



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TARİHİ YAPILARIN ALTINDAKİ ZEMİN
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE
ENJEKSİYON UYGULAMALARI İÇİN BİR
VAKA ANALİZİ: AKSARAY ESKİL ULU
CAMI ÖRNEĞİ

Semih Sırrı TURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Semih Sırrı TURGUT tarafından hazırlanan “Tarihi Yapıların Altındaki Zemin Özelliklerinin İyileştirilmesi Ve Enjeksiyon Uygulamaları İçin Bir Vaka Analizi: Aksaray Eski Ulu Cami Örneği” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Murat OLGUN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Semih Sırrı TURGUT

Tarih: 19.06.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ YAPILARIN ALTINDAKİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE ENJEKSİYON UYGULAMALARI İÇİN BİR VAKA ANALİZİ: AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ÖRNEĞİ

Semih Sırrı TURGUT

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Murat OLGUN

2025, 124 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Murat OLGUN
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN
Dr. Öğr. Üyesi İlyas ÖZKAN**

Kültür mirası açısından tarihi yapılar ülkemiz adına büyük bir öneme sahiptir. Gelişen ve değişen şehirlerde yer alan tarihi yapılar zaman içinde dış kaynaklı etkiler, çeşitli ilave inşaat faaliyetleri, deprem etkileri vb. sebeplerle oturma ve taşıma gücü problemleriyle karşı karşıya kalabilmektedir. Bu problemlerin çözümü için tarihi dokuya en az müdahale gerektirecek çözümler seçilmelidir. Tarihi yapılara yapılacak her müdahale mümkün olduğu kadar geri alınabilir, dönüştürülebilir, orijinal dokuya uygun fakat ondan ayrılabilir nitelikte olmalı ve köklü değişiklikler yapmaktan kaçınılmalıdır.

Tarihi yapıların temelleri de yapının diğer bölümleri gibi yapımında kullanılan malzemesi ve yapım tekniğiyle dönemin izlerini taşımaktadır. Dolayısıyla özgünlüğünün, yapının statik bir tehlikeyle karşı karşıya kalmaması haricinde korunması gerekmektedir. Yapı taşıma gücü problemleriyle karşılaştığında ise tarihi yapının varlığını devam ettirmesi amacıyla temellerinin onarılması gerekmektedir. Zemin kapasitesinin yeterli olmadığı durumlarda yapı altındaki temel boyutlarının değiştirilmesi, temellerin takviye edilmesi veya temel altı zemin özelliklerinin iyileştirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Tarihi yapılarda temel boyutlarının değiştirilmesi yapının bir kültür varlığı olması sebebiyle müdahalelerde kısıtlamalar getirmektedir. Bu nedenle zeminin taşıma gücünü artırmak amacıyla zemin iyileştirme yöntemleri ile yapılan uygulamalar hem kolay hem de yapıya daha az müdahale gerektirdiğinden çok sık tercih edilen yöntemlerdir.

Bu çalışmada Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü bünyesinde bulunan Aksaray Eski Ulu Cami'nde yapı temeli altında oluşan oturmalar ve duvarlarda meydana gelen çatlakların önüne geçilmesi amacıyla zemin ortamında yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Yapı altında geçmiş yıllarda yapılan zemin iyileştirme uygulamalarının proje ve uygulamaları analiz edilip güncel durumu ile karşılaştırılmıştır. Yapılan zemin enjeksiyonu ele alınmış uygulama sonrası gerekli jeofizik çalışmalar ve sismik çalışmaların planlanması ve değerlendirilmesi detaylandırılmıştır. Zeminde uygulanan iyileştirme çalışmaları sonrası karot örneklerinin incelenmiş, gerekli jeofizik özelliklerin belirlenip iyileştirmenin sağlandığı ortaya konulmuştur. Zeminle ilgili analizlerin tamamlanmasından sonra ise tarihi yapının üst kısmı için SAP 2000 programı kullanılarak gerekli modelleme ve analizler gerçekleştirilmiştir. Üst yapının güçlendirilmesi ve takviye edilmesi ile ilgili gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kültür varlığı, Modelleme, Tarihi yapı, Taşıma gücü, Zemin enjeksiyonu, Zemin iyileştirme

ABSTRACT

MS THESIS

A CASE ANALYSIS FOR THE IMPROVEMENT OF SOIL PROPERTIES UNDER HISTORICAL BUILDINGS AND GROUTING APPLICATIONS: AKSARAY ESKİL ULU MOSQUE EXAMPLE

Semih Sirri TURGUT
Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Murat OLGUN

2025, 124 Pages

Jury
Prof. Dr. Murat OLGUN
Asst. Prof. Dr. İbrahim Hakkı ERKAN
Asst. Prof. Dr. İlyas ÖZKAN

In terms of cultural heritage, historical buildings are of great importance for our country. Historical buildings located in developing and changing cities may face settlement and bearing capacity problems due to external influences, various additional construction activities, earthquake effects, etc. over time. For the solution of these problems, solutions that require the least intervention to the historical texture should be selected. Any intervention to be made to historic buildings should be reversible, transformable, suitable for the original texture but separable from it, and radical changes should be avoided.

The foundations of historic buildings, like the other parts of the building, bear the traces of the period with the material used in construction and the construction technique. Therefore, its authenticity should be preserved except when the building is faced with a static hazard. When the building encounters bearing capacity problems, the foundations should be repaired in order to maintain the existence of the historical building. In cases where the soil capacity is not sufficient, it becomes necessary to change the dimensions of the foundations under the building, to reinforce the foundations or to improve the underlying soil properties. Changing the foundation dimensions in historical buildings imposes restrictions on interventions due to the fact that the building is a cultural asset. For this reason, applications with ground improvement methods in order to increase the bearing capacity of the soil are very frequently preferred methods because they are both easy and require less intervention to the structure.

In this study, the studies carried out in the ground environment in order to prevent settlements under the foundation of the building and cracks in the walls in Aksaray Eski Ulu Mosque, which is within the Konya Regional Directorate of Foundations, were examined. The projects and applications of the ground improvement applications made in the past years under the building were analyzed and the current situation was encountered. The soil injection was discussed, and the planning and evaluation of the necessary geophysical and seismic studies after the application were detailed. After the improvement works applied on the ground, the core samples were examined, the necessary geophysical properties were determined and it was revealed that the improvement was achieved. After the completion of the soil related analyses, the necessary modeling and analyses were carried out for the upper part of the historical building using SAP 2000 program. Necessary recommendations were made for strengthening and reinforcement of the superstructure.

Keywords: Bearing capacity, Cultural property, Ground grouting, Ground improvement, Historic building, Modeling,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin ve sonrasında seminer çalışmamın her aşamasında özveriyle yakından ilgilenen, desteğini, değerli bilgi ve tavsiyeleriyle her zaman hissettiren kıymetli hocam Prof. Dr. Murat OLGUN'a en samimi teşekkürlerimi sunuyorum.

Maddi ve manevi olarak hayatımın her döneminde olduğu gibi yine yanımda olan eşim ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

Semih Sırrı TURGUT
KONYA-2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması	3
2. TARİHİ YAPILAR ALTINDAKİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	7
2.1. Tarihi Yapı Civarında Yüzeyin İncelenmesi	7
2.2. Tarihi Yapı Civarında Muayene Çukuru Açılması.....	7
2.3. Tarihi Yapı Civarında Sondaj Çalışmalarının Yapılması	7
2.4. Tarihi Yapı Civarında Yapılan Arazi Sondalama Deneyleri	9
2.4.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)	9
2.4.2. Koni Penetrasyon deneyi (CPT)	10
2.5. Jeofizik Yöntemler.....	12
2.5.1. Sismik kırılma (Sismik yöntem)	12
2.5.2. Elektriksel direnç yöntemi	12
2.5.3. Yer radarı (GPR) yöntemi	13
3. TARİHİ YAPILARIN ALTINDA ZEMİN PROBLEMLERİ VE ÖRNEKLERİ	14
3.1. Tarihi Yapılar Altındaki Zeminlerde Oluşan Oturmaların Nedenleri	14
3.1.1. Yeraltı su seviyesi değişimleri	14
3.1.2. Yapı yüklerinin değişmesi	15
3.1.3. Yapı çevresindeki değişimler	16
3.1.4. Drenajın sağlanamaması	18
3.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri	18
3.2.1. Mekanik yöntemler	19
3.2.1.1. Kompaksiyon yöntemi ile zemin iyileştirme.....	19
3.2.1.1.1. Dinamik kompaksiyon yöntemi	19
3.2.1.1.2. Vibro kompaksiyon yöntemi	20
3.2.1.1.3. Patlatma ile kompaksiyon yöntemi	20
3.2.1.1.4. Kompaksiyon kazığı oluşturulması.....	20
3.2.1.1.5. Yüzey kompaksiyon yöntemi.....	20
3.2.2. Hidrolik yöntemler.....	20
3.2.2.1. Ön yükleme ile zemin iyileştirme	20
3.2.2.2. Elektro-osmoz yöntemi	21
3.2.3. Fiziko – kimyasal yöntemler	21

3.2.3.1. Enjeksiyon yöntemi	21
3.2.3.2. Taş kolon yöntemi	22
4. AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ALTINDA YAPILAN ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI ve İYİLEŞTİRME SONRASI DURUM ANALİZİ	23
4.1. Giriş	23
4.2. Problemin Tanımı	23
4.2.1. Yer radarı (GPR) çalışmaları	27
4.2.1.1. Verilerin toplanması	27
4.2.1.2. Verilerin değerlendirilmesi.....	28
4.2.1.2.1. Bant geçişli filtre uygulaması	28
4.2.1.2.2. Migrasyon (Göç)	29
4.2.1.2.3. GPR profillerin 3 boyutlu analizi.....	30
4.2.2. 2011 Yılına ait batı cephesi zemin iyileştirme uygulamaları	30
4.2.3. 2011 Yılına ait cami kuzey cephesi zemin iyileştirme uygulamaları	33
4.2.4. 2011 Yılına ait doğu cephesi zemin iyileştirme uygulamaları	34
4.2.5. 2011 Yılına ait güney cephesi zemin iyileştirme uygulamaları.....	38
4.2.6. Yer radarı çalışma sonuçları	40
4.3. Zemin Araştırmaları.....	40
4.3.1. Arazi deneyleri.....	41
4.3.2. Zemin araştırma sonuçları	49
4.4. Zemin İyileştirme Çalışmaları	49
4.4.1. Enjeksiyonda kullanılan malzemeler	58
4.4.1.1. Çimento	58
4.4.1.2. Bentonit	58
4.4.1.3. Akışkanlaştırıcı.....	59
4.4.2. Uygulanan enjeksiyon basınçları	59
4.5. Zemin İyileştirme Çalışmalarının Sonuçları.....	60
4.5.1. Enjeksiyon sonrası MASW ölçümleri	63
4.5.2. Enjeksiyon sonrası zemin araştırmaları	69
4.5.3. Enjeksiyon sonrası yer radarı (GPR) çalışmaları.....	69
4.5.4 Enjeksiyon sonrası arazi deneyleri	74
4.5.4.1. Şişme potansiyelinin değerlendirilmesi.....	75
4.5.4.2. Tek eksenli basınç dayanımlarının değerlendirilmesi	75
4.5.4.3. Taşıma gücü analizlerinin değerlendirilmesi	76
4.5.4.3.1. Terzaghi taşıma gücü yöntemi	77
4.5.4.3.2. Meyerhof taşıma gücü yöntemi.....	79
4.5.4.3.3. Brinch - Hansen taşıma gücü yöntemi	81
4.5.4.3.4. Presiyometre deney sonuçlarına göre taşıma gücünün belirlenmesi ..	84
5. ESKİL ULU CAMİ'NİN PERFORMANS ANALİZİNİN YAPILMASI ve ÜST YAPI GÜÇLENDİRME ÖNERİLERİ.....	87
5.1. Analiz Sonuçları	99
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
6.1 Sonuçlar	100
6.2 Öneriler	103

KAYNAKLAR	104
EKLER	107



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

q_c	: Uç direnci
q_s	: Sürtünme direnci
u	: Boşluk suyu basıncı
V	: Potansiyel fark
$\emptyset$	: İçsel sürtünme açısı
c	: Kohezyon
V_{s30}	: Kayma dalgası hızı
D_f	: Temel kazı derinliği
γ	: Zeminin doğal birim hacim ağırlığı
C_M	: Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı
σ'_{vo}	: Efektif düşey gerilme
q_o	: Temel taban basıncı
q_t	: Tasarım dayanımı
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
f_s	: Birim sürtünme direnci
C_c	: Sıkışma indisi
C_s	: Şişme indisi
W_n	: Su içeriği
A	: Aktivite değeri
P_t	: Toplam basınç
P_m	: Manometre basıncı
W	: Enjeksiyon yapılan şerbetin yoğunluğu
W_1	: Suyun yoğunluğu
L	: Kademe orta noktası ile kuyu başındaki manometreye olan mesafe
$L1$	: YAS seviyesi ile kademe orta noktası arasındaki düşey mesafe
α	: Enjeksiyon Deliğinin düşey ile yaptığı açı (derece)
$I_{s(50)}$	: Nokta yükü dayanım indeksi
g_c, g_q, g_γ	: Temel zemini yüzey eğimi faktörleri
b_c, b_q, b_γ	: Temel taban eğimi faktörleri
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma gücü faktörleri

Kısaltmalar

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
PI	: Plastisite İndeksi
LL	: Likit Limit
PL	: Plastik Limit
GP	: Kötü Derecelendirilmiş Çakıl

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar, üzerinde yer aldığı coğrafyanın sosyolojik, ekonomik, kültürel ve politik öğelerini içerir. Geleneksel malzemelerle (tuğla, taş, kerpiç, ahşap) inşa edilmiş evler, camiler, köprüler, medreseler, kaleler, kervansaraylar, hamamlar ülkemizde bulunan tarihi yapı örnekleridir. Ülkemizde 19. Yüzyıl sonuna kadar yapılmış yapılar koruma altına alınarak tescillenmektedir. Ayrıca, 20. yüzyılda ülke yaşam ve kültürünü yansıtan seçkin örnek ve tasarımlar da korunmaktadır. Bu yapıların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması önemli bir konu olup bunun sağlanması ancak bu konuda alınan eğitim ve tarihi yapıların ömrü süresince gerekli şekilde bakımı ile mümkündür.

Doğal afetler, çevre koşullarının sebep olduğu kimyasal ve fiziksel bozulmalar tarihi yapıların bozulmadan gelecek kuşaklara aktarılmasını engellemektedir. Tarihi yapıların ömürlerini belirleyen iki önemli unsur vardır. Bunlar, zeminden kaynaklı problemler ve deprem etkileridir. Tarihi bir yapı için, genellikle zemindeki oturmaların belli bir stabiliteye kavuştuğu düşünülür ve dışarıdan bir müdahale yoksa anormal bir zemin hareketi beklenmez. Ancak yine de tarihi yapının altındaki zemin koşullarının değişimi, arazi topoğrafyasının yeniden şekillenmesi veya komşu parsellerde uygulanan başka bir inşaat faaliyeti gibi faktörlere bağlı olarak tarihi yapı bir stabilite problemi ile karşı karşıya kalabilmektedir. Benzer şekilde depremlerin birçok tarihi yapıyı yıktığı geçmişten örneklerle sabittir. Depremlerin tarihi yapılar için her zaman büyük bir tehlike arz ettiği gerçeği de unutulmamalıdır (Mahrebel, 2006).

Tarihi bir yapı altında zeminden kaynaklı oluşan problemler ve deprem etkilerinin oluşturduğu tehlike boyutunun belirlenebilmesi için yapının bulunduğu zeminin özelliklerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bu tespit yöntemleri aşağıda sıralanmıştır:

- Zeminin özelliklerine göre farklı derinliklere ve kesitlere sahip inceleme çukurlarının açılması
- El burgusu veya motorlu burgu ile sondaj yapılması
- Zemin sondaları ve arazi deneyleri
- Jeofizik yöntemler

Tarihi yapılar altındaki zeminde oluşan problemlerden dolayı tarihi yapıların temelinde ve üst yapı kısmında başlangıçta çatlamlar şeklinde ortaya çıkan problemler,

önlemi alınmadığı takdirde yapının göçmesine sebebiyet verecek boyutlara ulaşabilir. Yapılar altındaki zemin özelliklerinin iyileştirilmesinin amacı, problem yaşamış ve özellikle farklı oturma yapmış yapıların daha fazla hareketini önlemek veya bu yapıları ilk durumlarına geri getirmektir. Tarihi yapıların mühendislik açısından güvenliğinin sağlanması, genellikle yüksek maliyetli takviye ve zemin iyileştirme yöntemlerini gerektirmektedir.

Tarihi bir yapı altındaki zeminde oluşacak farklı oturma ve taşıma gücü problemi veya da deprem etkisiyle oluşabilecek zararların önlenmesi amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden ilki geleneksel temel takviye yöntemleri olup temelin genişletilmesi, derinleştirilmesi ve mevcut temelin altında beton kütlesi oluşturulması şeklindedir. İkinci yöntem temel altındaki zeminin iyileştirilmesine yönelik olan jet enjeksiyonu, kompaksiyon enjeksiyonu, çatlatma enjeksiyonu, emdirme enjeksiyonu ve dondurma işlemi vb. yöntemlerdir. Üçüncü yöntem ise, temel yüklerini daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktaran kazıklı temeller ve ayak temellerdir.

Yukarıda belirtilen metod ve teknikler dünyada olduğu gibi ülkemizde de özellikle son yıllarda yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışma kapsamında Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü sorumluluk ve mülkiyet alanında bulunan Aksaray Eski Ulu Camii'nde yapı temeli altında oluşan oturmalar ve duvarlarda meydana gelen çatlakların önüne geçilmesi amacıyla zeminde uygulanan iyileştirme yöntemi uygulamaları irdelenmiş ve detaylandırılmıştır. İlgili yapının bulunduğu alanda yapılan zemin iyileştirmesinin tamamlanmasından sonra ise tarihi yapının üst kısmı için gerekli modelleme ve analizler gerçekleştirilmiş, üst yapının güçlendirilmesi ve takviye edilmesi ile ilgili gerekli önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Kaynak Araştırması

Tarihi yapının altındaki zemin koşullarının değişimi, arazi topoğrafyasının yeniden şekillenmesi veya komşu parsellerde uygulanan başka bir inşaat faaliyeti gibi faktörlere bağlı olarak tarihi yapı bir stabilite problemi ile karşı karşıya kalabilmektedir. Benzer şekilde depremlerin birçok tarihi yapıyı yıktığı geçmişten örneklerle sabittir. (Mahrebel, 2006).

Tarihi bir yapı altındaki zeminde oluşacak farklı oturma ve taşıma gücü problemi veya da deprem etkisiyle oluşabilecek zararların önlenmesi amacıyla uygulanan yöntemlerden birisi de enjeksiyon yöntemidir.

Enjeksiyon, hazırlanan enjeksiyon harcının zeminde açılan kuyulara basınçlı bir şekilde verilmesiyle zemin içerisindeki boşlukların doldurulması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu harç karışımları bentonit, çimento, kireç gibi su içinde dağılmış katı maddelerden oluşmaktadır. Enjeksiyon sonucunda boşluklu zemin veya çatlaklı kaya, daha sıkı ve geçirimsiz hale getirilerek zeminin permeabilite değerlerinin düşürülmesi, kayma dayanımlarının artırılması hedeflenir. Enjeksiyon sırasında penetrasyonun gerçekleşmesi için katı tanecikler çökelmemeli ve karışım sertleşmemelidir (Scheidegger ve Johnson, 1969).

Enjeksiyon harcı kullanılan karışım malzemeleri amaca uygun olarak sertleştiğinde katı, esnek, jel veya hafif formda olabilir (Warner, 2004). Geoteknik mühendisliğinde enjeksiyon uygulaması tek başına kullanılabilmesinin yanı sıra diğer farklı yöntemlerle birlikte zemin iyileştirmesini desteklemek içinde kullanılabilir. Kazıklı temel sistemlerinde ve zemin ankrajlarında taşıma kapasitelerini arttırmak, kazıklarda yanıl gerilmeleri karşılamak bu uygulamalara birer örnektir (Nonveiller, 1989).

Enjeksiyon teknolojisinin uygulama alanı ilk olarak su sızdırmazlığını sağlamak için maden endüstrisinde ve baraj temelleri altında geçirimsiz blokların elde edilmesi amacıyla kireç ve kil enjeksiyonları şeklinde olmuştur (Mutman ve Kavak, 2007). 1950’li yıllarda ABD’de kompaksiyon enjeksiyonu uygulanmaya başlanmış ve 1980 yılında bu yöntemin sınırları ASCE Enjeksiyon Komitesi tarafından çizilmiştir (Tunçdemir, 2004). 1960-1970 yılları arasında Japonya’da jet enjeksiyonu geliştirilmiş olup, bu uygulama günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 2007). Enjeksiyon teknolojisinin kökeni diğer zemin iyileştirme teknikleri gibi eskiye dayanmakla beraber bu teknoloji hem yeni enjeksiyon malzemeleri hem de bu malzemelerin zemin içerisine nüfuz ettirilmesi bakımından sürekli bir gelişim içerisinde. Burada dikkatle üzerinde durulması gereken

nokta, bütün bu uygulamalar için aynı enjeksiyon malzemesinin ve enjeksiyon parametrelerinin kullanılamayacağıdır (Wallance, 1982).

İnal (2015) tarafından yapılan çalışmada GP (Kötü derecelenmiş çakıl) sınıfına ait dere kumu ve kırmataş zemin türleri %40, %60 ve %80 rölatif sıklıkta hazırlanarak, bu zeminlere sabit bir basınç altında farklı su/çimento oranları oluşturularak çimento enjeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon numunelerinin üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmış, kayma ve basınç dalga hızları kullanılarak elastisite modülleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada amaç zemin türleri ve rölatif sıklıklarının enjeksiyonun başarısına etkisinin araştırılmasıdır. Çalışma sonucunda GP sınıfına ait dere kumu kullanılarak üretilen enjeksiyon numunelerinde rölatif sıklık arttıkça serbest basınç dayanımı da artmıştır. Ayrıca, su/çimento oranı arttıkça harçta çökelme miktarı artmakta ve serbest basınç dayanımı azalmaktadır. Arazide yapılacak uygulamalarda doğal zeminde yeraltı suyunun varlığı da göz önünde bulundurularak düşük su/çimento oranında çimento şerbeti kullanılmasının uygun olduğu kanaatine varılmıştır. Rölatif sıklığı %80 ve su/çimento oranı 0.8 olacak şekilde dere kumu kullanılarak üretilen enjeksiyon numunelerinde maksimum dayanım değerleri elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda fiziksel ayrışma ile oluşmuş zeminlere enjeksiyon yapmanın daha zor olduğu, pürüzsüz yüzeye sahip ve küresel danelerden oluşmuş zeminlerde enjeksiyon işleminin çok daha rahat bir şekilde gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Atıcı (2019) tarafından jet grouting, enjeksiyon ve taş kolon zemin iyileştirme yöntemlerinin zeminler üzerinde etkileri araştırılmış ve bu yöntemlerin zeminin mühendislik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Jet grouting, enjeksiyon ve taş kolon zemin iyileştirme yöntemleri fore kazıklı derin temel uygulaması yapılmış bir sahada modellenmiştir. İnşa edilecek yapı yükleri için taşıma gücü ve oturma sorunu olabilecek zemin profilleri zemin etüt raporu incelenerek belirlenmiş ve taşıma gücü ve oturma sorunu olabilecek profiller için jet grouting, enjeksiyon ve taş kolon malzemeleri tasarlanmıştır. Tasarlanan jet grouting, enjeksiyon ve taş kolon malzemeleri ampirik analizlerde ve Plaxis analizlerinde kullanılmıştır. Ampirik analizler ve sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis programı ile taşıma gücü ve toplam oturma analizleri gerçekleştirilmiştir. Taşıma gücü ve oturma sorunu olabilecek üç farklı zemin profillerinin taşıma gücü ve oturma davranışları mevcut üst yapı yükü altında incelenmiştir. Bu üç zemin profilinin, düşük plastisiteli kil ve derin kazıda killi çakıl bulunduranı Profil 1, yüksek plastisiteli kil ve derin kazıda düşük plastisiteli silt ve killi kum bulunduranı Profil 2 ve siltli kum ve derin kazıda killi kum bulunduranı Profil 3 olarak adlandırılmıştır. Profil 1, Profil 2 ve Profil 3'de jet grouting,

çimento enjeksiyonu ve taş kolon uygulamaları, Plaxiste kolon, Plaxiste kompozit zemin, Terzaghi ve Meyerhof taşıma gücü teorisinde kompozit zemin ve Bowles oturma teorisinde kompozit zemin olarak ampirik ve sayısal yöntemlerle 3m, 4m ve 13m temel tasarım derinliklerinde çözümlenmiştir. Tüm zemin iyileştirme türleri tüm zemin türlerinde iyileştirme oranlarının artması ile taşıma gücü ve oturmalara daha olumlu etki etmiştir, fakat kum zemine uygulanan taş kolon uygulamasının oturmaları artırmasının yanında taşıma gücü açısından daha az olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir. Taşıma gücü açısından taş kolon killi ve siltli zeminler üzerinde jet grouting ve çimento enjeksiyonuna göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Kum zeminin taşıma gücüne katkılarına bakıldığında ise taş kolon yine olumlu etki gösterse de kil ve silt zeminlerdeki etkisini gösterememiştir. Ayrıca analiz yöntemlerine göre de farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ampirik analizlerin taşıma gücü hesaplarında Plaxis ile yapılan çözümlerden daha yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir.

Koçer (2012) yaptığı bir çalışmada Boyabat Barajında ana kaya içerisine yapılan enjeksiyon perdesinin yapım ve sonuç aşamalarını incelemiştir. Su kaçağı için ana kaya içerisinde bir bariyer olan enjeksiyon perdesi zemin içerisine yüksek basınçla pompalanan çimento enjeksiyonu ile oluşturulmuştur. Su/çimento oranı 0.9 olan enjeksiyon karışımının 0.007 oranında (Rheobuild 2000 PF/çimento) süper akışkanlaştırıcı içerdiği belirtilmiştir. İlave olarak aşırı alış olması durumunda kum kullanılmıştır. Enjeksiyon işlemi öncesindeki ve sonrasındaki geçirimsizlik değerleri ile kademelere göre enjeksiyon alış miktarları kayıt altına alınarak azalan aralık yönteminin uygulandığı geçirimsizlik perdesi enjeksiyonunda kuyular açılarak enjeksiyon gerçekleştirilmiştir. Her aşamada enjeksiyon alışlarının azaldığı tespit edilmiştir. Karotlu kontrol kuyularının delinmesiyle de bu alış yapan kademelerde düşük geçirimsizlik oranının elde edildiği görülmüş ve enjeksiyon işleminin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Harputlugil (2018) tarafından yapılan çalışmada yeraltı suyundaki sülfat oranının jet enjeksiyonu kolonlarının kalitesine etkisi araştırılmıştır. Sülfatın, betonun hammaddesini oluşturan materyaller ile reaksiyona girerek betonda çatlamalar meydana getiren ve dayanım kayıplarına neden olan bir etken olduğu ifade edilmiştir. Su içerisinde bulunan sülfatın betona temas ettikçe betonu çürüterek servis ömrünü azalttığı ve maddi hasarlara yol açtığı belirtilmiştir. Jet-Grout kolonları zemin ve çimento karışımından oluştukları için sülfatın betona olan etkisine benzer bir etkinin jet grout kolonlarında da gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu etkinin kesin olarak ortaya konabilmesi için gerçekleştirilen çalışmada CEM I SR – 5 (C3A içeriği düşük) ve CEM II 42,5 çimentoları kullanılarak killi zemin ile

karıştırılmış yapay jet grout karot numuneleri laboratuvar ortamında oluşturulmuştur. Bu karot numuneler 100 ile 12000 mg/l yoğunlukta sodyum sülfat içeren sularda 4 ay bekletilmiş ve serbest basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Zamana, sülfat yoğunluğuna ve çimento türüne göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre sodyum sülfat içeren suların jet grout kolonlarının dayanımlarını düşürdüğü belirtilmiştir.



2. TARİHİ YAPILAR ALTINDAKİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Tarihi yapılar altındaki zemin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapı yüksekliği, zeminde oluşan problemin genişliği ve derinliğiyle ilişkili olarak zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin davranışının açıklanması geoteknik mühendisliğinin temellerini oluşturmaktadır. Zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin davranışının açıklanması genel olarak deneysel çalışmalar ile bu çalışmalardan elde edilen verilerin ampirik teorilerde kullanılması olarak yürütülmektedir.

2.1. Tarihi Yapı Civarında Yüzeyin İncelenmesi

Alanın topoğrafyası ve zemin özellikleri daha önce yapılan etütlerden incelenerek tarihi yapı civarında yapılacak asıl etüt çalışmaları açısından fikir vermesi amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle mevcut yapı temelini tespit için muayene çukuru, zemin özelliklerini belirlemek için sondajlar, arazi deneyleri, jeofizik yöntemler kullanılmaktadır.

2.2. Tarihi Yapı Civarında Muayene Çukuru Açılması

Zeminin durumuna göre gevşek zeminlerde şevli veya kademeli, kendini tutamayan zeminlerde ise iksa önlemi alınarak açılan çukurlardır. Bu çukurlardan el burgusu veya numune silindiri ile numune alınarak yeraltı su seviyesi ve zemin özellikleri incelenir (Şekil 2.1). Tarihi yapının çevresinde yapılması planlanan kazı çalışmalarının hangi mesafe ve derinlikte yapıya olumsuz etkisinin olabileceği belirlendikten sonra muayene çukurlarının açılması gerekmektedir (Çamlıbel 2000).

2.3. Tarihi Yapı Civarında Sondaj Çalışmalarının Yapılması

Yapının bulunduğu zemin birimlerinin yatay ve düşey yöndeki dağılımı ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tarihi yapı çevresinde sondaj çalışmaları yapılmaktadır. Sondaj çalışmalarında yeraltı su seviyesi belirlenmekte, kuyu içi arazi deneyleri yapılmakta, gerekli laboratuvar deneylerinin yapılması için zeminin özelliklerini temsil edecek sayıda örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmaktadır. Şekil 2.2.'de sondaj çalışmalarından elde edilen numune örnekleri ve Şekil.2.3.'te tarihi yapı civarında arazide yapılan bir sondaj çalışması gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tarihi bir yapı etrafında muayene çukuru açılması (Konya Şerafettin Cami payanda temeli)



Şekil 2.2. Sondajlardan elde edilen numune örnekleri



Şekil 2.3. Tarihi yapı civarında yapılan sondaj çalışmaları

2.4. Tarihi Yapı Civarında Yapılan Arazi Sondalama Deneyleri

Tarihi yapılar civarındaki zemin özelliklerinin araştırılması için genel olarak dinamik veya statik olmak üzere iki tür sondalama deneyi yapılmaktadır.

2.4.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Standart penetrasyon deneyi (SPT) bir dinamik sondalama deneyidir. Geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinden biridir (Sivrikaya, 2003). Deney sondaj kuyusunda tijlerin ucuna takılan standart bir kaşık veya sondanın çukura

indirilmesi ile yapılır. 63.5 kg ağırlığındaki tokmağın 76 cm yükseklikten serbest düşü ile bu kaşığın çakılarak zemine 30 cm girmesi sağlanır. İlk 15 cm'den sonra 30 cm çakılır ve bunun için gerekli vuruş sayısı sayılır. Bu sayıya SPT sayısı, SPT-N veya N denir. $N > 50$ değerinden sonra deney devam ettirilmez. Yeraltı su düzeyi altındaki ince kum veya siltli kumlarda SPT-N sayısı 15'den büyükse, yeraltı suyu düzeltmesi yapılır. SPT-N sayısının değeri arttıkça zeminin sıklığı da artmaktadır. Çizelge 2.1.'de kumlu zeminlerde zemin sıklığı ile düşüş sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Kumlu zeminlerde SPT-N ile zeminin sıklığı arasındaki ilişki

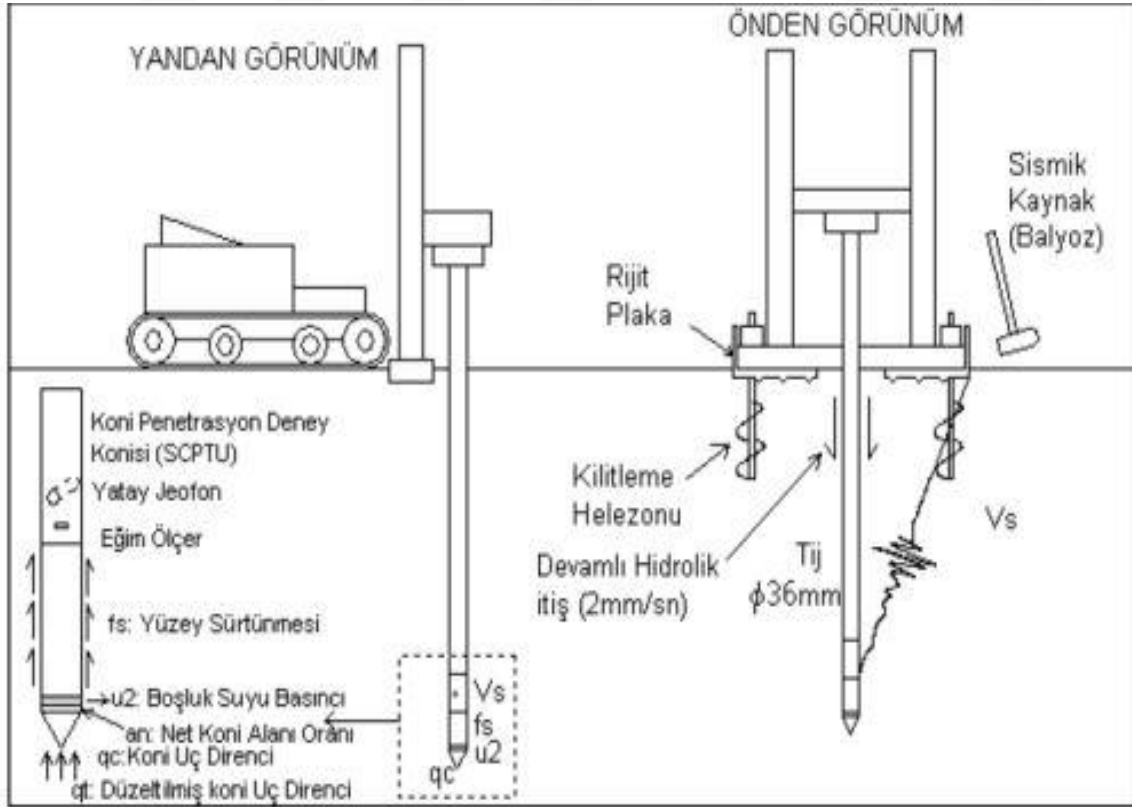
SPT-N	Rölatif Sıklık, Dr	Sıklık Derecesi
0-4	0-0.15	Çok Gevşek
4-10	0.15-0.35	Gevşek
10-30	0.35-0.65	Orta Sıkı
30-50	0.65-0.85	Sıkı
>50	0.85-1	Çok Sıkı

2.4.2. Koni Penetrasyon deneyi (CPT)

Koni penetrasyon deneyi (CPT) bir statik sondalama deneyidir. Deney, çapı 35.7 mm açısı 60° ve izdüşüm alanı 10 cm^2 olan bir konik ucun zemine 20 tona kadar olan hidrolik bir güç ile 2 cm/sn hızla itilmesiyle yapılır (Bol ve Ark., 2004). Konik uç Şekil 2.4. ve Şekil 2.5'teki gibi yüzeydeki bir yükleme düzeni ile zemine 4 cm itilir. Bu itilme boyunca koninin uç kısmında (prop'ta) oluşan uç direnci (q_c), koninin ceket kısmında oluşan sürtünme direnci (f_s) ve boşluk suyu basıncı (u) her 2 cm'de bir ölçülerek grafikler üzerinde gösterilir. Elde edilen bu değerlerin kullanılmasıyla bir takım ampirik ilişkilerden zeminin taşıma gücü ve oturma değerleri ile ilgili parametreler elde edilmektedir.



Şekil 2.4. Koni penetrasyon deney aleti



Şekil 2.5. CPT deney sistemi ve ölçülen parametreler

2.5. Jeofizik Yöntemler

Zeminlerin hızlı bir şekilde yüzeyden incelenmesinde kullanılır. Sismik kırılma, elektriksel direnç yöntemi ve yer radarı (GPR) jeofizik yöntemlerden bazılarıdır.

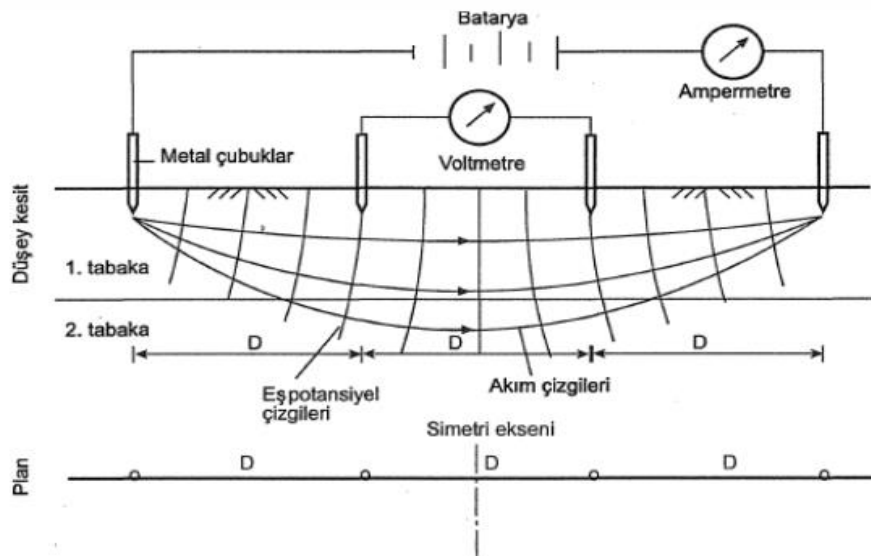
2.5.1. Sismik kırılma (Sismik yöntem)

Zemin etüt çalışmalarında sıklıkla kullanılan jeofizik yöntemlerden biridir. Zemin üzerinde çeşitli enerji kaynaklarıyla yapay olarak oluşturulan ve yapay deprem olarak nitelendirilen küçük sarsıntıların oluşturduğu elastik dalgalar ile yeraltı yapısının incelemesinde kullanılır. Bu yöntemde zeminde oluşturulan şok (titreşim) dalgaları, bunların yayılma süreleri jeofon denilen aletlerle belirlenir. Zeminde şok dalgaları oluşturmak için; ya bir miktar patlayıcı sığ bir derinlikte patlatılır veya ağır bir çekiçe zemin yüzeyindeki bir metal plakaya vurulur.

Yayılma sürelerinin ölçülmesi ile uzaklık-yayılma süresi grafiği çizilir. Uzaklık-yayılma süresi grafiğinde, kırılma noktaları yeni bir tabakanın varlığına işaret eder. Her tabakanın yayılma hızı hesaplanır, buna göre zemin cinsi tahmin edilir.

2.5.2. Elektriksel direnç yöntemi

Zemin üzerinde dikey doğrultuda 4 metal çubuk, elektrot olarak eşit aralıklarla zemine çakılır. Şekil 2.6.'daki gibi dıştaki iki çubuk arasında doğru akım oluşturulur. İçteki iki çubuk arasında potansiyel farkı (V) ölçülür. Zeminin ortalama elektriksel öz direnci bulunur. Bulunan öz dirençten, özellikleri bilinen zeminler üzerinde yapılan çalışmalarda zemin cinsi ve tabaka derinlikleri tahmin edilir (Dahlin, 2001).



Şekil 2.6. Elektriksel direnç yöntemi

2.5.3. Yer radarı (GPR) yöntemi

Araştırılan yüzeyin sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyen elektromanyetik bir yöntemdir (Davis, 1989). Bu yöntemde bir kaynak tarafından araştırılan ortama gönderilen ve zaman içinde değişen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılarak Şekil 2.7.'de gösterildiği üzere incelemeler yapılmaktadır (Uyar, 2017). Değişken zamanlı elektromanyetik alanlar, elektrik ve manyetik alanların bileşeninden oluşmaktadır. Bu iki alan, yeraltında bulunan malzemelerin etkisi altında değişmekte ve yer altındaki yapıların elektriksel özelliklerinin değişiminin gözlenmesine izin vermektedir. Bir verici antenle yeraltına gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların bir kısmı, yeraltında farklı dielektrik özellikleri, iletkenlik ve manyetik geçirgenliğe sahip yüzeylerden yansırken, diğer kısmı da daha derin ortamlara ilerleyebilmektedir. Alıcı bir anten ise yansıyan sinyalleri kayıt etmektedir.

Kayıt edilen bu izlerin uzaklığa bağlı olarak yan yana konulmasıyla oluşturulan kesite yansıma kesiti (radargram) denir. Yansıyan ve iletilen sinyallerin genliği, yansıma katsayısına ve yansıma sınırındaki nesnelerin büyüklüklerine bağlı olmaktadır.



Şekil 2.7. Yer Radarı ölçüm ekipmanları ve sistemi

3. TARİHİ YAPILARIN ALTINDA ZEMİN PROBLEMLERİ VE ÖRNEKLERİ

Tarihi yapıların duvarları genellikle taşıyıcı olduğundan duvardaki hasarlar taşıyıcı sistemi etkilemektedir. Bu yüzden duvarlar temel oturmalarından çok fazla etkilenmektedir. Yığma duvarlar zemindeki oturmalarla uyum sağlayamamakta ve çatlaklar meydana gelmektedir. Bu oturmalar uniform veya farklı oturma şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

3.1. Tarihi Yapılar Altındaki Zeminlerde Oluşan Oturmaların Nedenleri

Kohezyonlu zeminlerde kabul edilebilecek yükler oturma sınırları göz önüne alınarak belirlenmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde ise oturmalarla ziyade zemin taşıma gücü dikkate alınmakta ve bu doğrultuda temeller boyutlandırılmaktadır. Siltli zeminlerdeki oturmaların birkaç sene, killi zeminlerdeki oturmaların ise 60-70 sene içinde tamamlandığı tahmin edilmektedir. Tarihi yapıların genel olarak 100 yaşından fazla olması sebebiyle oturmaların tamamlandığı kabul edilmektedir (Çamlıbel, 2000). Bu sebeple uzun dönem sonunda tarihi yapılar altında oluşan oturmalarla neden olan etkenlerin incelenmesi önemlidir.

