T.C.
ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREMDE HASAR GÖREN TESCİLLİ YAPILARIN UYGUN ZEMİN ISLAH YÖNTEMİNE GÖRE İYİLEŞTİRİLMESİ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER ÖNCEL

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MEHMET SÖYLEMEZ

ADIYAMAN, 2024

ÖZET

DEPREMDE HASAR GÖREN TESCİLLİ YAPILARIN UYGUN ZEMİN ISLAH YÖNTEMİNE GÖRE İYİLEŞTİRİLMESİ UYGULAMASI

Ömer ÖNCEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eylül/2024, Sayfa: 133
Danışman: Doç. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

Türkiye birçok tarihi, kültürel ve doğal alana sahip bulunmaktadır. Bu durum, hem olumlu hem de olumsuz bazı sonuçlara sebep olmaktadır. Tarihi yapıların bolluğu, birden fazla deprem kuşağındaki konumu, zaman içerisinde çeşitli etkenler nedeniyle bu yapıların çeşitli şekillerde zarar görmesinin önüne geçilememektedir. Yıllar içerisinde yapılarda meydana gelen zararların yanı sıra, zeminde yaşanan önemli sorunlar bu yapıların kaymasına, yıkılmasına, çökmesine ve yok olmasına kadar telafisi mümkün olmayan birçok zararı gündeme getirmektedir. Çalışmamız içerisinde de, zemin ıslah yöntemleri tasnif edilmek sureti ile çeşitli tescilli örnek yapılarda hangi zemin ıslah yöntemlerinin neden uygulandığı ifade edilmektedir. Böylelikle hem tarihsel hem de kültürel dokunun günümüze ve ileriki nesillere taşınmasını mümkün kılmak olanaklı olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deprem; Kültürel varlıklar; Tescilli yapılar; Zemin ıslah yöntemi; İyileştirme uygulaması.

ABSTRACT

PRACTICE OF IMPROVING REGISTERED BUILDINGS DAMAGED IN EARTHQUAKE ACCORDING TO APPROPRIATE SOİL IMPROVEMENT METHOD

Ömer ÖNCEL
Department of Geotechnical
Adıyaman University, Graduate Education Institute, September/2024, Pages: 133
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

Turkey has many historical, cultural and natural areas. This situation causes some distortions, both positive and negative. Due to the abundance of historical buildings, their location in more than one earthquake zone, and various factors over time, it is impossible to prevent these buildings from being damaged in various ways. In addition to the damages that have occurred in the buildings over the years, the significant problems experienced in the soil cause many irreparable damages suchas slipping, collapse, collapse and destruction of these structures. In our study, soil improvement methods are classified and it is stated which soil improvement methods are applied in various registered sample buildings and why. In this way, it is possible to carry both historical and cultural texture to the present day and to future generations.

Key Words: Earthquake; Cultural assets; Registered buildings; Soil improvement method; Improvement application.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir özveriyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Doç. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ'e teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren ve gelecekteki hayatında çok daha başarılı olacağına inandığım kıymetli Doç. Dr. Arda Burak EKMEN'e ve Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN'a da sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca kıymetli zamanını benim hazırladığım teze ayırıp üniversite hayatımın bu son döneminde bana kattığı her bilgi için Doç. Dr. Ali Serol ERTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer üniversite hocalarımın da bana üniversite hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum.

Ömer ÖNCEL

…/…/2024

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Adıyaman Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ömer ÖNCEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii
ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
GÖRSELLER DİZİNİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR xv
1. GİRİŞ 1
1.1. Tescilli Yapılar 1
1.2. Amaç ve Kapsam 2
2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ 3
2.1. Taş Kolonlar 6
2.2. Derin Karıştırma 7
2.3. Jet Grouting 8
2.4. Enjeksiyon 13
2.5. Fore Kazık, Mini Kazık ve Mikro Kazık 14
2.5.1. Fore kazık 14
2.5.2. Mini kazık 19
2.5.3. Mikro kazık 22
2.6. Kompaksiyon 42
2.7. Sıvılaşma Potansiyeli 44
2.7.1. Basitleştirilmiş hesap yöntemi 46
3. MALZEME VE YÖNTEM 54
3.1. Çalışma Alanının Jeolojisi 54
3.2. Jeofizik Çalışmalar 70
3.2.1. Aktif kaynak çok kanallı yüzey dalgası analizi (Masw) 71

3.2.2. Sismik (kırılma) çalışmaları 77
3.2.3.Mikrotremör çalışma yöntemi 84
3.3. Sondajlar ve Yeraltısuyu 88
3.3.1. Standart penetrasyon deneyi sonuçları (SPT) 91
3.4. Mikro Kazık ve Enjeksiyon Malzemeleri 94
3.4.1. Temel sondaj makinesi 94
3.4.2. Su pompası 95
3.4.3. Diğer sondaj ekipmanı 95
3.4.4. Enjeksiyon pompası 96
3.4.5. Mikserler 97
3.4.6. Çalkalayıcılar 98
3.4.7. Diğer sondaj ekipmanı 98
3.4.8. Bulon demiri 100
3.4.9. Çimento 100
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 102
4.1. Arazi Deneyleri 102
4.2. Laboratuvar Deneyleri 103
4.2.1. Zemin sınıflama ve tanımlama deneyleri 104
4.2.2. Zeminlerde gerilme-deformasyon ve dayanım deneyleri 105
4.2.3. Kaya zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayinine ilişkin deneyler 105
4.3. Taşıma Gücü Hesabı 107
4.4. Oturma Analizi 110
4.5. Sıvılaşma Analizi 113
4.6. Mühendislik Analizi ve Değerlendirme 114
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 124
KAYNAKÇA 126
ÖZ GEÇMİŞ

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Kumlu ve killi zemin cinsine göre uygulanabilecek zemin ıslah yöntemleri 4
Tablo 2.2. İyileştirme yöntemi ve uygulanma amacı 5
Tablo 2.3. SPT N düzeltme katsayıları (Bol vd., 2017) 52
Tablo 3.1. Çok kanallı yüzey dalgası profil yerleşimi 73
Tablo 3.2. Çalışma alanının dinamik-elastik mühendislik parametreleri 76
Tablo 3.3. Yerel zemin sınıfları 77
Tablo 3.4. P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaçların sökülebilirlikleri ve kazınabilirlikleri (Bilgin) 78
Tablo 3.5. Çalışma alanında elde edilen sismik hızlar 79
Tablo 3.6. Çalışma alanında elde edilen sismik hızlar 79
Tablo 3.7. Kohezyonsuz zeminlerin vs hızlarına göre sınıflandırılması (Özaydın, 1982) 79
Tablo 3.8. Çalışma alanında elde edilen Vp/Vs oranları 80
Tablo 3.9. Poisson oranına göre zemin durumu 80
Tablo 3.10. Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990) 81
Tablo 3.11. Elastisite modülü değerlerine göre çalışma alanındaki zemin özellikleri 81
Tablo 3.12. Kayma modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990) 81
Tablo 3.13. Kayma modülü değerlerine göre zemin dayanımı 82
Tablo 3.14. Bulk Modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990) 82
Tablo 3.15. Bulk Modülü değerlerine göre zemin sınıflaması 82
Tablo 3.16. Zemin birimlerinin yoğunluk sınıflaması (Keçeli, 1990) 83
Tablo 3.17. Zemin birimlerinin yoğunluk 83
Tablo 3.18. Sismik çalışmalardan elde edilen parametreler 83
Tablo 3.19. Teknik özellikleri aşağıda gösterilmiştir 85
Tablo 3.20. Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen parametreler 88

Sayfa

Tablo 3.21. (a) Yer hâkim titreşim periyotlarına göre mikrobölgeleme ölçütleri (b) Spektral büyütmelere göre mikrobölgeleme ölçütleri (Ansal Vd.,2004)..... 88
Tablo 3.22. Çalışma alanında yapılan jeoteknik sondajlardaki SPT değerleri 92
Tablo 3.23. Killer için SPT-N, serbest basınç dayanımı ve kıvamlılık ilişkisi (Terzaghi ve Peck,1948) 93
Tablo 3.24. Zeminlerin SPT - N değerlerine göre sıkılık değerlendirmesi (Terzaghi ve Peck,1948)..... 93
Tablo 4.1. Laboratuvar sonuçları 104
Tablo 4.2. Nokta yükleme dayanımına göre kayaç sınıflaması 106
Tablo 4.3. Kaya zeminlerin dayanım sınıflaması (Deere ve Miller, 1967)..... 106
Tablo 4.4. Kayaçlar için önerilen tek eksenli sıkışma dayanımı sınıflandırmaları (Ulusay 2001) 107
Tablo 4.5. Yüzeysel temeller için dayanım katsayıları 107
Tablo 4.6. Temel taşıma gücü hesabı verileri 109
Tablo 4.7. Zemin cinsine göre yatak katsayısı değerleri (E. Şekercioğlu)..... 110
Tablo 4.8. Elastisite modülü tablosu 111
Tablo 4.9. İzin verilebilir oturma miktarları (Uzuner, 1995)..... 113
Tablo 4.10. Mikro kazık çekme deneyi sonuçları 123

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Vibroflotasyon yöntemi ile taş kolon uygulama (Brown, 1977) 6
Şekil 2.2. Derin karıştırma (Bildik, 2017: 3) 7
Şekil 2.3. Jet grouting uygulama aşamaları (Durgunoğlu, 2004) 9
Şekil 2.4. Jet Grouting ekipmanları (Durgunoğlu, 2008) 11
Şekil 2.5. Kompaksiyon enjeksiyonu 14
Şekil 2.6. Fore kazık yapım aşamaları 18
Şekil 2.7. Mini kazık yapım aşamaları 21
Şekil 2.8. Durum 1 mikro kazıkların yük aktarma mekanizması 26
Şekil 2.9. Durum 2 mikro kazık sisteminin mikro kazıklar ve zeminin bir araya gelerek oluşturduğu bileşik bir bloğun gösterimi 27
Şekil 2.10. Mikro kazıkların enjeksiyonlama yöntemlerine göre sınıflandırmanın şematik gösterimleri 30
Şekil 2.11. Tipik mikro kazık kesitleri 31
Şekil 2.12. Köprü ayağında kullanılan mikro kazık kesiti 34
Şekil 2.13. İtalya’da, Milan ve Bergamo arasındaki otoyolun genişletilmesi 35
Şekil 2.14. İtalya'da bir köprü payandasının mikro kazıklarla desteklenmesi 36
Şekil 2.15. Mikro kazıkların viyadük güçlendirmesinde kullanım planları 37
Şekil 2.16. Fransa’da bulunan Tourny Kilisesi'nin temellerinin güçlendirme planı 39
Şekil 2.17. Agrigento Katedral’ın güçlendirmesinde kullanılan mikro kazık planı 39
Şekil 2.18. SPT düzeneği 47
Şekil 2.19. Gerilme azaltma katsayısının derinlikle ve deprem büyüklüğü ile değişimi (Idriss ve Boulanger,2004) 49
Şekil 2.20. CRR-SPT ilişkisi (Seed, 1985) 50
Şekil 2.21. Sıvılaşma potansiyeline bağlı oturma miktarını gösteren abak, (Ishihara ve Yoshimine, 1992) 51
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (MTA, 2014) 55
Şekil 3.2. Jeolojik harita jejandı (MTA, 2014) 56
Şekil 3.3. Genelleştirilmiş Stratigrafik Dikme Kesit (MTA, 2014) 69
Şekil 3.4. İnceleme alanının jeoloji haritası (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx) 70

Şekil 3.5. MASW hatlarının gösterimi 71
Şekil 3.6. Deprem anındaki yıkıcı yüzey dalgası 72
Şekil 3.7. Sismik dalga formları ve SARA DOREMİ model mühendislik sismografı, jeofon 72
Şekil 3.8. Yüzey dalgası dispersiyon eğrisi 75
Şekil 3.9. Düşük-yüksek frekans eğrisi ilişkisi 75
Şekil 3.10. Sismometrenin tepki spektrumu 86
Şekil 3.11. Nakamura yöntemi ile değerlendirme ait veri çözümlemesi akış şeması 87
Şekil 4.1. A1 ve A2 faktörleri (Das, 1984) 112
Şekil 4.2. Oturma diyagramı 112
Şekil 4.3. Hasan Paşa Camii yer bulduru haritası (Google Maps) 115
Şekil 4.4. Restorasyon paftaları (ArtLite, 2023) 116
Şekil 4.5. Mikro kazık + enjeksiyon projesi (Demir, 2024) 120
Şekil 4.6. Mikro kazık + enjeksiyon projesi detayları (Demir, 2024) 121

GÖRSELLER DİZİNİ

Görsel 1.1. Solda Kuva-yi Milliye Müzesi ve sağda İshak Paşa Sarayı örnekleri (Ankara Üniversitesi, 2020: 3) 1
Görsel 2.1. Delici uç ve monitör 13
Görsel 2.2. Fore kazık makinesi ve servis vinci 15
Görsel 2.3. Yardımcı ekipmanlar kova, burgu ve tremie boruları 17
Görsel 2.4. a) Fore kazık donatısı b) Fore kazık çukuru c) Fore kazık donatı yerleşimi 18
Görsel 2.5. Mini kazık düşey kesit ve A - A kesiti 20
Görsel 2.6. Mini kazık delgisi ve donatı yerleştirilmesi 22
Görsel 2.7. YMC 2000 ve Longer 44 mikro kazık sondaj makineleri 32
Görsel 2.8. İspanya'nın Teruel şehrinde yapılan viyadükte mikro kazık uygulaması 37
Görsel 2.9. Kum kompaksiyon kazıklarının denize yerleştirilmesi (Kitazume, 2007) 43
Görsel 2.10. Tamamlanmış kolon görünümü (Raithel vd., 2005) 44
Görsel 3.1. SARA SR04S3-10 3 bileşenli mikrotremör cihazı 85
Görsel 3.2. Sondaj çalışmaları 89
Görsel 3.3. Karot sandığından bir görünüm 90
Görsel 3.4. Yapılan SPT çalışmasından bir görünüm 91
Görsel 3.5. Dış çaplı ve 1 3/8 iç çaplı yarık numune alıcı 92
Görsel 3.6. YMC 2000 mikro kazık sondaj makineleri 94
Görsel 3.7. Su pompası 95
Görsel 3.8. Matkap, tij, muhafaza borusu ve karotiyer 96
Görsel 3.9. Enjeksiyon pompası 97
Görsel 3.10. Mikser 97
Görsel 3.11. Çalkalayıcı 98
Görsel 3.12. Enejksiyon hortumu, manometre, vana ve su saati 100
Görsel 3.13. Bulon demiri 100
Görsel 3.14. Çimento 101
Görsel 4.1. Mikro kazık + enjeksiyon uygulaması delgi işlemi 121
Görsel 4.2. Mikro kazık donatı yerleştirilmesi işlemi 122

Görsel 4.3. Enjeksiyon seti 122
Görsel 4.4. Mikro kazık çekme deneyi 123

SİMGELER VE KISALTMALAR

AFAD	: Afet Yönetimi ve Acil Durum Başkanlığı
C	: Cilt
kg	: Kilogram
KTB	: Kültür ve Turizm Bakanlığı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
S	: Sayı
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti

1. GİRİŞ

1.1. Tescilli Yapılar

Tescilli yapılar, kültür mirası temelinde ele alınan ve taşınmaz olarak değerlendirilen, yıllar içerisinde değerinden hiçbir şey kaybetmeyen ve ülkelerin tarihlerini gün yüzüne çıkaran ve ileriye taşıyan yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha ayrıntılı bilgi edinmek adına kavramsal analiz, özellikler, türleri, tarihi ve kültürel önemi ve koruma statülerine dikkat edilmesi sağlıklı olmaktadır. Tescilli yapılara en iyi örnekler yaygın olarak bilinen Kuva-yi Milliye Müzesi ile İshak Paşa Sarayıdır (Görsel 1.1).

Görsel 1.1. *Solda Kuva-yi Milliye Müzesi ve sağda İshak Paşa Sarayı örnekleri (Ankara Üniversitesi, 2020: 3)*

Tescilli yapılar korunması gereken taşınmaz kültür varlıkları ihtiva etmektedir. Taşınmaz kültür varlıkları çeşitli gruplar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu noktada (T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi):

- Yıkılma tehlikesi bulunan yapılar,
- Bu yapılara ilişkin tadilat ve tamirat işlemleri,
- Taşınmaz kültür varlıklarına ilişkin esaslı onarım,
- Fen ve sağlık şartlarına uygunluk durumları,
- Depreme maruz kalan yapılar,
- Bu yapılara ait parsellerin bölünmesi-birleştirilmesi,
- Diğer birçok önemli kararın alınacağı merciler ve diğer konular ‘’Korunması Gerekli Taşınmaz ve Kültür Varlıklarının Yapı Esasları ve Denetimine Dair Yönetmelik’’ ile incelenebilmektedir.

Tescilli yapılar, birinci grup tescilli yapılar ve ikinci grup tescilli yapılar şeklinde sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Araştırmamız ile tescilli yapılara ait içeriğin incelenmesi, 1. Grup ve 2. Grup yapıların analiz edilmesi, depremde hasar gören tescilli yapılarda hangi zemin ıslah yöntemlerinin kullanılmasının gerektiği ve ne şekilde iyileştirmeler meydana getirdiği analiz edilmektedir.

Araştırmamıza ait amaçlar içerisinde:

- Tescilli yapıların sınıflandırılması,
- Zemin ıslah yöntemlerinin tasnif edilmesi,
- Depremde hasar gören tescilli yapıların aldıkları hasarların tespit edilmesi,
- Depremde hasar gören tescilli yapılara uygun zemin ıslah yöntemlerinin belirlenmesi,
- Söz konusu iyileştirmelerin ortaya çıkardığı etki ve yansımaların analiz edilmesi yer almaktadır.

Araştırmamızın önemi ise tescilli yapıların önemi ile doğru orantılı olarak ele alınabilmektedir. Bunun nedeni ise tescilli yapıların kültürel ve tarihsel mirası ileriye taşımanın somut örnekleri olmasından kaynaklanmaktadır. Tescilli yapılar ile Türk mirasının ve Türk kültürünün ileriki yıllara aktarımı mümkün olmaktadır. Burada deprem kuşakları üzerinde yer alan Türkiye'de bulunan tescilli yapıların uygun zemin ıslah yöntemi ile iyileştirmeler yapılması ve ortaya çıkan başarılı neticeler sayesinde Türk kültür ve tarihinin korunmasının değeri ön plana çıkarılmaktadır.

2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zemin iyileştirme teknikleri, uygulandıkları zeminin yapısını daha sağlam ve güvenilir hale getirmek için çeşitli yöntemlerle sınıflandırılabilir. Kramer'in (1996) çalışmalarında da belirtildiği üzere, bu teknikler temel olarak dört ana başlık altında toplanmaktadır. İlk olarak, zemini oluşturan parçacıkları birbirine daha yakınlaştırarak, zeminin rijitliğini artıran ve daha sıkı bir yapı elde edilmesini sağlayan sıkılaştırma teknikleri öne çıkar. Bu yöntem, zeminin doğal yapısını değiştirmeden, sadece mevcut malzemenin sıkıştırılması yoluyla iyileştirilmesini amaçlar. İkinci olarak, zemini doğrudan güçlendiren teknikler bulunur. Bu teknikler, ahşap, beton, çelik veya sıkıştırılmış çakıl gibi dayanıklı bileşenlerin zemine monte edilmesiyle gerçekleştirilir ve bu sayede zeminin taşıma kapasitesi belirgin şekilde artırılır. Bu yöntemler, özellikle zayıf zeminlerde büyük yapıların inşası sırasında yaygın olarak kullanılır. Üçüncü olarak, sıkıştırma, karıştırma ve enjeksiyon tekniklerdir. Karıştırma tekniğinin temel amacı, zeminin fiziksel yapısını değiştirerek, çimentolu bileşenlerle daha homojen bir karışım elde etmektir. Enjeksiyon yönteminde ise, zeminin rijitliğini artırmak için zemin parçacıklarının bir arada hareket etmesi sağlanır ve çimentolu malzeme zemine enjekte edilerek daha dayanıklı bir yapı oluşturulur. Son olarak, drenaj tekniği, zemindeki aşırı boşluk suyu basıncını azaltmak için uygulanan bir yöntemdir ve özellikle suya doygun zeminlerde önemli bir rol oynar. Bu yöntem, zeminin stabilitesini artırmak ve uzun vadede yapıların güvenliğini sağlamak amacıyla kritik öneme sahiptir (Kramer, 1996).

Bu çeşitli teknikler, farklı zemin tipleri ve mühendislik gereksinimlerine göre seçilerek, zeminin performansını iyileştirmekte ve yapıların güvenliğini sağlamada önemli katkılar sunmaktadır.

Taşıma gücü açısından zayıf, oturma problemleri olan ve sıvılaşma potansiyeli yüksek mühendislik özelliklerine sahip zeminlerle karşılaşıldığında, bu tür zeminlerin iyileştirilmesi için izlenmesi gereken yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür (Altun, 2010):

- İmkân varsa kötü zemin özelliklerine sahip alandan vazgeçip, yapılabiliyorsa mühendislik özellikleri açısında daha sağlam bir zemin profiline sahip yer tercih edilebilir.
- Mühendislik özellikleri açısından mukavemeti yüksek zemin profilini oluşturmak için proje safhasında derin temeller dizayn edilebilir.

- İş makinaları yardımıyla mühendislik özellikleri yetersiz zemin birimi ortamdan uzaklaştırılarak yerine nitelikli, zemini daha iyi hale getirecek malzeme ile dolgu yapılabilir. Yapılacak dolgu kontrollü şekilde fen ve sanat kurallarına uygun şekilde yapılmalıdır.
- Mühendislik özellikleri açısından zayıf zemin üzerinde uygulanacak yapılar bu zayıf zeminin olumsuz özelliklerine göre dizayn edilebilir.
- Dayanımsız zeminleri nitelikli hale getirmek, uygun iyileştirme teknikleriyle mümkündür. Zemin cinsine göre belirlenen bu yöntemler, zeminin taşıma kapasitesini artırmayı, birim hacim ağırlığını yükseltmeyi, boşluk oranını azaltmayı ve geçirgenliği düşürmeyi hedefler. Sıkılaştırma, enjeksiyon, karıştırma ve drenaj gibi teknikler, zemin özelliklerini iyileştirerek daha güvenli ve dayanıklı yapılar inşa etmeye olanak tanır.

İyileştirme yöntemleri uygulanacak zemine göre değişkenlikler gösterebilmektedir. Kumlu ve killi zeminlerde uygulanabilecek iyileştirme yöntemleri gruplara ayrılarak aşağıda verilmiştir (Tablo 2.1'de) (Öztoprak, 2016).

Tablo 2.1. Kumlu ve killi zemin cinsine göre uygulanabilecek zemin ıslah yöntemleri

Killi Zeminler	Kumlu Zeminler
1 Yer Değiştirme ve Kontrollü Dolgu (Mekanik Yöntem)	1 Kompaksiyon Kazığı
2 Ön Yükleme	2 Zemin Kolonları
3 Düşey Drenler (Yükleme ile Konsolidasyon Yöntemi)	3 Kompaksiyon Kazığı
a Kum Dren	a Vibroflotasyon (Taş Kolon)
b Plastik Dren	b Darbeli Kırmataş Kolonu
c Vakum Konsolidasyonu	c Jet Grout Kolonu
d Ozmotik Basınç	3 Patlatma Kompaksiyonu
e Elektro Ozmoz	4 Elektro Şok Kompaksiyonu
4 Kireç Kazıkları	5 Dinamik Konsolidasyon
5 Zemin Kolonları	6 Çakıl Dren
6 Derin Karıştırma Yöntemi	7 Enjeksiyon
7 Jet Grout Kolonları	a Permeasyon Enjeksiyonu
8 Kum Kompaksiyon Kazıkları	b Kompaksiyon Enjeksiyonu
9 Taş Kolonlar	c Çatlatma Enjeksiyonu
d Isıl ve Elektro Kimyasal İşlemler (Kimyasal Reaksiyon)	

İyileştirme yöntemi belirlenirken en önemli durumlardan biri iyileştirmenin ne amaçla yapıldığı hususudur. Ulaşılması hedeflenen yöntemler ve bu iyileştirme yönteminin uygulanma amacı aşağıda tablo halinde verilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. İyileştirme yöntemi ve uygulanma amacı

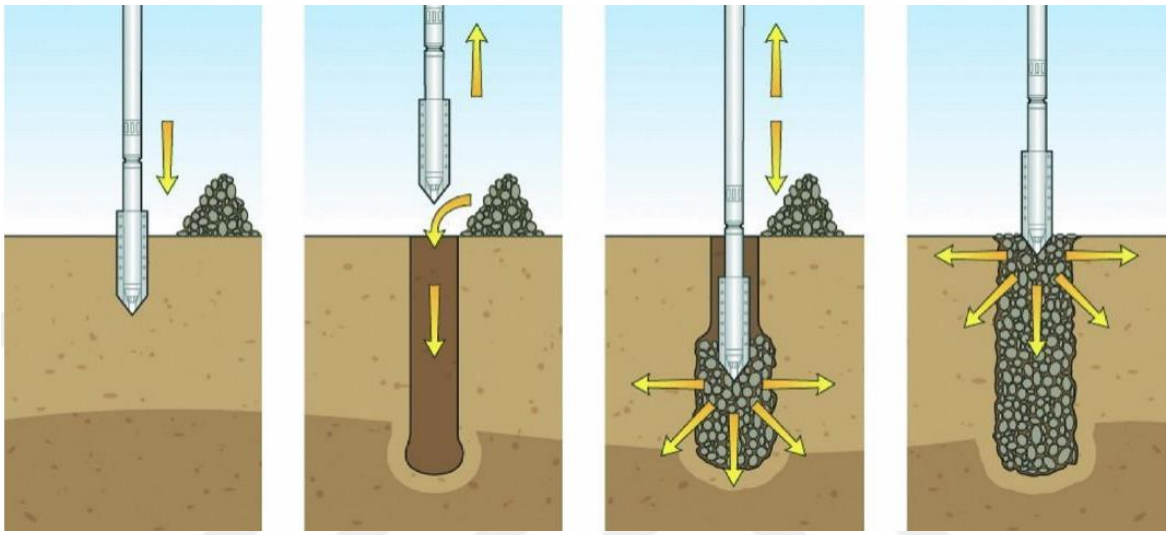
Amaç	Yöntem
• Sıvılaşma Direncini Artırmak • Hareketleri Azaltmak	• Vibrokompaksiyon, Vibro Tij • Taş Kolonlar • Derin Dinamik Kompaksiyon • Patlatma Kompaksiyonu • Çakıl Drenajı • Derin Zemin Karıştırma • Penetrasyon Enjeksiyonu • Jet Enjeksiyonu • Kompaksiyon Enjeksiyonu • Kum ve Çakıl Kompaksiyon Kazıkları
• Farklı Oturmalara Maruz Kalan Yapıyı Sağlamlaştırmak	• Kompaksiyon Enjeksiyonu • Penetrasyon Enjeksiyonu • Jet Enjeksiyonu • Mini Kazıklar
• Çatlatma, Deformasyon ve/veya Farklı Oturmaya Karşı Direnci Artırmak	• Kompaksiyon Enjeksiyonu • Penetrasyon Enjeksiyonu • Jet Enjeksiyonu • Mini Kazıklar
• Ani Oturmaları Azaltmak	• Vibrokompaksiyon, Vibro Tij • Derin Dinamik Kompaksiyon • Patlatma Kompaksiyonu • Kompaksiyon Enjeksiyonu • Derin Zemin Karıştırma • Jet Enjeksiyonu • Kum ve Çakıl Kompaksiyon Kazıkları
• Konsolidasyon Oturmalarını Azaltmak	• Ön Yükleme • Jet Enjeksiyonu • Kompaksiyon Enjeksiyonu • Taş Kolonlar • Derin Zemin Karıştırma • Elektro-Osmoz
• Konsolidasyon Oturma Oranını Artırmak	• Sürşarj Dolgulu ve/veya Dolgusuz Düşey Drenler • Kum ve Çakıl Kompaksiyon Kazıkları
• Şev Stabilitesini Artırmak	• Payanda Dolgular • Çakıl Drenler • Kompaksiyon Enjeksiyonu • Penetrasyon Enjeksiyonu • Jet Enjeksiyonu • Derin Zemin Karıştırma • Kum ve Çakıl Kompaksiyon Kazıkları
• Sızıntı Bariyerini Artırmak	• Jet Enjeksiyonu • Derin Zemin Karıştırma • Penetrasyon Enjeksiyonu • Bulamaç Hendeği
• Bentler, Köprü Ayakları, Temelleri Güçlendirmek ve/veya Sızdırmazlığı Sağlamak	• Penetrasyon Enjeksiyonu • Jet Enjeksiyonu

Uygulama açısından sık kullanılan bazı zemin iyileştirme teknikleri aşağıda rdelenecektir. Bu teknikler zeminin cinsine, yapının özelliklerine ve uygulanabilirliklerine leğerlendirilmiştir.

2.1. Taş Kolonlar

Zemin ıslah uygulamalarından kısaca söz etmek gerektiğinde, öncelikle taş kolon yöntemi analiz edilmektedir. Şematik anlatımı verilen yöntem orta katı veya yumuşak killi zeminlerde uygulamaya gidildiği görülmektedir (Şekil 2.1).

Taş kolon yöntemi uygulanarak zemin üzerine gelen yükün taşıma kapasitesi arttırılmaktadır.



Şekil 2.1. *Vibroflotasyon yöntemi ile taş kolon uygulama (Brown, 1977)*

Zeminin sıvılaşma direncini artırmak amacıyla kullanılan taş kolonlar, özellikle ince daneli zeminlerde konsolidasyonu hızlandırmak ve kayma mukavemetini artırmak için yaygın bir çözümdür. Bu yöntem, hem iri hem de ince daneli zeminlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Taş kolonlarının yerleştirilmesi için kullanılan yöntemler farklılık gösterebilir. Bu tekniklerden biri de vibroflotasyon sırasında zemine çakıl eklenmesidir (Brown, 1977) (Şekil 2.1).

Zemin ve saha koşulları baz alınarak üst yapı proje yükleri taş yapı kolonlar taşıma kapasitesini arttırmak adına oturma süresinin azaltılması ve deprem olması halinde zemini sıvılaşan ve mukavemeti azalan yapıların güçlendirilmesinde kullanım alanı bulmaktadır. Eğer tabaka kalınlığı 10.00 metreden az olan durumlarda uygulanması önerilmektedir. Bu noktada öne çıkan diğer hususlar (Koç, 2020).

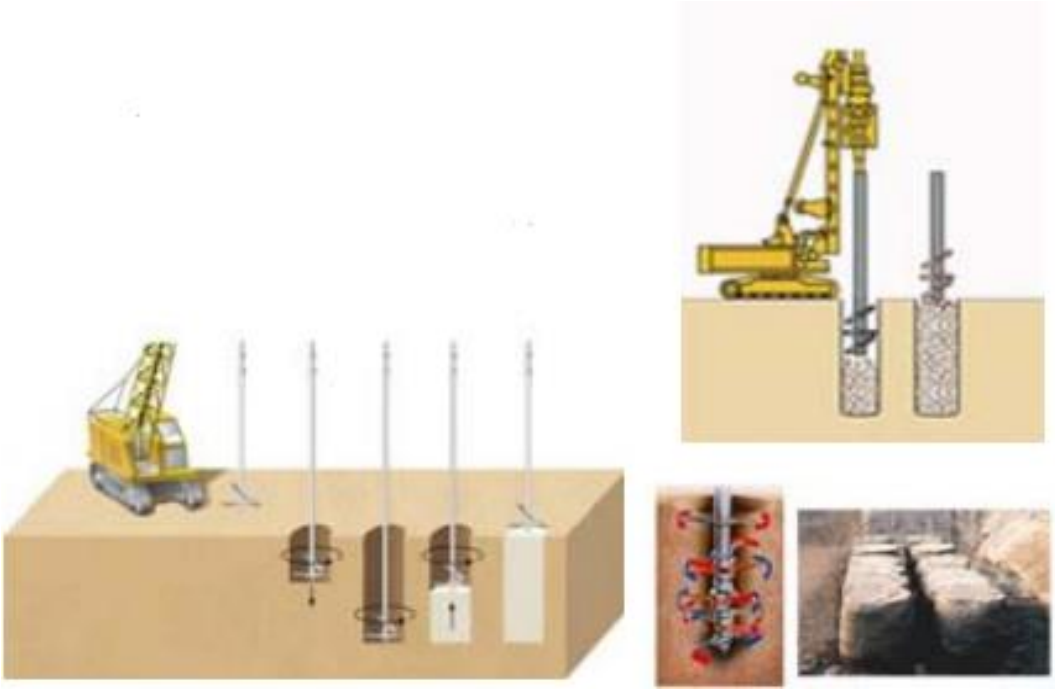
- 20.00 metreye değin uygulanmaktadır.
- Uygulamaya ilişkin çaplar genellikle 0.60 ila 1.00 metre arasında değişim göstermektedir.

- Yaygın olarak malzeme türü 20.00-75.00 mm arasında kırma taş malzeme taş kolon meydana getirmede kullanılmaktadır.
- Bazı durumlardan kum ve çakıl karışımı ve doğal çakıl agrega da kullanılabilmektedir.

2.2. Derin Karıştırma

Bir diğer zemin ıslahı yöntemi derin karıştırma yöntemidir. Şematik anlatımda zeminin çimento ve diğer malzemeler ile yerinde karıştırılması tekniğine dayanmaktadır (Şekil 2.2). Dünyada 1960'lı yıllardan itibaren kullanılan yöntem, Türkiye'de 2006 yılında standarda kavuşmuştur. Kullanılan maddeler arasında çimento ve kireçli maddeler ön plana çıkmaktadır. Bağlayıcı olarak ise yüksek fırın cürufu ve uçucu küle yer verilmektedir. Derin karıştırma yönteminin kullanım alanları arasında (Bildik, 2017: 3):

- Geçirimsizlik perdelerinde,
- Temel takviyesinde,
- Tünele ait zeminin desteklenmesinde,
- Kazı çukurlarının desteklenmesinde,
- Rıhtım yapılarında karşımıza çıkmaktadır.



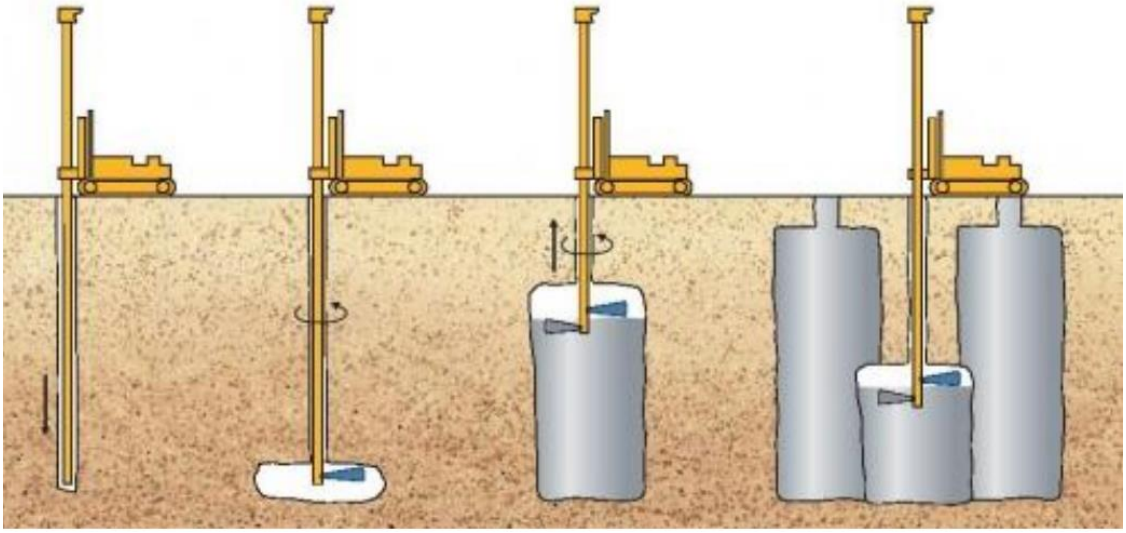
Şekil 2.2. *Derin karıştırma (Bildik, 2017: 3)*

Derin karıştırma yönteminde öne çıkan hususlar incelendiğinde (Bildik, 2017: 5):

- Süreç, bir pedal düzenlemesi desteğiyle, tek veya çok eksenli burguları kullanarak çimento bulamacının zemine dahil edilmesini içerir.
- Bu işlemde kullanılacak olan bağlayıcı iyileştirilecek zemin hacminin %20 ila %30'u kadar olabilmektedir.
- Augerler ilerledikçe zeminin içine uç taraftan çimento şerbeti verilir.
- Auger borusu istenilen derinliğe indirilmekte, boru içerisindeki bağlayıcı madde pompalanmakta ve borunun ucunda bulunan paletler aracılığı ile zeminle karıştırılmaktadır.
- İyileştirilen zeminin özellikleri çimento oranı, dönme hızı ve geri çekme hızı ayarlanarak tespit edilmektedir.
- Karıştırma işlemi bittiğinde toprak ve çimentodan oluşan sabit genişlikte bir kolon oluşmuş olur. Bu kolonlar harç sertleşmeden önce birbirine yakın inşa edilerek bu teknikle yeraltı duvarları veya diyaframlar oluşturulabilir. (Kramer, 1996).

2.3. Jet Grouting

Jet Grouting kavramı ilk olarak İngiltere'de keşfedildi ancak ilk pratik uygulaması 1965 yılında Japonya'da Yamakado kardeşler tarafından yapıldı. Daha sonra bu yöntem Avrupa çapında hızla gelişmeye ve yayılmaya devam etti. Teknik ülkemizde ilk kez 1986 yılında Haliç Kolektörleri Projesi kapsamında Ayvansaray tüneli aynasının stabilitesini arttırmak amacıyla uygulanmıştır. Tünel aynasının stabilitesini artırmak amacıyla, genel olarak jet grouting yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, belirli bir sürat ile dönen tij içinden yüksek basınçlı su jeti veya hava etkisi altında yatay olarak bir kuyu açılmasını ve bu kuyunun içerisine yüksek basınç altında çimento harcının yatay olarak karıştırılmasını içerir (Durgunoğlu, 2004) (Şekil 2.3). Bu yöntem, kuyu alt seviyesinden yukarıya doğru uygulanmakta olup, oluşturulan kolonun yanına yerleştirilen diğer jet grout kolonları ile birlikte, priz almadan önce boşluk bırakmadan yeraltında duvar ve diyaframlar oluşturulur.



Şekil 2.3. *Jet grouting uygulama aşamaları (Durgunoğlu, 2004)*

Jet Grouting tekniğiyle inşa edilecek kolonların mekanik ve geometrik özellikleri, uygulanacak zeminin özelliklerine ve projenin nasıl bir strateji ile gerçekleştirileceğine bağlıdır; bu tekniğin farklı faktörlere ve yöntemsel özelliklere olan etkisi de bulunmaktadır.

Jet Grouting tekniği düzgün bir şekilde uygulandığında hem üst yapıdan hem de sismik tehlikelerden kaynaklanan yükler, kolon-zemin etkileşimi aracılığıyla taşınır. Bu teknik, zeminin taşıma kapasitesini ve elastik modülünü artırırken, geçirgenliğini düşürüp zeminin sıkışma durumunu da düşürür. Böylelikle, oldukça rijit bir zemin oluşturulmuş olur.

Oluşturulan bu zemin; oturma, sıvılaşabilme ve sismik tehlike durumlarından olumsuz etkilenme riskini azaltarak güvenli hale gelir. Jet Grouting yöntemi, her zemin türünde kil, silt, kum gibi ve çeşitli yapı türlerinde uygulanabilir, diğer iyileştirme tekniklerine göre daha uygun, kalıcı, güvenilir ve hızlı bir alternatif sunar; bu nedenle yaygın olarak seçilen bir iyileştirme yöntemidir.

Jet Grouting tekniği, uygulanması düşünülen zemine uygulanmadan önce kullanılması gereken malzeme miktarı belirlenip, uygulama sonrasında zemin özelliklerinin ve elde edilen sonuçların modülü ve geçirgenliği gibi parametreleri hesaplanabilir. Bu durum, onu diğer enjeksiyon yöntemlerinden ayıran belirgin bir özelliktir.

Durgunoğlu (2004) tarafından tanımlanan jet grouting yönteminin çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. İlk olarak, temellerin altında yer alan zeminlerde düşey yükler

altında taşıma kapasitesini artırmak ve deplasmanı kontrol etmek amacıyla basınç unsuru olarak kullanılmaktadır. İkinci olarak, döşemelerin altında, özellikle yüksek yayılmış yükler altında, bu yöntemle zemin taşıma kapasitesi ve deplasmanı denetlenmektedir. Ayrıca, dolguların altında da basınç unsuru olarak uygulanarak taşıma kapasitesi ve deplasman kontrolü sağlanmaktadır. Son olarak, köprülerin yaklaşım dolguları altında, düşey dolgudan gelen yüklerin taşınması, dolgu altındaki oturma denetimi ve kenar ayakları altındaki kazıklara yönelik negatif çeper sürtünmesinin önlenmesi gibi amaçlarla jet grouting yöntemi etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, yapı güvenliğini artırmak ve zemin stabilitesini sağlamak açısından büyük öneme sahiptir.

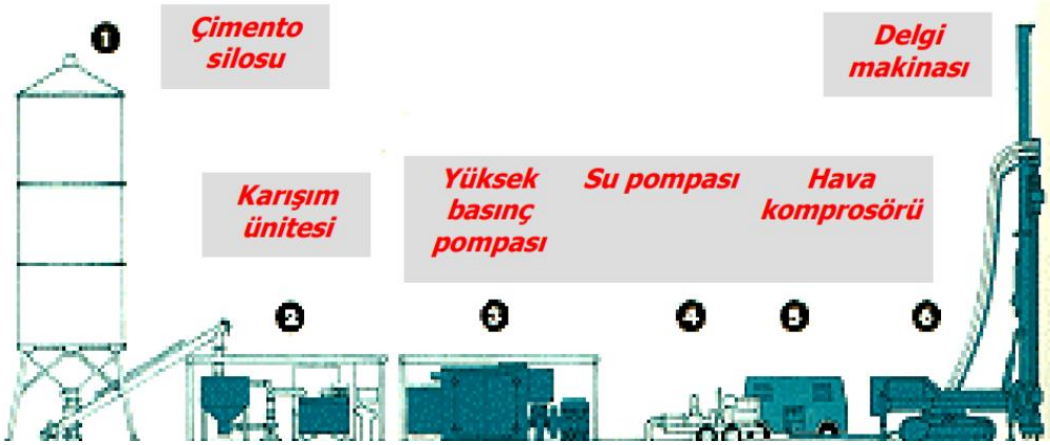
- Havuzlar, yeraltı su depoları ve su yapılarında, donanım eklenerek çekme elemanı olarak kullanılabilir.
- Kazılarda, yük cinsi istinat yapıları oluşturularak yanal zemin basınçlarına karşı direnç elde edilebilir.
- Kazılar donatılarla güçlendirilerek düşey burkulmalara maruz kalan destek elemanları olarak kullanılabilir.
- Ankrajlı istinat elemanlarında ve kazılarda ve özel donanımla ankraj elemanı olarak kullanılabilir.
- Geçirimi yüksek zeminlerde ve yüksek yeraltısu seviyesi ile yapılan kazı çalışmalarında, taşıyıcı birimler arasında batardo kapama unsuru olarak işlev görebilir.
- Gevşek killerde yapılan kazılarda, kazı öncesinde zemin seviyesi altındaki payanda unsuru olarak işlev görür.
- Kazı tabanına ulaşabilecek yeraltısuyu kontrolü için tıkaç elemanı olarak kullanılabilir.
- Şevlerde stabilite duraylılığının sağlanması amacıyla zemin destek yapısı veya yük batardosu ile kullanılabilir.
- Gevşek zeminlerde açılan tünellerin üst kısmındaki zemin iyileştirme çalışmaları için kullanılır.
- Yumuşak zeminlerde açılan tünellerde, özellikle tünel kesitinin kazı öncesi güvenliğini sağlamak amacıyla dayanıklı bir şemsiye oluşturulur.
- Büyük ve kritik yapılar bulunan alanlarda, sıvılaşma riski yüksek zeminlerde kazıklı temeller, yatay yükler ve olası kaymaların kontrolü için kazıklarla birlikte kullanılır.

