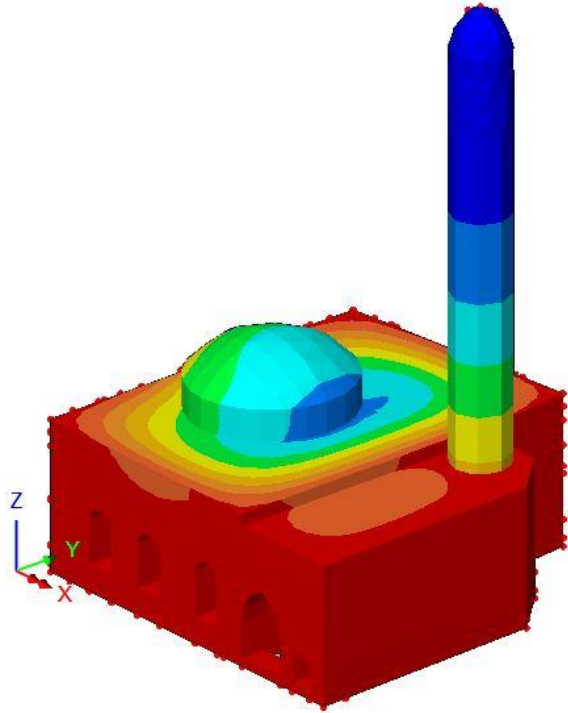
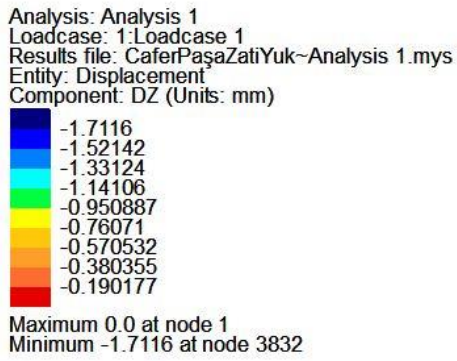


şekil 6.1. Cafer Paşa Cami modeli.

Yapılan analizlerin doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için malzeme özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Yukarıda daha önce bahsedildiği gibi malzeme araştırması yapılmış ve beden duvarlarının karakteristik basınç dayanımı 5.01 MPa bulunmuştur. Beden duvarlarının elastise modülü 4900 MPa, poisson oranı 0.2 ve kütle yoğunluğu 2.5 t/m^3 olarak dikkate alınmıştır.

6.2 Zati Yük Analizi

Yapının kendi ağırlığı altında doğrusal analizi gerçekleştirilmiş sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda deplasman değerleri belirlenmiş ve yapının deforme olmuş şekli Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Şekilde mavi ile gösterilen yerler en yüksek düşey deplasman olan yerleri göstermektedir.



Şekil 6.2. Düşey deplasman.

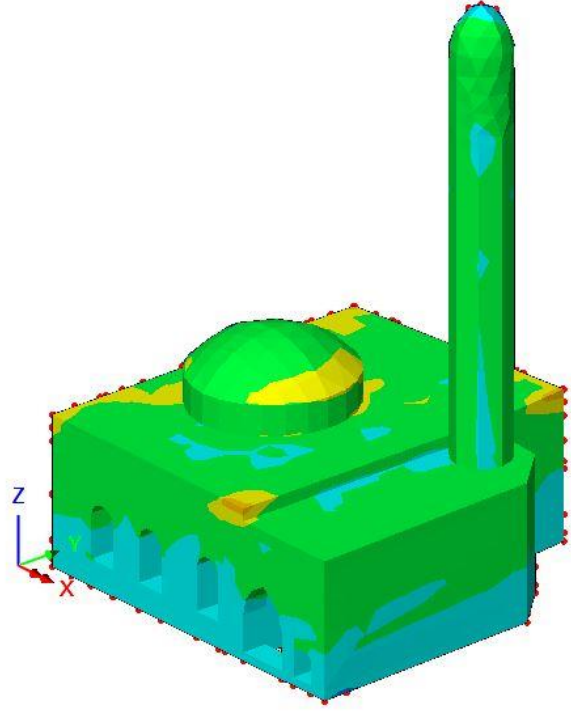
Yapılan analiz sonucunda yapının çekme gerilmesi değerleri belirlenmiş ve yapının deforme olmuş şekli gösterilmiştir. Şekil 6.3’de gösterilen modelde çekme gerilmesi

renklendirmelerine bakıldığında gerilmelerin çoğunluğunun neredeyse üniform olarak dağılış gösterdiği söylenebilir. İşaret kuralına göre çekme değerleri pozitif değer almaktadır.

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1: Loadcase 1
Results file: CaferPaşaZatıYuk~Analysis 1.mys
Entity: Stress - Solids
Component: S1 (Units: N/mm²)

-0.125039
-0.0833593
-0.0416796
0.0
0.0416796
0.0833593
0.125039
0.166719
0.208398

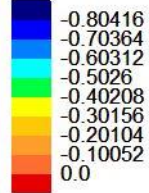
Maximum 0.218364 at node 2941
Minimum -0.156753 at node 116



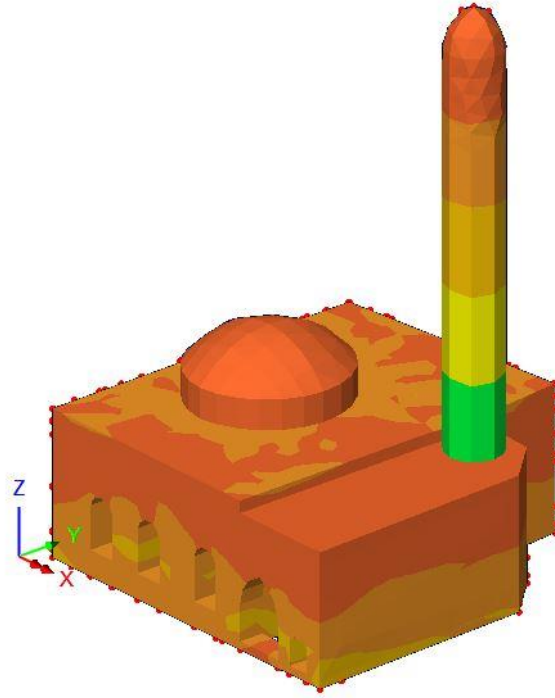
Şekil 6.3. Çekme gerilmesi.

Yapılan analiz sonucunda basınç gerilmesi değerleri belirlenmiş ve aşağıdaki model üzerinde deformasyonlar Şekil 6.4’de gösterilmiştir.

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1: Loadcase 1
Results file: CaferPaşaZatiYuk~Analysis 1.mys
Entity: Stress - Solids
Component: S3 (Units: N/mm²)



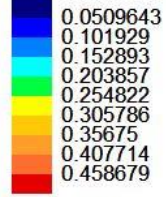
Maximum 0.016175 at node 2187
Minimum -0.888505 at node 1652



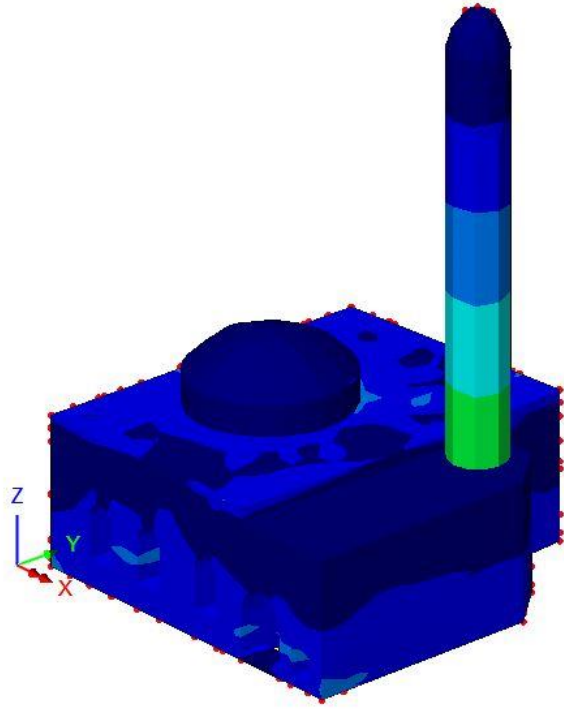
Şekil 6.4. Basınç gerilmesi.

Yapılan analiz sonucu yapıda meydana gelen kayma gerilmeleri belirlenmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.5). Yapılan analiz sonucu oluşan şekle bakıldığında maksimum kayma gerilmesi kubbeyi tutan 4 adet sütunda meydana gelmiştir.

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1: Loadcase 1
Results file: CaferPaşaZatiYuk~Analysis 1.mys
Entity: Stress - Solids
Component: SI (Units: N/mm²)



Maximum 0.459468 at node 1652
Minimum 0.789058E-3 at node 3832



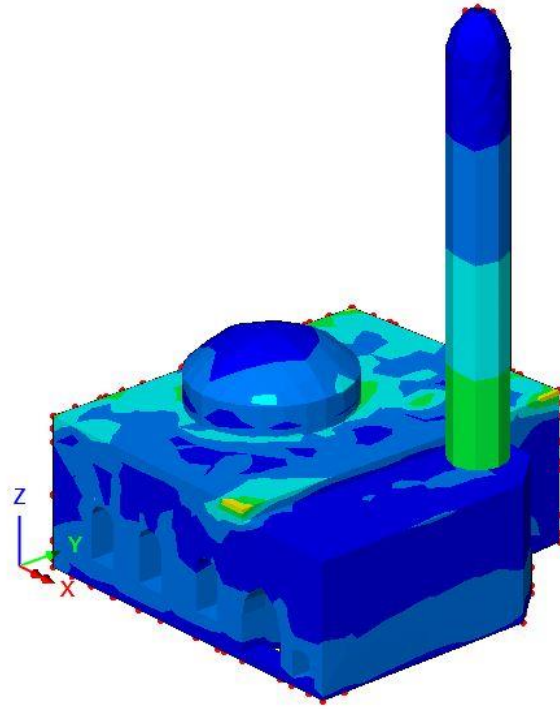
Şekil 6.5. Kayma gerilmesi.

Analiz sonucunda yapıda meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri belirlenmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.6). Maksimum çekme şekil değiştirmesi kubbeyi tutan kemerlerin birleşme kısımlarında meydana gelmiştir.