3.1.1. Yeraltı su seviyesi değişimleri

Normal koşullarda yeraltı suyu geoteknik anlamda bir problem oluşturmamakla birlikte, iklimlere veya dış etkenlere bağlı değişken yeraltı suyu varlığı ciddi problemlere yol açmaktadır. Zeminde şişme-büzülme, göçme ve donma koşullarında kabarma gibi etkiler yapının temeline büyük zarar vermektedir. Temel taban seviyesi altında bulunan ve temeli etkileyen yeraltı ve yüzey suyu nihai taşıma gücünü %0 -30 arasında azaltmaktadır (Önalp ve Sert, 2006).

Tarihi yapıların etrafında yapılacak kazı sonrası yeraltı su seviyesinin düşmesi ile boşluk suyu basıncı düşmektedir. Boşluk suyu basıncının azalması ile efektif gerilmelerin artması ile alt tabakalardaki zeminlere ilave yükler gelmektedir. Bu yüklerin etkisi ile zemin tabakaları tekrar oturmaya başlamaktadır. Bu oturmaların belli seviyelere ulaşması sonucu yapı duvarlarında önemli derecede çatlaklar meydana gelmektedir.

Tarihi yapıların bulunduğu zemin ortamında yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile zemin içerisindeki boşluklar su ile dolacağından zemin doygun hale gelmektedir. Bu durumda zemin kayma direncinin azalması ile taşıma gücü de azalmaktadır. Bu durumda

yine oturmalar artmakta ve belli seviyelere gelince yine yapının taşıyıcı duvarlarında çatlaklar meydana gelmektedir. Tarihi yapılarda bazen bu tür problemlerin her ikisinden biri ile karşı karşıya kalınabilmektedir.

Yeraltı su seviyesi değişimleri sonucu tarihi yapılarda oluşan oturma problemlerine örnek olarak Aksaray ilinde bulunan Eski Ulu Cami tarihi yapısı verilebilir. Cami duvarlarında oluşan çatlakların (Şekil 3.1.) nedenlerinin tespiti amacıyla zemin etütleri gerçekleştirilmiştir. Etütlerde 4.00-6.00 metreler arası az ayrışmış, orta dayanımlı killi kireçtaşları birimlerine rastlanmıştır. Mevsimlere bağlı olarak artan yeraltı suyu, kireçtaşı biriminde yer alan kili yıkayarak kayada boşluklar oluşturmaktadır. Bu boşlukların kayanın yük altında kırılmasına neden olduğu, bu kırılmaların da yapıda istenmeyen oturmalara sebep olduğu düşünülmektedir. Yapılacak çimento enjeksiyonu ile kireçtaşı birimlerin içerisinde yer alan kil zemin birimlerin sıkıştırılarak boşlukların en aza indirilmesiyle istenmeyen oturmaların engellenmesi önerilmektedir.



Şekil 3.1. Aksaray Eski Ulu Cami’nde yeraltı suyu değişimine bağlı oturma çatlakları

3.1.2. Yapı yüklerinin değişmesi

Tarihi yapılardaki oturmalar uzun bir zaman süreci içinde tamamlanır. Ancak yapı yüklerinin değiştirilip yükün artması veya taşıyıcı sistemin sonradan değiştirilmesi

sonucunda zemine aktarılan yüklerin artması ile temellerde birtakım oturmalar meydana gelmekte ve bunun sonucunda yapıda çatlaklar oluşmaktadır.

Aksaray ilinde bulunan Selçuklu eseri olan Alay Hanı'nın 2009 yılında Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından restorasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapının Şekil 3.2.'de restorasyon öncesi hali Şekil 3.3.'te restorasyon esnasında ve sonrasındaki hali görülmektedir. Restorasyon öncesi yapının büyük bir bölümü yıkılmış olan Alay Hanı yıllar boyu bu şekilde kalmıştır. Bu durumda zeminde yapı yükünün azalması sebebiyle bir miktar kabarma olmuştur. Restorasyon sonrası zemine gelen yüklerin artması sonucu oturmalar meydana gelmiş bu da yeni yapılan kemerlerde çatlamalara ve zemin döşeme taşlarında kırıkların meydana gelmesine sebep olmuştur.



a) Ön kısmı



b) Arka kısmı

Şekil 3.2. Aksaray Alay Hanı restorasyonu öncesi durumu



a) Restorasyon esnası



b) Restorasyon sonrası

Şekil 3.3. Aksaray Alay Hanı restorasyon esnasında ve sonrasındaki durumu

3.1.3. Yapı çevresindeki değişimler

Tarihi yapılara yakın yerde yapılacak yapı kazıları, heyelan ve kaymalara neden olabilmektedir. Yapılacak derin bir kazı temel zeminin dengesini bozarak tarihi yapıda

hasara yol açabilmektedir. Metro, tünel, çok katlı yeraltı otoparkı olan bir yapı için yapılacak kazılar bunlara örnek olarak verilebilir. Bu tür kazı çalışmalarında tarihi yapıların temel haritaları çıkarılmalı ve yapının yapılacak çalışmadan etkilenebileceği göz ardı edilmemelidir. Eski eser çevresinde yeni yapılaşmalar ve yapı çevresinde oluşturulan yeşil alanlar da bazen eseri olumsuz yönde etkilemektedir. Konya ilinde bulunan Osmanlı eseri Şerafettin Cami bu duruma örnek olarak verilebilir.

Şerafettin Camisi yapısal elemanları üzerinde Şekil 3.4.'teki gibi çatlaklar oluşmuş ve bu çatlak oluşumlarının nedenleri araştırılmıştır. Bu amaçla yapı çevresinde yapılan sondajlar neticesinde zemin profili belirlenmiş ve yapı altı zemin biriminin orta plastisiteli kil olduğu tespit edilmiştir. Yapı güneyinde bulunan daha önce mezarlık olan günümüzde ise yeşil alan olarak kullanılan kısımda özellikle yaz aylarında oldukça fazla yeşil alan sulama faaliyetinin gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Plastik silt ve kil gibi ince daneli birimlerin davranışlarında bünyelerinde bulunan su içeriği oldukça etkilidir. Bu birimler zamana bağlı olarak yükleme altından konsolide olarak boşluk suyu basınçlarının artması ile zamana bağlı oturma gerçekleştirirler. Bunun yanı sıra bu birimler, bünyesinde yer alan su içeriğinden etkilenmekte ve kayma dayanımlarında önemli değişimler meydana gelmektedir. Bu durumda bu tip zeminler drenajlı ve drenajsız koşullarda farklı olmak üzere iki ayrı makaslama dayanımı davranışına sahip olmaktadır.

Cami çevresinde mevsimsel olarak artan park sulaması sebebi ile suya doymun hale getirilen orta plastik kil, süregelen bu devinim içinde mukavemetini yitirmektedir. Sabit yükleme durumunda yapı altındaki efektif gerilme devamlı değişkenlik göstermektedir. Bu durum zeminde mukavemet kayıplarına sebep olmuştur. Zemin bünyesinde bulunan suyun drene olması ile de efektif gerilme değerinde oluşan değişimlerin bir diğer etkisi oturmalar şeklinde olmuştur. Yapı sabit yükleme altında oturmalarını yaklaşık 800 yıl içinde tamamlamış olsa da sulama suyu ile tekrardan doymun hale getirilen zeminde boşluk suyu basınçları gelişmiş ve devamında ek basınçların sönmelenmesi ile ek oturmalar görülmüştür. Yapı üzerindeki çatlakların ilerlemesinin önlenmesi için; öneri olarak yeşil alanın kaldırılması tavsiye edilmiştir. Ayrıca yapı temel boyutlarında genişletme önerilmiştir.



a) Kemer çatlağı



b) Duvar çatlağı



c) Duvar çatlağı



d) Kemer çatlağı

Şekil 3.4. Şerafettin Camisi duvarlarında bulunan çatlaklar

3.1.4. Drenajın sağlanamaması

Temel seviyesindeki taşıyıcı tabakanın kil ve silt olduğu durumlarda yağmur ve benzeri nedenlerden dolayı zeminin ıslanması durumunda, eğer yeterli drenaj yoksa, permeabilitenin düşük olması nedeniyle tutulan su temel altındaki kil veya siltli zeminlerdeki ince danelerin taşınmasına ve bütün bunların sonucu olarak zeminde lokal göçmelerin meydana gelmesine neden olmaktadır.

3.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Yetersiz zemin koşulları ile karşılaşıldığı zaman farklı çözüm seçenekleri söz konusu olmaktadır. İnşaat alanının değiştirilmesi, zeminin değiştirilmesi veya tasarımın zemin koşuluna uygun hale getirilmesi buna örnek gösterilebilir. Bu yöntemlerin pahalı ve zaman alıcı olabilmesi nedeniyle mevcut zeminde iyileştirmeye gidilebilmektedir (Özaydın, 2012).

Zayıf zeminler üzerine inşaat yapılması derin temel ve zemin iyileştirme yöntemlerini çözüm olarak ortaya çıkarmaktadır. Her zemin için farklı zemin iyileştirme yöntemleri mevcuttur. Örneğin; kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyeli riskini ortadan kaldırmak için zemin iyileştirme yapılırken killi zeminlerde taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon oturmalarını azaltmak için zemin iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır.

Zemin iyileştirme yöntemlerinin amacı taşıma gücünü arttırmak, oturmaları azaltmak, konsolidasyonu hızlandırmak, zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltmak, boşluk oranını azaltmak ve zeminin geçirgenliği azaltmaktır. Yapı altındaki zeminin taşıma gücünün artması ile zemin yapıyı daha emniyetli taşımaktadır (Akdoğan ve Dikicioğlu, 2019).

Zemin iyileştirme yöntemleri her bölge için farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple kullanılacak zemin iyileştirme metodu belirlenirken önce zeminin topoğrafyası, iklimi, ulaşımı ve zemin iyileştirmenin getireceği ek maliyetler göz önünde bulundurulmalıdır (Şahan, 2016).

Zeminlerin iyileştirilme yöntemleri ana gruplar olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- Mekanik Yöntemler (Kompaksiyon yöntemleri)
- Hidrolik Yöntemler (Konsolidasyon, ön yükleme)
- Fiziko - Kimyasal Yöntemler (Katkı malzemeleri, enjeksiyon yöntemleri)
- Ağırlık Azaltma
- Geosentetik donatılar

3.2.1. Mekanik yöntemler

3.2.1.1. Kompaksiyon yöntemi ile zemin iyileştirme

Kompaksiyonda amaç; mekanik araçlarla zemin danelerinin birbirlerine yaklaştırılıp dane boşluklarının azaltılmasıdır. Zemin danelerinin birbirlerine yaklaştırılması ile birim hacim ağırlık artar ve zemin özellikleri iyileştirilir (Şahan, 2016).

3.2.1.1.1. Dinamik kompaksiyon yöntemi

Ağır bir kütlenin belli bir yükseklikten bırakılarak granüler zeminin sıkıştırılması ile yapılır (Ekinci, 2011). Ağırlığın zemine düşürülmesiyle zeminin yoğunluğu artırılmakta ve

zemin tanecikleri arasındaki boşluklar azaltılmaktadır. Sıkıştırmanın miktarı düşme seviyesi ve düşme sayısı ile doğrudan ilişkilidir.

3.2.1.1.2. Vibro kompaksiyon yöntemi

Özellikle kohezyonsuz gevşek zeminler içerisine yerleştirilen bir sondanın yüksek enerjili titreşimlerle eş zamanlı yukarı çekilmesiyle zeminin sıkıştırılarak daha yoğun hale getirilmesi işlemidir. Granüler zeminlerde yoğunluğun artması ile sıvılaşma riski azalmakta ve kayma mukavemeti artmaktadır.

3.2.1.1.3. Patlatma ile kompaksiyon yöntemi

Özellikle granüler zeminlerde, zemin içerisinde belli aralıklarla oluşturulan patlamaların meydana getirdiği şok dalgalarıyla oluşan titreşimlerin zeminin sıkışmasını sağladığı yöntemdir. Özellikle yerleşim bölgeleri içerisinde emniyet açısından güvenilir bir yöntem değildir ve yerleşim bölgelerinde uygulanmamaktadır.

3.2.1.1.4. Kompaksiyon kazığı oluşturulması

Kompaksiyon kazığı, zeminin yoğunluğunu arttırmak için gevşek kum tabakasına çakılan yer değiştirme kazığıdır. İnce kumun sıvılaşma potansiyelini azaltmada ve yumuşak çökeltilerin, siltlerin vb. taşıma gücünü arttırmada çok kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde zemin, hem zeminin gerçek yer değiştirmesi hem de çakma işlemi esnasında oluşan yer titreşimi ile sıkıştırılır.

3.2.1.1.5. Yüzey kompaksiyon yöntemi

Yol dolgularında veya iyileştirme yapılmış bir zeminde sıkıştırmanın silindirler yardımıyla yapıldığı kompaksiyon işlemidir.

3.2.2. Hidrolik yöntemler

3.2.2.1. Ön yükleme ile zemin iyileştirme

Kalın kil tabakalarının olduğu ve bekleme sürelerinin çok uzun olduğu durumlarda zemine dolgu veya ilave yük uygulanır ve zemin konsolide edilerek yapı inşaatına daha

uygun bir zemin haline gelmesi sağlanır. Böylece yapı altı zemininde meydana gelecek istenmeyen oturmalar engellenmiş olur. Önceden hazırlanmış yatay veya kum drenler ön yükleme yöntemine ek olarak kullanılmaktadırlar. Ön yükleme aşamasında drenler zemin gözeneklerinde biriken aşırı su basıncının, drenler aracılığı ile zeminin diğer bölgelerine yayılmasını sağlar. Böylece sıkıştırılma daha çabuk ve etkili yapılmış olmakla birlikte zamandan kazanç sağlanır (Yee ve Aun, 2010).

3.2.2.2. Elektro-osmoz yöntemi

İnce taneli zeminlerin drenajı ve ön konsolidasyonunu hızlandırmak için uygulanan bir metottur. Boşluk suyunun anottan (+) katota (-) doğru hareket ettirilmesine elektro-osmoz denir. Katotta toplanan su sistem dışına pompalanarak konsolidasyon sağlanır.

3.2.3. Fiziko – kimyasal yöntemler

3.2.3.1. Enjeksiyon yöntemi

Zemin enjeksiyon yöntemi akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesi yöntemidir. Burada amaç zeminin özelliklerini iyileştirmektir (Altun, 2010). Zemin boşluklarını doldurmak ve mukavemeti arttırmak için kullanılan, zemindeki oturmaları, erozyon tehlikesini ve sıvılaşma riskini azaltan bir yöntemdir.

Zemindeki boşlukların büyüklüğüne ve enjeksiyonun amacına göre uygun enjeksiyon malzemesinin belirlenmesi gerekmektedir. Zemin koşullarına ve uygulama amacına yönelik olarak uygun enjeksiyon yöntemi belirlenmelidir.

Sızdırma, çatlatma, kompaksiyon ve jet enjeksiyonu olarak çeşitli uygulama biçimleri vardır.

Sızdırma-emdirme enjeksiyonu düşük basınçla zemin içindeki boşlukları doldurmaya yönelik bir enjeksiyon yöntemidir. Emdirme yöntemi geçirimsizliği az olan zeminler için pahalı bir yöntem olabilmektedir.

Çatlatma enjeksiyon yönteminde zemin çatlatılarak zemin içinde çimento kanalları oluşturulur. İnce daneli zeminler için uygulanan bir yöntemdir.

Kompaksiyon enjeksiyonu emdirme-sızdırma enjeksiyonun aksine yüksek basınçla ve katı malzemeyle uygulanan bir yöntem olduğu için zemin yapısı değişir. Zemin danelerinin yer değiştirmeye zorlanmasıyla sıkışma sağlanmış olmaktadır.

Jet enjeksiyonu (jet grout) ile çimento-su karışımı yüksek basınçla zemine enjekte edilerek jet kolonları oluşturulur. Bu kolonlarla taşıma gücü artırılır. Bu şekilde çimento-su karışımı malzeme zemin malzemesi ile karışarak yeni bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Her tür zeminde uygulanabilen bir yöntemdir. Diğer enjeksiyon yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomiktir.

3.2.3.2. Taş kolon yöntemi

Bu yöntemde zemin içinde kuyu şeklinde delikler açılarak içine granüler malzeme yerleştirilmesiyle taş kolonlar oluşturulur.

Taş kolon yönteminin geniş bir kullanım alanı vardır. Toprak ve yol dolgularının desteklenmesinde, temel zemin iyileştirmelerinde, heyelan stabilizasyonlarında ve köprü ayak desteklemelerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir.

4. AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ALTINDA YAPILAN ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI ve İYİLEŞTİRME SONRASI DURUM ANALİZİ

4.1. Giriş

Aksaray ili Eski ilçeğinde bulunan Eski Ulu Camii'nin mimari özellikleri dikkate alındığında 13. yy Selçuklu eseri olduğu anlaşılmaktadır.

Eski Ulu Camii yapısı topoğrafik açıdan düz bir arazide bulunmaktadır. Cami yapısı ortalama olarak kare bir yerleşime sahiptir. Yapıya geçmiş zamanda ilaveler yapılarak bugünkü kare yerleşim şekline kavuştuğu bildirilmektedir. Bir cephenin uzunluğu 21-22m arasındadır.

Yapı tek katlı olup çepeçevre duvarlar ile desteklenmektedir. Yapı duvar kalınlığı değişken olmakla birlikte ortalama olarak 1.0m'dir. Yapı iç kesiminde ahşap sütunlar ile destek sağlanmıştır. Ahşap sütunlara yer yer duvarlar içinde de rastlanmıştır. Cami duvarları taşlardan oluşturulmuş temeller üzerine oturmaktadır.

4.2. Problemin Tanımı

2011 yılında Şekil 4.1.'teki fotoğrafta da görüldüğü üzere taşıyıcı duvarlarda çatlaklar oluşmuştur. Bu nedenle Cami'de ilgili zemin araştırmaları yapıp temel takviyesi ve zemin iyileştirme projesi hazırlanıp uygulaması yapılmış ardından cami restorasyonu tamamlanmıştır.



Şekil 4.1. 2011 yılı zemin iyileştirme çalışmaları öncesinde camide oluşan çatlaklar

Cami kuzey ve batı cephelerinin temel zeminleri yüksek oturma potansiyeline sahip kil katmanlardan oluşmaktadır. Yüzeyden sığ sayılabilecek derinliklerde ise taşıyıcı taban kayaları başlamaktadır (Yüzeyden 4.5 ila 6.5m derinliklerde). Bu durumda üstyapı

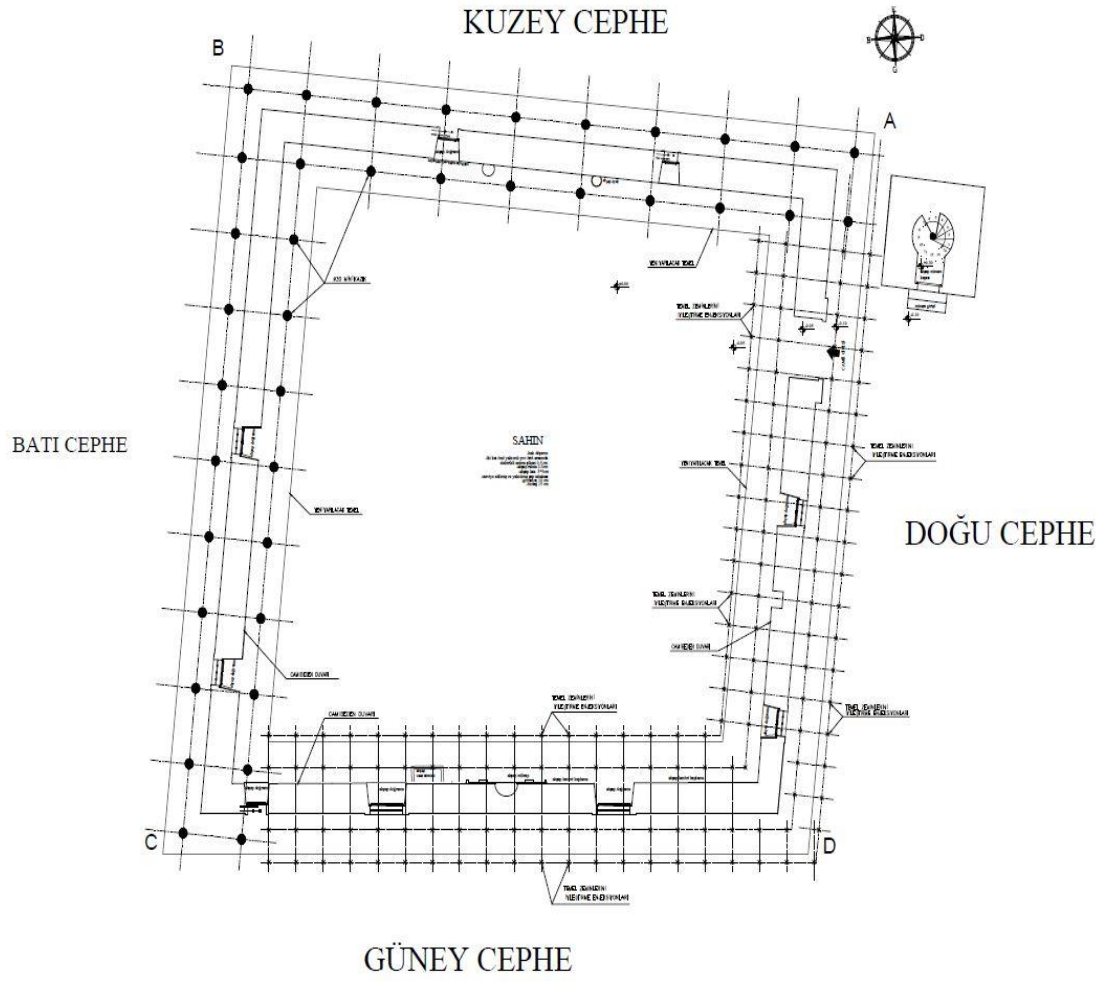
yüklerinin taban kayalarına aktarılarak güvenli bir temel teşkilinin uygun ve ekonomik bir çözüm olduğu belirlenmiştir. Bu amaçla mevcut ana duvarların yanında hem cami içinden hem de cami dışından 30cm çaplı mini kazıkların teşkili ile yapı yükleri derinlere aktarılmaya çalışılmıştır. Cami duvarları altında mütemadi bir temel oluşturularak kazıklar bu temele bağlanmıştır. Mütemadi temeller ana duvarlar altında cepheler boyunca devam edecek şekilde imal edilmiştir.

Mini kazıklar cepheler boyunca 237 - 257cm arasında aralıklarla inşa edilmiştir. Mütemadi temellerin uygulama safhasında anolar şeklinde imalat yöntemi izlenmiştir. Cephe ara kısımlarında belirli anolar atlanarak şaşırtmalı uygulama yapılmıştır.

Cami doğu ve güney cephelerinde sondajlarda 1.4m kalınlığındaki dolgu tabakasından sonra kireçtaşlarından oluşan taban kayalarına girildiği ve cami yapısı duvarlarının hemen hemen bu kayaç tabakalarına oturduğu görülmüştür.

Eskil Ulu Cami taşıyıcı duvarları altında betonarme mütemadi temel uygulaması doğu ve güney cepheleri içinde yapılmıştır. Duvarlar kayalara oturduğundan mini kazıklı temel takviyesine gerek duyulmamış ancak yeni oluşturulan betonarme mütemadi temellerin üstyapı yüklerini emniyetli bir şekilde taşıyabilmesi açısından, taban kayalarının ilk metrelerindeki çok çatlaklı ve ayrıışmış yapı göz önüne alınarak temel basınçlarının maksimum etkidiği ilk metreler çimento enjeksiyonu ile iyileştirilmiştir. Yapılan mini kazık ve enjeksiyon noktaları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Uygulamaya ait fotoğraflar Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

Tarihi yapıda meydana gelen çatlakların önüne geçilmesi amacıyla temel takviyesi ve zemin iyileştirme çalışmaları kapsamında yapılan mini kazık ve zemin enjeksiyonu uygulamaları 2011 yılında tamamlanmıştır. Yapılan temel takviyesi ve zemin iyileştirme uygulamasının ardından yıllar içinde yapının doğu ve batı cephelerinde Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'teki gibi tekrar çatlaklar meydana gelmiştir.



Şekil 4.2. 2011 yılına ait Eski Ulu Cami mini kazık ve enjeksiyon uygulama noktaları



a)



b)

Şekil 4.3. Eski Ulu Cami mini kazık ve enjeksiyon uygulama fotoğrafları



Şekil 4.4. Eski Ulu Cami batı cephesi (2023 yılı)



Şekil 4.5. Eski Ulu Cami doğu cephesi (2023 yılı)

2011 yılında yapılan zemin iyileştirme çalışmaları sonrası bir rapor sunulmadığı için iyileştirmenin ne denli fayda sağladığı bilinmemektedir. Sonraki dönem içerisinde öncelikle yapıda tekrar çatlakların meydana gelmesi sebebiyle 2011 yılında yapılan zemin iyileştirmesi proje ve uygulamaları bu tez çalışması kapsamında tekrar analiz edilmiştir. İlk olarak Yer radarı çalışmaları yapılarak uygulanan kazıkların durumları belirlenmiştir.

4.2.1. Yer radarı (GPR) çalışmaları

Yer radarı ölçümleri ile 2011 yılında yapılan mini kazıkların çap ve uzunluklarının uygulama projesi doğrultusunda belirtilen ölçülerde yapılıp yapılmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır. 250 MHz anten ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.2.1.1. Verilerin toplanması

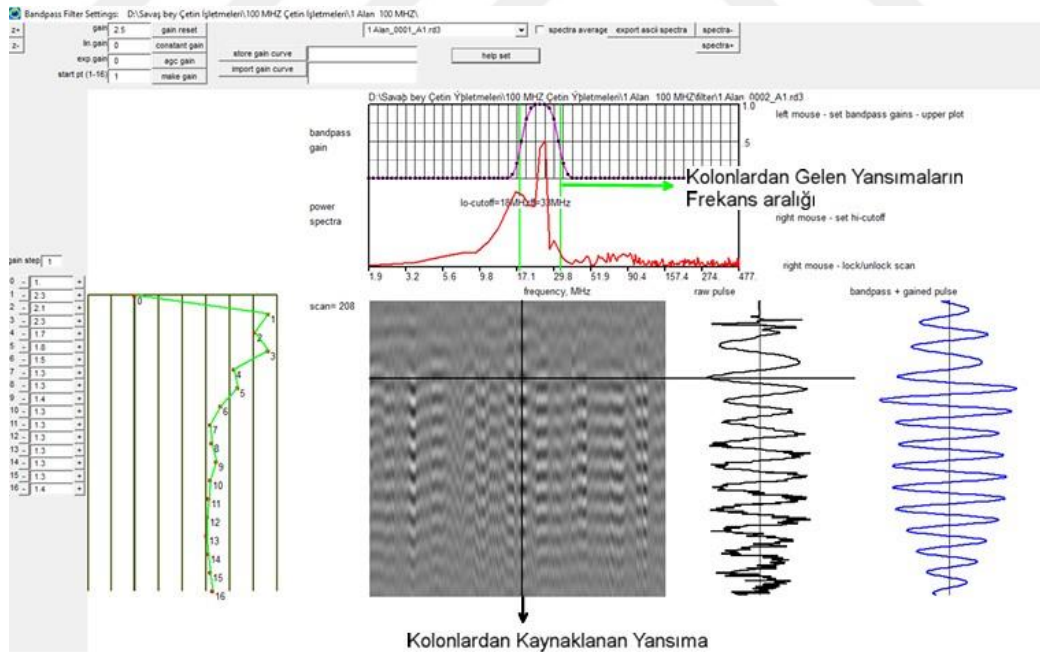
Olası kültür varlıklarının olduğu alanlarda Yer radarının (GPR) yansımaları hakkında daha iyi bir fikir edinmek ve çalışma alanının en iyi parametrelerin tayin seçmek için 250 MHz'lik anten kullanarak farklı alanlarda denemeler yapılmıştır. 250 MHz merkez frekans antenin çözünürlük ve inceleme derinliği arasında iyi bir optimizasyon sağlandıktan sonra cami çevresi ve içerisinde GPR ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.1.2. Verilerin değerlendirilmesi

Öncelikle GPR verileri işlenmiş 2 boyutlu yansıma kesitleri (radargram) gürültülerden uzaklaştırılarak iki adet 3B görselleştirme tekniği kullanılmıştır. GPR verilerinin 3 boyutlu olarak sunulması, karmaşık alanı kolay anlaşılır bir tarzda göstermeye, böylece yeraltında bulunan yapılar hakkında yapılan yorumların kalitesini ve verimliliğini geliştirmeye yardımcı olmaktadır.

4.2.1.2.1. Bant geçişli filtre uygulaması

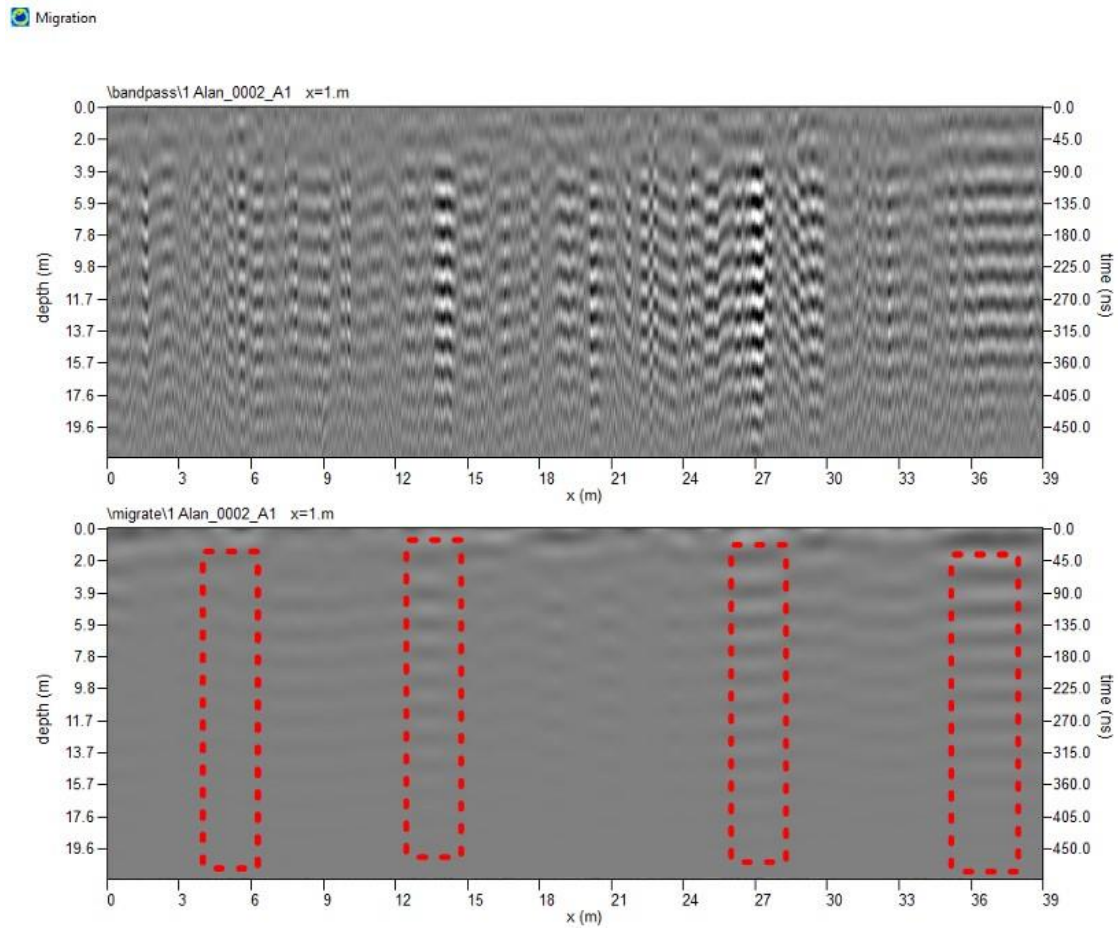
Çalışma alanında hedef kazıklar olduğu için kazıklardan gelen yansımaları geçiren, diğer jeolojik yapıyı filtreleyen Bant geçişli filtre uygulanmıştır. Kazık ve kazık içinden yansıyan sinyaller spektrum ortamında görüntülenerek yeşil renk ile işaretlenen bant aralığı işaretlenerek sadece kazık yansımalarını karakterize eden yansımalar seçilmiş, kazıkların içinde bulunduğu zemin ortamdan kaynaklı yansımalar kayıtlardan uzaklaştırılmıştır. Şekil 4.6.'da sadece kazıklardan gelen yansımaların geçişini sağlayan bant geçişli filtrenin düzenlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.6. GPR ölçümlerinde kazıklardan gelen yansıma

4.2.1.2.2. Migrasyon (Göç)

Göç, yansıma verilerinden alıcı ve kaynak yönünü ortadan kaldıran mekansal dekonvolüsyondur. Amaç, yüzeyin geometrik olarak doğru radar yansıma dağılımını yeniden yapılandırmaktır. Kısaca yer altına gönderilen elektromanyetik dalgalar yapılardan ve yapı kenarlarından hiperbol (kemer yapısı) şeklinde yansır ve bu esnada saçılır. Ancak yapının gerçek sınırları ve boyutları bilinmek isteniyor ise bu saçılmış yansıma izlerinin gerçek yerlerine taşınması gerekir. Bu işlemin doğrulukla yapılabilmesi için yansıyan izlerin hız bilgilerinin doğru girilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada hız bilgileri kazıklardan elde edilen yansıma hiperbollerinin model eğriler ile karşılaştırılması ile elde edilmiş ve saçılan izler gerçek yerlerine taşınmıştır. Şekil 4.7. de kazıkların üzerinde alınan ölçüm kaydı ve migrasyon sonrası gerçek yerlerine taşınmış olan kesimler kırmızı kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.



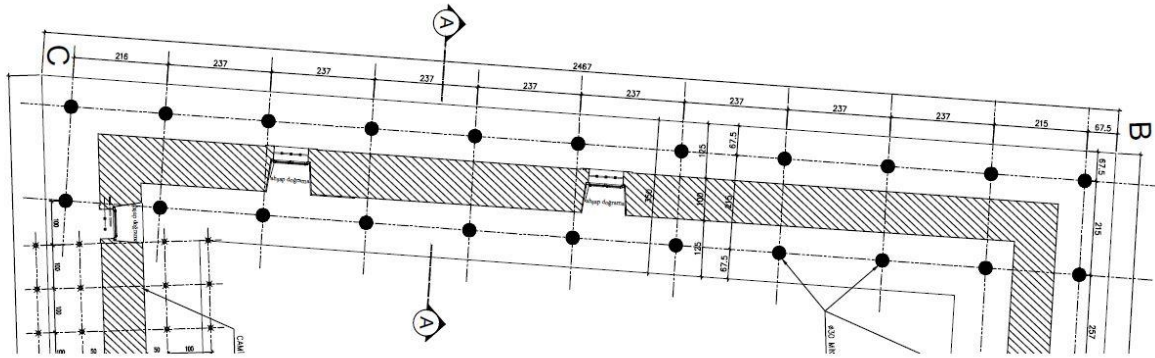
Şekil 4.7. Kazıkların ölçüm kaydı ve migrasyon sonrası gösterimi

4.2.1.2.3. GPR profillerin 3 boyutlu analizi

Çalışma alanında oluşturulan 3 boyutlu modelden hareketle aynı genlik değerlerini taşıyan kolonlar 3 boyutlu olarak çizdirilmiştir. 250 Mhz anten çalışmasında kolonların çaplarının tespiti için 3 boyutlu modeller oluşturulmuştur. Değerlendirme ve derinlik hesaplamalarında hız değeri 0.087m/ns olarak alınmıştır. Yer radarı yönteminde derinlik doğrudan kullanılan hız değeri ile orantılı olduğu için beton için en küçük olan hız değeri seçilmiş böylece yüksek hıza bağlı gerçekten uzak uzun kolon boylarının elde edilmesinin önüne geçilmiş ve güvenli bölgede kalınmıştır. Cami yapısal elamanlarındaki iyileştirme çalışmaları bütün duvarlarda yapıldığı için iç kesim ve dış kesimde yapılan iyileştirmeler ayrı olarak irdelenmiştir.

4.2.2. 2011 Yılına ait batı cephesi zemin iyileştirme uygulamaları

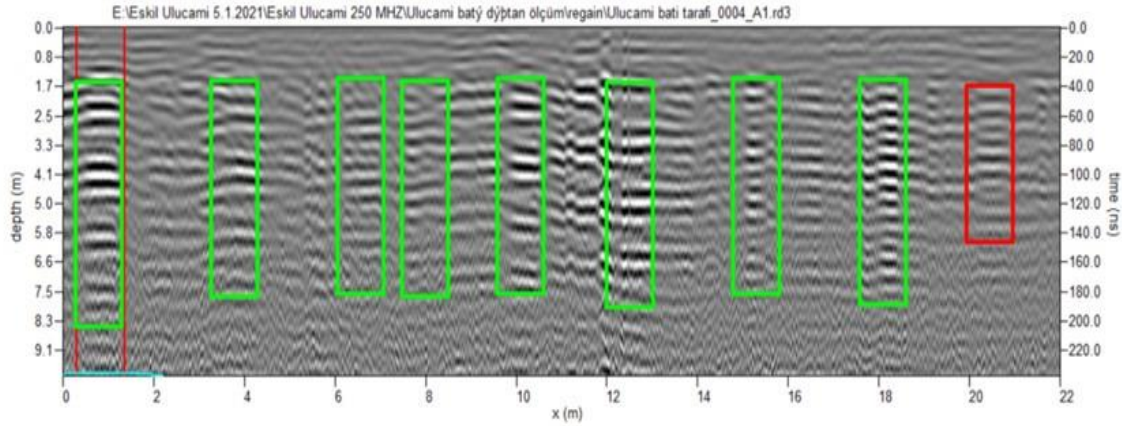
Batı cephesi iç kesim uygulamalarında mini kazık uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan proje ve detaylarından kazık aralıklarının 2.57m ve kazık boylarının 6.15 - 9.15m aralığında olduğu bilgisi elde edilmiştir. Proje çizim detayları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Cami Batı cephesinde uygulanan mini kazık yerleşim noktaları

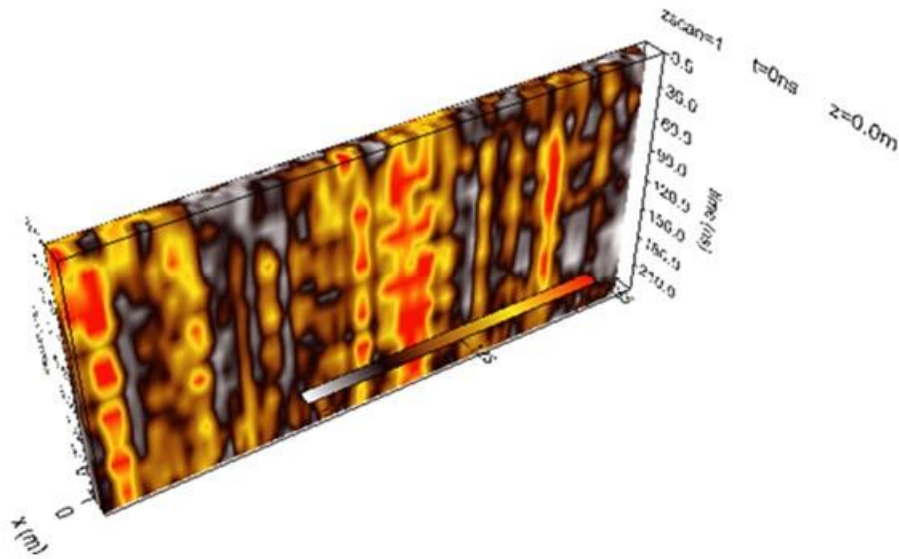
Cami Batı cephesi dış kesiminde yapılan çalışmalarda ise; profil aralıkları 20 cm olacak şekilde 4 profilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kazıklar arası mesafenin tespiti için yansıma kesitlerinden faydalanılarak kazık konumları belirlenmiştir. Şekil 4.9.’da kazıkların konumları dikdörtgen çerçeve ile işaretlenmiş renklendirmeleri ise kazık boylarının uygulama projesinde yer alan boy aralığına göre yapılmıştır. Yeşil çerçeve ile gösterilen

kazıklar proje boy aralığında yer alırken kırmızı ile gösterilen kazık ise proje boy aralığını sağlamayan kazık olarak işaretlenmiştir. Ancak yansıma kesitlerinde taban kayasının bu kesimde daha sıkı derinlikte olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Kazıklar arası mesafe 2.57m ve kazık çapı 30 cm olacak şekilde projelendirilmiştir. Yer radarı çalışmalarında kazık aralıklarının Şekil 4.9'da görüldüğü gibi sağlandığı görülmektedir.