- Sıvılaşma sonucu zeminin yan ve dikey hareketlerini sınırlamak amacıyla, yapı çevresinde veya alt kısımda kapama yapıları kullanılır.

Sıvılaşma tehlikesine karşı yapılacak güvenlik unsurlarının yükseltilmesi, zeminde meydana gelen kayma gerilme durumlarının bir miktarının taşınarak depremin yol açabileceği yanal ve düşey hareketlerin kontrol altına alınması ülkemiz, konumu nedeniyle sismik risklerin sıklıkla yaşandığı bir bölgededir. Bu nedenle, sismik tehditlere karşı zemin iyileştirme yöntemleri büyük bir öneme sahiptir. Jet grouting tekniği, çok sayıda uygulama alanı, uygulanabilirliği ve daha önce bahsedilen diğer nitelikleri ile ülkemizde ve diğer ülkelerde özellikle sıvılaşma riskini azaltmak amacıyla oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Jet grouting tekniği için kullanılması gereken aletleri gözden geçirecek olursak;

- Çimento silosu,
- Karıştırma sistemi,
- Basınçlı pompa, su pompası,
- Kompresör
- Delme makinesi olarak dizayn edilmiştir (Şekil 2.4).

Ayrıca, jet grout uygulaması yapılacak alanda kaynak makinesinin yanı sıra elektrik kesintileri durumunda bir jeneratör de bulundurulmalıdır (Küçükali, 2008). Karıştırma sisteminde oluşturulan bu karışım pompaya transfer edilir.



Şekil 2.4. *Jet Grouting ekipmanları (Durgunoğlu, 2008)*

Jet grouting metodunda, pompa ünitesine ulaşan bu karışımın zemine nüfuz ettirilmesi işlemi, iki aşamada ele alınır: Bunlar delme ve enjeksiyondur.

Delme işlemi, jet grout uygulamasının yapılacağı zeminin özellik durumuna göre seçilmektedir. Kazık çapı, tijin dönüş hızı ve geri çekme süresi gibi parametreler, delgi makinesinin kontrol ünitesinden ayarlanabilir. Delgi işlemleri için tijin ucunda kesici bir başlık bulunur. Ayrıca, kuyuların yatay bir şekilde açılabilmesi için su jeti ya da basınçlı hava etkisiyle yatay eksenli püskürtme yapabilen bir valf bulunur. Zemin enjeksiyonuna hazırlık amacıyla, uç takımların soğutulması ve enjeksiyonu kolaylaştıracak işlemler için su, hava, bentonit ve çimento gibi malzemeler kullanılabilir.

Jet grout tijleri olarak kullanılan delme boruları, yüksek basınca dayanıklı malzemelerden üretilir ve üretim tekniği ile bağlantılı olarak sızdırmazlık elemanları 500-600 bar basınca kadar dayanabilir.

Belirlenen derinliğe ulaşıldığında, çubuktan serbest bırakılan çelik bilyenin püskürtme valfini kapatmasıyla birlikte delme ve su basma işlemi tamamlanır.

Valf kapandığında, enjeksiyon, çubuğun ucundaki nozüllerin bulunduğu monitör adı verilen kısma (Görsel 2.1) yönlendirilir. 300 ila 600 bar arasında değişen yüksek bir basınçla pompalanan enjeksiyon malzemesi, bu basınç sayesinde nozülden geçerken yüksek bir hız kazanır.

Bu basınçlı enjeksiyon malzemesi, hızla zeminle birleşerek, delici aletlerin dönüş hareketinin de etkisiyle zemini deler ve farklı mekanik özelliklere sahip silindirik bir kolon oluşturur.

Basınçlı enjeksiyonun uygulanması sırasında sondaj takımının bir miktar zemin nakletmesi beklenir. Bu, zeminde aşırı basınç olmadığı anlamına gelir. Zeminde aşırı basınç oluşmuşsa bu durum aşırı basıncın sondaj borusunun çapı ile deliğin çapı arasındaki boşluktan kaçtığı gözlemlenerek anlaşılabilir. Özellikle sert killi topraklarda akışın azaltılması, enjeksiyon basıncının düşürülmesi ve ön yıkamalı sondajın gerçekleştirilmesi gibi önlemler bu tür sorunların önlenmesine yardımcı olacaktır. Enjekte edilen malzeme miktarı, zeminin geçirgenliği ve türüne bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kil içeren zeminlerde bu miktar daha yüksek iken, kum-çakıl zeminlerde daha düşük seviyelerde kalır. Genel olarak, enjekte edilen miktarın yaklaşık %10 civarında olduğunu ifade edebiliriz (Çınar ve Akkaya, 2010).

Görsel 2.1. *Delici uç ve monitör*

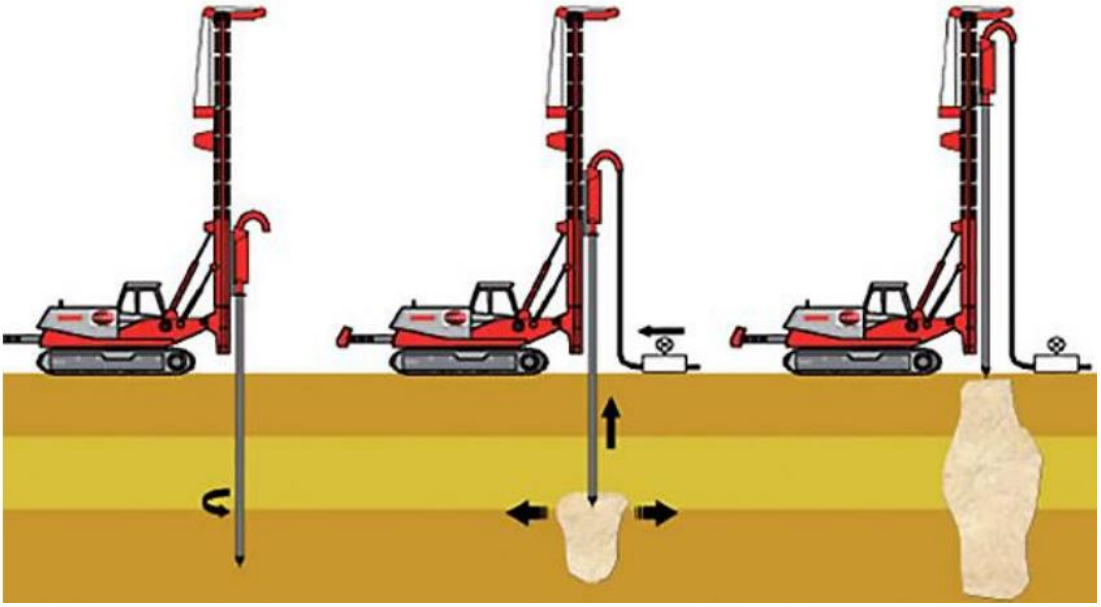
2.4. Enjeksiyon

Gevşek ve zayıf zemin türlerinde uygulanan sıkıştırma enjeksiyonu, düşük kıvamlı karışımın yüksek basınçta zemine verilmesiyle zeminin yoğunluğunu artırma işlemidir. Bu harç, düşük çökelme oranına sahip olup, çevresindeki zemini sıkıştırarak daha dayanıklı bir yapı oluşturur. Bu harç, düşük çökelme oranına sahip olup, çevresindeki zemini sıkıştırmaya başlar ve kısa sürede sertleşerek, ampul veya sütun şeklinde birikerek katı bir yapı oluşturur (Şekil 2.5). Genellikle, kompresyon enjeksiyonunun uygulama aralıkları 1,0 ila 4,5 metre arasında değişir ve zemin üzerinde belirli noktalarda ya da ızgara şeklinde uygulanabilir. Eğer zemin derin bir yapıdaysa, enjeksiyon aralıklarının daha sıkı belirlenmesi gerekebilir. Yüksek zemin basıncı, yüksek basınçlı sıkıştırma enjeksiyonunu engellemez.

Enjeksiyon uygulaması, zemin içerisinde bulunan boşluklara basınç altında akışkan malzemelerin enjekte edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Zemine ait mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi temel amaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ve sıklıkla taneli zeminlerde uygulanmasına dikkat edilmektedir. Bentonit çimento ve kimyasal enjeksiyonu olarak kullanım alanı bulmaktadır. Bu yöntem insan gücünün en fazla kullanıldığı ve en yorucu yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca (Koç, 2020):

- Ekonomik bir ıslah yani iyileştirme yöntemidir.
- Projede tespit edilen yer kapsamında teknik bilgilerle birlikte kabul edilen enjeksiyon karışımı verilmektedir.

- Söz konusu uygulama için açılan kuyuya tij + matkap ucundan enjeksiyon karışımı kuyunun içerisine dökülmektedir.
- Kuyuya söz konusu proje temelinde packer yerleştirilmektedir. Böylelikle zemine enjeksiyon malzemesinin girmesi mümkün olmaktadır.
- Burada çimento ile su oranları 1/1, 1/5 ve ½ şeklinde hazırlanmakta ve zemine ait tür, üst yapı ve uygulamaya ilişkin alan çeşitli faktörler baz alınarak seçilmektedir.



Şekil 2.5. *Kompaksiyon enjeksiyonu*

Titreşim yaratmadığı için, çeşitli zemin koşullarında güvenle kullanılabilen bu yöntem, özellikle silt ve plastik olmayan kumlar için tercih edilmektedir.

2.5. Fore Kazık, Mini Kazık ve Mikro Kazık

2.5.1. Fore kazık

Fore kazık uygulamaları, özellikle zemin şartlarının yetersiz olduğu yerlerde, yüksek yük taşıma kapasitesine ihtiyaç duyulan durumlarda veya zemin üzerinde oluşabilecek farklı oturmaların fazla olduğu durumlarda kullanılan önemli bir derin temel uygulama yöntemidir. Bu yöntem, zeminin güçlendirilmesi ve yapı güvenliğinin artırılması açısından oldukça etkili bir çözümdür. Bu nedenle özellikle büyük yapılar ve altyapı projelerinde bu yöntem tercih edilir.

Fore kazık yöntemi, zemin iyileştirme ve yapı güvenliğini artırma konusunda önemli bir role sahip olduğu ve bu yöntemlerin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için uygun ekipman ve tekniklerin kullanılması gereklidir.

Fore kazık uygulamalarında kullanılan ekipmanlar genel olarak iki ana kategoriye ayrılır bunlar Fore Kazık Makinesi ve Servis Vinci (Şekil 2.2):

- Fore Kazık Makineleri: Bu makineler, hidrolik ve mekanik olarak çalışabilir ve zemin şartlarına göre farklı kapasitelerde olabilir.

  Zor zemin koşullarında çalışabilecek özellikte makineler seçilmelidir. Ayrıca, bazı makineler boru sürme özelliğine sahipken, bazıları bu özelliği sunmayabilir.
- Servis Vinci: Zor zemin şartlarında ve geniş çaplı projelerde, ek bir servis vinci kullanılması gerekebilir. Bu ekipman, kazık yerleştirme işlemlerinde yardımcı olabilir ve verimliliği artırabilir.

Görsel 2.2. *Fore kazık makinesi ve servis vinci*

Fore kazık uygulamalarında kullanılan yardımcı ekipmanlar, kazıkların delgi ve beton döküm işlemlerinde kritik bir rol oynamaktadır. İşte bu yardımcı ekipmanların detayları aşağıda verilmiştir (Görsel 2.3):

- **Kova (Bucket):**

Kullanım: Kova, özellikle su bulunan ortamlarda kullanılır. Fore kazık işlemlerinde, suyun bulunabileceği zemin koşullarında, beton döküm işlemini kolaylaştırmak ve suyun betona karışmasını engellemek için kovalar kullanılır. Kova, betonun delgi bölgesine düzgün bir şekilde taşınmasını sağlar.

Fonksiyon: Kova, ortamda bulunan suyu ve diğer sıvıları temizlemeye yardımcı olabilir, böylece kazık yerleştirme işlemi sırasında suyun beton karışımına etkisini azaltır.

- **Burgu (Auger):**

Kullanım: Burgu, zemin delme işlemi için kullanılan bir aparattır. Genellikle matkap veya vida gibi bir yapıya sahip olan burgular, zemin içindeki materyali (toprak, çakıl, vs.) alır ve kazık yerleştirme işlemi için uygun bir boşluk oluşturur.

Fonksiyon: Burgu, delgi işlemlerinde zemin materyalini çıkarır ve kazık yerleştirilmeden önce uygun bir boşluk açar. Bu, zeminin düzgün bir şekilde işlenmesini ve kazığın doğru bir şekilde yerleştirilmesini sağlar.

- **Muhafaza Boruları (Casing Pipes):**

Kullanım: Muhafaza boruları, delgi sırasında delinen bölgenin duvarlarını destekler ve zemin materyalinin kazık yerleştirilirken duvarlardan kaymasını önler. Bu borular, kazık delme işlemi sırasında zeminin stabilitesini korur.

Fonksiyon: Muhafaza boruları, zemin delme işlemi sırasında oluşabilecek çökme ve kaymalara karşı koruma sağlar, böylece kazık yerleştirme işlemi daha güvenli ve kontrollü bir şekilde yapılabilir.

- **Tremie Boruları:**

Kullanım: Tremie boruları, beton döküm işlemlerinde kullanılır. Bu borular, betonun derinliğe doğru doğru bir şekilde dökülmesini sağlar ve betonun delik duvarlarına düzgün bir şekilde yerleşmesine yardımcı olur.

Fonksiyon: Tremie boruları, özellikle su bulunan ortamlarda betonun yerleşmesini ve dağılmasını kontrol eder. Betonun su ile karışmasını önler ve kazık deliklerinin düzgün bir şekilde betonlanmasını sağlar.

Bu yardımcı ekipmanlar, fore kazık uygulamalarında işlem verimliliğini artırır ve işlemlerin doğru bir şekilde yapılmasını sağlar. Ekipmanın seçimi ve kullanımı, zemin koşullarına ve proje gereksinimlerine göre belirlenmektedir.

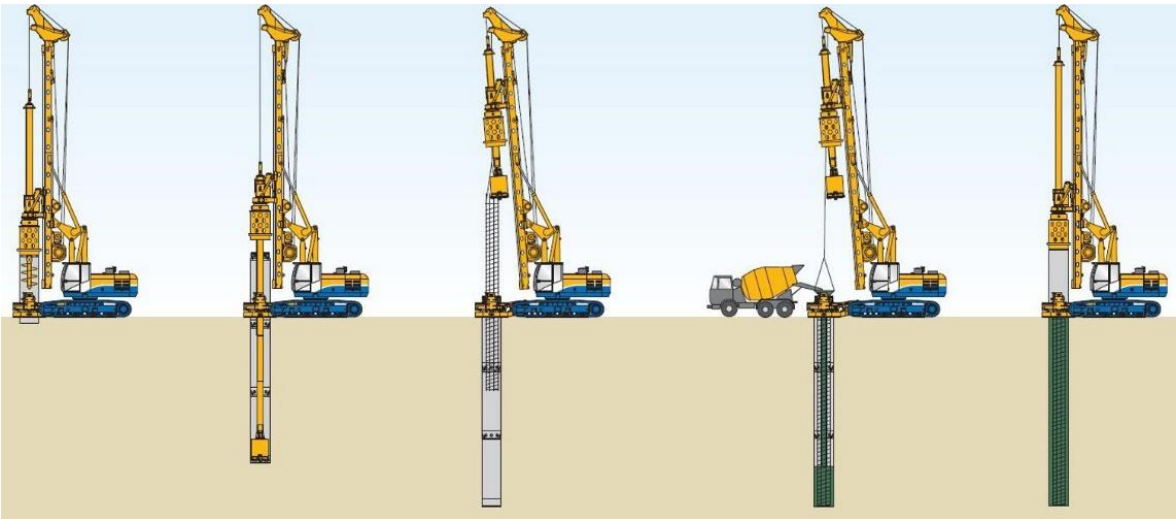
Görsel 2.3. *Yardımcı ekipmanlar kova, burgu ve tremie boruları*

Fore kazık uygulamaları ve ekipmanları, yapı mühendisliği ve inşaat projelerinde kritik bir rol oynar.

Fore kazık uygulamaları, çeşitli zemin koşulları ve yapı gereksinimleri için uygun çözümler sunar. Bu uygulamalarda kullanılan ekipmanlar, işlemlerin etkinliğini ve güvenliğini artırır. Her bir ekipmanın doğru bir şekilde seçilmesi ve kullanılması, projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlar.

Fore kazık yapım aşamaları aşağıda sıralanmıştır (Şekil 2.6);

- Deliğin Açılması: İlk adım, dairesel bir deliğin açılmasıdır (Görsel 2.4.b). Bu işlem, fore kazık makineleri kullanılarak gerçekleştirilir.
- Donatının Yerleştirilmesi: Deliğin açılmasının ardından, çelik veya demir donatılar yerleştirilir (Şekil 2.4.c). Bu donatılar, betonun içinde sertleşmesini ve yapısal bütünlüğünü sağlamak için gereklidir.
- Beton Dökümü: Donatının yerleştirilmesinden sonra, delik beton ile doldurulur. Beton dökme işlemi, genellikle tremie boruları kullanılarak yapılır.
- Betonun Sertleşmesi: Beton döküldükten sonra, betonun sertleşmesi beklenir. Bu süreç, betonun yeterli dayanıklılığa ulaşmasını sağlar ve kazığın taşıma kapasitesini artırır.
- Tamamlanma ve Temizlik: Betonun sertleşmesinin ardından, fore kazık uygulaması tamamlanır. Delik etrafında herhangi bir atık veya kalıntı temizlenir.



Şekil 2.6. *Fore kazık yapım aşamaları*

Görsel 2.4. *a) Fore kazık donatısı b) Fore kazık çukuru c) Fore kazık donatı yerleşimi*

Sonuç olarak, fore kazıklar, deprem dayanıklılığı açısından birçok avantaj sunar ve yapıların güvenliğini artırmak için etkili bir yöntemdir. Deprem koşullarında yapıların performansını ve dayanıklılığını artırmak için fore kazıkların kullanımı, modern inşaat uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır.

2.5.2. Mini kazık

Mini kazıkların kullanımı, 1950'lerin başında İtalya'da başladı ve zamanla dünya çapında yaygınlaştı. Bu süreçte bu kazıkların uygulanışı ve teknolojisi, çeşitli projelerde ve farklı alanlarda önemli bir gelişim gösterdi. İşte bu kazıkların gelişimi ve kullanım alanları hakkındaki detaylar sıralanmıştır.

Mini Kazıkların Tarihçesi ve Yaygınlaşması:

- **İtalya'da Başlangıç (1950'ler):**

Gelişim: Kök kazıklar, 1950'lerde İtalya'da geliştirilmiştir. İlk olarak tarihi binaların ve anıtların desteklenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Geliştirici: İtalyan firma Fondedile ve Dr. Fernando Lizzi'nin öncülüğünde bu teknoloji ilerletilmiştir.

- **Uluslararası Yaygınlaşma:**

Birleşik Krallık (1962): Fondedile, bu teknolojiyi Birleşik Krallık'taki çeşitli tarihi yapıların desteklenmesi için tanıttı.

Almanya (1965): Mini kazıklar, Almanya'da yeraltı kentsel ulaşım projelerinde kullanılmaya başlandı.

Mini kazıklar, inşaat mühendisliğinde çeşitli uygulamalar için kullanılan küçük çaplı ve genellikle donatılı düşey kazıklardır (Görsel 2.5.). Bu kazıkların özellikleri ve uygulama alanları hakkında daha detaylı bilgi aşağıda sunulmuştur:

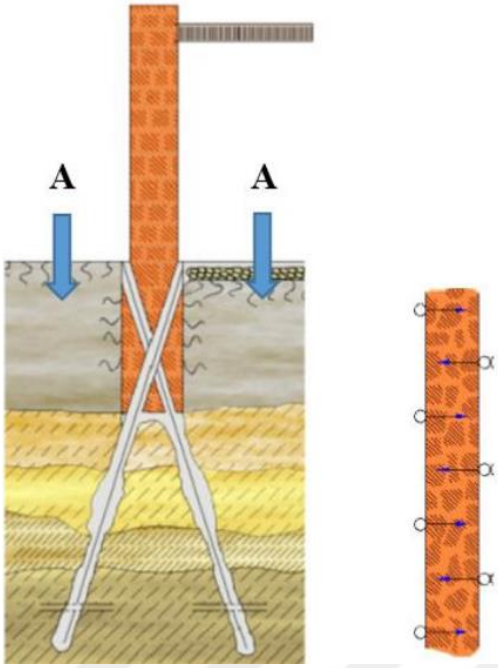
- **Mini Kazıkların Özellikleri:**

Çap: Mini kazıkların çapı genellikle 30 cm'den küçüktür. İlk başlarda çaplar yaklaşık 10 mm idi, ancak teknolojik gelişmelerle birlikte çaplar artık 300 mm'ye kadar çıkabilmektedir.

Uzunluk: ABD'de çoğu mini kazık 20-30 m uzunluğundadır.

Yükleme Kapasitesi: Mini kazıklar, şaşırtıcı derecede yüksek yükleri taşıyabilmektedir. Örneğin, 5000 kN'den fazla sıkıştırılmış yükler kaydedilmiştir. Aynı zamanda, minimum hareket ile daha düşük yüklere de dayanabilirler.

ABD'de Kullanım: Çoğu mini kazık, 100-250 mm çapında, 300-1000 kN basınç ve çekme servis yüklerinde kullanılmaktadır.



Görsel 2.5. *Mini kazık düşey kesit ve A - A kesiti*

- **İmalat Süreci:**

Sondaj: Mini kazıklar, bir sondaj deliği açılarak imal edilir.

Donatı: Açılan deliğe çelik takviye (donatı) yerleştirilir. Delgi yapılması ve akabinde donatı yerleştirilmesi aşamaları Görsel 2.6'da verilmiştir.

Doldurma: Deliğin, harç (beton) ile doldurulmasıyla kazık oluşturulur. Şekil 2.7'de bu süreç gösterilmektedir.

Dayanıklılık:

Yükler: Mini kazıklar, önemli eksenel yüklerin yanı sıra orta derecede yanal yüklere de dayanabilir.

Kullanım: Tasarım durumuna göre, geleneksel kazıklar veya delinmiş şaftlar ile kompozit zemin/kazık kütlelerinin bir parçası olarak kullanılabilirler.

Mini Kazıkların Uygulama Alanları ve Avantajları

- **Uygulama Alanları:**

Bitişik Yapılar: Mini kazıklar, bitişik yapılara ve çevreye en az rahatsızlık verecek şekilde kurulabilir.

Kısıtlı Erişim: Kısıtlı erişime sahip yerlerde, dar alanlarda ve tüm zemin türlerinde kurulabilirler.

- **Avantajlar:**

Az Müdahale: Mini kazıklar, mevcut yapılar ve çevre üzerinde minimum etki yaparak kurulum sağlar. Bu, özellikle şehir merkezlerinde veya hassas bölgelerde önemlidir.

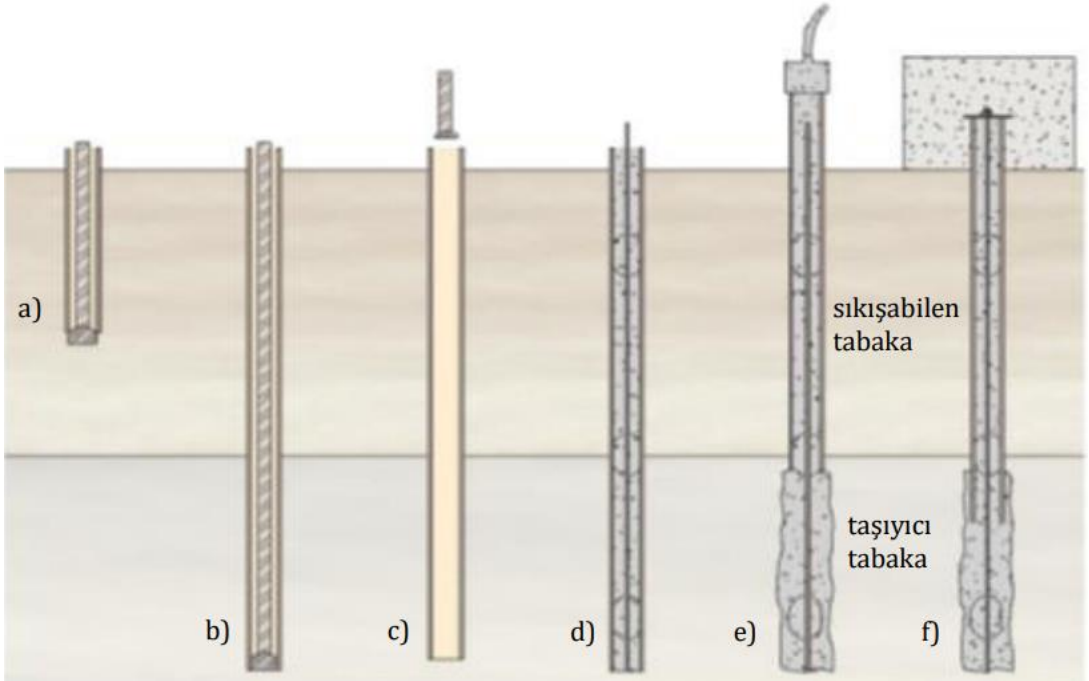
Çeşitli Zemin Türleri: Her türlü zemin türünde kullanılabilme yeteneği, mini kazıkları oldukça esnek bir çözüm haline getirir.

Kısıtlı Alanlarda Verimlilik: Dar ve erişimi kısıtlı alanlarda, mini kazıkların kullanımı avantajlıdır.

Şehir İçindeki Projeler: Şehir merkezlerinde, kısıtlı alanlarda yapısal destek sağlamak için tercih edilir.

Yamaç Stabilizasyonu: Yamaçlarda toprak kaymalarını önlemek amacıyla uygulanabilir.

Mini kazıklar, küçük çaplı yapısal destek elemanları olarak, çeşitli inşaat ve zemin iyileştirme projelerinde etkili bir çözüm sunar. Bu kazıkların dayanıklılığı, çeşitli yük taşıma kapasiteleri ve esneklikleri, onları modern mühendislik projelerinde önemli bir araç haline getirmiştir.



Şekil 2.7. *Mini kazık yapım aşamaları*

Mini Kazıkların Avantajları

- Minimum Müdahale: Mini kazıklar, mevcut yapılar ve çevre üzerinde minimum etki yaparak, özellikle şehir merkezlerinde veya hassas bölgelerde kurulum sağlar.
- Dar Alanlarda Kullanım: Kısıtlı erişime sahip yerlerde etkili bir şekilde kullanılabilirler.
- Esneklik ve Güvenlik: Farklı zemin türlerinde ve çeşitli yük koşullarında güvenli bir yapı sağlarlar.

Mini kazıklar, hem yapıların dayanıklılığını artırmak hem de çeşitli zemin ve yapısal problemleri çözmek için etkili bir araçtır. Bu kazıkların kullanım alanları ve avantajları, onları modern inşaat mühendisliğinde önemli bir çözüm haline getirmiştir.

Görsel 2.6. *Mini kazık delgisi ve donatı yerleştirilmesi*

2.5.3. Mikro kazık

1950'lerden bu yana tarihi yapıları güçlendirmek için mikro kazıklar kullanılıyor. Saha testleri, fiziksel modelleme ve sonlu elemanlar analizi, mikro kazıkların performansını değerlendirmek için kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. Mikro kazıklarla güçlendirilmiş temellerin performansı diğer kazık türlerinin performansına benzer.

Mikro kazıklı radye ve mikro kazıklı temellerin performansı nadiren araştırılmıştır. Mikro kazıklar ile diğer kazık türleri arasında geometri, kapasite ve performans özellikleri açısından farklılıklar olması nedeniyle, kazıklı radye ve diğer kazıklı temellerin analiz ve

tasarımı için geliştirilen yöntemler mikro kazıklara uygulanamayabilir. Mikro kazıkların tasarımı ve uygulamaları konusunda dünyanın farklı ülkelerinde farklı düzenlemeler bulunmaktadır. Mikro Kazık Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği, FHWA tarafından 2005 yılında yayınlanmıştır ve mikro kazıkların tasarım ve uygulamalarını ele almaktadır. Araştırma kapsamındaki konulara ilişkin bilgiler bu bölümde verilmektedir.

Mikro kazıkların tasarımı ve davranışı hakkında detaylı bilgi verilecektir. Mikro kazıkların farklı zemin koşullarındaki performansına ilişkin detaylı bilgiler sunulacaktır. Mikro kazıkların tasarımı, yapımı, yöntem ve teknikleri için FHWA'nın önerdiği prensipler hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Mikro kazıklar FHWA tarafından çapı 300 mm'den küçük kazıklar olarak tanımlanır. Yapıları gereği incedirler, çap/uzunluk oranı küçüktür ve bu nedenle yükün çoğunu yere aktarırlar. Mikro kazıkların iki unsuru vardır: donatı ve enjeksiyon. Mikro kazıklar, delik delinerek deliğin içine çelik boru, çelik çubuk, donatı veya özel bir çelik yerleştirilip enjekte edilmesiyle yapılır. Sondaj matkaplarının çökmesini önlemek amacıyla çoğu zaman geçici veya kalıcı borular kullanılarak mikro kazık imalatı yapılmaktadır. Mikro kazıklar her iki yükü de taşıyabilir. Sistemin yük taşıma kapasitesi, kazık başlığı veya mat ile birbirine bağlanan mikro kazıkların tasarımıyla arttırılabilir. Mikro kazıklar bir çeşit mini kazık olarak ta tanımlanabilir.

Mikro kazıkların Avrupa'da ilk kullanımı tarihi veya hassas yapıları güçlendirmekti. Fernando Lizzi 1950'li yıllarda İtalya'da bu kazıkların kullanımına başladı. Mikro kazık tasarımı alanında araştırmalar yapılmıştır. Mikro kazıklar, kazık desteği, çevre ve zemin iyileştirme, kazı ve şev stabilitesi dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yaşlanan ve tarihi binaların çevreden gelen sürekli yüklere dayanabilmesi için güçlendirilmesi gerekmektedir. Birçok eski yapı mikro kazık yardımıyla güçlendirilmiştir. Mikro kazıklar Avrupa'daki anıtların ve yapıların restorasyonunun önemli bir parçası haline geldi.

Tarihi yapıların korunmasına yönelik çalışmalar nedeniyle mikro kazık uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Teknolojik gelişmeler ve yenilikler sayesinde mikro kazıklar hemen hemen her zemin ve saha koşulunda inşa edilebilmektedir. Özel delme makineleri ve yeni malzemeler, mikro kazıkların yük taşıma kapasitesinin arttırılmasını mümkün kılmıştır. Mikro kazıkların, minimum titreşimin gerekli olduğu ve alanın sınırlı olduğu farklı açılarda inşa edilmesi kolaydır. Mevcut zemin tipinin tasarım hususları üzerinde etkisi vardır. Mikro kazıkların kapasitesini belirleyen şey yüzey sürtünmesi, uç yatak direnci ve yapısal

kapasitenin birleşimidir. Tasarım yüklerini güvenli sınırlar içinde tutabilmek için mikro kazık tasarımında farklı varsayımlarda bulunmak gerekir.

Sondaj teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, mikro kazıkların çeşitli açılarda, farklı zemin koşullarında yerleştirilmesi, gürültüyü, titreşimi ve bozulmayı en aza indirerek artık mümkün. Ayrıca, çeşitli uygulamalarda kullanılan bu sağlam aletler, 300 mm'ye kadar çapa ve 60 m'ye kadar derinliğe sahip mikro kazıkların inşasına olanak sağlar. Ayrıca, bu ekipmanın kompakt boyutu, kapalı alanlarda çalışmaya olanak tanır ve mevcut temellerin güçlendirilmesine olanak sağlar. Mikro kazıklar kullanılacakları zeminde istenilen derinliğe kadar delik açılarak oluşturulur.

Sondaj tekniğinin seçimi mikro kazıkların derinliğine, boyutlarına ve özelliklerine bağlıdır. Delme işlemi sırasında, istenmeyen malzemelerin matkaba girmesini önlemek için çelik borular kullanılır. Delme prosedürünün ardından, genellikle çelik çubuklardan veya borulardan yapılan ve toplam hacmin yaklaşık %5 ila %8'ini oluşturan bir çelik takviye elemanı eklenir. Delik açıldıktan sonra içine enjeksiyon yapılır. Harç ile zemin arasındaki tutuşu arttırmak için geçici borular belirli yüksekliklere kaldırılarak enjeksiyon işleminin basınç uygulanarak gerçekleşmesi sağlanır. Bazı durumlarda, mikro kazıkların yanal sağlamlığını arttırmak için geçici muhafaza boruları tamamen kaldırılmaz.

Mikro kazıklar inşaat ve çevre mühendisliği de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulama alanı bulmaktadır. Mikro kazıkların geniş bir uygulama alanı vardır ve şevlerin stabilizasyonu ve yeni inşaat projelerinin desteklenmesi gibi çeşitli senaryolarda kullanılabilir.

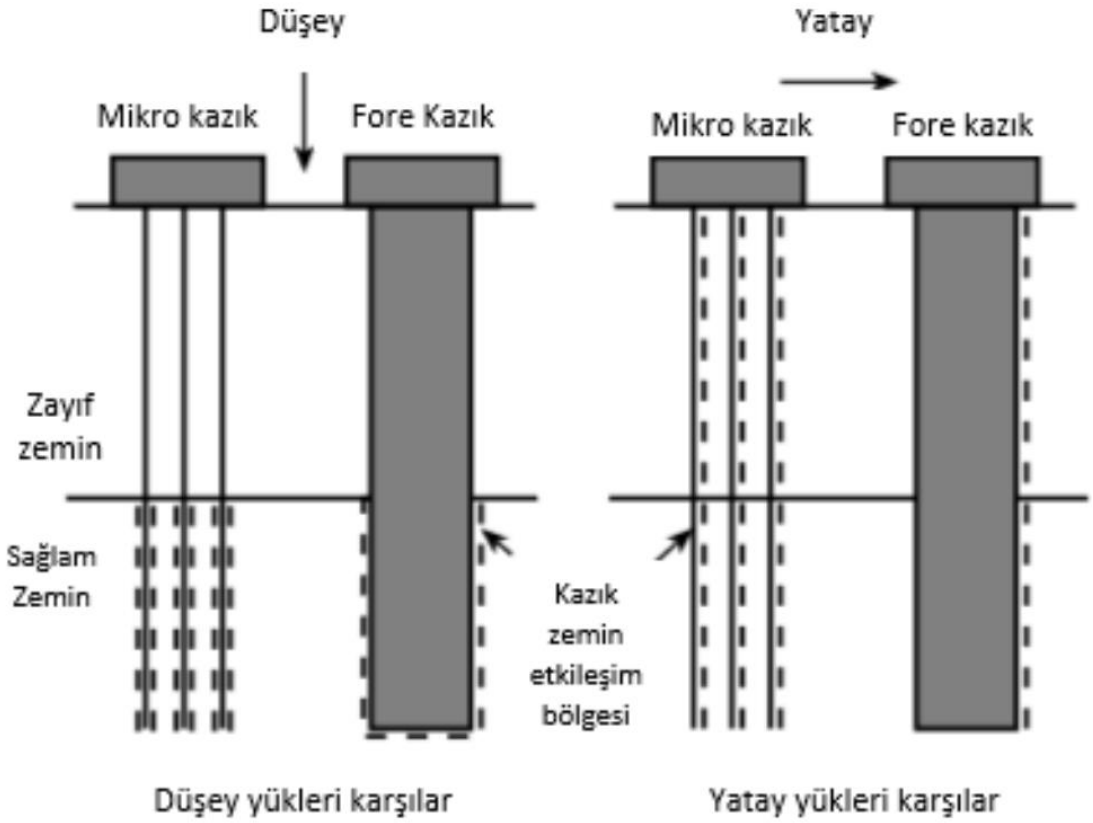
Yapılarının tasarımları toprağın ve mikro kazıkların taşıyacağı öngörülen yüklere bağlıdır. Güçlendirilmiş mikro kazıklar inşaat projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı durumlarda, şartlara bağlı olarak, taşıma kapasitesi sınırlı olan mikro kazıklar, herhangi bir yapı çeliğine ihtiyaç duymadan, yalnızca beton kullanılarak tasarlanıp monte edilebilir. Yapısal çelikler inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılır ve borular, kirişler ve içi boş çelik çubuklar şeklinde bulunabilir. Mikro kazıklar yerinde veya laboratuvar ve fabrika gibi özel tesislerde üretilebilir. Enjeksiyonun mukavemeti tasarımdaki su/çimento oranına göre belirlenir. Büyük çaplı matkapların doldurulmasında daha iri agrega kullanılabilir.

Mikro kazıklar tipik olarak kullanım amaçlarına, yapımında kullanılan malzemelere, yerleştirildikleri toprağın türüne ve kurulum işlemi sırasında kullanılan tekniklere göre sınıflandırılır. Federal otoyol idaresi (fhwa, 2005), otoyolları iki farklı kritere göre

sınıflandıran bir sınıflandırma sistemi sunmaktadır. Fhwa, mikropilleri davranışlarına veya amaçlarına göre, sayıyla (durum 1, durum 2) ve harflerle (tip a, tip b, tip c, tip d) temsil edilen enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırır. Mikro kazıklar amaçlarına göre iki kategoriye ayrılır: durum 1 mikro kazık ve durum 2 mikro kazık. Bu sınıflandırma yükün zemine aktarılması yöntemiyle belirlenir. Durum 1'de mikro kazıklar doğrudan yüklü kazıklar olarak kabul edilir.

Bu kategorideki mikro kazıklar direkt ana temel sistemi olarak yüklenmekte, uygulanan yükün çoğunu taşımakta, eksenel ve/yada yanal yönde yüklenen yükü enjeksiyon-zemin arasındaki aderans ve yüzey sürtünmesi kanalıyla direkt müsait tabakaya aktarmakta ve çevreleyen zemin tarafınca desteklenmektedir. Bu tür mikro kazıklar tekil yada gruplar halinde tasarlanabilmektedir. Dünya çapında kullanılan mikro kazıkların %90`ı durum 1 mikro kazık olarak tanımlanmaktadır. Durum 1 mikro kazıkların yük nakliyat ve uygulanan yüklerin zemine iktibas mekanizmasının şematik vizyonu Şekil 2.8`de verilmiştir. Durum 2`deki mikro kazıklar ise mevcut bir temel sisteminin nakliyat kapasitesini artırmak, şevleri stabilize etmek yada oturmaları azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

Ayrıca, uygulanan yükü direkt taşımadığı ve ancak zemin iyileştirmesinde kullanıldığı için konum 2`deki mikro kazıkların imalatında konum 1`e kıyasla daha azca oranda çelik çubuğu yada öteki çelik takviye elemanları kullanılmaktadır.



Şekil 2.8. *Durum 1 mikro kazıkların yük aktarma mekanizması*

Şekil 2.8 Durum 1 mikro kazıklarının yatay ve düşey yükleri doğrudan uygun zemin tabakaya aktarma mekanizmasını şematik olarak gösterir.

Bu mikro kazıklar, temel sisteminin yüklerini doğrudan zemin tabakalarına iletmek için tasarlanmıştır. Kazıklar, zeminle olan aderans ve yüzey sürtünmesi yoluyla yükleri aktarır ve çevreleyen zemin tarafından desteklenir.

Mikro kazıklar, hem eksenel hem de yanal yükleri taşır. Yükler, kazığın yüzey sürtünmesi ve uç taşıma direnci aracılığıyla zemin tabakalarına iletilir. Kazıklar, tekil veya grup halinde tasarlanabilir ve genellikle ana temel sisteminin bir parçası olarak çalışır.

Şekil 2.9'da Dr. Fernando Lizzi tarafından geliştirilen Durum 2 mikro kazıklarının nasıl iç içe geçecek şekilde yerleştirildiğini ve bir kompozit blok oluşturduğunu gösterir. Bu mikro kazıklar, tüm uzunluk boyunca birbirine bağlanarak üç boyutlu bir ağ oluşturur ve yapının altındaki yükleri desteklemek için kullanılır.

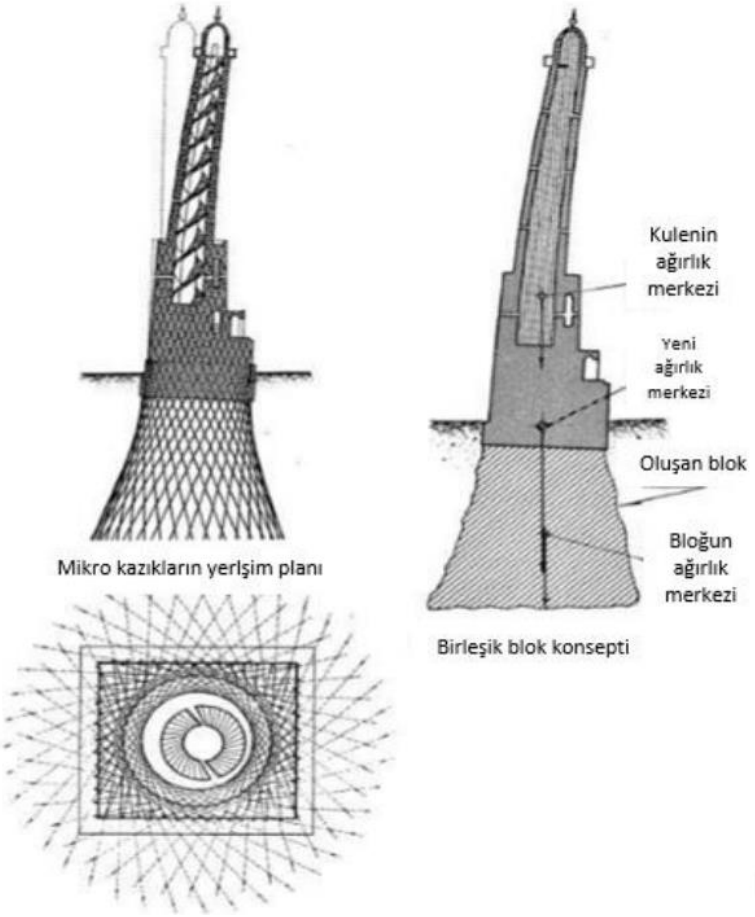
<u>Kompozit Blok:</u> Mikro kazıklar, yapı altında kompozit bir blok oluşturacak şekilde yerleştirilir. Bu blok, yapının ağırlık merkezini daha aşağı bir noktaya taşır ve böylece yapının devrilmesini engeller.

Yük Aktarma: Durum 2 mikro kazık sistemi, mikro kazıklar ve zemin arasındaki bileşimi kullanarak gelen yükü zemine aktarır. Bu tür kazıklar genellikle çelik takviyeli değildir ve sadece merkezlerinde bir çelik çubuk bulunur.

Fonksiyon ve Avantajlar:

- Şev Stabilizasyonu: Durum 2 mikro kazıkları, şev stabilizasyonu ve zemin iyileştirmesi amacıyla kullanılır.
- Düşük Yük Taşıma Kapasitesi: Bu kazıklar, genellikle düşük taşıma kapasiteli ve yapının doğrudan yükünü taşımayan sistemlerdir.
- Yük Dağılımı: Oluşturulan kompozit blok, yükleri daha geniş bir alana yayarak yapının stabilitesini artırır.

Bu şekiller, mikro kazıkların farklı kullanım amaçlarını ve yük taşıma kapasitelerini görsel olarak temsil eder ve mikro kazıkların proje gereksinimlerine göre nasıl yapılandırılabileceğine dair bilgi sağlar.



Şekil 2.9. *Durum 2 mikro kazık sisteminin mikro kazıklar ve zeminin bir araya gelerek oluşturduğu bileşik bir bloğun gösterimi*

Şekil 2.9'da Durum 2 mikro kazıklarının mikro kazıklar ve zemin ile birleşerek oluşturduğu kompozit bir bloğun şematik gösterimini sunmaktadır. Bu blok, yapının altındaki yükleri destekleyerek yapının ağırlık merkezini daha düşük bir noktaya taşır ve yapının devrilmesini engeller. Durum 2 mikro kazıkları genellikle zemin iyileştirme ve yapının stabilitesini artırma amacıyla kullanılır.