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1: Loadcase 1
Results file: CaferPaşaZatıYuk~Analysis 1.mys
Entity: Strain - Solids
Component: E1



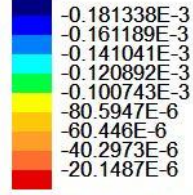
Maximum 47.3454E-6 at node 2084
Minimum -0.229524E-6 at node 3832



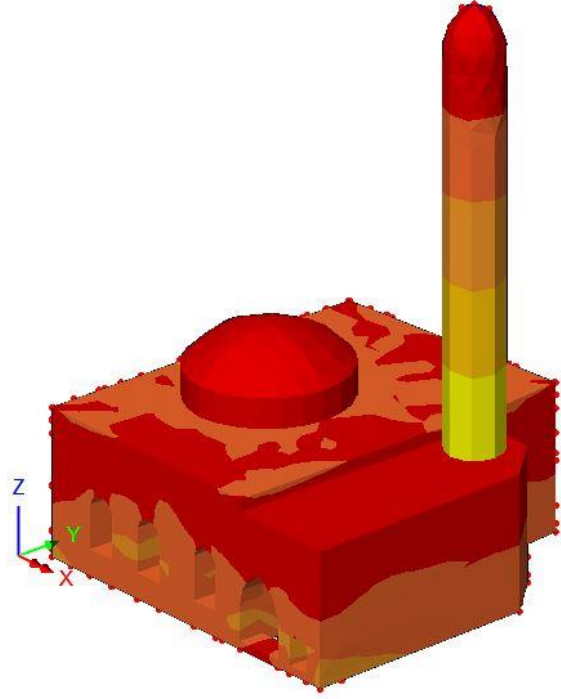
Şekil 6.6. Çekme şekil değıştirmesi.

Meydana gelen basınç şekil değıştirmesi sonuçları ve modeli yapılan analize dayalı olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil 6.7).

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1:Loadcase 1
Results file: CaferPaşaZatiYuk~Analysis 1.mys
Entity: Strain - Solids
Component: E3



Maximum -0.364461E-6 at node 3532
Minimum -0.181702E-3 at node 1652



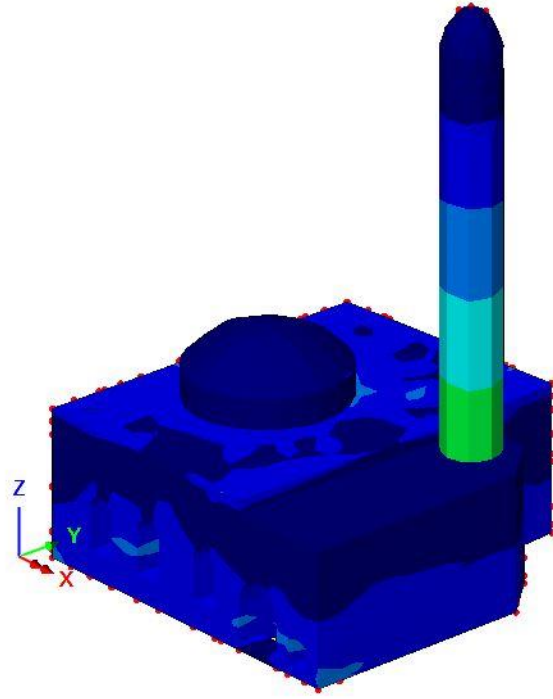
Şekil 6.7. Basınç şekil değiştirmesi.

Yapılan analiz sonucu yapının kayma şekil değiştirmesi durumu belirlenmiş ve aşağıdaki modelde gösterilmiştir (Şekil 6.8). Kayma gerilmesi ile oluşan maksimum şekil değiştirmeler yine kubbeyi ayakta tutan kemerlerin birleşim yerlerinde meydana gelmiştir.

Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1: Loadcase 1
Results file: CaferPaşaZatiYük~Analysis 1.mys
Entity: Strain - Solids
Component: E1

24.9621E-6
49.9242E-6
74.8863E-6
99.8484E-6
0.124811E-3
0.149773E-3
0.174735E-3
0.199697E-3
0.224659E-3

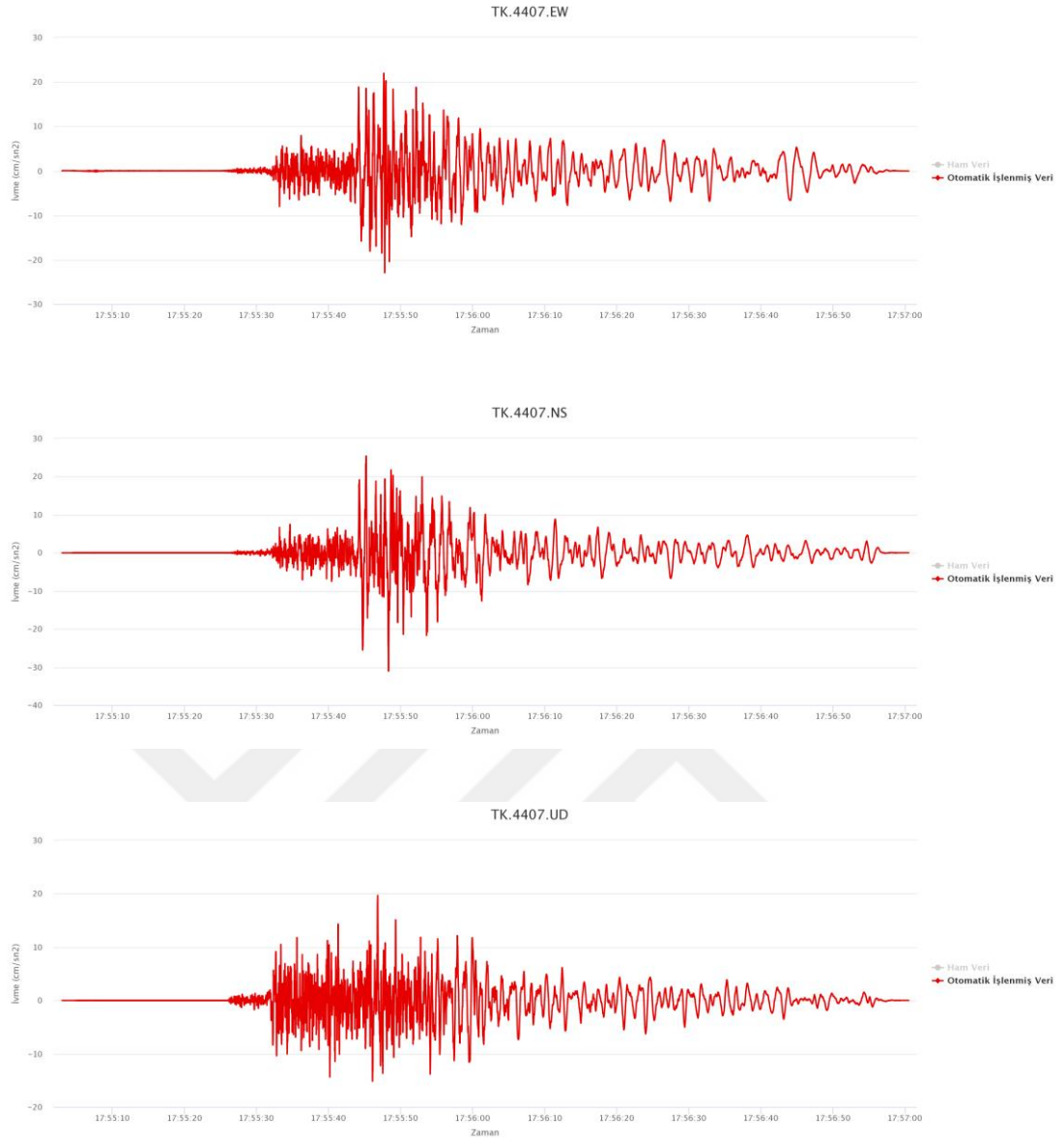
Maximum 0.225045E-3 at node 1652
Minimum 0.386477E-6 at node 3832



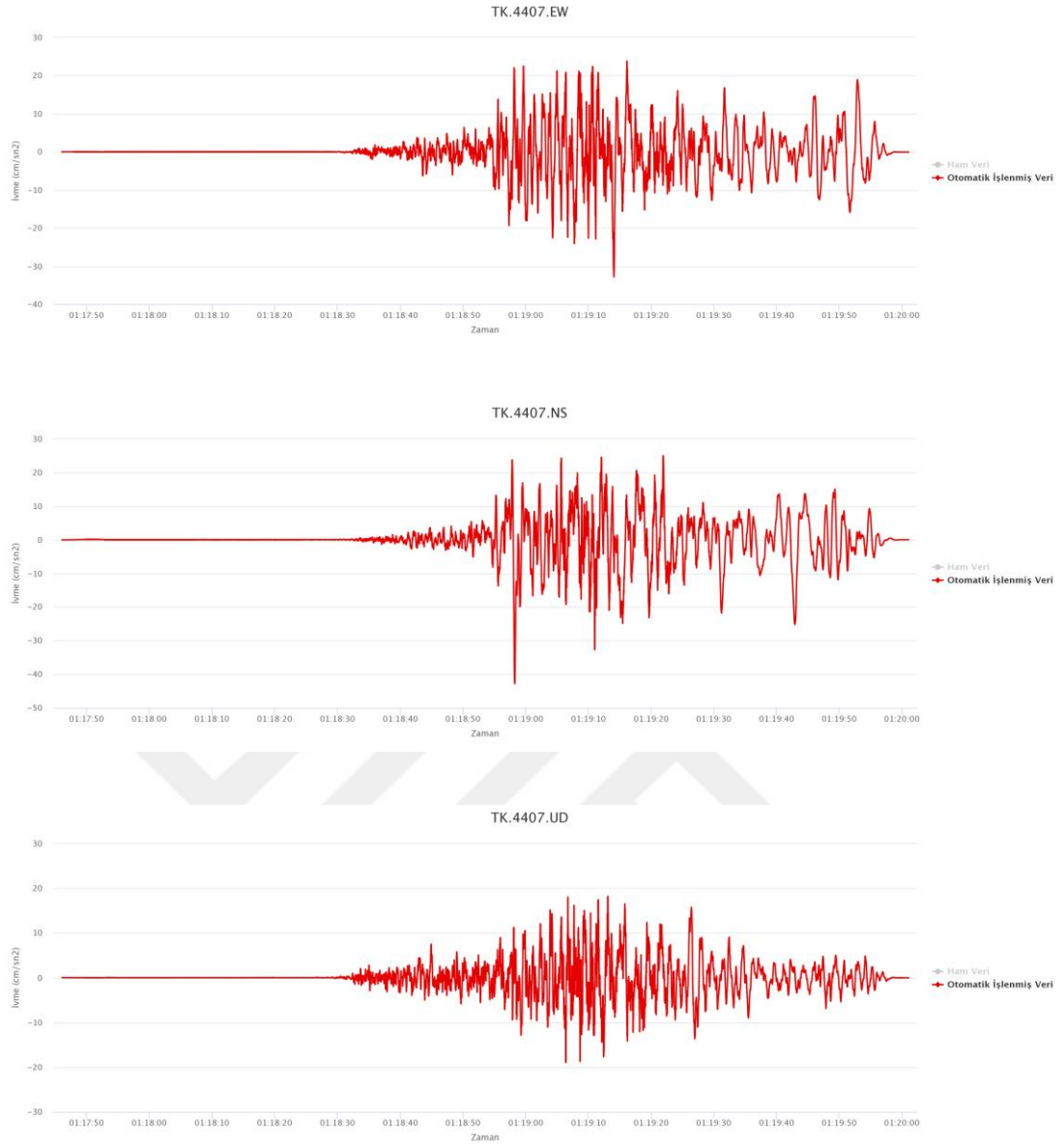
Şekil 6.8. Kayma şekil değıştirmesi.