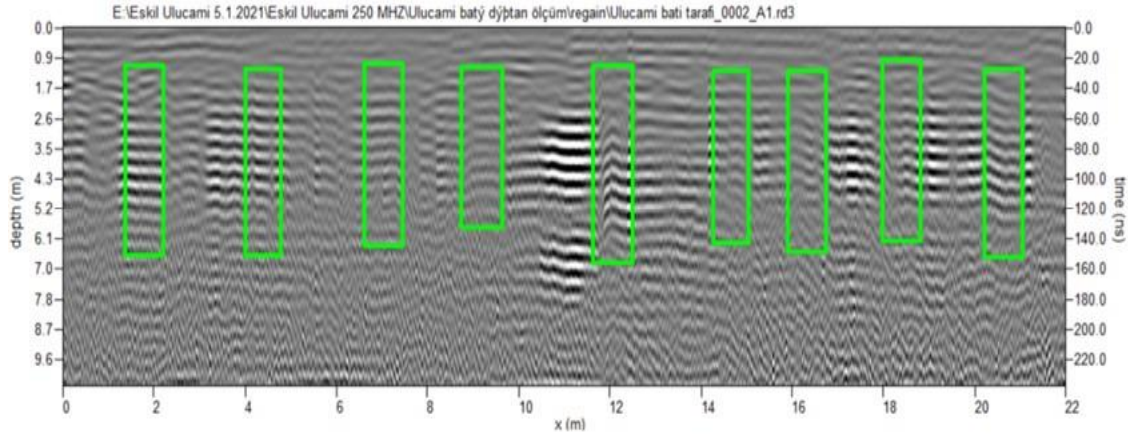
Şekil 4.9. Cami Batı cephesi dış kesim yansıma kesitlerinde kazıkların gösterimi

Ölçümlerin birleştirilmesi sonucu yansımaların 3 boyutlu gösterimi elde edilmiştir. Şekil 4.10.'da modelde kazıklardan gelen yansımalar, kırmızı-sarı renk aralığında yer almaktadır. Kazıklardan gelen yansımaların düşey yönlü uzanım göstermesi mini kazıkların proje derinliği boyunca devamlılık gösterdiğini ifade etmektedir.



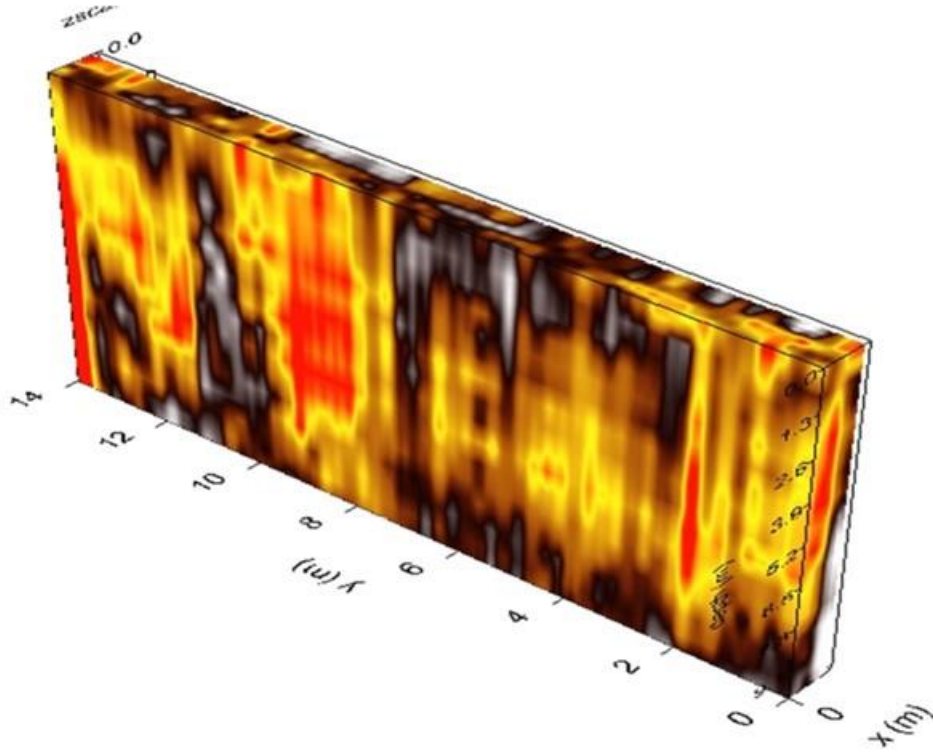
Şekil 4.10. Cami Batı dış cephe kazıklarından gelen yansımaların 3 boyutlu gösterimi

Cami Batı cephesi iç kesimlerde de Yer radarı çalışmaları kazıklardan gelen yansımaların yatay yöndeki mesafeleri kontrol edildiğinde kazık aralığı ve boylarının sağlandığı Şekil 4.11.'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Batı iç kesim yansıma kesitlerinde kazıların gösterimi

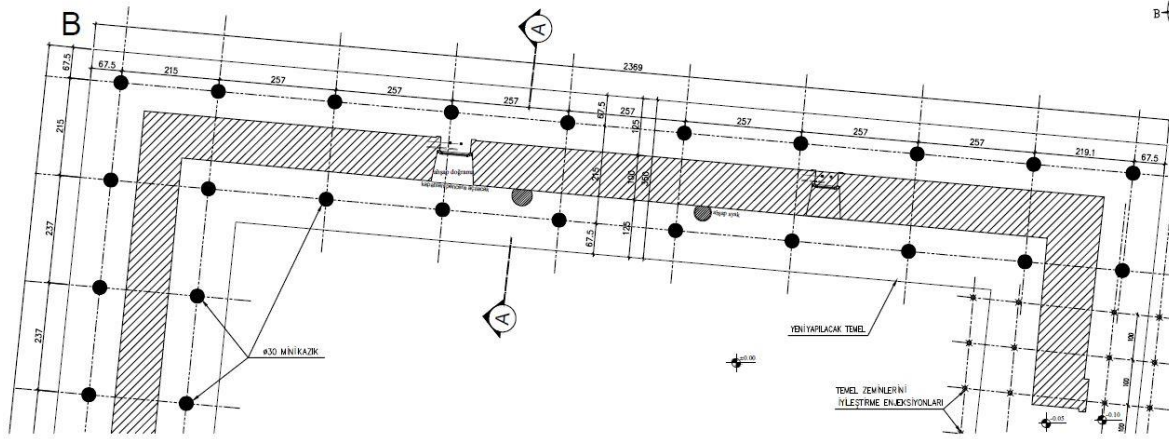
Ölçümlerin birleştirilmesi sonucu elde edilen yansımaların 3 boyutlu gösterimi elde edilmiştir. Şekil 4.12.'deki modelde kazıklardan gelen yansımalar kırmızı-sarı renk aralığında yer almaktadır. Kazıkların uzunlukları proje uzunluğunu sağlamaktadır.



Şekil 4.12. Cami Batı dış cephe kazıklarından gelen yansımaların 3 boyutlu gösterimi

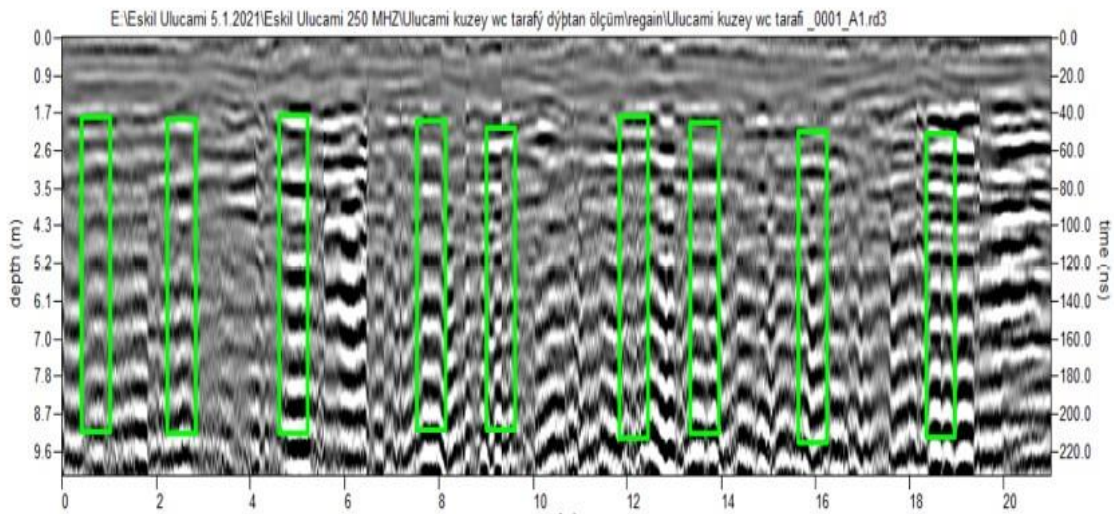
4.2.3. 2011 Yılına ait cami kuzey cephesi zemin iyileştirme uygulamaları

Cami kuzey cephesinde mini kazık uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Kazık aralıklarının 2.57m ve kazık boylarının 6.15-9.15m aralığında olacak şekilde seçildiği Şekil 4.13.'te ki uygulama projesinden görülmektedir.



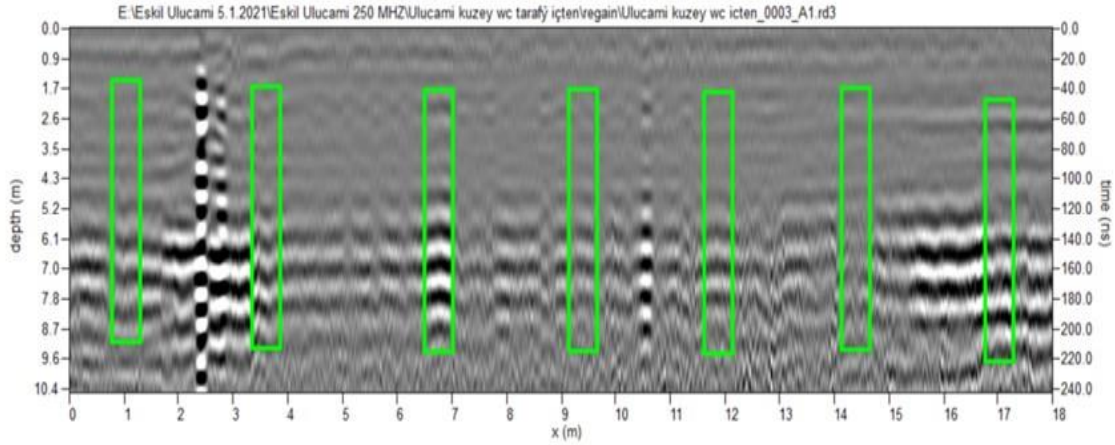
Şekil 4.13. Cami Kuzey cephesinde uygulanan mini kazık yerleşim noktaları

Kazıklar arası mesafenin tespiti için yansıma kesitlerinden faydalanılarak kazık konumları belirlenmiştir. Kazıkların konumları dikdörtgen çerçeve ile işaretlenmiş renklendirmeleri ise kazık boylarının uygulama projesinde yer alan boy aralığına göre yapılmıştır. Şekil 4.14'te yeşil çerçeve ile gösterilen kazıklar proje boy aralığında yer almaktadır.



Şekil 4.14. Cami Kuzey dış kesim yansıma kesitlerinde kazıkların gösterimi

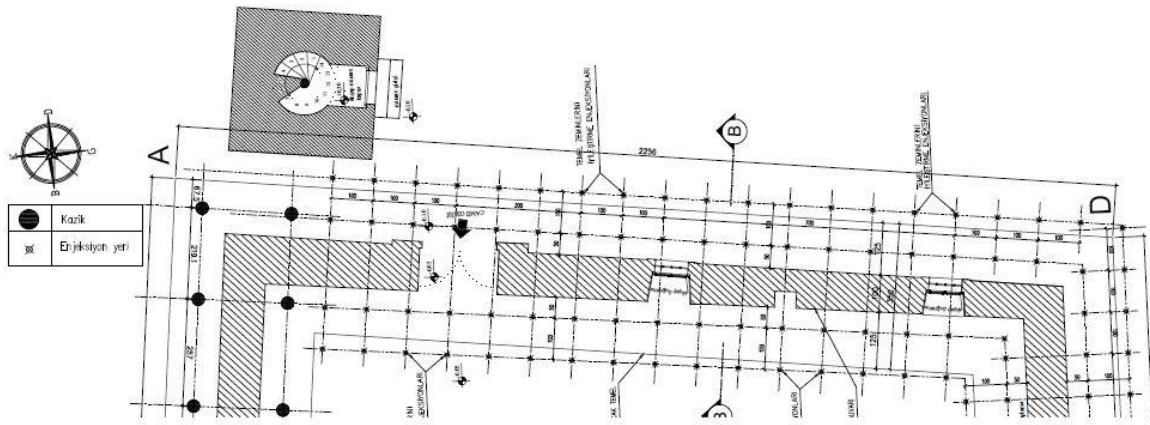
Cami Kuzey cephesi iç kesim çalışmalarında profil aralıkları 20 cm olacak şekilde 3 profilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15.'de yer radarı çalışmalarında elde edilen kazık boylarının uygulama projesinde belirtilen boy aralığını sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.15. Cami Kuzey cephesi iç kesim yansıma kesitlerinde kazıkların gösterimi

4.2.4. 2011 Yılına ait doğu cephesi zemin iyileştirme uygulamaları

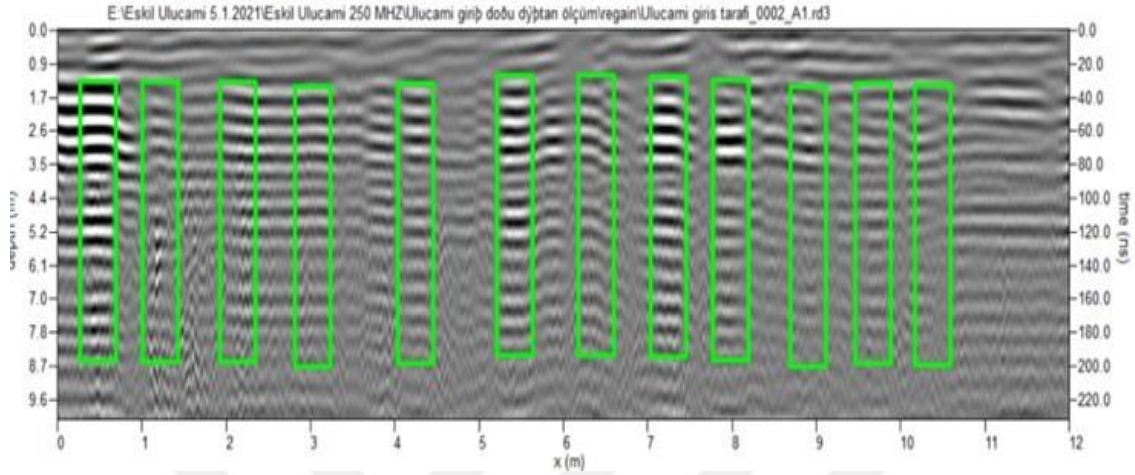
Doğu cephe iç ve dış kesimde projesine göre enjeksiyon uygulamaları yapılmıştır. Enjeksiyon kolonları 1.0m, enjeksiyon delgi boyu 8.15m ve temel alt kotundan itibaren enjeksiyon alım boyu 7m olarak Şekil 4.16.'da uygulama projesinde gösterilmiştir.



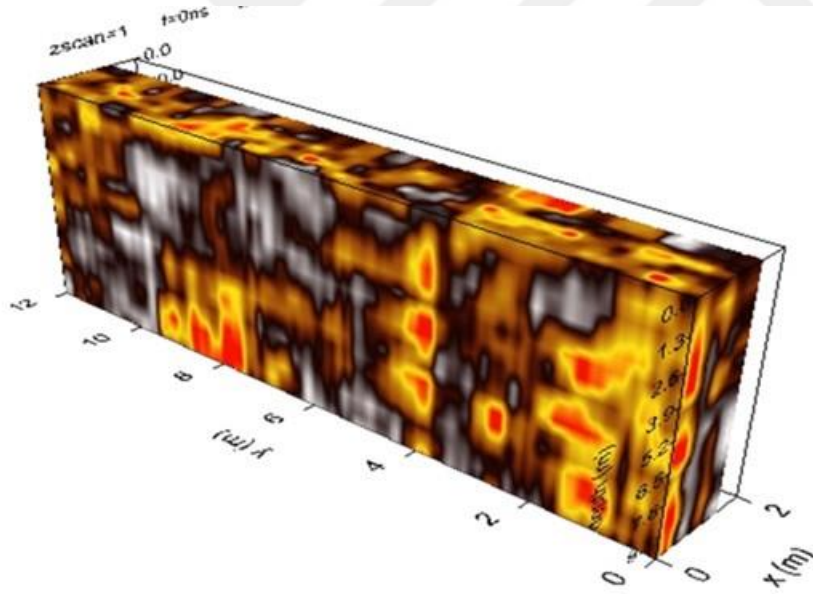
Şekil 4.16. Doğu Cephesinde uygulanan enjeksiyon noktalarının yerleri

Cami Doğu cephesi dış kesim çalışmalarında profil aralıkları 20 cm olacak şekilde 7 profilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Uygulama projesinde kolonlar arası 1 m gösterilse de yer radarı çalışmalarında kolonlar arası değişkenlik göstermiştir. Şekil 4.17.'de yansıma kesitlerinde enjeksiyon yerleri gösterilmiştir. Şekil 4.18.'de ölçümlerin birleştirilmesi

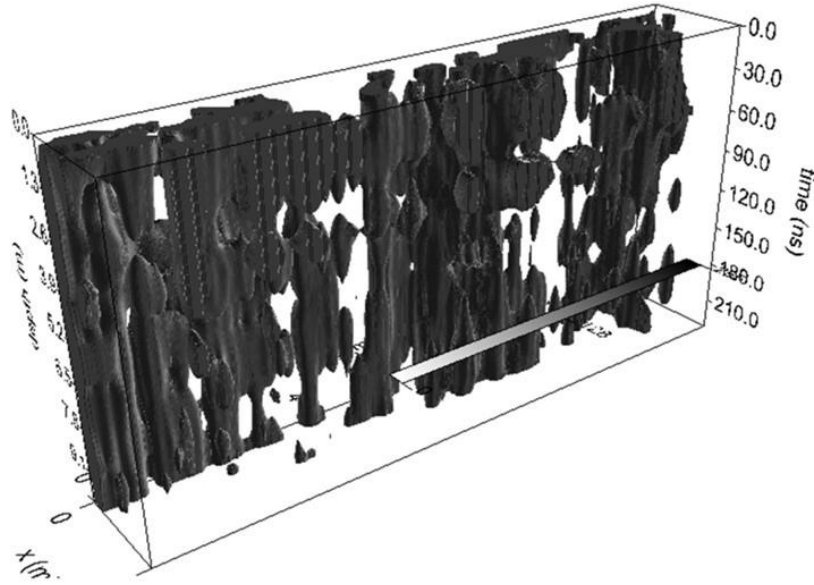
sonucu elde edilen yansımaların 3 boyutlu gösterimi verilmiştir. Modelde kazıklardan gelen yansımalar kırmızı-sarı renk aralığında yer almaktadır. Şekil 4.19.'da aynı genlik değeri ile yansıyan yüzeylerin birleştirilmesi neticesinde elde edilen eşyüzey model gösterilmektedir. Ölçüm hattı boyunca kolonlardan gelen yansımaların bütünlük sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.17. Cami Doğu cephesi dış kesim yansıma kesitlerinde enjeksiyon kolonlarının gösterimi

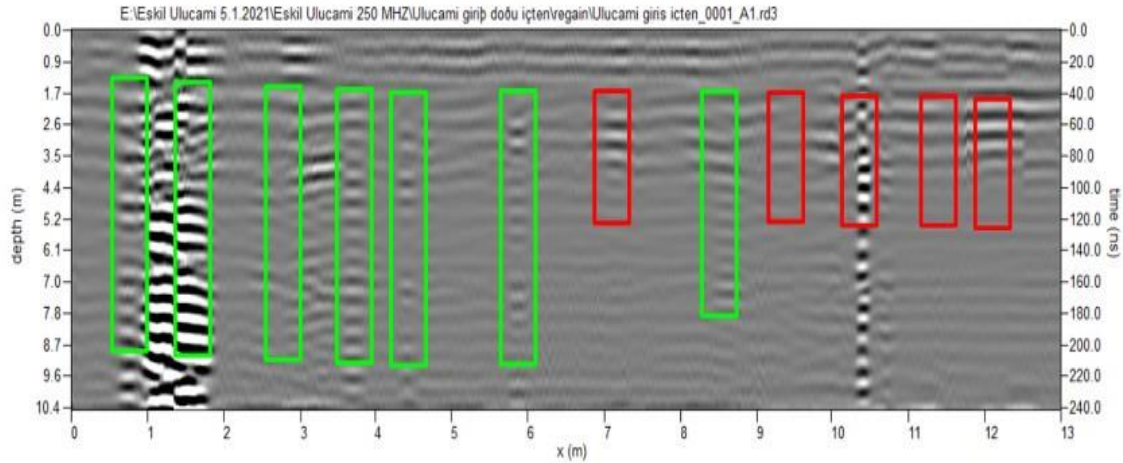


Şekil 4.18. Cami Doğu dış cephe enjeksiyon kolonlarından gelen yansımaların 3 boyutlu gösterimi



Şekil 4.19. Cami Doğu dış cephe enjeksiyon kolonlarından gelen yansımaların eş yüzey modeli

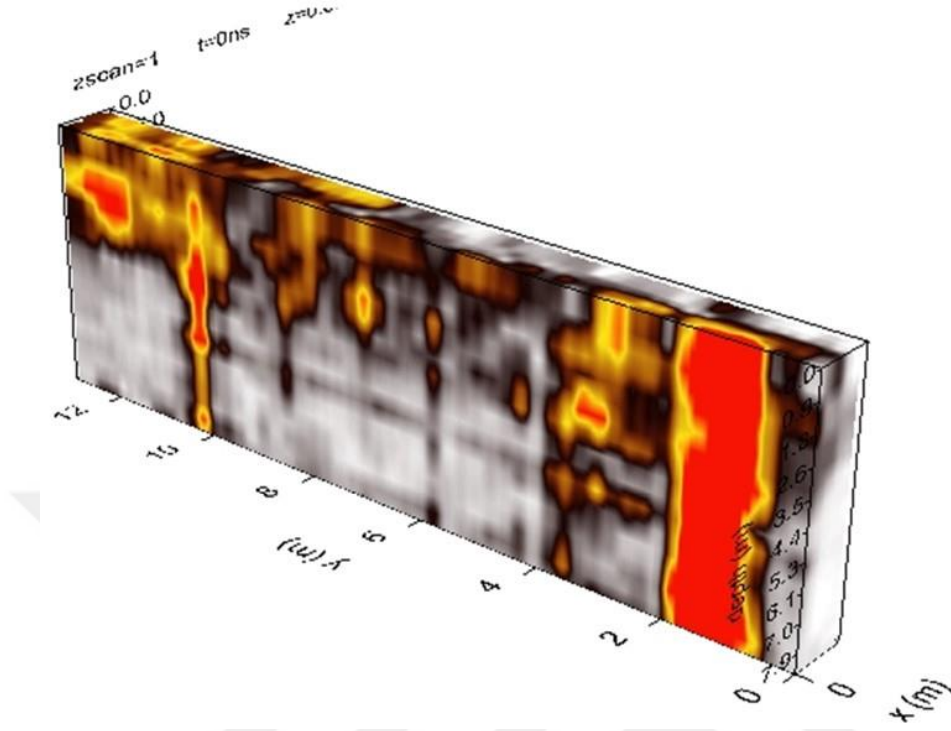
Cami Doğu cephesi iç kesim çalışmalarında profil aralıkları 20 cm olacak şekilde 4 profilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yer radarı çalışmaları sonucunda oluşturulan Şekil 4.20.'deki yansıma kesitlerinde yeşil çerçeve ile gösterilen proje boy aralığında yer alırken kırmızı ile gösterilen ise proje boy aralığını sağlamayan enjeksiyon kolonları olarak işaretlenmiştir.



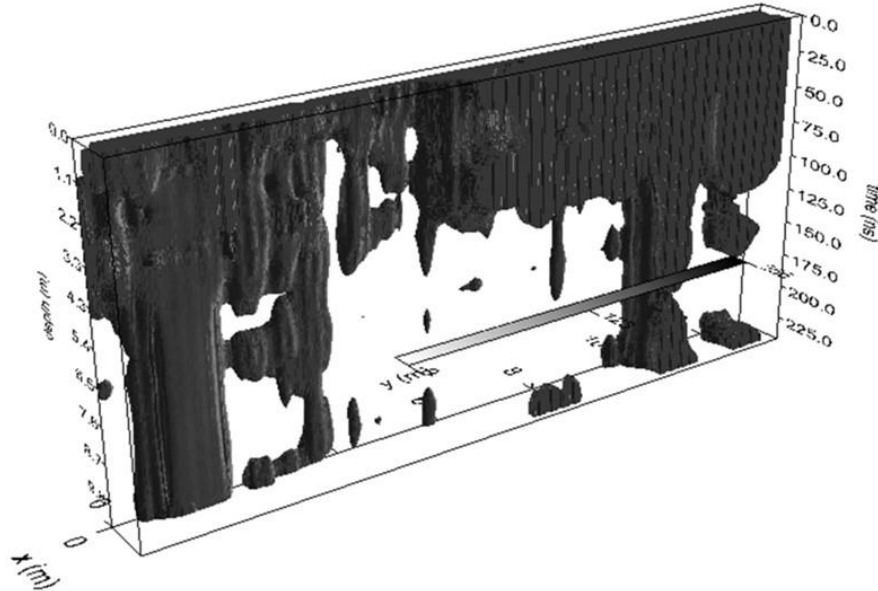
Şekil 4.20. Cami Doğu cephesi iç kesim yansıma kesitlerinde enjeksiyon kolonlarının gösterimi

Şekil 4.20.'de Kolonlardan kaynaklı yansımaların yaklaşık 5 metre derinlikten sonra gelmediği görülmektedir. Bu durumun temel kayanın sığda yer almasından kaynaklı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de sırasıyla enjeksiyon kolonlarının 3 boyutlu görünümü ve yansıyan yüzeylerin birleştirilmesi neticesinde elde edilen eş yüzey model gösterilmiştir.



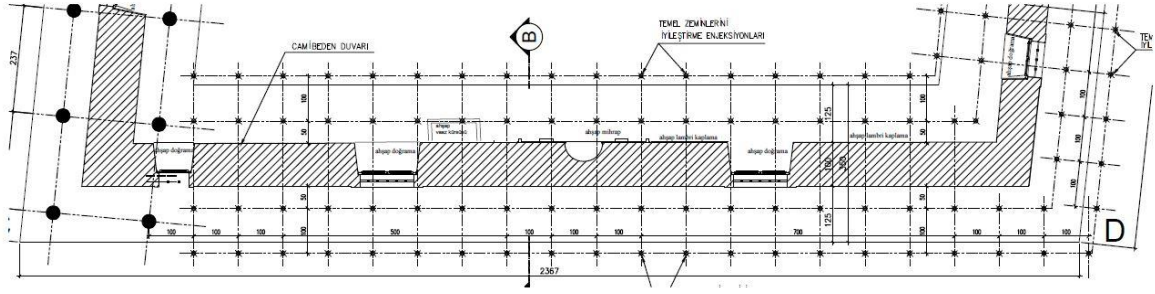
Şekil 4.21. Doğu iç cephe enjeksiyon kolonlarından gelen yansımaların 3 boyutlu gösterimi



Şekil 4.22. Doğu iç cephe enjeksiyon kolonlarından gelen yansımaların eş yüzey modeli

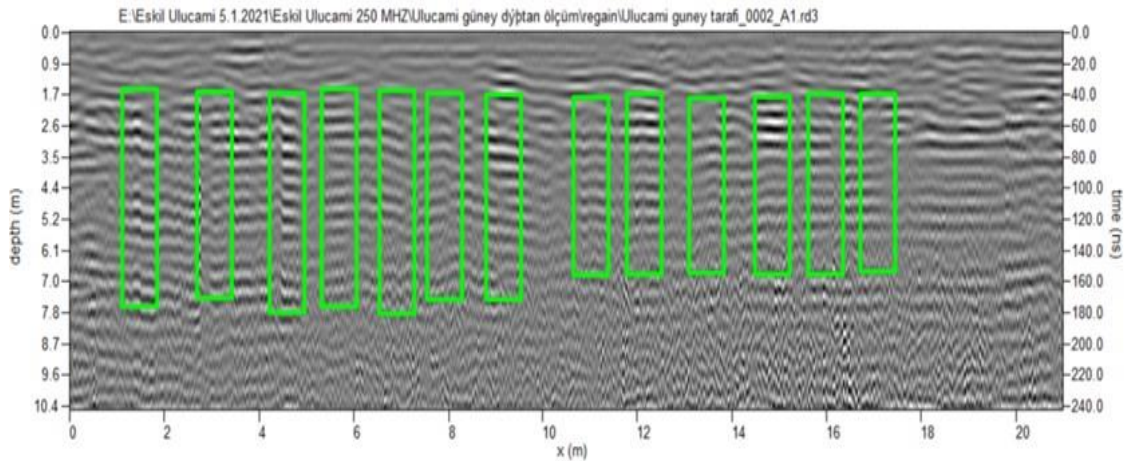
4.2.5. 2011 Yılına ait güney cephesi zemin iyileştirme uygulamaları

Cami Güney cephe iç ve dış kesiminde projesine göre enjeksiyon uygulamaları yapılmıştır. Enjeksiyon kolon aralıkları 1.0m, enjeksiyon delgi boyu 8.15m ve temel alt kotundan itibaren enjeksiyon alım boyu 7m olarak uygulama projesi hazırlanmıştır. Şekil 4.23.'de enjeksiyon yerleri duvarların iç ve dış kesimi için gösterilmiştir.

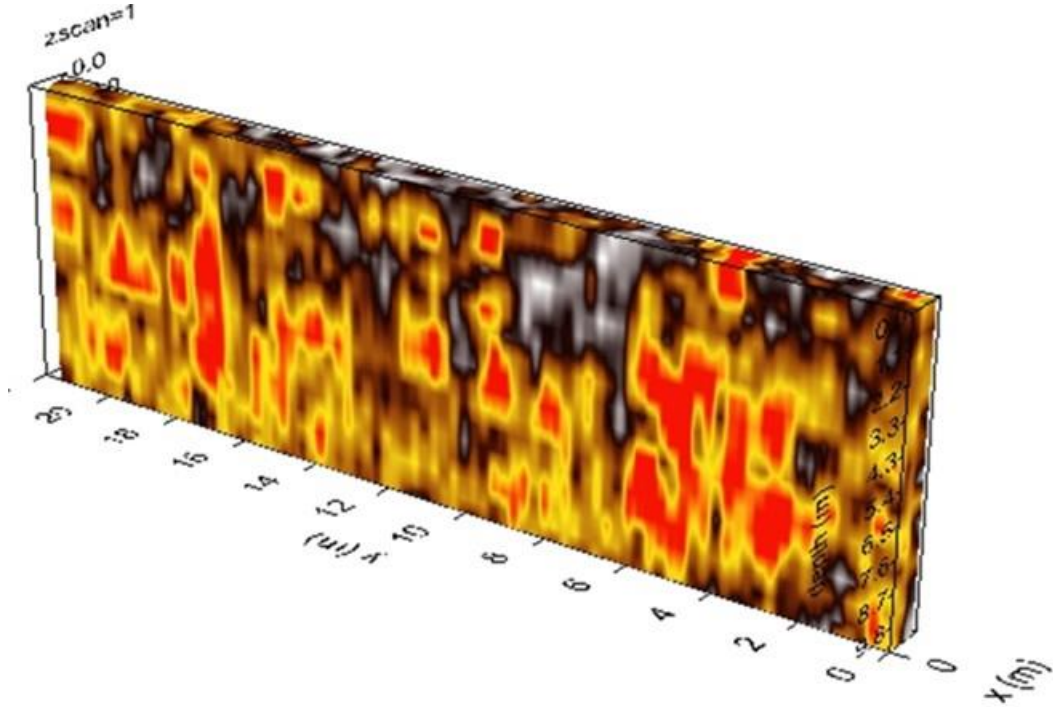


Şekil 4.23. Cami Güney cephesinde uygulanan enjeksiyon noktalarının yerleri

Cami Güney cephesi dış kesim çalışmalarında profil aralıkları 20cm olacak şekilde 4 profilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yansıma kesitlerinden faydalananarak enjeksiyon kolonlarının mesafeleri belirlenmiştir. Şekil 4.24.'te görüleceği üzere kolonlar arası mesafe projesinde gösterilen 1.0m mesafeyi sağlamaktadır. Ayrıca Şekil 4.25.'te oluşturulan modelde kolonlardan gelen yansımalar kırmızı-sarı renk aralığında yer almaktadır ve hem yanal hem de düşey yönde bütünlük sağlandığı görülmektedir.

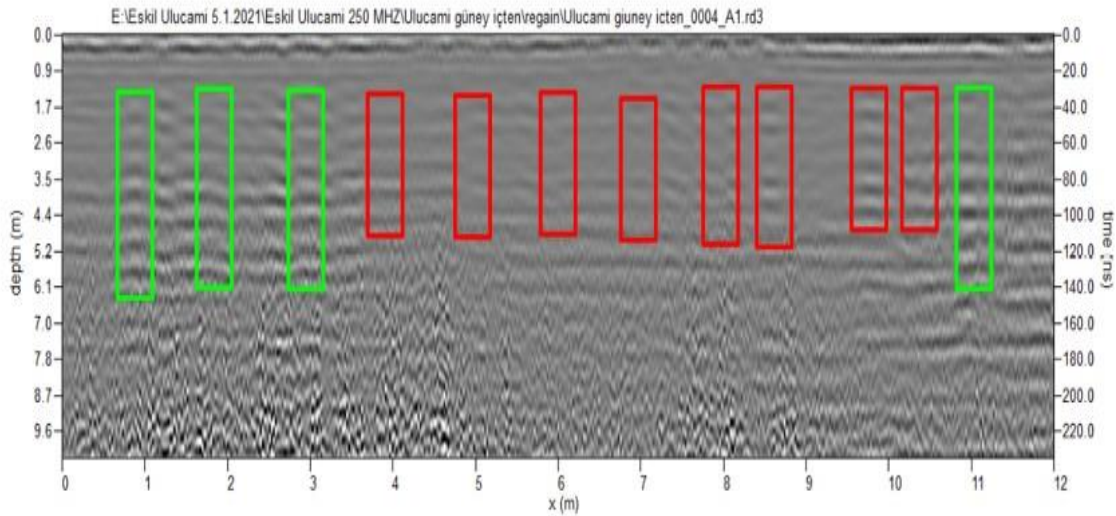


Şekil 4.24. Cami Güney cephesi dış kesim yansıma kesitlerinde enjeksiyon kolonlarının gösterimi

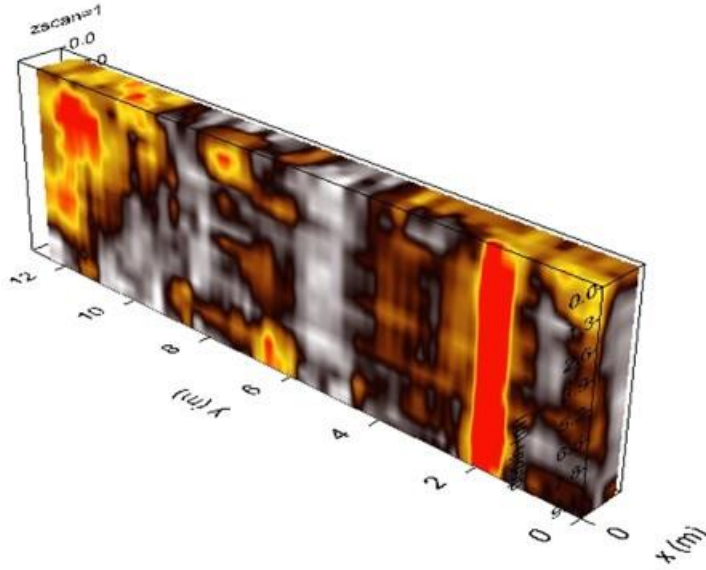


Şekil 4.25. Cami Güney dış cephesi enjeksiyon kolonlarından gelen yansımaların 3 boyutlu gösterimi

Cami Güney cephesi iç kesim çalışmalarında profil aralıkları 20cm olacak şekilde 4 profilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.26.'da enjeksiyon kolonlarına ait yansıma kesitleri ve Şekil 4.27.'de kolonların yansımalarından gelen 3 boyutlu model gösterimi elde edilmiştir. Ölçüm hattı boyunca kolonlardan yansımaların elde edilemediği ölçüm hattının 4-10 metreleri arasında kesintiye uğradığı görülmektedir. Bu kesimde kolonların bütünlük sağlamadığı görülmektedir.



Şekil 4.26. Cami Güney cephesi iç kesim yansıma kesitlerinde enjeksiyon kolonlarının gösterimi



Şekil 4.27. Cami Güney cephe iç kısım enjeksiyon kolonlarından gelen yansımaların 3 boyutlu gösterimi

4.2.6. Yer radarı çalışma sonuçları

Cami genelinde yapılan ölçümlerde dış kesimde yapılan iyileştirme çalışmalarının projeye uygun olduğu görülmektedir.

Doğu ve güney cephe iç kesim çalışmalarında yapılan enjeksiyon uygulamaların projeye uygun olmadığı kesimler tespit edilmiş. Bu kesimlerde kolon boylarında projelendirilen boy uzunluğunun elde edilemediği ve kısa kaldıkları görülmektedir. Temel kaya derinliğinin çok sığ derinlikte olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak yapılan enjeksiyonların temel kaya derinliğine ulaşmadığı takdirde günümüzde oluşan çatlaklara sebebiyet verebileceği düşünülmektedir. Bu sebeple zemin araştırmalarına başlanılmış çatlakların ve oturmaların nedenleri detaylı olarak araştırılmıştır.

4.3. Zemin Araştırmaları

- Parselin ve yakın çevresinin jeolojik yapısı incelenmiş,
- Yer altı suyu durumu ortaya çıkarılmış,
- Arazide 3 adet Sondaj, 2 adet Dinamik Penetrasyon testi (DPH) kuyusu açılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarında;

Laboratuvarda örnekler üzerinde; 0.00-4.00 metreler arasında bulunan üst miyosen yaşlı karasal kırıntıların ürünü olan Kil (CIM) malzemesinden; elek analizi, su içeriği, Atterberg limitleri, direkt kesme kutusu, üç eksenli ve konsolidasyon deneyleri yapılmış olup, 4.00-6.00 metreler arasındaki kaya örnekleri üzerinden nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.28.'de sondaj yerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Cami etrafındaki sondaj yerlerinin gösterimi

4.3.1. Arazi deneyleri

Açılan sondaj kuyusunda yapılan Standart penetrasyon deneylerinde elde edilen SPT sayıları Çizelge 4.1., Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. SK-1 Sondaj kuyusu için SPT-N sayıları

Derinlik (m)	Vuruş -15cm	Vuruş -30cm	Vuruş -45cm	<i>SPT-N₃₀</i>
3,00-3,45	2	3	4	7
4,50-4,95	3	4	4	8

Çizelge 4.2. SK-2 Sondaj kuyusu için SPT-N sayıları

Derinlik (m)	Vuruş -15cm	Vuruş -30cm	Vuruş -45cm	<i>SPT-N₃₀</i>
3,00-3,45	3	3	5	8
4,50-4,95	4	3	4	7

Çizelge 4.3. SK-3 Sondaj kuyusu için SPT-N sayıları

Derinlik (m)	Vuruş -15cm	Vuruş -30cm	Vuruş -45cm	<i>SPT-N₃₀</i>
3,00-3,45	2	4	3	7
4,50-4,95	4	4	5	9

Etüt alanından alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deney çalışmalarından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4.'de verilmiştir.