Enjeksiyonlama Yöntemine Göre Sınıflandırma

Mikro kazıklar, enjeksiyonlama yöntemine göre dört ana tipe ayrılır: bunlar A Tipi, B Tipi, C Tipi ve D Tipi. Bu sınıflandırma, enjeksiyonun yerleştirilme yöntemine dayanır ve her tipin farklı uygulama teknikleri ve performans özellikleri vardır.

- **A Tipi Enjeksiyonlama:**

Yöntem: Açılan delgi, ekstra basınç kullanılmadan yukarıdan beton dökülerek doldurulur.

Kullanım: Bu yöntem geçmişte yaygın olarak kullanılmıştır, ancak günümüzde daha az tercih edilmektedir. Genellikle saf çimento veya kum-çimento karışımı kullanılır.

Özellikler: A Tipi enjeksiyonlama, yüzey sürtünmesi daha düşük olan ve fore kazık sistemine benzer bir davranış sergileyen mikro kazıklar oluşturur.

- **B Tipi Enjeksiyonlama:**

Yöntem: Enjeksiyon, yaklaşık 0,5 ila 1 MPa basınç uygulanarak yapılır.

Uygulama: Enjeksiyon sırasında muhafaza borusu yukarı çekilerek enjeksiyonun sondaj kuyusunun etrafındaki zemine karışması sağlanır.

Özellikler: Bu tip, daha iyi zemin aderansı sağlamak için enjeksiyonun basınçlı olarak uygulanmasını içerir.

- **C Tipi Enjeksiyonlama:**

Yöntem: Genellikle daha yüksek basınçlarda yapılır ve özel ekipman kullanılarak gerçekleştirilir.

Özellikler: Bu tip enjeksiyonlama, zeminle daha iyi bir aderans sağlamak ve dolgu malzemesinin zemin içine daha iyi yayılmasını temin etmek için tasarlanmıştır.

- **D Tipi Enjeksiyonlama:**

Yöntem: Bu yöntem, genellikle yüksek basınç ve özel enjeksiyon teknikleri kullanılarak yapılır.

Özellikler: En yüksek performans ve dayanıklılığı sağlamak amacıyla kullanılır, zemin koşullarına göre özel formülasyonlar ve teknikler içerebilir.

Genel Bilgiler:

- Enjeksiyon Malzemeleri: Mikro kazıkların imalatında kullanılan enjeksiyon malzemeleri genellikle su ve çimento karışımından oluşur. Maliyetleri düşürmek ve tasarım gereksinimlerini karşılamak için kum da eklenebilir.
- Tasarım ve Uygulama: Her enjeksiyon tipi, mikro kazıkların davranışını ve performansını etkiler. Seçilen yönteme göre mikro kazıkların yük taşıma kapasitesi, zeminle etkileşimi ve genel dayanıklılığı değişebilir.

Bu sınıflandırmalar, mikro kazıkların projelerde nasıl kullanılacağını ve performans özelliklerini belirlemek için önemli bir temel sağlar. Enjeksiyonlama yöntemi, mikro kazıkların zeminle etkileşimini ve yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkiler.

Enjeksiyonlama Yöntemlerinin Etkileri ve C Tipi ile D Tipi Mikro Kazıklar

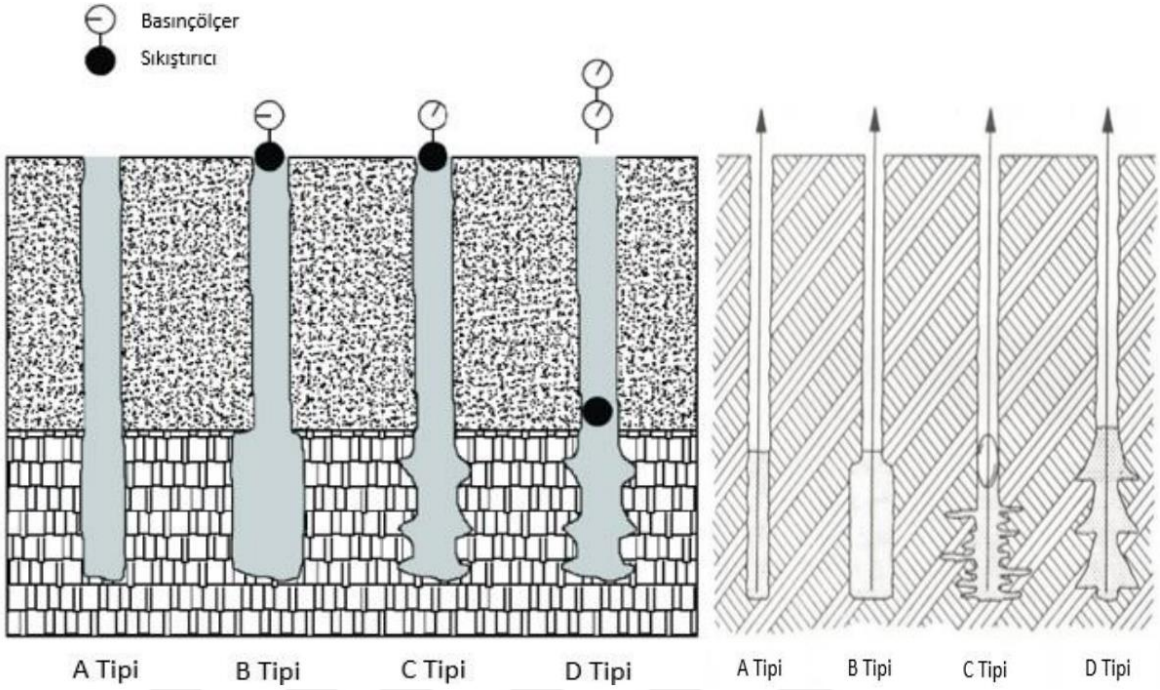
C Tipi Enjeksiyonlama: C Tipi mikro kazıkların enjeksiyonlama işlemi iki aşamalı olarak gerçekleştirilir. İlk aşamada, A Tipi enjeksiyonlamaya benzer şekilde, açılan delgiye enjeksiyon uygulanır.

Bu işlemden sonra, enjeksiyon malzemesi sertleşmeden önce (15-25 dakika içinde) özel bir manşonlu enjeksiyon borusu kullanılarak en az 1 MPa basınç uygulanır. Bu ikinci aşama, enjeksiyon malzemesinin zemin içine daha derinlemesine nüfuz etmesini sağlar ve zemin-çimento karışımı (soilcrete) oluşturarak yüzey sürtünme değerini artırır. C Tipi mikro kazıklar, Fransa ve Avrupa'nın bazı bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

D Tipi Enjeksiyonlama: D Tipi mikro kazıkların enjeksiyonlama işlemi de iki aşamalı olarak yapılır. İlk aşama, A Tipi enjeksiyonlamaya benzer şekilde açılan delgiye enjeksiyon yerleştirilir ve bu aşama, enjeksiyon malzemesi sertleşene kadar tamamlanmaz. Sertleşmenin ardından, manşonlu enjeksiyon borusu kullanılarak 2-8 MPa basınçla ilave enjeksiyon yapılır. Her aşamanın tamamlanmasının ardından, Şekil 2.10’da gösterilen geometrinin elde edilmesi için sıkıştırıcı makineler kullanılır. D Tipi mikro kazıklar, dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip mikro kazıklarda, birden fazla noktada yüksek basınçla enjeksiyon uygulandığı için yüzey sürtünme değeri, B ve C Tiplerinden daha yüksektir.

Enjeksiyon-zemin aderans değeri, A Tipi mikro kazıklardan yaklaşık %63 daha yüksek olmaktadır.

Şekil 2.10’da Farklı enjeksiyonlama yöntemlerinin şematik gösterimini içermektedir ve çeşitli enjeksiyonlama tekniklerinin geometrik etkilerini görselleştirir.



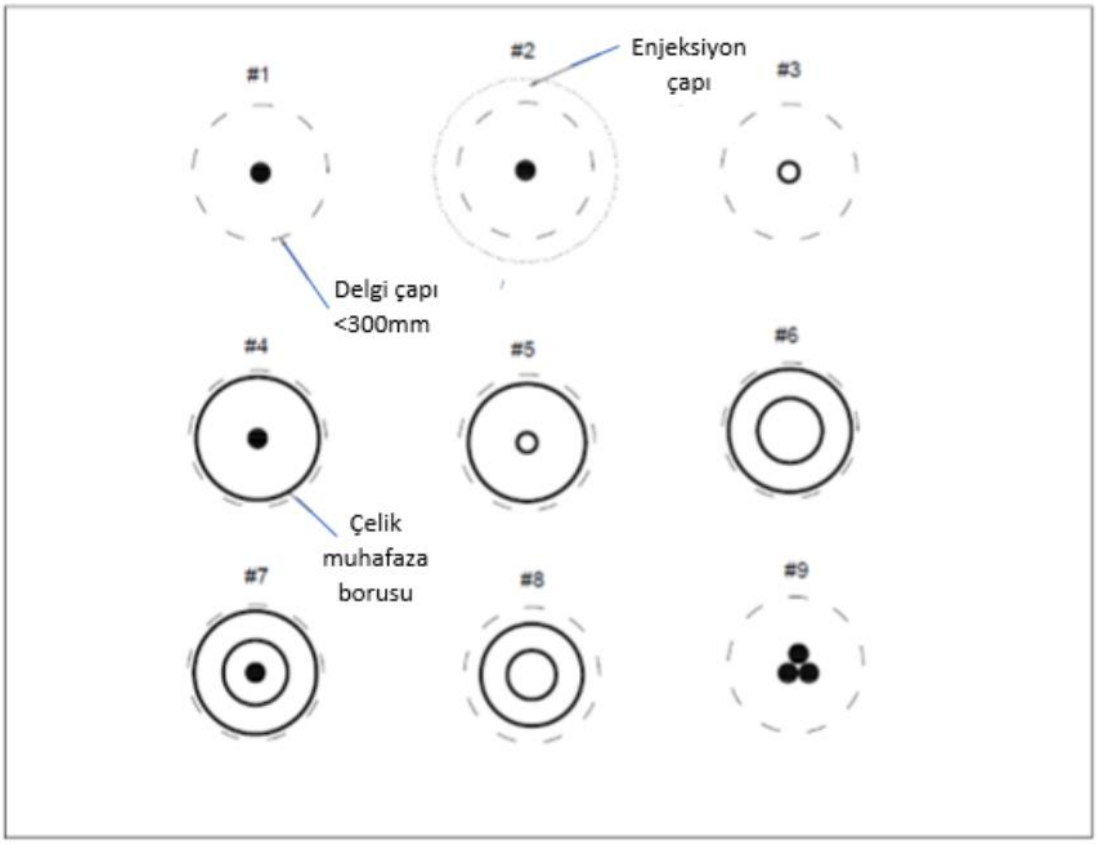
Şekil 2.10. *Mikro kazıkların enjeksiyonlama yöntemlerine göre sınıflandırmanın şematik gösterimleri*

1983 yılında, dişli ve içi boş çubuklardan oluşan yeni nesil mikro kazıklar tasarlandı. Bu mikro kazıklar, matkap ucuna bağlanarak hava veya su basıncı kullanılarak zemine yerleştirilmektedir. Enjeksiyon işlemi, 1,0-1,5 MPa basınç altında matkap ucundaki deliklerden içi boş çubuğun içine uygulanmaktadır. Bu tür mikro kazıklar bazı araştırmalarda B Tipi mikro kazıklar olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak, Amerikan Federal Karayolu İdaresi (FHWA) ve Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Derneği bu mikro kazıkları E Tipi olarak tanımlamaktadır, bu E Tipi mikro kazıklar FHWA'nın dört tip mikro kazık sınıflamasının tamamlayıcısı olarak kabul edilmektedir.

İçi boş çubuk mikro kazıkların avantajlarından biri, delgi açıldıktan sonra çelik takviye elemanının ve enjeksiyon işleminin aynı anda yapılabilmesi ve bu işlemin tek adımda tamamlanabilmesidir. Uygulanan basınç nedeniyle enjeksiyon çapı, delginin çapından daha büyük hale gelmektedir. E Tipi mikro kazıklar, çekme ve basınç yüklerine karşı iyi performans sergilemekte, ancak küçük çapları nedeniyle yanal yükler altında daha az etkili olmaktadır.

Mikro kazıklar, karstik alanlar, sertleşmiş kil ve kireçtaşı gibi çeşitli zeminlerde kullanılabilmektedir. Bu kazıklar, 5 ila 50 metre derinliklerde, neredeyse her uygun zemin tabakasına yerleştirilebilmektedir. Mikro kazık tasarımı, mevcut zemin özelliklerine göre uyarlanır ve genellikle kum, kil ve kaya gibi üç ana zemin türü göz önünde bulundurulur.

Ayrıca, silt, çakıl, akan kumlar ve büyük boşluklar gibi özel zemin özellikleri için hibrit tasarım yöntemleri (Hybrid Design Methodology) uygulanmaktadır. Projelerde kullanılan mikro kazıkların kesit şekli, zemin türüne ve uygulanan yük türlerine göre değişir ve bu farklı kesitler Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. *Tipik mikro kazık kesitleri*

Mikro Kazık Uygulamaları genellikle zorlayıcı delme koşullarında, sınırlı alanlarda ve büyük kesonlar veya kazık çakma işlemlerinin gerçekleştirilemediği durumlarda tercih edilir.

1980'li yıllardan itibaren kullanım alanı genişleyen mikro kazıklar, köprüler, ticari binalar, konut projeleri, rüzgar türbinleri ve anten kuleleri gibi pek çok yeni inşaat projesinde kullanılmaktadır. Özellikle kayalık zeminlerde, kazıkların rahatça yerleştirilmesini veya büyük çaplı fore kazıkların inşasını engelleyen koşullarda mikro kazıklar etkili bir çözüm sunar.

Mikro kazık sondaj makineleri, Görsel 2.7'de gösterildiği gibi, diğer inşaat ekipmanlarına göre daha kompakt ve küçüktür, bu nedenle dar alanlara kolayca yerleştirilebilir. Bu kompakt yapı, mikro kazıkların sınırlı çalışma alanlarında ve zorlu zemin koşullarında rahatlıkla kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Görsel 2.7. *YMC 2000 ve Longer 44 mikro kazık sondaj makineleri*

Mikro kazıklar, başlangıçta mevcut yapıları güçlendirmek, oturmaları azaltmak ve temelin altındaki zemin taşıma kapasitesini artırmak amacıyla kullanılmıştır. 4G teknolojisinin ve altyapı ekipmanlarının gelişmesiyle, mevcut anten ve elektrik kulelerinin mikro kazık tasarım ve inşası daha da gelişmiştir. Mikro kazıklar, genellikle oturma belirtileri görülen yerlerde kullanılır.

Bu projeler genellikle dar alanlarda gerçekleştirilir, bu nedenle büyük makinelerin kullanımı her zaman mümkün olmayabilir. Mikro kazıklar, yüzeysel temellerin oturmasını engellemek, tekil temellerin zemine batmasını önlemek veya yapıyı büyük bir yer hareketine karşı korumak için uygulanarak mevcut yapıya ek stabilite sağlar. İnce yapıları ve düşük titreşim üretme özellikleri nedeniyle, tarihi ve hassas yapıların güçlendirilmesinde mikro kazıklar tercih edilmektedir.

Mikro kazıkların kolayca uygulanabilmesi, mühendislerin zorlu koşullarda hızlı ve etkili çözümler sunmasına olanak tanır. Bu özellikleri nedeniyle, şev stabilizasyonu, kaldırımlar, yollar ve tünel açma gibi projelerde mikro kazıkların kullanımı giderek artmaktadır.

Mikro kazıkların kullanımı bu tür projelerde başarılı sonuçlar vermiş ve bu yapıların ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Federal Karayolu İdaresi (FHWA), mikro kazıkların tasarım sürecini aşağıdaki adımlarla özetler:

- Proje ihtiyaçları belirlenir ve mikro kazıkların uygulanabilirliği değerlendirilir.
- Mevcut geoteknik veriler, tasavvur parametreleri ve yerin jeolojik profili incelenir.
- Mikro kazıklara gelen yükler ve yük kombinasyonları belirlenir.
- Mikro kazıkların uzunluğu, kazıklar arası mesafe, vaziyet ve kesit şekli tasarlanır.
- Mikro kazık tipi ve imal periyodu seçilir. Kullanılacak yapısal çelik tipi belirlenir.
- Muhafaza borusunun kullanıldığı uzunluğun izin verilen en çok yapısal kapasitesi değerlendirilir.
- Muhafaza borusunun kullanılmadığı uzunluğun izin verilen en çok yapısal kapasitesi incelenir.
- Mikro kazığın geoteknik kapasitesi değerlendirilir.
- Enjeksiyon-zemin yada çelik-zemin arayüzey sürtünme değerleri hesaplanır.
- Gömme derinliği ve aderans uzunluğu belirlenir.
- Burkulma, bükülme, patlama, eğimli yükleme ve zımbalama kesmeleri test edilir.
- Kazık-yapı rabıta bileşenleri tasarlanır.
- Yükleme deneyleri yapılır.
- Tüm bilgileri açıkça belirten teknik çizimler hazırlanır.
- Mikro kazıklar için ehil korozyon koruması planı tasarlanır.

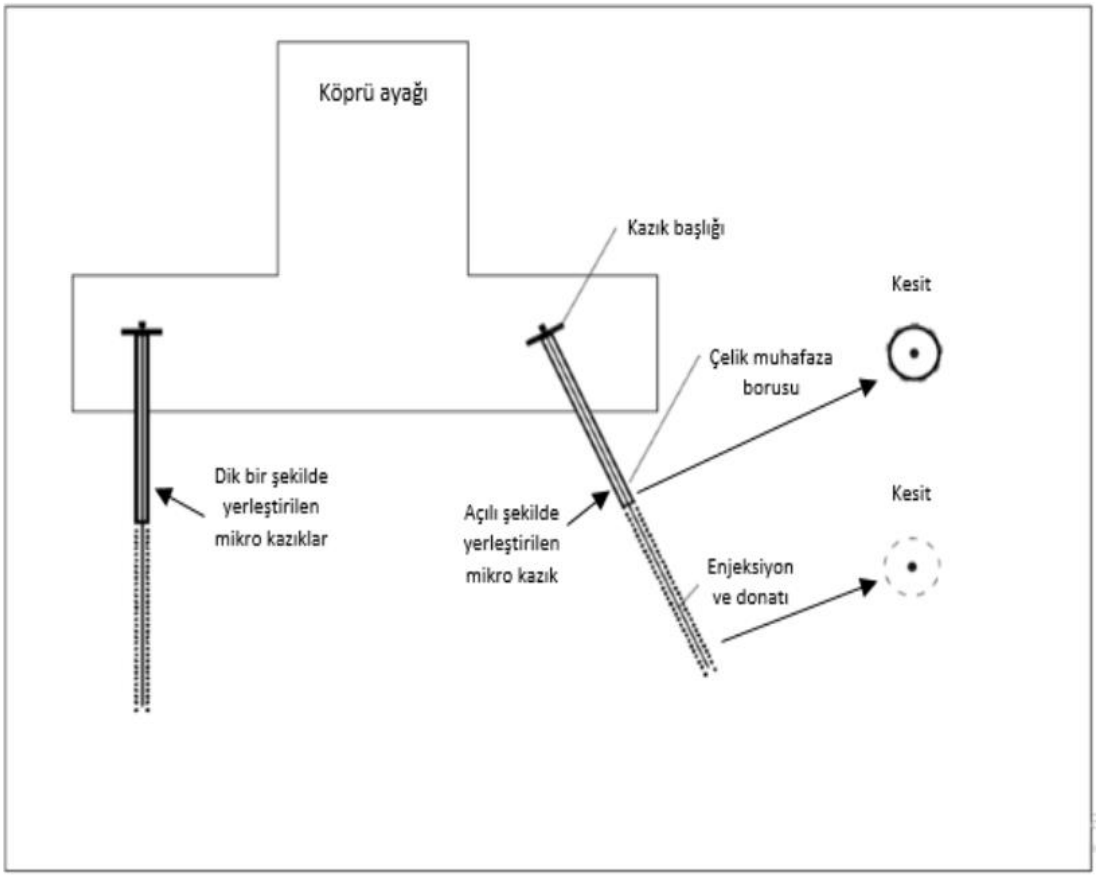
Yeni Temel Yapımında Mikro Kazık Kullanımı Nüfus artışıyla birlikte, yeni yapıların inşası ve eski yapıların güçlendirilmesine olan ihtiyaç artmaktadır. Yeni yapıların ekonomik ve dayanıklı olması için mikro kazıklar uygun çözümler sunmaktadır.

Ayrıca, yeni yolların yapılması ve köprü inşası gereksinimi artmakta, mevcut köprü ayaklarının güçlendirilmesi gerektiğinde mikro kazıkların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Köprü temellerinin güçlendirilmesinde mikro kazıkların kullanımı giderek artmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te bir köprü ayağı için mikro kazıklı temel tasarımı gösterilmektedir. Bu tasarımda, köprü ayağını kayaya sabitlemek için hem dikey hem de açılı mikro kazıklar kullanılmıştır. Bu tür sistemlerde muhafaza borusu kullanımı, mikro kazıkların burkulmasını önleyerek sisteme ek yanal dayanım sağlar.

Bu uygulamalarda, köprü ayakları doğrudan mikro kazıklar üzerine inşa edilir ve bu sistemler hibrit temel sistemi (hybrid foundation system) olarak adlandırılır. Mikro kazıklar, köprü temellerinin altında bulunan kaya tabakasının derin olmadığı durumlarda

kullanılır. Mikro kazıklar, temel ayaklarını sağlam kaya tabakasına oturtarak oturmaları önler.

Küçük boyutları ve kaya zemininde işlenebilirliği sayesinde, mikro kazıklar kesonlar veya diğer çakma kazıkların yerine tercih edilmektedir. Köprü inşaatında kullanılacak mikro kazıkların yükleme deneyleri yapılması gerekmektedir.



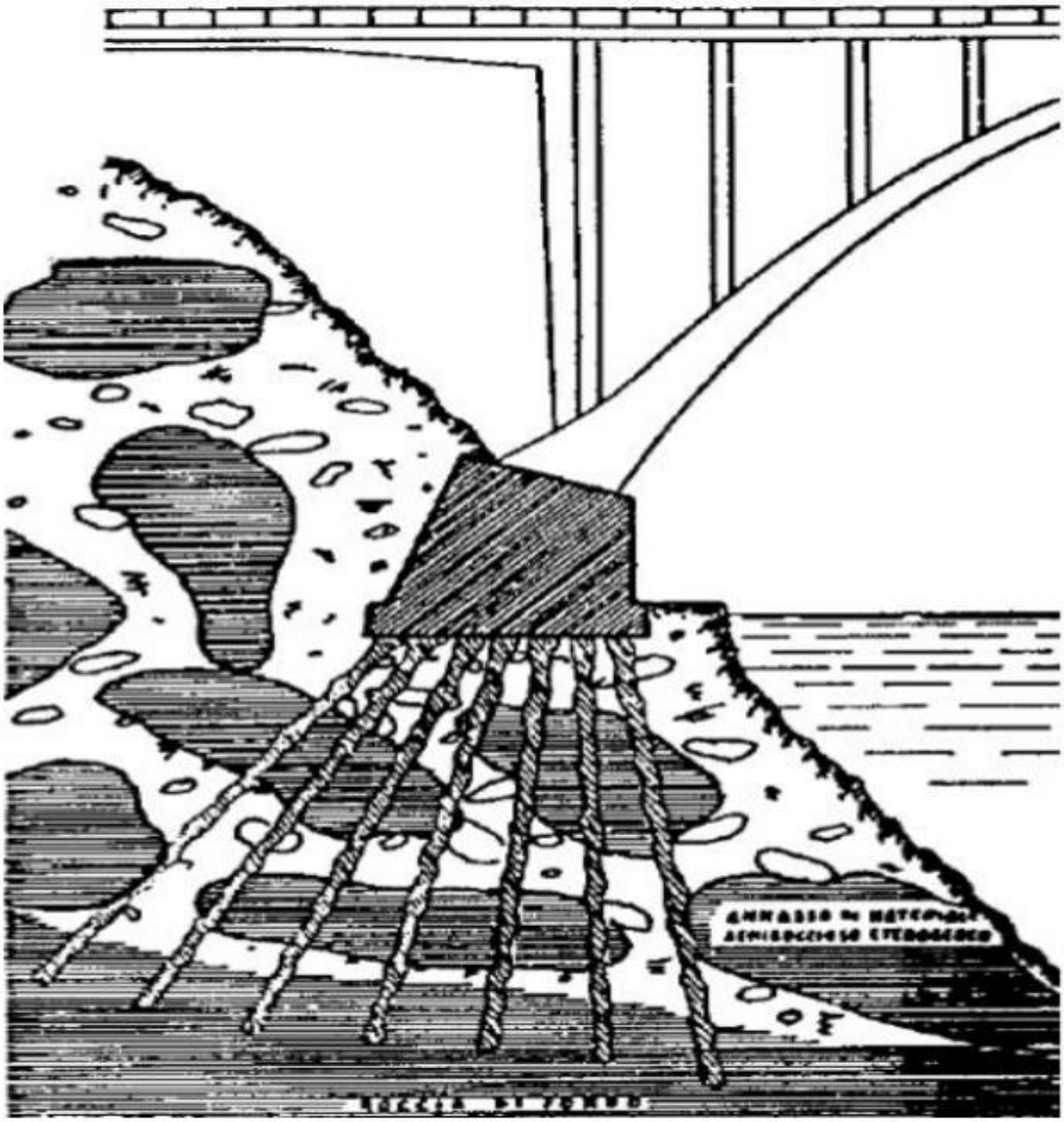
Şekil 2.12. *Köprü ayağında kullanılan mikro kazık kesiti*

Mevcut yapı Temel sistemlerinin Güçlendirilmesinde Mikro Kazık Kullanımı ilk olarak Fernando Lizzi tarafından geliştirilen bir yöntemle tarihi yapıların temellerinde alttan destekleyici eleman olarak kullanılmıştır. Tarihi yapıların temelleri, öngörülemeyen yükler, tasarım hataları, savaşlar ve diğer olumsuz faktörler nedeniyle taşıma kapasitesini kaybetmiş olabilir. Bu tür yapılar, ek yapısal hasarları önlemek ve güçlendirmek amacıyla mikro kazıklarla desteklenmektedir.

Mikro kazıklar, mevcut yapının bütünlüğünü ve tarihi dokusunu korurken dar alanlarda etkin bir şekilde çalışabilme ve ekonomik çözümler sunma avantajına sahiptir. Bu kazıklar, uygulama sırasında fazla titreşim ve gürültü üretmez; geniş bir çalışma alanı gerektirmediği için uygulama genellikle çevreye minimum rahatsızlık verir. Ayrıca, mikro

kazıklar çoğu zaman uygulama tamamlandıktan hemen sonra yük taşımaya başlar ve yapının güvenliğini sağlamada etkili olur.

Mikro kazıklarla güçlendirilen yapılar, uygulama sürecinde açık tutulabilir ve mevcut hizmetlerine devam edebilir. Bu, özellikle tarihi yapılar gibi sürekli kullanımda olan yapıların güçlendirilmesinde büyük bir avantaj sağlar.

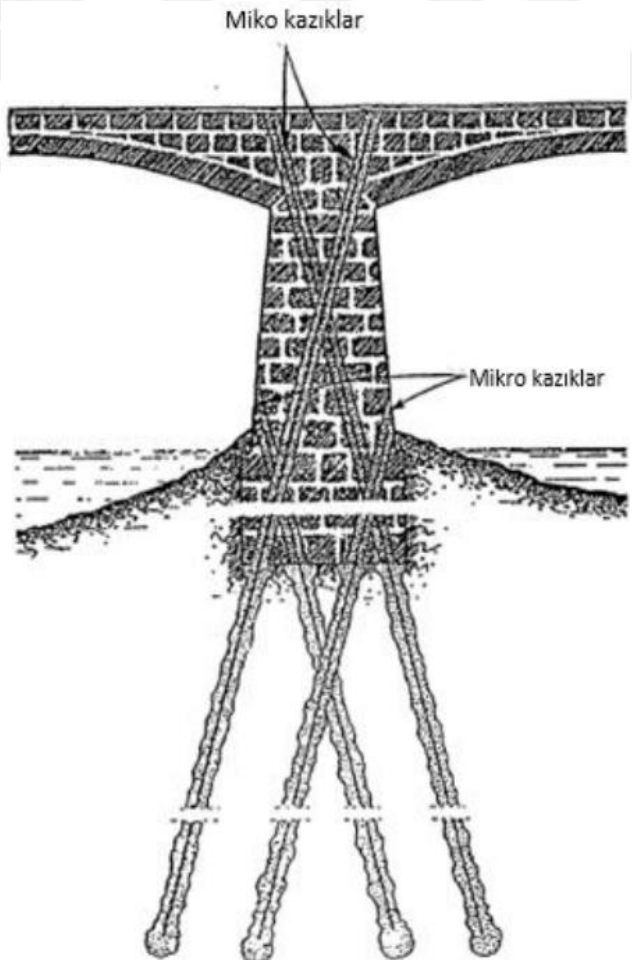


Şekil 2.13. *İtalya'da, Milan ve Bergamo arasındaki otoyolun genişletilmesi*

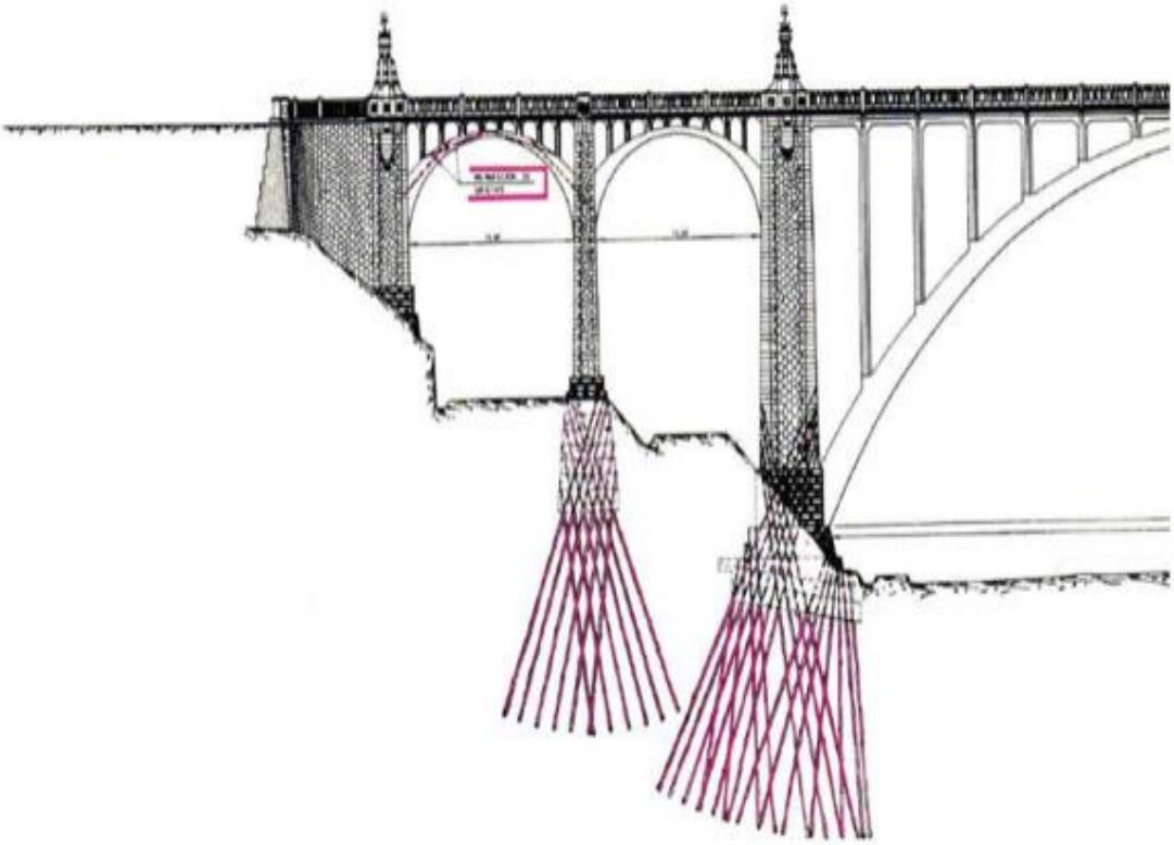
Şekil 2.13’te, Lizzi'nin İtalya'da, köprü ayağının tabliyesinin genişletilerek yük taşıma kapasitesini artırmak amacıyla kullandığı mikro kazık sisteminin şematik gösterimini sunulmaktadır.

Şekil 2.14'den Görsel 2.8'e kadar olan görseller, mikro kazıkların köprü payandalarının desteklenmesi ve viyadük güçlendirmesinde kullanılan farklı uygulamalarını detaylandırmaktadır.

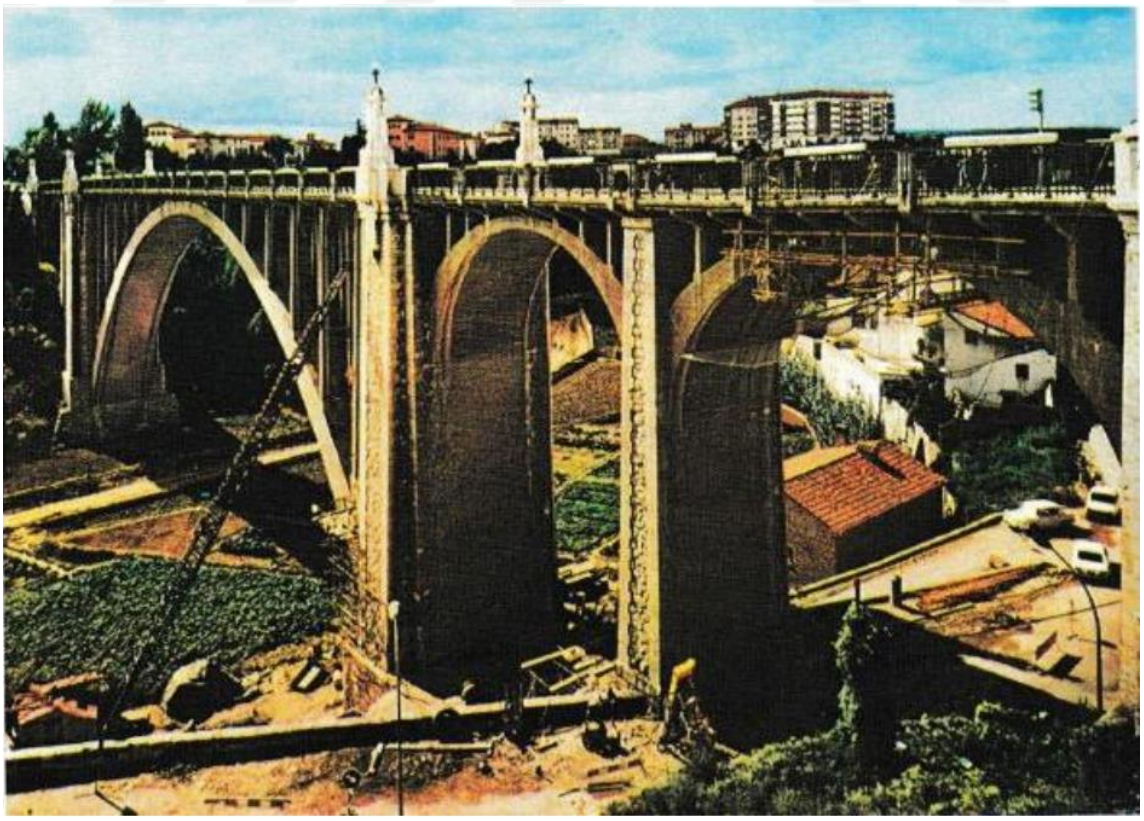
Mikro kazıklar, mevcut yapıyı bozmadan küçük çaplı delikler açarak yapıya büyük dayanım kazandırdıkları için Lizzi'nin güçlendirme projelerinde kritik bir rol oynamıştır. Bu kazıklar, uygulama sırasında yapının mevcut durumunu koruyarak gerekli güçlendirmeyi sağlar. Lizzi, mikro kazıkların yük taşıma kapasitesini artırabilecek etkisini göz önünde bulundurarak, bu kazıkları uygulamadan önce yapının yüklememiş ve bu tür uygulamaların öncesinde yükleme yapmayı önermemiştir. Bu yaklaşım, yapının mevcut dayanım kapasitesinin olumsuz etkilenmesini önlemeyi amaçlamaktadır.



Şekil 2.14. *İtalya'da bir köprü payandasının mikro kazıklarla desteklenmesi*



Şekil 2.15. *Mikro kazıkların viyadük güçlendirmesinde kullanım planları*



Görsel 2.8. *İspanya'nın Teruel şehrinde yapılan viyadükte mikro kazık uygulaması*

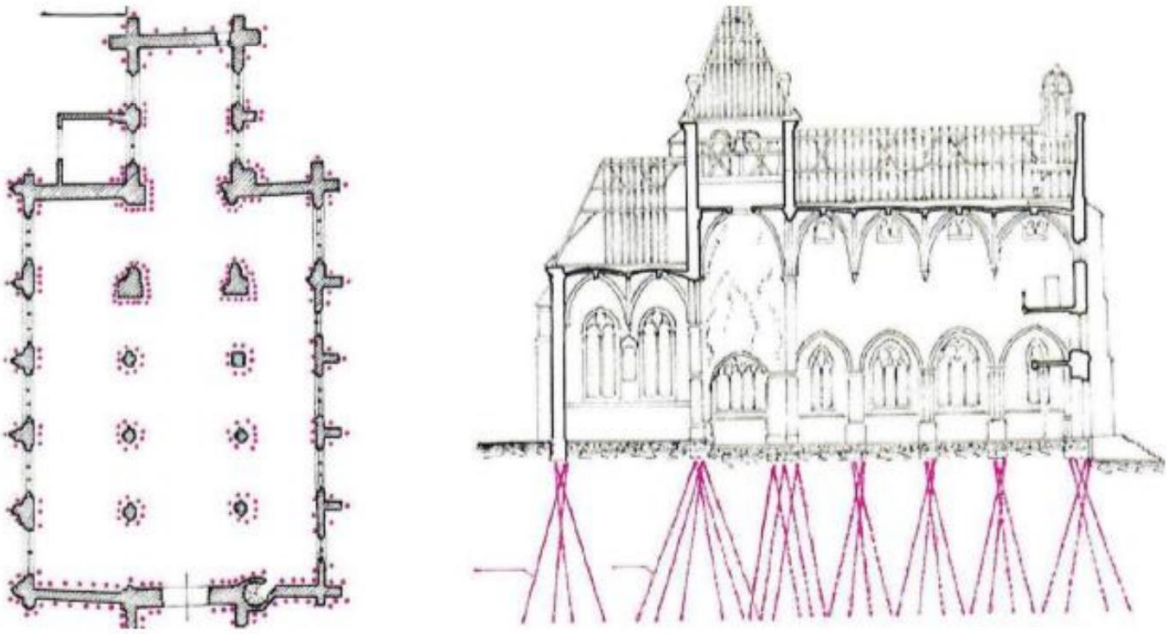
Mevcut Temellerin Güçlendirilmesinde Mikro Kazık Kullanımı Fernando Lizzi, yaklaşık 10 tonu taşıyabilecek küçük çaplı mikro kazıklar geliştirmiştir. Bu kazıkların ilk kullanıldığı dönemlerde, bu kadar düşük çaplı bir bileşenin bu kadar yüksek yükleri taşıyabilme konusunda şüphe durumu vardı. Ancak, Lizzi'nin denediği yük testleri, bu kazıkların 2-3 mm oturma ile 10 tona kadar yük taşıyabileceğini göstermiştir. Lizzi'nin bu başarılı uygulamalarından kısa bir müddet sonra, Avrupa genelindeki yıkılmaya yüz tutmuş yapıların güçlendirilmesinde mikro kazıklar kullanılmaya başlanmıştır.

Mikro kazıkların diğer iyileştirme yöntemlerine göre daha fazla rağbet görmesinin nedeni, uygulama yapılırken yapı temellerinde oturma ve hasarları minimumda tutması, yapı estetiğini bozmaması ve yapının temel ve bütünlüğüne fayda sağlaması olarak sıralanabilir. Mikro kazıklar, yapının temeli ile birlikte çalıştığı için, oturmaların görüldüğü bölgelerde alt kısımlardan destekleyici eleman olarak yükleri taşımaktadırlar. Yapıda oturmalar meydana geldiğinde, mikro kazıklar bu yükleri karşılamada daha etkili hale gelir ve yapının oturması tamamlanana kadar yük taşımaya devam ederler.

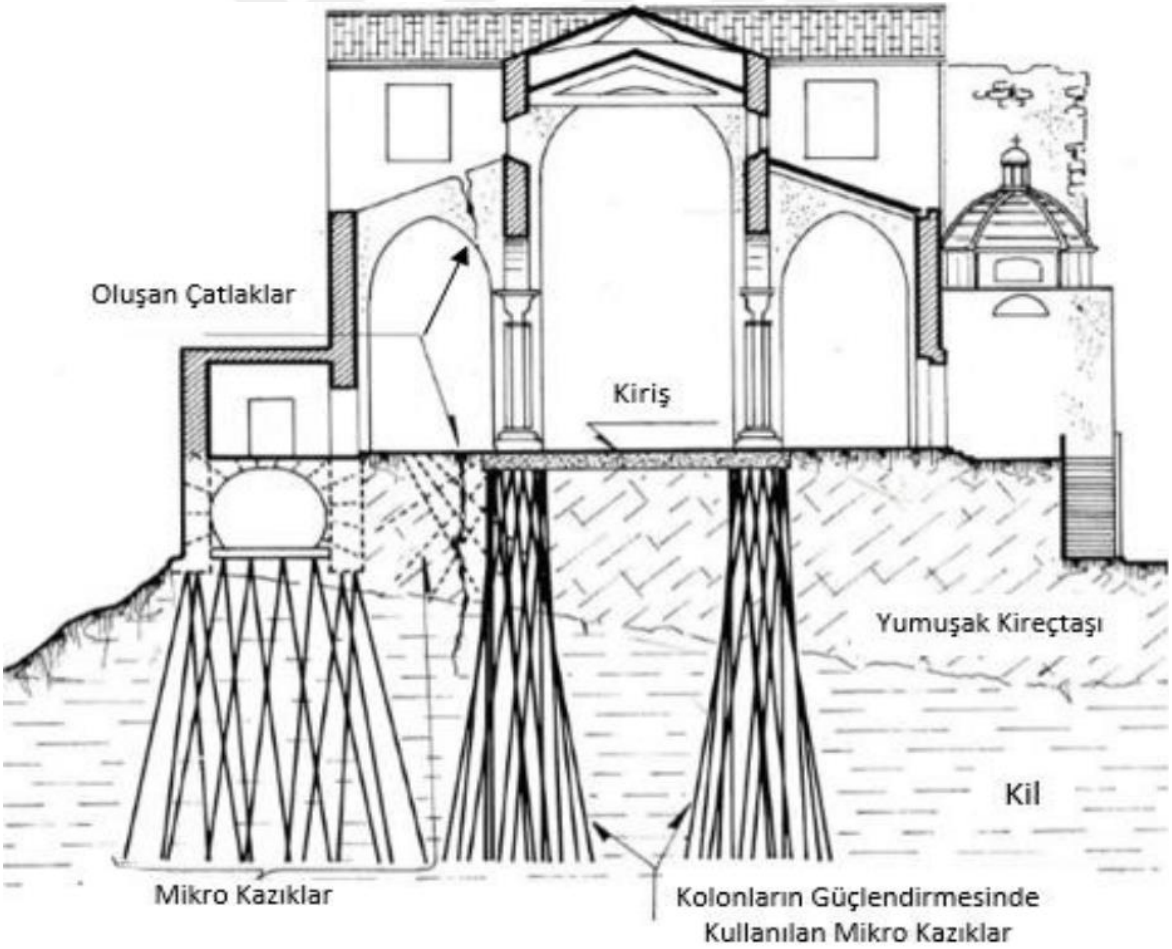
Mikro kazıkların uygulamasında kullanılan sondaj ekipmanlarının oluşturduğu titreşimlerin asgari düzeyde tutulması, çalışma sırasında yapıda başka hasarların oluşmasının önüne geçer. Tarihi yapıların güçlendirilmesi ve restorasyonu sırasında, mühendisler ve diğer çalışanlar büyük bir özen ve titizlikle çalışmalıdır. Büyük ve hassas temel restorasyon projeleri, çeşitli aşamalarda gerçekleştirilip mevcut yapıların ve temele etki eden kuvvetlerin kapsamlı bir şekilde araştırılmasını gerektirir. Mikro kazıkların, temelin taşıma gücünü artırmak amacıyla yapı temellerinin kenarlarına yerleştirilmesinin iki farklı uygulama örneği Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de gösterilmektedir.