6.3 Deprem Yüğü Analizi

Çalışmanın bu kısmında Cafer Paşa Cami'nin spektral modal analizleri gerçekleştirilmiştir. AFAD'ın internet sitesinden elde edilen 24.01.2020 tarihinde meydana gelmiş olan 6.8 şiddetindeki Sivrice depremi ve 06.02.2023 tarihinde meydana gelmiş olan 7.8 şiddetindeki Pazarcık depreminin ivme spektrum verileri dikkate alınmıştır. Söz konusu veriler Malatya'nın Arguvan ilçesinde bulunana 4407 kod numaralı istasyondan alınmıştır. Şekil 6.9'da Sivrice depreminin ve Şekil 6.10'da Pazarcık depreminin işlenmiş ivme spektrum verileri görölmektedir.



Şekil 6.9. Sivrice depremi ivme spektrumları (EW: Doğu-Batı, NS: Kuzey-Güney, UD: Düşey)



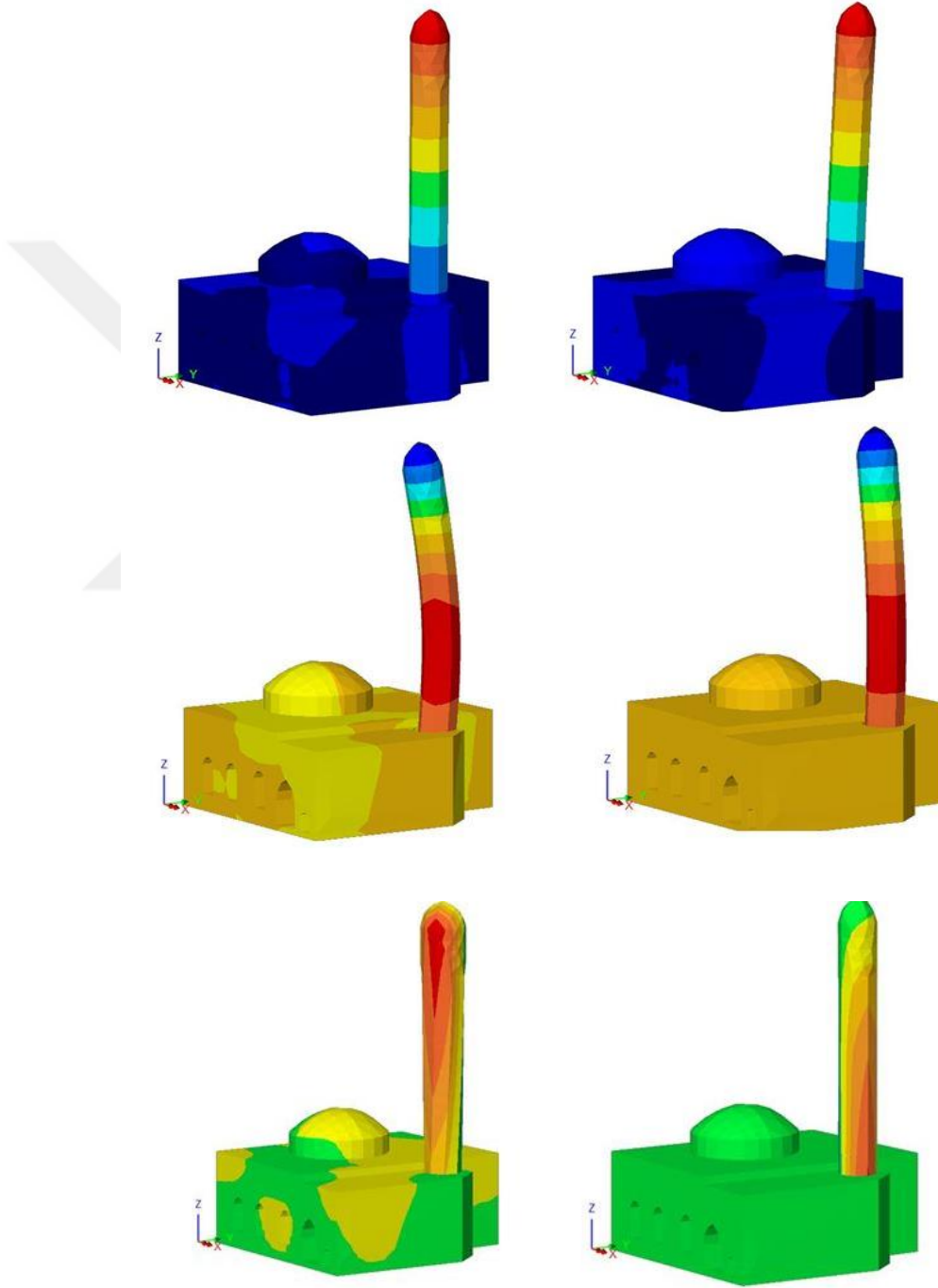
Şekil 6.10. Pazarcık depremi ivme spektrumları(EW:doğu-batı, NS:kuzey-güney, UD:Düşey)

Yukarıda verilen ivme-zaman grafiklerinden ilk grafikler, doğu-batı, ikinci grafikler kuzey-güney ve üçüncü grafikler ise düşey doğrultudaki yer hareketini göstermektedir. Grafiklere bakıldığında maksimum ivmelenme değerleri doğu-batı doğrultusunda görülmektedir. Sivrice depremi için maksimum ivmelenme 85.637 cm/sn^2 , Pazarcık depreminde meydana gelen maksimum ivmelenme 103.712 cm/sn^2 olarak görülmektedir.

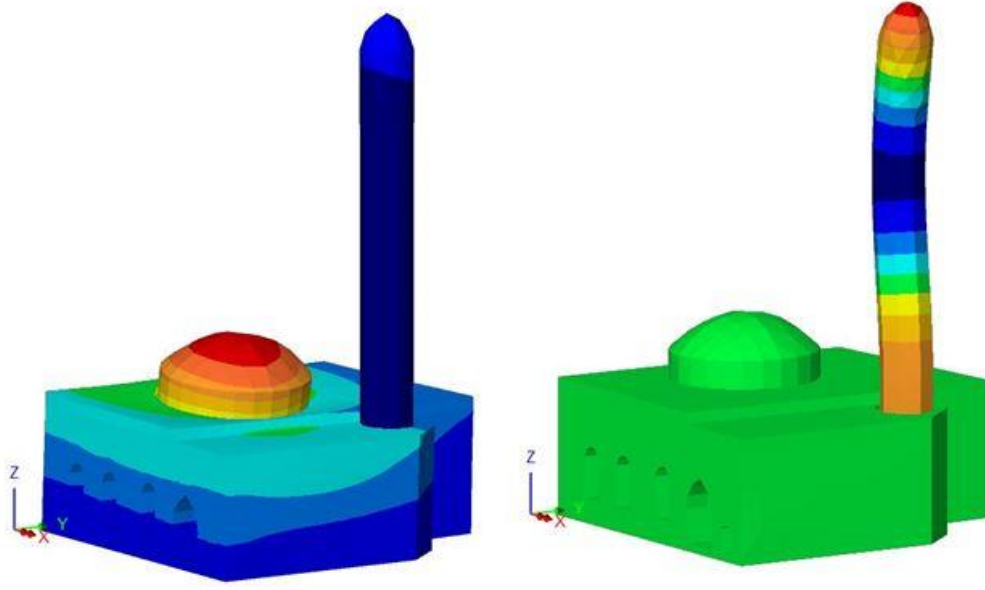
Deprem analizinde caminin davranışının daha net olarak ortaya konabilmesi amacıyla üretilen modelden minareler çıkarılmıştır. Bunun sebebi; minareler

depremlerde en fazla gerilmeye maruz kalan ve en fazla hasara uğrayan kısımlardır. Yapılan incelemelerde minarelerde herhangi bir hasara rastlanılmamıştır. Elde edilen tüm veriler modele girilerek modal deprem analizi gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda Şekil 6.11’de verilen şekiller yapılan modal analizde yapının ilk 8 modundan elde edilen şekillerini göstermektedir.



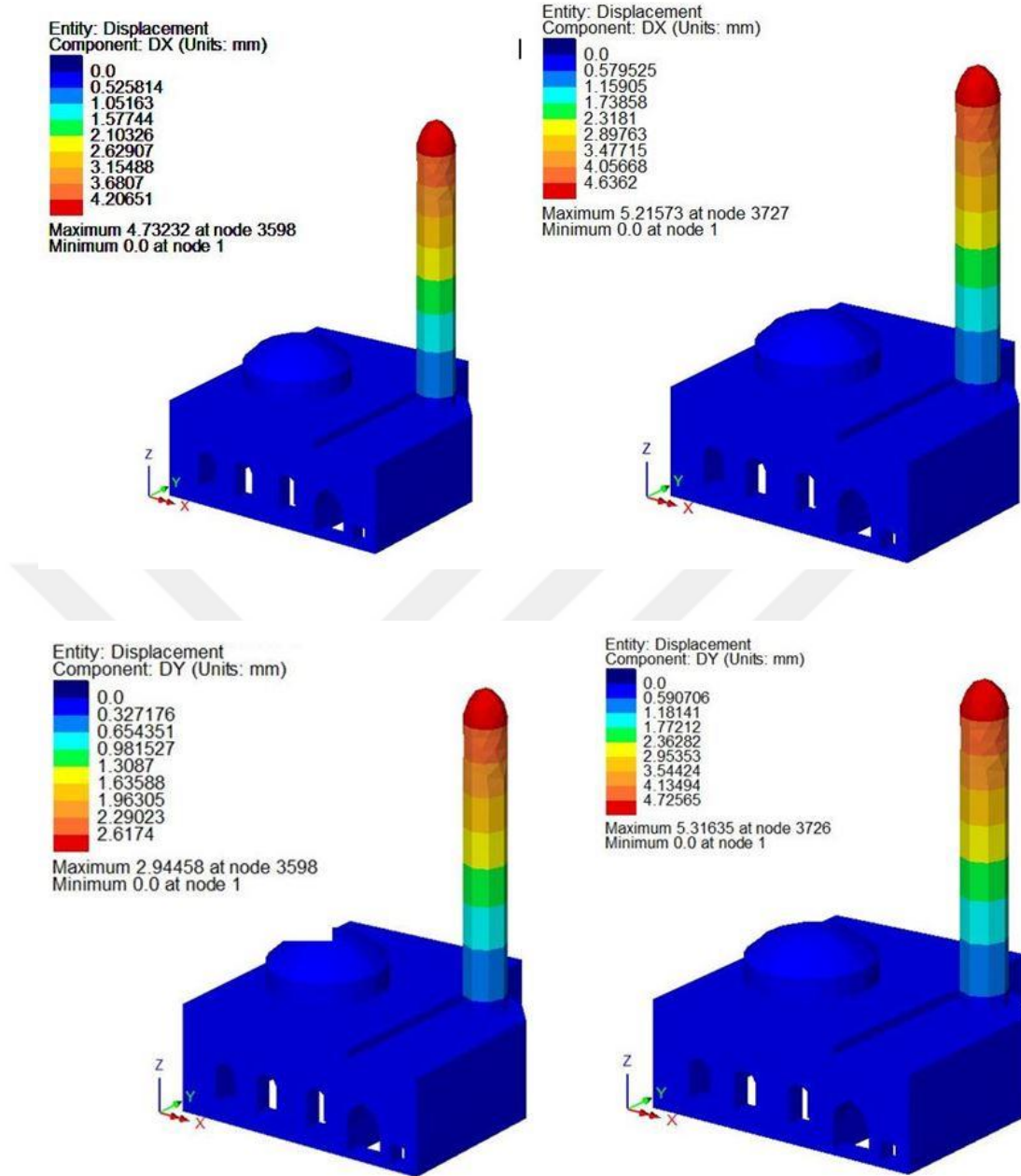
Şekil 6.11. Yapının ilk 8 modunun şekilleri.