Çizelge 4.4. Laboratuvar Deneyleri Toplu Sonuçları

Lab No	9		ELEK ANALİZİ YIKAMALI		ATTERBERG LİMİTLERİ			SINIFLANDIRMA SİSTEMİ	DOĞAL SU İÇERİĞİ	DOĞAL B.HACİM AĞIRLIK	LAB. SIKIŞTIRILMIŞ B.HACİM AĞR. NOKTA YÜKLEME DENEYİ	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ	DİREKT KESME DENEYİ		KONSALİDASYON DENEYİ					
	ÖRNEK		+#10	-#200	LL	PL	PI		W _n	γ _n	γ _s		Kg/cm ²	Derece	Kg/cm ²	Derece	İlk boşluk oranı	Son boşluk oranı	Sıkışmış indisi	Şişme indisi
Kuyu No	Örnek No	Derinlik	%	%	%	%	%			gr/cm ³		Kg/cm ²	c	Ø	c	Ø	en		C _c	C _s
SK-1	UD	2.00-2.50	3	71	42	21	21	CL	29,3	1,80			0,62	10			0.779	0.412	0.23	0.02
SK-1	SPT	3.00-3.45	21	59	40	20	20	CL	19,9											
SK-1	SPT	4.50-4.95	30	51	44	21	23	CL	21,4		1,82				0.39	13				
SK-1	K.KAROT	5.00-6.00										36,8								
SK-2	SPT	3.00-3.45	26	52	42	21	21	CL	32,7		1,80				0.42	10				
SK-2	SPT	4.50-4.95	4	76	44	21	23	CL	33,3											
SK-2	UD	5.00-6.00	50	29	30	20	10	GC	16,7	1,90					0.12	23				
SK-2	K.KAROT	6.50-7.00										21,8								
SK-3	SPT	1.50-1.95	20	71	42	22	20	CL	22,1		1,83				0.38	9				
SK-3	SPT	3.00-3.45	10	69	40	21	19	CL	20,2											
SK-3	K.KAROT	3.50-4.00										26,3								

İnceleme alanında açılan araştırma çukuru ve sondajlardan elde edilen numuneler için elde edilen su içeriği değerleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Numunelerin su içeriği (W_n) değerleri

Kuyu No	Örnek No	Derinlik	% W_n
SK-1	UD	2.00-2.50	29,3
SK-1	SPT	3.00-3.45	19,9
SK-1	SPT	4.50-4.95	21,4
SK-1	K.KAROT	5.00-6.00	
SK-2	SPT	3.00-3.45	32,7
SK-2	SPT	4.50-4.95	33,3
SK-2	UD	5.00-6.00	16,7
SK-2	K.KAROT	6.50-7.00	
SK-3	SPT	1.50-1.95	22,1
SK-3	SPT	3.00-3.45	20,2
SK-3	K.KAROT	3.50-4.00	

Sondaj numuneleri üzerinde yapılan elek analizi deney sonuçlarından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Elek Analizi Deney Sonuçları

Kuyu No	Örnek No	Derinlik	%10 Kalan	%200 Geçen	Sınıflandırma	Açıklama
SK-1	UD	2.00-2.50	3	71	CL	Karasal Kırıntılar Kil
SK-1	SPT	3.00-3.45	21	59	CL	
SK-1	SPT	4.50-4.95	30	51	CL	
SK-1	K.KAROT	5.00-6.00				
SK-2	SPT	3.00-3.45	26	52	CL	Karasal Kırıntılar Kil
SK-2	SPT	4.50-4.95	4	76	CL	
SK-2	UD	5.00-6.00	50	29	GC	
SK-2	K.KAROT	6.50-7.00				
SK-3	SPT	1.50-1.95	20	71	CL	Karasal Kırıntılar Kil
SK-3	SPT	3.00-3.45	10	69	CL	
SK-3	K.KAROT	3.50-4.00			CL	

Sondaj numuneleri üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyleri sonuçları Çizelge 4.7.'de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.7. Atterberg Limitleri deney sonuçları

Kuyu No	Örnek No	Derinlik	LL	PL	PI
SK-1	UD	2.00-2.50	42	21	21
SK-1	SPT	3.00-3.45	40	20	20
SK-1	SPT	4.50-4.95	44	21	23
SK-1	K.KAROT	5.00-6.00			
SK-2	SPT	3.00-3.45	42	21	21
SK-2	SPT	4.50-4.95	44	21	23
SK-2	UD	5.00-6.00	30	20	10
SK-2	K.KAROT	6.50-7.00			
SK-3	SPT	1.50-1.95	42	22	20
SK-3	SPT	3.00-3.45	40	21	19
SK-3	K.KAROT	3.50-4.00			

Sondaj numuneleri üzerinde yapılan Direkt Kesme Deneyleri sonuçları Çizelge 4.8.'de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.8. Direkt Kesme Kutusu deney sonuçları

Derinlik	Birim	C (Kohezyon kg/cm ²)	İçsel sürtünme açısı (ϕ^0)	Yoğunluk (gr/cm ³)
SK-1 4.50-4.95	<i>CIM</i>	0,39	13	1,82
SK-2 3.00-3.45	<i>CIM</i>	0,42	10	1,80
SK-2 5.00-6.00	<i>clGr</i>	0,12	23	1,90
SK-3 1.50-1.95	<i>CIM</i>	0,38	9	1,83

Üç Eksenli Deneyleri **TS EN ISO-17892-8** standartlarına uygun olarak yapılmış ve deney sonuçları Çizelge 4.9.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Üç Eksenli Deney Sonuçları

Derinlik	Birim	C (Kohezyon kg/cm ²)	İçsel sürtünme açısı (ϕ^0)	Yoğunluk (gr/cm ³)
SK-1 2.00-2.50	CIM	0,62	10	1,80

Kaya numunesine yapılan nokta yükleme deney sonuçları Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Nokta Yükleme Deney Sonuçları

Derinlik	Is 50 (kg/cm ²)
SK-1 5.00-6.00	36,8
SK-2 6.50-7.00	21,8
SK-3 3.50-4.00	26,3

Yapı alanı için arazi ve laboratuvarında yapılan deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde; SPT-N₆₀ <15, c_u=62kPa, (V_s)₃₀ = 180-360m/sn olup, TBDY 2018'e göre zemin sınıfı ZD olarak belirlenmiştir (Şekil 4.29.).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede 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 veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

Şekil 4.29. TBDY 2018'e göre Yerel Zemin Sınıflandırılması

Killer ve suya doygun olmayan zeminler su emerek hacminin artması veya su emdiği halde hacminin artmasının engellenmesi durumunda şişme basıncı artışı oluşturacak şekilde şişme özelliklerine sahiptirler. Şişme potansiyeli, zeminin içerdiği kil tipi ve yüzdesini yansıtan indeks özelliklerine bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu ilişki Çizelge 4.11.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. İndeks Özelliklerine Göre Zeminlerin Şişme Yüzdesi ve Derecesi

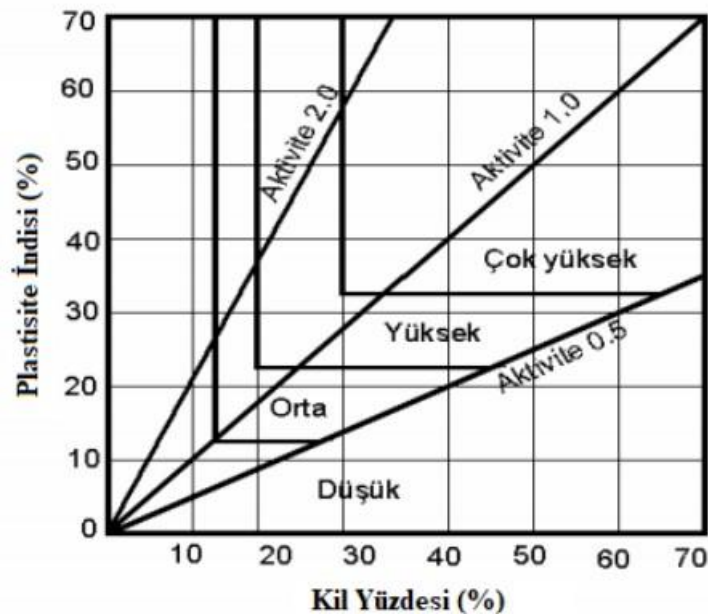
İndeks özelliklerine ilişkin değer aralıkları			Tahmini şişme (olası toplam hacim değişimi %)	
Kolloid içeriği (%<0.001mm)	Plastisite İndisi PI(%)	Büzülme limiti		Şişme derecesi
> 28	> 35	<11	> 30	Çok yüksek
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Yüksek
13 – 23	13 – 28	10 – 16	10 – 20	Orta
<15	<18	> 15	<10	Düşük

Chen (1975), şişme oranını su içeriği ve kuru birim hacim ağırlığının etkilediği ayrıca Çizelge 4.12. de şişen kilerin muhtemel hacim değişiklikleri ile ilişkisini göstermiştir.

Çizelge 4.12. Şişen Kilerde Muhtemel Hacim Değişiklikleri (Chen, 1975)

Laboratuvar ve arazi verileri					
200 no'lu elekten geçen (%)	Likit Limit (%)	SPT darbe sayısı	Şişme yüzdesi	Şişme basıncı (KN / m ²)	Şişme derecesi
> 95	> 60	> 30	> 10	> 1000	Çok yüksek
60 – 95	40 – 60	20 – 30	5 – 10	250- 1000	Yüksek
30 – 60	30 – 40	10 – 20	1 – 5	150 – 250	Orta
<30	<30	<30	<1	50	Düşük

Van Der Merve (1964) tarafından killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması önerilmiştir (Şekil 4.30.). Çizelge 4.7.'de verilen değerlerin dikkate alınmasıyla LL=%44, PL=%21, Kil yüzdesi=%51 olup; inceleme alanında gözlenen (CIM) killi birimlerin Plastisite İndisi (PI) değerlerinin %19-23 arasında olduğu, Aktivite değerinin 0.45 olduğu belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda inceleme alanını oluşturan killi zeminin Orta - Yüksek Derecede Şişme potansiyelinde olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.30. Van Der Merve (1964) tarafından önerilen sınıflandırma sistemi

4.3.2. Zemin araştırma sonuçları

Sondaj numunelerine göre 0.00-4.00 metreler arası killi (CIM) birimlerden oluşmaktadır. 4.00-6.00 metreler arasında da beyazımsı renkte, az ayrıışmış, orta dayanımlı killi kireçtaşları-kil taşları birimleri bulunmaktadır.

Zemin araştırması yapılan Cami alanında yeraltı suyuna rastlanılmamıştır.

Zemin profili kil ve killi kireçtaşlarında oluşmaktadır ve NP (Plastik olmayan) kum ve siltli birimlerin var olmaması sebebiyle sıvılaşma riski bulunmamaktadır.

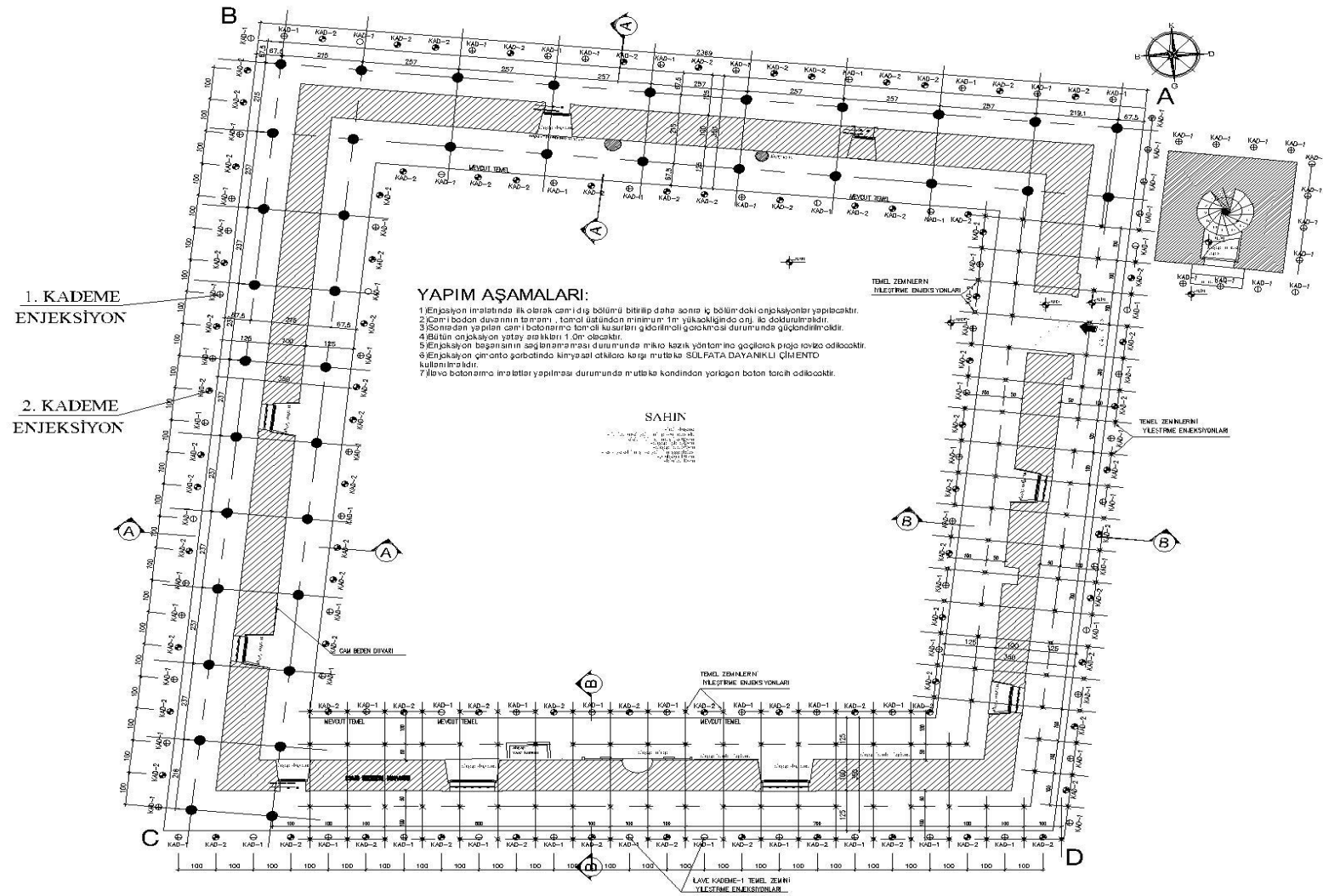
Laboratuvar deney sonuçlarına göre; inceleme alanında gözlenen zeminin Plastisite İndisi (PI)=%19-23 aralığında, Aktivite değeri $A=0,45$ olarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda inceleme alanını oluşturan killi zeminin “Orta Derecede Şişme” potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

İnceleme alanında killi kireçtaşları birimlerine rastlanılmasının camide oturmalarından kaynaklanan çatlakların oluşmasında etkili bir rol oynadığı düşünülmektedir. Yapılan sondajlarda yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. Ancak yapılan sondajlar yaz aylarında yapılmış olup düzenli ölçümler yapılmamıştır. Yeraltı su seviyesinin mevsimsel veya çevresel şartlarla yükselip alçalması kireçtaşlarında bulunan kil tabakalarının yıkanmalarına sebep olmakta ve bu durumda zeminde istenmeyen oturmalara neden olmaktadır. Oturma problemine ilave olarak zeminin orta dereceli şişme potansiyeline sahip olması da dikkate alındığında, yapı altındaki zeminin enjeksiyon yöntemi ile iyileştirilmesine karar verilmiştir.

4.4. Zemin İyileştirme Çalışmaları

Cami altındaki zemin genel olarak düşük-orta plastisiteli kil ve neritik killi kireçtaşından meydana gelmektedir. Araziden alınan numuneler üzerinde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane dağılımlarına göre zemin içindeki ince dane yüzdesi %30 - %70 arasında değişmekte olup (Mitchell 1981, Verfel 1989) ve (Akbulut, Sağlamer 2002) referanslarında verilen enjeksiyonlanabilirlik (groutability) oranları hesaplandığında limit değerlerin oldukça üzerinde kalmaktadır ve bu bağlamda enjeksiyon yöntemi ile iyileştirme yöntemine başvurulmuştur.

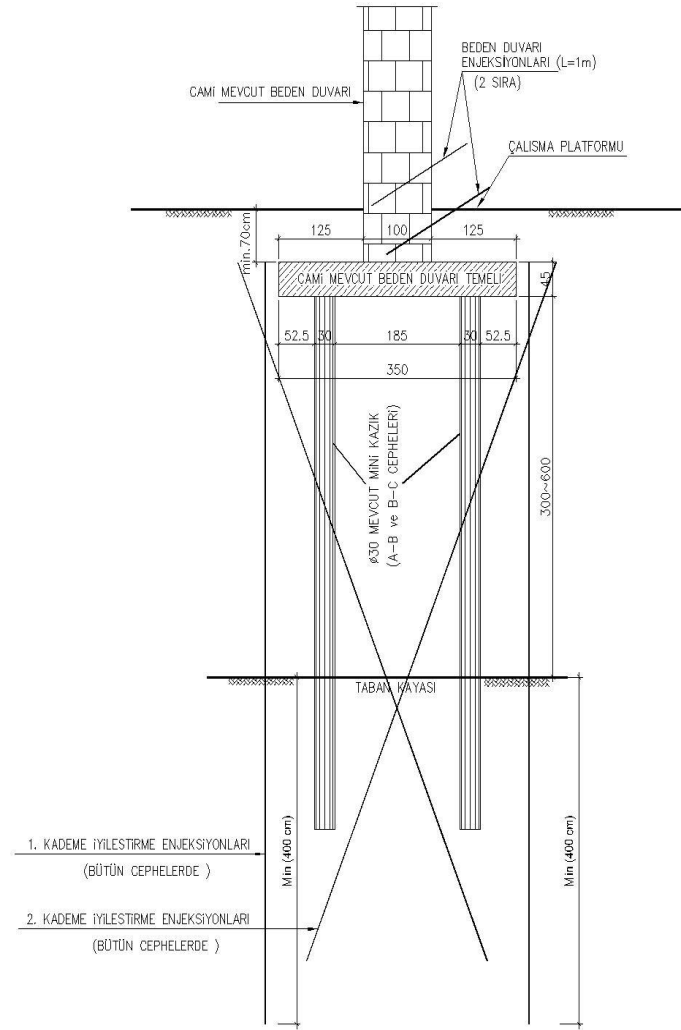
Camide oluşan çatlaklar nedeniyle cami mevcut durumda tadilat gerekçesiyle kullanılmamaktadır. Bu nedenle enjeksiyon yöntemi tercih edilirken ve enjeksiyon yerleri seçilirken cami içinde de imalatlar planlanmıştır. Cami içindeki ve dışındaki enjeksiyon noktası yerleri 2011 yılındaki projeye ait kazık ve enjeksiyon yerleri de dikkate alınarak Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. 2024 yılında uygulanan enjeksiyon yönteminde enjeksiyon noktası yerleri

Yapının dışardan içeri doğru olacak şekilde temel zeminine ve etrafına enjeksiyon uygulanmıştır. Çalışmanın bu şekilde yürütülmesindeki temel amaç; enjeksiyon çalışmasının yapı altındaki boşluklu zemin/kaya yapılarına konsantre olmasını sağlamak ve çok fazla dağılmasını önlemektir. Yapılan enjeksiyon uygulamaları mini kazıkların soketlendiği düşünülen kireçtaşının, soketli ise soketinin güçlendirilmesini veya soketli değilse arada yer alan boşlukların permeasyon veya çatlatma enjeksiyon tekniğiyle doldurulmasını sağlamaktadır.

Enjeksiyonlar 1. Kademe ve 2. Kademe olarak işaretlenmiş, Şekil 4.32.'de gösterildiği şekliyle 1. Kademe dikey, 2. Kademe ise eğimli olarak yapılmıştır.



Şekil 4.32. Cami altında uygulanan enjeksiyonun uygulanma yöntemi

Enjeksiyonlar Cami içinde ve dışında sırasıyla 1. Kademe (dikey), 2. Kademe (eğimli) olarak Şekil 4.33. ve Şekil 4.34.'te gösterildiği şekliyle yapılmıştır.



Şekil 4.33. Batı Cephesinde uygulanan eğimli enjeksiyon örneği

Enjeksiyon işlemleri sırası ile üç aşamada yapılmıştır.

- 1- Ön deneme çalışmaları
- 2- Tüm yapı altında 12 metre derinlik boyunca her enjeksiyon noktasında tabandan itibaren her 1.5 m de bir tıkaç kullanılarak yapılan yatay ve düşey enjeksiyonlar
- 3- Yapı altında ulaşılamayan yerlerde (duvar altları vb.) dışarıdan ve/veya içeriden eğim ile yapılan proje enjeksiyonları



Şekil 4.34. Minare temeline uygulanan eğimli enjeksiyon örneği

Enjeksiyon ön deneme çalışmaları, zemin katmanlarının durumu, farklı zemin tabakalarına hangi basınç altında ne miktar ve hangi kıvamda (su/çimento oranı) enjeksiyon karışımının sokulabileceği, gereken katkıları, enjeksiyon aralık mesafesi hususlarında bilgi vermesi amacıyla yapılmıştır.

Cami beden duvarı altındaki zemin içerisinde enjeksiyon işlemlerine başlamadan önce, Güney ve Batı cephesinde dışarıda yeterli sayıda deneme enjeksiyonları ile projede yapı dışındaki noktalarda yapılacak enjeksiyonlar Şekil 4.31.'de gösterilen şekliyle bitirilmiştir. Dışarıdaki enjeksiyonlar deneme enjeksiyonunun devamı gibi olup aynı zamanda zemin katmanlarının enjekte edilebilirliği konusunda da bilgi vermiştir.

Enjeksiyon delgilerinde ano sistemi kullanılarak enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Enjeksiyonlar aşağıdan yukarıya doğru kademeler şeklinde yapılmıştır. Enjeksiyon uygulanış şekli; en derin 20,00 metre derinlikte olup başlangıçta 20,00-15,00 m, 15,00-10,00 m, sonra 10,00-5,00 m, sonra 5,00-2,5,00 ve son olarak 2,5-0,00 m olacak şekilde kuyuların enjeksiyonu tamamlanmıştır. Enjeksiyon delik çapı olarak 66mm seçilmiştir.

Enjeksiyon kuyularında enjeksiyon esnasında uygulanan toplam basınç (P_t), Denklem 4.1.'de verilmiştir.

$$P_t = 0,33 \times H \quad (4.1.)$$

Gerek kapak gerekse perde kuyularında manometrede okunan basınçlar Denklem 4.2.'de verilmiştir.

$$P_m = P_t - ((W \times L / 10) \times \cos \alpha + (W_1 \times L_1 / 10 \times \cos \alpha)) \quad (4.2.)$$

Burada; P_m = Manometre basıncı (kg/cm^2)

P_t = Toplam basınç (kg/cm^2)

H = Kademe ortası kuyu ağzı arasındaki mesafe (m)

W = Enjeksiyon yapılan şerbetin yoğunluğu (gr/cm^3)

W_1 = Suyun yoğunluğu (gr/cm^3)

L = Kademe orta noktası ile kuyu başındaki manometreye olan mesafe (m)

L_1 = YAS seviyesi ile kademe orta noktası arasındaki düşey mesafe (m)

α = Deliğin düşey ile yaptığı açı (derece)

Kapak ve perde kuyuları dik olduklarından düşey ile yaptıkları açı $\cos 0^\circ = 1$ 'dir.

Proje eki enjeksiyon uygulama notlarında “Enjeksiyona (1 çimento / 1 su) şerbetle başlanacak ve bu şerbetten 1m^3 verilecektir. Basınçta bir yükselme olmazsa, 2 numaralı şerbete (10 çimento / 9 su) geçilecek ve 1m^3 'e kadar bu şerbetten verilecektir. Basınçta bir yükselme olmazsa, 3 numaralı şerbete (5 çimento / 4 su) geçilecek ve 1m^3 'e kadar bu şerbetten verilecektir. Yine basınçta bir yükselme olmazsa, 4 numaralı şerbete (7 çimento / 5 su) geçilecek ve 5m^3 'e kadar bu şerbetten verilecektir. Basınçta hiç yükselme yoksa, 5 numaralı kumlu karışım (7 çimento / 5 su + %25 kum) kullanılacaktır.

Bu karışımdan 5m^3 verilecek, basınçta bir yükselme ve refüye gitme durumu olmazsa 6 numaralı kumlu karışımdan (7 çimento / 5 su + %50 kum) 5m^3 daha basılacaktır. Bu işlemlerden sonra basınç hala yükselmezse, enjeksiyon harç pompası ile 7 numaralı karışımdan (7 çimento / 5 su + %100 kum) 5m^3 basılacaktır.

Bir kademenin enjeksiyonunda deliğe 7 numaralı karışım (toplam 25m^3) basılmasına rağmen refü elde edilmemişse, enjeksiyona ara verilip prize bırakılacaktır. Bu aşamada kuyunun refü (kademe 20 dakika içinde 0,6 litre/metre/dakika veya daha az şerbet yemiştir, refü elde edilmiş sayılacak) olmamasının jeolojik/jeoteknik sebepleri araştırılacak ve değerlendirme sonuçlarına göre o kademenin enjeksiyon metodolojisi gözden geçirilecektir.

Bu kuyuda tekrar enjeksiyona başlamadan önce refü elde edilemeyen kademe temizlenecek ve enjeksiyona başlanacaktır.” denilmektedir.

Şartnamede belirtilen şekliyle uygulama devam etmiştir. Yapı temellerinde temel kayasının dayanımını arttırmak amacıyla yapılan sağlamlaştırma enjeksiyonunda, bütün delikler yukarıdan aşağıya tamamen delinerek basınçlı temiz suyla yıkanmış, delik dibinden kuyu ağzına doğru belirtilen kademelerde enjeksiyon enjekte edilmiştir.

Ancak ilk (başlangıç) delme ve enjeksiyonlama düzeni gerekli tecrübeler elde edilene kadar permeasyon ve düşük basınçlar (8m den 12 m’ye kadar 0.5 kg/cm² den 5 kg/cm² ‘ye) şeklinde yapılmıştır. Özellikle temellerin altında ilk 5m de yüksek basınçlar kullanılmamıştır. Her halükârda sondajların 8 - 12 metresi 1.5 metrelik kademeler halinde ve yukarıdan aşağıya doğru emdirme (permeasyon) enjeksiyonu ile muamele edilmiştir.

İlk 6’ m ye kadar olan derinlikte kil birimi bulunmaktadır. Bu seviyelerin altına doğru, içerisinde killi ve gözenekli kireçtaşı birimleri bulunan bir zona girilmektedir. 6 m’den sonra kuyu yıkıntı yapmadığı ve yeraltısuyunun %70 den fazla kaçmadığı sürece, kuyu sonuna kadar delinip aşağıdan yukarıya doğru 1.5’er metrelik kademeler halinde enjekte edilmiştir.

Tekrar edilirse dışarı bölgedeki düşey deneme ve proje deliklerinde enjeksiyon prosedürü şu şekilde uygulanmıştır.

Enjeksiyon deliği tasarım derinliğine kadar açılıp enjeksiyon borusu yerleştirildikten ve uca yakın (1m-2m mesafede) bir paker (conta) ile kapatıldıktan sonra yeterli kapasitedeki bir pompa yardımıyla basınç artırılarak enjeksiyon malzemesi zemin içerisine enjekte edilmeye başlanmıştır.

Basınç kademeli olarak artırılmış (0.5, 1.0, 1.5 bar gibi) ve her basınç kademesinde içeri enjekte edilen malzeme miktarı ölçülmüştür. Herhangi bir basınç seviyesinde zemin içerisine malzeme enjekte edilemiyorsa basınç artırılmıştır. Fakat enjeksiyon basıncı hiçbir seviyede 20 bar’ı (20 kg/cm²) aşmamıştır.

Enjeksiyon uygulamasında enjeksiyon malzemesi olarak çimento bazlı süspansiyon karışımlar kullanılmıştır. Yapının Tuz Gölü havzasında bulunması sebebiyle karışımlarda CEM I 42,5 N-SR Sülfata dayanıklı Portland çimento kullanılmıştır. Çimento ağırlığının %1’i kadar bentonit, çimento ağırlığının %1,17’si kadar akışkanlaştırıcı eklenmiştir.

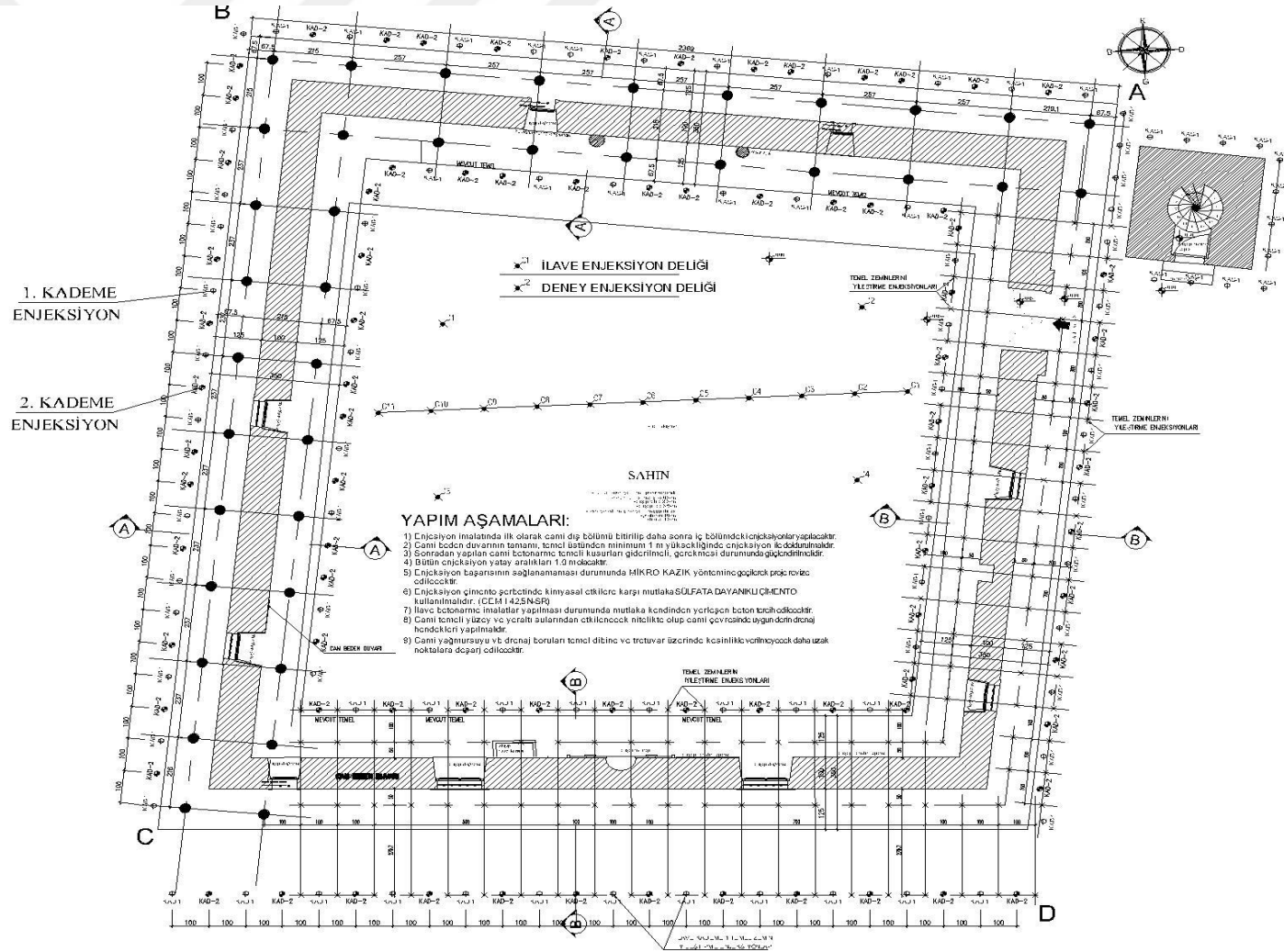
Bentonit karışımın stabilitesini sağlamak ve segregasyonu önlemektedir. Eklenecek bentonit miktarı daha önceden karışım suyunun bir miktarı ile karıştırılmış ve daha sonra içerisine çimento ve kalan su miktarı eklenmiştir.

Enjeksiyon uygulamasının sonunda dikey enjeksiyon olarak; 138 adet 15m derinlikte 25 adet 20m derinlikte toplamda 2570m delgi yapılmıştır. Eğimli enjeksiyon olarak ise; 138 adet 15m derinlikte 25 adet 20m derinlikte toplamda 2570m delgi yapılmıştır. Eğimli ve dikey toplam delgi boyu 5140m olmuştur. Ayrıca uygulama sırasında ilk projeye göre cami duvarları iç ve dış kısımlarında enjeksiyon önerilmiş ancak uygulama sırasında cami taban tahtalarının kaldırılmasından sonra cami orta kısımda doğu-batı hattı boyunca Şekil 4.35'te gösterildiği gibi çatlak tespit edilmiştir. İlk uygulama projesine göre enjeksiyonların tamamlanmasından sonra orta kısımdaki çatlaklara enjeksiyon yapılmıştır.



Şekil 4.35. Cami Doğu-Batı aksında bulunan oturma çatlağı

As build projesi olarak sunulan Şekil 4.36.'daki gösterilen hatta enjeksiyon tamamlanmıştır.



Şekil 4.36. As Build olarak sunulan ilave enjeksiyon delikleri içeren uygulama projesi

4.4.1. Enjeksiyonda kullanılan malzemeler

Çimento enjeksiyonlarında öncelikle akışkanlık, su kuma (çökelme), dane boyutunun enjeksiyon ortamına uygunluğu gibi özellikler araştırılmalıdır. Enjeksiyon işleminden sonra zemin ortamının dayanımı, rötre, hidrasyon ısısı gibi özelliklerinde belirlenmesinde önemli yararlar vardır. Çimento enjeksiyonlarında stabiliteyi artırmak ve ekonomi sağlamak amacıyla enjeksiyon karışımına bentonit, sodyum silikat ve bunların yanında çökelmeye karşı etkili priz hızlandırıcı ve geciktirici gibi özellikler sağlayan bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır (Ceren ve ark, 1992). Bu uygulamada kullanılan enjeksiyon şerbeti karışımı çimento, bentonit ve akışkanlaştırıcı/priz hızlandırıcılardan oluşmaktadır.

4.4.1.1. Çimento

Çimentonun özgül yüzeyi en az 3500 cm² /gr olmalıdır ve 200 mikron göz açıklığı olan elek üzerinde en çok % 1 olmalı, 90 mikron göz açıklığı olan elek üzerinde ise en çok % 12 kalıntı bırakmalıdır. Su kaçaklarının fazla olduğu fakat alıpların az olduğu yerlerde özgül yüzeyi daha fazla olan, kalıntı miktarı daha az olan çimentolar kullanılmalıdır.

Zemin iyileştirmeleri kapsamında yapılan enjeksiyon uygulamalarında dikey kuyularda 167235 kg, eğimli kuyularda 204750 kg ve ilave orta kısım kuyularda 18150 kg çimento sarf edilmiştir. Uygulama genelinde toplam sarf edilen çimento miktarı 390135 kg olarak gerçekleştirilmiştir. Cami orta kısmında ilave olarak yapılan enjeksiyonlarda delgi başına kullanılan çimento miktarı duvar iç ve dış kısımlardaki enjeksiyonlarda kullanılan çimento miktarına oranla daha fazla olmuştur. Orta kısmında oluşan çatlağın zemin boyunca alt kotlarda boşluklara sebebiyet verdiği anlaşılmaktadır.

4.4.1.2. Bentonit

Enjeksiyon karışımına eklenen bentonit karışımın çökmesini önler ve viskoziteyi artırır. Yapılan uygulamada dikey kuyularda 1672,350 kg, eğimli kuyularda 2047,500 kg ve orta kısımda açılan ilave kuyulara 181,500 kg bentonit kullanılmıştır. Toplam olarak kullanılan bentonit miktarı 3901,350 kg'dır.

4.4.1.3. Akışkanlaştırıcı

Proje bünyesinde yapılan enjeksiyon işlerinde kimyasal katkı malzemesi olarak Yüksek Oranda Su Azaltıcı/Süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Dikey kuyularda 1956,665 kg, eğimli kuyularda 2395,575 kg ve orta kısımda açılan kuyulara 212,355 kg akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır.

4.4.2. Uygulanan enjeksiyon basınçları

Kuyuların enjeksiyonunda aşağıdan yukarıya doğru yükselen kademeler metodu uygulanmıştır. Bu metotta delik projede belirtilen derinliğe kadar delinmiş ve paker en alttaki kademeyi enjekte etmek üzere yerleştirilip, en alttaki kademenin enjeksiyonu yapılmıştır. Bu şekilde topoğrafya yüzeyine kadar bir üsteki kademenin enjeksiyonu yapılarak devam edilmiştir. Perde kuyularının derinlikleri 15-20 m'dir. İlk 5 m de enjeksiyon 2 fazda uygulanmıştır (2.50–5.00 m ve 0.00–2.50 m). Derine doğru sonraki metreler 5.00 m'lik kademeler halinde uygulanmıştır. Kapak kuyularının boyları ise 5 m olup 2.5 metrelik kademeler halinde 2 fazdır. Kuyular açılırken sondaj devridaim suyunun %70'inin kaçması veya kuyu açılırken yıkıntı olması durumunda o kademenin enjeksiyonu öncelikle yapılarak priz müddeti geçtikten sonra delme işlemi tamamlanıp kuyunun aşağıdan yukarıya doğru enjeksiyon metodu ile enjeksiyonu yapılmıştır.

Enjeksiyon kuyularında kademe derinlikleri ve bu derinliklerdeki efektif ve manometre basınçları Çizelge 4.13.'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Enjeksiyon Kuyularında Uygulanan Efektif ve Manometre Basınçları

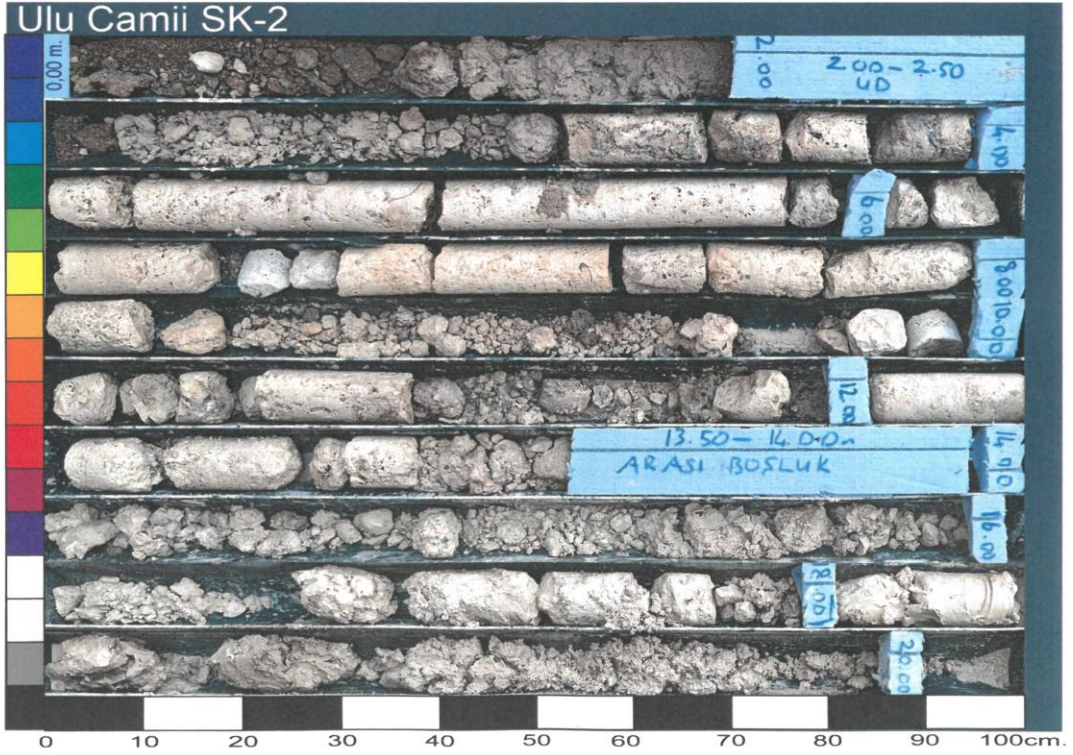
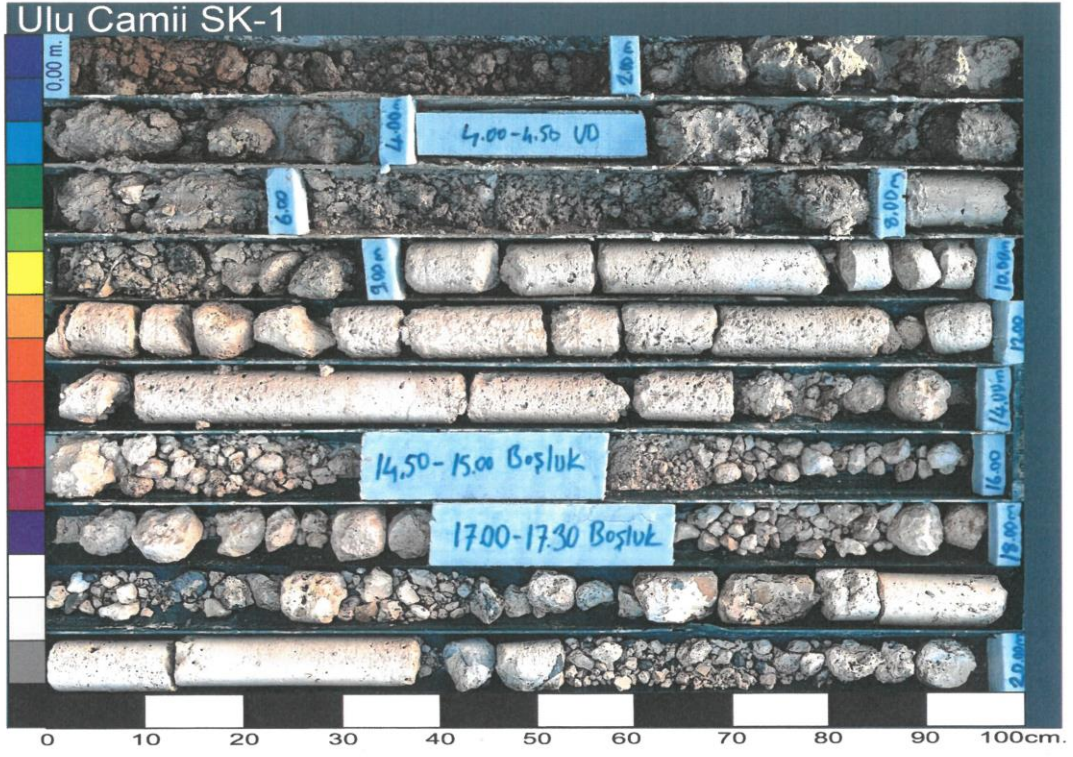
Kademe Boyu	Efektif Basınç (kg/cm ²)	Manometre Basıncı P _m (kg/cm ²)
0.0-2.5	0.5	0.5
2.5-5.0	1.0	1
5.0-10	2.5	1.5
10-15	4.0	2.0
15-20	6.0	3.5

4.5. Zemin İyileştirme Çalışmalarının Sonuçları

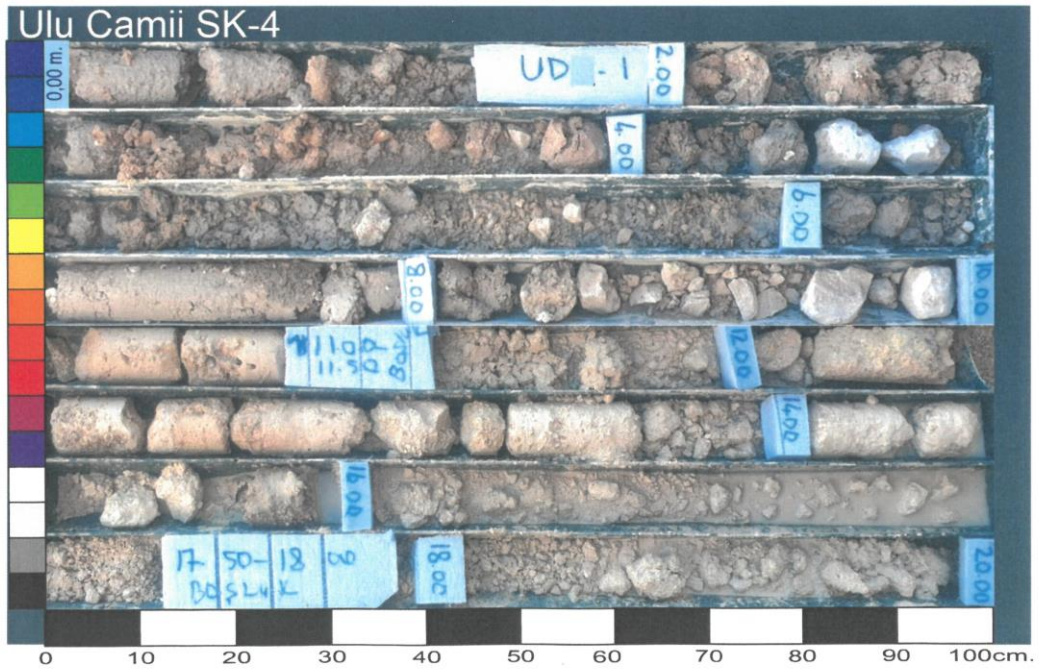
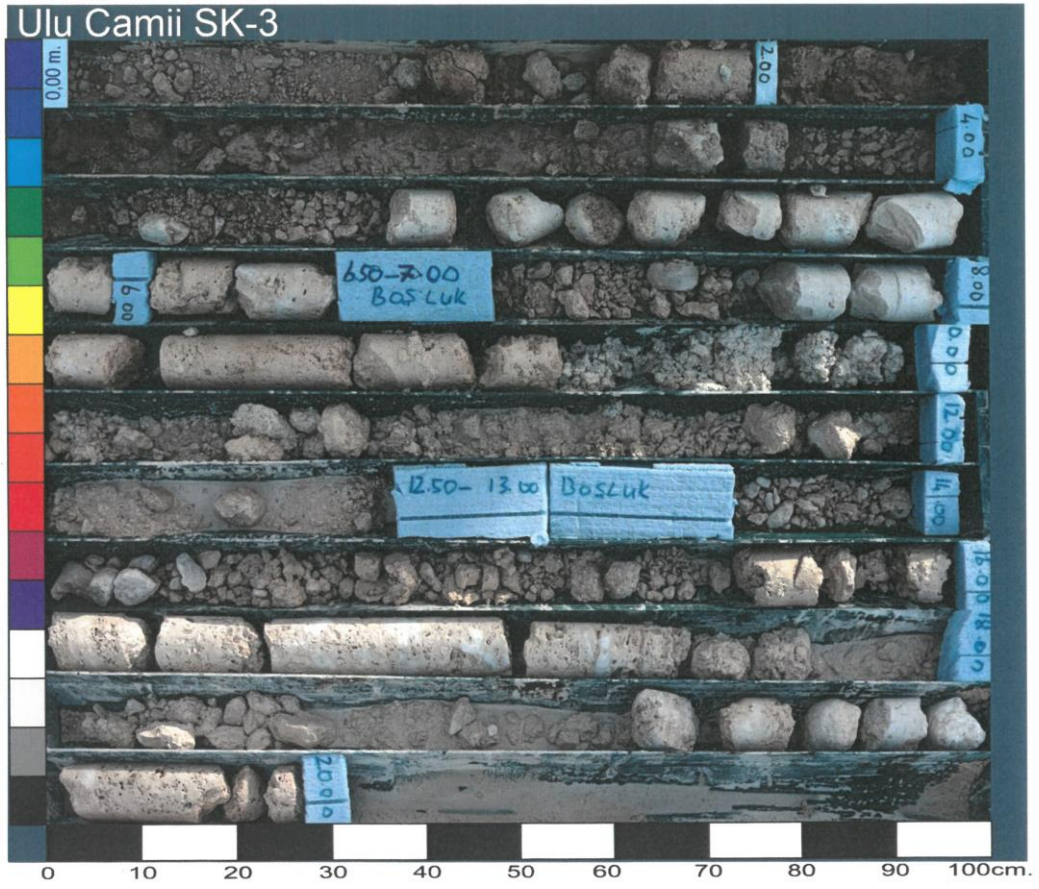
Delgi ve Enjeksiyon işlemleri tamamlandıktan sonra 4 adet temel sondaj kuyusu açılmış ve karot numuneleri alınmıştır.