Agrigento Katedrali, üzerine oturduğu killi zemin tabakası bu kil tabakası altında yer alan altera kireçtaşı tabakası üzerine inşa edilmiştir. Konsolidasyon süreci ile birlikte kilisede oturmalar oluşmuş ve yapı tabanı boyunca büyük ölçekli bir çatlak oluşmuştur.

Meydana gelen bu çatlak, yapıda farklı oturma hareketleri ve kil biriminin sıkışabilirliği ile temel altındaki zemin tabakasının eğimli tarafa hareket etmesi sonucunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.16. *Fransa'da bulunan Tourny Kilisesi'nin temellerinin güçlendirme planı*



Şekil 2.17. *Agrigento Katedral'ın güçlendirmesinde kullanılan mikro kazık planı*

Kilise temeline uygulanan ilk müdahale, eğimli arazinin altındaki zemin kaymasını önlemek amacıyla mikro kazıkların yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu müdahale, hareketlenme ve oturmalarda azalma sağladıktan sonra, kilise kolonlarının altında daha çok mikro kazık yerleştirilmesi planlanmıştır. Tüm mikro kazıklar tazyik altında enjeksiyonlanmış ve kilisenin temel sistemi, yeni kurulan kazık sistemine güvenilir bir halde bağlanması için ek bir kiriş yapılmıştır. İyileştirme projelerinde mevcut temelin bütünlüğünü riske atmamak için büyük bir itina gösterilmelidir. Çevredeki yerin iyileştirilmesi ve tatbik esnasında oturmaların önlenmesi için basınçlı enjeksiyon tercih edilmelidir. Mikro kazıkları mevcut temele bağlamak için plakalar, donatılar, dübeller ve ek beton şeklinde muhtelif rabıta seçenekleri kullanılabilir.

Mikro kazıkların dizaynı için farklı şartname ve yönetmelikler mevcuttur. Bu konuda önde gelen bazı ülkelerde düzenlenen yönetmelikler, mikro kazıkların tasarımıyla ilgili bölümler içermektedir. Tasarımlar, yapısal tasarım ve geoteknik tasarım olarak iki ana başlıkta incelenmektedir. Federal Karayolu İdaresi (FHWA), 12 adımdan oluşan kapsamlı bir tasarım yaklaşımı önermektedir. Bu bölümde, FHWA'nın 2005 tarihli yönetmeliğine göre, basınç ve çekme yüklemesi altındaki mikro kazıkların yapısal ve geoteknik tasarımı ile ilgili bilgiler verilecektir.

Yapısal Tasarım Geleneksel kazıklı temeller, büyük kazık kesitleri sebebiyle yüksek yapısal kapasite ve rijitliğe sahiptir, bundan dolayı tasarımlar çoğu zaman geoteknik kapasiteye (uç taşama kapasitesi ve yüzey sürtünmesi) nazaran yapılmaktadır. Mikro kazıkların tasarımında ise hem yapısal aynı zamanda geoteknik yönler dikkate alınmaktadır. Mikro kazıkların nispeten minik kesitleri, yüksek geoteknik yük nakliyat kapasitesi ile basınçlı enjeksiyondan ötürü oluşan yüksek enjeksiyon-zemin yüzey sürtünmesinden kaynaklanmaktadır. Bu bölümde, FHWA`nın 2005 yönetmeliğine nazaran çekme ve basınç yükleme koşulları için izin verilebilir eksenel kuvvetlerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler ile alakalı malumat sunulacaktır. FHWA'nın 2005 yönetmeliği, mikro kazıkların tasarımı için kabul edilebilir gerilme tabanlı tasavvur yöntemlerini (Allowable Stress Design Method, ASDM) kullanmaktadır. Basınç ve çekme yüklemelerinde eksenel kuvvet, aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

Mikro Kazıkların Çelik Muhafaza Borusunun Kullanıldığı Bölgenin Yapısal Tasarımı

Burada;

*P*ke-b = Kabul edilebilir basınç yükü, olmak üzere muhafaza borusunun kullanıldığı bölge için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$P_{ke-b} = \left[0.4f'_{b-enj} \times A_{enj} + 0.47F_{y-çelik} \times \left(A_{çç} + A_{çb}\right)\right]$$

$fb'-enj$ = Enjeksiyonun serbest basınç dayanımı,

*A*enj = Mikro kazık kesitindeki enjeksiyon alanı,

Fy-çelik = Çeliğin akma dayanımı,

*A*çç = Çelik çubuğunun kesit alanı,

Açb = Çelik borusunun alanı göstermektedir,

Basınç yüklemesi altında olan mikro kazıkların tasarımında, bileşenler arasında gerinim uyumluluğunun sağlanması. Bu uyumluluğu temin etmek için, mikro kazık bileşenlerinin her birinin izin verilebilir basınç gerilmeleri minimum değerlerle sınırlandırılmalıdır. Çelik muhafaza borusu, çelik takviye çubuğu ve enjeksiyon malzemesi gibi bileşenlerin her birinin izin verilebilir basınç gerilmeleri, bu bileşenlerin akma gerilmesi ve maksimum basınç gerilmesi değerlerinin en küçüğü ile sınırlandırılmalıdır.

Gerinim ve Gerilme Değerlerinin Hesaplanması

Çelik Gerilme Hesaplamaları:

Mikro kazıkların tasarımında çelik bileşenlerin maksimum akma gerilmesi (Fy-çelik) çelik muhafaza borusunun akma gerilmesi, çelik takviye çubuğunun akma gerilmesi ve enjeksiyonun kırılma anındaki maksimum basınç gerilmesinden en küçüğü olarak seçilmelidir.

Betonda kullanılabilir maksimum gerinim değeri genellikle 0,003 olarak kabul edilmektedir.

Bu gerinim değerine karşılık gelen çelikteki gerilme değeri, çeliğin elastisite modülü ile gerinim değerinin (0,003) çarpımı ile hesaplanır.

Elastisite modülü = 200.000 MPa

İzin verilebilir maksimum akma gerilmesi = 200.000 MPa×0,003=600 MPa

Bu durumda, çelik takviye elemanının akma gerilmesi 600 MPa'yı aşmamalıdır. Özellikle muhafaza borusu ile kaplı olmayan kısımlarda, çelik takviye elemanının akma mukavemeti bu sınırı geçmemelidir.

Bileşenlerin Akma Mukavemeti:

Çelik muhafaza borusunun akma mukavemeti = 241 MPa

Çelik takviye çubuğunun akma mukavemeti = 520 MPa

Enjeksiyonun kırılma anındaki maksimum basınç gerilmesi = 600 MPa

Bu bileşenlerden en düşük akma mukavemeti 241 MPa'dır. Bu nedenle, tasarımda bu değer kullanılarak mikro kazıkların tasarımı yapılır.

İzin Verilebilir Çekme Yükü Hesaplama:

Muhafaza borusunun kullanıldığı bölge için izin verilebilir çekme yükünün hesaplanmasında kullanılan denklem şu şekildedir:

$Pke-ç = 0.55Fy-çelik \times (Açç + Açb)$

Burada;

Pke-ç : Kabul edilebilir maksimum çekme yükununü,

Fy-çelik: Çeliğin akma gerilmesini,

Açç: Çelik takviye çubuğunun kesit alanını,

Açb: Çelik muhafaza borusunun alanını göstermektedir

Bu hesaplamalar, mikro kazıkların güvenli ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi için gerekli tasarım kriterlerini sağlamaktadır.

2.6. Kompaksiyon

Bunlar, ızgaralı zemine yerleştirilen, genellikle beton veya ön gerilmeli ahşap olmak üzere kum veya çakıl birimi içerisine dizayn edilen kazıklardır. Sıkıştırma kazıkları zemini 3 farklı durumda sağlamlaştırır. Birincisi eğilme mukavemetinin zemin hareketlerine karşı direnç sağlaması, ikincisi ise taneli zeminlerin kazık montajı sırasında titreşime ve yer değiştirmeye maruz kaldığında sıkılaşma eğilimi göstermesidir (Robinsky ve Morrison, 1964; Kishida, 1967) üçüncüsü kazıkların yerleştirilmesi sırasında çevredeki zemindeki yanal gerilmeleri arttırmasıdır (Kramer, 1996).

İlk olarak Japonya'da kullanımı başlanan diğer yöntem kum kompaksiyon yöntemi olmaktadır. Denizde yapılan kompaksiyon kazıkları bu yöntemin en güzel örneklerinden biri olarak verilmiştir (Görsel 2.9).

Görsel 2.9. *Kum kompaksiyon kazıklarının denize yerleştirilmesi (Kitazume, 2007)*

Kumlu ve killi zeminlerde özel olarak kullanılan kum kompaksiyon yöntemi, Asya'da kullanılmaya başlamış ve günümüz koşullarında tüm dünyada kullanılmaktadır. Burada gevşek olan kum tabakalarının zemin yoğunluğunu arttırmak adına yer değiştirme kazığı kullanılarak zemin güçlendirilmektedir. Temel kaplama ile kaplama borusunun çıkarılmasıyla meydana getirilmektedirler. Ardından, kaplama borusu çekilmekte ve içerisindeki malzeme dökülmektedir. Kum suya tam doygun olduğunda daha fazla etki alındığı tespit edilmiştir.

Bazı araştırmalara göre kum kompaksiyon yönteminin ince daneli zeminler açısından maliyeti ve iyileştirme oranı açısından tercihe dilen bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, suya doygun zeminlerde ise başarılı sonuçlar çıkardığı görülmektedir (Demiröz, 1992).

Aşağıda kum kompaksiyon yöntemi ile tamamlanmış bir kolon görüntüsüne yer verilmektedir (Görsel 2.10).

Görsel 2.10. *Tamamlanmış kolon görünümü (Raithel vd., 2005)*

Kompaksiyon yönteminde bazı kontrol parametreleri söz konusu olmaktadır. Bunlar (Bildik, 2017):

- Kompaksiyona ilişkin enerji,
- Malzemeye ait gradasyon ve cins,
- Su muhtevası,
- Kuru birim hacim ağırlık şeklindedir.

2.7. Sıvılaşma Potansiyeli

Sıvılaşma, deprem durumunda tekrarlı ve hızlı yüklemeler altında, artan boşluk suyu basıncı ile suya doygun zeminlerde (argooz, kumlu) taneler arası temas kuvvetlerinin azalması nedeniyle zemin yapısının bozulması olayıdır. Sıvılaşmayı yeraltı su seviyesi altında yer alan granüler zeminlerde sismik etkiler sonrasında zemine yerleşme olayı olarak da konuşabiliriz.

Daha küçük de olsa kilde de gözlenen sıvılaşma için kilin plastisite indeksi doğrulanmıştır. Plastikite indeksinin 12'den düşük olduğu durumlarda, kil tabakasında sıvılaşma meydana gelebilir.

Sıvılaşma sonucunda zemin, taşıma durumunu önemli ölçüde kaybeder. Bu nedenle su ve deprem riski bulunan yerler için yapılacak hesaplamalarda sıvılaşma etkisinin de dikkate alınması gerekmektedir.

- Dane boyunun 0.005 mm den düşük olma yüzdesi ≤ %15
- Likit limit (LL) ≤ %35
- Su içeriğinin (w) ≥ 0.9*LL

Zemin, yukarıda belirtilen özelliklere sahipse sıvılaşma riski taşıyan bir zemin olarak değerlendirilir (Seed ve Idriss, 1982). Bu kriter aynı zamanda 'Çin Kriteri' olarak bilinir.

Diğer bir çalışmada ise, zemin sıvılaşma potansiyeline sahip olarak değerlendirilebilmesi için aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir (Ishihara ve Yoshimine, 1992).

- 200 nolu eleği geçme miktarı ≤ %35
- Ortalama dane çapı (D50) ; 0.02 mm ≤ D50 ≤ 2 mm
- Doygun tabaka derinliği ≤ 15 ile 20 metre
- SPT–N değeri ≤ 20 ile 30

"Adapazarı Kriteri" olarak da adlandırılan Bray ve diğ.,2004'e göre;

Ip< 12 ve wn/LL > 0.9	Sıvılaşabilir Zemin
12<Ip< 20 ve 0.8< wn/LL 0.9	Ara durum, deney yapmak gerekir
Ip>20 ve wn/LL<0.8	Sıvılaşmaz zemin olarak tanımlanmaktadır.

Sıvılaşmaz olarak tanımlanan zeminler, arazi deneyleri yapılırken istenilen derinliğe kolayca ulaşılabilmesi ve zeminin doğal durumunun test edilebilmesi açısından en yaygın mühendislik yöntemidir.

Sıvılaşmanın ortaya çıkabilmesi için sismik etkilerin mevcut olması gerekmektedir. Bu nedenle, gerçekleştirilen arazi deneyleri doğrudan sıvılaşma ile ilişkili zemin parametrelerini belirlemekte yetersiz kalmaktadır.

Bu bağlamda, güvenilir değerlendirme kriterlerine ulaşmak amacıyla, daha önce meydana gelen sıvılaşma olaylarından elde edilen verilerle oluşturulan ampirik bağıntılardan faydalanılmaktadır (Wang ve Law, 1994). Böylece, saha verilerinin sınırlamalarını aşarak, zemin davranışına ilişkin daha sağlam ve doğrulanmış analizler yapılabilmektedir.

Arazi incelemeleri için;

- CPT (Konik Penetrasyon Deneyi)
- SPT (Standart Penetrasyon Deneyi)

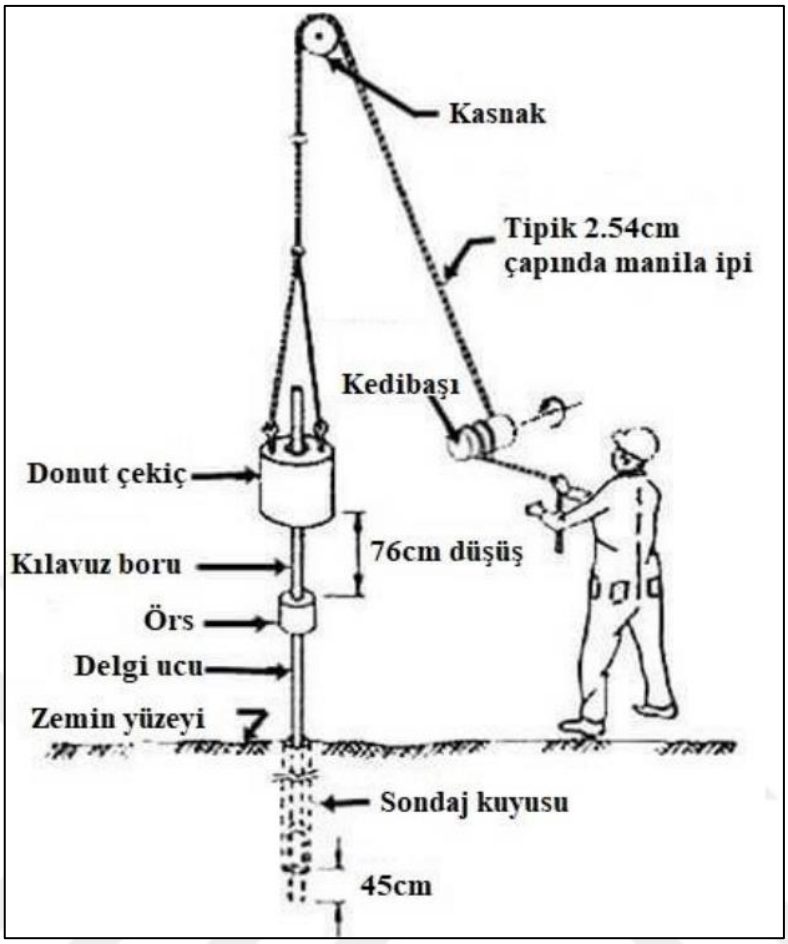
- Vs (Kayma Dalga Hızı Ölçümü) deneylerinden yararlanılır.

Zeminin sıvılaşma direncini değerlendirmek için, saha performansı kapsamlı bir analizden geçirilmektedir. Bu analiz sürecinde, Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Konik Penetrasyon Testi (CPT) kullanılarak oluşturulan sıvılaşma değerlendirme grafikleri, yaygın ve güvenilir risk belirleme yöntemleri arasında yer alır. SPT ve CPT'nin sıvılaşma ile ilgili geniş ve ayrıntılı bir veri tabanına sahip olması, bu tekniklerin tercih edilmesinin başlıca nedenidir. İlk olarak, zemin örneklerinin alınacağı noktalar belirlenir ve bu numuneler SPT ile test edilir. Ardından, SPT-N değeri baz alınarak çeşitli ampirik bağıntılarla sıvılaşma riski değerlendirilir. Benzer şekilde, CPT ile zemin profili net bir şekilde ortaya çıkarılır ve CPT'ye dayalı ampirik bağıntılar yardımıyla risk analizi yapılır. Ayrıca, dinamik ve statik analizlerde Vs hız ölçümleri gerçekleştirilir ve laboratuvar ortamında elde edilen veriler incelenir. Sonuç olarak, bu yöntemler kullanılarak zeminin sıvılaşma riski güvenli bir şekilde belirlenmiş ve saha performansı doğrultusunda kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

2.7.1. Basitleştirilmiş hesap yöntemi

Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen "Basitleştirilmiş Yöntem", SPT-N verilerine dayanarak sıvılaşma analizinde kullanılmaktadır. Bu analize başlamadan önce, SPT verilerinin uygun şekilde düzeltilmesi gerekmektedir.

SPT, zemin hakkında oldukça fazla bilgi edinmemizi sağlayan ve basitliğiyle öne çıkan en yaygın testlerden biridir. Bu testte, standart bir ucu olan 63.5 kg ağırlığındaki bir tokmak, 76 cm yükseklikten bırakılarak zemine çakılır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. *SPT düzeneği*

SPT testi gerçekleştirilecek bölge ve derinlik belirlendikten sonra, sondaj ucu bu derinliğe kadar çakılır. Ardından, zemin yüzeyinde kalan kısım 15 cm'lik üç eşit parçaya ayrılır. 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76 cm yüksekliğinden serbest bırakılmasıyla, ilk 15 cm'yi tamamlamak için gereken vuruş sayısı kaydedilir.

Benzer şekilde, ikinci ve üçüncü 15 cm'lik bölümleri tamamlamak amacıyla gereken vuruş sayıları da ayrı ayrı not edilir. Bu yöntemle, her bir 15 cm'lik zemin tabakasının penetrasyon performansı detaylı bir şekilde değerlendirilir.

Bu işlem sonucunda, sondaj ucu toplamda 45 cm derinliğe yerleştirilmiş olur ve vuruş işlemi tamamlanmış olur. İlk 15 cm'lik kesiti tamamlamak için yapılan vuruşlar, başlangıç aşamasında ucun henüz stabil olmadığı varsayıldığı için yüksek hata payına sahip olduğu ve bu nedenle dikkate alınmadığı belirtilir. Standart penetrasyon sayısını elde etmek amacıyla, ikinci ve üçüncü 15 cm'lik kesitlerin toplam vuruş sayısı kullanılır. Sert zeminlerde sondaj ucunun ilerlemesi daha zor olduğu için vuruş sayısının yüksek olması beklenir.

Zemin yumuşadıkça, ucun ilerlemesi kolaylaştığından, istenilen 15 cm'lik batmaya daha az vuruşla ulaşılır. Eğer sondaj ucu 30 cm derinliğe inmeden önce vuruş sayısı 50'yi aşarsa, ek darbe uygulanmaz.

SPT testi, granüler ve kohezyonsuz zeminler (kum, silt) için geliştirilmiş olup, çakıllı veya killi zeminlerde uygun sonuçlar vermemektedir. Ayrıca, çukurun çapı, derinliği ve yeraltı su seviyesinin test sonuçları üzerindeki etkisi de vurgulanmaktadır. Dünya genelinde SPT test sonuçlarının standardize edilmesi ve karşılaştırılabilirliğinin artırılması amacıyla ortak standartlar ve düzeltme katsayıları geliştirilmiştir. Eğer zemin siltli kum veya çok ince taneli kum tabakasından meydana geliyorsa, su seviyesi altında bulunuyor ve vuruş sayısı 15'in üzerindeyse, siltli kum düzeltmesi uygulanmaktadır.

Bu yöntemler, zemin özelliklerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve sıvılaşma riskinin güvenilir bir şekilde belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

$N'30=15 + 1/2(N30-15)$ (2.1)

$N'1,a=N'30\ CN\ CE\ CB\ CR\ CS$ (2.2)

Denklem 2.2'ye dayanarak, yüzey jeolojik yükü (Bowles, 1997), enerji (Clayton, 1990), sondaj kuyu çapı, tij boyu (Skempton, 1986) ve numune alma yöntemi (Bowles, 1997) gibi faktörlere bağlı olarak çeşitli düzeltmeler yapılmaktadır. Ayrıca, Seed ve Idriss (1971) tarafından belirlenen sıvılaşma potansiyeline karşı güvenlik faktörü, denklem 2.3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$FS = CRR / CSR$ (2.3)

FS : Sıvılaşma potansiyeline karşı güvenlik faktörü

CRR : Devirsel Direnç Oranı

CSR : Devirsel Kayma Direnci göstermektedir.

Devirsel kayma direnci (CSR)

Deprem anında zemine gelen sismik etki, denklem 2.4'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$CSR = 0{,}65\left(\frac{a_{max}}{g}\right)\left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \quad (2.4)$$

Bu denklem, eşdeğer kayma (ortalama) gerilmesinin maksimum gerilmenin %65'inden oluştuğu varsayımıyla geliştirilmiştir (Seed ve Idriss, 1971). Burada;

a_{max} : maksimum yüzey ivmesini

g : yerçekimi ivmesini

σ_{vo} : herhangi bir derinlikteki toplam düşey gerilme

σ'_{vo} : herhangi bir derinlikteki efektif düşey gerilme

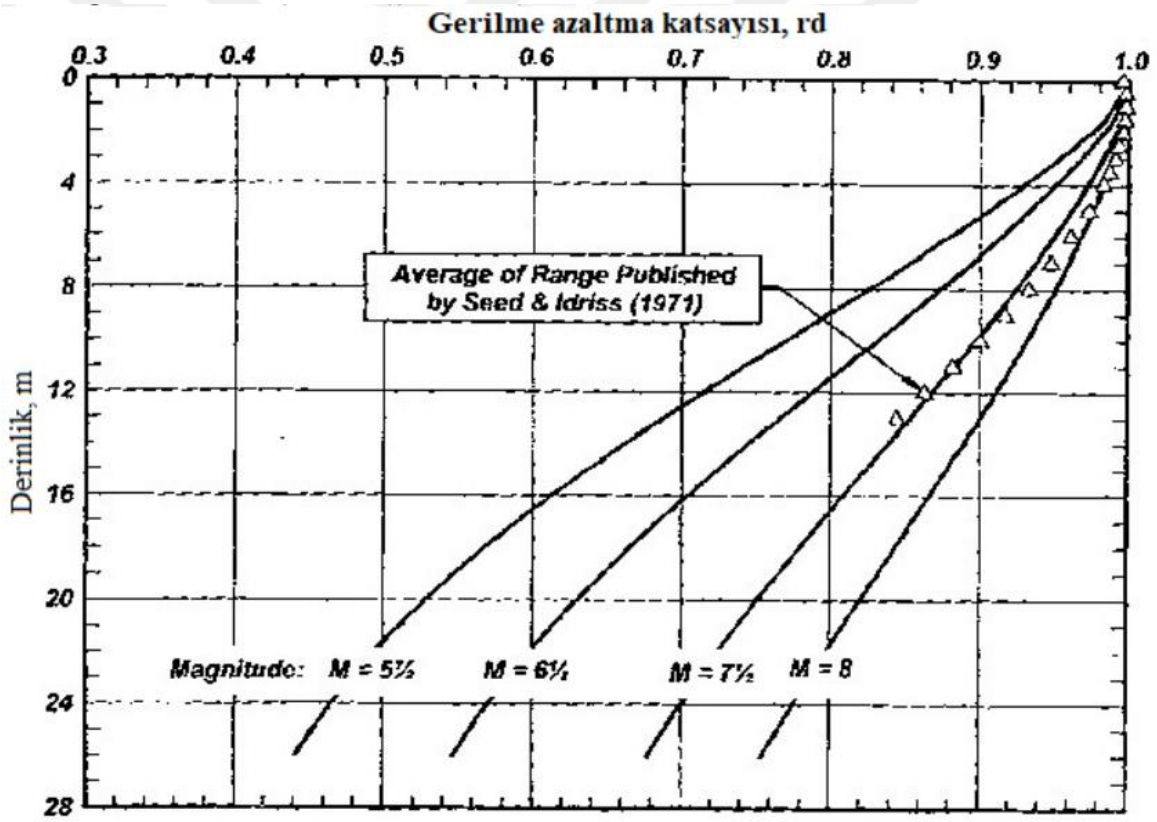
r_d : derinliğe bağlı azalma faktörünü

Derinliğe bağlı azalma faktörü, Liao ve Whitman tarafından 1986 yılında denklem 2.5 ve 2.6 şeklinde tanımlanmıştır.

$$rd = 1.0 - 0.00765z \qquad z < 9.15 \text{ m} \qquad (2.5)$$

$$rd = 1.174 - 0.0267z \qquad z = 9.15 \text{ to } 23 \text{ m} \qquad (2.6)$$

Idriss ve Boulanger (2004) rd değerinin derinliğin yanında depremin büyüklüğün de bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.19).

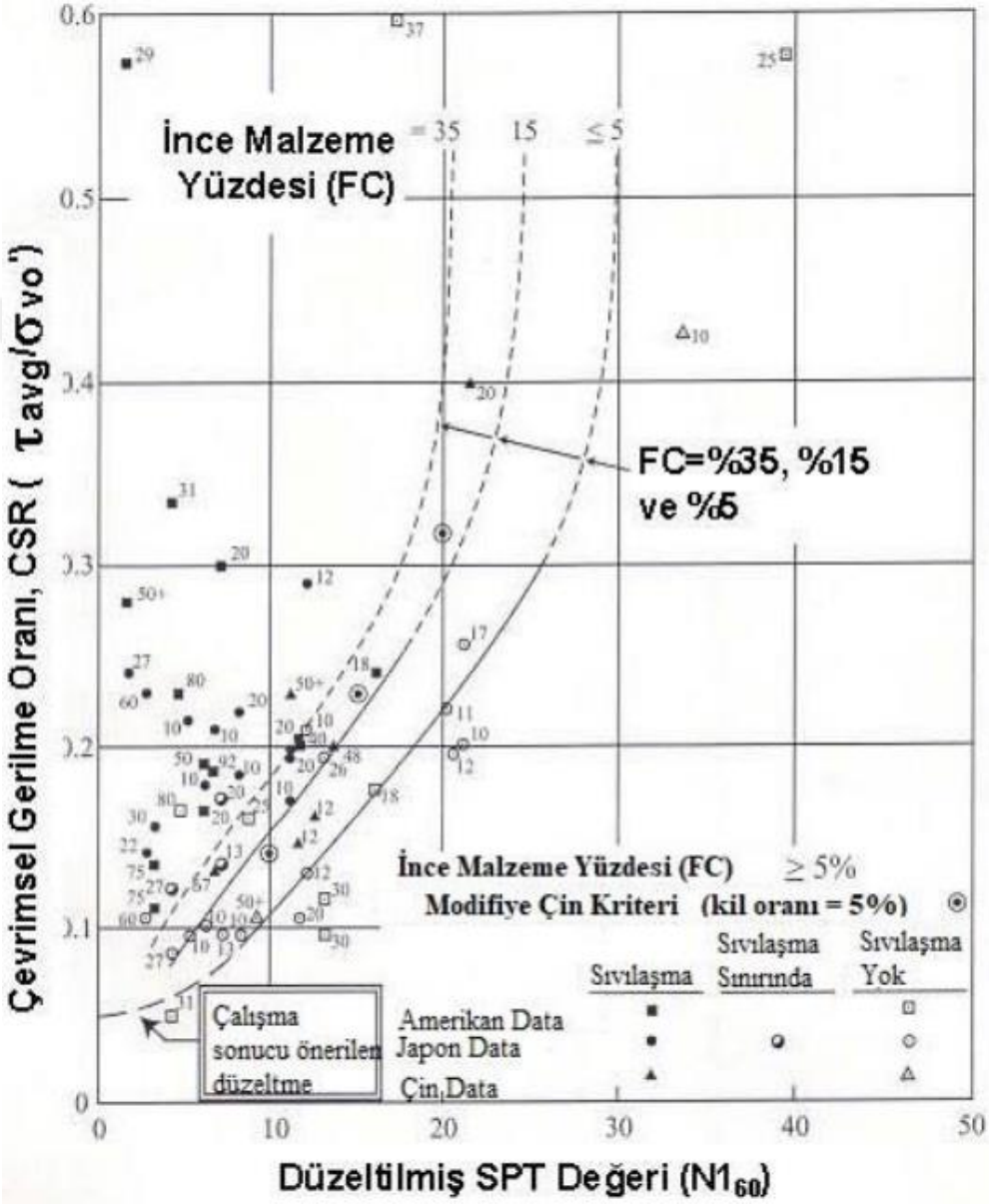


Şekil 2.19. *Gerilme azaltma katsayısının derinlikle ve deprem büyüklüğü ile değişimi (Idriss ve Boulanger,2004)*

Maksimum yüzey ivmesi için a_{max}, deprem yönetmeliğine göre, deprem bölgelerine bağlı olarak değişkenlik gösteren etkin yer ivme katsayısı A_o ile tanımlanmıştır.

Devirsel direnç oranı (CRR)

SPT deney sonuçlarına dayanarak devirsel direnç oranını belirlemek için, CRR oranını temsil eden çeşitli sınır eğrilerinin yer aldığı bir grafik kullanılmaktadır (Seed, 1985) (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. *CRR-SPT ilişkisi (Seed, 1985)*

Bu abaktan CRR değerini belirlemek için, zeminin ince dane oranı tespit edilmelidir. Ayrıca, elde edilen CRR değerleri Mw=7.5 deprem büyüklüğü düzeyine göre hesaplanmaktadır.

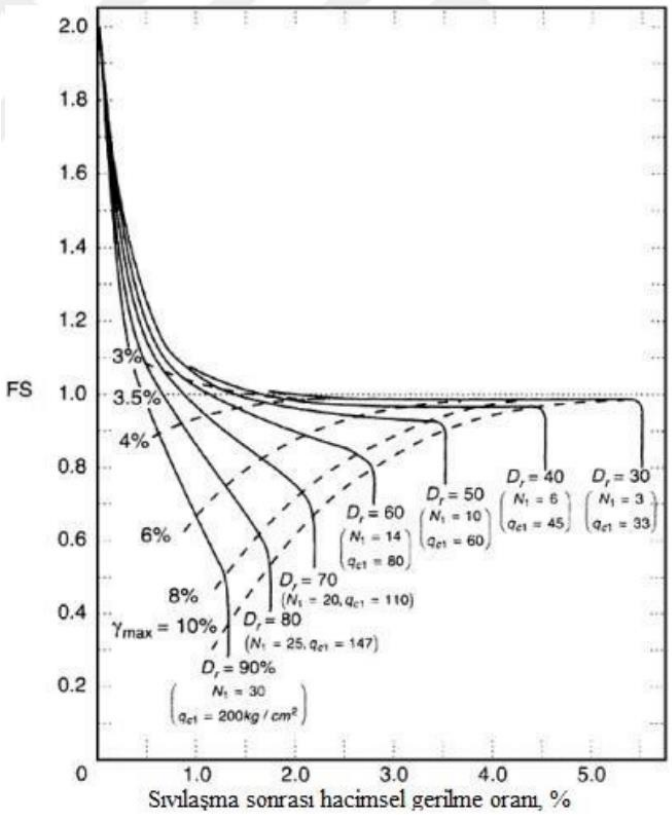
Yukarıdaki yöntem Mw=7.5 deprem büyüklüğü ile bağlantılı olduğundan, farklı bir deprem büyüklüğü için güvenlik düzeltme faktörü Idriss ve Boulanger (2004) tarafından denklem 2.7 ile tanımlanmış ve denklem 2.8 ile uygulanmıştır.

MSF = 6.9exp(-M/4)- 0.058 (2.7)

FS1=(CRR)7.5/CSR*MSF (2.8)

MSF: Deprem için düzeltme faktörü olarak,

Normal koşullar altında, sıvılaşma potansiyeline karşı güvenlik faktörü 1'in üzerinde olduğunda oturma riski söz konusu değildir. Ancak, bu faktör 1'in altına düştüğünde, yapının sıvılaşma nedeniyle ne kadar oturacağı hesaplanmaktadır. Ayrıca, sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü ile Standart Penetrasyon Testi (SPT) arasındaki ilişkiyi gösteren bu grafik (Şekil 2.21), sıvılaşma riski taşıyan zemin tabakasının potansiyel oturma miktarını belirlemekte kullanılmaktadır (Ishihara ve Yoshimine, 1992). Bu sayede, yapı güvenliği açısından kritik öneme sahip olan oturma hesaplamaları daha kesin ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2.21. *Sıvılaşma potansiyeline bağlı oturma miktarını gösteren abak, (Ishihara ve Yoshimine, 1992)*

SPT deney sonuçları kullanarak CRR miktarını belirlemek için, denklem 3.3'de belirtilen düzeltme formülü uygulanması gerekmektedir (Youd ve Idriss, 2001).

$$N_{1,60} = N\ C_N\ C_R\ C_S\ C_B\ C_E \tag{2.9}$$

Burada;

N: SPT darbe sayısı

C_N: Efektif gerilme düzeltme faktörü

C_R: Tij boyu düzeltme faktörü

C_S: Standart olmayan numune alıcısına düzeltme faktörü

C_B: Sondaj kuyu çapı düzeltme faktörü

C_E: Tokmak oranı düzeltme faktörlerü

Düzeltme katsayılarıyla ilgili literatürde birçok ayrıntı yer almaktadır; ancak en basit şekliyle Tablo 2.3'deki sonuçlar kullanılabilir.

Tablo 2.3. SPT N düzeltme katsayıları (Bol vd., 2017)

Faktör	Terim	Ekipman	Düzeltme
Örtü Yükü Basıncı (Youd ve Idriss,2001)	C_N	---	$C_N \leq 1.7$
Enerji Oranı (Youd ve Idriss,2001)	C_E	Simit (Donut) Tokmak	0.50 – 1.00
		Güvenli Tokmak	0.70 – 1.20
		Otomatik Düşüm Simit Tip Tokmak	0.80 – 1.30
Kuyu Çapı (Skempton,1986)	C_B	65 – 115mm	1.0
		150mm	1.05
		200mm	1.15
Tij Uzunluğu (Skempton,1986)	C_R	<3m	0.75
		3-4m	0.80
		4-6m	0.85
		6-10m	0.95
		10-30m	1.0
Numune Alıcı (Youd ve Idriss,2001)	C_S	Standart Numune Alıcı	1.0
		Astarsız (Koruyucusuz) Numune Alıcı	1.0-1.30

CN, Efektif gerilme basınç düzeltme katsayısı, denklem (4.10) kullanılarak hesaplanabilir (Youd ve Idriss, 2001).

$$C_N = 9{,}78\sqrt{\frac{1}{\sigma_0'}} \tag{2.10}$$

Burada:

σ_0' : Efektif düşey gerilme (kN /m^2)

Zemin ince dane oranı (FC) bunlara ek olarak, aşağıdaki düzeltmelerin yapılması gerekmektedir (Youd ve Idriss, 2001).

$$N_{1,60,Cs} = \alpha + \beta N_{1,60} \tag{2.11}$$

(FC) ≤ %5 için α = 0 ve β = 1,0 (2.12)

%5≤FC≤35 için $\alpha = exp\left(1{,}76 - \frac{190}{(FC)^2}\right)$ $\beta = \left(0{,}99 + \frac{FC^{1,5}}{1000}\right)$ (2.13)

(FC) ≥ %35 için α = 5 ve β = 1,2 (2.14)

olarak alınabilmektedir. M = 7.5 büyüklüğündeki deprem için çevrimsel mukavemet oranı (CRR) yani sıvılaşmaya karşı direnci denklem 4.15 yardımı ile hesaplanabilir.

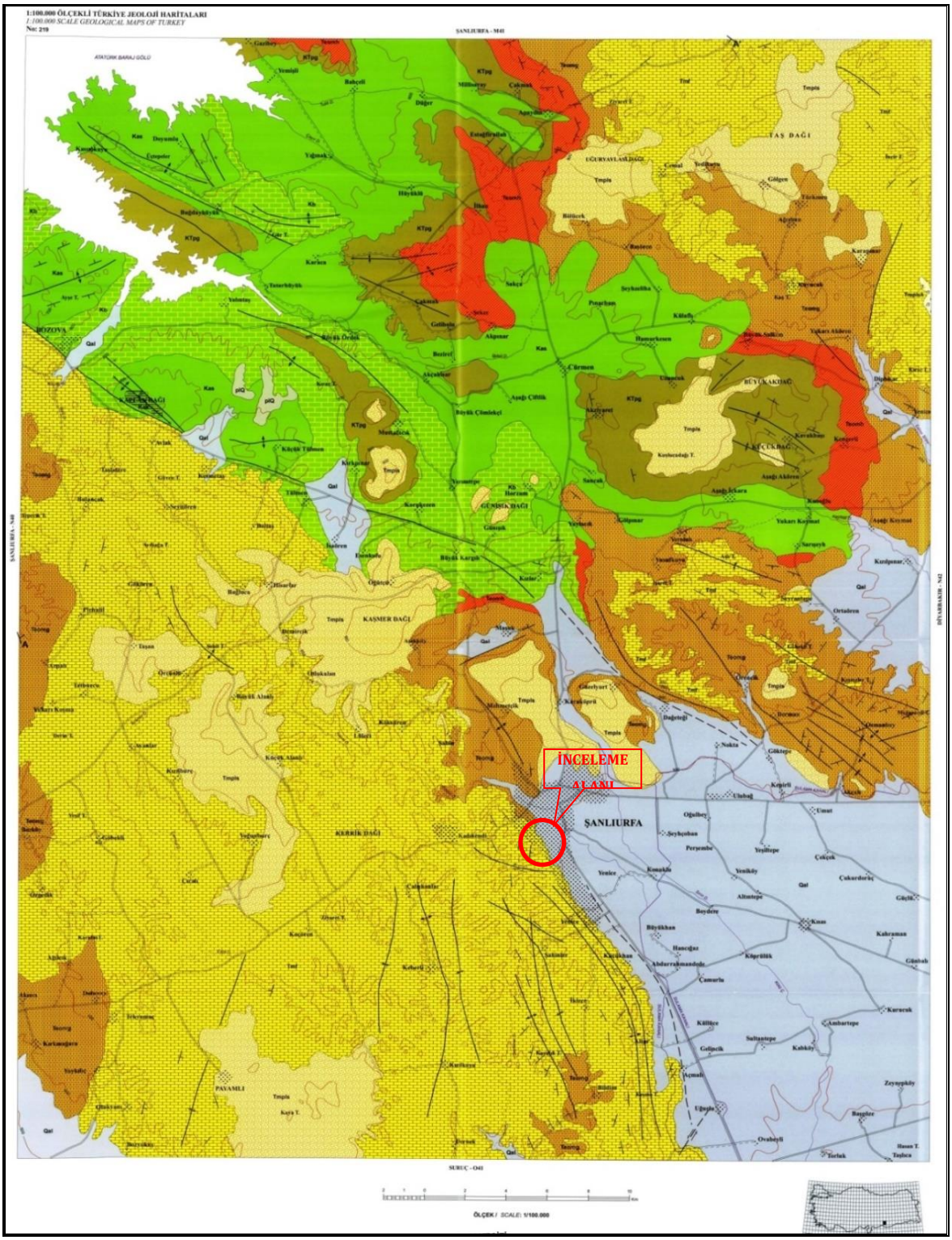
$$CRR = \frac{1}{34 - N_{1,60}} + \frac{N_{1,60}}{135} + \frac{50}{\left(10N_{1,60} + 45\right)^2} - \frac{1}{200} \tag{2.15}$$

Denklem 2.15 $N_{1,60}$ <30 değeri için geçerlidir. $N_{1,60}$ ≥30 değeri için sıvılaşma potansiyeli yoktur (Youd ve Idriss,2001).

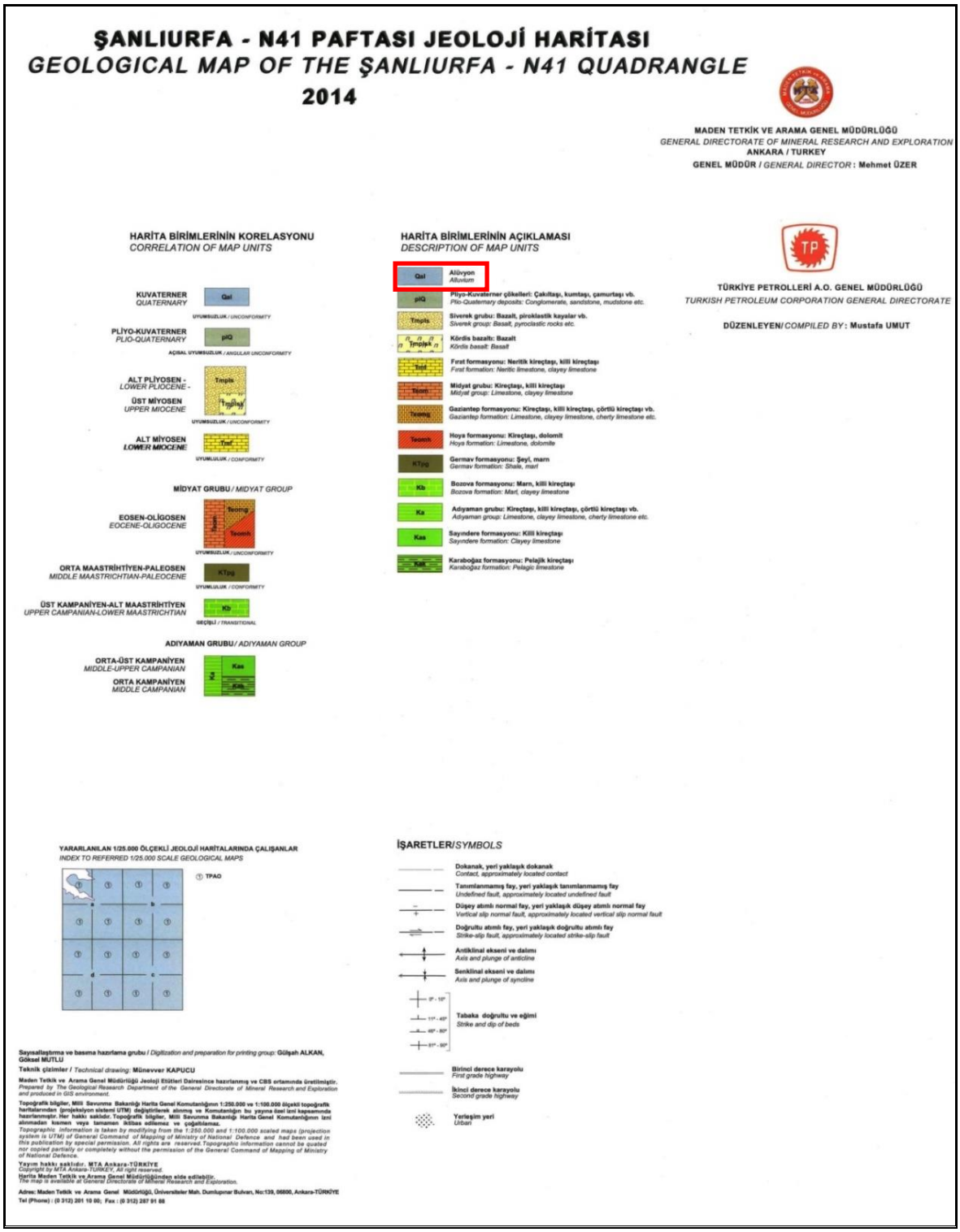
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

İnceleme sahasında, Güneydoğu Anadolu Otoktonu'na ait olan ve orta-geç Kampaniyen ile Kuvaterner dönemleri arasında oluşmuş kaya birimleri yüzeylenmektedir. Güneydoğu Anadolu bölgesindeki otokton kaya birimleri, Arap platformunun kuzey uzantısı olarak bilinir. Çalışma alanında, Güneydoğu Anadolu Otoktonu'nun alt kısmında Adıyaman grubuna ait olan orta Kampaniyen yaşlı Karaboğaz ve üst seviyelerde Kampaniyen yaşlı Sayındere formasyonları bulunur. Bu formasyonların üstünde, orta-geç Kampaniyen ile erken Maastrihtiyen yaşlı Bozova formasyonu ve Maastrihtiyen-Paleosen yaşlı Germav formasyonu yer alır. Midyat grubuna ait Eosen-Oligosen yaşlı Hoya ve Gaziantep formasyonları, Erken Miyosen yaşlı Fırat formasyonu, Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı Siverek grubu ve Pliyo-Kuvaterner çökeltileri ile Alüvyon birimleri de mevcuttur. Çalışma alanımızın jeoloji haritası ve jeoloji haritasındaki lejandında hangi formasyona girdiği görülmektedir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1. *Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (MTA, 2014)*



Şekil 3.2. *Jeolojik harita jejandı (MTA, 2014)*

Adıyaman Grubu (Ka)

Çoruh (1991) tarafından tanımlanan birim, pelajik kireçtaşı, çört içeren kireçtaşı, killi kireçtaşı, şeyl, marn gibi çeşitli kayaç türlerinden meydana gelir.