Şekil 6.11 (devam). Yapının ilk 8 modunun şekilleri.

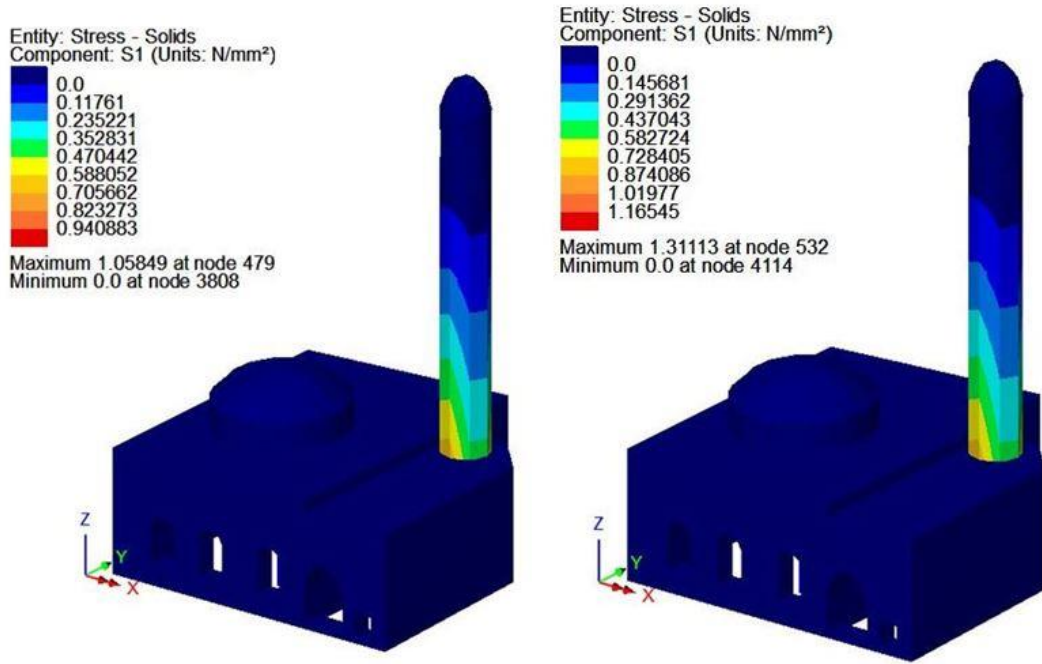
Gerçekleştirilen analizde Sivrice ve Pazarcık depreminin Arguvan istasyonundan alınan doğu-batı doğrultusundaki spektrum verileri kullanılmıştır. Çalışmanın bu kısmında yapının deplasman, çekme, basınç ve kayma gerilmeleri ile çekme basınç ve kayma gerilmeleri yüzünden meydana gelen şekil değiştirmelerinden bahsedilmektedir.

Deplasmanlar, oluşturulan yapısal model ve yapılan analize göre yapının deforme olmuş şekilleri model üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.12). Çalışmanın devamında kullanılan analiz görsellerinde soldaki görseller Sivrice, sağdaki görseller Pazarcık depremini göstermektedir.



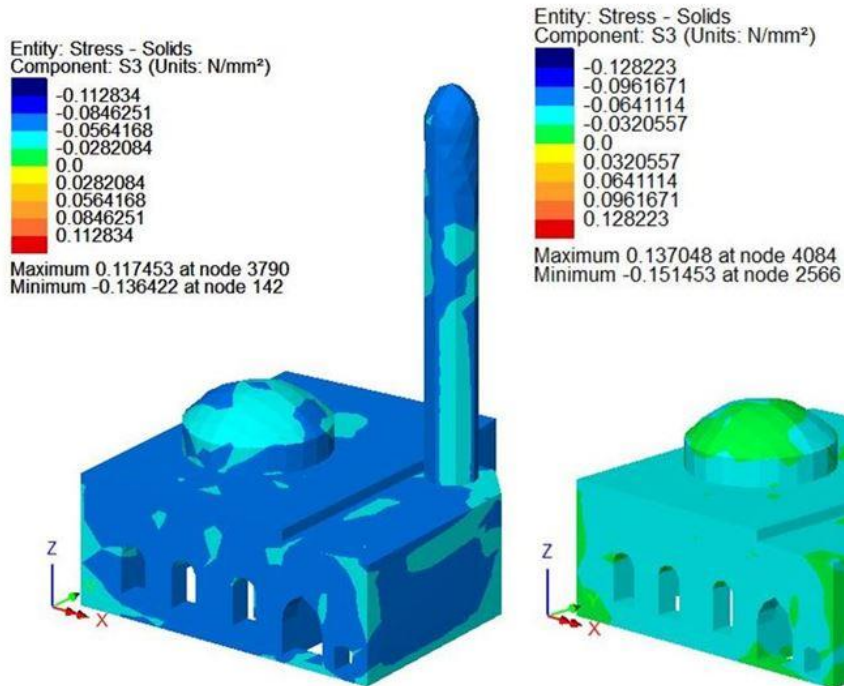
Şekil 6.12. Deplasman Dx: X yönündeki deplasman, Dy: Y yönündeki deplasman.

Çekme Gerilmesi, gerçekleştirilen yapısal analiz sonucunda yapı elemanlarında elde edilen çekme gerilmeleri belirlenmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.13). Maksimum çekme gerilmeleri pencere boşluklarında ve kubbenin alt kısımlarında meydana gelmiştir.



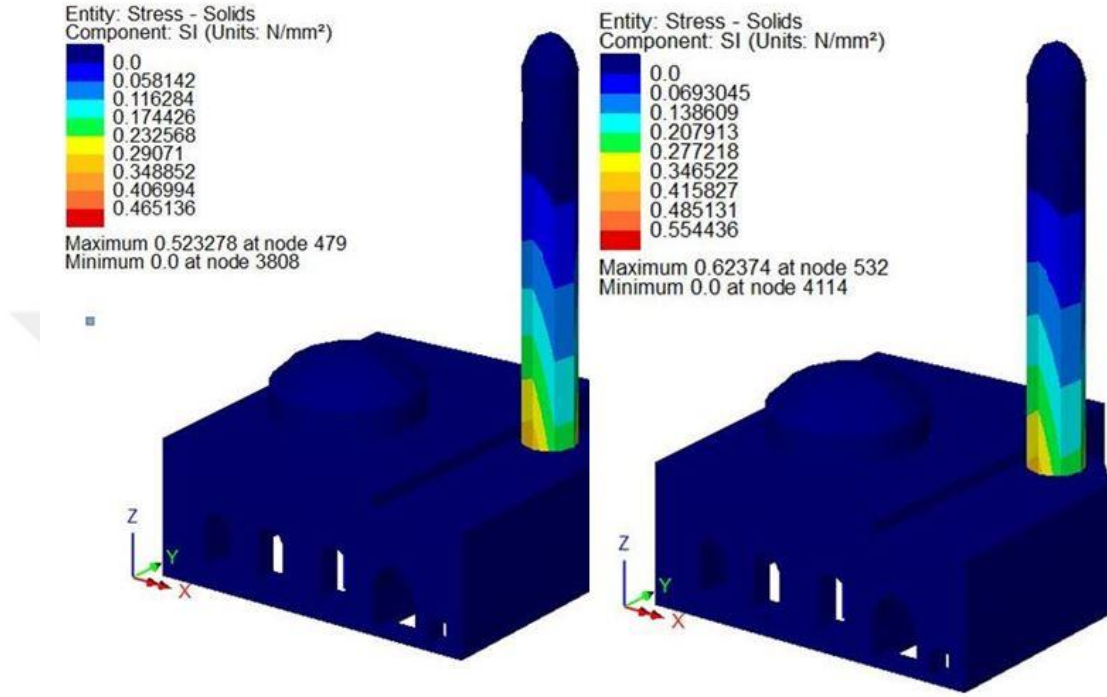
Şekil 6.13. Çekme gerilmesi.

Basınç Gerilmesi, gerçekleştirilen yapısal analiz sonucunda yapı elemanlarında elde edilen basınç gerilmeleri belirlenmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.14).



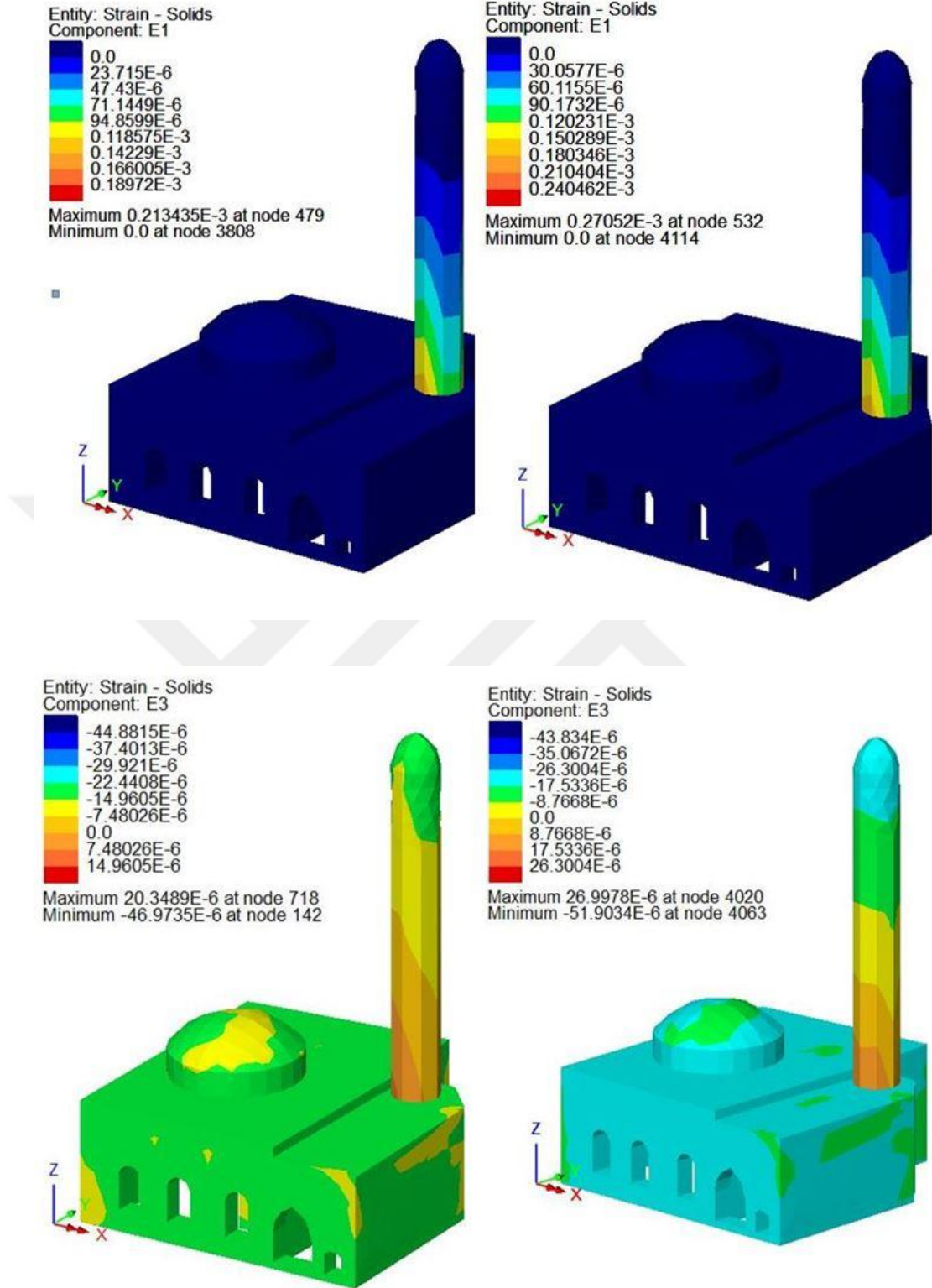
Şekil 6.14. Basınç gerilmesi.