Enjeksiyon işlemleri sonrasına ait karot sandık fotoğrafları Şekil 4.37. ve Şekil 4.38.'de gösterilmiştir. Şekil 4.39.'da karot sandık fotoğraflarında yer alan karotların incelenmesi ile zemin tanecikleri arasındaki boşluklara enjeksiyonun nüfuz ettiği ve karotlar üzerindeki çatlakların boşluklarını da doldurduğu gözlemsel olarak tespit edilmiştir.





Şekil 4.37. SK-1 ve SK-2 temel sondaj kuyularına ait karot sandık fotoğrafları



Şekil 4.38. SK-3 ve SK-4 temel sondaj kuyularına ait karot sandık fotoğrafları



Şekil 4.39. Temel sondaj kuyularından alınan karot fotoğrafları

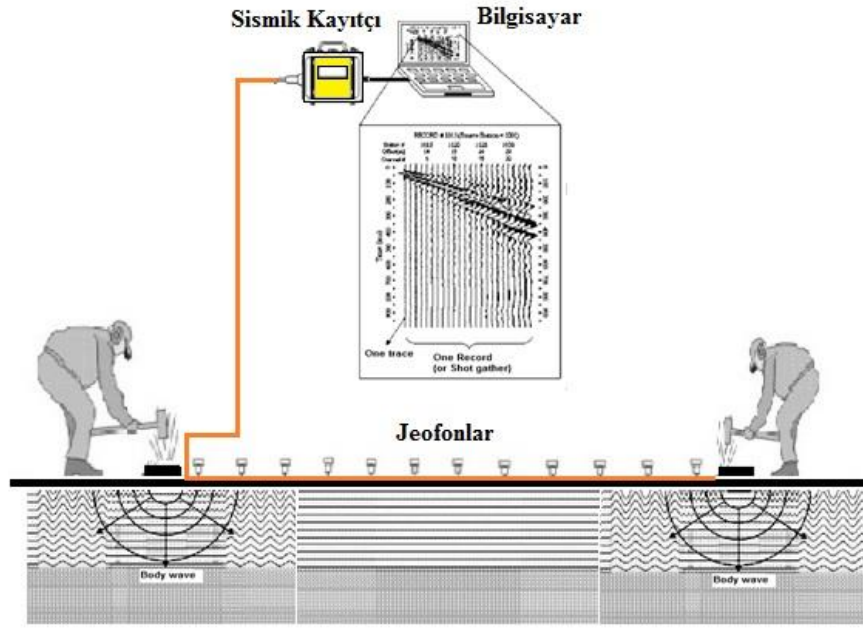
4.5.1. Enjeksiyon sonrası MASW ölçümleri

Zemin iyileştirmesi kapsamında güçlendirme öncesi 4 profil, güçlendirme sonrası 2 profil boyunca Jeofizik çalışmalardan MASW ve refraction ölçümleri yapılmıştır.

Bu yöntemlerde amaç yapay bir deprem dalgası (titreşim) oluşturarak veya yeraltında mevcut mikro titreşimleri belirli aralıklarla serilmiş olan jeofonlar vasıtasıyla bu titreşimlerin kaydedilmesi ve elde edilen kayıtlardan yeraltının jeolojik yapısının hesap yoluyla ortaya çıkartılmasıdır.

Çalışmada; sismik ölçüm cihazı, jeofonlar ve diğer sismik ekipmanları kullanılmış jeofon aralıkları 2 şer metre, kırılma ve MASW ölçümlerinde ofset 2 şer metre alınmıştır. Çalışmada 10 kg'lık enerji kaynağı kullanılmıştır.

Ölçümlerden elde edilen kayıtlar yerinde kontrol edilmiş, bilgisayar yazılımları kullanılarak modelleme ve ters çözüm işlemi yapılmış, yer altı modeli ortaya çıkartılmıştır. Çalışma alanında uygulanan sismik kırılma - MASW ölçüm düzeneği Şekil 4.40.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.40. Çalışma alanında uygulanan sismik kırılma- MASW ölçüm alma düzeni

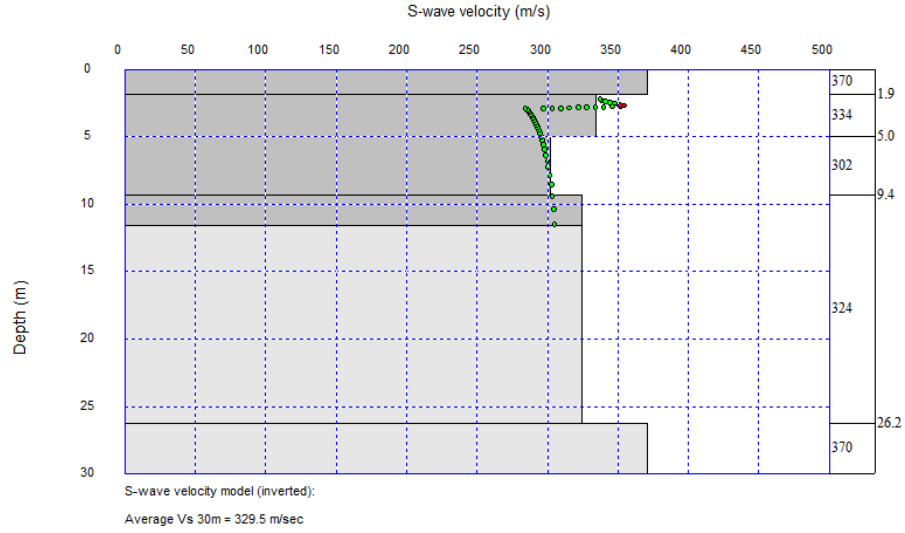
İnceleme alanında sismik kırılma ve MASW ölçüm kayıtları aktif kaynak teknikleri uygulanarak kaydedilmiştir. Elde edilen kayıtların faz hızı-frekans grafiğinden dispersiyon eğrisi oluşturulan dalganın ters çözüm yolu ile yeraltındaki tabakaların kayma dalgası hızı (V_s), P dalgası hızı (V_p) ve derinlikleri hesaplanmıştır.

Enjeksiyon uygulaması öncesinde 4 profilde (Cami 4 cephesinde) sismik MASW ölçümleri yapılmış olup, Şekil 4.41.'de konumları gösterilmiştir.



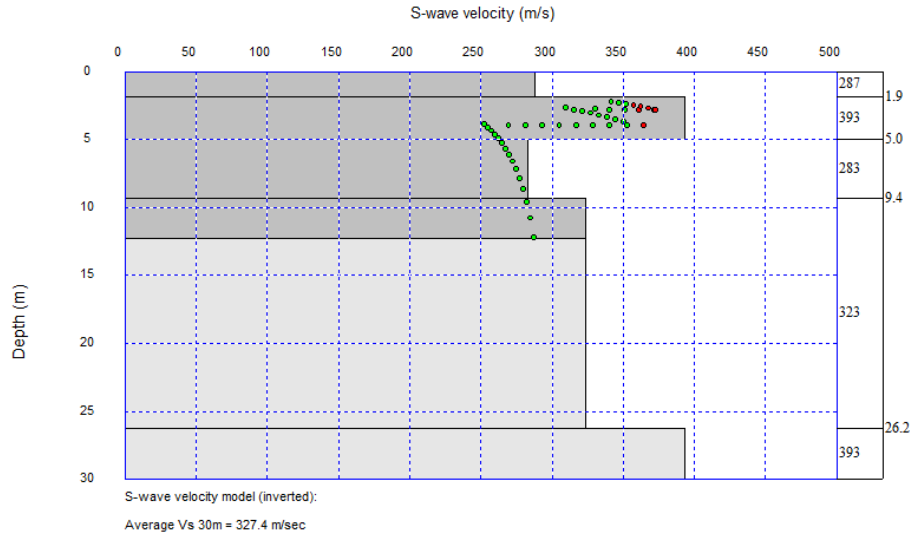
Şekil 4.41. Enjeksiyon uygulaması öncesi MASW ölçüm profil konumları

Enjeksiyon öncesine ait 1 Nolu profilde derinliklere bağlı Kayma Dalga Hızını (V_s) gösterir grafik Şekil 4.42.'de sunulmuştur. Ortalama $V_s=329,5\text{m/sn}$ olarak hesaplanmıştır.



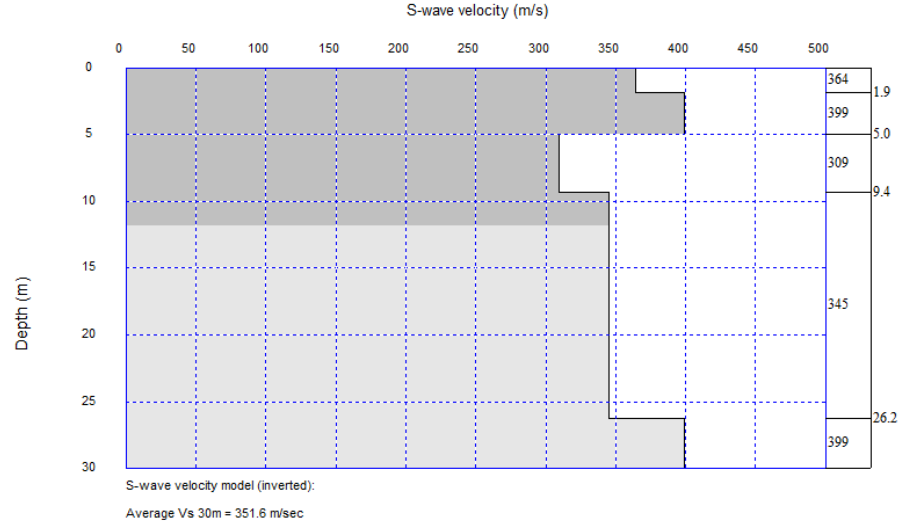
Şekil 4.42. 1 Nolu profilde ölçülen Derinlik- V_s modeli

Enjeksiyon öncesine ait 2 Nolu profilde kayma dalga hızını (V_s) gösterir grafik Şekil 4.43.'de sunulmuş ve ortalama $V_s= 327,4 \text{ m/sn}$ bulunmuştur.

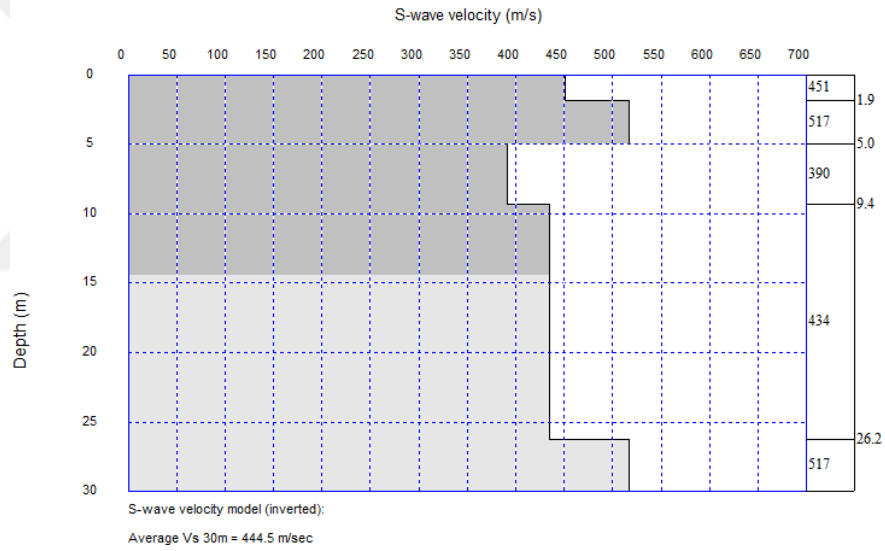


Şekil 4.43. 2 Nolu profilde ölçülen Derinlik- V_s modeli

3 ve 4 Nolu profillerde kayma dalga hızı sırasıyla $351,6 \text{ m/sn}$ ve $444,5 \text{ m/sn}$ olarak ölçülmüş ve Şekil 4.44. ve Şekil 4.45.'te sunulmuştur.



Şekil 4.44. 3 Nolu profilde ölçülen Derinlik- V_s modeli



Şekil 4.45. 4 Nolu profilde ölçülen Derinlik- V_s modeli

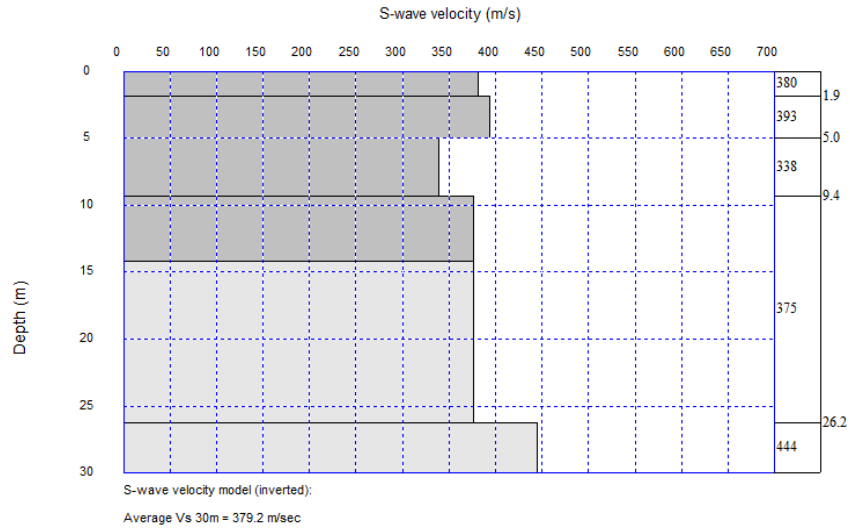
Enjeksiyon uygulaması sonrasında ait 2 profil (cami güney ve batı cepheleri) boyunca MASW ölçümleri Şekil 4.46.'da gösterildiği konumlarda yapılmıştır.



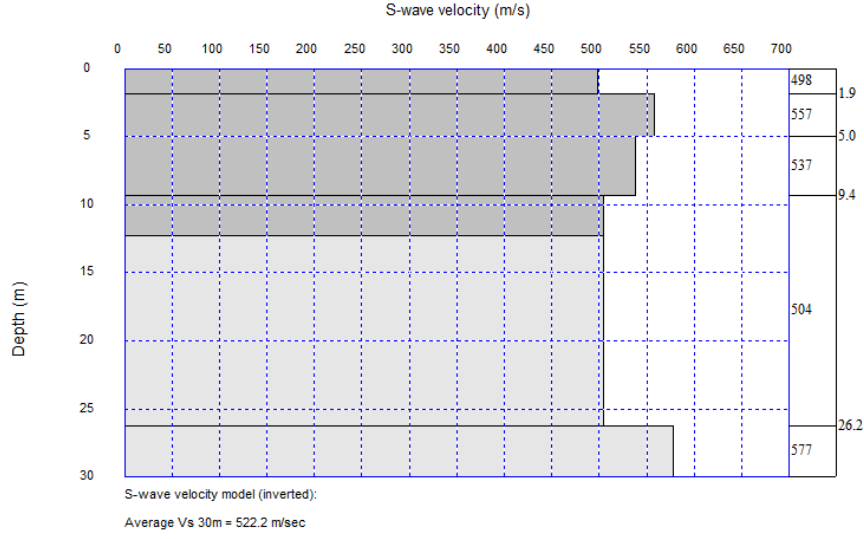
Şekil 4.46. Enjeksiyon Uygulaması sonrası MASW ölçüm profil konumları

Enjeksiyon uygulaması sonrası 1 Nolu profile ait Kayma dalga hızı Şekil 4.47.'de gösterilmiş ve ortalama $V_s = 379,2$ m/sn olarak bulunmuştur.

2 Nolu profile ait enjeksiyon sonrası MASW ölçümleri 4.48.'de gösterilmiş ve ortalama $V_s = 522,2$ m/sn olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.47. Enjeksiyon sonrası 1 Nolu profilde ölçülen Derinlik- V_s modeli



Şekil 4.48. Enjeksiyon sonrası 2 Nolu profilde ölçülen Derinlik- V_s modeli

Cami cephelerinde yapılan MASW ölçümleri sonucunda ortalama Kayma hızı dalgasını gösterir özet bilgiler Çizelge 4.14.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Enjeksiyon öncesi ve sonrası MASW ölçüm sonuçları

Masw NO	Tbk	Vs(m/s)	H (m)	Vs30(m/sn)	Zemin Sınıfı
MASW-1	1	370	1,87	329	ZD
	2	334	5		
	3	302	9,37		
	4	324	15		
MASW-2	1	287	1,87	327	ZD
	2	393	5		
	3	283	9,37		
	4	323	15		
MASW-3	1	364	1,87	351	ZD
	2	399	5		
	3	309	9,37		
	4	345	15		
MASW-4	1	451	1,87	444	ZC
	2	517	5		
	3	390	9,37		
	4	434	15		
Enjeksiyon Sonrası MASW-1	1	380	1,87	379	ZC
	2	393	5		
	3	338	9,37		
	4	375	15		
Enjeksiyon Sonrası MASW-2	1	498	1,87	522	ZC
	2	557	5		
	3	537	9,37		
	4	504	15		

İnceleme alanında zemin iyileştirme çalışmaları öncesinde ve sonrasında yapılan sismik MASW ölçümlerine göre V_{s30} değerindeki değişimden de görüldüğü üzere yapının Batı ve Güney kenarındaki formasyon birimlerinde farklılıklar vardır. Bu durum zemin Sınıfının değişiminden de görülmektedir. Batı ve Güney tarafındaki enjeksiyon öncesi ve sonrası kayma dalgası hızı değerlerinin önemli ölçüde iyileştiği saptanmıştır.

4.5.2. Enjeksiyon sonrası zemin araştırmaları

Enjeksiyon sonrası cami alanında 4 adet 20 metre derinliğinde sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj kuyularından UD ve Karot numuneleri alınmıştır. Zeminin tanımlanmasına yardımcı olacak elek analizi, Atterberg limitleri, su muhtevası, üç eksenli basınç, direk kesme kutusu, konsolidasyon, doğal birim hacim ağırlık, serbest basınç, nokta yükleme ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

4.5.3. Enjeksiyon sonrası yer radarı (GPR) çalışmaları

Enjeksiyon sonrası GPR çalışmasının amacı; Cami içi ve dışında yapılan enjeksiyonun kontrolü amacıyla Jeofizik yöntemlerden biri olan Jeoradar (Yer radarı-GPR) yöntemi kullanılmıştır. Cami içi ve dışında enjeksiyon öncesi ve sonrasında GPR ölçümleri yapılmıştır. Jeoradar ölçümleri bina içi ve dışında 10 m derinliğine kadar yapılmıştır. Elde edilen GPR verilerinden, veri işlem aşamalarından sonra iki boyutlu (2D) yer altı görüntüleri elde edilmiştir.

Enjeksiyon öncesi ve sonrasına ait ölçüm fotoğrafları Şekil 4.49. ve Şekil 4.50.'de sunulmuştur.



Şekil 4.49. Enjeksiyon öncesine ait GPR ölçüm fotoğrafları

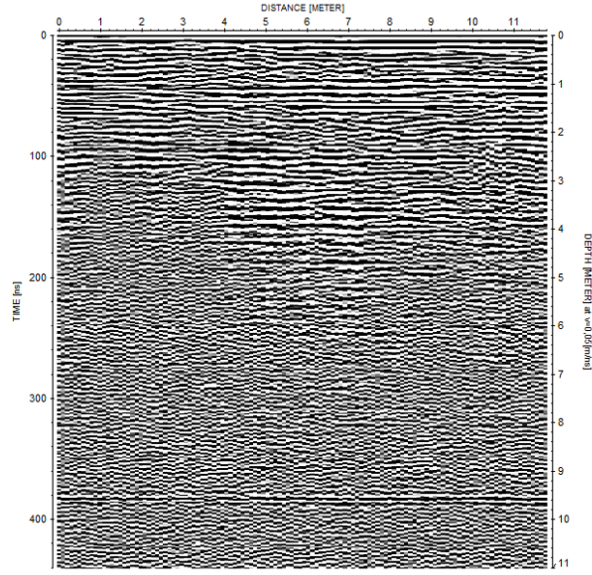


Şekil 4.50. Enjeksiyon sonrasına ait GPR ölçüm fotoğrafları

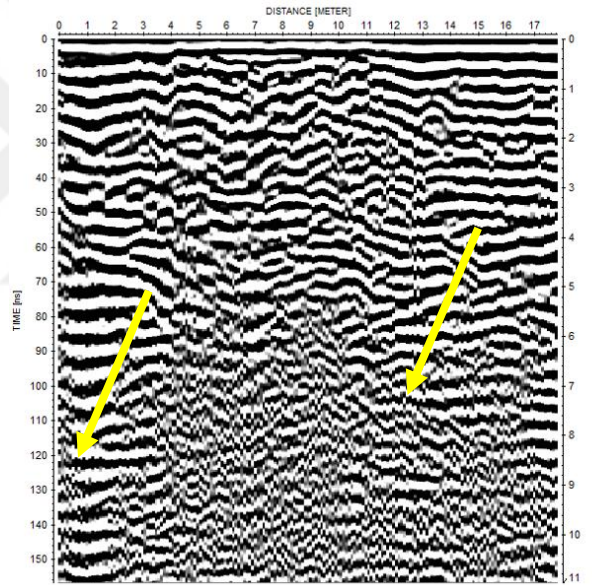


Şekil 4.51. Enjeksiyon öncesine ait Yer Radarı ölçüm profilleri

Cami içi enjeksiyon öncesi yapılan GPR ölçüm profilleri Şekil 4.51.'de verilmiştir. Araştırma sahasında gerçekleştirilen Jeoradar (GPR) ölçüm çalışmaları ve değerlendirmeleri neticesinde elde edilen anomali dağılımı kat haritası olarak verilmiştir. Oturmanın olduğu 4 Nolu profilde Şekil 4.52.'de verilen enjeksiyon öncesine ait GPR ölçümleri ve Şekil 4.53.'te verilen enjeksiyon sonrası GPR ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında enjeksiyonun etkili olduğu bölgeler işaretlenmiştir. Anomali dağılımı kat haritalarında yüzeyde yüksek genlikli anomaliler gözlenmiştir.

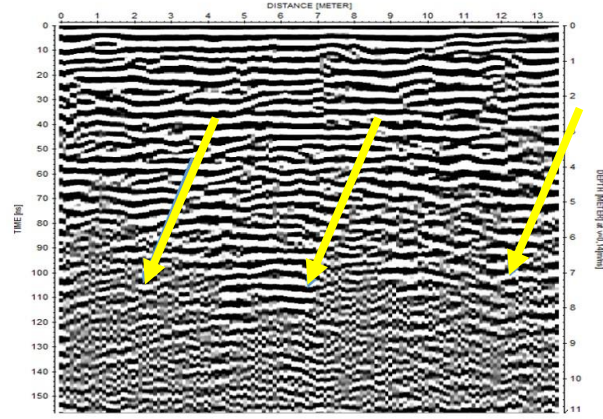


Şekil 4.52. Enjeksiyon öncesine ait 4 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü

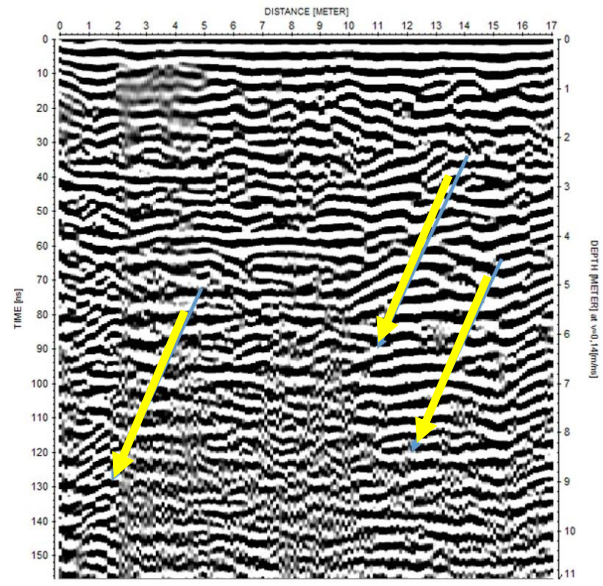


Şekil 4.53. Enjeksiyon sonrasına ait 4 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü

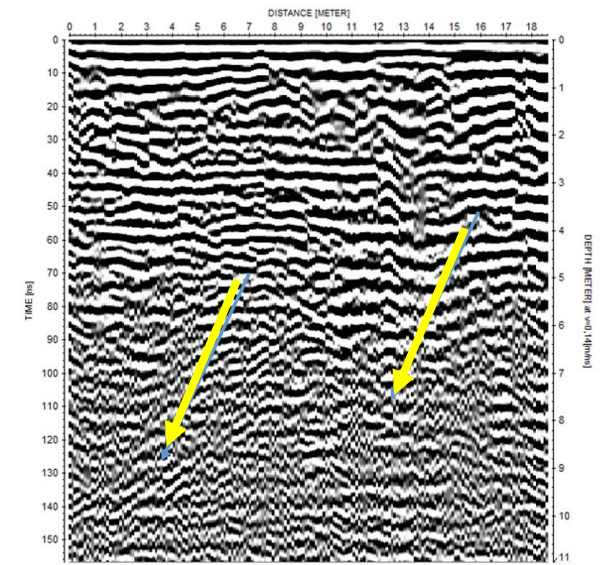
Şekil.4.54. – 4.60.’da diğer profillerde de ölçüm sonuçlarında enjeksiyonun etki ettiği bölgeler saptanmıştır.



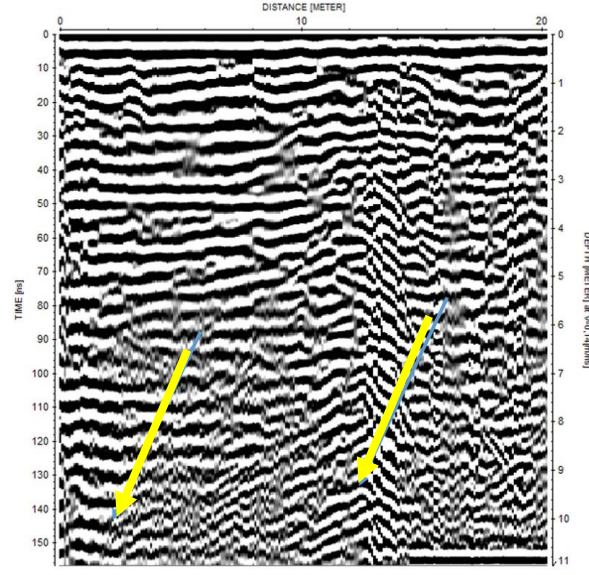
Şekil 4.54. Enjeksiyon sonrasına ait 1 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü



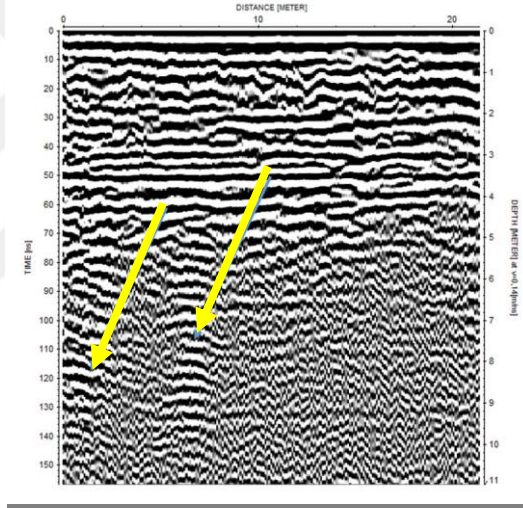
Şekil 4.55. Enjeksiyon sonrasına ait 2 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü



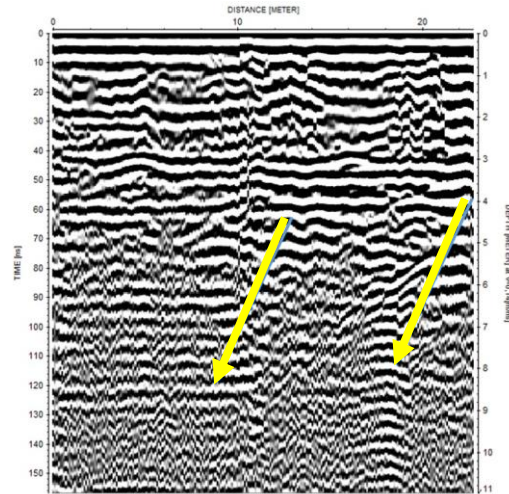
Şekil 4.56. Enjeksiyon sonrasına ait 3 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü



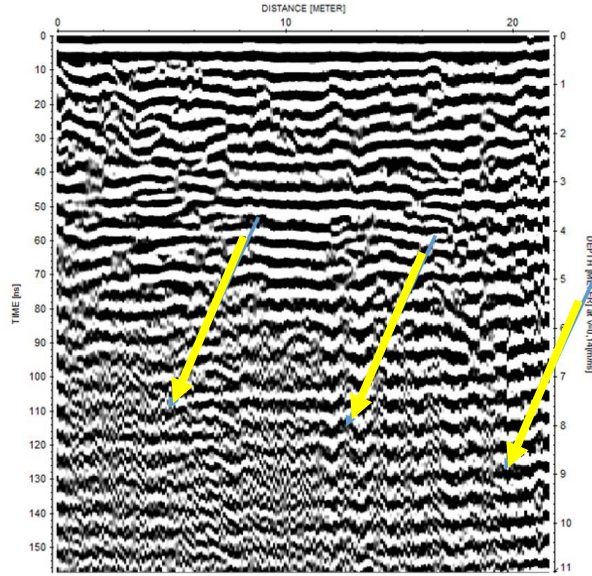
Şekil 4.57. Enjeksiyon sonrasında ait 5 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü



Şekil 4.58. Enjeksiyon sonrasında ait 6 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü



Şekil 4.59. Enjeksiyon sonrasında ait 7 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü



Şekil 4.60. Enjeksiyon sonrasına ait 8 Nolu profilde Yer Radarı ölçümü

4.5.4 Enjeksiyon sonrası arazi deneyleri

Arazi deneyleri sırasında alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri uygulanmıştır. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.15.'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Enjeksiyon sonrası araziden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları

Yöntem Method			TS EN 17892-1	TS EN 17892-2	TS EN ISO 17892-12			TS EN 17892-4				TS EN ISO 17892-8			TS EN ISO 17892-5	TS 1900-2/T1	
Kuyu No	Örnek No	Derinlik	Su Muhtevası	Doğal Birim Hacim Kütle	'Atterberg Limitleri			Dane Boyu Dağılımı			Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması USCS	* 'Üç Eksenli Basıncı Dayanımı Deneyi				* Şişme Deneyleri	
								Elek Analizi				c	f	Tür		Şişme Basıncı	Şişme Yüzdesi
		m	Wn	gn	LL	PL	PI	Çakıl	Kum	İnce		kPa	°	-	kPa		
SK-1	ÖRS	2.00	40.1		66.5	24.5	42.0	0.1	5.1	94.8	CH						
SK-1	UD	4.00-4.50	47.9	1.72	72.6	25.4	47.2	0.0	2.7	97.3	CH	56.1	3	UU	√	32.6	1.77
SK-1	ÖRS	6.00	21.6		70.1	23.6	46.5	1.0	6.3	92.7	CH						
SK-2	UD	2.00-2.50	51.3	1.67	65.9	21.5	44.4	0.0	6.2	93.8	CH	37.6	2	UU	√	26.4	1.33
SK-3	UD	2.00	43.4	1.70	70.8	24.1	46.6	0.0	7.3	92.7	CH	59.5	4	UU	√	39.7	2.03
SK-4	UD	2.00	47.1	1.70	65.7	22.5	43.3	0.9	11.3	87.8	CH	49.5	3	UU	√	30.8	1.49

4.5.4.1. Şişme potansiyelinin değerlendirilmesi

Killi zeminler kurudukları zaman büzülme eğilimi gösterirler. Buna karşılık su içeriği arttıkça da şişme özellikleri vardır. Şişme potansiyeli yüksek zeminler genelde aktivitesi yüksek killerdir.

İncelenen alandan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde zeminin şişme yüzdesi ve şişme basıncına yönelik yapılan laboratuvar deneyleri sonucuna göre;

- Zeminin şişme yüzdesinin %1,33 - %2,03 aralığında,
- Şişme basıncının 26,4 – 39,7 kPa olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen deney sonuçlarına göre zemin **Düşük – Orta Şişme** özelliğindedir.

Zemin iyileştirme işlemi yapılmadan önce alınan numuneler incelendiğinde zeminin “Orta Yüksek Şişme” özelliğinde olduğu görülmektedir. Yapılan enjeksiyon işlemi ile zemin “Düşük – Orta Şişme” özelliğine geçiş yapmış ve zeminin şişme potansiyeli azalmıştır.

4.5.4.2. Tek eksenli basınç dayanımlarının değerlendirilmesi

Enjeksiyon sonrası alınan karot numunelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımları Çizelge 4.16.’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16 Enjeksiyon sonrası Tek Eksenli basınç dayanımları

Kuyu Aç No.	Örnek Cinsi	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağ. γ_n (kN/m ³)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Nokta Yükleme Dayanımı ($1s_{(50)}$) (kg/cm ²)
SK-1	KAROT	9.00-9.50	25.71		4.97
SK-1	KAROT	13.00-13.50	25.17	37.7	
SK-2	KAROT	4.00	25.64	60.4	
SK-2	KAROT	7.00	24.44		2.90
SK-3	KAROT	4.00	25.83		5.65
SK-3	KAROT	6.00	25.25		2.39
SK-4	KAROT	10.50	25.95		6.13

Zemin iyileştirmesi sonrası inceleme alanındaki kireçtaşı birim için temel taşıma gücü, tasarım dayanımı nokta yükleme deneylerinden Denklem 4.3. ve Denklem 4.4’ göre hesaplanarak Çizelge 4.17.’de ortalaması 37 kg/cm² olarak elde edilmiştir. Enjeksiyon öncesi alınan karot numunelerinde ortalama temel taşıma gücü tasarım dayanımı 24,25 kg/cm² (Çizelge 4.18.) olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon işleminin kaya birimlerinin ortalama taşıma gücü değerlerini artırdığı tespit edilmiştir.

$$q_u = I_s \cdot C \quad (4.3)$$

$$q_a = K_s \cdot q_u \quad (4.4)$$

Burada;

q_u : Serbest basınç dayanımı (kg/cm^2)

I_s : Nokta yükleme dayanımı (Mpa)

C : Düzeltme katsayısı

q_a : İzin verilebilir taşıma gücü (kg/cm^2)

K_s : Güvenlik faktörü

Çizelge 4.17. Enjeksiyon sonrası karot numunelerin Tek Eksenli Basınç Dayanımları

Numune		Nokta Yükleme Deneyi (Kg/cm ²)	Nokta Yükleme Deneyi (Mpa)	Serbest basınç dayanımı q _u (kg/cm ²)=Is.C (C=12)	İzin verilebilir taşıma gücü q _a (kg/cm ²)=Ks.q _u (Ks=0.1)	Zemin Taşıma Gücü q _t (qu/1,4) (kg/cm ²)
Sondaj Kuyusu Adı	Derinlik					
SK-1	9.0	4.97	49.7	596.40	59.64	42.60
SK-1	13.0		37.7	377.00	37.70	26.93
SK-2	4.0		60.4	604.00	60.40	43.14
SK-2	7.0	2.90	29.0	348.00	34.80	24.86
SK-3	4.0	5.65	56.5	678.00	67.80	48.43
SK-3	6.0	2.39	23.9	286.80	28.68	20.49
SK-4	10.5	6.13	61.3	735.60	73.56	52.54

Çizelge 4.18. Enjeksiyon öncesi karot numunelerin Tek Eksenli Basınç Dayanımları

Numune		Nokta Yükleme Deneyi (Mpa)	Serbest basınç dayanımı $q_u(\text{kg/cm}^2)=I_s.C$ (C=12)	İzin verilebilir taşıma gücü $q_a(\text{kg/cm}^2)=K_s.q_u$ (Ks=0.1)	Zemin Taşıma Gücü q_t ($q_u/1,4$) (kg/cm2)
Sondaj Kuyusu Adı	Derinlik				
SK-1	5.0-6.0	36,8	441,6	44,16	31,54
SK-2	6.50-7.0	21,8	261,6	26,16	18,68
SK-3	3.50-4.0	26,3	315,6	31,56	22,54

4.5.4.3. Taşıma gücü analizlerinin değerlendirilmesi

Zemin iyileştirmesi öncesi ve sonrası zeminin taşıma gücü analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. İlk olarak ampirik formüllerle zeminin taşıma gücü Terzaghi, Meyerhof ve Hansen taşıma gücü yöntemlerine göre hesaplanmıştır.

4.5.4.3.1. Terzaghi taşıma gücü yöntemi

Terzaghi'nin taşıma gücü prensibine göre Denklem 4.5. ve Denklem 4.6.'e göre taşıma gücü analizleri gerçekleştirilmiştir.

$$q_k = k_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + k_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot \gamma_2 \quad (4.5)$$

$$q_t = q_k / 1,4 \quad (4.6)$$

Burada;

- q_k : Temel taşıma gücü karakteristik dayanımı (kPa)
- q_t : Temel tasarım dayanımı (kPa)
- c : Temel zeminin kohezyon dayanımı (kPa)
- ϕ : Kayma mukavemeti açısı
- D_f : Temel derinliği (L)
- γ_1 : Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı (F/L³)
- γ_2 : Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı (F/L³)
- B : Temel genişliği (Daire temel ise çapı) (L)
- N_c, N_q, N_γ : Temel tabanı altındaki zeminin kayma mukavemeti açısına bağlı

Terzaghi taşıma gücü katsayılarıdır.

Enjeksiyon sonrası alınan sondajlardan SK-1 4,00-4,50'deki UD numunesi üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden; $c = 56,1$ kPa, $\phi = 3^\circ$, $\gamma = 17,2$ kN/m³ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.19.'dan taşıma gücü katsayıları;

$N_c = 6,6$ $N_q = 1,3$ $N_\gamma = 0,2$ olarak belirlenmiştir.

k_1 ve k_2 Çizelge 4.20.'den $k_1 = 1$, $k_2 = 0,5$ bulunmuştur.

Çizelge 4.19. Terzaghi Taşıma Gücü Faktörleri

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0
1	6.0	1.1	0.1
2	6.3	1.2	0.1
3	6.6	1.3	0.2
4	7.0	1.5	0.3
5	7.3	1.6	0.4
6	7.7	1.8	0.5
7	8.2	2.0	0.6
8	8.6	2.2	0.7
9	9.1	2.4	0.9
10	9.6	2.7	1.0
11	10.2	3.0	1.2
12	10.8	3.3	1.4
13	11.4	3.6	1.6
14	12.1	4.0	1.9

Çizelge 4.20. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi için temel şekil katsayıları

Temel Tipi	k_1	k_2
Sürekli Temeller	1.0	0.5
Kare Temeller	1.2	0.4
Daire Temeller	1.3	0.3
Dikdörtgen Temeller	$1+(0.2B/L)$	$0.5-(0.1B/L)$

$$q_k = 394,34 \text{ kPa}$$

$$q_t = 394,34 / 1,4 = 281,67 \text{ kPa olarak elde edilmiştir.}$$

Benzer şekilde SK-2 UD numunesi için (2.00-2.50m derinlik – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 258,38 \text{ kPa}$$

$$q_t = 184,56 \text{ kPa olarak elde edilmiştir.}$$

SK-3 UD numunesi için (2.00m derinlik için – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 444,88 \text{ kPa}$$

$q_t = 317,77 \text{ kPa}$ olarak elde edilmiştir.