Adıyaman ili çevresinde görülen Karababa, Karaboğaz ve Sayındere formasyonları ile Güneydoğu Anadolu Otoktonu'nun doğu kesiminde zaman eşleniği olan Ortabağ ve Beloka formasyonları, tek bir grup altında birleştirilerek sınıflandırılmıştır. Adıyaman grubunun tip kesiti, ilin 32 kilometre güneyindeki Karababa Dağı çevresinde gözlemlenmektedir.

Duran ve Yılmaz (1997), Adıyaman grubunu, yanal ve düşey geçişler gösteren Karaboğaz, Ortabağ, Beloka ve Sayındere olmak üzere dört ayrı formasyona ayırmışlardır. İnceleme alanında ise yalnızca Karaboğaz ve Sayındere formasyonları yüzeyde görülmektedir. Çalışma bölgesi dışında, Mardin grubuna ait kayaçlarla uyumsuz olarak bulunan Adıyaman grubu birimleri, Güneydoğu Anadolu genelinde bazı bölgelerde uyumlu şekilde de izlenebilmektedir. Ayrıca, Adıyaman grubuna ait birimler, Midyat grubuna ait kayaçlar tarafından uyumsuz bir şekilde örtülmektedir.

Karaboğaz, Sayındere ve Ortabağ formasyonlarının fosil içeriklerine dayanılarak Kampaniyen yaşında oldukları kabul edilmekte olup, bu formasyonlar derin deniz ve sığ deniz bankaları ile resifal ortamlarda çökelmiştir (Güven ve ark., 1991;Şengündüz ve Araş, 1986; Uygur ve Aydemir, 1988;). Bu bulgular, Adıyaman grubunun çevresel koşullar ve jeolojik süreçler açısından nasıl şekillendiğini ve bölgedeki jeolojik yapının evrimini anlamada önemli katkılar sağlamaktadır.

Karaboğaz Formasyonu (Kak)

Genelde gri renkli pelajik kireçtaşlarından oluşan formasyon ilk kez Karababa antiklinalinde Fournier (1958, Tuna, 1973'den) tarafından adlandırılmıştır.

Birimin tip kesiti Şanlıurfa-N40 paftası kuzeyinde, Adıyaman ilinin otuziki kilometre güneyindeki Karababa Dağı'nın Fırat Nehrine bakan güney yamacında izlenir. İnceleme alanında Bozova ilçesi güneydoğusunda oldukça sınırlı bir alanda yüzeylenir.

Karaboğaz formasyonu, ince-orta, yer yer kalın tabakalı, plaket görünümlü, gri, açık gri, bej, krem, yeşilimsi gri renklerde, mikritik dokulu, yer yer çörtlü kireçtaşlarından oluşur. Formasyonun tabanında 1 metre kalınlıkta, kahverenkli ince-orta tabakalı, fosfatlı, glokonili, kavkılı kireçtaşı ve fosfat tabakaları izlenir. Birimin bazı düzeylerinde killi kireçtaşları gözlenir. Karaboğaz formasyonunun inceleme alanında alt dokanağı görülememektedir. İnceleme alanı dışında altta Karababa formasyonu ile uyumsuz üstte ise Sayındere formasyonu ile geçişlidir. Kalınlığı 15-175 metre arası değişmektedir.

Yer yer kavkı parçaları ve algler kapsayan birim *Globotruncana bulloides, G. linneiana, Globotruncana ventricosa* VVhite, *Globotruncanita elevata* (Brotzen), *Globotruncanita stuartiformis* (Dalbiez), *Contusotruncana fornicata* (Plummer), *Arnaudella grossouvrei* Dauville, *Orbitoides concavatus* Rahaghi, *Orbitoides tissoti* Schlumberger, *Pseudosiderolites vidali* (Dauville), *P.* cff. *dordiniensis, Subalveolina dordonica* Reichel, *Hedbergella* sp., *Heterohelix* sp., *Rugoglobigerina* sp., *Bolivina* sp., *Cuneolina* sp., *Minouxia* sp., *Robulus* sp., *Sirtina* sp. gibi formlara göre birim orta Kampaniyen yaşındadır (Çoruh vd., 1997).

Güneydoğu Anadolu bölgesinde özdeş kaya birimleri Bozova marn formasyonu, Aksu kireçtaşı ve Aksu marnı, Ernişdere grubu (Gossage, 1956, 1959), Garzan ve Karaboğaz formasyonu (Kellogg, 1960a, b), Aktepe formasyonu (Ketin, 1964), Çandır grubu (Yılmaz, 1984) gibi adlar altında da incelenmiştir. Karaboğaz formasyonu, derin deniz-sığ karbonat platformu-platform kenarı ortamlarında çökelmiştir (Yılmaz ve Duran, 1997).

Sayındere Formasyonu (Kas)

Gossage (1959) tarafından tanımlanan killi kireçtaşlarından oluşan bu formasyonun tip kesiti, Adıyaman-Gölbaşı karayolunun Gölbaşı ilçesine 10 kilometre mesafedeki Sayındere'nin batı yakasında yer alır. İnceleme alanının kuzeybatı kesiminde ise Bozova ilçesi, Kaplan Dağı ve Kasımkuyu köyü civarında yüzeylenmektedir.

Sayındere formasyonu, ince-orta tabakalı gri, açık gri ve mavimsi gri tonlarda olup, planktik ve bentik fosiller ile kavkılı killi kireçtaşlarından oluşur.

Marn ve kalkarenit düzeyleri de içeren bu birim, türbiditik karaktere sahiptir. Formasyon, altta Karaboğaz formasyonu ile geçişli bir kontak gösterirken, üstte Bozova formasyonu ile hem yanal hem de düşey geçişler sergiler. Formasyonun kalınlığı 17 ila 365 metre arasında değişmektedir.

Sayındere formasyonu, makro fosil izlerini de içermektedir ve bu fosiller, Archaeoglobigerina cf. cretacea (d'Orbigny), Contusotruncana fornicata (Plummer), Globotruncana arca (Cushman), Globotruncana insignis (Gondolfi) gibi türlere dayalı olarak, orta-geç Kampaniyen yaşında olduğunu göstermektedir (Çoruh vd., 1997).

Bu formasyon, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çeşitli adlarla tanımlanmıştır; örneğin, Aksu kireçtaşı ve marnı (Gossage, 1956), Kastel şeyli (Stratum, 1963), Flaggy kireçtaşı (Vanderschmidt, 1933; Moses, 1934), Holholik formasyonu (Gelfond vd, 1959), Bozova marn formasyonu (Periam ve Krummenacher, 1958), Kalkerli marnlar (Schmidt, 1935), Alan formasyonu (Önem, 1991) ve Aktepe formasyonu (Ketin, 1964) olarak bilinir. Bu formasyonun çökelme ortamı derin deniz olarak tanımlanmıştır (Güven vd., 1991).

Bozova Formasyonu (Kb)

Gri ve yeşil tonlarındaki marnlardan oluşan bu birim, Gossage (1956) tarafından tanımlanmıştır. Bu birimin tipik kesiti, inceleme alanının kuzeybatısında, Bozova ilçesi çevresinde, Karababa Dağı'nın yakınlarında izlenebilir. Aynı zamanda bu kesit, ilçeden güneydoğuya doğru uzanarak Büyük Ördek ve Kızlar köyleri civarında da devam etmektedir.

Bozova Formasyonu, ince ila orta kalınlıkta tabakalar halinde bulunan marnlardan oluşmakta olup, açık mavimsi gri, yeşil, gri, yeşilimsi gri, beyaz, kirli beyaz, beyazımsı gri ve açık krem renk tonlarında görünmektedir. Bu formasyon, dağılgan yapısı ve midye kabuğu kırılma yüzeyleriyle karakterize edilen marnlardan meydana gelmektedir. Üst kısımlarında ise gri renkli, ince-orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve marn ardalanmalarıyla sona ermektedir. Bozova Formasyonu’nun yapısı, bazı bölgelerde tebeşirli ve çörtlü marnlar, killi kireçtaşı, şeyl, silttaşı ve kumtaşı katmanlarını da içermekte olup, genel olarak türbiditik özellikler göstermektedir. Sayındere Formasyonu üzerine geçişli olarak yer alan Bozova Formasyonu, üst kısmında Germav Formasyonu ile uyumlu bir bağlantı sunmaktadır. Bu formasyonun kalınlığı ise 100 ila 250 metre arasında değişiklik göstermektedir. Bu özellikler, Bozova Formasyonu’nun jeolojik yapısını ve çevresel koşullarını anlamada önemli bilgiler sağlamaktadır.

Bozova Formasyonu, içinde rudist, büyük kavkı parçaları, ekinid, bentik ve planktonik foraminiferler gibi fosil kalıntıları barındırmaktadır.

Bozova Formasyonu'nda belirlenen fosil türleri arasında *Globotruncana aegyptiaca, C. plummerae (Gondolfi), Archaeoblobigerina blowi Pesragno, Gansserina gansseri*

(Bolli), Biglobigerinella multispina Lalicher, G. vviedenmayeri (Gondolfi), C. fornicata (Plummer), Contusotruncana contusa (Cushman), A. cretacea (d'Orbigny), Globigerinelloides subcarinata Brönnimann, G. arca, Globotruncanella havaensis Voorvijk, Rugoglobigerina hexacamerata (Brönnimann), G. dupeublei, C. patelliformis (Gondolfi), G. bulloides Vogler, G. stuarti (de Lapparent), G. conica (White), Planoglobulina multicamerata, R. rugosa (Plummer), G. pettersi (Gondolfi), Globotruncanita angulata (Tilev), Pseudoguembelina costulata (Cushman), R. pennyi Brönnimann, G. calcarata (Cushman), Orbitoides medius (d'Archiac), P. excolata (Cushman), Rugotruncana subcircumnodifer, Omphalocyclus macroporus (Lamarck) ve *Sirtina granulata (Cushman)* yer almaktadır. Bu fosil içeriklerinden hareketle, formasyonun Geç Kampaniyen-Erken Maastrihtiyen dönemine ait olduğu belirlenmiştir (Çoruh, 1991).

Kermav Grubu (Krummenacher ve Periam, 1958), Flaggy Tabakaları (Kellogg, 1960c), Tebeşirli Marnlar (Schmidt, 1961), Kastel Şeyl/Marn Formasyonu (Peksü, 1969) ve Holholik Formasyonu gibi benzer kaya birimleri Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, Bozova Formasyonu'nun derin deniz ortamlarında çökelmiş olduğu belirlenmiştir (Güven vd, 1991). Bu bulgular, bölgedeki jeolojik yapıların oluşum süreçlerini ve çevresel koşullarını daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde benzer kaya birimleri, Kermav Grubu (Krummenacher ve Periam, 1958), Holholik Formasyonu, Flaggy Tabakaları (Kellogg, 1960c), Tebeşirli Marnlar (Schmidt, 1961) ve Kastel Şeyl/Marn Formasyonu (Peksü, 1969) gibi isimler altında da incelenmiştir. Bozova Formasyonu'nun, derin deniz ortamında çökelmiş olduğu saptanmıştır (Güven vd., 1991).

Germav Formasyonu (KTpg)

Maxson (1936) tarafından tanımlanan bu birim, killi kireçtaşı, marn ve yer yer kumtaşı seviyeleri içeren şeyllerden oluşmaktadır. Birimin tip kesiti, çalışma alanının dışında, Batman ili Gercüş ilçesinin yaklaşık 40 kilometre doğusunda bulunan Germav köyü civarında gözlemlenmektedir. Ayrıca, çalışma alanının kuzeyinde Millisayar, Kavakbaşı, Aşağı Akören ve Gelibolu köyleri çevresinde yüzeysel olarak izlenmektedir.

Formasyonun en alt katmanı, gri-boz renkte, tabakasız ya da çok ince tabakalı, 3-5 metre kalınlığında marnlardan oluşmaktadır. Bu alt katmanın üzerine, yaklaşık 78 metre

kalınlığında yeşilimsi gri, mavimsi gri ve gri tonlarında, sert ve yer yer gevşek, sık dokulu ve kireçli şeyller yer almaktadır. Bu şeyllerin üst kısımları, açık gri renkte ince kumlu marnlarla ara seviyelere sahiptir. Kumtaşları, bazı bölgelerde kalın düzeyler oluşturarak karşımıza çıkmakta olup, bu kumtaşları zaman zaman kavkılı, çapraz tabakalı ve rippıllı yapılar sergilemektedir. Ayrıca, belirli alanlarda killi kireçtaşı, kireçtaşı, kalsitürbidit, kumlu kireçtaşı ve konglomera düzeyleri de gözlemlenmektedir. Birimde zaman zaman olistostromal seviyelere rastlanabilmektedir. Kireçtaşı seviyeleri genelde sarımtırak gri renkte olup, ince-orta katmanlı, killi, yer yer kumlu, piritli, solucan izli ve bazı noktalarda bitümlü özellikler göstermektedir.

Bozova Formasyonu, altta Bozova formasyonu üzerinde uyumlu bir şekilde yer almakta ve üstte Hoya formasyonu ile uyumsuz bir kontak sergilemektedir. Formasyonun kalınlığı ise 0 ile 1745 metre arasında değişiklik göstermektedir. Bu yapı, derin deniz ortamlarında çökelmiş olup, türbiditik özellikler taşımaktadır.

Genel olarak, Bozova Formasyonu'nun yapısı ve dağılımı, bölgedeki jeolojik süreçlerin ve çevresel koşulların anlaşılmasında önemli bilgiler sunmaktadır.

Germav Formasyonu'nun alt seviyeleri, içerdikleri bentik ve planktonik foraminiferler, radyolarya, ekinidler, algler, bryozoalar, mercanlar, lamellibranchialar ve gastropodlar gibi fosil türleri ile fosil kırıntılarına dayanarak Maastrihtiyen yaşında olarak tanımlanmaktadır. Özellikle, bu dönemde var olan fosil türleri arasında Globotruncana arca (Cushman), Contusotruncana fornicata (Plummer), Hedbergella monmouthensis (Olsson), Globotruncanita angulata (Tilev), Abathomphalus mayaroensisi, Globigerinelloides subcarinata Brönnimann, Biglobigerinella multispina Lalicher, Gansserina gansseri (Bolli), Kassabiana bangi Saiakius ve Solaj, Clypeorbis mammilatus, Siderolites calcitrapoides Lamarck, Sirtina orbitoidiformis Brönnimann ve Wirz, Contusotruncana contusa (Cushman), Globotruncanella pschadae (Keller), G. bulloides Vogler, Racemiguembelina fructicosa (Eggler), Globotruncana rosetta (Carsey), Orbitoides apiculatus, Siderolites denticulatus Dauville, Lepidorbitoides socialis (Leymerie), Pseudomphalocyclus blumenthali Meriç, Archaeoglobigerina blowi Pessagno, Loftusia morgani Dauville, G. viedenmayeri (Gandolfi), Orbitoides medius (d'Archiac), Planoglobulina acervulinoides (Eggler), K. falcocalcarata (Kerdany ve Abdelselam) gibi türler dikkat çekmektedir.

Formasyonun üst kısımları ise, içerdiği Acarinina mckannai (White), Morozovella pseudobulloides (Plummer), Orbitolites sp., Parvularugoglobigerina eugubina (Luterbacher ve Premoli Silva), Globoconusa daubjergensis (Brönnimann), Globigerina linaperta

(Finlay), Nummulites sp., Acarinina nitida (Martin), M. trinidadensis, Morozovella acuta (Toulmin), P. pseudomenardii (Bolli), M. stampi (Davies), G. velascoensis Cushman, M. angulata (White), Miscellanea miscella (d'Archiac ve Haime) gibi fosil türlerine dayanarak Paleosen yaşında kabul edilmektedir.

Çoruh ve diğerlerinin (1997) çalışmalarında, bu yaş tayini doğrulanmıştır. Ancak, Güven vd, (1991) ile Çoruh (1991) gibi önceki çalışmalar, bu birimin yaşını orta Maastrihtiyen-Paleosen olarak belirlemiş ve bu çalışmada da bu belirleme esas alınmıştır.

Sonuç olarak, Germav Formasyonu'nun yaşı, orta Maastrihtiyen'den Paleosen'e kadar geniş bir zaman dilimini kapsayacak şekilde değerlendirilmişti. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bu birime karşılık gelen kayaç birimleri, Yeşilimsi şeyi (Mason, 1930), Siyah şeyller (Taşman, 1933), Kalkerli marn (Schmidt, 1935) ve Şırnak marnları (Arni, 1940) gibi adlarla tanıtılmıştır.

Birim, derin deniz-denizaltı yamacı yada yamaç önleri (denizaltı yelpazeleri)-derin deniz fanı-deltayik-flüvyal ortamlarda çökelmiştir (Duran vd., 1988, 1989; Güven vd., 1991).

Midyat Grubu (Teom)

Özellikle karbonat kayalarından meydana gelen bu jeolojik grup, ilk olarak 1936 yılında Maxson tarafından 'Midyat kireçtaşı' olarak tanımlanmıştır.

Ancak, grubun aşama yapısı ilk kez 1956 yılında Gossage tarafından ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu birimin tipik stratigrafik kesiti, Mardin iline bağlı Midyat ilçesi çevresinde gözlemlenebilmektedir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde farklı isimler altında incelenen bu grup, Yılmaz ve Duran (1997) tarafından Gaziantep Formasyonu, Germik Formasyonu, Gercüş Formasyonu, Hoya Formasyonu, Kavalköy Formasyonu ve Havillati Formasyonu olmak üzere altı ayrı formasyona ayrılmıştır. İncelenen alanda ise özellikle Hoya ve Gaziantep formasyonlarının yüzeyde belirgin bir şekilde izlenebildiği gözlemlenmiştir. Bu sınıflandırma, bölgedeki jeolojik yapıların daha iyi anlaşılmasını ve çeşitli formasyonların birbirleriyle ilişkilerinin net bir şekilde ortaya konmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmalara dayanarak, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki karbonat kayalarından oluşan jeolojik grupların tanımlanması ve sınıflandırılması süreci, bölgenin jeolojik evriminin ve çevresel koşullarının anlaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca,

farklı formasyonların yüzeydeki dağılımı, bölgedeki jeolojik çeşitliliğin ve stratigrafik ilişkilerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Midyat Grubu, çok sayıda araştırmacı tarafından detaylı olarak çalışılmış olup, kendisinden daha yaşlı olan jeolojik birimler üzerinde uyumsuz bir şekilde yer almaktadır. Bu grup, yanal olarak farklı fasiyeslerdeki karbonat kayalarına geçiş yapma özelliği göstermektedir ve alt bölümü yanal yönde kırıntılı kayalarla geçişlidir. Genellikle Eosen dönemine ait olduğu kabul edilen bu birim, yer yer Oligosen yaşlı kayaçları da içermektedir (Duran vd., 1988, 1989).

Midyat Grubu, çeşitli ortam koşullarında birikmiş olup, akarsu-alüvyon yelpazeleri, yarı sınırlı ya da sınırlı sığ epirik denizler, sığ normal denizler, şelf kenarı ve önü, yamaç ve yamaç ötesi ile derin deniz gibi farklı çökelme ortamlarında depolanmıştır (Duran vd., 1988, 1989)

Hoya Formasyonu (Teomh)

Gri, siyah ve bej renkli neritik kireçtaşlarından oluşan bu formasyon, Perinçek (1978) tarafından isimlendirilmiştir. Formasyonun tipik kesiti, Diyarbakır iline bağlı Çüngüş ilçesinin yaklaşık 2 kilometre güneybatısında, Hoya köyü yakınlarında gözlemlenmektedir. Çalışma alanının kuzeyinde Apaydın ve Akpınar köyleri ile kuzeybatısında Kengerli köyü çevresinde de bu formasyon izlenebilir.

Hoya Formasyonu, krem, bej, gri, açık gri, siyah, koyu gri ve beyaz renkte olan, masif ve orta-kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşur. Bu kireçtaşları, nummulit, miliolid, alg, ekinid, gastropod, lamelli ve benzeri kavkı kırıntıları içermektedir. Formasyon içerisinde zaman zaman dolomitik kireçtaşı, dolomit, çörtlü kireçtaşı, tebeşirli seviyeler ve killi dolomitler de bulunur. Formasyonun kalınlığı, çalışma alanı dışında bazı yerlerde 1500 metreye kadar ulaşabilmektedir.

Bu birim, alt tabakada Germav Formasyonu üzerinde uyumsuz bir şekilde yer almakta olup, yanal ve düşey yönde Gaziantep Formasyonu'na geçiş göstermektedir. Hoya Formasyonu, bentik ve planktonik foraminiferler açısından son derece zengindir.

İçerdiği fosiller arasında Nummulites aturicus Joly and Leymerie, Assilina exponens (Sowerby), Turborotalia cerroazulensis (Cole), Fabiania casis (Oppenheim), Alveolina pasticilata Schwager, Orbitolites complanatus Lamarck, Discocyclina sella, Acarinina broedermanni (Cushman and Bermudez), Morozovella aragonensis (Nuttall), N. globulus

Leymerie, Operculina douvillei Nuttall, Chapmanina gassinensis (Silvestri), M. formosa formosa Bolli, Distichoplax biserialis (Dietrich), M. subbotinae (Morozova), O. transistorus, Articulina cf. amphoralis, Globigerina ampliapertura Bolli, Orbulinodes beckmani (Saito), Globigerinatheka mexicana kugleri (Bolli, Loeblich and Tappen), A. bullbrooki (Bolli), G. eocaena Guembel, T. cerroazulensis frontosa (Subbotina), N. millecaput Baubée yer almaktadır. Bu fosillerin varlığına dayanarak, formasyonun Eosen yaşlı olduğu belirlenmiştir; ancak bazı bölgelerde Erken Oligosen'i de kapsadığı ifade edilmektedir (Çoruh vd., 1997)

Hoya Formasyonu, çeşitli adlar altında tanımlanmıştır. Bunlar arasında Eosen Kireçtaşı (Taşman, 1933), Nummulitli Kireçtaşı (Taşman, 1930), Midyat Kalkeri (Lokman, 1938), Midyat Formasyonu (Tolun, 1954), Eosen Midyat Kireçtaşı (Ten Dam, 1954), Tutdağ Dolomit Formasyonu ve Tutdağ Kireçtaşı Formasyonu (Gossage, 1959), Eosen Serisi (Bush, 1957), Çuvaldız Formasyonu Üst Üyesi (Schmidt, 1961), Jaddala Formasyonu (Durkee, 1961), Okçular Formasyonu (Selçuk, 1981), Kızıldağ Kireçtaşı (Imandt, 1962), Almacık Kalkeri (Atan, 1969) ve Fırat Formasyonu (Günay, 1984) sayılabilir

Birim, havza, yamaç, yamaç ötesi, şelf kenarı karbonat kum sığlıkları ve resifal/bank ortamlarında çökelmiştir (Duran vd., 1989).

Gaziantep Formasyonu (Teomg)

Wilson ve Krummenacher (1959) tarafından adlandırılan gri ve beyaz renkli killi, tebeşirli kireçtaşlarından oluşan formasyon, Kilis ili çevresinde tip kesitini sergilemektedir. Bu formasyonun yüzeylenimi, çalışma alanının kuzeydoğusunda Türkmen ve Başören köylerinde, ayrıca çalışma sahasının merkezi bölgelerinde yer alan Osmanbey ve Aşıkköy köylerinde gözlemlenmektedir.

Gaziantep Formasyonu, açık gri, bej, beyaz ve açık kahverenginin yumuşak tonlarında ince-orta, yer yer kalın tabakalı, planktonik ve bentik foraminiferlerle zenginleşmiş, kırılgan kireçtaşlarından oluşan bir birim olarak öne çıkar.

Formasyonun alt kesiminde, genellikle orta ve kalın tabakalı, düşük poroziteli, glokonitli, piritli, fosfatlı ve çört nodüllü killi kireçtaşları ve saf kireçtaşı seviyeleri yer alır. Bu alt seviyelerin hemen üzerinde, beyaz ve krem renkleri ile dikkat çeken, ince kavkı parçaları içeren, yer yer kahverengi hidrokarbon lekeleriyle zenginleşmiş, tebeşirli, piritli, glokonitli ve fosfatlı ince-orta tabakalı killi kireçtaşları görülür. Formasyonun üst kısmı

ise, algler ve ekinidlerle dolu, orta-kalın tabakalı bej ve açık kahverengi kireçtaşları ile karakterizedir. Gaziantep Formasyonu, özellikle tebeşirli yapısı ve içinde sıkça rastlanan çört nodülleriyle tanınır. Kalınlığı ise bölgeden bölgeye farklılık göstermekle birlikte, 200 metre ile 1100 metre arasında değişir.

Bu formasyon, altındaki Germav Formasyonu üzerine uyumsuz bir şekilde yerleşmişken, yanlarda Hoya Formasyonu ile geçiş gösterir ve üstte Fırat Formasyonu tarafından uyumlu bir şekilde örtülür. Formasyonun içeriğindeki farklı mineraller ve yapısal özellikler, jeolojik süreçlerin karmaşıklığını ve formasyonun zengin tarihini gözler önüne serer. Hem fosil içerikleri hem de mineral bileşimi ile bölgesel jeolojinin önemli bir parçasını oluşturan Gaziantep Formasyonu, ince yapısal detayları ve mineralojik çeşitliliğiyle dikkat çeker.

Planktik foraminifer açısından oldukça zengin olan bu formasyon, içerdiği A. wilcoxensis, A. bullbrooki (Bolli), Globigerina ampliapertura, A. pentacamerata (Subbotina), G. corpulenta, M. lehneri (Cushman ve Jarvis), M. aragonensis (Nuttall), G. linaperta (Finlay), Globigerinatheka kuglori (Bolli, Loeblich ve Tappan), M. formosa gracilis (Bolli), M. subbotinae (Morozova), A. soldadoensis (Brönnimann), Turborotalia cerroazulensis cerroazulensis (Cole), T. increbescens (Bandy), Truncorotaloides rohri (Brönnimann ve Bermudez), T. topilensis (Cushman), Alveolina pasticilata (Schwager), Assilina exponens (Sowerby), Chapmanina passinensis (Silvestri), Astigerina rotula (Kaufmann) ve Lepidocyclina sp. türlerine bakılarak Eosen-Oligosen yaşlı olarak kabul görmektedir (Duran vd., 1988, 1989).

Midyat Kireçtaşı (Foley, 1938a), Midyat Kalkeri (Tolun, 1954), Eosen Kalkeri Serisi (Tolun, 1955), Dibe Formasyonu (Periam ve Krummenacher, 1958), Çetirge Formasyonu ve Çuvaldız Formasyonu (Bryant, 1960), Çeviktepe Formasyonu (Schmidt, 1961) gibi çeşitli adlarla anılmıştır. Bu birim, havza-yamaç, yamaç ötesi, şelf kenarı, karbonat kum sığlıkları ve resifal/bank ortamlarında çökelmiştir (Duran vd., 1989).

Fırat Formasyonu (Tmf)

Peksü (1969) tarafından formasyon olarak tanımlanan bu jeolojik birim, krem, bej, gri ve açık gri tonlarında, fosil bakımından oldukça zengin kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyonun tip kesiti, Diyarbakır ilinin Hazro ve Silvan ilçeleri civarında gözlemlenmektedir.

Bu formasyonun yüzeylendiği geniş alan, çalışma sahasının kuzeydoğusunda yer alan Cemal köyü ile İncir ve Kıraç tepeleri arasında uzanırken; güneyde Yusufkuyu, Seyrantepe, Yenice köyleri; batıda ise Seyitören ve Baltaş köyleri çevresini kapsamaktadır.

Fırat formasyonu genel itibariyle masif ve orta kalınlıkta tabakalar halinde gelişirken, yer yer ince tabakalarla da ayrılmaktadır. Bu tabakalar, yoğun fosil içeriğiyle dikkat çeker; algler, mercanlar, ekinidler, mollusk kabukları ve bentik foraminiferlerle zenginleşmiştir. Formasyonun alt kesimlerinde ise yer yer karbonat çakıllı kireçtaşı ve dolomitlere rastlanmaktadır. Birimin üst bölümlerinde ise killi kireçtaşları gözlemlenerek sonlanmaktadır. Formasyonun kalınlığı ise 0 ile 200 metre arasında değişiklik göstermektedir. Gaziantep formasyonu üzerine uyumlu bir şekilde oturan bu birim, üstte ise Siverek grubu kayaları ve Kördis bazaltı ile uyumsuz bir şekilde sonlanır.

Fırat formasyonu, bol fosil içeriği sayesinde Erken Miyosen yaşına tarihlendirilmektedir. Bu fosiller arasında Amphistegina cf. lessoni (d'Orbigny), Borelis melo curdica (Reichel), Elphidium crispum (Linne), Lepidocyclina cf. parva Oppenoorth, Miogypsina globulina (Michelotti) gibi pek çok tür yer almaktadır (Çoruh vd., 1997).

Bu formasyon, daha önce Çevik grup (Blakslee vd, 1960), Silvan kireçtaşı (Saltık vd, 1968), Siirt grup (Blakslee vd, 1960), Germik kalkeri (Bolgi, 1961), Eski Garzan kalkeri (Önem, 1967), Vindoboniyen kalkeri (Şahankaya, 1958), Garzan formasyonu (Perry ve Yalçın, 1957) ve Silvan formasyonu (Tolun, 1960) gibi çeşitli isimler altında incelenmiştir. Birim, denizin kuzeyden güneye doğru ilerlemesiyle şelf kenarı ve gerisindeki sığ alanlarda bank ve resif tipi karbonat yığınakları olarak birikmiştir (Çoruh vd., 1997).

Siverek Grubu (Tmpls)

Karacadağ volkanizmasının başlangıç aşamasına dair bazaltik lavlar ve piroklastik kayalar, Ercan ve arkadaşları (1991) tarafından Siverek Grubu olarak adlandırılmıştır.

Bu grubun tipik kesiti, Karacadağ'ın (Diyarbakır) batısında, Siverek'in (Urfa) kuzeyinde yer almaktadır. Çalışma sahasının kuzeyinde, Taş Dağı ile Kuşlucadağ Tepe çevresinde, güneyde ise Şanlıurfa ili sınırları içinde kalan Hisarlar, Taşan ve Kızılburç köyleri ile Payamlı bucağı civarında bu kayalara rastlanmaktadır.

Siverek grubuna ait bu volkanik birim, bölgedeki birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır; bunlar arasında Erinç (1971), Ben Menahem vd (1976), Haksal (1981), Şaroğlu ve Emre (1987), Ercan vd (1990, 1991) ile Bağırsakçı vd (1995) bulunmaktadır. Özellikle Ercan ve arkadaşlarının (1991) çalışmaları, bu volkanitlerin çeşitli aşamalarını detaylı

biçimde sınıflandırmıştır. İlk faz Kördis Bazaltı, ikinci faz Çiftağaç Bazaltı, üçüncü faz Çavuşlu Bazaltı ve Alitaşı Tepe Bazaltı, dördüncü faz ise Çelebi Bazaltı ile Barzadağı Bazaltı olarak adlandırılmıştır. Bu aşamalar içinde yer alan piroklastik kayaçlar ise Gökçetaş Piroklastikleri olarak tanımlanmıştır. Ercan ve diğerlerinin 1991 yılında gerçekleştirdiği haritalandırma çalışmasında, bu kayaçlar sırasıyla S1, S2, S3, S4 ve S5 bazaltları ile SP piroklastikleri olarak işaretlenmiştir.

Siverek Grubu, Karacadağ volkanizmasının en eski ürünleri arasında sayılmakta ve yörede geniş alanlarda yayılmaktadır. Bu volkanitlerin üzerinde oldukça iyi gelişmiş bir drenaj sistemi ve 5 ila 10 metre kalınlığa kadar ulaşan bir toprak tabakası mevcuttur.

Bazalt lavlarında yuvarlak ve bloklu bir ayrışma gözlemlenmektedir. Birim esasen bazaltik lavlar ve piroklastik kayaçlardan oluşmakta olup, olivin toleyit, olivin bazalt ve olivin-ojit bazalt türlerinde çeşitlenmektedir. Bu bazaltlar, porfirik dokulu ve yer yer gaz boşluklarına sahip olup, fenokristal yapıları olivin, ojit ve plajiyoklaz minerallerinden oluşmaktadır (Ercan vd, 1991). Piroklastik kayaçlar ise daha az yayılım göstermekte ve genellikle volkanik çıkış merkezlerinin çevresinde bulunmaktadır.

Söz konusu piroklastikler tüf, tüfit ve aglomeralardan oluşmakta olup, yer yer su ortamında çökelmiş özellikler sergilemektedir.

Bu volkanik birimler, Germav, Hoya ve Gaziantep formasyonlarının üzerine uyumsuz bir şekilde yerleşmiştir. En genç birim olarak ise, Erken Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu üzerinde konumlanmışlardır. Ayrıca, çalışma alanının dışındaki çökellerde, bu lavlarla dokanak oluşturan kayaçlarda bulunan Sequoia aff. langsdorfii Brongn ve Ouercus aff. seyfriedi yaprak fosilleri sayesinde, Pliyosen yaşına dair veriler elde edilmiştir (Ercan vd., 1991).

Son olarak, Siverek Grubu volkanitlerinin yaş tayinleri üzerine yapılan radyometrik analizlerde, Haksal (1981) tarafından 10 ± 0.3 milyon yıl gibi bir yaş belirlenmiştir.

Bu sonuçlar, Siverek Grubu volkanitlerinin Geç Miyosen ile Erken Pliyosen arasında oluştuğunu göstermektedir.

Kördis Bazaltı (Tmplsk)

Siverek Grubu'nun en eski bazaltik lav akıntıları, Kördis Bazaltı olarak adlandırılmıştır (Sütçü, 2008). Bu bazaltların en iyi gözlemlendiği yer, Diyarbakır ilinin batısında, Karacadağ ilçesinin kuzeybatısında yer alan Kördis Mahallesi çevresidir. İnceleme alanının kuzeydoğusunda sınırlı bir yüzey alanında ortaya çıkan Kördis Bazaltı,

esas olarak koyu gri ile siyah renkteki olivin bazalt ve olivin-ojit bazaltlarından oluşmaktadır. Bu bazaltlar, porfirik bir dokuya sahip olup, yer yer gaz boşlukları içermektedir; bu boşluklar genellikle kalsit minerali ile doldurulmuştur. Fenokristal yapısında ise olivin, ojit ve plajiyoklaz mineralleri ön plandadır. Ayrıca, bu bazaltlar yoğun eklemli olup, yuvarlak ve bloklu bir ayrışma göstermektedir.

Kördis Bazaltı üzerinde Haksal (1981) tarafından gerçekleştirilen radyometrik yaş tayinleri, bu birimin yaşının 10 ± 0.3 milyon yıl olduğunu ortaya koymuştur. Bu verilere göre, Kördis Bazaltı Geç Miyosen dönemine tarihlenmektedir. Ercan ve diğerleri (1991) tarafından daha önce S1 bazaltı olarak incelenmiş olan Kördis Bazaltı, bu araştırmada daha detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

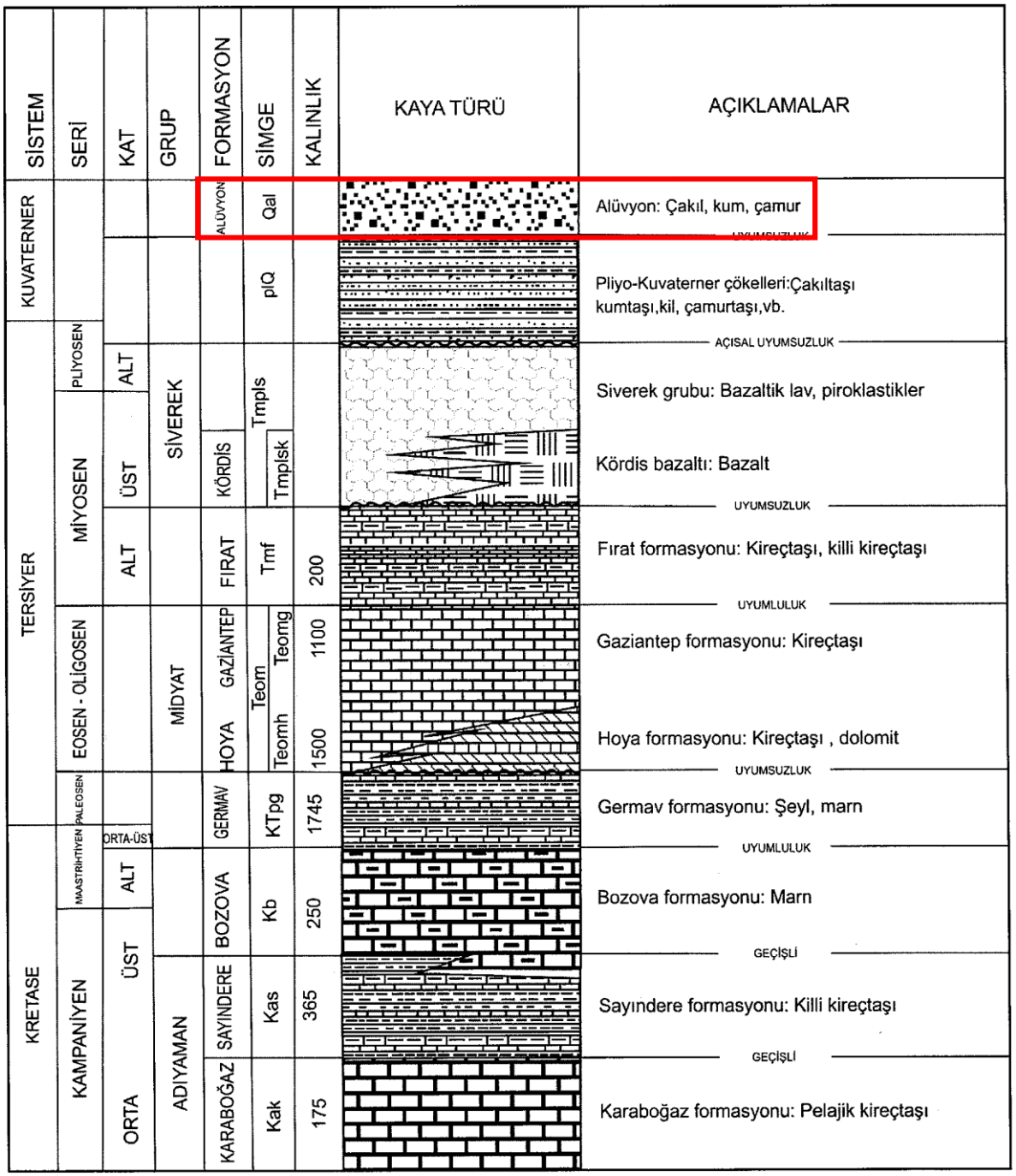
Pliyo-Kuvaterner Çökelleri (plQ)

Fırat Nehri'nin tarihsel taşkın alanında konumlanan ve daha yaşlı kaya birimlerini açısal uyumsuzlukla örtmekte olan bu formasyon, esasen dağlar arasındaki havzalarda korunmuş olan göl ve akarsu ortamlarında çökelmiştir. Yamaçlar boyunca yayılan döküntüler ve bağlanmamış çakıl parçalarından oluşan bu birim, düz alanlarda ise daha ince taneli malzemelerle şekillenmiştir.

Alüvyon (Qal)

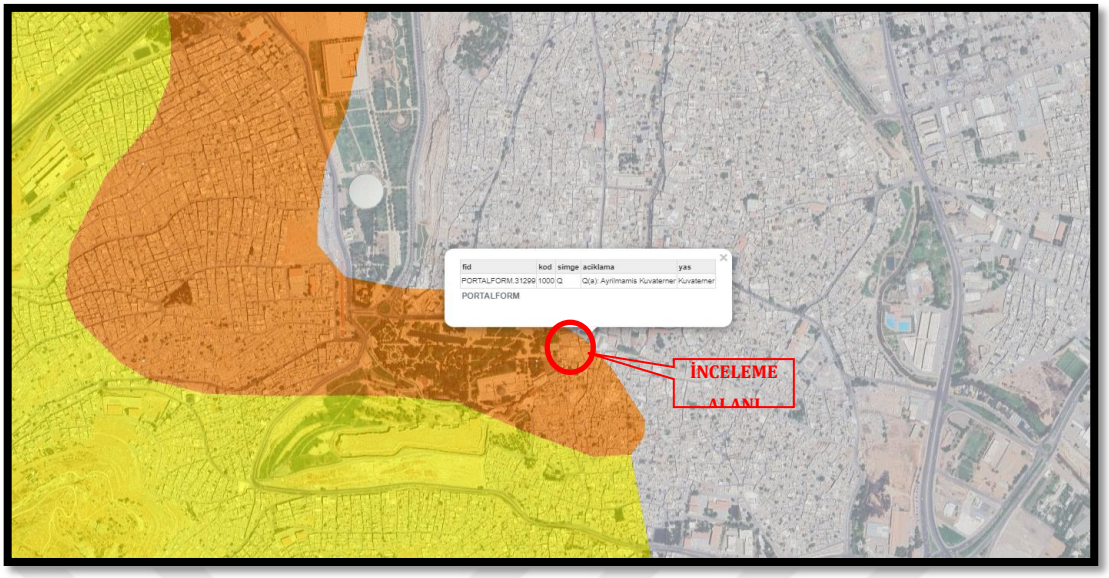
Akarsu yataklarında, çöküntü kısımlarında ve ovalarda birike gelmiş çakıl, kum ve çamur birikintileridir.

N41 paftasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesitinde çalışma alanımızın temel zeminin oluşturan kuvaterner yaşlı alüvyonlarımızın en üstte yer aldığı ve alttaki birim üzerine uyumsuz geldiği görülmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. *Genelleştirilmiş Stratigrafik Dikme Kesit (MTA, 2014)*

Çalışma alanımızın jeoloji haritasının uydu görüntüsü üzerine işlenmiş hali aşağıda görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. *İnceleme alanının jeoloji haritası (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx)*

3.2. Jeofizik Çalışmalar

Şanlıurfa İli Eyyübiye İlçesi, Eyyübiye Belediyesi Göl Mahalle, N41-C-11-B-2-A pafta, 377 ada ve 1'nolu parselde, zemin dinamik elastik parametrelerinin belirlenmesine yönelik kapsamlı jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan serimler uydu görüntüsü üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.5).