Kayma Gerilmesi, yapılan yapısal analiz sonucunda yapı elemanlarında elde edilen kayma gerilmesi sonuçları belirlenmiş ve aşağıdaki şekilde deforme olmuş yapı gösterilmiştir (Şekil 6.15). Şekle bakıldığında en büyük kayma gerilmelerinin minarenin alt kısmında meydana geldiği görülmektedir.

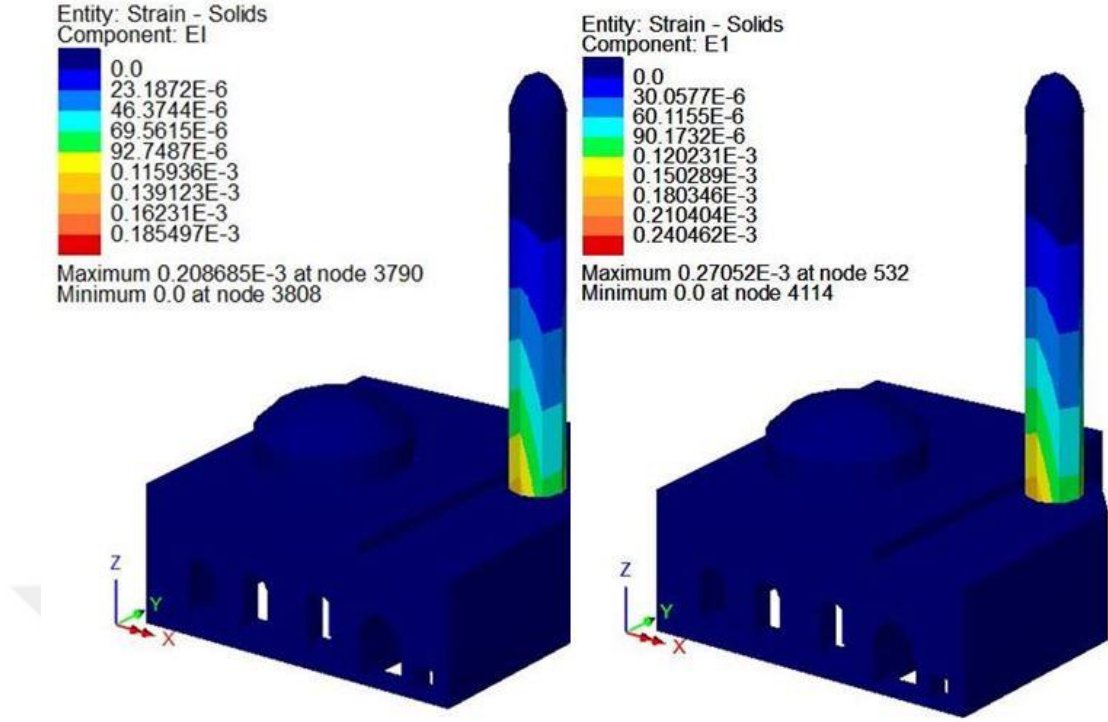


Şekil 6.15. Kayma gerilmesi.

Şekil değiştirmeler, gerçekleştirilen analizlerden elde edilen şekil değiştirme sonuçları aşağıda gösterilmiştir. Sırasıyla çekme şekil değiştirmeleri, basınç şekil değiştirmeleri ve kayma şekil değiştirmeleri Şekil 6.16’da sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Şekil değiştirmeler.



Şekil 6.16 (devam). Şekil değiştirmeler.

Analizin sonucu olarak; yapının 1. Doğal titreşim periyodunun düşük olmasından dolayı depremlerin etkisi düşük seviyelerde kalmıştır. Yapıda görülen çatlakların olduğu bölgelerde genellikle çekme ve kayma gerilmeleri yığılmış fakat çok tehlikeli değerlere ulaşmamıştır.

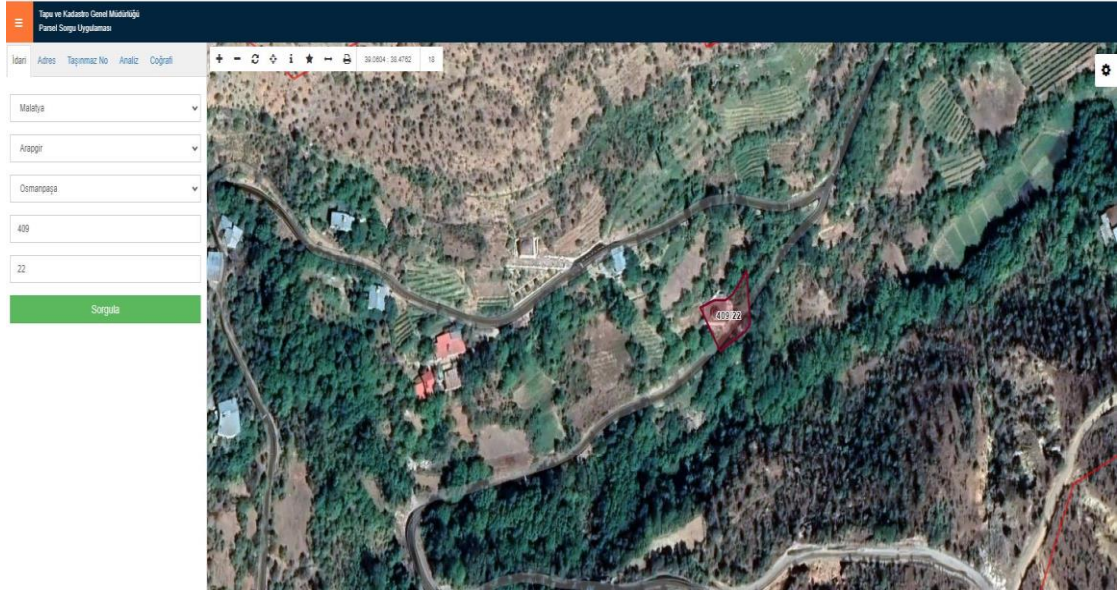
7. CAFER PAŞA CAMİ'NİN ZEMİNİNİN İNCELENMESİ

Malatya ili, Arapgir ilçesi, Osmanpaşa mahallesi, 409 Ada, 22 Parsel içerisindeki mevcut Cafer Paşa Camii'nin jeolojik özelliklerin ve jeoteknik parametrelerin elde edilmesi amacıyla caminin zemin ve temel etüdü veri raporunun hazırlanması için saha çalışması PLATO YERALTI ARŞ. MÜH İNŞ VE REK SAN TİC LTD ŞTİ tarafından 28/03/2021 – 05/04/2021 tarihleri arasında yapılmıştır ve rapor haline getirilmiştir. Tezin bu bölümünde kullanılan zemin özellikleri ile ilgili parametreler, veriler ve bilgiler bu çalışmadan elde edilmiştir.

Cafer Paşa Cami'nin etrafında toplamda 5 adet, toplam 120 m açılan temel sondajı, yapılan gözlemler, yerinde uygulanan deneyler, yüzey jeolojisi çalışmaları ve arazi çalışması sonucunda arazinin zemin özellikleri belirlenmiştir. Ek olarak adı geçen parsel içindeki cami alanı, Arapgir İlçesinin yerleşim alanı ve yakın civarının jeolojik özellikleri araştırılmıştır.

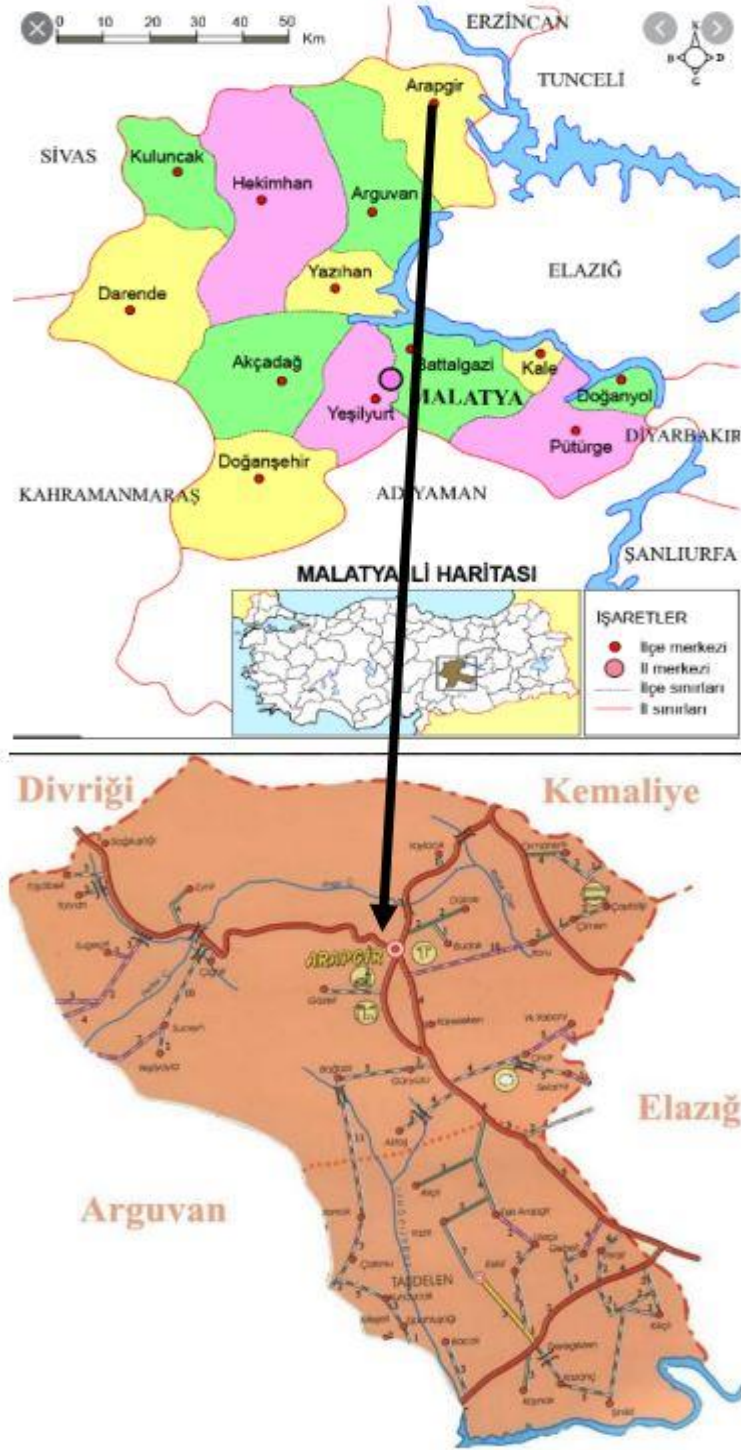
7.1 Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler

Arapgir İlçesi; Doğu Anadolu bölgesinin batı bölümünde yer alır. Cami Arapgir ilçesinin kuzeybatısında yer alır. Caminin bulunduğu bölgede karasal iklim hüküm sürer. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve kar yağışlı geçer. Cafer Paşa Camii Arapgir Belediyesi sınırları içinde yer alır. Malatya, Sultansuyu ve Sürgü Çayı Vadileri ile Akdeniz'e, Tohma Vadisi ile Anadolu'ya, Fırat Vadisi ile Doğu Anadolu'ya açılarak bu bölgeler arasında bir geçiş alanı oluşturur. Malatya güneyden kuzeye ve batıdan doğuya eğimli, derin vadilerle ayrılmış bir takım yükselti ve dağlarla çevrili platolar topluluğudur. Aşağıdaki Şekil 7.1'de bölgenin uydu görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Cafer Paşa Camii'nin bulunduğu bölgenin uydu görüntüsü.

Etüdü yapılan saha; ARAPGİR Belediyesi sınırları içerisinde olup, Bahçesi duvarlarla çevrili taş bir yığma cami nizamındadır. Aşağıdaki Şekil 7.2'de inceleme alanı ve yer haritası gösterilmektedir.



Şekil 7.2. Caminin konumu ve yer bulduru haritası.

7.2 Cami ve Çevresinin Jeolojisi

İnceleme alanında yapılan sondajlarda genel olarak 0.00-0,50 metrelik kısımda bitkisel topraktan sonra, yamaç molozu-alüvyon birim gözlenmiş olup, Bu birimin altında ise şistlere rastlanılmıştır. Cami ve çevresinde 5 noktada yapılan sondaj

alışmalarında 29-31-22-14-24 metre ilerlemelerden sonra, sondaj bitirilmiştir. Temel altı birimi yamaç molozu ve şist olarak gözlenmiştir. Daha derinlere inildiğinde şist biriminin devam edeceği düşünülmektedir. Çevredeki binaların kazıları değerlendirildiğinde aynı birimlerin devamlılık gösterdiği gözlenmiştir. Bu kayaçlarda çatlak, kırık, yarık gibi yapısal unsurlar yer yer gözlenmekte olup bu özellikler devamlılığı olmayan ve düzensiz ynlenmelidir. Yer yer ayrışma zonları da mevcuttur.

7.3 Arazi alışmaları

Kültürel ve tarihi miras olan Cafer Paşa Cami'nin temel zemini yönünden incelenmesi, elde edilen jeoteknik verilerin değerlendirilmesi ve yapılabilecek güçlendirme yöntemlerinin, önerilerin sunulması amacıyla, cami ve çevresinde ilgili parselde 29-31-22-14-24 m derinliklerde 5 Adet toplam 120 m temel sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Sondajlarda kuyulardan SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) deneyi yapılmış olup karot numuneleri alınmıştır. Deney için numuneler laboratuvara gönderilerek numunelerden; Atterberg Kıvam limitleri, elek analizi, kesme deneyi ve nokta yükleme deneyleri alınmıştır.

Sondaj kuyularından numune alımlarında TS 1900-2 (Türk Standardı: inşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 2: Mekanik zelliklerin Tayini) standartlarına uyulmuştur. Sondaj kuyusundan alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler evre, şehircilik ve İklım Değişikliği Bakanlığı laboratuvar izin belgeli zemin mekaniği laboratuvarında zemin deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan tüm deneyler TS 699 (Türk Standardı: Doğal yapı taşları - İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri) standardına uygun olarak yapılmıştır.

7.4 Jeofizik alışmaları

Etüt alanında jeofizik çalışmalarıyla; tabaka kalınlıkları – geçişleri, sismik hızlar, deprensellik, sıvılaşma, doğal olaylar, yeraltı su seviyesi vb. verileri yerinde ölçümlerle değerlendirilmiştir. Caminin bulunduğu arazide doğal örtü üzerinde çalışma tarihine kadar zemin parametrelerini belirlemeye yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Etüt sahasında alınan jeofizik veriler büro çalışmaları sırasında genel jeolojik verilerle ilişkilendirilerek birlikte değerlendirilmiştir.

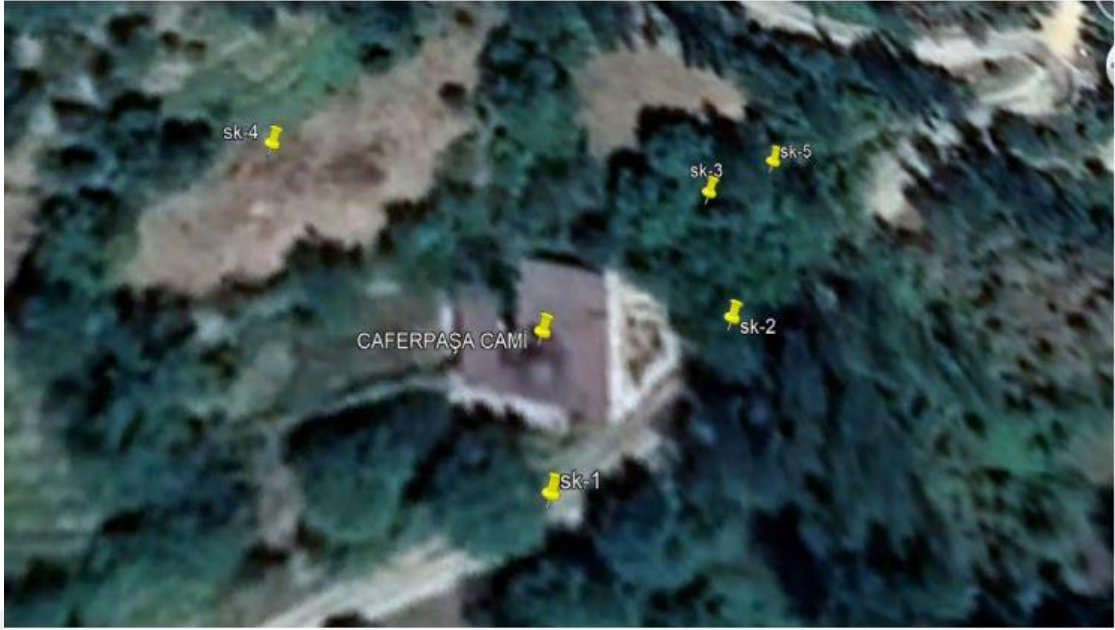
Yapılan Jeofizik çalışmalarında MASW (Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi) yöntemi kullanılarak 3 adet veri elde edilmiş ve elde edilen veriler sonucunda zemin sınıfı ZC olarak bulunmuştur. Yerel zemin sınıfları Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metre ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, Sert Kayalar	>1500	-	
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı- sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak- katı kil tabakaları	<180	>15	>70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler			

7.5 Araştırma Çukurları (Sondajlar)

Parsel içinde yüzeyde yapılan gözlemlerde tespit edilen birimlerin düşey yöndeki ilerleyişi ve yüzeyde gözlenemeyen birimleri tanımlamak üzere 29-31-22-14-24 metrelerde 5 adet zemin sondaj kuyusu açılmıştır. Delgi işlemi sulu sistem olup vidye kron matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu alan içerisinde 5 adet zemin temel sondajı yapılmış olup alınan numuneler standartlara uygun şekilde laboratuvara gönderilmiştir. Şekil 7.3’de sondajların yerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Sondaj noktaları.

7.6 Laboratuvar Deneyleri ve Sonuçları

Sondaj çalışmaları sonrasında sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde mekanik deneyler yapılmıştır. Proje alanı içinde yer alan zeminlerin tanımlanması sınıflaması ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Deneyler TS 1900-2 e göre gerçekleştirilmiştir.

7.7 Kaya Türlerinin Sınıflandırılması

Kaya türlerinin sınıflandırılması için RQD (Rock Quality Designation-Kaya Kalitesi Tanımlaması) deyimleri kullanılmıştır. Sondaj sonuçları, bize yeraltındaki süreksizlikleri en iyi gösteren ölçütlerden biridir. RQD, çatlak sıklığına nazaran, temel kayanın kalitesi hakkında daha iyi ve daha genel bir fikir vermektedir. Bununla beraber insan faktörü (sondör becerisi), makine faktörü, litolojik özellikler (boşluklar, erimeler), süreksizlikler ve sondaj çapı ile derinliğinin RQD'ye olumsuz yönde etki yaptığı bilinmektedir. Ancak bu değerlendirme kayaların çeşitli özelliklerini belirleyen ölçütlerin en yararlısı ve en çok kullanılanıdır. Yapılan deneyler sonucunda RQD değerlerine göre kaya kalitesi aşağıda verilmiştir. Deney sonuçlarında göre ortalama RQD %21 olup, Çizelge 7.2'de görüldüğü üzere çok kötü kaliteli olarak sınıflandırılabilir.