SK-4 UD numunesi için (2.00m derinlik için – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 350,78 \text{ kPa}$$

$q_t = 250,56 \text{ kPa}$ olarak elde edilmiştir.

4.5.4.3.2. Meyerhof taşıma gücü yöntemi

Meyerhof'un taşıma gücü prensibine göre Denklem 4.7'e göre taşıma gücü analizleri gerçekleştirilmiştir.

$$q_k = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \sigma_z \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (4.7)$$

Burada;

c : Kohezyon

σ_z : Düşey gerilme ($\gamma \cdot D_f$)

γ : Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı

B : Temel genişliği (Daire temel ise çapı)

N_c, N_q, N_γ : Temel tabanı altındaki zeminin kayma mukavemeti açısına bağlı

Meyerhof taşıma gücü katsayıları

d_c, d_q, d_γ : Derinlik faktörleri

s_c, s_q ve s_γ : Temel şekil faktörleri

i_c, i_q ve i_γ : Yük eğim faktörleri

Enjeksiyon sonrasında yapılan sondajlardan SK-1 4,00-4,50m derinlikten alınan UD numuneleri kullanılarak laboratuvar deneylerinden $c = 56,1 \text{ kPa}$, $\phi = 3^\circ$, $\gamma = 17,2 \text{ kN/m}^3$ olarak elde edilmiştir.

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \quad (N_c \text{ ifadesi } N_q \text{'ya bağlı olarak değişmektedir})$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 (45 + \phi / 2) \quad (e: \text{Doğal logaritmanın tabanı } e \cong 2.71828)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan (1.4 \cdot \phi)$$

Meyerhof'a göre içsel sürtünme açısının değişen değerleri için taşıma gücü faktörlerinin aldığı değerler Çizelge 4.21.'de verilmiştir (Das, 1999).

Çizelge 4.21. Meyerhof Taşıma Gücü Faktörleri

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.0	0.0
1	5.38	1.09	0.002
2	5.63	1.2	0.01
3	5.9	1.31	0.02
4	6.19	1.43	0.04
5	6.49	1.57	0.07
6	6.81	1.72	0.11
7	7.16	1.88	0.15
8	7.53	2.06	0.21

Şerit temeller için $B/L = 0$ olup s faktörleri 1'e eşittir ($s_c = s_q = s_\gamma = 1$).

Meyerhof taşıma gücü formülünde yer alan i_c , i_q , i_γ yük eğiklik faktörleri (yük temele eğik olarak etkidiğinde);

$\theta = 0^\circ$ için; $i_\gamma = 1$

$\theta > 0^\circ$ için; $i_\gamma = (1 - (\theta / \theta)^2)$ formülleri ile hesaplanmaktadır.

θ : Düşeyden itibaren yük eğikliği

Eğer $\theta = 0$ ise $i_c = i_q = i_\gamma = 1$ 'dir.

Meyerhof taşıma gücü formülünde derinlik faktörleri;

$\theta > 0^\circ$ ($\theta \neq 0^\circ$) için;

$d_c = 1 + 0,2 \cdot \tan(45 + \phi / 2) \cdot (D_f / B)$

$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{K_p} \cdot (D_f / B) = 1 + 0,1 \cdot \tan(45 + \phi / 2) \cdot (D_f / B)$

$d_c = 1,21$

$d_q = d_\gamma = 1,11$

Burada;

K_p : Pasif basınç katsayısı

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi / 2)$$

$$K_p = \tan^2 (45 + 3/2)$$

$$K_p = 1,11$$

$\phi = 3^\circ$ için N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları Çizelge 4.21.'den;

$N_c = 5,9$ $N_q = 1,31$ $N_\gamma = 0,02$ olarak belirlenmiştir.

$$q_k = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \sigma_z \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$q_k = 435,05 \text{ kPa}$$

$$q_t = 310,75 \text{ kPa olarak elde edilmiştir.}$$

SK-2 UD numunesi için (2.00-2.50m derinlik – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 288,39 \text{ kPa}$$

$$q_t = 205,99 \text{ kPa olarak elde edilmiştir.}$$

SK-3 UD numunesi için (2.00m derinlik için – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 482,50 \text{ kPa}$$

$$q_t = 344,64 \text{ kPa olarak elde edilmiştir.}$$

SK-4 UD numunesi için (2.00m derinlik için – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 387,94 \text{ kPa}$$

$$q_t = 277,10 \text{ kPa olarak elde edilmiştir.}$$

4.5.4.3.3. Brinch - Hansen taşıma gücü yöntemi

Brinch – Hansen'in taşıma gücü prensibine göre Denklem 4.8'de verilen eşitliğe göre taşıma gücü analizleri gerçekleştirilmiştir.

$$q_k = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma_1 D N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (4.8)$$

Diğer taşıma gücü analizlerinden farklı olarak;

g_c , g_q , g_γ : Temel zemini yüzey eğimi faktörleri [birimsiz] Zemin yüzünün düz olması halinde; $g_c = g_q = g_\gamma = 1$ olur.

b_c , b_q , b_γ : Temel taban eğimi faktörleri [birimsiz] Temel tabanının düz olması halinde; $b_c = b_q = b_\gamma = 1$ olur.

Hansen taşıma gücü formülünde yer alan N_c ve N_q taşıma gücü katsayıları Meyerhof taşıma gücü katsayısı değerleri ile aynı olup N_γ değeri farklıdır (Çizelge 4.22).

Enjeksiyon işlemleri sonrasında yapılan sondajlardan alınan SK-1 4,00-4,50m derinlikteki UD numuneleri üzerinde yapılan deneylerden; $c = 56,1$ kPa, $\phi = 3^\circ$, $\gamma = 17,2$ kN/m³ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.22. Brinch-Hansen Taşıma Gücü Faktörleri

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.0	0.0
1	5.38	1.09	0.0
2	5.63	1.2	0.01
3	5.9	1.31	0.03
4	6.19	1.43	0.05
5	6.49	1.57	0.09
6	6.81	1.72	0.14
7	7.16	1.88	0.19
8	7.53	2.06	0.27
9	7.92	2.25	0.36
10	8.34	2.47	0.47
11	8.8	2.71	0.60
12	9.28	2.97	0.76
13	9.81	3.26	0.94
14	10.40	3.59	1.16

$\phi = 3^\circ$ için N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları Çizelge 4.22.'den;

$N_c = 5,9$ $N_q = 1,31$ $N_\gamma = 0,03$ olarak belirlenmiştir.

Brinch-Hansen Yöntemi için şekil faktörleri Çizelge 4.23.'den hesaplanmıştır.

Çizelge 4.23. Brinch-Hansen Yöntemine göre şekil faktörleri

Temel Şekli	S_c	S_q	S_γ
Şerit	1	1	1
Dikdörtgen	$1+0.2B/L$	$1+0.2B/L$	$1-0.4B/L$
Kare	1.3	1.2	0.8
Daire	1.3	1.2	0.6

Şerit temel olması sebebiyle $S_c = 1$, $S_q = 1$, $S_\gamma = 1$ olarak alınmıştır.

Derinlik faktörü ise;

$$d_c = 1 + 0,4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$d_\gamma = 1$$

$$k = D/B$$

$$d_c = 1,4 \quad d_q = 1,09 \quad d_\gamma = 1$$

Hansen taşıma gücü formülünde yer alan yük eğiklik faktörleri zemin ve temel arasında eğim olmaması sebebiyle;

$$\dot{I}_c = 1 \quad \dot{I}_q = 1 \quad \dot{I}_\gamma = 1 \text{ olarak alınmıştır.}$$

SK-1 UD numunesi için;

$$q_k = 488,20 \text{ kPa}$$

$$q_t = 348,71 \text{ kPa olarak belirlenmiştir.}$$

SK-2 UD numunesi için (2.00-2.50m derinlik – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 318,29 \text{ kPa}$$

$$q_t = 227,35 \text{ kPa olarak belirlenmiştir.}$$

SK-3 UD numunesi için (2.00m derinlik için – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 542,55 \text{ kPa}$$

$$q_t = 387,54 \text{ kPa olarak belirlenmiştir.}$$

SK-4 UD numunesi için (2.00m derinlik için – Çizelge 4.15.'den);

$$q_k = 433,40 \text{ kPa}$$

$$q_t = 309,57 \text{ kPa olarak belirlenmiştir.}$$

Enjeksiyon sonrasında Eski Ulu Camii etrafında açılan sondaj kuyularından alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları kullanılarak zemine ait tasarım dayanımı değerleri (TBDY 2018 ilkelerine göre) Çizelge 4.24.'te toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.24. Cami etrafındaki zemin için Enjeksiyon sonrası temel tasarım dayanımı

Sondaj No	Terzaghi Yöntemi (kPa)	Meyerhof Yöntemi (kPa)	Brinch-Hansen Yöntemi (kPa)
SK-1	281,67	310,75	348,71
SK-2	184,56	205,95	227,35
SK-3	317,77	344,64	387,54
SK-4	250,56	277,10	309,57

Zemin iyileştirme sonrası cami cephelerinde yapılan sondaj yerleri farklı olmasına rağmen, genel olarak enjeksiyon sonrası zeminin ortalama taşıma gücü değerlerinin bir miktar artmış olduğu görülmektedir. Zemin iyileştirme sonrasına ait ortalama temel tasarımı dayanımı $q_{t(ortalama)} = 287,18$ kPa olarak alınabilir.

Enjeksiyon yapılmadan önce SK-1 sondaj kuyusundan alınan UD numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen değerlerin kullanılmasıyla (Çizelge 4.25) ortalama temel tasarımı dayanımı $q_{t(ortalama)} = 275,13$ kPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.25. Enjeksiyon öncesi zeminin taşıma gücü

Sondaj No	Terzaghi Yöntemi (kPa)	Meyerhof Yöntemi (kPa)	Brinch-Hansen Yöntemi (kPa)
SK-1	278,2	311,7	235,5

4.5.4.3.4. Presiyometre deney sonuçlarına göre taşıma gücünün belirlenmesi

Aksaray Eski Ulu Cami iç ve dışında yapılan enjeksiyon ile zemin iyileştirme çalışmalarından sonra açılan sondaj kuyularından SK-1 sondaj kuyusunda presiyometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Presiyometre deney sonuçlarını kullanarak yapılan taşıma gücü hesaplamalarında Baquelin vd. (1978) tarafından verilen taşıma gücünü denklemleri (Denklem 4.9. ve 4.10.) kullanılmıştır.

$$q_u = q_0 + k(P_{lc}) \quad (4.9.)$$

$$q_a = q_0 + (k \cdot P_{lc} / F) \quad (4.10.)$$

Burada; q_u : Nihai taşıma gücü

q_0 : Temel taban seviyesinde zemine uygulanan düşey gerilme değeri (Temel taban basıncı)

k : Temel şekli, derinliği ve zeminin cinsine bağlı olarak (kil, silt, çakıl veya zayıf kaya) elde edilen bir katsayı (Çizelge 4.26.).

P_{lc} : Eşdeğer net limit basınç değeri

q_a = izin verilebilir taşıma gücü

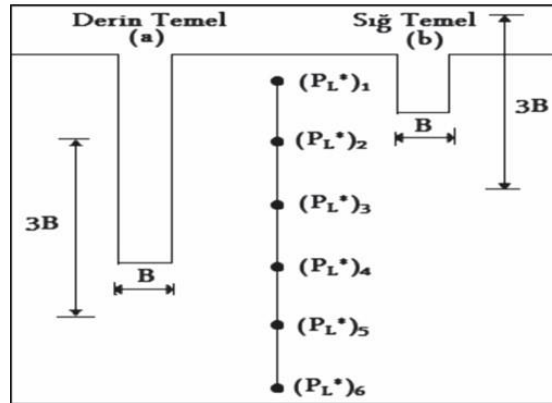
Eşdeğer limit basıncı (P_{lc}) presiyometre deneyiyle elde edilen net limit basınçlarının, Denklem 4.11'e göre geometrik ortalaması alınarak elde edilir.

$$P_{lc} = (P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13})^{1/3} \quad (4.11.)$$

P_{lc} değerinin hesaplanması için, öncelikle yapının oturacağı temel derinliği $R = B/2$ aralıklarına bölünmelidir. Burada B , temelin kısa kenar uzunluğu olup, hesaplama için gerekli detaylar Şekil 4.61.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. Presiyometre deneyleri sonrası taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan k katsayısı

Zemin Cinsi	k
Kohezyonlu	$1 + 0,2B/L$
Daneli - Gevşek	$1.1 + 0,2B/L$
Daneli - Sıkı	$1.2 + 0,4B/L$



Şekil 4.61. Temel zemininin taşıma gücünün belirlenmesi için zeminin hayali tabakalara bölünmesi

P_{11} : Temel taban seviyesinin üstünde $+3R$ ile $+R$ aralığında tespit edilen net limit basınç değeri

P_{12} : Temel taban seviyesinin alt ve üstünde $+R$ ile $-R$ aralığında ölçülen net limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması

P_{13} : Temel taban seviyesinin altında $-R$ ile $-3R$ aralığında ölçülen net limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması

Yüzeyssel temellerde, P_{11} değeri dikkate alınmadan, eşdeğer limit basıncı hesaplanırken, Denklem 4.12. dikkate alınmaktadır.

$$P_{lc} = (P_{12} \cdot P_{13})^{1/2} \quad (4.12.)$$

Enjeksiyon sonrası SK-1 kuyusunda yapılan deneylerde elde edilen presiyometre deformasyon modülü (E_M) ve presiyometre net limit basınç (P_1) değerleri sondaj loguna işlenip ekte verilmiştir. Taşıma gücü hesapları için temel tabanı seviyesinden sonrası $R = B/2$ şeklinde zonlanarak hesaplamalar yapılmıştır.

P_{12} : Temel taban seviyesinin alt ve üstünde $+ 1,5/2 - 1,5/2$ aralığında tespit edilen net limit basınç değeri $6,48 \text{ kg/cm}^2$ 'dir.

P_{13} : Temel taban seviyesinin alt ve üstünde $- 1,5/2 - 4,5/2$ aralığında tespit edilen net limit basınç değeri $5,99 \text{ kg/cm}^2$ 'dir.

$$P_{lc} = (6,48 \cdot 5,99)^{0,5} = 6,23 \text{ kg/cm}^2$$

Cami zemini kohezyonlu olarak tanımlandığı için;

$$k = 1 + 0,2 \times 1,5/22$$

$$k = 1,014$$

İzin verilebilir taşıma gücü;

$$q_a = (1,25 \times 1,9 + 1,014 \times 6,23)/3$$

$$q_a = 289,74 \text{ kPa}$$

olarak elde edilmiştir.

5. ESKİL ULU CAMİ’NİN PERFORMANS ANALİZİNİN YAPILMASI ve ÜST YAPI GÜÇLENDİRME ÖNERİLERİ

Camii’nin durumunun incelenmesi, doğacak kusur ve hasarların tespiti, yapıda deprem kaynaklı oluşabilecek hasarların taşıyıcı sistem açısından tehlike oluşturup oluşturmayacağını araştırılması tez çalışması kapsamında incelenmiştir. Zemin parametreleri, malzeme ve geometrik bilgilerle birlikte yapının deprem altında oluşacak durumunun tespiti için sayısal modellemeler oluşturulmuştur. Modellemelerde Sap 2000 programı kullanılmıştır. Tüm bu veriler göz önünde bulundurularak yapıda oluşabilecek hasar durumları ve olası tehlike durumu incelenmiştir. Sayısal modellerin yardımıyla mevcut yönetmelikler çerçevesinde yapısal güvenliği değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler ile ilgili gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Tarihi yapıların en önemli yüklerinden biri kendi ağırlıkları ve bunları desteklemek için kullanılan elemanın ağırlıklarıdır. Yığma yapılarda kalınlık ve kesitlerin büyük olması sebebiyle ölü ağırlık yükleri diğer yüklere göre daha önemlidir. Ölü ağırlık yükleri sistemin inşasından itibaren yüklendiği için genel olarak yapı bu yükleri taşır. Ancak, bu durum yeterli güvenliğin mevcut olduğuna işaret etmez. Mevcut yüklerin farklı nedenlere bağlı olarak artması veya ilave ek yüklerin oluşması yapıda hasarlara sebep olabilmektedir. Özellikle yığma yapılarda payanda vb. eklenen destek elemanlarının ağırlığı önemli olabilmektedir. Zemin yüzeyinden alt kotlarda bulunan yapılarda zeminin yanal basıncına ilave olarak yer altı su seviyesinin durumuna göre su basıncı etkisi de bulunabilmektedir. Bu tarz yapılarda yapı uzun yıllardır mevcut durumunda bulunduğundan dolayı hesaplamalarda zeminin sükûnetteki yatay basıncının dikkate alınması uygun olmaktadır. Yapı altındaki temellerde oluşan özellikle farklı oturma durumları da yapıda ek bir yükleme meydana getirebilmektedir. Bu durumların söz konusu olması durumunda yığma yapı duvarlarına hızlı bir şekilde müdahale de bulunulması gerekebilecek durumlar ortaya çıkabilmektedir.

Tarihi Aksaray Eski Ulu Camii’nin bulunduğu zeminin enjeksiyon ile iyileştirilme çalışmalarından sonra zeminin sınıfı ZC olarak tespit edilmiştir. Camii’nin üst yapı malzeme özellikleri ‘Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’ndan elde edilmiştir (Çizelge 5.1. ve 5.2.).

Çizelge 5.1. Yığma duvar malzemesinin mekanik özellikleri (Magenes ve Penna, 2009)

Duvar türü	Basınç dayanımı f_m (MPa)	Kayma dayanımı τ_o (kPa)	Elastisite modülü E(MPa)	Kayma modülü G (MPa)	Birim hacim ağırlığı γ (kN/m ³)
Moloz taşlı yığma duvar	0.6~0.90	20~32	690~1050	115~175	19
Kaba yonu taşlı yığma duvar	1.1~1.6	35~51	1020~1440	170~240	20
Kesme taşlı iyi bağlantılı yığma duvar	1.5~2.0	56~74	1500~1980	250~330	21
Yumuşak taşlı (kalker, tüf) yığma duvar	0.8~1.2	28~42	900~1260	150~210	16
Düzgün kesme taşlı, sıvalı yığma duvar	3.0~4.0	78~98	2340~2820	390~470	22
Kireç harçlı tuğla yığma duvar	1.8~2.8	60~92	1800~2400	300~400	18
Çimento harçlı yarı boşluklu tuğla yığma duvar	3.8~5.0	240~320	2800~3600	560~720	15
Boşluk oranı %45'ten küçük olan tuğla yığma duvar	4.6~6.0	300~400	3400~4400	680~880	12

Çizelge 5.2. Yığma duvar malzemesinin Çizelge 4.49.'da verilen mekanik parametrelerine harç, duvar işçiliğine ve duvarın enine bağlantılarının özellerine bağlı kullanılabilecek düzeltme katsayıları

Duvar düzeni	İyi bağlayıcı harç	İyi düzenlenen derzli duvar	Enine bağlantılı duvar	Harç enjeksiyonlu duvar	Donatılı sıva ile güçlendirilmiş duvar
Moloz taşlı yığma duvar	1.5	1.3	1.5	2.0	2.0
Kaba yonu taşlı yığma duvar	1.4	1.2	1.5	1.7	2.0
Kesme taşlı iyi bağlantılı yığma duvar	1.3	1.1	1.3	1.5	1.5
Yumuşak taşlı (kalker, tüf) yığma	1.5	-	1.5	1.7	2.0
Düzgün kesme taşlı, sıvalı yığma duvar	1.2	-	1.2	1.2	1.2
Kireç harçlı tuğla yığma duvar	1.3	-	1.3	1.5	1.5
Çimento harçlı yarı boşluklu tuğla yığma duvar	1.3	-	-		1.3
Boşluk oranı %45'ten küçük olan tuğla yığma duvar	1.3	-	-		1.3

Çalışmalar boyunca kullanılacak deprem düzeyleri için TBDY 2018'e göre hesaplanan spektral ivme değerleri Çizelge 5.3.'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Farklı deprem düzeyleri için ivme değerleri

Deprem Düzeyi	S _s	S ₁	S _{ds}	S _{d1}	PGA
DD2	0.343	0.083	0.523	0.199	0.114
DD3	0.295	0.083	0.461	0.199	0.034

Analizlerde kullanılacak malzeme özellikleri, birim hacim ağırlıkları, kar yükü ve zati yük ile ilgili değerler Çizelge 5.4. ve 5.5.'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kar yükü ve Zati yük değerleri

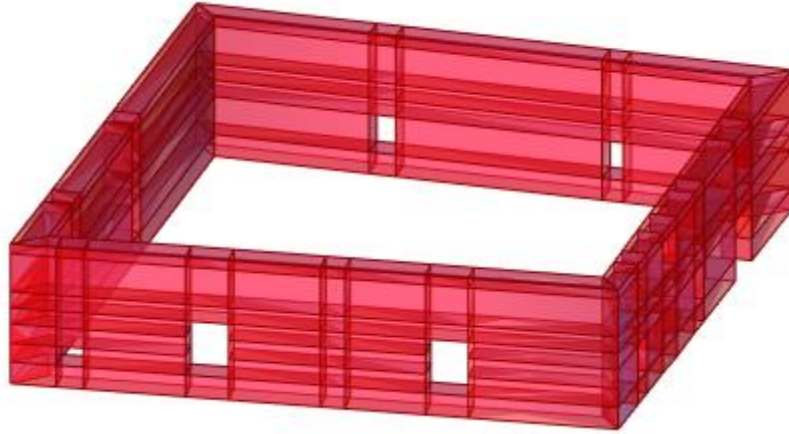
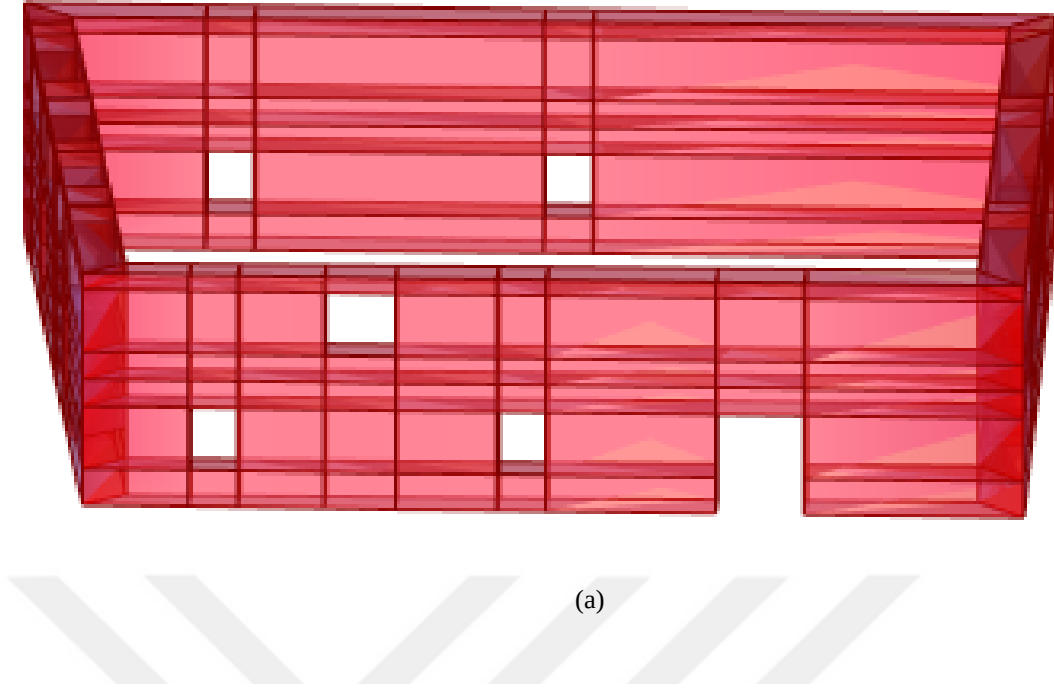
Malzeme	Ağırlık (kN/m ²)
Çatı Kaplaması (Andezit taş 20cm)	4
Tesviye Tabakası	0.9
Ahşap Kaplama	0.01
Kar Yükü	1.0 (Güvenli tarafıta kalan bir yaklaşım)

Çizelge 5.5. Kullanılan malzeme özellikleri

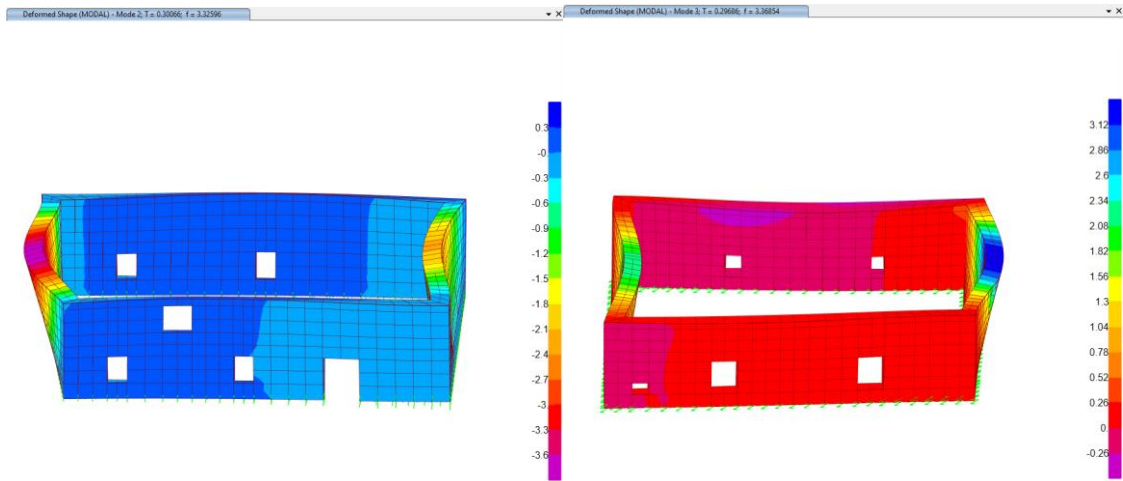
Duvar Türü	Basınç dayanımı f_m (MPa)	Kayma dayanımı τ_o (kPa)	Elastisite modülü E (MPa)	Birim hacim ağırlığı γ (kN/m ³)
Kabayonu	2	100	2000	20
Ahşap 1.Sınıf Çam	11 (Life Dik)	900	10000	5
Beton (TS 500)	10.3	1.03	24000	24

Modellemelerde katı elemanlar (solid) kullanılmıştır. Çatıya gelecek yükler hesaplanarak aşık elemanlarına aktarılmıştır. Oluşturulan 3 boyutlu Sap 2000 modeli Şekil 5.1.'de verilmiştir. Yapı modelinde kütle $G+0.3Q$ olacak şekilde tanımlanmıştır. Modal analizde ilk 230 mod göz önüne alınmıştır ve kütle katılım oranı yaklaşık olarak %95'dir. X ve Y yönlerinde hakim mod şekilleri Şekil 5.2.'de verilmiştir.

Analizlerde mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Mod birleştirme yönteminden elde edilen taban kesme kuvvetinin eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen taban kesme kuvvetine oranının 0.9'dan yüksek olması kuralı göz önünde bulundurulmuştur (TBDY 2018). Deprem yükü azaltma katsayısı $R = 2.5$ ve dayanım azaltma katsayısı $D = 1.5$ olarak kabul edilmiştir.



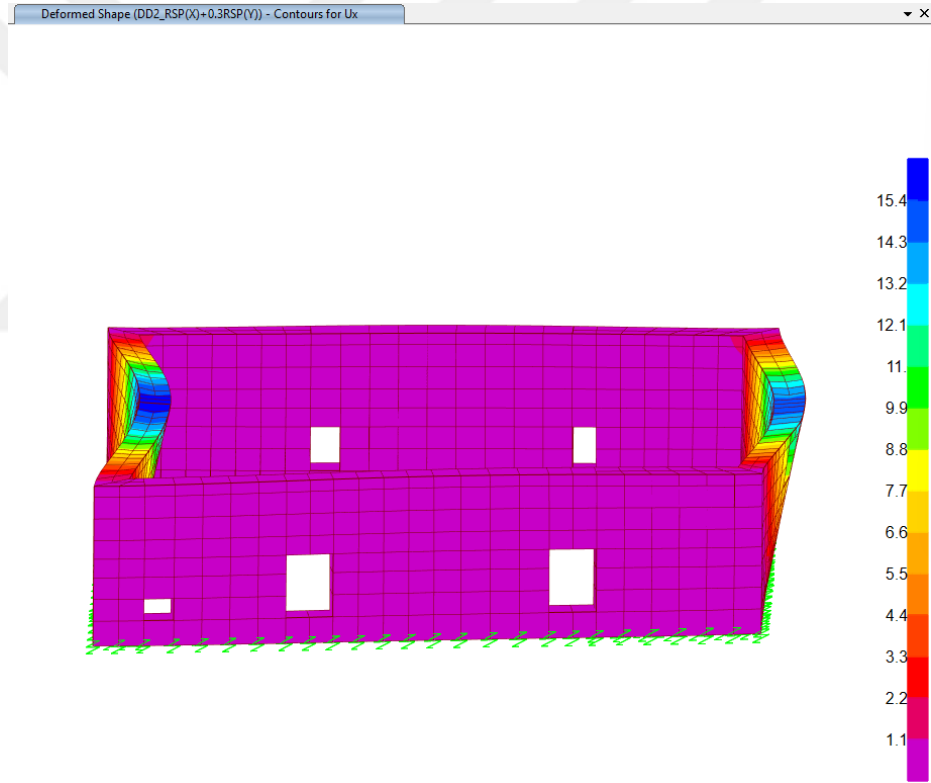
Şekil 5.1. Aksaray Eski Ulu Camii 3 boyutlu modeli



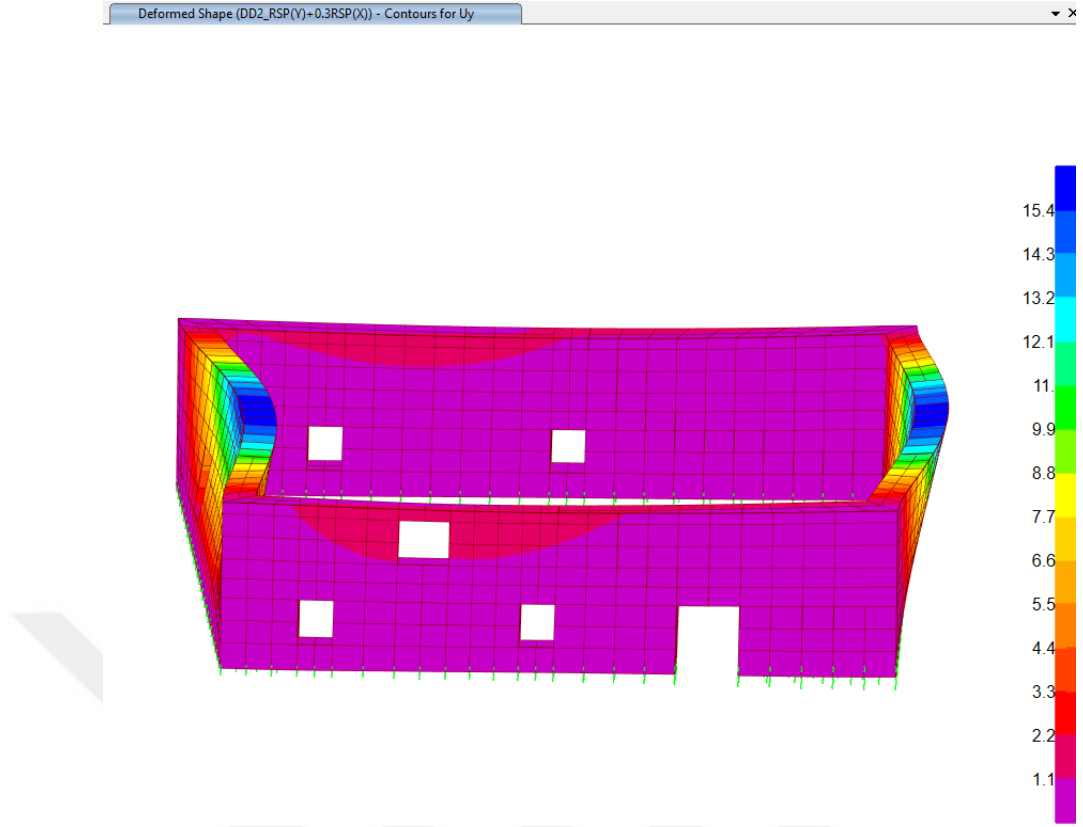
Şekil 5.2. X ve Y yönlerine ait hakim mod değerleri

Analiz sonuçları kullanılarak Aksaray ili Eski Ulu Cami'nin performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Dayanım kontrolleri için DD2 deprem düzeyi göz önüne alınmıştır. Katı elemanlar için S11, S22, S33 normal gerilmeleri ve S23, S13 kayma gerilmeleri incelenmiştir. Kabuk elemanlar için S11, S22 normal gerilmeleri ve S12 kayma gerilmesi incelenmiştir. Göreli deplasman kontrolü için deprem düzeyi DD2 dikkate alınmıştır.

DD2 deprem düzeyi için Cami yapısının göreli yer değiştirme oranı %0.60 olmuştur. Bu sonuçlar, yapının DD2 altında kontrollü hasar şartını sağladığını göstermektedir (Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.). Farklı Performans seviyeleri için göreli öteleme kontrolü Çizelge 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.3. Cami deprem etkileri altında elde edilen x yönündeki deplasmanlar

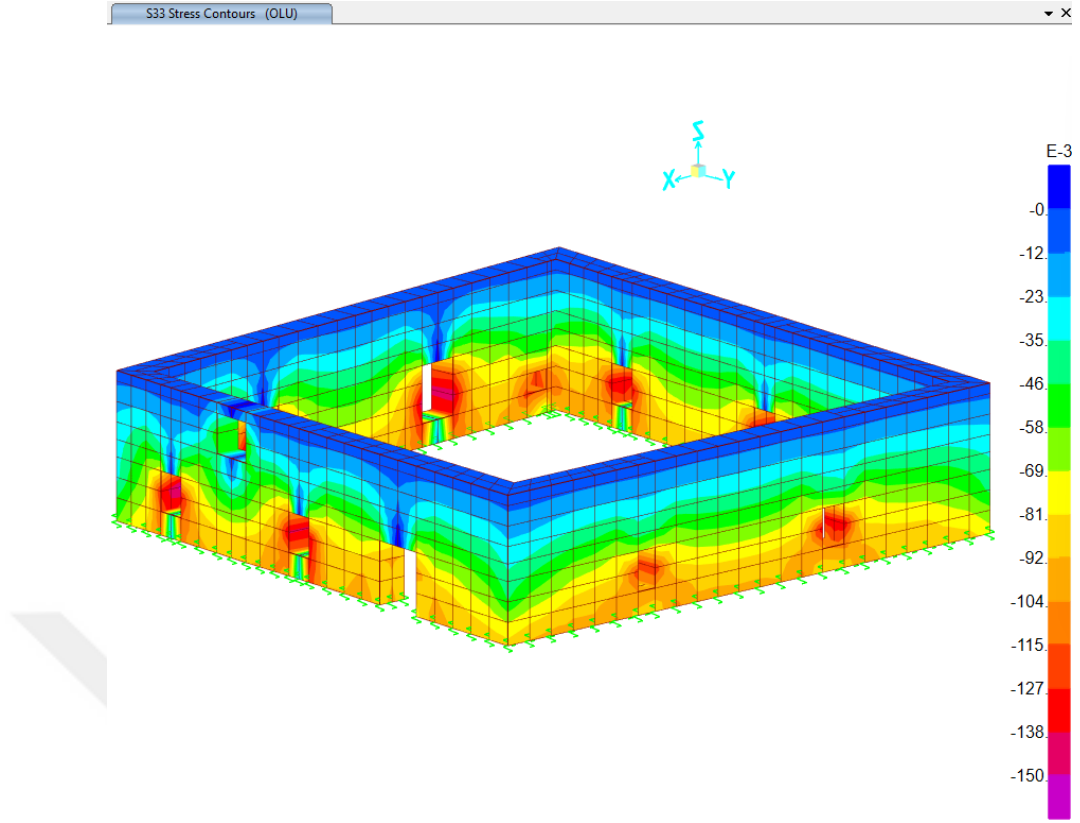


Şekil 5.4. Cami deprem etkileri altında elde edilen y yönündeki deplasmanlar

Çizelge 5.6. Farklı Performans Seviyeleri için Görelî Ötelenme Oran Kontrolü (R=1)

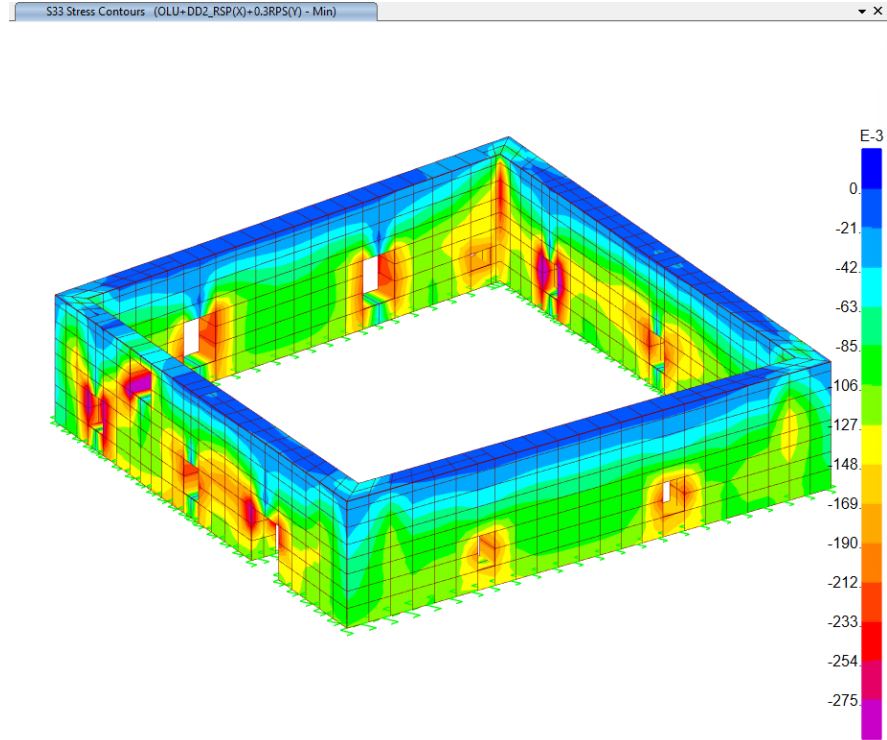
Yapı	Deprem düzeyi	Deplasman (Azaltılmamış) (mm) Maksimum(x-y)	Ötelenme Oranı ($\Delta/h \cdot 100$)	Sınırlı Hasar (%0.3= 36 mm)	Kontrollü Hasar (%0.7= 84 mm)	Göçme Öncesi (%1= 120 mm)
Cami	Yükseklik (mm)	6500 mm				
	DD2	38,5 mm	%0.60	Sağlanmadı	Sağlandı	Sağlandı

Cami yapısında oluşan normal gerilmelere bakıldığında düşey yüklemeler altında oluşan maksimum ortalama basınç gerilmesinin 0.185 MPa değerinde olduğu Şekil 5.5.’ten görülmektedir.

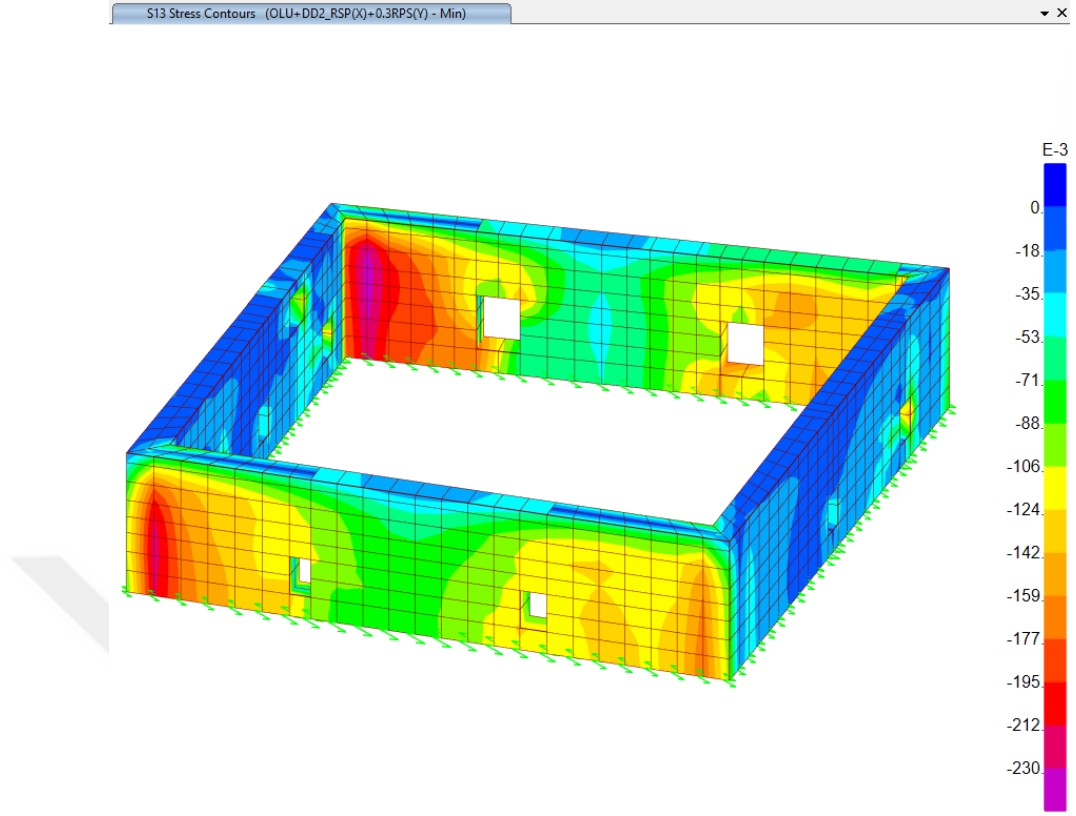


Şekil 5.5. Camide düşey yükler altında elde edilen normal gerilmeler

Şekil 5.6.'da deprem yükleri altında oluşan maksimum basınç gerilmesi X yönünde 0.35 MPa'dır. Şekil 5.7.'de maksimum kayma gerilmeleri X yönünde 0.19 MPa'dır.