İnceleme alanında, yeraltı Vs30 hız yapısını, zemimizin dinamik-elastik mühendislik özelliklerini, TBDY esas yerel zemin sınıflarını, hakim titreşim periyotlarını, zemin büyütmelerini ve zemin içindeki düşey ile yanal süreksizlikleri belirlemek amacıyla iki adet Kırılma (KIRILMA) ve bir adet MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler sayesinde P ve S yüzey dalga hızları belirlenmiş ve yaklaşık 30 metre derinliğe kadar inilmesi hedeflenmiştir. Ölçümlere ait grafikler raporun eklerinde yer almakta olup, elde edilen verilerin değerlendirmeleri aşağıda detaylandırılmıştır.

Sismik ölçümlerle belirlenen Vs ve Vp dalga hızı değerlerine ilişkin sonuçlar, inceleme alanını temsil eden her bir profil için ayrı ayrı sunulmuştur. Bu ayrıntılı değerlendirmeler, zeminin dinamik-elastik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamakta ve mühendislik uygulamaları için kritik veriler sunmaktadır.

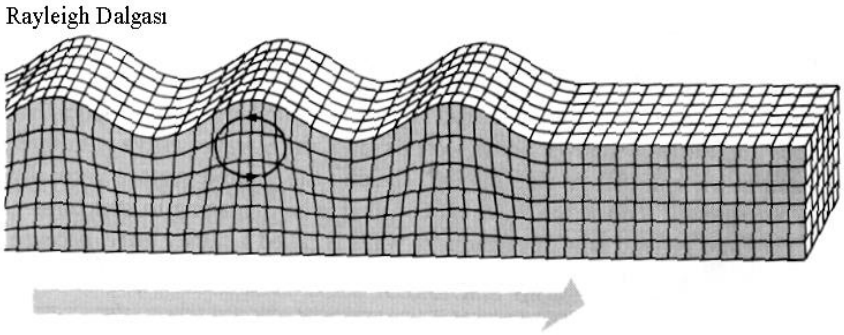
Sonuç olarak, gerçekleştirilen jeofizik çalışmalar, bölgedeki zemin yapısının dinamik davranışını anlamada önemli katkılar sağlamış olup, elde edilen veriler mühendislik projelerinin güvenilir bir şekilde planlanmasına olanak tanımaktadır.

Şekil 3.5. *MASW hatlarının gösterimi*

3.2.1. Aktif kaynak çok kanallı yüzey dalgası analizi (Masw)

Yüzey Dalgası (Rayleigh); P ve SV düzlem dalgalarının serbest yüzey üzerinde etkileşimi ile meydana gelen, Ground roll olarak bilinen Rayleigh dalgaları hem yatay hem de düşey yönde yeryüzüne paralel olarak ilerleyen ve tersi yönde hareket eden elips şeklinde tanecik hareketine sahiptir (Şekil 3.6).

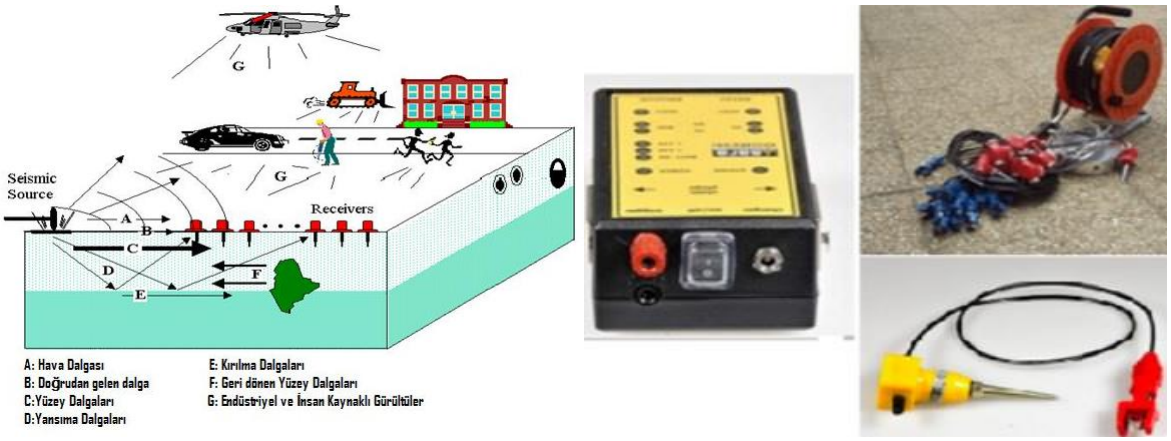
Rayleigh dalgasının genliği düşeyle exponansiyel olarak azalır. Bu azalma dalga boyuna dolayısıyla frekansa bağlıdır. Etkin genliği yeryüzünden 30-40m. Derinliklere kadar ilerler. Rayleigh dalgalarının hızı yüzeye yakın yerlerde elastik özelliklere bağlıdır ve her zaman S dalgası hızından düşüktür.



Şekil 3.6. *Deprem anındaki yıkıcı yüzey* dalgası

Yüzey dalgaları doğal veya yapay olarak üretilen enerjinin % 60-70 ine sahiptirler. Bu sebeple diğer dalgalardan kolay ayırt edilir ve yorumlaması kolaydır. Yüksek hız düşük frekans ve düşük hız yüksek frekans dönüşümleriyle kırılma yöntemine nazaran daha derinden bilgi almamızı sağlar. Karmaşık dalga türü olduğundan çeşitli bağıntılarla P hızını da elde etmek mümkündür fakat asıl amaç Vs30 hızına ulaşmaktır. Deprem esnasında yıkıcı etki yaratan birleşik dalgadırlar. Hava ile zemin arasındaki yapıyı en fazla etkileyen dalga türüdür.

Masw çalışmalarında kullanılan sismograf, jeofon ve çalışma prensibi ile ilgili döngü aşağıda görülmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. *Sismik dalga formları ve SARA DOREMİ model mühendislik sismografı, jeofon*

Çok kanallı yüzey dalgası profil yerleşimi; offset (grup dışı alıcı) mesafesi 4 m., jeofon aralığı iki metre olarak alınmıştır. Toplam profil uzunluğu 26 m.dir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Çok kanallı yüzey dalgası profil yerleşimi

YÖNTEM	SİSMİK KIRILMA	MASW
Kullanılan Cihaz	Sara Do-Re-Mi	Sara Do-Re-Mi
Cihazın Kanal Sayısı	12	12
Jeofon Tipi	P ve S Tipi Jeofonlar	P Tipi Jeofonlar
Jeofon Frekansı	14 Hz	4,5 Hz
Jeofon Aralığı	2 metre	2 metre
Ofset Mesafesi	2 metre	4 metre
Profil Boyu	24 metre	26 metre
Kullanılan Kaynak	8 kg Balyoz	8 kg Balyoz
Atış Sayısı	2-3	1
Örnekleme Aralığı	0,2 sn	0,2 sn
Kayıt Uzunluğu	0,25 sn	1000 msn
Derinlik	10-12 metre	18-20 metre
Kullanılan Program	Pick Win-Plotrefa	Surface Wave Analysis WaveEq

Çok Kanallı Yüzey Dalgası Uygulamasının Değerlendirilmesi

Belirlenen sismik hatlar boyunca 1-D sismik dalga hızı logunun elde edilmesi amacıyla, MASW yötemi ile sismik kayıtlar gerçekleştirilmiştir. Bu etüt, özellikle sismik uygulamalar açısından 30 metre derinliğe ulaşmayı hedeflemiştir. MASW uygulaması sayesinde, jeoteknik projelendirme ve temel tasarımı için son derece önemli olan kör ve düşük hız zonları kolaylıkla tespit edilmiştir. Rapor içerisinde yer alan sismik profiller, "MASW" notasyonu kullanılarak detaylı bir şekilde tanımlanmıştır.

Sismik etütler, 12 kanallı ve sinyal biriktirme özelliğine sahip SARA marka Doremi model mühendislik sismografı ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, MASW aplikasyonunda, 4.5 Hz doğal frekansa sahip düşey jeofon setleri tercih edilmiştir. Enerji kaynağı olarak, ağırlık düşürme metodu kullanılmış ve bu amaçla 8 kg ağırlığında bir balyoz seçilmiştir. Uygulama, 12 kanal ile gerçekleştirilmiş olup, bu da yüksek hassasiyetle veri toplanmasına olanak tanımıştır. Sonuç olarak, yapılan bu sismik etütler, yalnızca derinlik analizleri yapmakla kalmamış, aynı zamanda jeoteknik projelendirme süreçlerinde kritik öneme sahip bilgiler sunmuştur. Bu tür sismik çalışmalar, zemin etüdünün kalitesini artırmakta ve güvenilir temel tasarımı için gerekli verileri sağlamaktadır.

Proje sahasında yakın yüzey (near surface) V_s hız yapısı, “aktif kaynak MASW yöntemi” uygulanarak 1B olarak hesaplanmıştır. Yüzey dalgası analizi için “SEİSİMAGER“ yazılımı kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının dispersif özelliklerinden faydalanarak teorisi geliştirilmiş olan yüzey dalgası yöntemi ile proje sahasındaki düşük hız zonları-kör zonlar (yüksek hızdan sonra düşük hız gelişimi) görüntülenebilmiştir.

Hesaplanmış dispersiyon eğrisinin ters çözümü, faz hızı-frekans eğrisini kayma dalga hızını (V_s) kestirmek için referans olarak kullanılır. Ters çözüm algoritması, Xia vd (1999) tarafından geliştirilmiştir. Veri işlem esnasında farklı tabaka modeli kullanılarak mevcut hız değişimlerin tümü takip edilebilmiştir. Düzlem dalga ayrışımıyla kayıtlar, açılım-zaman domeninden Rayleigh dalga faz hızı-frekans domenine dönüştürülmüştür (Yılmaz vd, 2007).

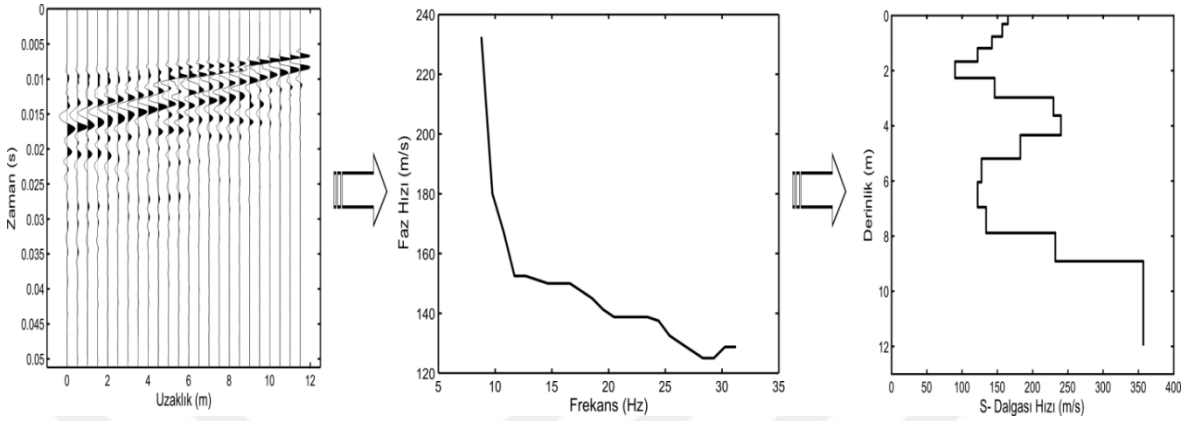
Yüzey dalgalarının temel moduna (fundamental mode) karşılık gelen dispersiyon eğrisi, bu dönüşüm domeninde azami enerji kriterine dayanarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu eğri, S-dalga hızı derinlik profili belirlemek amacıyla ters çözümleme yöntemi ile kullanılmıştır (Park vd. 1999; Xia vd. 1999). Bu süreçte, başlangıç olarak alınan S-dalga hızı derinlik profili, iteratif bir yöntemle sürekli olarak güncellenir. Her bir iterasyonda, modelleme aşamasında oluşturulan dispersiyon eğrisi ile gerçek dispersiyon eğrisi karşılaştırılır.

Modellenen ve gerçek dispersiyon eğrileri arasındaki uyuşmazlık, kabul edilebilir asgari bir değere ulaşana dek iterasyon devam eder. Uyuşmazlık istenen seviyeye düştüğünde, iterasyon işlemi sonlandırılır. Yüzey dalgalarından elde edilen S-dalga hızları, jeofon serimi boyunca yanal ortalamayı temsil eder. Bu yöntem, derinlik profili hesaplamaları açısından yüksek bir doğruluk sağlar ve böylece zemin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur. Bu tür bir yaklaşım, yalnızca S-dalga hızı belirleme sürecini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda zemin davranışının daha kapsamlı bir analizini mümkün kılar. Böylece, jeoteknik projelerde güvenilir veriler elde edilerek, yapıların sağlamlığı ve güvenliği artırılabilir.

Çok kanallı yüzey dalgası analiz algoritması ve buna bağlı olarak yüzey dalgası dispersiyon eğrisi ilerleme adımları veri kaydı, dispersiyon eğrisi ve S dalgası profillerin oluşturulmasıyla sonuçlanır (Şekil 3.8).

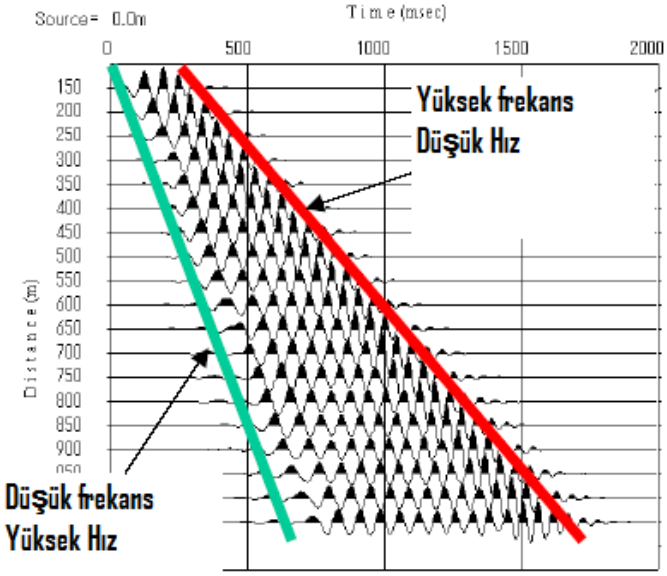
Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Algoritması

1 Veri Kaydı **2. Dispersiyon Eğrisi Çıkarılması** **3. S dalgası hız Profili çıkarılması**



Şekil 3.8. *Yüzey dalgası dispersiyon eğrisi*

Düşük frekans daha çabuk hareket eder. Yüksek frekans daha hızlı hareket eder (Şekil 3.9). En uzun dalga boyu açılım uzunluğu kadardır.



Şekil 3.9. *Düşük-yüksek frekans eğrisi ilişkisi*

Frekans(f)= 1/Periyod=1/T

Faz Hızı(Cf)= Uzaklık/Seyahat Zamanı= dx/dt

Dalga Boyu(ʎ)= Faz Hızı/Frekans= Cf/f

Fourier dönüşümü ile bağlı olarak yukarıdaki bağıntılardan elde edilen frekans Vr (rayleigh) hızı elde edilir.

$Vr= 2\pi f/k_{a=a\ max}$

Dalga boyundan, yüzey dalgalarının faz hızı aşağıdaki ilişki ile belirlenir.

$Vr= f * \lambda R$

F-k (frekans-dalga sayısı) yönteminde, k_{pik} değeri güç spektrumunda (zaman ve mekan ortamındaki verinin frekans ve dalga sayısı ortamına dönüştürmede) pik (en büyük) değere tekamül eden sayıdır.

Herhangi bir f_0 frekansı için Rayleigh dalgası faz hızı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$Vr=(2\pi f_0 / (k_{pik}))$

Yapılan arazi çalışmaları sonucu elde edilen veriler değerlendirildiğinde çalışma alanının dinamik-elastik mühendislik parametreleri Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışma alanının dinamik-elastik mühendislik parametreleri

SERİM NO	h	d	Vs	Vs30	NÜFUZ EDİLEN DERİNLİK	HEDEF DERİNLİK
	1,1	1,10	124			
	1,2	2,30	85			
	1,4	3,70	157			
	1,6	5,30	187			
	1,7	7,00	196			
	1,9	8,90	224			
MASW- 1	2,1	11,00	259	218	213	30
	2,2	13,20	286			
	2,4	15,60	302			
	2,5	18,10	307			
	2,8	20,90	303			
	2,8	23,70	293			
	3,1	26,80	311			

Bu aşamadan sonra Vs30 hızı elde edilmiştir. **Vs30=218 m/sn hesaplanmıştır. Kayma dalga hızına göre yerel zemin sınıfı ZD olarak bulunmuştur. Ancak yapılan SPT deneyi sonuçlarına göre özellikle üst seviyelerde darbe sayısının 5-15 arasında olduğu göz önüne alındığında** yerel zemin sınıfı ZE olarak belirlenmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. *Yerel zemin sınıfları*

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(VS)30 [m/s]	(N60)30 [darbe/30cm]	(Cu)30 [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, 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 (Cu < 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 (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (*PI* > 50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

3.2.2. Sismik (kırılma) çalışmaları

Zemin üzerinde oluşturulan yapay titreşimler, yüzeyde meydana gelen sismik titreşimlerin yeraltındaki farklı yoğunluk seviyelerinden kırılarak yüzeye geri dönme sürelerinin ölçülmesiyle analiz edilmektedir. Bu yöntemle, yer altındaki tabakaların P ve S dalgası hızları dikkate alınarak dinamik parametreler hesaplanabilir.

Sismik kırılma profili yerleşimi, ofset (grup dışı alıcı) uzaklığının 2 metre ve jeofon (grup içi alıcı) aralıklarının da 2 metre olarak belirlendiği bir düzenle gerçekleştirilmiştir. P ve S dalgası hızlarını belirlemek için düz ve ters atışlar yapılarak varış zamanlarına göre bir yol-zaman grafiği oluşturulmuştur.

Bu grafik, zemin koşullarının daha iyi anlaşılmasına olanak tanırken, inşaat ve jeoteknik projelerde karşılaşılabilecek olumsuzlukların önlenmesi açısından da büyük bir önem taşımaktadır. Elde edilen veriler, yapıların güvenliği için kritik bir referans sunmaktadır.

Sismik Kırılma Uygulamasının Değerlendirilmesi:

Arazide elde edilen P ve S dalgası hızları, bu hızlara bağlı olarak hesaplanan zemin dinamik elastisite parametreleri, tez içerisinde kapsamlı bir şekilde sunulmuştur.

P dalgası, dalganın yayılma doğrultusunun dik olduğu düzlemdeki hareketinin sabit kalması durumunda, düzlem (boyuna) dalga olarak tanımlanmaktadır. Bu tür dalgaların özelliği, dilatasyon dalgasının bir boyuna dalga olarak kabul edilmesidir; dolayısıyla, titreşim hareketi dalganın yayılma yönünde gerçekleşir. Her ortamda yayılabilen bu dalgalar, zemin içindeki en hızlı hareket eden dalgalar olmaları nedeniyle alıcıya ilk ulaşanlar arasında yer alır. Bu dalgalar, düşey kaynaklar ve düşey bileşenli jeofonlar aracılığıyla kaydedilmektedir.

Malzemenin sıkışma ve genleşme zorlamalarına karşı gösterdiği direnç, dalga hızını önemli ölçüde etkileyen bir unsurdur. Direnç seviyesi yüksek olan malzemelerde, dalgaların yayılma hızı da artar. Bu nedenle, P dalgalarının özelliklerini ve davranışlarını incelemek, zemin koşullarının anlaşılması açısından kritik bir öneme sahiptir (Tablo 3.4 ve Tablo 3.5). Elde edilen bu veriler, zemin dinamikleri hakkında derinlemesine bilgi sağlayarak mühendislik uygulamalarında önemli bir rol üstlenmektedir.

$$V=\sqrt{\frac{k+4/3\mu}{g}}=\sqrt{\frac{E}{g}\frac{(1-\sigma)}{(1-2\sigma)(1+\sigma)}}$$

k,μ=Elastik Parametreler

g = Ortam Yoğunluğu

σ = Dalga Boyu = Vp/f

Tablo 3.4. P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaçların sökülebilirlikleri ve kazınabilirlikleri (Bilgin)

P dalgası hızı (m/sn)	Sökülebilirlik	P dalgas hızı(m/sn)	Kazınabilirlik
300-600	Çok Kolay	>458	Rahatça Kazınabilir
600-900	Kolay	458-1220	Kolay Kazınabilir
900-1500	Orta	1220-1525	Orta-Zor Kazınabilir
1500-2100	Zor	1525-1830	Zor Kazınabilir
2100-2400	Çok zor	1830-2135	Çok Zor Kazınabilir
2400-2700	Son Derece	>2135	Patlatıcıyla Kazınabilir

Tablo 3.5. Çalışma alanında elde edilen sismik hızlar

SERİM ADI	Vp_1 (m/sn)	Vp_2 (m/sn)	Sökülebilirlik	Kazınabilirlik
Sismik-1	355	836	Kolay	Kolay
Sismik-2	342	815	Kolay	Kolay

S dalgası; düzlem dalgaları arasında yer alan bir enine dalgadır, bu da titreşim doğrultusunun yayılma yönüne dik olduğu anlamına gelir. Sismolojide bu dalgalara S (sekonder) dalgası denir ve iki farklı bileşende gözlemlenir: Yatay düzlemde polarlanmış enine dalgalar (SH) ve düşey düzlemde polarlanmış enine dalgalar (SV). Bu dalgaların meydana gelebilmesi için malzemenin şekil bozumuna ya da burulmaya karşı bir direnci olmalıdır. İnceleme alanında ölçülen S dalgası hızları tabloda sunulmuştur (Tablo 3.6 ve Tablo 3.7). Bu veriler, zemin dinamiklerini anlamak ve zemin yapı etkileşimlerini değerlendirmek açısından büyük bir öneme sahiptir.

Tablo 3.6. Çalışma alanında elde edilen sismik hızlar

SERİM ADI	Vs_1 (m/sn)	Vs_2 (m/sn)	Zemin Durumu Kazınabilirlik
Sismik-1	141	237	Gevşek
Sismik-2	136	224	Gevşek

Tablo 3.7. Kohezyonsuz zeminlerin vs hızlarına göre sınıflandırılması (Özaydın, 1982)

S Dalga Hızı (m/sn)	Zemin Durumu Kazınabilirlik
< 300	Gevşek
300 – 600	Orta-Sıkı
600 – 800	Sıkı
800 – 1000	Çok-Sıkı

$$Vs=\sqrt{\frac{\mu}{g}}=\sqrt{\frac{E}{g}\frac{1}{2(1+\sigma)}}$$

k,μ=Elastik Parametreler,

g = Ortamın Yoğunluğu,

σ = Dalga Boyu =Vp/f

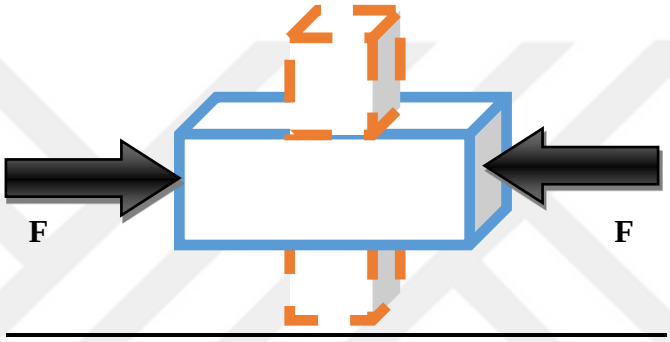
Sismik hız oranı (Vp /Vs) ; zeminin sıkılığı, Poisson **oranı; zeminin** gözenekliliğini ve bu gözeneklerin su ile dolu olup olmadığını, kırıklığını, Elastisite **(young) modulü;**

zeminin dayanıklılığını, sertliğini bir başka deyişle katılığını, Kayma **(shaer) modulü;** zeminin yatay kuvvetlere karşı direncini dayanıklılığını gösterir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8. Çalışma alanında elde edilen Vp/Vs oranları

SERİM ADI	Vp_1/Vs_1	Vp_2/Vs_2
Sismik-1	2.5	3.5
Sismik-2	2.5	3.6

Poisson oranı ρ: Bir kuvvet sonucunda enine kısalmanın boyuna uzamaya oranıdır (Tablo 3.9). Birimsizdir.



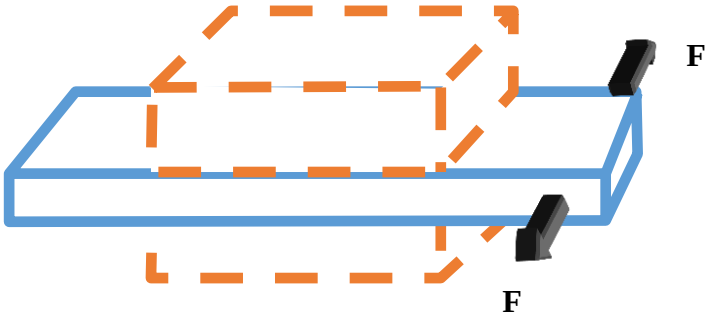
0 - 0,25 arası gözeneksiz, 0,25 - 0,350 arası orta derecede gözenekli, 0,350 - 0,500 arası gözenekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.9. Poisson oranına göre zemin durumu

SERİM ADI	ρ_1	ρ_2	Gözeneklilik Durumu
Sismik-1	0.41	0.46	Gözenekli
Sismik-2	0.41	0.46	Gözenekli

Elastisite modülünün (E): Boyuna gerilmenin, boyuna deformasyona oranı olarak tanımlanabilir (Tablo 3.10 ve Tablo 3.11). Birimi kg/cm ^{2} dir.

$$E=\frac{Boyunagerilme}{Boyunadeformasyon}=\frac{F/A}{\Delta L/l}$$ A=Birim yüzey, F=Etki eden kuvvet



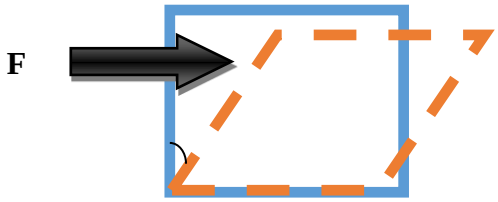
Tablo 3.10. Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Elastisite Modülü – E- kg/cm^2	Zemin Dayanım Durumu Kazınabilirlik
< 1000	Çok Zayıf
1000 – 3000	Zayıf
3000 – 10000	Orta
10000 – 30000	Sağlam
>30000	Çok Sağlam

Tablo 3.11. Elastisite modülü değerlerine göre çalışma alanındaki zemin özellikleri

SERİM ADI	E_1	E_2	Dayanım
Sismik-1	752	2727	Zayıf
Sismik-2	693	2425	Zayıf

<u>Kayma modülünün (G);</u> Yamulma gerilmesinin yamulma deformasyonuna oranı olarak tanımlanabilir (Tablo 3.12 ve Tablo 3.13). Birimi kg/cm^2 dir.



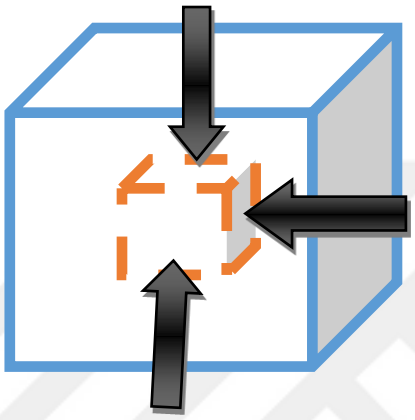
Tablo 3.12. Kayma modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Kayma Modülü (μ, kg/cm^2)	Zemin Dayanım Durumu Kazınabilirlik
< 400	Çok Zayıf
400 – 1500	Zayıf
1500 – 3000	Orta
3000 – 10000	Sağlam
>10000	Çok Sağlam

Tablo 3.13. Kayma modülü değerlerine göre zemin dayanımı

SERİM ADI	G_1	G_2	Dayanım
Sismik-1	268	936	Zayıf
Sismik-2	247	831	Zayıf

BulkModulü (K): Blaise Pascal ilkesine dayanır. Hacimsel gerilmenin, hacimsel deformasyona oranı olarak tanımlanabilir (Tablo 3.14 ve Tablo 3.15). Birimi kg/cm² dir.



Cisme her yönden kuvvet uygulandığında ortaya çıkmaktadır. Bulk modulü belli bir basınç altında sıkışmaya karşı gösterilen direnci göstermektedir.

Tablo 3.14. Bulk Modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Bulk Modülü (μ, kg/cm^2)	Zemin Sıkışma Durumu Kazınabilirlik
< 400	Çok Az
400 – 10000	Az
10000 – 40000	Orta
40000 – 100000	Yüksek
>100000	Çok Yüksek

Tablo 3.15. Bulk Modülü değerlerine göre zemin sınıflaması

SERİM ADI	K_1	K_2	Sıkışma
Sismik-1	1339	10402	Orta
Sismik-2	1231	9894	Az

Yoğunluk: ρ (gr/cm^3)

Boyuna dalga hızına göre amprik olarak Telford (1976) tarafından verilen yoğunluk formüldü aşağıdaki gibi hesaplanır (Tablo 3.16 ve Tablo 3.17).

$\rho = d = 0.31 * V_p^{0.25}$ (gr/cm^3)

Tablo 3.16. Zemin birimlerinin yoğunluk sınıflaması (Keçeli, 1990)

Yoğunluk: ρ (gr/cm^3)	Zemin Tanımlama Kazınabilirlik
< 1.20	Çok Düşük
1.20– 1.40	Düşük
1.40 – 1.90	Orta
1.90 – 2.20	Yüksek
>2.20	Çok Yüksek

Tablo 3.17. Zemin birimlerinin yoğunluk

SERİM ADI	ρ_1	ρ_2	Tanımlama
Sismik-1	1.35	1.67	Orta
Sismik-2	1.33	1.66	Orta

Yapılan jeofizik çalışmalardan elde edilen parametreler Tablo 3.18'de sunulmuştur.

Tablo 3.18. Sismik çalışmalardan elde edilen parametreler

Parametre	Sembol	Değer
Kohezyon, kgf/cm²	c	0,137
Temel Tabanı Üst / Birim Hacim Ağırlığı, kg/cm²	γ1	0,199
Temel tabanı Alt / Birim Hacim Ağırlığı, kg/cm²	γ2	0,199
İçsel Sürtünme Açısı (°)	φ	15
Temelin Düşeyden Eğimi (°)	θ	0
Taşıma Gücü Katsayıları (Meyerhof 1963)	Nq	2.4706
Taşıma Gücü Katsayıları (Meyerhof 1963)	Nc	8.3402
Taşıma Gücü Katsayıları (Meyerhof 1963)	Nγ	0.5186
-	Kp	1.420
Şekil Katsayıları	sc	1.023
Şekil Katsayıları	sq	1.000
Şekil Katsayıları	sγ	1.000
Derinlik Katsayıları	dc	1.2979
Derinlik Katsayıları	dq	1.000
Derinlik Katsayıları	dγ	1.000
Eğim Katsayıları	ic	1.000
Eğim Katsayıları	iq	1.000
Eğim Katsayıları	iγ	1.000

3.2.3.Mikrotremör çalışma yöntemi

Bu çalışma çerçevesinde, inceleme alanında bir noktada ölçüm yapılmıştır. Planlanan çalışmanın daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi ve emniyetli sonuçlar elde edilmesi amacıyla, bölge jeolojisi daha önceki çalışmalar doğrultusunda incelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda, inceleme alanındaki jeolojik birimlerin dağılımı ve sınırları detaylı bir biçimde değerlendirilmiştir.

Yürütülen mikrotremör çalışmasının amacı, burada inşa edilmesi öngörülen yapıların zemin titreşim özelliklerini belirlemektir.

Mikrotremorlar, okyanus dalgaları, rüzgâr, jeotermal reaksiyonlar ve düşük magnitüdlü yer sarsıntıları gibi doğal etkenlerin yanı sıra, trafik hareketleri gibi insanların günlük yaşamlarından kaynaklanan yapay etkilerle de oluşmaktadır (Katz, 1976).

Özellikle, 1 saniyeden kısa periyotlu salınımlar mikrotremor olarak adlandırılırken, 1 saniyeden uzun periyotlu salınımlar ise mikroseism olarak tanımlanmaktadır. Kısa (T <1sn) ve uzun (T> 1sn) periyotlar arasındaki bu ayrım, yapay kaynaklı mikrotremorlarla doğal kaynaklı mikroseismler arasındaki farkı göstermektedir (Bard, 1998).

Mikrotremor ölçümleri, bir noktada üç bileşenli mikrotremör cihazı (SARA SR04S3-10 – Görsel 3.1.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihazla elde edilen ölçümlerde, zemin hız kaydı alınarak kapsamlı analizler yapılmıştır. Bu süreç, zemin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayarak yapıların dayanıklılığını artırmaya katkıda bulunmaktadır. Sonuç olarak, mikrotremor ölçümleri, planlanan yapıların zemin titreşim özelliklerini kavramak açısından kritik bir öneme sahiptir ve elde edilen veriler inşaat sürecinde önemli bir referans noktası oluşturmaktadır.

Görsel 3.1. *SARA SR04S3-10 3 bileşenli mikrotremör cihazı*

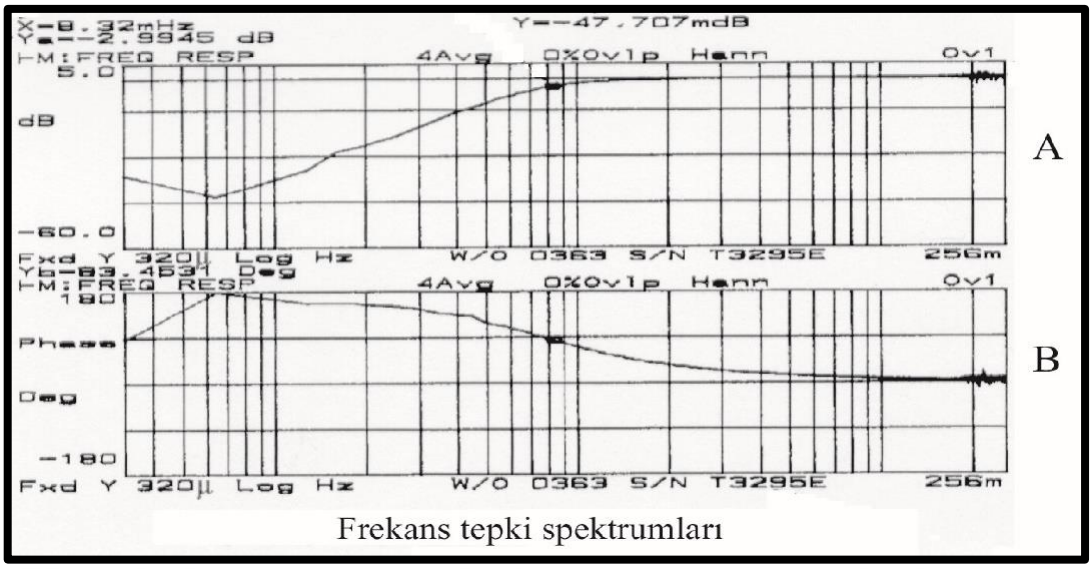
<u>CİHAZ ÖZELLİKLERİ (Tablo 3.19)</u>

- SR04S3
- Frekans aralığı: 1Hz-100Hz (SR04S3-10)
- 3 bileşenli Sismometre (X-Y-Z)
- 24-Bit 3 Kanallı Sismik Kayıtçı
- Ağırlık: 4kg'dan az.
- Cihaz ile birlikte verilen yazılımlar:
- SARA-Veri toplama ve cihaz yapılandırma yazılımı
- GEOPSY-Mikrotremör analiz yazılımı

Tablo 3.19. Teknik özellikleri aşağıda gösterilmiştir

Frekans aralığı:	0.01Hz-100Hz
Çıkış hassasiyeti:	0,4 uV 1K Hz Sample
3 bileşenli Feedback	(X-Y-Z)
IP Grade	IP 40
Dahili bellek:	2 Gb
Ağırlık:	2kg'dan az.

Dalgaların etkisi ile oluşan tepki spektrumu aşağıdaki gibi bir yol izlemektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. *Sismometrenin tepki spektrumu*

<u>Ölçülerin Değerlendirmesi</u>

Mikrotremör kayıtlarının çözümlemesinde genellikle spektral çözümleme yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Bu tür bir analiz, yer altında ilerleyen dalgaların bileşenleri hakkında bilgi edinmeyi mümkün kılar. Böylece, gelen dalganın geçtiği ortamların etkileri net bir şekilde belirlenebilir ve zemin koşulları hakkında değerli bilgiler elde edilir.

Mikrotremor verilerinin analizi için yaygın olarak üç farklı yöntem tercih edilmektedir:

1. Fourier genlikleri veya güç spektrumlarının yorumlanması,
2. Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması,
3. Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura Yöntemi) (Şekil 3.11).

Bu üç yöntem, belirli varsayımlara dayanmaktadır. İlk olarak, yer etkisinin yarı sonsuz ortamda bulunan tek tabakalı gevşek zemin tabakasından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Ayrıca, zemin rezonans frekansı ve büyütme seviyesi, gevşek zemin tabakası ile yarı sonsuz ortam arasındaki impedance contrast (direşim farkı) ile bağlantılıdır. Tüm iki boyutlu ve üç boyutlu yer etkileri bu süreçte göz ardı edilmektedir.

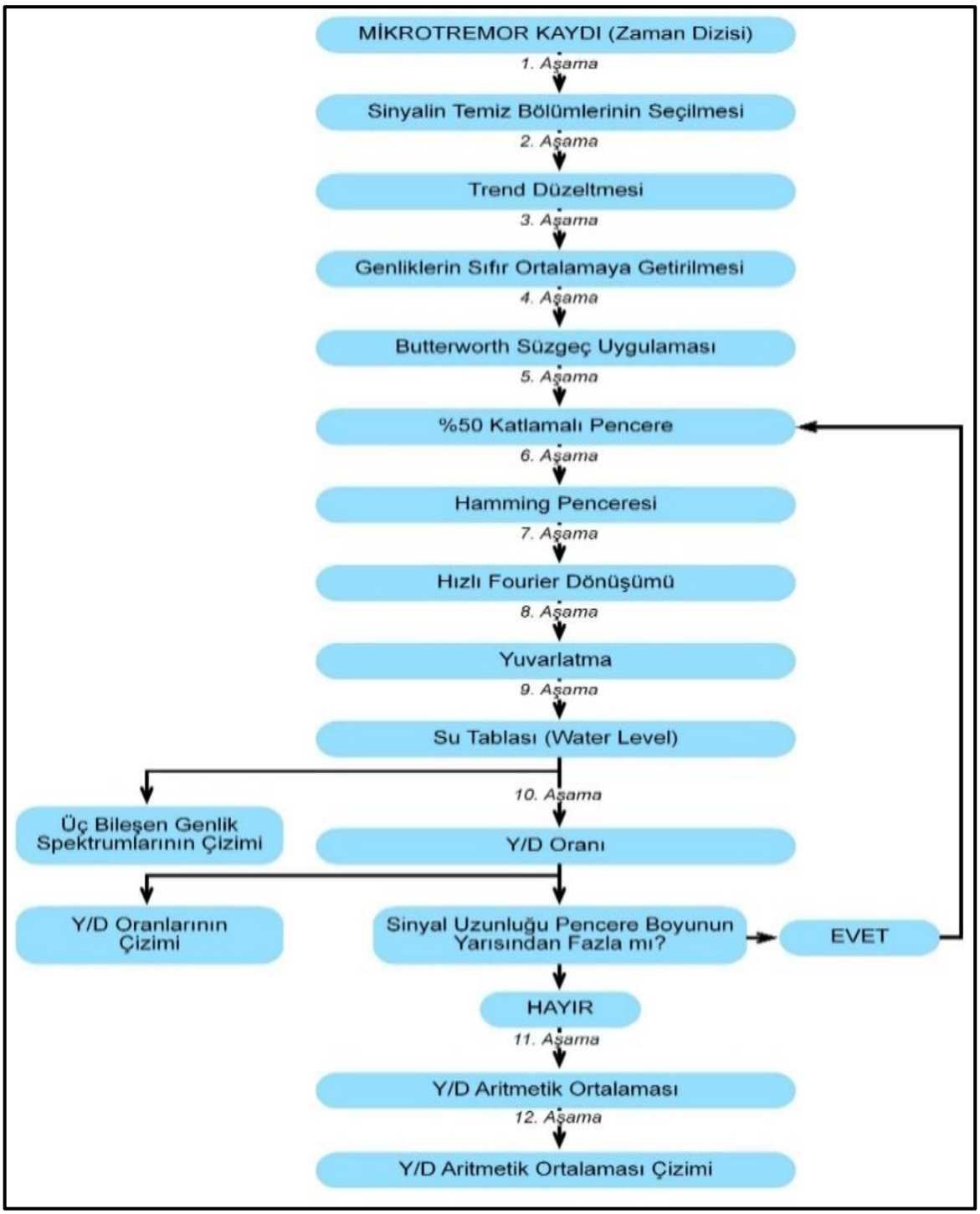
Buna ek olarak, spektral analiz yöntemlerinin yanı sıra, Sıfır Kesme Yöntemi de önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Kanai (1961) tarafından geliştirilen bu yöntem, mikrotremorların çözümlemesini ve zemin sınıflamasını içermektedir. Bu yöntem doğrultusunda, mikrotremorların içerdikleri periyotlara ilişkin dağılım eğrileri oluşturulmakta ve bu eğrilerden elde edilen frekanslar aracılığıyla zemin sınıflandırması gerçekleştirilmektedir. Baskın periyodu belirlemek için kullanılan formül aşağıdaki gibidir:

$T_o = 1 / F$

Zemin hâkim titreşim periyodundan T_a ve T_b zeminin alt ve üst titreşim periyotlarını elde etmek için ise;

$T_a = 0.67 \times T_o$

$T_b = 1.51 \times T_o$ bağıntıları kullanılmıştır. (Aytun, 2001).



Şekil 3.11. *Nakamura yöntemi ile değerlendirme ait veri çözümlemesi akış şeması*

Hesaplanan Parametre Değerleri

Tablo 3.20 ve tablo 3.21'de görüldüğü üzere alınan ölçümler sonucu, zemin hakim titreşim periyodu (T_0); 0,42 sn olarak hesaplanmıştır. Bu değerlendirme sonucunda zemin büyütme değeri 2,70 olarak bulunmuştur. Mikrotremör sonuçlarına göre zeminin deprem etkisini 2,70 kat büyüteceği anlaşılmaktadır. Spektral büyümeye göre tehlike düzeyi "B Orta" olarak tanımlanmıştır. Burada yapılacak yapıların, olası bir deprem sırasında rezonansa girmemesi için, mikrotremör çalışması sonucunda elde edilen parametreler hesaplamalarda mutlaka kullanılmalıdır.

Tablo 3.20. Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen parametreler

MT.No	Frekans (sn) F	Periyot(sn) To	Ta(sn)	Tb(sn)	H/V (A_k)
M-1	2,40	0,42	0,28	0,63	2,70

Tablo 3.21. (a) Yer hâkim titreşim periyotlarına göre mikrobölgeleme ölçütleri (b) Spektral büyütmelere göre mikrobölgeleme ölçütleri (Ansal Vd.,2004)

(a)		(b)	
Zemin Hâkim Titreşim Periyodu Aralığı	**Ölçüt Tanımı**	**Spektral Büyütme**	**Tehlike Düzeyi**
0.10-0.30 sn	A	0.0-2.5	A (Düşük)
0.30-0.50 sn	**B**	**2.5-4.0**	**B (Orta)**
0.50-0.70 sn	C	4.0-6.5	C (Yüksek)
0.70-1.00 sn	D		

3.3. Sondajlar ve Yeraltısuyu

İnceleme alanında, zemin profilinin ve litolojik özelliklerinin yanı sıra düşey doğrultudaki değişimlerin, yeraltı suyu durumunun ve mühendislik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yaklaşık 15.00-20.00 metre derinliklere kadar ulaşan üç temel araştırma kuyusu açılmıştır (Görsel 3.2). Bu çalışmalar, ASTM ve TSE standartları ile TCK Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı'nın zemin uygulamalarına ilişkin teknik şartnamesine uygun bir biçimde yapılmıştır.