Çizelge 7.2. Kayaç kalitesine göre sınıflandırılma

RQD	Kaya Tanımı
100-90	Çok iyi kaliteli
90-75	İyi kaliteli
75-50	Orta kaliteli
50-25	Kötü kaliteli
>25	Çok kötü kaliteli

Daha sonra RMR (Rock Mass Rating-Kaya Kütlesi Değerlendirmesi) yöntemine göre sınıflandırma yapılmak üzere tablo oluşturulmuş ve Çizelge 7.3’de gösterilmiştir. Tabloya göre RMR puanlaması yapılmış ve toplam puan 40 olarak hesaplanmıştır. Toplam puan olan 40 puan Çizelge 7.4’e göre IV. Sınıf ve Zayıf Kaya özelliğinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.3. RMR puanlama tablosu

Kayaç malzemesinin dayanımı	Nokta yükleme indisi	>10 mPa	4-10 mPa	2-4 Mpa	1-2 mPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım (mPa)		
	Tek eksenli sıkışma dayanımı	>250 mPa	100-250 mPa	50-100 mPa	25-50 mPa	5-25	1-5	<1
Puan		15	12	7	4	2	1	0
Kayaç kalitesi göstergesi RQD %		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Puan		20	17	13	8	3		
Süreksizlik aralığı		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
Puan		20	15	10	8	5		
Süreksizlik Durumu		Çok kaba yüzeyler, sürekli değil, ayrılma yok, sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyleri, ayrılma <1mm, Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler, ayrılma <1 mm, yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu <5 mm veya 1-5 mm açık yüzeyler	Yumuşak fay dolgusu >5 mm kalınlıkta veya açık eklem >5 mm devamlı süreksizlikler		
Puan		30	25	10	10	0		
Yer altı suyu		Kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
Puan		15	10	7	4	0		
Süreksizliklerin temel tabanına göre konumu için düzelme	Konum	Çok uygun	Uygun	Orta	Olumsuz konumda	Uygun değil		
	Puan	0	-2	-7	-15	-25		

Çizelge 7.4. RMR puanlamasına göre kaya sınıflandırması

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi Kaya	Orta Kaya	Zayıf Kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

7.8 Zemin Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve Öneriler

Yapılan incelemeler sonucunda Caferpaşa Camii'nde oluşan hasarların meydana gelen depremlerden daha ziyade zeminin kaya kalitesinden ve zemin problemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca cami alanında yeraltı suyu rastlanılmıştır bu derinlik kuyu kotuna göre 3.00 m ile 8.00 m arasında değişim göstermektedir. Arazi yapısından dolayı yağın yağmur ve eriyen kar suları doğrudan cami temeline inmekte olduğu görülmüştür. Camiden daha yüksek alanda bahçeler olduğu bu bahçelerin salma sulama ile sulanmakta olduğu ve bahçelerden taşan sulama suyunun da doğrudan cami temeline aktığı tespit edilmiştir. Temel tabakalarına sızabilecek zemin ve yağmur sularının temelde çökmeye ve taşıma gücü kaybına neden olabilme ihtimali çok yüksektir. Bununla beraber caminin yapıldığı dönemde caminin hemen önünden sadece insanların ve hayvanların geçtiği yol zamanla genişletilmiş tonajlı araçların geçeceği bir yol haline getirilmiştir. Bahse konu yoldan geçen araçların camiye hasar verebilme ihtimali de gözden kaçırılmaması gereken önemli bir parametredir.

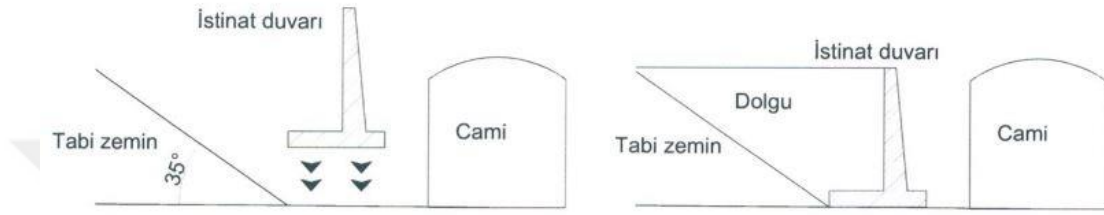
Caminin kendisinde ve etrafında bulunan dayanma yapılarının drenaj sistemine sahip olmamasından dolayı özellikle batı yönünde bulunan duvarlarda nemlenme gözlenmiştir. Doğal yapı ve meyiller göz önünde bulundurularak bu suların temel tabanından uzaklaştırmak için drenaj sistemi ve temel su yalıtımı yapılmalıdır.

Camiye arazi şartlarından dolayı gelen yağın yağmur suları, eriyen kar suları ve sulama suyu fazlalıkları uygun bir arazi eğimi verilerek ve uygun açık kanallar ile cami çevresinden uzaklaştırılmalıdır. Uygun eğimlerin verilmesi ve ortaya çıkacak yeni durumun stabilitesini koruması ancak istinat duvarları ile mümkün olabilir. Bölgede yapılması planlanacak olan bu dayanma yapılarının tasarımında zemin özellikleri ve arazi eğimi belirleyici olacaktır. Zeminin emniyetli kabul edeceği şev

açısı 25 derece olarak düşünülmüştür. Şekil 7.4’de olduğu gibi 25 derece eğim olduğunda zemin kendini tutabilecektir.

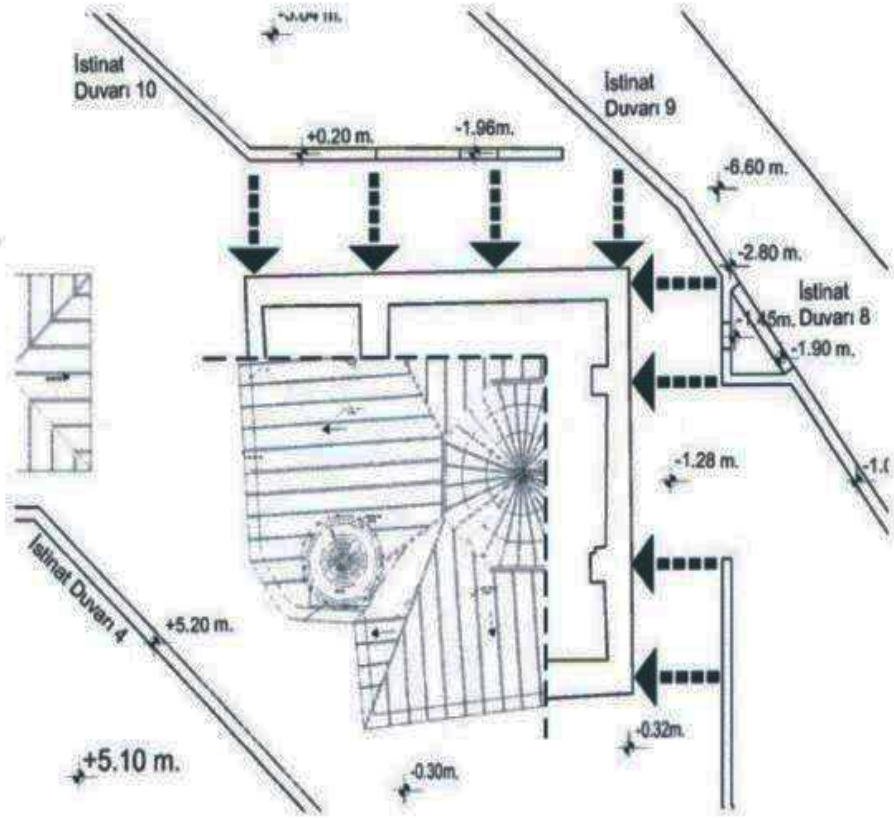


Şekil 29. Emniyetli şev açısı



Şekil 7.4. Dayanma yapıları şev açısı.

Cami ve çevresi için tasarlanmayı düşünülen dayanma yapıları ve çevre düzenlenmesi Şekil 7.5’de verilmiştir. Cami avlusuna kuzeydoğu yönünden girilmesi planlanmıştır. Şekilde dayanma yapılarının isimleri ve kot yükseklikleri verilmiştir. Kuzey ve batı yönlerinde cami çevresi -0.30 metre kotunda bulunmaktadır. Güney yönünde ise 17 basamaklı bir merdiven ve -1.28 metre kotunda bir avlu bulunmaktadır. Doğu yönünde ise 19 basamaklı bir merdiven ve -3.04 metre kotunda bir avlu bulunmaktadır.



Şekil 7.6. Payandaların yerleşim planı.

8. SONUÇ

Bu çalışmada tarihi ve kültürel miraslarımızdan biri olan Cafer Paşa Cami'nin çeşitli etkiler yüzünden maruz kaldığı deformasyonlar incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonunca bu deformasyonların zeminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. İlk olarak caminin maruz kaldığı zemin problemlerini daha iyi anlayabilmek için tarihi yapılarda görülen zemin problemleri geniş ölçüde incelenmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında da bu zemin problemlerinin çözümü için yapılması gereken iyileştirme-güçlendirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Tarihi yapılarda sık olarak kullanılan drenaj, jet grout, enjeksiyon ve mini kazık metotlarından bahsedilmiştir. Ayrıca diğer zemin iyileştirme yöntemleri de araştırılmış ve bilgi verilmiştir. Çalışmanın devamında caminin 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli LUSAS sonlu elemanlar programı ile modellenmiş ve caminin kendi ağırlığı altında doğrusal analizi yapılmıştır ve caminin kendi ağırlığından dolayı oluşması gereken herhangi bir çatlak ve deformasyon görülmemiştir. Analizin yapılmasındaki temel amaç, planda ve eleman boyutlarında düzensiz deplasman ve gerilmeleri tespit etmektir. Yapının beden duvarlarının düzlemleri dışına hareket etmesi beklenen bir sonuçtur. Ek olarak 2020 ve 2023 yıllarında meydana gelmiş olan Sivrice ve Pazarcık depremlerinin ivme kayıtları LUSAS programına yüklenerek caminin mod birleştirme yöntemi ile doğrusal analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları yukarıda paylaşılmış ve bölgede meydana gelen büyük depremler nedeniyle camide meydana gelen çatlakların beklenmediği sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonra bir özel firma tarafından yapılan zemin deneyleri ve sonuçları incelenmiştir.

Cafer Paşa Cami'nin iç ve dış duvarlarında meydana gelen çatlaklar sadece yapının ağırlığından dolayı maruz kaldığı çatlaklar değildir. Yapılan analizler ve incelemeler göstermektedir ki çatlakların oluşmasında zeminde taşıma gücünün bu yapıya göre nispeten yetersiz olmasından dolayı yapının bir kısmının arazi eğimi doğrultusunda kayması sonucunda meydana gelen oturmalar rol oynamaktadır. Caminin zemininde meydana gelen ayrışmalar, yağışlar ve sulama suyu sonucu arazinin eğimi ile caminin etrafında biriken sular, bu suların emilimi sonucu yeraltı su seviyesinin değişmesi, caminin hemen bitişiğinde ağır tonajlı araçların geçtiği bir yol olması vb. etkiler ile çeşitli oturmalar oluşmuş ve camide çatlaklara sebep olmuştur. Ayrıca

camide oluşan hasarların evre yapılarının yeterli olmamasından dolayı yapının ve zeminin kaymasından kaynaklandığı görülmüştür.