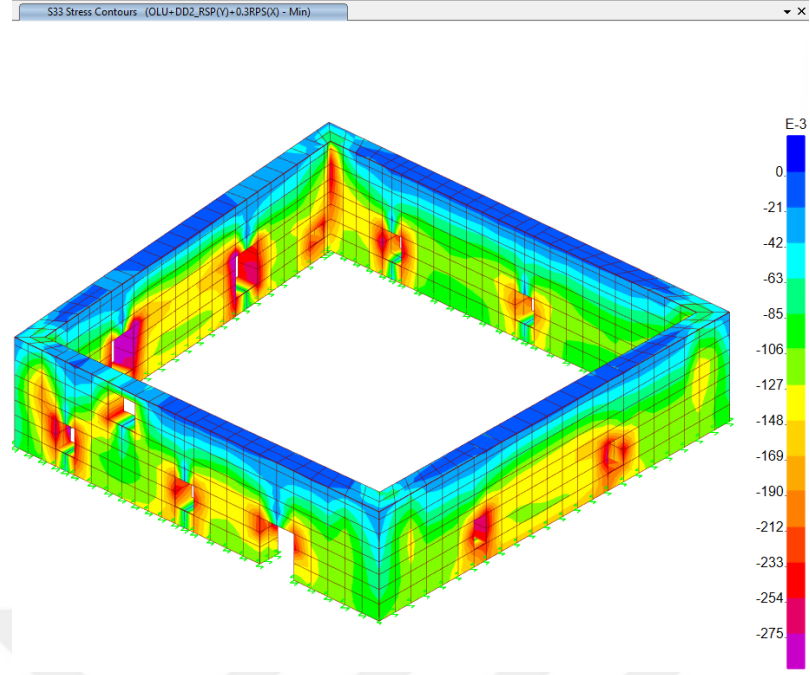


Şekil 5.6. Cami düşey ve x yönündeki deprem etkileri altında elde edilen basınç gerilmeleri

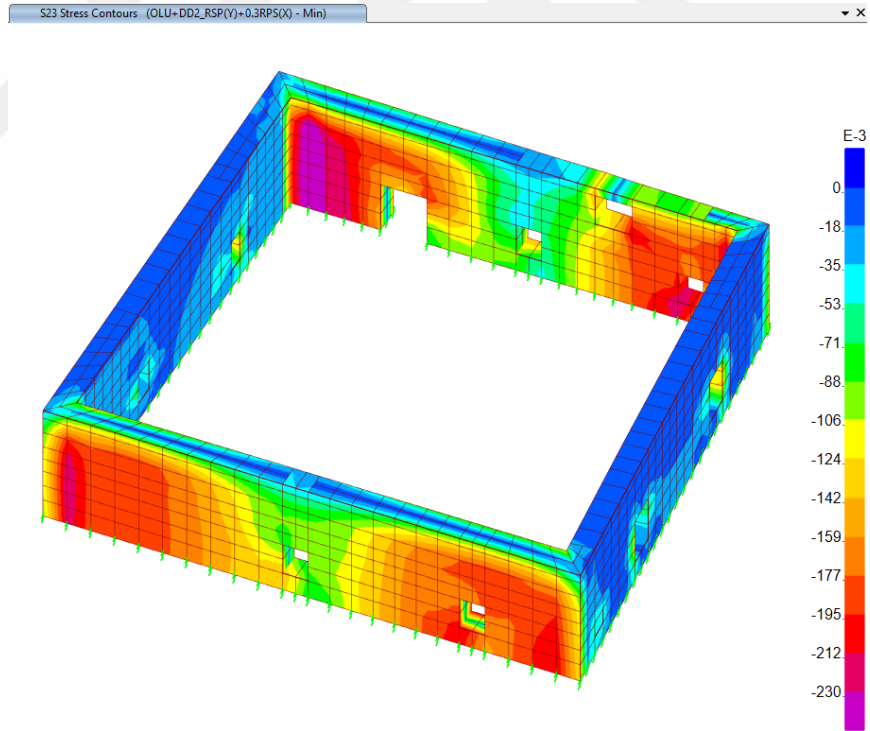


Şekil 5.7. Camide düşey ve x yönündeki deprem etkileri altında elde edilen kayma gerilmeleri

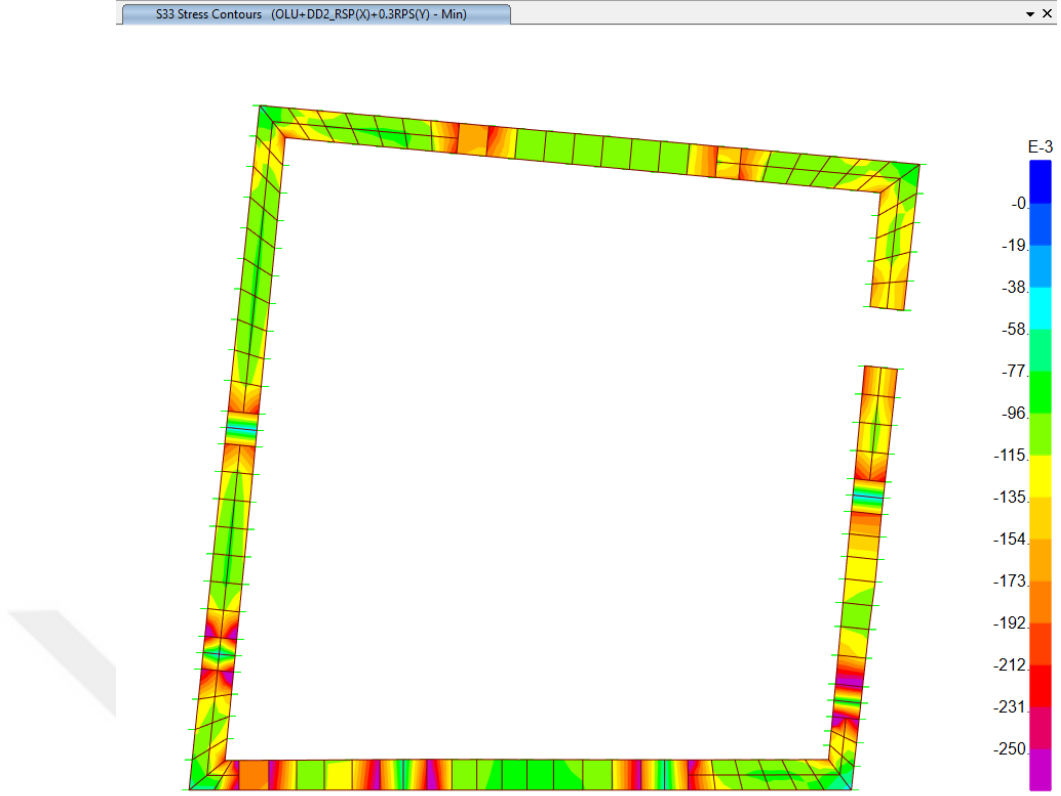
Şekil 5.8.'de Y yönündeki deprem yüklemesi altında ise ortalama basınç gerilmesinin 0.30 MPa değerinde olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.9.'da maksimum kayma gerilmeleri Y yönünde 0.23 MPa'dır. Şekil 5.10.-5.13.'de Z=1,50 metre kotunda deprem yükleri altında maksimum basınç gerilmeleri ve kayma gerilmeleri verilmiştir.



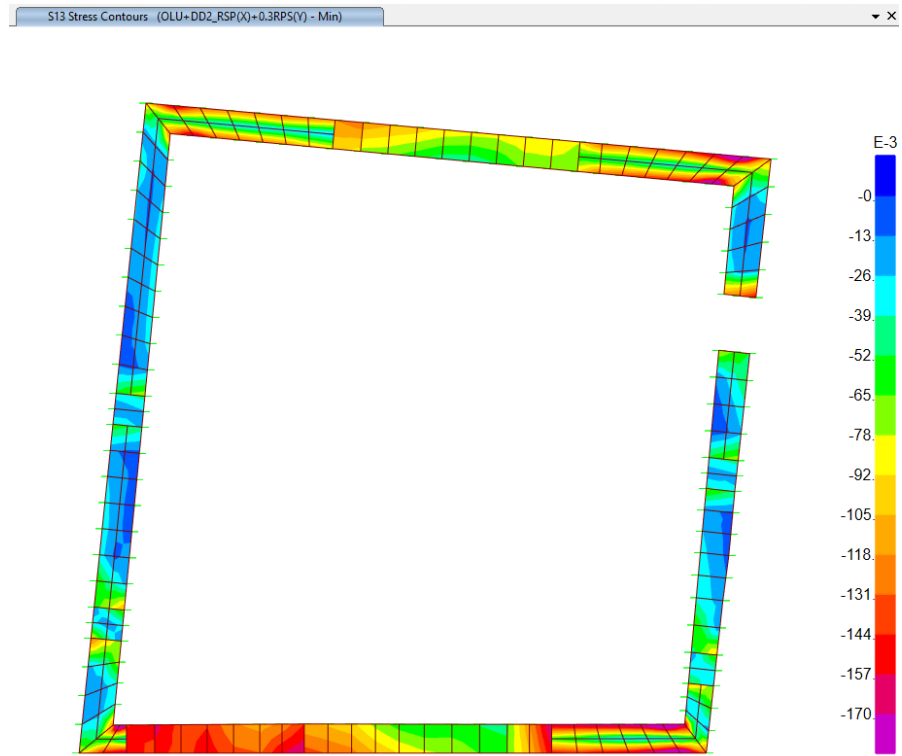
Şekil 5.8. Cami düşey ve y yönündeki deprem etkileri altında elde edilen basınç gerilmeleri



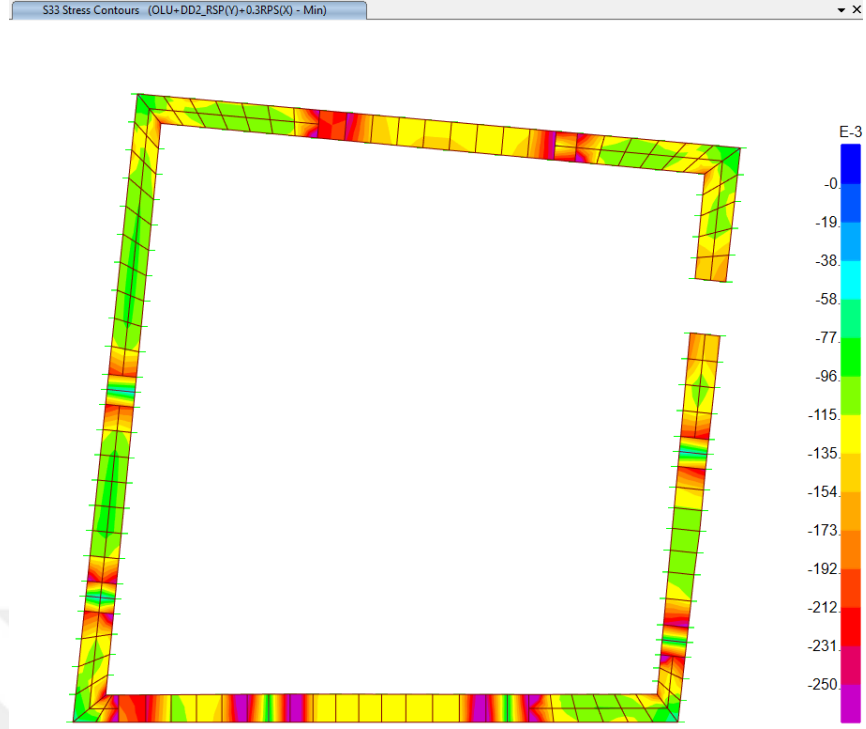
Şekil 5.9. Cami düşey ve y yönündeki deprem etkileri altında elde edilen kayma gerilmeleri



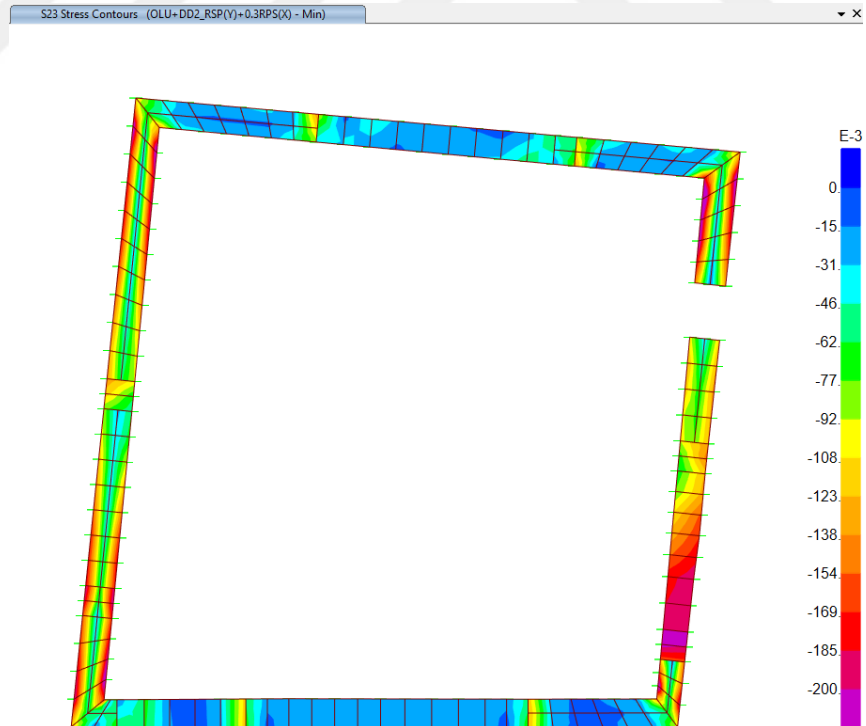
Şekil 5.10. Cami düşey ve x yönündeki deprem etkileri altında elde edilen basınç gerilmeleri
(Z = 1,50 m)



Şekil 5.11. Cami düşey ve x yönündeki deprem etkileri altında elde edilen kayma gerilmeleri
(Z = 1,50 m)



Şekil 5.12. Cami düşey ve y yönündeki deprem etkileri altında elde edilen basınç gerilmeleri (Z = 1,50 m)



Şekil 5.13. Cami düşey ve y yönündeki deprem etkileri altında elde edilen kayma gerilmeleri (Z = 1,50 m)

SAP 2000 analizleri sonucunda elde edilen kayma gerilmeleri ve kayma dayanımlarına ait sonuçlar Çizelge 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kayma Gerilmeleri ve Kayma Dayanımları

Mahal	Düşey Gerilmeler (MPa)	τ_o (MPa)	μ	τ (MPa)	τ_{Ed} (MPa)	Sınır
HARİM						
Cami Duvarı Y yönü	0.3	0.100	0.5	0.25	0.23	Sağlandı
Cami Duvarı X yönü	0.35	0.100	0.5	0.27	0.19	Sağlandı

5.1. Analiz Sonuçları

Aksaray ili Eski Ulu Cami yapısı ile ilgili olarak gerçekleştirilen analizler, yapıdaki yerel kusurların (kesit kayıpları, dolgu ve elemanlardaki bozulmalar) giderildiği durum dikkate alınarak yapılmıştır.

DD2 deprem düzeyi için Cami yapısının görelî yer değıştirme oranı %0.60 olarak elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; cami yapısının DD2 altında kontrollü hasar şartını sağladığı görülmektedir. Görelî yer değıştirme oranları Tarihi Yapılar İçin Deprem Riskleri Yönetimi Kılavuzu'nda belirtilen sınır değêrlere uymaktadır. Cami yapısında oluşan normal gerilmelere bakacak olursak düşey yüklemeler altında oluşan maksimum ortalama basınç gerilmesi 0.185 MPa değêrindedir. Deprem yükleri altında oluşan maksimum basınç gerilmesi Y yönünde 0.3 MPa, X yönündeki deprem yüklemesi altında ise ortalama 0.35 MPa değêrindedir. Maksimum kayma gerilmeleri ise temel seviyesinde Y yönündeki deprem yüklemesinde 0.23 MPa, X yönündeki deprem yüklemesinde 0.19 MPa değêrindedir. Bu değêrler göz önüne alındığında yapının basınç gerilme şartını sağladığı ve kayma gerilmesinin kayma dayanımını aşmadığı belirlenmiştir.

Harimdeki taşıyıcı duvarların gerekli dayanım değêrlerini sağlayabildiği görülmektedir. Bununla birlikte yapıda oluşabilecek olağândışı mekanizma durumlarının önlenmesi amacıyla bir dizi önlemler alınmalıdır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Aksaray ili, Eski ilçeğinde bulunan Eski Ulu Cami’de üst yapıda meydana gelen çatlakların sebebi olarak öngörülen zeminde oluşan oturma probleminin çözümü için zemin iyileştirme projesi kapsamında alanda gerçekleştirilen enjeksiyon uygulamasının detayları irdelenmiştir. Zeminde uygulanan iyileştirme çalışmaları sonrasında karot örnekleri alınmış, gerekli jeofizik incelemeler yapılarak zemin iyileştirme uygulamasının başarılı olup/olmadığı denetlenmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca SAP 2000 programı ile tarihi yapı modellenmiş ve gerekli analizler yapılmıştır.

6.1 Sonuçlar

Aksaray Eski Ulu Camii’nin zemininde yapılacak iyileştirme çalışmaları kapsamında yapının farklı cephelerinin iç ve dış kısımlarında toplamda 2570 metre kuyu açılarak 520,180 m³ çimento enjeksiyon şerbeti enjekte edilmiştir. Alanda enjeksiyon öncesi ve sonrasında hem yapı içi hem de yapı çevresinde belirlenmiş olan profillerde 10.0m derinliği tespit edebilecek şekilde Yer Radarı (GPR) çalışmaları ile ölçümler yapılmıştır. Enjeksiyon öncesi ve sonrasında alınan iki boyutlu (2D) yer altı görüntülerinin karşılaştırılması sonucunda enjeksiyonun etki ettiği bölgeler tespit edilerek enjeksiyonun zemin içerisindeki boşlukları doldurabilme derecesi belirlenmiştir.

Enjeksiyon çalışmalarının öncesinde 4 profil ve enjeksiyon çalışmalarının sonrasında 2 profil boyunca yapılan Jeofizik çalışmalarda MASW ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda kayma hızı dalgası V_{s-30} değeri batı cephesinde 351 m/s ‘den 379 m/s’ye, güney cephesinde ise 444 m/s’den 522 m/s’ye ulaşmıştır. Enjeksiyonla zemin iyileştirilmesi sonrasında batı cephesinde zemin sınıfı ZD’den ZC’ye değişirken, güney cephesinde ZC olan zemin sınıfı yine ZC olarak kalmıştır. Enjeksiyon öncesi ve sonrasında jeofizik çalışmalarda elde edilen MASW ölçüm değerleri Çizelge 6.1.’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.1. Enjeksiyonla zemin iyileştirme öncesi ve sonrasında MASW Ölçümü Sonuçlarının Özeti

MASW No	Tabaka	$V_{s-30}(m/s)$	H (m)	Ortalama $V_{s-30}(m/sn)$	Zemin Sınıfı
Enjeksiyon Öncesi MASW -1	1	364	1,87	351	ZD
	2	399	5		
	3	309	9,37		
	4	345	15		
Enjeksiyon Öncesi MASW -2	1	451	1,87	444	ZC
	2	517	5		
	3	390	9,37		
	4	434	15		
Enjeksiyon Sonrası MASW-1	1	380	1,87	379	ZC
	2	393	5		
	3	338	9,37		
	4	375	15		
Enjeksiyon Sonrası MASW-2	1	498	1,87	522	ZC
	2	557	5		
	3	537	9,37		
	4	504	15		

Cami içinde ve dışında enjeksiyonla yapılan zemin iyileştirme uygulamaları sonrasında kontrol amaçlı sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sondaj çalışmalarından elde edilen numuneler üzerinde laboratuvarında gerekli deneyler uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonrasında iyileştirme öncesi zeminin şişme potansiyeli “Orta-Yüksek” şeklinde iken iyileştirme sonrası şişme potansiyeli “Düşük-Orta” seviyesine gelmiştir. Yapılan enjeksiyon işlemi ile zeminin şişme potansiyelinde önemli derecede bir azalma meydana gelmiştir.

Enjeksiyon öncesi ve sonrasında sondaj çalışmaları ile karot numuneleri alınarak kireçtaşı birimlerinin boşluklarının enjeksiyon şerbeti ile doldurulması sonrasında kaya birimler için temel tasarım dayanımı değerlerinin elde edilmesi için tek eksenli basınç dayanımları elde edilmiştir. Enjeksiyon öncesi alınan karot numunelerinde ki ortalama tasarım dayanımı $24,25 \text{ kg/cm}^2$ iken, enjeksiyon sonrasında ise ortalama tasarım dayanımı 37 kg/cm^2 olarak elde edilmiştir. Enjeksiyon işleminin kaya birimlerinin taşıma gücü için elde edilen ortalama tasarım dayanımı değerlerini önemli miktarda artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Sondajlardan alınan karot numuneleri kullanılarak elde edilen Tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre enjeksiyon öncesi ve sonrasına ait olarak kireçtaşı kaya birim için hesaplanan temel tasarım dayanımı değerleri Çizelge 6.2.’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.2. Enjeksiyon öncesi ve sonrası durum için kireçtaşı kaya birimleri için temel tasarımı dayanımı değerleri

Sondaj Kuyusu	Enjeksiyon öncesi tasarım dayanımı ($q_t = q_u/1,4$) (kg/cm ²)	Enjeksiyon sonrası tasarım dayanımı ($q_t = q_u/1,4$) (kg/cm ²)
SK-1	31,54	34,77
SK-2	18,68	34,00
SK-3	22,54	34,46
SK-4	-	52,54

Cami içi ve etrafında enjeksiyon uygulaması ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları öncesi ve sonrasında zemin ortamının taşıma gücü analizleri farklı ampirik yöntemlerle hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Terzaghi, Meyerhof ve Brinch-Hansen taşıma gücü yöntemlerine göre hesaplanan değerler Çizelge 6.3.'de özetlenmiştir. Enjeksiyon öncesi ortalama tasarım dayanımı $q_t=275,13$ kPa olarak hesaplanırken enjeksiyon sonrası tasarım dayanımı $q_t=287,18$ kPa olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer artışının, zemin içerisindeki boşlukların doldurulmasına veya da enjeksiyon işlemi sırasında enjeksiyon şerbetinin zemini bir öteleyerek bir miktar sıkıştırmasına bağlı olduğu öngörülmektedir. Ancak gerçekleşen artışın beklenen artıştan daha az olduğu düşünülmektedir. Ancak iyileştirme öncesi sadece 1 adet sondaj kuyusundan UD numunesi alındığı ve kıyaslama için sadece bu kuyudan elde sonucun kullanıldığı dikkate alınarak, sonucun sınırlı düzeyde doğrulanabildiği unutulmamalıdır. Bu tür problemlili alanlarda zemin enjeksiyonlarından önce ve sonra yeterli daha fazla sayıda sondaj çalışmasının yapılmasının ve yeteri miktarda numune alınmasının gerektiği düşünülmektedir.

Çizelge 6.3. Terzaghi, Meyerhof ve Brinch-Hansen taşıma gücü yöntemlerine göre hesaplanan tasarım dayanımı değerleri (kPa)

Sondaj No ve Yöntem	Enjeksiyon öncesi SK-1	Enjeksiyon sonrası SK-1	Enjeksiyon sonrası SK-2	Enjeksiyon sonrası SK-3	Enjeksiyon sonrası SK-4
Terzaghi	278,2	281,67	184,56	317,77	250,56
Meyerhof	311,7	310,75	205,99	344,64	277,10
Brinch-Hansen	235,5	348,71	227,35	387,54	309,57

Enjeksiyonla zemin iyileştirme çalışmalarının tamamlanmasından sonra üst yapı Sap 2000 programı kullanılarak modellenmiştir. Yapının statik ve dinamik yükler altında

oluşabilecek hasar durumları ve olası tehlike durumları incelenmiştir. Cami yapısında deprem yükleri altında oluşan maksimum basınç gerilmesi, maksimum kayma gerilmeleri hesaplanmış ve yapının basınç gerilme şartını sağladığı ve kayma gerilmesinin kayma dayanımını aşmadığı belirlenmiştir. Göreli yer değiştirme oranları Tarihi Yapılar İçin Deprem Riskleri Yönetimi Kılavuzu'nda belirtilen sınır değerlere uymaktadır. DD2 deprem düzeyi için yapılan analizler sonucunda yapının kontrollü hasar durumunu sağladığı belirlenmiştir.

6.2 Öneriler

Tarihi yapıların güçlendirilmesi ve yapı altındaki zemin özelliklerinin iyileştirilmesinin asıl amacı kültürel miras türü yapıların, geleceğe en doğru şekilde aktarılmasıdır. Yapının mimari özellikleri ve yapım şekli mümkün olduğunca korunmalı ömrünü uzatmak esas amaç olmalıdır.

Tarihi yapıların altındaki temellerin takviyesinin ve yapı altındaki zemin iyileştirmelerinin doğru analiz ve yöntemlere göre yapılması, tarihi yapının yapım malzemesi ve yapım tekniğinin bozulmadan gelecek nesillere aktarılması yönünden büyük öneme sahiptir. Tarihi bir yapının altındaki zemin iyileştirme çalışması uygulamalarında yapılacak hatalar kültür mirasının aktarılmasını ve dolayısıyla tüm insanlığı etkileyebilecek düzeyde olacaktır. Bu nedenlerle tarihi bir yapı altındaki zeminde yapılacak çalışmalarda yapı-zemin etkileşimi tüm yönleriyle dikkate alınarak yapıya en uygun zemin iyileştirme yöntemi seçilmelidir.

Zemin iyileştirme çalışmalarından sonra yapının sağlık durumu düzenli olarak takip edilmelidir. Aksaray Eski Ulu Cami örneğinde de görüleceği üzere geçmiş yıllarda zemin iyileştirmesi yapılmasına rağmen değişen çevre koşulları zeminden kaynaklı oturma problemlerine sebebiyet vermiştir. Şu an yapılmış olan enjeksiyonla zemin iyileştirme çalışmaları sonrasında da tekrar hasarların oluşup/oluşmadığının veya oluşma ihtimalinin önceden tahmin edilebilmesi için cami duvarlarının düşey deplasmanları belirli periyotlarla kontrol edilmelidir.

Üst yapı ile ilgili olarak duvar radarları yapılarak taşıyıcı duvarların boşluk oranları tespit edilmelidir. Unutulmamalıdır ki tarihi yapılar çok uzun süre ayakta olmaları sebebiyle taşıyıcı duvarların harçları zamanla özelliklerini yitirebilmektedir. Bu nedenle boşluk oranları tehlike arz edecek boyutlara ulaştığında duvarlara tarihi yapıya uyumlu bağlayıcı nitelikte malzeme enjekte edilmelidir. Ayrıca duvarlara reflektörler yerleştirilerek duvarların hareketleri düzenli olarak kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Altun, S., 2010, Zemin İyileştirme Yöntemleri, Derin Temeller ve Uygulama Örnekleri, İMO İzmir Şubesi,
- Akbulut, S. & Saglam, A. 2002. Estimating the groutability of granular soils: a new approach. *Tunnelling and Underground Space Technology* 17: 371-380.
- Akdoğan Eker A. Ve Dikicioğlu A. 2019, Mühendislik ve Multidisipliner Yaklaşımlar, Güven Plus Grup Yayınları, İstanbul
- Atıcı, M., Jet Grouting, Enjeksiyon Ve Taş Kolon Uygulamalarının Taşıma Gücü Ve Oturma Davranışlarının Sayısal Yöntemlerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, 2019.
- Azadi, M. R., Taghichian, A. ve Taheri, A. (2017). Optimization of cement-based grouts using chemical additives. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* Volume 9, Issue 4, August 2017, Pages 623-637.
- Bol, E., Özocak, A., Sert, S., Arel, E., 2004, “Geyve İlçesi (Sakarya) Zemin İnceleme Raporu”, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 20.
- Ceren İ, İncecik M, İyisan R, Çimento Enjeksiyonu Model Deneyleri. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 4.Ulusal Kongresi, s.114-132, 1992 İstanbul
- Çamlıbel, A.N., 2000 Temellerin Takviyesi, Birsan Yayınevi, İstanbul
- Dahlin, T., 2001. The development of DC resistivity imaging techniques. Department of Geotechnolog, Lund University, Sweden, 221.
- Davis, J.L., and Annan, A.P. (1989). Groundpenetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy, *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.
- Ekinci, A., 2011 Zemin İyileştirme Yöntemleri, Zemin Etüdü ve Uygulama Alanları, Middle East Technical University, Northern Cyprus Campus
- Gergin, A. 2019 Yeraltı Su Seviyesi Yüksek Problemler Zeminlerde Temel Tasarımı Yüksek lisans tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik,
- Harputlugil, F.H., Yeraltı Suyundaki Sülfat Oranının Jet Enjeksiyonu Kolonlarının kalitesine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 2018.
- Hashimoto, K., Nishihara, S., Oji, S., Kanazawa, T., Nishie, S., Seko I., Hyodo T. ve Tsukamoto, Y. (2016). Soil-cement mixture properties and design considerations for reinforced excavation. *Ground Improvement* 169 May 2016 Issue G12 Pages 134–142.

- İnal, E., Zeminlerin taşıma gücünün çimento enjeksiyonu ile iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ*, 2015.
- Koçer, A., Beton Ağırlık Bir Barajda Enjeksiyon Uygulamaları: Boyabat Barajı, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde*, 2012.
- Mahrebel, H A.. 2006, Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mitchell, J.K. 1981. Soil improvement – state of the art report. Proc., 10th ICSMFE, Stockholm, A.A. Balkema, 4: 509–565.
- Mutman, U., Kavak, A., 2007. Sıvılaşma Riskinin Düşük Basıncılı Çimento Enjeksiyonu ile Azaltılması, Earthquake Symposium, Kocaeli Ün., Kocaeli, 22-24 Ekim, s. 518-525.
- Nonveiller, E., 1989. Grouting Theory and Practice, Elsevier, Amsterdam.
- Önalp A., & Sert S., 2006. Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 375.
- Özaydın, K., Zeminlerin iyileştirilmesi, Ekim 2012.
- Scheidegger, A.E., Johnson, E.F., 1969. “Displacement Processes in Porous Media” Symposium on the Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media, Haifa, Israel.23-28 February.
- Shin, E. C., Park, J. J., Yu, J. ve Patra, R. (2018). Prediction of Grouting Efficiency by Injection of Cement Milk into Sandy Soil Using an Artificial Neural Network. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 55, No. 5, November, 2018 (Russian Original No. 5, September-October, 2018).
- Sivrikaya O., 2003. Standart Penetrasyon Deneyi ile Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türkiye’deki Uygulaması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-8.
- Şahan, M.Ü., 2016, Yapım İşlerinde Zemin İyileştirme Teknikleri, İller Bankası Anonim Şirketi, Uzmanlık Tezi.
- Tunçdemir, F., 2004. Temel Zeminlerin Enjeksiyon Tekniği ile İyileştirilmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 430, 59-63.
- Uyar, Ş., 2017, Investigation of problems in clean and waste water infrastructure systems with georadar method. KTU Institute of Science.
- Verfel, J. 1989. Rock grouting and diaphragm wall construction. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Wallance, H.B., 1982. Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE Publication New York.

Warner, 2004. Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock and Structures, Wiley, London.

Yee, K., & Aun, O. T. (2010). Ground Improvement—A Green Technology towards a Sustainable Housing, Infrastructure and Utilities Developments in Malaysia. Geotechnical Engineering, 41(1), 123.

Yılmaz, I., 2007. Mühendislik Jeolojisi İlkeler ve Temel Kavramlar, Teknik Yayınevi, Ankara.



EKLER

EK-1 Enjeksiyon sonrasına ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																	
Yüklenici Firma		0													İşveren		
Proje Adı		ESKİL ULU CAMİİ ZEMİN ETÜTÜ													0		
İl		KONYA			Sondaj Derinliği(m)			20							Sondaj No	SK-1	
İlçe		ESKİL			Başlama Tarihi			0.01.1900							Sayfa No	1/2	
Mahalle/Köy		MERKEZ			Bitiş Tarihi			0.01.1900							Sorumlu Jeoloji Mühendisi		
Pafta		0			Makine Tipi/Metodu			ROTARY D750							LEVENT AKKUŞ		
Ada		460			SPT Şahmerdan Tipi			OTOMATİK									
Parsel		2			Delgi Çapı			120mm									
Sondaj Kotu		950			Yeraltı Suyu(m)			Derinlik		Tarih		Açıklama					
Koordinant		X:						YOK							Sondör		
(WGS-84)		Y:													A		
Sondaj Derinliği (m)	Muhataza Borusu Derinliği	Kuyu İçi Deneyler	Örnek Derinliği (m)	Örnek Türü ve No	Standart Penetrasyon Testi (SPT)		Presiyometre Deneyi (P)		Kaya Özellikleri					Zemin Profili	Zemin Tanımlaması	Sondaj Derinliği (m)	
					Darbe Sayısı		Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Limit Basınç (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı				Dayanım
0-15	15-30	30-45	N														
0.0																	0.0
1.0																	1.0
2.0																	2.0
3.0								7,10	57,97								3.0
4.0			4.00	UD				6,50	56,00								4.0
5.0																	5.0
6.0								10,30	108,60								6.0
7.0																	7.0
8.0								12,10	106,48								8.0
9.0																	9.0
10.0								22,64	4640,03								10.0
11.0																	11.0
12.0								23,65	3360,55	55	33	16	III	>20	III		12.0
13.0																	13.0
14.0								22,05	966,69								14.0
15.0										83	32	9	III	>20	III		15.0
Kıvam Durumu(İnce Taneli)					Sıklık (İri Taneli)					Oranlar					Kırıklar/30cm		
N 0-2	Çok Yumuşak				N 0 - 4	Çok Gevşek				0-10 %	Pek az				<1	Seyrek	
N 3-4	Yumuşak				N 5-10	Gevşek				10-20 %	Az				1-2	Orta	
N 5-8	Orta Katı				N 11-30	Orta Sıkı				20-35 %	Çok				2-10	Sık	
N 9-15	Katı				N 31-50	Sıkı				35-50 %	Ve				10-20	Çok Sık	
N 16-30	Çok Katı				N >50	Çok Sıkı									>20	Parçalı	
N >30	Sert																
Dayanımlılık					Ayrışma Derecesi					Kaya Kalitesi Tanımı(RQD)					Kısaltmalar		
I	Çok Zayıf				I	Taze				0-25 %	Çok Kötü				UD	Örselenmemiş, DS Örselenmiş	
II	Zayıf				II	Az Ayrışmış				25-50 %	Kötü				TCR	Toplam Karot Yüzdesi	
III	Orta				III	Orta Ayrışmış				50-75 %	Orta				TSCR	Çapını Koruyan Karot %	
IV	Dayanımlı				IV	Çok Ayrışmış				75-90 %	İyi				VST	Veyn Deneyi	
V	Çok Dayanımlı				V	Tamamen Ayrışmış				90-100 %	Çok İyi				BST	Basınçlı Su Deneyi	
					VI	Kalıntı									K/C	Karot Örnek	

EK-2 Enjeksiyon sonrasında ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																			
Yüklenici Firma		0										İşveren							
Proje Adı		ESKİL ULU CAMİİ ZEMİN ETÜTÜ																	
İl		KONYA		Sondaj Derinliği(m)		20		Sondaj No		SK-1									
İlçe		ESKİL		Başlama Tarihi		00.01.00		Sayfa No		2/2									
Mahalle/Köy		MERKEZ		Bitiş Tarihi		00.01.00		Sorumlu Jeoloji Mühendisi											
Pafta		0		Makine Tipi/Metodu		ROTARY D750		LEVENT AKKUŞ											
Ada		460		SPT Şahmerdan Tipi		OTOMATİK													
Parsel		2		Delgi Çapı		120mm													
Sondaj Kotu		950		Yeraltı Suyu(m)		Derinlik		Tarih		Açıklama									
Koordinant		X: 0				YOK						Sondör							
(WGS-84)		Y: 0								A									
Sondaj Derinliği (m)	Muhafaza Borusu Derinliği	Kuyu İçi Deneyle	Örnek Derinliği (m)	Örnek Türü ve No	Standard Penetrasyon Testi (SPT)				Presiyometre Deneyi (P)		Kaya Özellikleri					Zemin Profili	Zemin Tanımlaması	Sondaj Derinliği (m)	
					Darbe Sayısı				Elastisite Modülü	Limit Basınç	TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı				Dayanım
					0-15	15-30	30-45	N											
15.0																			
16.0									21,00	526,99									
17.0																			
18.0									24,75	5333,99	50	7	0	III	>20	III			
19.0																			
20.0									26,00	658,44	85	34	11	III	>20	III			
21.0																			
22.0																			
23.0																			
24.0																			
25.0																			
26.0																			
27.0																			
28.0																			
29.0																			
30.0																			
Kıvam Durumu(İnce Taneli)					Sıklık (İri Taneli)					Oranlar					Kırıklar/30cm				
N 0-2 Çok Yumuşak					N 0 - 4 Çok Gevşek					0-10 % Pek az					<1 Seyrek				
N 3-4 Yumuşak					N 5-10 Gevşek					10-20 % Az					1-2 Orta				
N 5-8 Orta Katı					N 11-30 Orta Sıkı					20-35 % Çok					2-10 Sık				
N 9-15 Katı					N 31-50 Sıkı					35-50 % Ve					10-20 Çok Sık				
N 16-30 Çok Katı					N >50 Çok Sıkı										>20 Parçalı				
N >30 Sert																			
Dayanım					Ayrışma Derecesi					Kaya Kalitesi Tanımı(RQD)					Kısaltmalar				
I Çok Zayıf					I Taze					0-25 % Çok Kötü					UD Örselenmemiş, DS Örselenmiş				
II Zayıf					15					III					TCR Toplam Karot Yüzdesi				
III Orta					III Orta Ayrışmış					50-75 % Orta					TSCR Çapını Koruyan Karot %				
IV Dayanımlı					25					75-90 % İyi					VST Veyn Deneyi				
V Çok Dayanımlı					V Tamamen Ayrışmış					90-100 % Çok İyi					BST Basıncılı Su Deneyi				
					VI Kalıntı										K/C Karot Örne				

EK-3 Enjeksiyon sonrasına ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																	
Yüklenici Firma		0												İşveren			
Proje Adı		ESKİL ULU CAMİİ ZEMİN ETÜTÜ												0			
İl		KONYA		Sondaj Derinliği(m)		20		Sondaj No		SK-2		Sayfa No		1/2			
İlçe		ESKİL		Başlama Tarihi		0.01.1900		Sorumlu Jeoloji Mühendisi		LEVENT AKKUŞ		Sondaj No		SK-2			
Mahalle/Köy		MERKEZ		Bitiş Tarihi		0.01.1900		Sondaj No		SK-2		Sayfa No		1/2			
Pafta		0		Makine Tipi/Metodu		ROTARY D750		Sondaj No		SK-2		Sayfa No		1/2			
Ada		460		SPT Şahmerdan Tipi		OTOMATİK		Sondaj No		SK-2		Sayfa No		1/2			
Parsel		2		Delgi Çapı		120mm		Sondaj No		SK-2		Sayfa No		1/2			
Sondaj Kotu		950		Yeraltı Suyu(m)		Derinlik		Tarih		Açıklama		Sondaj No		SK-2			
Koordinant (WGS-84)		X: 0		Y: 0		YOK		Sondaj No		SK-2		Sayfa No		1/2			
Sondaj Derinliği (m)		Muhafaza Borusu Derinliği		Kuyu İçi Deneyler		Örnek Derinliği (m)		Örnek Türü ve No		Standart Penetrasyon Testi (SPT) Darbe Sayısı		Presiyometre Deneyi (P)		Kaya Özellikleri		Zemin Profili	
0-15		15-30		30-45		N		Elastisite Modülü (kg/cm ²)		Limit Basınç (kg/cm ²)		TCR %		SCR %		RQD %	
Ayrışma Derecesi		Çatlak Sıklığı		Dayanım		Zemin Tanımlaması		SPT GRAFİĞİ		Sondaj Derinliği (m)		0		20		40	
0.0		1.0		2.0		3.0		4.0		5.0		6.0		7.0		8.0	
2.00		UD															
KİL		Çakıllı, kumlu, siltli kil															
KİREÇTAŞI		Gri-bej renkli kireçtaşı															
5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0		11.0		12.0		13.0	
6.0		7.0		8.0		9.0		10.0		11.0		12.0		13.0		14.0	
7.0		8.0		9.0		10.0		11.0		12.0		13.0		14.0		15.0	
8.0		9.0		10.0		11.0		12.0		13.0		14.0		15.0			
9.0		10.0		11.0		12.0		13.0		14.0		15.0					
10.0		11.0		12.0		13.0		14.0		15.0							
11.0		12.0		13.0		14.0		15.0									
12.0		13.0		14.0		15.0											
13.0		14.0		15.0													
14.0		15.0															
15.0																	
Kıvam Durumu(İnce Taneli)				Sıklık (İri Taneli)				Oranlar				Kırıklar/30cm					
N 0-2 Çok Yumuşak				N 0-4 Çok Gevşek				0-10 % Pek az				<1 Seyrek					
N 3-4 Yumuşak				N 5-10 Gevşek				10-20 % Az				1-2 Orta					
N 5-8 Orta Katı				N 11-30 Orta Sıkı				20-35 % Çok				2-10 Sık					
N 9-15 Katı				N 31-50 Sıkı				35-50 % Ve				10-20 Çok Sık					
N 16-30 Çok Katı				N >50 Çok Sıkı								>20 Parçalı					
N >30 Sert																	
Dayanım				Ayrışma Derecesi				Kaya Kalitesi Tanımı(RQD)				Kısaltmalar					
I Çok Zayıf				I Taze				0-25 % Çok Kötü				UD Örselenmemiş, DS Örselenmiş					
II Zayıf				II Az Ayrışmış				25-50 % Kötü				TCR Toplam Karot Yüzdesi					
III Orta				III Orta Ayrışmış				50-75 % Orta				TSCR Çapını Koruyan Karot %					
IV Dayanımlı				IV Çok Ayrışmış				75-90 % İyi				VST Veyn Deneyi					
V Çok Dayanımlı				V Tamamen Ayrışmış				90-100 % Çok İyi				BST Basıncı Su Deneyi					
				VI Kalıntı								K/C Karot Örnek					