Görsel 3.2. *Sondaj çalışmaları*

Açılan temel sondajlardan düzenli numuneler alınmış (Görsel 3.3) ve bu numuneler aracılığıyla yapı-zemin ilişkisi yorumlanmıştır. Sondajlar sırasında, her 1.50 m.de bir SPT testi uygulanarak örselenmiş numuneler alınmış ve bu veriler kullanılarak zemin tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Sondaj çalışmaları, 20.00 metre derinliğe kadar başarıyla tamamlanmıştır. Genel olarak, zemin karakteri killi-kumlu iri çakıl olarak belirlenmiştir.

Sondajın tamamlanmasının ardından, 24 saat geçtikten sonra yeraltısuyu ölçümü yapılmış ve açılan kuyularda yeraltısuyuna yaklaşık 0.70 metre derinlikte rastlanmıştır. Bu çalışmalar, zemin dinamiklerini anlamak ve mühendislik projelerinde karşılaşılabilecek zorlukları öngörmek açısından önemli bir temel sunmaktadır. Elde edilen veriler, projelerin güvenli ve sağlam bir şekilde ilerlemesine katkıda bulunacaktır.

Görsel 3.3. *Karot sandığından bir görünüm*

3.3.1. Standart penetrasyon deneyi sonuçları (SPT)

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), zemin incelemelerinde en yaygın ve en eski dinamik penetrasyon testlerinden biridir. Türkiye dahil birçok ülkede sıklıkla tercih edilen bu yöntemde, 63,5 kg ağırlığında bir şahmerdan, 75 cm (30 inç) mesafeden serbestçe düşürülerek penetrometre adı verilen çelik bir tüp ile zemine çakılır (Görsel 3.4). Tüpün ilk, ikinci ve üçüncü 15 cm'lik derinliklerde gömülmesi için gereken darbe sayılarının son iki tanesinin toplamı, SPT-N sayısı olarak adlandırılır; bu sayı, zemin sıkılığı, kıvamı ve dayanıklılığı hakkında bilgi sağlar (Tablo 3.22).

Örselenmiş numuneler, 2 inç dış çaplı ve 1 ⅜ inç iç çaplı yarık numune alıcı ile alınır (Görsel 3.5). Bu numunelerin doğal özelliklerini koruyabilmesi için, iç içe geçmiş iki naylon poşet içinde saklanarak etiketlenir ve hava almayacak şekilde sıkıca kapatılır. Deney sırasında ayrıca otomatik tip şahmerdan kullanılarak sonuçların güvenilirliği artırılmaktadır.

SPT deneyinin sonuçları, zemin karakteristiklerinin anlaşılmasında kritik bir rol oynamakta ve mühendislik projelerinde güvenilir veriler elde edilmesine katkıda bulunmaktadır.

Sahada yapılan sondajlarda, her 1,5 metrede bir SPT testleri ile örselenmiş numuneler (SPT) alınarak ilerlenmiştir.

Görsel 3.4. *Yapılan SPT çalışmasından bir görünüm*

Görsel 3.5. *Dış çaplı ve 1 3/8 iç çaplı yarık numune alıcı*

Tablo 3.22. Çalışma alanında yapılan jeoteknik sondajlardaki SPT değerleri

Sondaj Kuyu No	Derinlik (m)	15 cm	30 cm	45 cm	N30
SK-1	1,50-1,95	2	4	4	8
	3,00-3,45	30	17	10	27
	4,50-4,95	5	3	4	7
	6,00-6,45	6	4	4	8
	7,50-7,95	17	7	8	15
	9,00-9,45	6	7	50/4	R
	10,50-10,95	21	50/7	-	R
	12,00-12,45	50/5	-	-	R
SK-2	1,50-1,95	3	2	4	6
	3,00-3,45	9	7	5	12
	4,50-4,95	4	4	3	7
	6,00-6,45	3	2	3	5
	7,50-7,95	7	9	50/6	R
	9,00-9,45	12	10	50/4	R
	10,50-10,95	23	50/5	-	R
SK-3	1,50-1,95	50/2	-	-	R
	3,00-3,45	50/3	-	-	R
	4,50-4,95	50/2	-	-	R

İnceleme alanındaki birimler için kıvam durumu, Tablo 3.23'e (Terzaghi ve Peck, 1948) göre değerlendirilmiş ve çalışma sahasında bulunan zemin için kıvam "orta, katı-çok katı-sert" olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.23. Killer için SPT-N, serbest basınç dayanımı ve kıvamlılık ilişkisi (Terzaghi ve Peck,1948)

SPT-N (darbe/30 cm.)	Serbest Basınç Dayanımı (qu) kg/cm^2	Kıvam
< 2	< 0.25	Çok yumuşak
2-4	0.25 - 2,70 - 2,80	Yumuşak
4-8	2,70 - 2,80 - 1.00	Orta
8 - 15	1.00 - 2.00	Katı
15 - 30	2.00 - 4.00	Çok katı
> 30	> 4.00	Sert

Standart Penetrasyon deneylerinin sonuçları, sıklıkla daneli zeminlerin taşıma gücü ve relatif sıkılık değerlerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Önerilen SPT-N ve relatif sıkılık arasındaki ilişki, Tablo 3.24'de sunulmuştur. Bu ilişki, zemin analizi ile mühendislik uygulamalarında güvenilir verilerin elde edilmesine önemli katkılarda bulunmaktadır. Elde edilen bulgular, yapıların güvenli bir şekilde tasarlanması ve uygulanması açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Tablo 3.24. *Zeminlerin SPT - N değerlerine göre sıkılık değerlendirmesi (Terzaghi ve Peck,1948)*

Darbe Sayısı – N	Sıkılık
0-4	Çok gevşek
5-10	Gevşek
11-30	Orta sıkı
31-50	Sıkı
>50	Çok sıkı

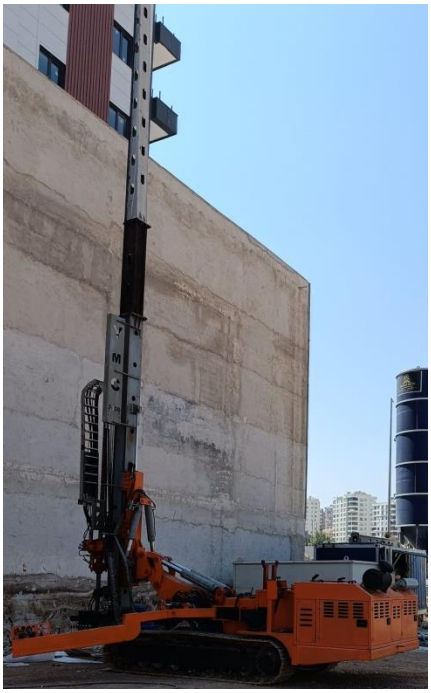
İnceleme alanında yapılan SPT deneyleri sonucunda elde edilen SPT-N30 değerlerine göre, kumlu zemin için sıkılık değerlendirmesi "gevşek-orta sıkı–sıkı" olarak belirlenmiştir.

3.4. Mikro Kazık ve Enjeksiyon Malzemeleri

3.4.1. Temel sondaj makinesi

Projelerde kullanılacak sondaj makineleri, en az 46 mm ve en fazla 200 mm çaplarında delik açabilecek kapasitede olmalı ve karotlu veya karotsuz delme işlemlerini her türlü zemin ve kayada gerçekleştirebilmelidir. Bu makineler, su sirkülasyonlu rotari tipte olmalı ve en az 120 metre derinliğe kadar delgi yapabilme kapasitesine sahip olmalıdır. Ek olarak, bu makineler, projelerdeki eğik düzlemlerde, galerilerde ve tünellerde çalışabilecek özelliklerle donatılmış olmalıdır. Tünel ve galeri içlerinden yapılacak enjeksiyon ve drenaj delikleri için, yine su sirkülasyonlu rotari tipte makinelerle çalışılabilecektir (Görsel 3.6).

Eğer zemin kil dolgu gibi suyla temasında sorun yaratabilecek bir yapıya sahipse, motor gücü ile dönen burgulu makineler tercih edilebilecektir. Ayrıca, galeri ve tünellerde kullanılacak ekipmanın motorları susturucu veya ses izole edici unsurlarla donatılmalıdır. Bu tür yerlerde sabit, içten yanmalı motorlar ve makineler kullanılmayacak, bu motorların çalışmasına müsaade edilmeyecektir. Alüvyon enjeksiyon işlemlerinde, İdare'nin onayıyla, Odex yöntemiyle çalışan makineler (delik açarken aynı anda muhafaza borusu sürebilen) veya delik dibi çekici (Down The Hole Hammer) kullanılabilecektir.



Görsel 3.6.*YMC 2000 mikro kazık sondaj makineleri*

3.4.2. Su pompası

Çalışma alanında, kuyu veya kademede, en az 20 kg/cm² çalışma basıncına sahip, bu basınç altında minimum 80 l/dak debi sağlayabilen ve özgür emme basıncı altında ise minimum 120 l/dak debi kapasitesine sahip dubleks veya tripleks tipli pompalar yeterli sayıda iş yerinde bulundurulacaktır (Görsel 3.7).

Bu pompaların, uygulama gereksinimlerini karşılayacak şekilde sahada hazır bulunması, işlemlerin kesintisiz ve verimli bir şekilde ilerlemesini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Görsel 3.7.*Su pompası*

3.4.3. Diğer sondaj ekipmanı

Kullanılması gereken kesiciler, tijler, muhafaza boruları, karotiyerler ve bağlantı aparatları, sondaj standartlarına tam uyumlu olacak ve şartnamelerde belirtilen çaplarda, ayrıca kuyu derinliklerinde verimli bir şekilde çalışabilecek kapasitede tasarlanacaktır. Alüvyon enjeksiyonlarında kullanılacak olan alüvyon enjeksiyon takımları, çeşitli sivri uçlu aletler ve manşetli boru takımları gibi ekipmanlar, iş sahasında yeterli sayıda bulundurulmalıdır (Görsel 3.19).

Karotlu sondajlar sırasında elde edilen karotların muhafazası için kullanılacak karot sandıkları, yüklenici tarafından temin edilmek zorundadır.

Bu sandıkların üretimi, İdarenin onaylayacağı kalitedeki keresteden ya da dayanıklı sert plastikten yapılmalı ve alınacak karotun çapı ile ağırlığına uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Ayrıca, sandıkların içine yerleştirilecek ara bölme tahtaları ve en az 10 mm kalınlığında manevra boyu takozları da sonradan eklenerek fonksiyonellik sağlanacaktır.

Enjeksiyon ve basınçlı su testleri için kullanılan tek veya çift lastikli tıkaçlar (paker), çeşitli çaplarda ve en az 30 cm uzunluğunda olmalı ve işin gereksinimlerine göre yeterli sayıda iş sahasında hazır bulundurulmalıdır. Bu ekipmanların işin kapsamına uygun olarak doğru miktarda temin edilmesi, operasyonların sorunsuz ve etkin bir şekilde yürütülmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Görsel 3.8. *Matkap, tij, muhafaza borusu ve karotiyer*

3.4.4. Enjeksiyon pompası

Uygulama lokasyonunda, yani kuyu ya da kademede, en az 40 kg/cm² çalışabilme basıncına sahip ve bu basınç altında minimum 100 l/dak debi sağlayabilen, özgür emiş basıncı altında ise en az 120 l/dak debi kapasitesine sahip dubleks tip enjeksiyon pompaları kullanılacaktır (Görsel 3.9). Yüksek basınçlı enjeksiyon yapılması gereken durumlarda, bu işlemlere uygun özel enjeksiyon pompalarının kullanılması gerekmektedir. Bu pompalar, %25 ile %50 arasında kum oranına sahip karışımları rahatlıkla basabilecek kapasitede olmalıdır.

Şerbet alışlarının fazla olduğu yerlerde, çimento miktarının %100 veya daha fazla olduğu ve orta ile kaba boyuttaki (1-8 mm) kumlu şerbetlerin basılabilmesi için, yukarıda belirtilen minimum basınç ve debi özelliklerini karşılayan, bu tür zorlayıcı şartlara uygun enjeksiyon harç pompalarının temin edilmesi zorunludur. Bu tür ekipmanların doğru seçimi, enjeksiyon işlemlerinin verimli bir şekilde yürütülmesi için hayati öneme sahiptir ve işin niteliğine göre yeterli sayıda iş sahasında bulundurulması gerekmektedir.

Görsel 3.9. *Enjeksiyon pompası*

3.4.5. Mikserler

Mikserler, minimum ikiyüzelli litre ve maksimum 1000 litre hacminde olmalıdır. Çimento, bentonit, kum, su ve gerekirse kimyasal katkıları homojen bir şekilde karıştırmak için mekanik olarak çalışmalı ve en az 1000 devir/dakika hızla dönerek karışımı 2 dakika içinde homojen ve kolloidal hale getirebilmelidir (Görsel 3.10). Karışımdaki maddelerin oranlarını hassas bir şekilde ölçebilmek için mikserlerin üzerinde veya yanında tartı aleti ya da hassas ölçüm kapları bulunacaktır. Bu özellikler, karışımın kalitesi ve uygulamanın başarısı açısından gereklidir.

Görsel 3.10. *Mikser*

3.4.6. Çalkalayıcılar

Mikserler, en az kendi kütlesinin iki katına eşit veya daha büyük bir hacimde olmalıdır. Hazırlanan enjeksiyon karışımını süspansiyon halinde tutmak amacıyla, mekanik bir karıştırıcıyla donatılmış olacaktır (Görsel 3.11). Ayrıca, çimento ve bentonit şerbetleri için 50 numaralı (0.297 mm), kumlu şerbetler için ise 8 numaralı (2.38 mm) standart elekten geçemeyecek büyüklükteki kum, kırıntı ve yabancı maddelerin enjeksiyon pompasına gitmesini engelleyen bir elek sistemi de bulunacaktır.

Enjeksiyon yapılan bir kuyuya ya da kademeye verilen şerbet hacmini hassas bir şekilde ölçebilmek için, çalkalayıcıda litre cinsinden hacmi gösteren bir eşel sistemi yer alacaktır. Bu sistem, enjeksiyon işlemlerinin doğruluğunu ve etkinliğini sağlamak için son derece önemli bir rol oynar. Çalkalayıcıların bu özellikleri, karışımın kalite ve homojenliğini koruma noktasında kritik bir işlev üstlenir, bu da proje başarısı için gereklidir.

Görsel 3.11. *Çalkalayıcı*

3.4.7. Diğer sondaj ekipmanı

Kaydediciler: Yüklenici, şerbet hazırlanmasında kullanılan çimento, bentonit, kum ve kimyasal katkı maddelerinin iş yerine ulaştığı anda, otomatik ve kayıt tutma özellikli tartı sistemlerini devreye alacaktır. Bunun yanı sıra, işin doğasına bağlı olarak, otomatik tartı sistemi bulunmayan enjeksiyon santrallerinde torbalanmış çimento kullanılacaktır.

Kuyu açılışı esnasında ise, şerbetin akış hızı, miktarı ve basıncı gibi kritik parametreleri otomatik olarak ve kesintisiz biçimde kaydeden cihazların (recorder) kullanılması gerekmektedir.

Enjeksiyon Hortumları: Kullanılacak enjeksiyon hortumları, ilgili işin gerektirdiği en yüksek enjeksiyon basınçlarına güvenli bir şekilde dayanabilecek sağlamlıkta seçilecektir. Bu kapsamda, iç çapı en az 1 inç olan hortumların kullanılması sağlanacaktır (şekil 3.23).

Manometreler: Uygulanacak enjeksiyon işlemlerine uygun olarak, farklı kapasitelerde ve gliserin korumalı (yağlı) tipte manometreler tercih edilecektir. Düşük basınçlı enjeksiyonlar için 10 kg/cm²'lik kadrana sahip manometreler, yüksek basınçlı enjeksiyonlar için ise 40 kg/cm²'lik kadrana sahip olanlar kullanılacaktır. Bu manometrelerin, 10 kg/cm²'lik olanları minimum 0,5 atm, 40 kg/cm²'lik olanları ise en az 1 atm basıncı gösterebilen bölmelere sahip olacaktır.

Manometre çaplarının minimum 10 santimetre olması gerekmektedir. Kullanılacak tüm manometrelerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla, hassas kalibrasyonlu bir manometre alınarak İdare'ye teslim edilecektir. İdare, bu manometre ile diğer kullanılan ve onarım gören manometreleri test edecektir. Yüklenici, manometre kontrolü sırasında İdare'ye destek verecek ve test için gerekli aparatlar hazırlanacaktır. Enjeksiyonda kullanılacak manometreler, yağ dolu ve özel diyafram koruyucusu ile donatılacaktır (Görsel 3.12).

Enjeksiyon Nakil Hattı Boruları: Enjeksiyon sırasında şerbetin taşınması için, şerbetin hazırlandığı yerden kuyu başı manometresine kadar olan maksimum 100 metre mesafede minimum 1 inç çapında galvanizli veya siyah demir borular kullanılacaktır; bu mesafeden sonra enjeksiyon hortumları devreye alınacaktır. Şerbetin nakli esnasında karışımın özellikleri, İdare tarafından kuyu başlangıcında test edilecek ve gerek duyulursa ara mesafelerde karıştırıcı veya pompa yerleştirilmesi talep edilebilecektir.

Vanalar, Çekvalfler ve Diğer Bağlantılar: Yapılacak işin niteliğine uygun kalite ve kapasitede seçilecektir (Görsel 3.12).

Su Saatleri: Karışım oranlarında kullanılacak su miktarını ve basınçlı su testi sırasında su kaçağı miktarını litre hassasiyetinde ölçebilecek nitelikte olacaktır. Su saatlerinin 1 litrelik gösterge numaratörüne sahip olması zorunludur. Ayrıca, test amacıyla bir su saati İdare'ye teslim edilecektir. Kullanılacak su saatleri, uygulanacak en yüksek basınca dayanıklı olacaktır (Görsel 3.12).

Görsel 3.12. *Enejksiyon hortumu, manometre, vana ve su saati*

3.4.8. Bulon demiri

Yapılan işin mahiyetine uygun, kaliteli, standartlara uygun, yeterli kapasitede, belirlenen çap ve boydaki demirleridir (Görsel 3.13).

Görsel 3.13. *Bulon demiri*

3.4.9. Çimento

Sülfata dayanıklı çimentoların kullanılması gereken alanlar dışında kalan tüm enjeksiyon işlerinde, CEM-I veya CEM-II tipi çimentolar tercih edilecektir (Görsel 3.14). CEM-II türü katkılı çimentolarda, katkı oranı "A" tipinde, yani düşük katkılı olarak belirlenecektir. Bu çimentoların, özellikle sulu ortamlarda daha dayanıklı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte, diğer katkı tipleri ihtiyaç duyulması durumunda kullanılabilir. Ayrıca, kullanılacak çimentonun özgül yüzey alanı minimum 3500 cm²/gr olmalı ve 200 mikron göz açıklığına sahip elekte en fazla %1, 90 mikron göz açıklığına sahip elekte ise en fazla %12 kalıntı bırakmalıdır.

Görsel 3.14. *Çimento*

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez kapsamında 3 Adet 15.00-20.00 metre derinliklere kadar ulaşan sondaj yapılmış olup spt verilerine göre zemin tipi killi-kumlu iri çakıl olduğu görülmüştür. Bu bağlamda camimizin genel olarak alüvyonlu bir zemin ortamında inşa edildiği açık bir şekilde görülmektedir. Açılan kuyularda yapılan yeraltısuyu ölçümleri sonucu yeraltısuyu yaklaşık olarak 0,70 metrededir.

Jeofizik çalışmalar kapsamında yapılan çalışmalar doğrultusunda kayma dalga hızı 218 olarak belirlenmiştir. Kayma dalga hızına göre yerel zemin sınıfı ZD olarak bulunmuştur. Ancak yapılan SPT deneyi sonuçlarına göre özellikle üst seviyelerde darbe sayısının 5-15 arasında olduğu göz önüne alındığında yerel zemin sınıfı ZE olarak alınması uygun görülmüştür.

Deprem sonrası yapının taşıma gücü yetersiz olarak bulunmuştur. Taşıma gücü 15,44 t/m^2, Güvenli taşıma gücü 11,03 t/m^2 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerin güvenli taşıma gücünden düşük olduğu belirlenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda oturma problemi olabileceği öngörülmüştür. Bu tezde elde edilen bulgulara göre bir geoteknik rapor hazırlanmıştır. Hazırlanan geoteknik rapora bağlı olarak mikro kazık ve enjeksiyon yöntemlerinin birlikte uygulanması ile bir zemin iyileştirme projesi hazırlanmış olup gerekli iyileştirmeler uygulama olarak da tamamlanmıştır.

Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucu elde edilen yeni değerlendirme raporunda taşıma gücü ve oturma miktarlarının müsaade edilir sınırlar içirişinde kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak bu tez çalışması kapsamında Şanlıurfa Hasanpaşa Camisinin deprem sonrasındaki zemin koşullarını incelemek için çeşitli arazi testleri gerçekleştirilmiş ve yürütülen analizler neticesinde zemin problemlerinin önüne geçmek amacıyla zemin iyileştirmesi projesi hazırlanmıştır. Böylece baştan sona kapsamlı bir zemin araştırma yöntemi literatüre kazandırılmıştır.

4.1. Arazi Deneyleri

Camii alanında zemin profilini ve litolojik özelliklerini, düşey doğrultudaki değişimleri, yeraltısuyu durumunu ve mühendislik parametrelerini belirlemek amacıyla, saha içerisinde yaklaşık 15 ila 20 metre derinliğe sahip üç temel araştırma sondajı gerçekleştirilmiştir.

Bu sondaj çalışmaları, yalnızca ASTM ve TSE standartlarına uygun olarak değil, aynı zamanda TCK Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı'nın zemin

işlerine ilişkin Teknik Şartnamesi'ne de riayet edilerek titizlikle yürütülmüştür. Yapılan temel sondajlardan düzenli aralıklarla alınan numuneler üzerinden yapı-zemin ilişkisi detaylı bir şekilde yorumlanmıştır. Ayrıca, sondaj sırasında her 1.5 m.de bir gerçekleştirilen SPT testleri sayesinde örselenmiş numuneler elde edilmiş ve bu numuneler doğrultusunda zemin tanımlamaları yapılmıştır.

Söz konusu alanda gerçekleştirilen SPT deneylerinin sonuçlarına bakıldığında, 6.00 metreye kadar olan bölümlerdeki N_{30} değerlerinin 5 ile 27 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ancak, 6.00 metreden itibaren zeminin iri daneli yapısı nedeniyle yapılan deneylerde sonuç alınamamış ve testler başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Bu durum, zeminin derinlik arttıkça değişen özelliklerini ve mühendislik çalışmalarındaki olası zorlukları ortaya koymaktadır.

4.2. Laboratuvar Deneyleri

Yapı temellerinin bulunduğu zemin ortamının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, zemin örnekleri üzerinde çeşitli testler yapılmıştır. Temel sondajlarından elde edilen numuneler, TS 1900-1 standartlarına göre su içeriği, elek analizi ve Atterberg limitleri açısından incelenmiş ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (USCS) göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, mekanik özelliklerin tayini için TS 1900-2 standartlarına uygun doğrudan kesme testleri uygulanmıştır (Tablo 4.1).

Bu çalışmalar, yapı-zemin etkileşimlerinin doğru değerlendirilmesi ve güvenilir temel tasarımlarının yapılabilmesi için önemli veriler sağlamıştır.

- Doğal Su İçeriği
- Kıvam Limitleri (Likit Limit, Plastik Limit Ve Plastisite İndeksi)
- Dane Boyu Dağılım
- Doğal Birim Hacim Ağırlık
- Direkt Kesme Deneyi
- Kayada Tek Eksenli Basınç Dayanımı
- Nokta Yükü Dayanımı

Tablo 4.1. Laboratuvar sonuçları

Numune	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	Doğal Nem (%)	Elek Analizi (%)	Atterberg Limitleri (%)	Sınıflama	Serbest Basınç Dayanımı	Diğer Parametreler
SK-1 SPT-1	1.50	19.0	4.4	%2.1 (No.200)	LL: 23.6 - PL: 22.3 - PI: 1.3	GC	-	
SK-1 SPT-2	3.00	19.5	5.2	%2.6 (No.200)	LL: 22.5 - PL: 21.4 - PI: 1.1	GC	-	
SK-1 SPT-3	4.50	19.3	5.5	%2.3 (No.200)	LL: 23.1 - PL: 21.8 - PI: 1.3	GC	-	
SK-1 SPT-4	6.00	19.4	5.1	%2.4 (No.200)	LL: 21.9 - PL: 20.7 - PI: 1.2	GC	-	
SK-1 SPT-5	7.50	19.2	5.4	%2.2 (No.200)	LL: 23.4 - PL: 22.1 - PI: 1.3	GC	-	

4.2.1. Zemin sınıflama ve tanımlama deneyleri

Söz konusu alanda yapılan sondaj çalışmalarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde doğal su içeriği, kıvam limitleri, elek analizi ve doğal birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

Doğal su içeriği deneyi

Alüvyon zemin üzerinde alınan 15 adet örselenmiş numune üzerinde doğal su içeriği deneyi yapılmış olup, zeminlerin su içeriği %7,60-%22,20 arasında belirlemiştir.

Doğal birim hacim ağırlık deneyi

Alüvyon zemin üzerinde alınan 15 adet örselenmiş numune üzerinde doğal birim hacim ağırlık deneyi yapılmış olup, zeminlerin doğal birim hacim ağırlığı 1,77-1,99 gr/cm^3 arasında belirlemiştir.

Dane boyu dağılımı deneyi

Alüvyon zemin üzerinde alınan 15 adet örselenmiş numune üzerinde elek analizi deneyi yapılmış olup, 4 nolu elekte kalan %40,20-%64,70, 10 nolu elekte kalan %46,90-%73,70, 200 nolu elekten geçen %6,60-%38,40 ve 230 nolu elekten geçen %6,40-%35,70 arasında belirlemiştir.

Kıvam limitleri deneyi

Alüvyon zemin üzerinde alınan 15 adet örselenmiş numune üzerinde atterberg limitleri deneyi yapılmış olup, zeminlerin likit limit %35,90-%37,80, plastik limiti %17,90-%18,80 ve plastisite indisi %17,80-19,30 arasında belirlemiştir.

4.2.2. Zeminlerde gerilme-deformasyon ve dayanım deneyleri

Söz konusu alanda yapılan sondaj çalışmalarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde direkt kesme deneyi yapılmıştır.

Direkt kesme deneyi

Alüvyon zeminden alınan alüvyon zeminden alınan ağırlıklı GC, GM ve GW-GM karakterli 15 adet örselenmiş örnek üzerinde, bu zeminlerin dayanım parametrelerini belirlemeye yönelik olarak direkt deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; zeminin kohezyonu Cup 5,22-25,68 kPa aralığında, içsel sürtünme açıları ϕup 14-24 aralığında belirlenmiştir.

4.2.3. Kaya zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayinine ilişkin deneyler

Söz konusu alanda yapılan sondaj çalışmalarından alınan karot numuneler üzerinde nokta yükü dayanım indeksi ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Nokta yük dayanım indeksi

Alınan 2 adet karot üzerinde Nokta Yükleme Dayanımı deneyi yapılmış ve deney sonucuna göre 1,04-1,11 Mpa arasında belirlemiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Nokta yükleme dayanımına göre kayaç sınıflaması

Kayaç Sınıfı	Nokta Yükleme Dayanımı (kg/cm^2)
Çok Yüksek Dayanımlı Kayaç	>80
Yüksek Dayanımlı Kayaç	80-40
Orta Dayanımlı Kayaç	40-20
Düşük Dayanımlı Kayaç	**20-10**
Çok Düşük Dayanımlı Kayaç	<10

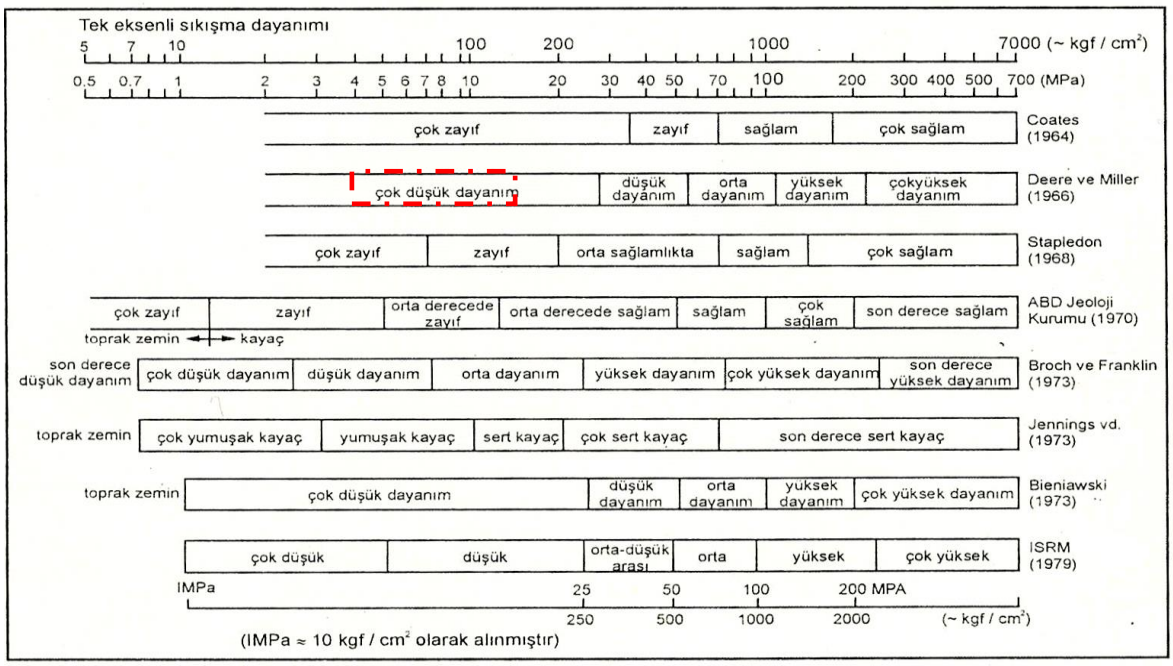
4.2.3.1. Tek eksenli basma dayanımı

Alınan 1 adet karot üzerinde Tek eksenli basınç dayanım deneyi yapılmış ve deney sonucuna göre 7,79 Mpa olarak belirlemiştir (Tablo 4.3 ve Tablo 4.4).

Tablo 4.3. Kaya zeminlerin dayanım sınıflaması (Deere ve Miller, 1967)

Simge	Kayaç Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kgf/cm^2)
R_1	**Çok Düşük Dayanımlı Kayaç**	**10-250**
R_2	Düşük Dayanımlı Kayaç	250-500
R_3	Orta Dayanımlı Kayaç	500-1000
R_4	Yüksek Dayanımlı Kayaç	1000-2000
R_5	Çok Yüksek Dayanımlı Kayaç	>2000

Tablo 4.4. Kayaçlar için önerilen tek eksenli sıkışma dayanımı sınıflandırmaları (Ulusay 2001)



4.3. Taşıma Gücü Hesabı

Söz konusu alanda alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre söz konusu caminin taşıma gücü hesaplanmıştır.

"18 Mart 2018 tarihli ve 30364 Sayılı Mükerrer sayısında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" ile "Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve Parametre Değerleri Hakkında Bakanlar Kurulu Kararı" yayınlanan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren yönetmelik" de belirtilen hesaplama yöntemi ile yapılmıştır (Tablo 4.5 ve Tablo 4.6).

Tablo 4.5. Yüzeysel temeller için dayanım katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	**γRv**	**1.4**
Sürtünme Direnci	γRh	1.1
Pasif Direnç	γRp	1.4

q_t; Temel Taşıma Gücünün

q_k: Temel Taşıma Gücünün Karekteristik Dayanımı

$q_t = q_k / \gamma Rv$

$qk = cN_c\, s_c\, d_c\, i_c\, g_c\, b_c + qN_q\, s_q\, d_q\, i_q\, g_q\, b_q + 0.5\, \gamma B\, N_\gamma\, s_\gamma\, d_\gamma\, i_\gamma\, g_\gamma\, b_\gamma$

c = Kohezyon
N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları
s_c , s_q , s_γ : Temel şekil katsayıları
d_c , d_q , d_γ : Derinlik katsayıları
i_c , i_q , i_γ : Yükleme eğikliği katsayıları
g_c , g_q , g_γ : Temel zemini eğimi katsayıları
b_c , b_q , b_γ : Temel taban eğimi katsayıları
γ : Doğal birim hacim ağırlığı
γ**Rv** : Dayanım Katsayısı
$S_c = 1+0.2KpB/L$ (Şekil faktörü),
$Sq = S\gamma = 1+0.1KpB/L$ (Şekil faktörü, Ø > 10° için)
$d_c = 1+0.2(Kp)^{1/2}Df/B$ (Derinlik faktörü)
$dq = d\gamma = 1+0.1(Kp)^{1/2}Df/B$ (Şekil faktörü, Ø > 10° için)
$Kp = \tan^2(45+Ø/2)$
i_c , i_q , i_γ : Yükleme eğikliği katsayıları = 1 alınmıştır.
g_c , g_q , g_γ : Temel zemini eğimi katsayıları = 1 alınmıştır.
b_c , b_q , b_γ : Temel taban eğimi katsayıları = 1 alınmıştır.

Tablo 4.6. Temel taşıma gücü hesabı verileri

Parametre	Sembol	Değer
Kohezyon, kgf/cm²	c	0,137
Temel Tabanı Üst / Birim Hacim Ağırlığı, kg/cm²	γ1	0,199
Temel tabanı Alt / Birim Hacim Ağırlığı, kg/cm²	γ2	0,199
İçsel Sürtünme Açısı (°)	φ	15
Temelin Düşeyden Eğimi (°)	θ	0
Taşıma Gücü Katsayıları (Meyerhof 1963)	Nq	2.4706
Taşıma Gücü Katsayıları (Meyerhof 1963)	Nc	8.3402
Taşıma Gücü Katsayıları (Meyerhof 1963)	Nγ	0.5186
-	Kp	1.420
Şekil Katsayıları	sc	1.023
Şekil Katsayıları	sq	1.000
Şekil Katsayıları	sγ	1.000
Derinlik Katsayıları	dc	1.2979
Derinlik Katsayıları	dq	1.000
Derinlik Katsayıları	dγ	1.000
Eğim Katsayıları	ic	1.000
Eğim Katsayıları	iq	1.000
Eğim Katsayıları	iγ	1.000

$q_k = cN_c\, s_c\, d_c\, i_c\, g_c\, b_c + qN_q\, s_q\, d_q\, i_q\, g_q\, b_q + 0.5\, \gamma B\, N_\gamma\, s_\gamma\, d_\gamma\, i_\gamma\, g_\gamma\, b_\gamma$ Formülünden;

q_t = Tasarım Dayanımı,

$q_t = q_k / \gamma Rv$

$\boldsymbol{q_k}$ = 1,544 kg/cm²

q_t = 1,544 / 1, 4 = 1,103 kg/cm²

Yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucu tasarım dayanımına %10 düzeltme uygulanarak (Not: güvenli tarafta kalınarak %10 azaltılmıştır) **q_t = 11,03 t/m²** olarak alınması uygun görülmüştür.

Yatak Katsayısı Hesabı

Yatak katsayısı, ks; zeminin herhangi bir noktasındaki basınç (q) ile, aynı noktanın oturması (ΔH) arasındaki oran olarak tanımlanır (Uzuner, 2000; Kanıt, 2003) (Tablo 4.7).

ks = 400 $q_{sınır}$ = 400 x Gs x qa t/m^3 (zeminde)

ks = 500 $q_{sınır}$ = 500 x Gs x qa t/m^3 (kayada)

Yapılan Hesaplama:

ks = 400 $q_{sınır}$ = 1,544 x 400 = 618 t/m^3

Tablo 4.7. Zemin cinsine göre yatak katsayısı değerleri (Şekercioğlu, 1988)

ZEMİN CİNSİ	YATAK KATSAYISI (t/m^3)
Balçık-Turba	<200
Kil (Plastik)	500-1000
Kil (Yarı Sert)	1000-1500
Kil (Sert)	1500-3000
Dolma Toprak	1000-2000
Kum (Gevşek)	1000-2000
Kum (Orta Sert)	2000-5000
Kum (Sıkı)	5000-10000
Kum-Çakıl (Sıkı)	10000-15000
Sağlam Şist	>50000
Kaya	200000

Yapılan Hesaplamalara Göre Yatak Katsayısının **ks = 618 t/m^3** olarak alınması uygun görülmüştür.

4.4. Oturma Analizi

Genel anlamda oturma; uygulanan yüklerden veya etkilerden dolayı, daneler arası boşlukların azalması sonucu, kısa veya uzun sürede olabilen bir hacim azalması, sıkışma olayıdır. İnceleme alanında açılan temel sondajlarda örselenmemiş numune alınamadığı için, konsolidasyon deneyleri yapılamamıştır. **Ayrıca alüvyon zemin formasyonunda kum-çakıl içermesi sebebiyle konsolidasyon deneyi yapılamaz.** Dolayısıyla, boşluk oranı-mv gibi oturma parametreleri hesaplanamamıştır. **Ancak temel sistemi alüvyon**

zemin formasyonu üzerine oturması, YASS (0,70m), yapının tarihi yapı olması ve deprem durumları dikkate alındığında, özellikle farklı oturma riskine karşı önlem alınmalıdır. Oturma hesabı ise, literatür verileri ve Settle3D programı kullanılarak ani oturma olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.8) (Şekil 4.1).

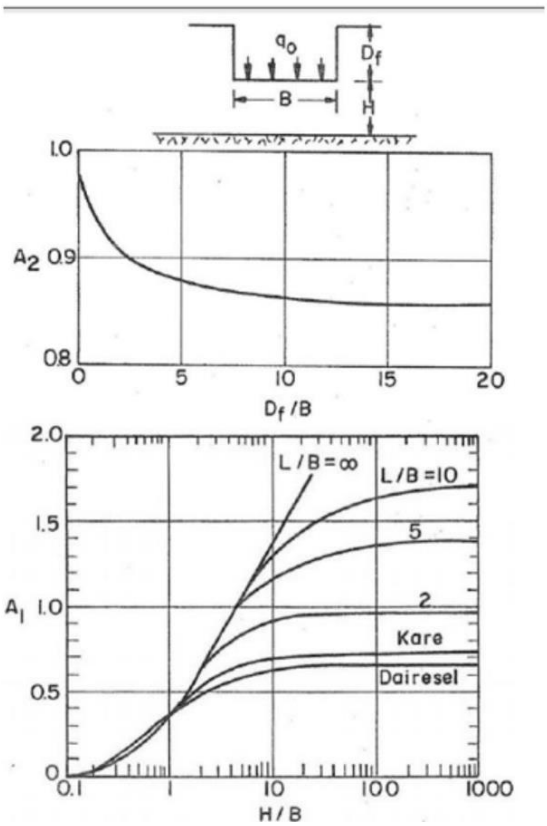
Tablo 4.8. Elastisite modülü tablosu

Zemin		E (MPa)
Kil	Çok Yumuşak	2-15
	Yumuşak	5-25
	Orta	15-50
	Sert	50-100
	Kumlu	25-250
Kum ve Çakıl	Gevşek	50-150
	Sıkı	100-200
Şeyl	-	150-5000
Silt	-	2-20

Elastik teori kullanılarak Ani Oturma Hesabı;

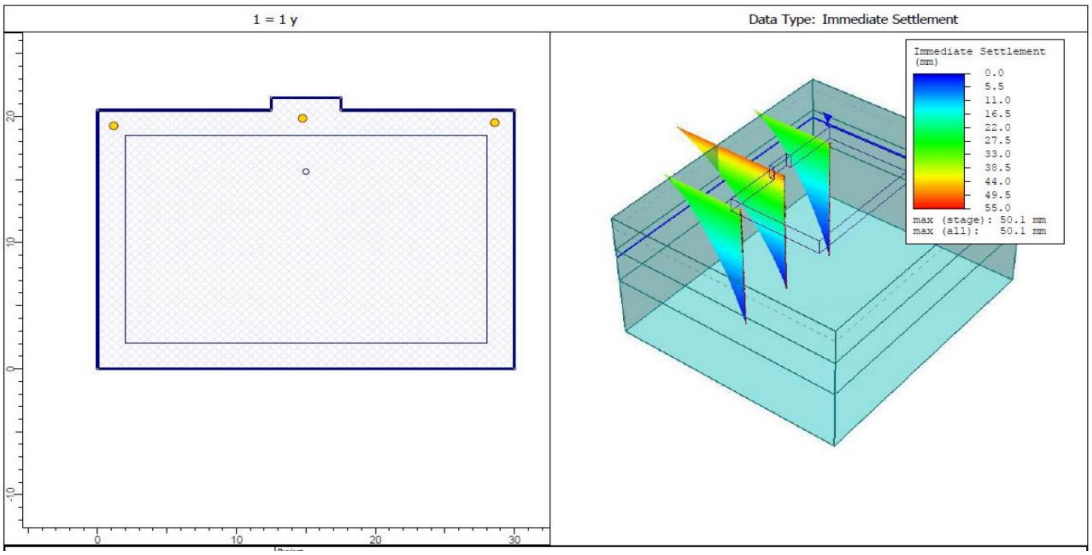
$$S_i = A_1 A_2 \frac{q_0 B}{E_s}$$

c_u=	2,09 kN/m^2	Literatür
ϕ_u=	13°	
q_0=	20 t/m^2	
B=	2 m	
L=	20,5 m	
A1=	1,2	
A2=	0,97	
Es=	20000 kN/m^2	UU Test
Si=	2,43 cm	



Şekil 4.1. *A1 ve A2 faktörleri (Das, 1984)*

Zeminde meydana gelebilecek toplam oturma miktarı ise, Settle3D V.2.016 programı kullanılarak sürekli temel altında muhtemel oturma değerleri hesaplanmıştır, elde edilen oturma kontörleri Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.2. *Oturma diyagramı*

Hesaplanan oturma değerleri zemin yapısının Killi, kumlu çakıl olması sebebiyle, suya karşı risk oluşturabileceği düşünüldüğünde önlem alınması gerekebileceği düşünülmektedir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. İzin verilebilir oturma miktarları (Uzuner, 1995)

	Zemin cinsi	Tekil-şerit temeller	Radye temeller
Dönme	Hepsi	1/300	1/300
Max. farklı oturma	Kil	4 cm	4 cm
	Kum	2.5 cm	2.5 cm
Max. mutlak oturma	Kil	6.5 cm	6.5 – 10 cm
	Kum	4 cm	4 – 6.5 cm

4.5. Sıvılaşma Analizi

Yeraltı suyuna rastlanılan jeoteknik sondajlardaki zemin bileşimi ve SPT-N değerleri kullanılarak sıvılaşma potansiyeli irdelenmiştir. Yüzeye yakın yerlerde N30 değeri 10'dan büyük ise ve 20 metre derinliklerinde N30 değeri 20'den büyük ise sıvılaşma olmaz.

İncelenen alanda alüvyonların (Qal) silt ve kil içeriği genel olarak daha fazladır. Bu nedenle siltli ve killi zeminlerin sıvılaşması ile ilgili önerilen Çin ölçütü (Wang 1979; Seed ve Idriss 1982) kullanılmıştır. Buna göre aşağıdaki şartları sağlayan zeminlerin sıvılaşabilecekleri belirtilmektedir.

İnce tane (0.002 mm'den küçük) < % 35

Likit limit (LL) < % 35

Su içerigi (W_n) > 0.9 LL

SPT-N darbe sayılarına da dayalı yapılmış olan bu analizlerde genelde kumlu, 200 nolu elekten geçen madde miktarlarının % 35'den (%6,50-33,20) olan seviyeler sıvılaşabilir olarak değerlendirilmiştir.