Caminin gelecek kuşaklara aktarılması için, yer altı suyunun bazı seviyelerde zemin ve yapıyı tehdit edebilecek durumda olmasından dolayı cami etrafında uygun bir drenaj sisteminin yapılması gerekmektedir. Ayrıca yapının etrafındaki dayanma yapılarının yetersizliğinden dolayı yapıya destek olması ve cami etrafındaki eğimin düzenlenmesi amacıyla uygun yerlere dayanma yapıları yapılmalı ve dayanma yapılarını üzerlerine açık kanallar yağışlardan ve sulamadan kaynaklı yüzey sularını caminin çevresine ulaşmadan uzaklaştırılmalıdır. Bununla beraber caminin önünden geçen yolun imkanlar dahilinde başka bir gzargaha kaydırılması daha iyi olacaktır.

Yapının stabilitesini korumak için meydana gelen çatlaklar uygun tamir harçları ile doldurulmalı ve cami stnlarını birbirine bağlayan gergi çubukları eklenmelidir. Bu gergi çubuklarının taş yapı birimlerine bağlantılarına imalat esnasında büyük önem gösterilmelidir. Özellikle stnlara bağlantı yapılırken stnlar ile metal çubukların arasında boşluk kalmamasına dikkat edilmelidir. İlave olarak caminin özellikle sonradan yapılan bölümünü destekleyecek doğu ve batı yönünde payandalar konulmasında fayda vardır.

Yapılan gözlemler sonucunda, caminin etrafında düzenlenmesi gereken alanda şahıs tapulu bahçeler olduğu ve bu alanın tapusunun alınmasından dolayı sorunlar yaşanabileceği, caminin önünden geçen yolun başka bir gzergha taşınmasının büyük maliyet getireceği ve zemin özelliklerinin daha emniyetli bir güçlendirmeye müsaade etmeyeceği gerçekleri de akla getirildiğinde; caminin bu alandan taşınarak başka bir yerde tarihi dokusuna uygun yeniden inşa etme seçeneği de akla getirilmedi.

KAYNAKLAR

- Adalier, K., Elgamal, A., 2004. Mitigation of liquefaction and associated ground deformations by stone columns. *Engineering Geology*, 72, 3-4, 275-291.
- Afrin, H., 2017. A review on different types soil stabilization techniques. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 3, 2, 19-24.
- Aköz, A. H., 2008. Deprem etkisi altındaki tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Al, N., 2018. Zemin iyileştirme teknikleri: bir uygulama örneği, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Andavan, S., Kumar, B. M., 2020. Case study on soil stabilization by using bitumen emulsions—A review. *Materials Today: Proceedings*, 22, 1200-1202.
- Andonic A., Serbulea M. S., Cosmin R., Manoli D. M., 2013. Soil improvement using the electro-osmosis, 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 357-365.
- Ayan, E., 2009. Derin zemin iyileştirme yöntemleri ve uygulamadan örnekler, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayraktar, A., Hökelekli, E. ve Yang, T. T., 2022. Seismic failure behavior of masonry domes under strong ground motions. *Engineering Failure Analysis*, 142, 1-20.
- Bednarz, L. J., Jasieńko, J., Rutkowski, M., Nowak, T. P., 2014. Strengthening and long-term monitoring of the structure of an historical church presbytery. *Engineering Structures*, 81, 62-75.
- Calderini, C., Piccardo, P., Vecchiattini, R., 2019. Experimental characterization of ancient metal tie-rods in historic masonry buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 13, 3, 425-437.
- Ceylan, G., 2011. Derin Zemin İyileştirme Metotları, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çamlıbel, N., 2000. Çatlamış Binaların Takviyesi Yöntemleri, Birsan Yayınevi, 1. Baskı, İstanbul.
- Dabanlı, Ö., 2008. Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demiröz, A., Karaduman, M., 2009. Zemin iyileştirme metotları. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 8, 3, 176-192.

- Díaz, E., Salamanca-Medina, E. L., Tomás, R., 2023. Assessment of compressive strength of jet grouting by machine learning. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Eslami, A., Ronagh, H. R., Mahini, S. S., & Morshed, R., 2012. Experimental investigation and nonlinear FE analysis of historical masonry buildings—A case study. *Construction and Building Materials*, 35, 251-260.
- Fırat, F. K., ve Eren, A., 2015. Tarihi Yığma Yapılardaki Hasarlı Kemerler Üzerinde Frp Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30, 4, 659-670.
- Fırat, F. K., ve Kayabaşı, M. S., 2022. Investigation of tie-rod connection types on stone masonry arches. *Structures*, Elsevier, 45, 2185-2197.
- Fırat S., Işık, N. S. ve Selçuk, E., 2020. Tarihi Yapıların Temel Sistemlerinin Güçlendirilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9, 182-189.
- Hıdıroğlu, Ç. N., 2018. HTTM (History/Theory/Technology/Modeling) Öğrenme Sürecine Bir Bakış (Beklentiler, İhtiyaçlar ve Sürecin Akışı): Galileo ve Pisa Kulesi Deneyi HTTM Etkinliği.
- Jafarzadeh, F., 2006. Dynamic compaction method in physical model tests. *Scientia Iranica*, 13, 2.
- Huang, Y., Yu, M., 2013. Review of soil liquefaction characteristics during major earthquakes of the twenty-first century. *Natural hazards*, 65, 2375-2384.
- Koçak, A. ve Köksal, T., 2010. An example for determining the cause of damage in historical buildings: Little hagia sophia (Church of St. Sergius and Bacchus)—Istanbul, Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 17, 4, 926-937.
- Koçak, Y., 2013. Yığma duvarlarda kayma dayanımının artırılması amacı ile farklı bağlantı elemanı uygulamaları, Aksaray Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Mallardo, V., Malvezzi, R., Milani, E., Milani, G., 2008. Seismic vulnerability of historical masonry buildings: A case study in Ferrara. *Engineering Structures*, 30, 8, 2223-2241.
- Mahrebel, H. A., 2006. Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Martin, L., Alizadeh, V., Meegoda, J., 2019. Electro-osmosis treatment techniques and their effect on dewatering of soils, sediments, and sludge: A review. *Soils and Foundations*, 59, 2, 407-418.

- Mendes, N., ve Lourenço, P. B., 2014. Sensitivity analysis of the seismic performance of existing masonry buildings. *Engineering Structures*, 80, 137-146.
- Mustafaraj, E., Yardim, Y., 2013. Strengthening and restoration of historical structures-Mirahor Ilyas Beg Mosque in Korça. *International Conference on Architecture and Urban Design*, 277.289.
- Navin, M. P., 2005. Stability of embankments founded on soft soil improved with deep-mixing-method columns, Virginia Polytechnic Institute and State University. Doctoral dissertation, institute of science and technology, Virginia.
- Negi, A. S., Faizan, M., Siddharth, D. P., Singh, R., 2013. Soil stabilization using lime. *International journal of innovative research in science, engineering and technology*, 2, 2, 448-453.
- Özmen, A., Sayın, E., 2020. Tarihi yığma bir köprünün deprem davranışının değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9, 2, 956-965.
- Öztürk, E., 2006. Adapazarı ovasındaki zeminlerin genel dağılımı ve uygun zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi, Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Saraç, M. M., 2003. Tarihi yığma kargir yapıların güçlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sesigür, H., Çelik, O. C., ve Çılı, F., 2007. Tarihi yapılarda taşıyıcı bileşenler, hasar biçimleri,onarım ve güçlendirme. *Yapı Dergisi*, 89, 10-21.
- Şahan M.Ü., 2016 . Yapım işlerinde zemin iyileştirme yöntemleri, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Ankara.
- Şengöz T.E., 2019. Sıvılaşma Nedir? Zemin Sıvılaşmasının Mühendislik Değerlendirmesi, Zemin Sıvılaşması İle İlgili Alınması Gereken Tedbirler, Önlemler ve Tavsiyeler İle Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esaslarında ve Rapor Formatında Sıvılaşma İle İlgili Bilgiler. Marmara üniversitesi.
- Tavukçuoğlu, A., Düzgüneş, A., Caner-Saltık, E. N., Demirci, Ş., 2005. Use of IR thermography for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building, Ağzıkarahan, Aksaray, Turkey. *NDT E International*, 38, 5, 402-410.
- Tralli, A., Chiozzi, A., Grillanda, N. ve Milani, G., 2020. Masonry structures in the presence of foundation settlements and unilateral contact problems. *International Journal of Solids and Structures*, 191, 187-201.
- Triantafillou, T. C., ve Fardis, M. N., 1997. Strengthening of historic masonry structures with composite materials. *Materials and Structures*, 30, 486-496.

- TS EN 1900-2, 2006. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 2: Mekanik özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 699, 2009. Doğal yapı taşları - İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uslu, S., 2013. Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarla incelenmesi, Aksaray Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray
- Ural, A.; Oruç, Ş.; Doğangün A., 2007. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Tarihi Kemer Köprülerin Onarım ve Güçlendirme Çalışmaları. Yapı Dünyası Dergisi, 132, 48-53
- Ural, A., Fırat, F. K., Tuğrulelçi, Ş., ve Kara, M. E., 2016. Experimental and numerical study on effectiveness of various tie-rod systems in brick arches. Engineering Structures, 110, 209-221.
- Vlachakis, G., Vlachaki, E. ve Lourenço, P. B., 2020. Learning from failure: Damage and failure of masonry structures, after the 2017 Lesvos earthquake (Greece). Engineering Failure Analysis, 117, 104803
- Zampieri, P., 2020. Horizontal capacity of single-span masonry bridges with intrados FRCM strengthening. Composite Structures, 244, 112238.
- Cafer Paşa Camii Zemin Etütü Raporu, 2019. Plato Yeraltı Araştırmaları Mühendislik İnşaat ve Reklamcılık Sanayi Ticaret Limited Şirketi
- URL-1 < <https://www.helifix.co.uk/blog/overcome-damage-foundation-settlement>>, Erişim tarihi 20.04.2023
- URL-2 < <https://tr.yevgenykafelnikov.com/how-install-french-drain>>, Erişim tarihi: 10.07.2023
- URL-3 < Semiz G.D., Drenaj; temel kavramlar ve temel uygulamalar ders notları 11. Hafta, Ankara Üniversitesi >, Erişim tarihi: 10.07.2023
- URL-4 < <https://www.temeltek.com.tr/jet-grout-nedir/>>, Erişim tarihi: 10.07.2023
- URL-5 < Zemin mekaniği dersl notları, Çukurova Üniversitesi, Adana > Erişim tarihi: 25.06.2023
- URL-6 < <https://insapedia.com/zemin-sikistirma-makineleri-silindirler-kompaktorler-kompaksiyon-makineleri/>>, Erişim tarihi:07.07.2023

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İsmail Kaan KESKİN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
2017-2021

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim
Dalı, 2021-2023

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Kuzey Rüzgarı Yapı Denetim/ Yaz Stajı
2. Bentivenga Group (İtalya) / Yaz Stajı
3. Bil Kutay Yapı Denetim / Kontrol Mühendisi

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Tarihi Yapılarda Görülen Zemin Problemleri. 3. Uluslararası Avrasya Yapı malzemeleri, Mimarlık ve Mühendislik Bilimleri Kongresi. Keskin İ.K., Fırat F.K. 2023. 3. International Congress On Construction Materials Engineering And Architecture 18-29.