EK-4 Enjeksiyon sonrasına ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																			
Yüklenici Firma										İşveren									
Proje Adı										ESKİL ULU CAMİİ ZEMİN ETÜTÜ									
İl										KONYA									
İlçe										ESKİL									
Mahalle/Köy										MERKEZ									
Pafta										0									
Ada										460									
Parsel										2									
Sondaj Kotu										950									
Koordinant										X: 0									
(WGS-84)										Y: 0									
Sondaj Derinliği (m)										Sondaj Derinliği(m)									
Muhafaza Borusu Derinliği										Başlama Tarihi									
Kuyu İçi Deneyler										20									
Örnek Derinliği (m)										00.01.00									
Örnek Türü ve No										00.01.00									
Standard Penetrasyon Testi (SPT)										Sondaj No									
Darbe Sayısı										SK-2									
Presiyometre Deneyi (P)										Sayfa No									
Elastisite Modülü (kg/cm ²)										2/2									
Limit Basınç (kg/cm ²)										Sorumlu Jeoloji Mühendisi									
TCR %										LEVENT AKKUŞ									
SCR %										Sondör									
RQD %										A									
Ayrışma Derecesi										Derinlik									
Çatlak Sıklığı										Tarih									
Dayanım										Açıklama									
Zemin Profili										Sondör									
Zemin Tanımlaması										A									
SPT GRAFİĞİ										Sondaj Derinliği (m)									
KIREÇTAŞI										15.0									
Gri-bej renkli kireçtaşı										16.0									
										17.0									
										18.0									
										19.0									
										20.0									
										21.0									
										22.0									
										23.0									
										24.0									
										25.0									
										26.0									
										27.0									
										28.0									
										29.0									
										30.0									
Kıvam Durumu (İnce Taneli)										Sıklık (İri Taneli)									
N 0-2 Çok Yumuşak										N 0 - 4 Çok Gevşek									
N 3-4 Yumuşak										N 5-10 Gevşek									
N 5-8 Orta Katı										N 11-30 Orta Sıkı									
N 9-15 Katı										N 31-50 Sıkı									
N 16-30 Çok Katı										N >50 Çok Sıkı									
N >30 Sert																			
Oranlar										Kırıklar/30cm									
0-10 % Pek az										<1 Seyrek									
10-20 % Az										1-2 Orta									
20-35 % Çok										2-10 Sık									
35-50 % Ve										10-20 Çok Sık									
>20 Parçalı										>20 Parçalı									
Dayanım										Kısıltmalar									
I Çok Zayıf										I Taze									
II Zayıf										15									
III Orta										III Orta Ayrışmış									
IV Dayanımlı										25									
V Çok Dayanımlı										V Tamamen Ayrışmış									
										VI Kalıntı									
Kaya Kalitesi Tanımı (RQD)										Kısıltmalar									
0-25 % Çok Kötü										UD Örselenmemiş, DS Örselenmiş									
III										TCR Toplam Karot Yüzdesi									
50-75 % Orta										TSCR Çapını Koruyan Karot %									
75-90 % İyi										VST Veyn Deneyi									
90-100 % Çok İyi										BST Basınçlı Su Deneyi									
										K/C Karot Örneği									

EK-5 Enjeksiyon sonrasına ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																			
Yüklenici Firma		0												İşveren					
Proje Adı		ESKİL ULU CAMİİ ZEMİN ETÜTÜ												0					
İl		KONYA		Sondaj Derinliği(m)		20		Sondaj No		SK-3									
İlçe		ESKİL		Başlama Tarihi		0.01.1900		Sayfa No		1/2									
Mahalle/Köy		MERKEZ		Bitiş Tarihi		0.01.1900		Sorumlu Jeoloji Mühendisi											
Pafta		0		Makine Tipi/Metodu		ROTARY D750		LEVENT AKKUŞ											
Ada		460		SPT Şahmerdan Tipi		OTOMATİK													
Parsel		2		Delgi Çapı		120mm													
Sondaj Kotu		950		Yeraltı Suyu(m)		Derinlik		Tarih		Açıklama									
Kordinant		X: 0				YOK				Sondör									
(WGS-84)		Y: 0								A									
Sondaj Derinliği (m)	Muhafaza Borusu Derinliği	Kuyu İçi Deneyler	Örnek Derinliği (m)	Örnek Türü ve No	Standart Penetrasyon Testi (SPT)				Presiyometre Deneyi (P)		Kaya Özellikleri						Zemin Profili	Zemin Tanımlaması	Sondaj Derinliği (m)
					Darbe Sayısı				Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Limit Basınç (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı	Dayanım			
0-15	15-30	30-45	N																
0.0																		0	
1.0																		20	
2.0			2.00	UD														40	
3.0																		60	
4.0																		80	
5.0																		100	
6.0										38	15	0	III	>20	III			0.0	
7.0																		1.0	
8.0										30	13	0	III	>20	III			2.0	
9.0																		3.0	
10.0										30	15	10	III	>20	III			4.0	
11.0																		5.0	
12.0										30	15	0	III	>20	III			6.0	
13.0																		7.0	
14.0										25	20	15	III	>20	III			8.0	
15.0																		9.0	
Kıvam Durumu(İnce Taneli)					Sıklık (İri Taneli)					Oranlar					Kırıklar/30cm				
N 0-2 Çok Yumuşak					N 0 - 4 Çok Gevşek					0-10 % Pek az					<1 Seyrek				
N 3-4 Yumuşak					N 5-10 Gevşek					10-20 % Az					1-2 Orta				
N 5-8 Orta Katı					N 11-30 Orta Sıkı					20-35 % Çok					2-10 Sık				
N 9-15 Katı					N 31-50 Sıkı					35-50 % Ve					10-20 Çok Sık				
N 16-30 Çok Katı					N >50 Çok Sıkı										>20 Parçalı				
N >30 Sert																			
Dayanımlılık					Ayrışma Derecesi					Kaya Kalitesi Tanımı(RQD)					Kısaltmalar				
I Çok Zayıf					I Taze					0-25 % Çok Kötü					UD Örselenmemiş, DS Örselenmiş				
II Zayıf					II Az Ayrışmış					25-50 % Kötü					TCR Toplam Karot Yüzdesi				
III Orta					III Orta Ayrışmış					50-75 % Orta					TSCR Çapını Koruyan Karot %				
IV Dayanımlı					IV Çok Ayrışmış					75-90 % İyi					VST Veyn Deneyi				
V Çok Dayanımlı					V Tamamen Ayrışmış					90-100 % Çok İyi					BST Basınçlı Su Deneyi				
					VI Kalıntı										K/C Karot Örnek				

EK-6 Enjeksiyon sonrasına ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																			
Yüklenici Firma		0															İşveren		
Proje Adı		ESKİL ULU CAMİİ ZEMİN ETÜTÜ																	
İl		KONYA		Sondaj Derinliği(m)		20		Sondaj No		SK-3									
İlçe		ESKİL		Başlama Tarihi		00.01.00		Sayfa No		2/2									
Mahalle/Köy		MERKEZ		Bitiş Tarihi		00.01.00		Sorumlu Jeoloji Mühendisi											
Pafta		0		Makine Tipi/Metodu		ROTARY D750		LEVENT AKKUŞ											
Ada		460		SPT Şahmerdan Tipi		OTOMATİK													
Parsel		2		Delgi Çapı		120mm													
Sondaj Kotu		950		Yeraltı Suyu(m)		Derinlik		Tarih		Açıklama									
Koordinant		X: 0				YOK						Sondör							
(WGS-84)		Y: 0										A							
Sondaj Derinliği (m)	Muhafaza Bonusu Derinliği	Kuyu İçeri Deney/ler	Örnek Derinliği (m)	Örnek Türü ve No	Standard Penetrasyon Testi (SPT)				Presiyometre Deneyi (P)		Kaya Özellikleri						Zemin Profili	Zemin Tanımlaması	Sondaj Derinliği (m)
					Darbe Sayısı				Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Limit Basınç (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı	Dayanım			
					0-15	15-30	30-45	N											
15.0																			15.0
16.0											20	5	0	III	>20	III			16.0
17.0																			17.0
18.0											40	20	20	III	>20	III			18.0
19.0																			19.0
20.0											35	0	0	III	>20	III			20.0
21.0																			21.0
22.0																			22.0
23.0																			23.0
24.0																			24.0
25.0																			25.0
26.0																			26.0
27.0																			27.0
28.0																			28.0
29.0																			29.0
30.0																			30.0
Kıvam Durumu (İnce Taneli)					Sıklık (İri Taneli)					Oranlar					Kırıklar/30cm				
N 0-2 Çok Yumuşak					N 0 - 4 Çok Gevşek					0-10 % Pek az					<1 Seyrek				
N 3-4 Yumuşak					N 5-10 Gevşek					10-20 % Az					1-2 Orta				
N 5-8 Orta Katı					N 11-30 Orta Sıkı					20-35 % Çok					2-10 Sık				
N 9-15 Katı					N 31-50 Sıkı					35-50 % Ve					10-20 Çok Sık				
N 16-30 Çok Katı					N >50 Çok Sıkı										>20 Parçalı				
N >30 Sert																			
Dayanım					Ayrışma Derecesi					Kaya Kalitesi Tanımı (RQD)					Kısaltmalar				
I Çok Zayıf					I Taze					0-25 % Çok Kötü					UD Örselenmemiş, DS Örselenmiş				
II Zayıf					15					III					TCR Toplam Karot Yüzdesi				
III Orta					III Orta Ayrışmış					50-75 % Orta					TSCR Çapını Korumayan Karot %				
IV Dayanımlı					25					75-90 % İyi					VST Veyn Deneyi				
V Çok Dayanımlı					V Tamamen Ayrışmış					90-100 % Çok İyi					BST Basınçlı Su Deneyi				
					VI Kalıntı										K/C Karot Örneği				

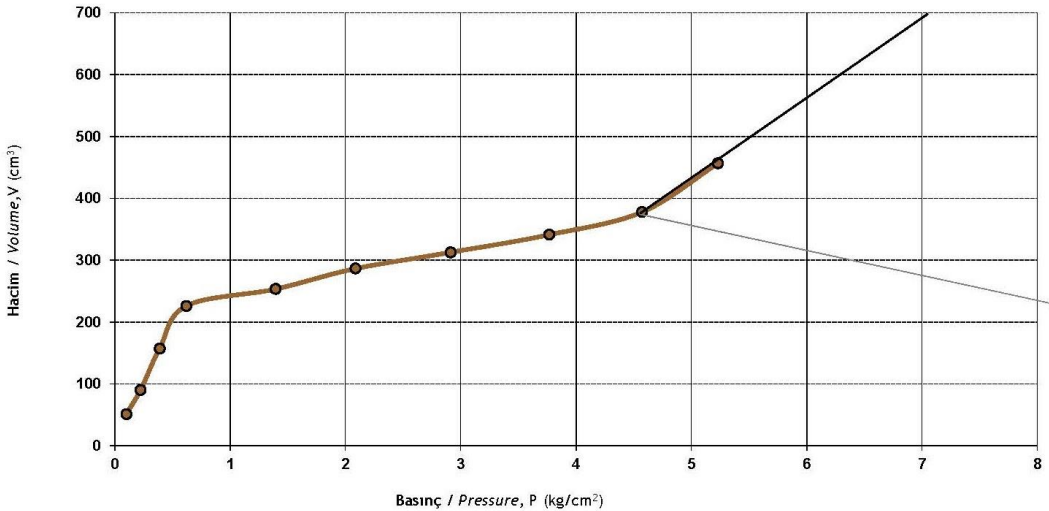
EK-7 Enjeksiyon sonrasına ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																			
Yüklenici Firma		0										İşveren							
Proje Adı		ESKİL ULU CAMİİ ZEMİN ETÜTÜ										0							
İl		KONYA		Sondaj Derinliği(m)		20		Sondaj No		SK-4									
İlçe		ESKİL		Başlama Tarihi		0.01.1900		Sayfa No		1/2									
Mahalle/Köy		MERKEZ		Bitiş Tarihi		0.01.1900		Sorumlu Jeoloji Mühendisi		LEVENT AKKUŞ									
Pafta		0		Makine Tipi/Metodu		ROTARY D750													
Ada		460		SPT Şahmerdan Tipi		OTOMATİK													
Parsel		2		Delgi Çapı		120mm													
Sondaj Kotu		950		Yeraltı Suyu(m)		Derinlik		Tarih		Açıklama									
Koordinant		X: 0				YOK						Sondör							
(WGS-84)		Y: 0										A							
Sondaj Derinliği (m)	Muhafaza Borusu Derinliği	Kuyu İçi Deneyler	Örnek Derinliği (m)	Örnek Türü ve No	Standart Penetrasyon Testi (SPT)			Presiyometre Deneyi (P)		Kaya Özellikleri					Zemin Profili	Zemin Tanımlaması	Sondaj Derinliği (m)		
					Darbe Sayısı			Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Limit Basınç (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı				Dayanım	
0.0					0-15	15-30	30-45	N											
1.0																			
2.0			2.00	UD															
3.0																			
4.0																			
5.0																			
6.0										20	5	0	III	>20	III				
7.0																			
8.0										33	8	0	III	>20	III				
9.0																			
10.0										25	5	0	III	>20	III				
11.0																			
12.0										30	10	5	III	>20	III				
13.0																			
14.0										40	25	20	III	>20	III				
15.0																			
Kıvam Durumu (İnce Taneli)					Sıklık (İri Taneli)					Oranlar					Kırıklar/30cm				
N 0-2 Çok Yumuşak					N 0-4 Çok Gevşek					0-10 % Pek az					<1 Seyrek				
N 3-4 Yumuşak					N 5-10 Gevşek					10-20 % Az					1-2 Orta				
N 5-8 Orta Katı					N 11-30 Orta Sıkı					20-35 % Çok					2-10 Sık				
N 9-15 Katı					N 31-50 Sıkı					35-50 % Ve					10-20 Çok Sık				
N 16-30 Çok Katı					N >50 Çok Sıkı										>20 Parçalı				
N >30 Sert																			
Dayanımlılık					Ayrışma Derecesi					Kaya Kalitesi Tanımı(RQD)					Kısaltmalar				
I Çok Zayıf					I Taze					0-25 % Çok Kötü					UD Örselenmemiş, DS Örselenmiş				
II Zayıf					II Az Ayrışmış					25-50 % Kötü					TCR Toplam Karot Yüzdesi				
III Orta					III Orta Ayrışmış					50-75 % Orta					TSCR Çapını Koruyan Karot %				
IV Dayanımlı					IV Çok Ayrışmış					75-90 % İyi					VST Veyn Deneyi				
V Çok Dayanımlı					V Tamamen Ayrışmış					90-100 % Çok İyi					BST Basınçlı Su Deneyi				
					VI Kalıntı										K/C Karot Örnek				

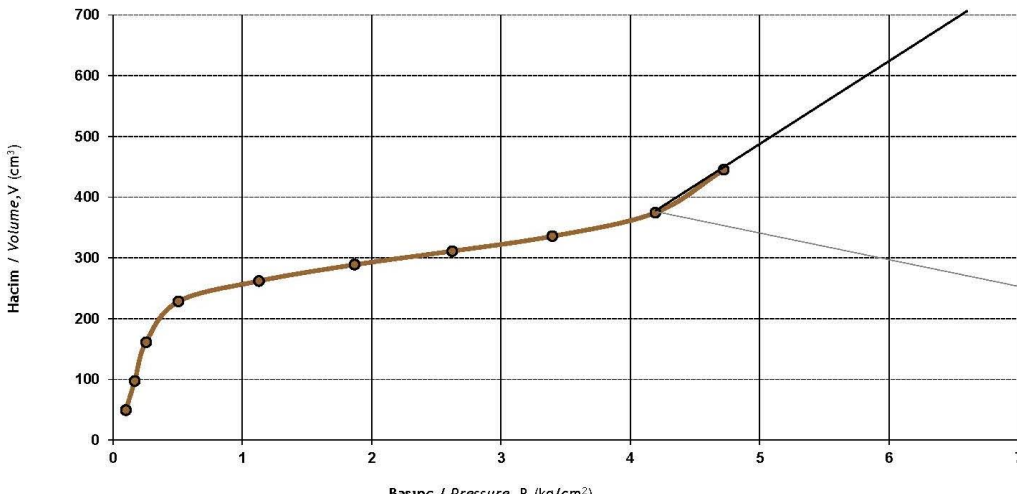
EK-8 Enjeksiyon sonrasına ait sondaj logu

SONDAJ LOGU																				
Yüklenici Firma		0										İşveren								
Proje Adı		ESKİL ULU CAMİLİ ZEMİN ETÜTÜ																		
İl		KONYA		Sondaj Derinliği(m)		20		Sondaj No		SK-4										
İlçe		ESKİL		Başlama Tarihi		00.01.00		Sayfa No		2/2										
Mahalle/Köy		MERKEZ		Bitiş Tarihi		00.01.00		Sorumlu Jeoloji Mühendisi												
Pafta		0		Makine Tipi/Metodu		ROTARY D750		LEVENT AKKUŞ												
Ada		460		SPT Şahmerdan Tipi		OTOMATİK														
Parsel		2		Delgi Çapı		120mm														
Sondaj Kotu		950		Yeraltı Suyu(m)		Derinlik		Tarih		Açıklama										
Koordinant		X: 0				YOK				Sondör										
(WGS-84)		Y: 0								A										
Sondaj Derinliği (m)	Muhafaza Borusu Derinliği (m)	Kuyu İç Deneyler	Örnek Derinliği (m)	Örnek Türü ve No	Standart Penetrasyon Testi (SPT)				Presiyometre Deneyi (P)		Kaya Özellikleri					Zemin Profili	Zemin Tanımlaması	Sondaj Derinliği (m)		
					Darbe Sayısı				Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Limit Basıncı (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı				Dayanım	
15.0					0-15	15-30	30-45	N												
16.0											38	5	0	III	>20	III				
17.0																				
18.0											30	0	0	III	>20	III				
19.0																				
20.0											25	0	0	III	>20	III				
21.0																				
22.0																				
23.0																				
24.0																				
25.0																				
26.0																				
27.0																				
28.0																				
29.0																				
30.0																				
Kıvam Durumu (İnce Taneli)					Sıklık (İri Taneli)					Oranlar					Kırıklar/30cm					
N 0-2 Çok Yumuşak					N 0 - 4 Çok Gevşek					0-10 % Pek az					<1 Seyrek					
N 3-4 Yumuşak					N 5-10 Gevşek					10-20 % Az					1-2 Orta					
N 5-8 Orta Katı					N 11-30 Orta Sıkı					20-35 % Çok					2-10 Sık					
N 9-15 Katı					N 31-50 Sıkı					35-50 % Ve					10-20 Çok Sık					
N 16-30 Çok Katı					N >50 Çok Sıkı										>20 Parçalı					
N >30 Sert																				
Dayanım					Ayrışma Derecesi					Kaya Kalitesi Tanımı (RQD)					Kısaltmalar					
I Çok Zayıf					I Taze					0-25 % Çok Kötü					UD Örselenmemiş, DS Örselenmiş					
II Zayıf					15					III					TCR Toplam Karot Yüzdesi					
III Orta					III Orta Ayrışmış					50-75 % Orta					TSCR Çapını Koruyan Karot %					
IV Dayanımlı					25					75-90 % İyi					VST Veyn Deneyi					
V Çok Dayanımlı					V Tamamen Ayrışmış					90-100 % Çok İyi					BST Basıncılı Su Deneyi					
					VI Kalıntı										K/C Karot Örneke					

EK-9 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>	Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) Zero <i>Volumeter Reading Corresponds to V₀</i>		535	
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>	SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>	1,00	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>		2,00	
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>	-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>	-	Tarih <i>Date of Test</i>		-	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması 1 min. <i>volumeter reading</i> cm ³	[2]+ Hidrostatik Basınç <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm ³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm ³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm ²	Düzeltilmiş Basınç <i>Corrected Pressure</i> kg/cm ²
0	0,00	51,00	0,10	0,00	51,00	0,00	0,10
1	0,60	90,00	0,70	0,00	90,00	0,48	0,22
2	1,50	157,00	1,60	0,00	157,00	1,21	0,39
3	2,40	226,00	2,50	0,00	226,00	1,88	0,62
4	3,40	255,00	3,50	1,65	253,35	2,10	1,40
5	4,40	290,00	4,50	3,74	286,26	2,41	2,09
6	5,40	318,00	5,50	5,57	312,43	2,59	2,91
7	6,40	348,00	6,50	7,00	341,00	2,73	3,77
8	7,40	386,00	7,50	8,32	377,68	2,93	4,57
9	8,60	466,00	8,70	9,60	456,40	3,47	5,23
Belirlenen Değerler / Assesed Values				Limit Bas. <i>P_L</i> (kg/cm ²)	7,10	Elastisite Modülü <i>E_m</i> (kg/cm ²)	
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
							
P_i (kg/cm²)	0,62	V_i (cm³)	226,00	ΔP (kg/cm²)	3,95	P_L - P_i (kg/cm²)	6,48
P_f (kg/cm²)	4,57	V_f (cm³)	377,68	ΔV (cm³)	151,68	E / P_L	8,16

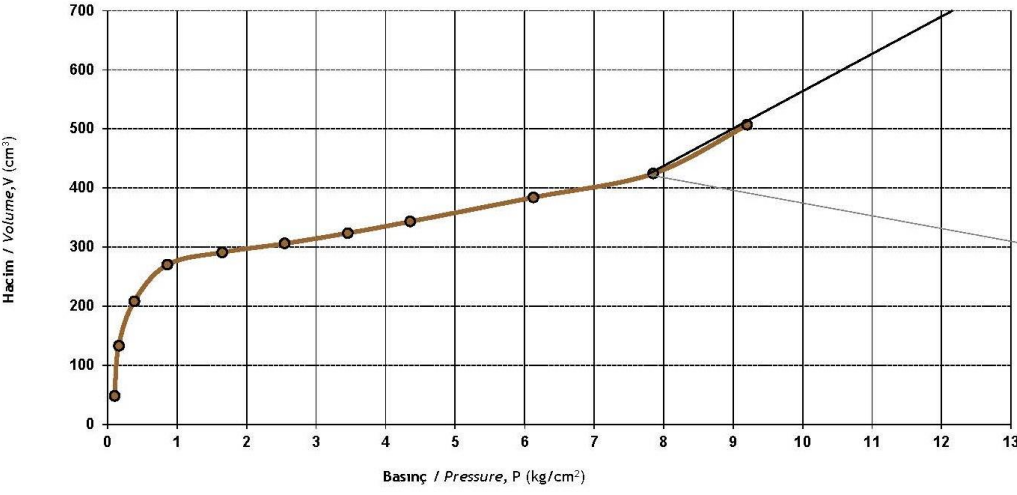
EK-10 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>		Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>		BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) Zero <i>Volumeter Reading Corresponds to V_o</i>	
						535	
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>		SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>		1,00	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>	
						4,00	
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>		-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>		-	Tarih <i>Date of Test</i>	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm ³	[2]+ Hidrostatik Basınç <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm ³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm ³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm ²	Düzeltilmiş Basınç <i>Corrected Pressure</i> kg/cm ²
0	0,00	49,00	0,10	0,00	49,00	0,00	0,10
1	0,60	97,00	0,70	0,00	97,00	0,53	0,17
2	1,40	161,00	1,50	0,00	161,00	1,24	0,26
3	2,30	228,00	2,40	0,00	228,00	1,89	0,51
4	3,20	263,00	3,30	1,24	261,76	2,17	1,13
5	4,20	292,00	4,30	3,32	288,68	2,43	1,87
6	5,10	316,00	5,20	5,14	310,86	2,58	2,62
7	6,00	342,00	6,10	6,42	335,58	2,70	3,40
8	7,00	382,00	7,10	7,86	374,14	2,91	4,19
9	8,00	454,00	8,10	8,96	445,04	3,38	4,72
Belirlenen Değerler / Assesed Values				Limit Bas. <i>P_L (kg/cm²)</i>	6,50	Elastisite Modülü <i>E_m (kg/cm²)</i>	56,00
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
							
P_i (kg/cm²)	0,51	V_i (cm³)	228,00	ΔP (kg/cm²)	3,68	P_L - P_i (kg/cm²)	5,99
P_f (kg/cm²)	4,19	V_f (cm³)	374,14	ΔV (cm³)	146,14	E / P_L	8,62

EK-11 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>	Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) Zero <i>Volumeter Reading Corresponds to V₀</i>		535	
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>	SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>	1,00	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>		6,00	
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>	-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>	15,00	Tarih <i>Date of Test</i>		-	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm ³	[2]+ Hidrostatik Basınc <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm ³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm ³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm ²	Düzeltilmiş Basınc <i>Corrected Pressure</i> kg/cm ²
0	0,00	48,00	0,10	0,00	48,00	0,00	0,10
1	1,00	131,00	1,10	0,00	131,00	0,91	0,19
2	2,00	206,00	2,10	0,00	206,00	1,69	0,41
3	3,00	270,00	3,10	0,83	269,17	2,23	0,87
4	4,00	293,00	4,10	2,90	290,10	2,44	1,66
5	5,00	311,00	5,10	5,00	306,00	2,56	2,54
6	7,00	346,00	7,10	7,86	338,14	2,72	4,38
7	9,00	385,00	9,10	10,03	374,97	2,92	6,18
8	11,00	432,00	11,10	11,78	420,22	3,22	7,88
9	13,00	520,00	13,10	13,22	506,78	3,90	9,20
Belirlenen Değerler / Assesed Values			↘	Limit Bas. <i>P_L</i> (kg/cm ²)	10,30	Elastisite Modülü <i>E_m</i> (kg/cm ²)	108,60
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
Hacim / Volume, V (cm³) Basınc / Pressure, P (kg/cm²)							
P_i (kg/cm²)	0,87	V_i (cm³)	269,17	ΔP (kg/cm²)	7,01	P_L - P_i (kg/cm²)	9,43
P_f (kg/cm²)	7,88	V_f (cm³)	420,22	ΔV (cm³)	151,05	E / P_L	10,54

EK-12 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>	Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) Zero <i>Volumeter Reading Corresponds to V₀</i>		535	
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>	SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>	1,00	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>		8,00	
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>	-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>	-	Tarih <i>Date of Test</i>		-	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm ³	[2]+ Hidrostatik Basıncı <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm ³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm ³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm ²	Düzeltilmiş Basıncı <i>Corrected Pressure</i> kg/cm ²
0	0,00	48,00	0,10	0,00	48,00	0,00	0,10
1	1,00	133,00	1,10	0,00	133,00	0,94	0,16
2	2,00	208,00	2,10	0,00	208,00	1,72	0,38
3	3,00	271,00	3,10	0,83	270,17	2,24	0,86
4	4,00	294,00	4,10	2,90	291,10	2,45	1,65
5	5,00	311,00	5,10	5,00	306,00	2,56	2,54
6	6,00	330,00	6,10	6,42	323,58	2,65	3,45
7	7,00	351,00	7,10	7,86	343,14	2,75	4,35
8	9,00	394,00	9,10	10,03	383,97	2,97	6,13
9	11,00	436,00	11,10	11,78	424,22	3,25	7,85
10	13,00	520,00	13,10	13,22	506,78	3,90	9,20
Belirlenen Değerler / Assesed Values				Limit Bas. P _L (kg/cm ²)	12,10	Elastisite Modülü E _m (kg/cm ²)	106,48
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
							
P _i (kg/cm ²)	0,86	V _i (cm ³)	270,17	ΔP (kg/cm ²)	6,99	P _L - P _i (kg/cm ²)	11,24
P _f (kg/cm ²)	7,85	V _f (cm ³)	424,22	ΔV (cm ³)	154,05	E / P _L	8,80

EK-13 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>		Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>		BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) <i>Zero Volumeter Reading Corresponds to V₀</i>	
						535	
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>		SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>		0,70	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>	
						10,00	
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>		-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>		-	Tarih <i>Date of Test</i>	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm ³	[2]+ Hidrostatik Basıncı <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm ³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm ³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm ²	Düzeltilmiş Basıncı <i>Corrected Pressure</i> kg/cm ²
0	0,00	45,00	0,07	0,00	45,00	0,00	0,07
1	1,20	142,00	1,27	0,00	142,00	1,08	0,19
2	2,60	251,00	2,67	0,00	251,00	2,07	0,60
3	4,00	263,00	4,07	2,90	260,10	2,17	1,90
4	6,00	267,00	6,07	6,42	260,58	2,21	3,86
5	8,00	270,00	8,07	8,96	261,04	2,23	5,84
6	10,00	274,00	10,07	11,07	262,93	2,27	7,80
7	13,00	277,00	13,07	13,22	263,78	2,29	10,78
8	16,00	281,00	16,07	15,44	265,56	2,33	13,74
9	19,00	284,00	19,07	18,12	265,88	2,36	16,71
10	22,00	288,00	22,07	20,79	267,21	2,39	19,68
11	25,00	292,00	25,07	22,39	269,61	2,43	22,64
Belirlenen Değerler / Assesed Values			↘	Limit Bas. <i>P_L (kg/cm²)</i>	22,64	Elastisite Modülü <i>E_m (kg/cm²)</i>	4640,03
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
Hacim / Volume, V (cm³) Basıncı / Pressure, P (kg/cm²)							
P_i (kg/cm²)	1,90	V_i (cm³)	260,10	ΔP (kg/cm²)	20,74	P_L - P_i (kg/cm²)	20,74
P_f (kg/cm²)	22,64	V_f (cm³)	269,61	ΔV (cm³)	9,51	E / P_L	223,72

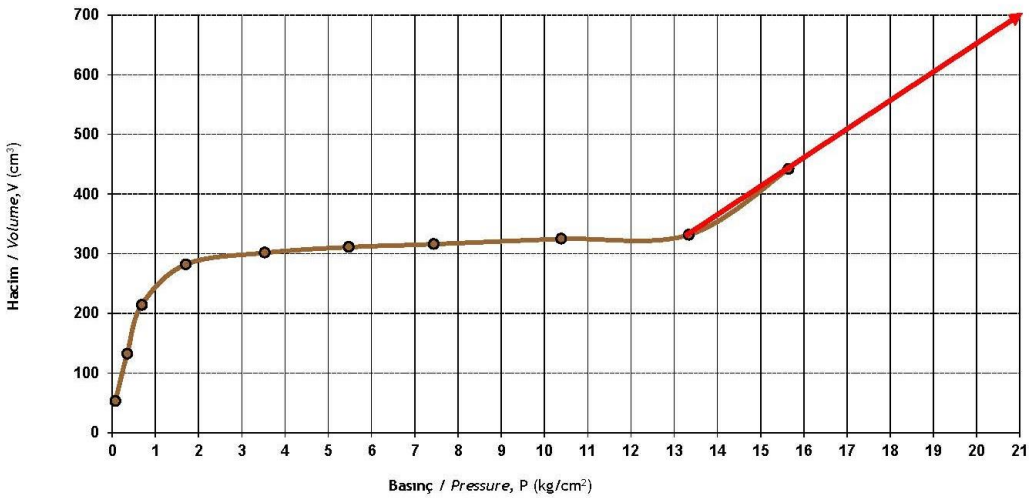
EK-14 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>	Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) <i>Zero Volumeter Reading Corresponds to V_o</i>		535	
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>	SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>	0,70	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>		12,00	
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>	-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>	-	Tarih <i>Date of Test</i>		-	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm³	[2]+ Hidrostatik Basıncı <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm²	Düzeltilmiş Basıncı <i>Corrected Pressure</i> kg/cm²
0	0,00	53,00	0,07	0,00	53,00	0,00	0,07
1	1,20	130,00	1,27	0,00	130,00	0,90	0,37
2	3,50	228,00	3,57	1,86	226,14	1,89	1,68
3	5,00	260,00	5,07	5,00	255,00	2,15	2,92
4	7,00	264,00	7,07	7,86	256,14	2,18	4,89
5	9,00	268,00	9,07	10,03	257,97	2,21	6,86
6	11,00	273,00	11,07	11,78	261,22	2,26	8,81
7	14,00	276,00	14,07	13,96	262,04	2,28	11,79
8	17,00	279,00	17,07	16,18	262,82	2,31	14,76
9	20,00	283,00	20,07	19,37	263,63	2,35	17,72
10	23,00	287,00	23,07	21,33	265,67	2,39	20,68
11	26,00	291,00	26,07	22,93	268,07	2,42	23,65
Belirlenen Değerler / Assesed Values			↙	Limit Bas. <i>P_L (kg/cm²)</i>	23,65	Elastisite Modülü <i>E_m (kg/cm²)</i>	3360,55
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
Basıncı / Pressure, P (kg/cm²)							
P_i (kg/cm²)	2,92	V_i (cm³)	255,00	ΔP (kg/cm²)	20,73	P_L - P_i (kg/cm²)	20,73
P_f (kg/cm²)	23,65	V_f (cm³)	268,07	ΔV (cm³)	13,07	E / P_L	162,11

EK-15 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>	Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) <i>Zero Volumeter Reading Corresponds to V₀</i>		535	
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>	SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>	0,70	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>		14,00	
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>	-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>	-	Tarih <i>Date of Test</i>		-	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm³	[2]+ Hidrostatik Basınç <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm²	Düzeltilmiş Basınç <i>Corrected Pressure</i> kg/cm²
0	0,00	47,00	0,07	0,00	47,00	0,00	0,07
1	1,20	138,00	1,27	0,00	138,00	1,02	0,25
2	2,70	275,00	2,77	0,21	274,79	2,28	0,49
3	4,00	332,00	4,07	2,90	329,10	2,66	1,41
4	6,00	348,00	6,07	6,42	341,58	2,73	3,34
5	8,00	357,00	8,07	8,96	348,04	2,78	5,29
6	10,00	362,00	10,07	11,07	350,93	2,80	7,27
7	13,00	372,00	13,07	13,22	358,78	2,86	10,21
8	16,00	381,00	16,07	15,44	365,56	2,90	13,17
9	19,00	390,00	19,07	18,12	371,88	2,95	16,12
10	22,00	395,00	22,07	20,79	374,21	2,98	19,09
11	25,00	402,00	25,07	22,39	379,61	3,02	22,05
Belirlenen Değerler / Assesed Values			↘	Limit Bas. <i>P_L (kg/cm²)</i>	22,05	Elastisite Modülü <i>E_m (kg/cm²)</i>	966,69
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
Hacim / Volume, V (cm³) Basınç / Pressure, P (kg/cm²)							
P _i (kg/cm²)	1,41	V _i (cm³)	329,10	ΔP (kg/cm²)	20,64	P _L - P _i (kg/cm²)	20,64
P _f (kg/cm²)	22,05	V _f (cm³)	379,61	ΔV (cm³)	50,51	E / P _L	46,84

EK-16 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>		Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm³) <i>Zero Volumeter Reading Corresponds to V₀</i>		535
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>		SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>	0,70	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>		16,00
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>		-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>	-	Tarih <i>Date of Test</i>		-
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm ³	[2]+ Hidrostatik Basınc <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm ³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm ³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm ²	Düzeltilmiş Basınc <i>Corrected Pressure</i> kg/cm ²
0	0,00	53,00	0,07	0,00	53,00	0,00	0,07
1	1,20	132,00	1,27	0,00	132,00	0,92	0,35
2	2,40	214,00	2,47	0,00	214,00	1,79	0,68
3	4,00	285,00	4,07	2,90	282,10	2,37	1,70
4	6,00	308,00	6,07	6,42	301,58	2,54	3,53
5	8,00	320,00	8,07	8,96	311,04	2,60	5,47
6	10,00	327,00	10,07	11,07	315,93	2,63	7,44
7	13,00	338,00	13,07	13,22	324,78	2,68	10,39
8	16,00	347,00	16,07	15,44	331,56	2,73	13,34
9	19,00	460,00	19,07	18,12	441,88	3,42	15,65
Belirlenen Değerler / Assesed Values				Limit Bas. P _L (kg/cm ²)	21,00	Elastisite Modülü E _m (kg/cm ²)	526,99
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
							
P _i (kg/cm ²)	1,70	V _i (cm ³)	282,10	ΔP (kg/cm ²)	11,64	P _L - P _i (kg/cm ²)	19,30
P _f (kg/cm ²)	13,34	V _f (cm ³)	331,56	ΔV (cm ³)	49,46	E / P _L	27,31

EK-17 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ							
PROJE ADI <i>Project Name</i>	AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI						
Presiyometre Türü <i>Type of Pressuremeter</i>	Menard GC	Sonda Çapı (mm) <i>Diameter of Probe</i>	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm ³) <i>Zero Volumeter Reading Corresponds to V₀</i>	535		
Kuyu No. <i>Borehole Number</i>	SK-1	Manometre Yüksekliği (m) <i>Height of Manometer</i>	0,70	Deney Derinliği (m) <i>Test Depth</i>	18,00		
Zemin Tipi <i>Type of Soil</i>	-	Yeraltı Su Seviyesi (m) <i>Water Level (GWL)</i>	-	Tarih <i>Date of Test</i>	-		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı <i>Increment</i>	Deney Basıncı <i>Volumeter Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması <i>1 min. volumeter reading</i> cm ³	[2]+ Hidrostatik Basıncı <i>[2]+ Hydrostatic Pressure</i> kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi <i>Volume Correction</i> cm ³	Düzeltilmiş Hacim <i>Corrected Volume</i> cm ³	Mebran Düzeltmesi <i>Membrane Correction</i> kg/cm ²	Düzeltilmiş Basıncı <i>Corrected Pressure</i> kg/cm ²
0	0,00	51,00	0,07	0,00	51,00	0,00	0,07
1	1,30	127,00	1,37	0,00	127,00	0,85	0,52
2	2,60	242,00	2,67	0,00	242,00	2,00	0,67
3	4,00	250,00	4,07	2,90	247,10	2,06	2,01
4	6,00	255,00	6,07	6,42	248,58	2,10	3,97
5	8,00	260,00	8,07	8,96	251,04	2,15	5,92
6	11,00	265,00	11,07	11,78	253,22	2,19	8,88
7	15,00	269,00	15,07	14,70	254,30	2,22	12,85
8	19,00	273,00	19,07	18,12	254,88	2,26	16,81
9	23,00	277,00	23,07	21,53	255,47	2,29	20,78
10	27,00	280,00	27,07	24,00	256,00	2,32	24,75
Belirlenen Değerler / <i>Assessed Values</i>			↘	Limit Bas. <i>P_L</i> (kg/cm ²)	24,75	Elastisite Modülü <i>E_m</i> (kg/cm ²)	5333,99
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / <i>Corrected Pressuremeter Curve</i>							
Basıncı / <i>Pressure, P</i> (kg/cm²)							
P _i (kg/cm ²)	2,01	V _i (cm ³)	247,10	ΔP (kg/cm ²)	22,69	P _L - P _i (kg/cm ²)	22,74
P _f (kg/cm ²)	24,70	V _f (cm ³)	256,00	ΔV (cm ³)	8,90	E / P _L	234,56

EK-18 Presiyometre Deney Föyü

PRESİYOMETRE DENEY FÖYÜ

PROJE ADI Project Name		AKSARAY ESKİL ULU CAMİ ENJEKSİYON KONTROL GPR ÇALIŞMASI					
Presiyometre Türü Type of Pressuremeter	Menard GC	Sonda Çapı (mm) Diameter of Probe	BX	Sıfır Vol. Okumasındaki Hacim (cm ³) Zero Volumeter Reading Corresponds to V ₀	535		
Kuyu No. Borehole Number	SK-1	Manometre Yüksekliği (m) Height of Manometer	0,70	Deney Derinliği (m) Test Depth	20,00		
Zemin Tipi Type of Soil	-	Yeraltı Su Seviyesi (m) Water Level (GWL)	-	Tarih Date of Test	-		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Kademe Artışı Increment	Deney Basıncı Volumeter Pressure kg/cm ²	Hacim Ölçer Okuması 1 min. volumeter reading cm ³	[2]+ Hidrostatik Basıncı [2]+ Hydrostatic Pressure kg/cm ²	Hacim Düzeltmesi Volume Correction cm ³	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume cm ³	Mebran Düzeltmesi Membrane Correction kg/cm ²	Düzeltilmiş Basıncı Corrected Pressure kg/cm ²
0	0,00	52,00	0,07	0,00	52,00	0,00	0,07
1	1,10	126,00	1,17	0,00	126,00	0,84	0,33
2	2,40	249,00	2,47	0,00	249,00	2,06	0,41
3	3,90	258,00	3,97	2,69	255,31	2,13	1,84
4	5,70	271,00	5,77	6,00	265,00	2,24	3,53
5	7,50	283,00	7,57	8,43	274,57	2,35	5,22
6	9,00	294,00	9,07	10,03	283,97	2,45	6,62
7	11,00	307,00	11,07	11,78	295,22	2,54	8,53
8	14,00	322,00	14,07	13,96	308,04	2,61	11,46
9	18,00	327,00	18,07	16,93	310,07	2,63	15,44
10	22,00	348,00	22,07	21,08	326,92	2,73	19,34
11	26,00	351,00	26,07	24,00	327,00	2,75	23,32
Belirlenen Değerler / Assesed Values			↘	Limit Bas. P _L (kg/cm ²)	26,00	Elastisite Modülü E _m (kg/cm ²)	658,44
DÜZELTİLMİŞ PRESİYOMETRE EĞRİSİ / Corrected Pressuremeter Curve							
Hacim / Volume, V (cm³) Basıncı / Pressure, P (kg/cm²)							
P _i (kg/cm ²)	1,84	V _i (cm ³)	255,31	ΔP (kg/cm ²)	21,48	P _L - P _i (kg/cm ²)	24,16
P _f (kg/cm ²)	23,32	V _f (cm ³)	327,00	ΔV (cm ³)	71,69	E / P _L	27,25