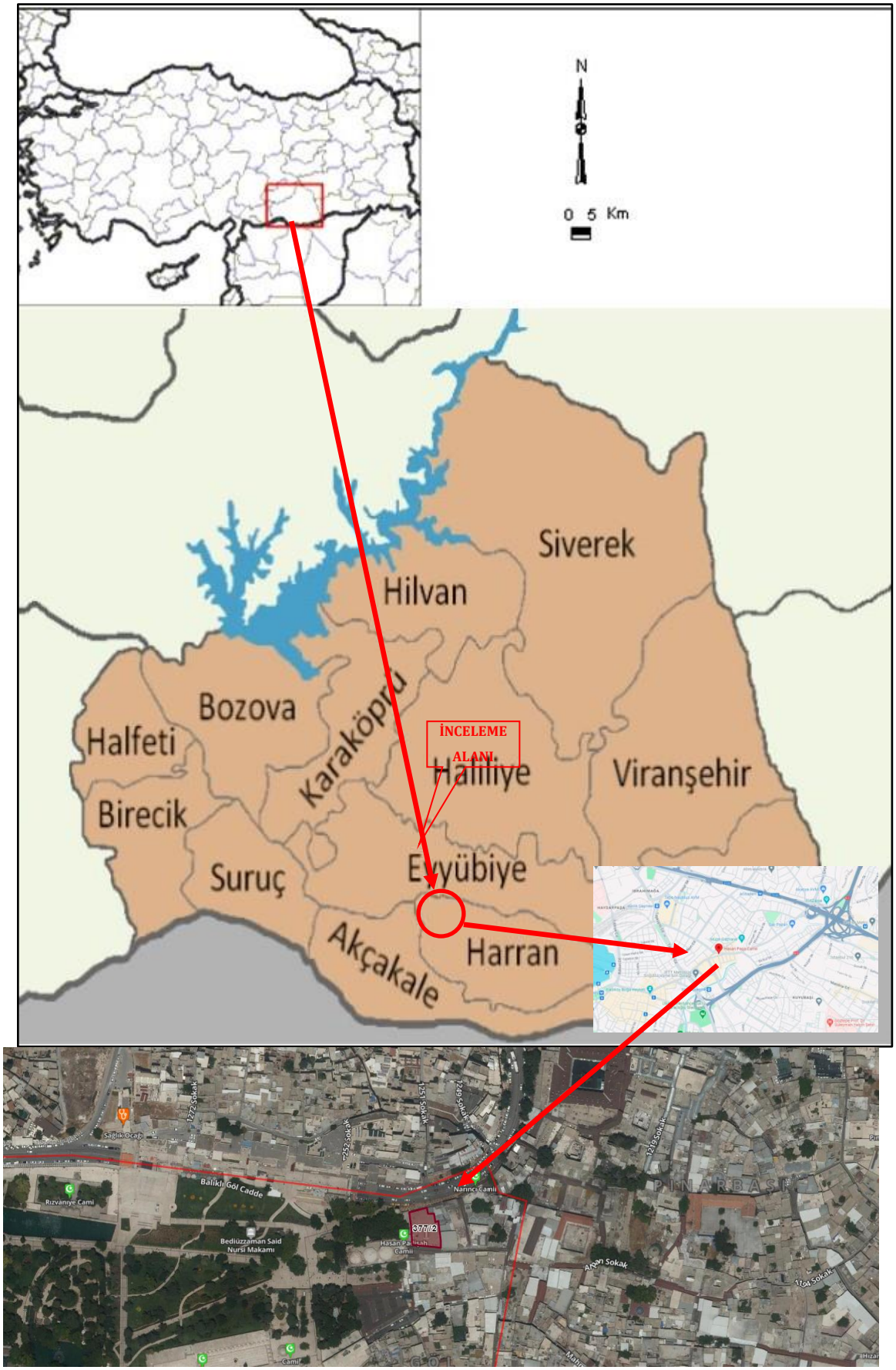
Yüzeye yakın yerlerde N30 değeri 10'dan küçük (N30 = 5-8) olan seviyeler sıvılaşabilir olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı içinde yapılan jeoteknik sondaj çalışmalarında alınan spt (standart penetrasyon testi) deneyleri ve laboratuvar verilerine dayanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda alüvyon alanlarda açılan ve yeraltı suyu bulunan alanlarda zeminlerin **"sıvılaşma potansiyeli"** olduğu belirlenmiştir.

4.6. Mühendislik Analizi ve Değerlendirme

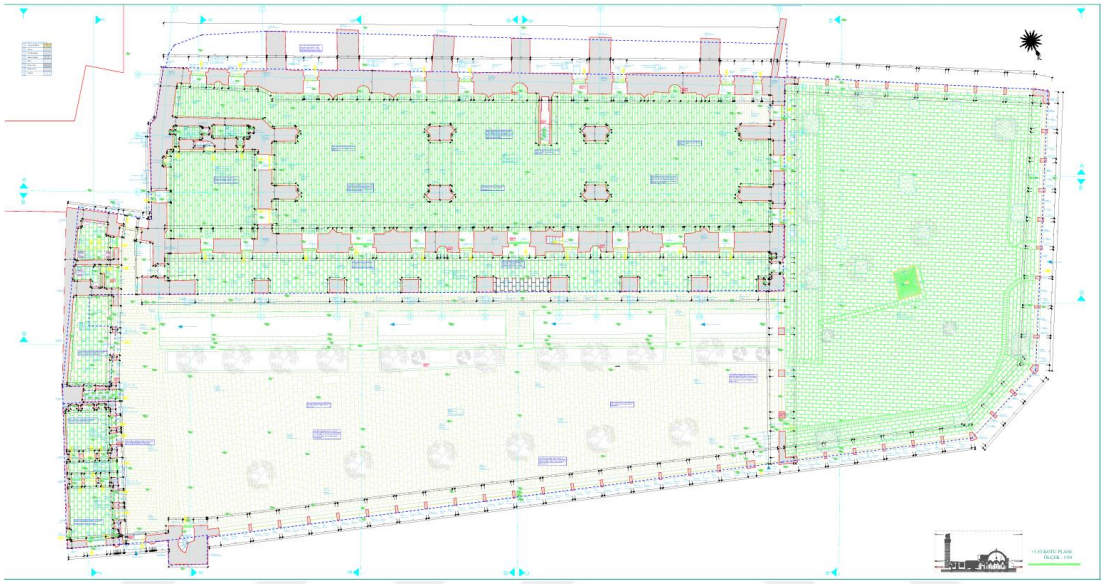
Araştırmamız Şanlıurfa, Hasanpaşa Cami Güncel Restorasyon ve güçlendirme Projesi ve uygulamasını esas almaktadır.

Bahse konu cami Şanlıurfa ili, Eyyübiye ilçesi, Tepe Mahallesi, Kentsel Sit Alanı ve Şanlıurfa Merkez Koruma Amaçlı İmar Planı sınırları içerisinde, mülkiyeti Hasan Paşa Vakfına ait, korunması gerekli taşınmaz kültür varlığı ve 1. grup yapı olarak tescilli 377 ada, 1 nolu parselde yer alan, Şanlıurfa merkez Gölbaşı Mahallesi ile Akarbaşı Çarşısı arasında, ana caddenin güneyinde yer almaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. *Hasan Paşa Camii yer bulduru haritası (Google Maps)*

6 Şubat 2023 tarihinde, Kahramanmaraş ve Elbistan merkezli meydana gelen iki deprem, camimizde ciddi hasarlara yol açmıştır. Caminin tahrip olan bölümlerini onarmak ve yapısal güçlendirme uygulamalarını gerçekleştirmek amacıyla, Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından finanse edilerek bu tez kapsamında Safir Jeoteknik Müh. Sond. Mad. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasına yaptırılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. *Restorasyon paftaları (ArtLite, 2023)*

Güncel rölövelerin 2023-24 yılları arasında hazırlanması sürecinde, özellikle yapıda tespit edilen hasarlar detaylı bir şekilde incelenmiş ve belirlenen hasarlar, çatlaklar, düzlem dışı hareketler ve benzeri durumlar, hasar analiz paftaları üzerinde işlenmiştir. Bu analizler, yapının mevcut durumunu tam olarak anlamak ve restorasyon sürecini planlamak için temel oluşturmuştur.

Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan Bilimsel Danışma Heyeti'nin yönlendirmesiyle, restorasyon ve yapısal iyileştirme kararları alınmıştır. Heyet, uzman mimarlar, mühendisler ve restorasyon uzmanlarından oluşan bir ekip tarafından desteklenmiş ve caminin korunması ve iyileştirilmesi için gerekli adımları belirlemiştir.
Bu kapsamda, zemin koşullarının belirlenmesi ve yapısal güçlendirme çalışmalarının planlanması için çeşitli teknik yöntemler kullanılmıştır.

Georadar teknolojisi ile zemin boşluk durumunun tespiti, zemin etüdü çalışmaları, geoteknik projelendirme süreçleri ve yapısal değerlendirme çalışmaları, projenin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için önemli adımlardır.

Bu çalışmaların sonucunda elde edilen veriler, caminin restorasyon ve güçlendirme sürecinin planlanmasına ve uygulanmasına rehberlik etmiştir. Bu sayede, Hasanpaşa Camisi'nin sadece fiziksel olarak restore edilmesi değil, aynı zamanda yapısal olarak güçlendirilmesi ve gelecek nesillere aktarılması sağlanmıştır. Bu kapsamlı yaklaşım, caminin tarihi ve kültürel mirasını korumak ve gelecek kuşaklara ulaştırmak için önemli bir adım olmuştur.

Yapının mevcut durumunda, Halil-ür Rahman Gölü'nden gelen suyun, caminin avlusundaki son cemaat mahalinin yanından geçtiği belirlenmiştir. Bu durum, yapı inşa edilirken su ve nem problemlerinin göz ardı edilmediğini göstermektedir. Ancak, zamanla bu durumun yapı üzerinde olumsuz etkileri ortaya çıkmıştır.

Yapının içinde, özellikle beden duvarlarında yaklaşık 1,20 metre yüksekliğe kadar çıkan nemlenme ve çiçeklenme izleri tespit edilmiştir. Bu, suyun yapıya nüfuz ettiğini ve iç mekanlarda nem problemine yol açtığını göstermektedir. Bu nemlenme ve çiçeklenme izleri, yapısal bütünlüğü tehdit edebilecek bir durumu işaret etmektedir.

Bu durum, yapısal güçlendirme ve restorasyon çalışmalarının yanı sıra suyun yönlendirilmesi ve drenaj sistemlerinin yeniden düzenlenmesi gibi çözümleri gerektirmektedir. Ayrıca, yapı içindeki nem problemi, yapı malzemelerinin bozulmasına ve yapısal zayıflıklara yol açabileceğinden, bu sorunun etkili bir şekilde çözülmesi önem arz etmektedir.

Bununla birlikte, yapı içindeki nem problemi sadece yapısal bir sorunla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda iç mekanların sağlık ve konforunu da etkilemektedir.

Bu nedenle, nem probleminin kök nedenlerinin belirlenmesi ve uygun çözümlerin uygulanması, Hasanpaşa Camisi'nin hem fiziksel hem de işlevsel olarak restore edilmesi için hayati öneme sahiptir.

Yapının mevcut durumunda Halil-ür Rahman Gölü’nden gelen su bu caminin avlusunda son cemaat mahali paralelinden geçmektedir. Dolayısı ile yapının inşasından itibaren su ve nem problemleri olduğu düşünülmektedir.

Yapının içinde nem problemi beden duvarlarında yaklaşık 1.20 m’ye kadar çıkan nemlenme ve çiçeklenme izleri görülmüştür.

Harim kısmında ve son cemaat mahallesinde bulunan muhdes döşeme kaplamalarının altında, daha önce yapıya eklenmiş ve özellikle su ve nem problemlerini önlemek amacıyla yapıldığı anlaşılan havalandırma boşluğu içeren bir döşeme sistemi ve altında tuğla döşeme kaplaması tespit edilmiştir.

Bu ek katmanların kaldırılmasının ardından, zeminde nemden kaynaklı küflenme oluşumları gözlemlenmiştir. Balıklıgöl havzasında bulunan yapının zemin etüd rapor sonuçlarına göre, alüvyonlu ve dolgu zemin üzerine oturduğu ve zeminde iyileştirme yapılması gerekliliği belirlenmiştir. Bu durum, yapısal bütünlük ve dayanıklılık açısından önemli bir husustur, çünkü zemindeki bu özellikler, yapıya destek sağlayan temel ve alt yapı unsurlarının stabilitesini etkileyebilir. Dolayısıyla, zemin iyileştirme çalışmaları, Hasanpaşa Camisi'nin uzun vadeli sağlamlığını ve dayanıklılığını sağlamak için gereklidir. Çukurova Üniversitesi Geoteknik Ana Bilim Dalı tarafından Mart 2024'te hazırlanan teknik rapora göre zemin iyileştirme uygulamalarına karar verilmiştir.

Yapının inşasından sonra eklenen dönem eki payandaların bulunduğu güney cephesinde, düzlem dışı hareketin önlenmesi için çeşitli önlemler alınmıştır. Ancak, batı cephesinde, özellikle beden duvarında yaşanan cidar ayrışmasının ardından oluşan hareketlilik gözlemlenmiştir. Bu durum, yapısal bütünlüğün tehlikeye girdiğini işaret etmektedir.

İskelelerin kurulmasıyla birlikte tonoz ve kubbelere erişim sağlanmış ve çimento esaslı sıvarların raspası sırasında, tuğla örgüde derin ve geniş çatlaklar ile açıklıklar gözlemlenmiştir. Bu çatlaklar ve açıklıklar, yapısal zayıflıkların belirtileri olarak kabul edilmektedir.

Bilimsel Danışma Heyeti'nin yönlendirmesiyle yapılan yerinde gözlem ve inceleme sonucunda, Nisan 2024'te hazırlanan yapısal değerlendirme ve güçlendirme raporuna uygun olarak, yapısal güçlendirme ve iyileştirme kararları alınmıştır.

Bu kararlar, yapıyı stabil hale getirmek ve gelecek riskleri en aza indirmek amacıyla titizlikle planlanmış ve uygulanmıştır. Bu süreç, Hasanpaşa Camisi'nin uzun vadeli sağlamlığını ve dayanıklılığını sağlamak için kritik bir adım olmuştur.

Deprem sonrasında 2013 tarihli rölövelerde bulunmayan aşağıdaki durumlar çizimlere eklenmiş ve ilgili restorasyon ve müdahale kararları alınmıştır.

- Yapıda görülen yapısal/kılcal çatlaklar plan ve kesitlere işlenmiş,
- Düzlem dışı hareketler projelerde gösterilmiş,
- Sökümler sonrası ortaya çıkan özgün döşeme rölöveleri eklenmiş,
- Yapıda görülen nem ve su problemleri irdelenmiş,
- Georadar tarama ile zemin boşluklarının değerlendirilmesi yapılmış,
- Balıklıgöl havzasında bulunan yapının zemin suyu sebebi ile hareket gösteren beden duvarlarının korunması amacı ile geoteknik değerlendirme yapılmıştır.

Müdahaleler, Balıklıgöl Platosu Kültürel peyzaj alanının önemli anıtsal yapılarından biri olarak alandaki diğer kültür varlığı yapılar ve doğal değerlerle bağlantılı olarak değerlendirilmiş. Yapının bağlamı ile değerlendirilmesini temel alan bu çalışma, 5226 ve 3386 sayılı yasalar ile değişik 2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasası kapsamında belirlenen "Kültür varlıkları" tanımı (madde 3) ve içinde yeralan koruma alanlarında yüksek kurul ilke kararları ve koruma bölge kurulu temel alınarak geliştirilmiştir (Artlite, 2024).

Bu bağlamda söz konusu camii için zemin ve temel etüt raporu çalışmaları yapılmıştır. Zemin etüt çalışmaları kapsamında literatür çalışmaları yapılmıştır.

İncelenen alanda bölgenin en genç birimini alttaki birimler üzerine uyumsuzlukla gelen kuvaterner alüvyonlar oluşturmaktadır. Bu çökeller genel olarak tutturulmamış veya zayıf çimentolu silt, kum ve çakıl depolanmalarından oluşmaktadır. Bölgedeki ana kayaçların bozunması sonucu oluşan dentritiklerin alçak düzlük ve vadilere taşınması veya oldukları yerde birikmeleri suretiyle oluşmuştur. Genelde kahve renkli, grimsi kahve renkli ve çok katı sıkılıktadırlar.

Etüt alanına açılan, ortalama 15,00-20,00 metre derinliğindeki 3 adet temel sondajlarında yeraltı suyuna rastlanılmıştır.

Bu çalışmalar kapsamında 3 adet 15,00-20,00 m arasında değişen derinliklerde toplam 55,00 m temel sondajı ile irdelenmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında inceleme alanı içerisinde jeofizik çalışmaları kapsamında 1 adet MASW, 2 Adet Kırılma ve 1 noktada Mikrotremör yöntemi kullanılarak çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan jeofizik ölçümlerle P ve S yüzey dalga hızları belirlenmiştir. Ölçümler ile yerin yaklaşık 30 m. derinliğine kadar inilmesi hedeflenmiştir. Ölçümelere ait grafikler eklerde verilmiştir. Ölçmelere ait değerlendirmeler aşağıda verilmiştir. Sismik ölçümlerle belirlenen Vs ve Vp dalga hızı değerlerine ait sonuçlar inceleme alanını temsil eden her bir profil için ayrı ayrı düzenlenmiştir.

Sondaj, jeofizik, laboratuvar ve diğer veriler derlenerek söz konusu alanın veri raporu Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından finanse edilerek bu tez kapsamında Safir Jeoteknik Müh. Sond. Mad. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. firması tarafından hazırlanmıştır.

Derlenen veri raporu geoteknik rapora altlık oluşturmakta olup bahse konu alan için geoteknik rapor hazırlanmıştır (Demir, 2024).

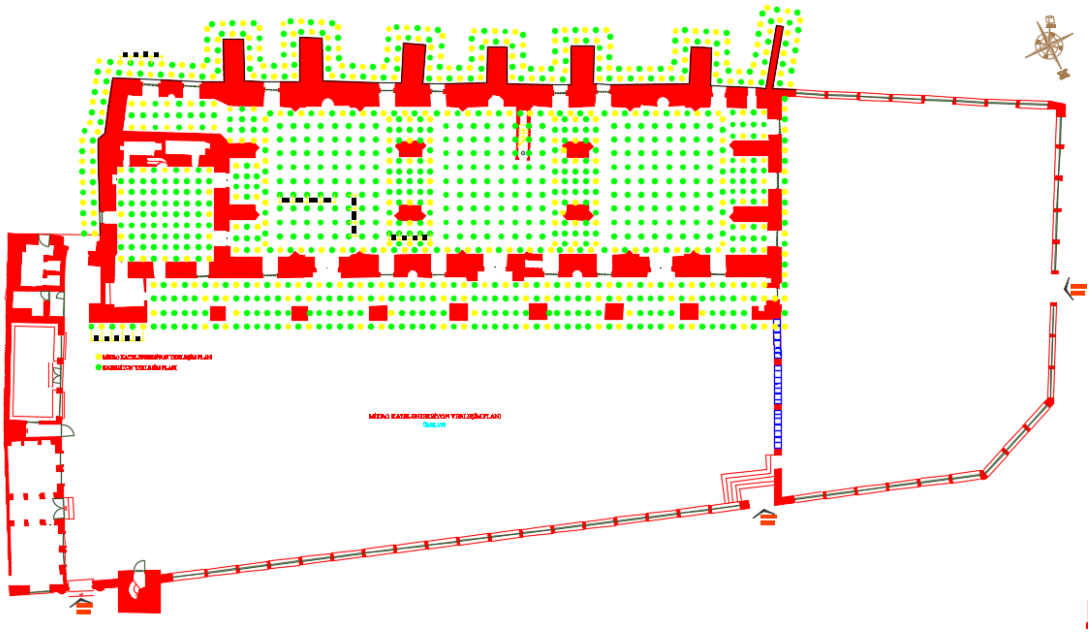
Geoteknik Rapor Sonucu;

- Yeraltısuyuna 0,70 m.de rastlanılmıştır.

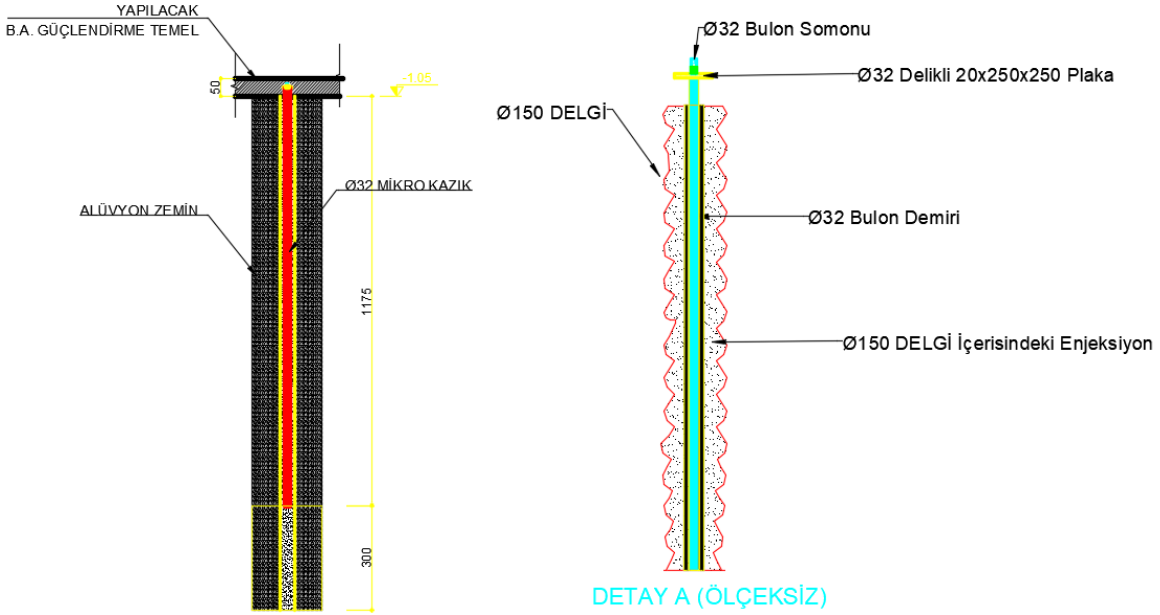
- Söz konusu alanın jeolojisini kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır.
- Yerel Zemin Sınıfı ZE olarak belirlenmiştir.
- Mevcut yapı için, yapı yaklaşık yükü (en elverişsiz durum dikkate alındığında), dinamik durum dikkate alındığında, max. gerilme temel için ≅20.00 t/m^2 düzeyinde kalmaktadır. İyileştirme öncesi hesaplanan zemin emin taşıma gücü, 11.03 t/m^2 olduğuna göre karşılaştırma yapıldığında,

  Emniyetli taşıma gücü qmax ≤ qall şartını sağlamamaktadır.

  Dolayısıyla taşıma gücü problemi olmasa da oturma açısından özellikle "long term stability" açısından önlem alınmalıdır.
- Mevcut Yapı için yapılan oturma hesaplarında, özellikle farklı oturma değerinin izin verilebilir oturma sınırları içerisinde kısmen kaldığı oturma riskine karşı temel altında uygun bir iyileştirme uygulaması gerektiği belirtilmiştir.
- Zeminin alüvyondan oluştuğu, bu alüvyonun Killi Kumlu Çakıl biriminden meydana geldiği, Yeraltısu seviyesinin yüzeye yakın olduğu (0,70 m), SPT deney sonuçlarının düşük olduğu zeminin taşıma gücü ve oturma açısından tehlike arz ettiği görülmektedir.
- Bahse konu zemin sorunlarının ortadan kaldırılması amacıyla zemin yapısına uygun, mevcut yapı içerisinde uygulanabilecek bir iyileştirme projesi hazırlanmıştır (Demir A, 2024), (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.5. *Mikro kazık + enjeksiyon projesi (Demir, 2024)*



Şekil 4.6. *Mikro kazık + enjeksiyon projesi detayları (Demir, 2024)*

Hazırlanan uygulama projesi yerinde uygulanmaya başlayıp ilk önce belirtilen çap ve derinlikte delgi yapılmıştır (Görsel 4.1).

Görsel 4.1. *Mikro kazık + enjeksiyon uygulaması delgi işlemi*

Delgiden sonra Ø32 lik donatı kuyuya indirilmiştir (Görsel 4.2).

Görsel 4.2. *Mikro kazık donatı yerleştirilmesi işlemi*

Donatı yerleştirme işleminden sonra kuyuya patlatma hortumu indirilerek enjeksiyon işlemi yapılmıştır (Görsel 4.3).

Görsel 4.3. *Enjeksiyon seti*

Enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra 28 gün beklenip akabinde çekme deneyi yapılmıştır (Görsel 4.4).

Görsel 4.4. *Mikro kazık çekme deneyi*

.

Yapılan 4 adet mikro kazık çekme deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Mikro kazık çekme deneyi sonuçları

Test	Okunan bar	Karşılık ton	Deney sonucu
1	700	20	1,1 mm uzama görülmüştür
2	700	20	1,5 mm uzama görülmüştür
3	700	20	1,5 mm uzama görülmüştür
4	700	20	Uzama görülmemiştir

Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucu taşıma gücü ve oturma miktarları müsaade edilir sınırlar içirişinde kaldığı görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Araştırmamız Şanlıurfa, Hasanpaşa Cami Güncel Restorasyon ve güçlendirme Projesi ve uygulamasını esas almaktadır.
- Bahse konu cami Şanlıurfa ili, Eyyübiye ilçesi, Tepe Mahallesi, Kentsel Sit Alanı ve Şanlıurfa Merkez Koruma Amaçlı İmar Planı sınırları içerisinde, mülkiyeti Hasan Paşa Vakfına ait, korunması gerekli taşınmaz kültür varlığı ve 1. grup yapı olarak tescilli 377 ada, 1 nolu parselde yer alan, Şanlıurfa merkez Gölbaşı Mahallesi ile Akarbaşı Çarşısı arasında, ana caddenin güneyinde yer almaktadır.
- Hasanpaşa Camiinde 6 Şubat 2023 tarihinde, Kahramanmaraş ve Elbistan merkezli meydana gelen iki depremde ciddi hasarlar almıştır. Caminin tahrip olan bölümlerini onarmak ve yapısal güçlendirme uygulamalarını gerçekleştirmek amacıyla, Vakıflar Genel Müdürlüğü finanse edilerek bu tez kapsamında Safir Jeoteknik Müh. Sond. Mad. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasına yaptırılmıştır.
- Bu tez kapsamında 3 Adet 15,00-20,00 m arasında değişen derinliklerde toplam 55,00 m sondaj yapılmış olup yapılan sondaj çalışmaları sırasında her 1.50 metrede SPT deneyleri yapılmış ve örselenmiş numuneler alınarak laboratuvara gönderilmiştir. SPT verilerine göre zemin tipi killi-kumlu iri çakıl çıkmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında inceleme alanı içerisinde jeofizik çalışmaları kapsamında 1 adet MASW, 2 Adet Kırılma ve 1 noktada Mikrotremör yöntemi kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yapının genel olarak alüvyonlu bir zemin ortamında inşa edildiği belirlenmiştir. Yer altı suyu yaklaşık olarak 0,70 metrede ölçülmüştür.
- Jeofizik çalışmalar kapsamında yapılan çalışmalar doğrultusunda kayma dalga hızı 218 olarak belirlenmiştir. **Kayma dalga hızına göre yerel zemin sınıfı ZD olarak bulunmuştur. Ancak yapılan SPT deneyi sonuçlarına göre özellikle üst seviyelerde darbe sayısının 5-15 arasında olduğu göz önüne alındığında** yerel zemin sınıfı ZE olarak belirlenmiştir.
- Deprem sonrası yapının taşıma gücü yetersiz olarak bulunmuştur. Taşıma gücü 15,44 t/m^2, Güvenli taşıma gücü 11,03 t/m^2 olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerin güvenli taşıma gücünden düşük olduğu belirlenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda oturma problemi olabileceği öngörülmüştür.

Mevcut Yapı için yapılan oturma hesaplarında, özellikle farklı oturma değerinin izin verilebilir oturma sınırları **<u>içerisinde kısmen kaldığı oturma riskine karşı temel altında uygun bir iyileştirme uygulaması gerektiği belirtilmiştir.</u>** Bu tezde elde edilen bulgulara göre bir geoteknik rapor hazırlanmıştır. Geoteknik rapora bağlı olarak mikro kazık ve enjeksiyon yöntemlerinin birlikte uygulanması ile bir zemin iyileştirme projesi hazırlanmış olup gerekli iyileştirmeler uygulama olarak da tamamlanmıştır.

- Enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra 28 gün beklenip akabinde 4 adet mikro kazık çekme deneyi yapılmıştır. Yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre 20 ton çekme yüküne karşı mikrokazıklarda oluşan uzama maksimum 1,50 mm. olarak ölçülmüştür. Bu uzama miktarı hedeflenen sınırlar içerisinde kalmaktadır.
- Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucu elde edilen yeni değerlendirme raporunda taşıma gücü (20 t/m^2) ve oturma miktarlarının müsaade edilir sınırlar (<2,50 mm) içirişinde kaldığı görülmüştür.
- Söz konusu yapıda gerekli temel, yüzey, yalıtım ve drenaj önlemlerinin alınmasında yarar görülmektedir.
- Çalışmaya konu olan camimizde temel zemininin kazılması durumunda, yapı temellerine betonarme ampartman yapılarak temel kesitinin genişletilmesi suretiyle taşıma kapasitesi ve oturma açısından müsaade edilir sınırlar içerisinde kalması sağlanacaktır.
- Temel kazısı yapıldıktan sonra, Temel Altı Stabilize Dolgu Uygulamaları aşamasında, dolgu için kullanılacak malzemesi, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma'sına göre GW tipi yani dolgu içerisindeki 200 nolu elekten geçen ince daneli malzeme (silt+kil) oranı %5'den az olan zemin kullanılmalıdır. Sahada dolgu malzemesi, tabakalar halinde (max 30 cm) en az %95 sıkışma oranında yerleştirilmelidir.
- Sonuç olarak bu tez çalışması kapsamında Şanlıurfa Hasanpaşa Camisinin deprem sonrasındaki zemin koşullarını incelemek için çeşitli arazi testleri gerçekleştirilmiş ve yürütülen analizler neticesinde zemin problemlerinin önüne geçmek amacıyla zemin iyileştirmesi projesi hazırlanmıştır. Böylece baştan sona kapsamlı bir zemin araştırma yöntemi literatüre kazandırılmıştır.

KAYNAKÇA

Altun, S. (2010). Zemin iyileştirme yöntemleri, derin temeller ve uygulama örnekleri [PowerPointsunumu].Erişim:https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/0065ed90be0fa16_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=16, Erişim Tarihi: 26.05.2024.

Arni, P. (1940) Siirt Garbında Başur Çayı mıntıkasında Bitlis Dağlarının cenubi silsilerinin jeolojik müşahedeleri. Maden Tetkik ve Arama Mecmuası 4/21, (s 527-557).

ArtLite Mimarlık Turizm ve İnşaat Ticaret Limited Şirketi.(2023). Restorasyon Raporu (yayınlanmamış).

ArtLite Mimarlık Turizm ve İnşaat Ticaret Limited Şirketi. (2024). Restorasyon Raporu (yayınlanmamış).

Atan, R.O. (1969). Eğribucak-Karacaören (Hassa)-Ceyhanlı-Dazevleri (Kırıkhan) arasındaki Amanos Dağlarının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayını No: 139, 85.

Aytun, A. (2001). Olası deprem hasarını en aza indirmek amacıyla yapıların doğal salınım periyotlarının yerin baskın periyodundan uzak kılınması: Uşak İli ve Dolayı (Frigya) Depremleri Jeofizik Toplantısı, 73-82.

Bağırsakçı, S., Akçay, A. E., Manav, E., Polat, C., Ay, Y., Kum, M., Akbulut, İ., & Özgür, J. B. (1995). Diyarbakır-Ergani-Çınar alanının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9927, 85, Ankara (Yayımlanmamış).

Bard, P. Y. (1998). Microtremor Measurements: A Tool For Site Effect Estimation, Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion-ESG98- held in Yokohama, Japan, December 1-3.

Ben Menahem, A., Nur, A. & Vered, M. (1976). Tectonics, seismicity, and structure of the Afro-Eurasian junction: The breaking of an incoherent plate. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 12, (ss 1-50).

Bildik, S. Zemin İyileştirme Yöntemleri, Nişantaşı Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. İstanbul. (2017). http://imoistanbul.org/imoarsiv/geoteknik-kurs-notlari-2017/2-3%20aral%C4%B1k/selcuk-bildik-2.pdf, Erişim Tarihi: 02.06.2024.

Blakslee, G., Sturz, C. &Hansen, M. (1960) Regional geologic compilation report of Southeast Turkey and Adjacent Areas (Tidevvater Oil Company Report). Petrol İsleri Genel Müdürlüğü, 116 p.

Bol, E., Sert, S. & Özocak A. (2017). INM 302 Temeller 01 Zemin İncelemeleri, [PowerPoint Sunum]. Erişim http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/68088/40895/ss_ao_eb_%C4%B1nm302_01.pdf, Erişim Tarihi: 29.05.2024.

Bolgi, T. (1961) V. Petrol Bölgesi seksiyon ölçmeleri AR/TPO/261 nolu saha ile Reşan-Dodan arası batısındaki sahanın strüktürel etüdleri. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 162. 52, Ankara (yayımlanmamış).

Bowles, E. J. (1997). Foundation Analysis and Design. New York.: McGraw-Hill.

Brown, R.E. (1977). Vibroflotation compaction of cohesionless soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 103, No. GT12, (ss 1437-1451).

Bryant, G.F. (1960). Stratigraphic report of the Penbeğli-Tutköy area, Petroleum District VI, Southeast Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report). Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi. Kutu No: 323, Rapor No: 12, 27 (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 647). Ankara. (yayımlanmamış).

Bush, G.L. (1957). Geology of Gemrik and Karababa anticlines, Petroleum District VI, Southeast Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report). Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi. Kutu No: 321. Rapor No: 3, 9.

Çınar, M. & Akkaya, A.B. (2010). Jet Grouting Uygulama Tekniği, Maden Mühendisleri Odası Sempozyum 1. (s.317-329). İstanbul: TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını.

Clayton, C.R.I. (1990). SPT Energy Transmission Theory: Theory, Measurements and Significance. Ground Engineering. v.23:10, p. 33-42

Çoruh, T. (1991). Adıyaman civarında (XI. Bölge kuzeybatısı ve XII. Bölge) yüzeyleyen Kampaniyen-Tanesiyen istifinin biyostratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi: TPAO Araştırma Merkezi. Rapor no: 1656, 101 s. Ankara.

Çoruh, T., Yakar, H. & Ediger, V.Ş. (1997). Güneydoğu Anadolu bölgesi otokton istifinin biyostratigrafi atlası. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Eğitim Yayınları No: 30, 510.

Das, B.M. (1984). “Principles of Foundation Engineering” (Ed: Kingman R.) Wadsworth Inc, California, USA.

Demir, A. (2024). Hasanpaşa Camii Geoteknik Raporu. (Yayımlanmamış).

Demiröz, A. “Zemin İyileştirme Metotları”. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Konya. 89s. 1992.

Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, İ. & Perinçek, D. (1988). GüneydoğuAnadolu’da Midyat ve Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve petrol potansiyeli: TPJD Bülteni, cilt ½, 99-126 s., Ankara.

Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, İ. & Perinçek, D. (1989).GüneydoğuAnadolu’da Midyat ve Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve paleocoğrafyası, paleontolojisi, jeoloji tarihi, rezervuar ve diyajenez özellikleri ve olası petrol potansiyeli: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2563, 78 s., Ankara.

Durgunoğlu, H.T. (2004). Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı. Türkiye Mühendislik Haberleri. 431, 39-52

Durkee, E.F. (1961). Proposed stratigraphic nomenclature, District VI, Southeast Turkey: Petroleum Administration Publications, Bulletin No: 6, 38-46 p.

Şekercioğlu, E. (1988). Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi. JMO Yayınları, Ankara.

Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.J., Notsu, K., Tokel, S. & Ui, T. (1990) . Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi. 110, 143-164.

Ercan, T., Şaroğlu, F., Turhan, N., Matsuda, J.J., Ui, T., Fujitani, T., Notsu, K., Bağırsakçı, S., Aktimur, S., Can, B., Emre, Ö., Akçay, A.E., Manav, E. & Gürler, H. (1991). Karacadağ volkanitlerinin jeolojisi ve petrolojisi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 6, 118-133.

Erinç, S. (1971). Jeomorfoloji II (Genişletilmiş 2. baskı). İÜ Coğrafya Enstitüsü Yayınları. No: 23.

fhwa, (2005). https://www.fhwa.dot.gov/pressroom/prs2005.cfm, Erişim Tarihi: 28.05.2024.

Sabatini, P.J., Tanyu, B., Armour, T., Groneck P. & Keeley J. FHWA. (2005). (Federal Highway Administration), ‘’Micropile Design and Construction, Reference Manuel’’. Reports No. NHI-05-039, 2005.

Foley, E.J. (1938). Memoranda on the Nusaybin-Cizre region. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 718, 7. Ankara. (yayımlanmamış).

Gelfond, R.A., Bryant, G.F. & Keskin, C. (1959). Stratigraphic section at Karaçukur and Sarıkaya. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 512. Ankara. (yayımlanmamış).

Gossage, D. W. (1956). Compiled progress report on the geology of part ofPetroleum District VI, Southeast Turkey: N. V. Turkse Shell, Report no. GRT. 2, 22 p. Ankara.

Gossage, D. W. (1959).Stratigraphic observations in the Tut area of District VI, Southeast Turkey: N. V. Turkse Shell, Report no. GRT. 18, 48 p., Ankara.

Günay, Y. (1984). Amonos Dağları’nın jeolojisi ve Karasu-Hatay grabeninin petrololanakları: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1954, 98 s. Ankara.

Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M.E. & Çoruh, T. (1991). GüneydoğuAnadolu Kampaniyen-Paleosen otokton istifinin stratigrafisi: TPAO Arama Grubu. Rapor no. 2828, 133 s. Ankara.

Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M.E. & Çoruh, T. (1991). Stratigraphicevolution of the Campanian-Paleocene autochtonous succesion of the Southeast Anatolia. Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, p. 238 261. Ankara.

Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M. E. & Çoruh, T. (1991). Güneydoğu Anadolu KampaniyenPaleosen Otokton istifinin Stratigrafisi. TPAO Arama Grubu Raporu No: 2414, 154s.

Haksal, M.A. (1981). Petrographie und geochemie des schildvulkans Karacadağ (Südostanatolien). Diplomarbeit, Hamburg Universitad. (yayımlanmamış).

http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx

Idriss I. M. & Boulanger, R. W. (2004). Semi-Empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes. Proceedings 11th ICSD and 3th ICEGE. 7-9 (January 2004). UC Berkeley, California, U.S.A.

Imandt, J. (1962). Short paleontological note on some wells drilled in District VI (SE Turkey). Petroleum Administration Publications. Bulletin No: 7, 29-36 p.

Ishihara, K. & Yoshimine, M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, 173-188.

Kanai, K. & Tanaka, T. (1961). On Microtremors. VIII. Bull. Earthq. Res. Inst., University of Tokyo, Vol.39, pp.97-114.

Kanıt, R. (2003). Temel İnşaatı: Gazi Kitabevi, Ankara.

Katz, L.J. (1976). Microtremor analysis of local geological conditions, Bulletin of the Sesimological Society of America. 66, 45-61.

Keçeli, A.D. (1990) ”Zemin Emniyet Gerilmesinin Sismik Metodlar Ile Tayini”,Jeofizik Dergisi, Ankara, Turkiye, 4, 83-92.

Kellogg, H. E. (1960). Stratigraphic report, Hazro area, Petroleum District V, SE Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report). Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu no. 126, Rapor no. 1, 42 s., Ankara.

Stratigraphic report, Derik-Mardin area, Petroleum District V, Southeast Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report). Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No: 126, Rapor No: 3, 34. (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 1367).

Ketin, İ. (1964). Güneydoğu Anadolu Paleozoyik teşekküllerinin jeolojik etüdü hakkında rapor (I. Kısım. Derik-Bedinan, Penbeğli-Tut ve Hazro bölgesi). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 287, 36, Ankara (yayımlanmamış).

Kishida, H. (1967). Ultimate Bearing Capacity of Piles Driven Into Loose Sand. Soils and Foundations. Vol. 7, No. 3, 20-29.

Kitazume, M. (2007). Design, Exacution and Quality Control of Ground Improvement in Land Reclamation, Keynote Lectore, Proc. 13th Asian Recional Conference of Soil Mechanics Geotecnichal Engineering Kolcata.

Kramer, S. L. (1996). Geoteknik Deprem Mühendisliği (Doç. Dr. Kâmil Kayabalı Çev.). Ankara: Ankara Üniversitesi.

Krummenacher, R. & Periam, C.E. (1958). Geological studies in the Amanos Mountains with some regional consideration. N. V. Turkse Shell, Report No: GRT. 11, 34 p. (Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No: 351, Rapor No: 3).

Küçükali, N. (2008). Demiryolu Altyapısının Jet Enjeksiyon Yöntemi ile İyileştirilmesi. (Yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.

Lokman, K. (1938). Cizre-Silopi havalisinin jeolojik tetkik raporudur. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Rapor No: 717, 8. Ankara. (yayımlanmamış).

Mason, S.L. (1930). Geology of prospective oil territory in republic of Turkey. AAPG Bulletin, vol. 14, No: 6, 687-707 p.

Maxson, J. H. (1936). Geology and petroleum possibilities of the Hermis dome: MTA Derleme no. 255, 25 s., Ankara.

Meyerhof, G, G. (1963). Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations. Canadian Geotechnical Journal.

Moses, H.F. (1934). Geological report on the Mardin-Cizre region, Southeastern Turkey. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 212, 17. Ankara. (yayımlanmamış).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2014) Şanlıurfa N-41 Paftası, Türkiye Jeoloji Haritaları, 1:100.000 ölçekli. No: 219. Ankara: Jeoloji Etütleri Dairesi.

Önem, Y. (1967). V. Bölge muhtelif sahalardaki çalışmalara dair jeolojik rapor: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 339, 20 s., Ankara.

Önem, Y. (1991). Kahramanmaraş ve Elbistan sahalarının hidrokarbon potansiyeli. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi 113, 153-162.

Öztoprak, S. (2016). Zeminlerin İyileştirilmesi: Yöntemlere Genel Bir Bakış [PowerPoint Sunum]. Erişim http://imoistanbul.org/imoarsiv /geoteknik-kurs-notlari-016/2.hafta/sadik-oztoprak-Zeminlerin Iyilesti rilmesi.pdf

Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves (MASW): Geophysics, 64, 800-808.

Peksü, M. (1969). Proposed rock unit nomenclature, Petroleum District V. and VI, SE-Turkey. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 5158.

Periam, C.E. & Krummenacher, R. (1958). The Geology of the Eastern port of District VI (Urfa Area), SE Turkey (N.V. Turkse Shell Report). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Arama Grubu Rapor No: 836.

Perinçek, D. (1978). Çelikhan-Sincik-Koçali (Adıyaman İli) alanının jeolojik incelenmesi ve petrol olanaklarının araştırılması (İÜFF Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Doktora tezi): TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1250, 212 s., Ankara.

Perry, L. & Yalçın, K. (1957). Tavan structure (south) section (Esso Standard (Turkey) İne.). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor Arama Grubu, Arşiv No: 924. Ankara. (yayımlanmamış).

Raithel, M., Kirchner, A., Schade, C. & Leusink, E. (2005). Foundation of Construction on Very Soft Soil with Geotextil Encased Columns State of the Art, ASCE Conference Geo-Frontiers.

Robinsky, E.I. & Morrison, D.E. (1964). Sand Displacement and Compaction Around Model Friction Piles. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 1, No. 2, 81.

Şahankaya. (1958). M. T. A. Enstitüsü, Ankara.

Saltık, O. (1968). Cizre-Silopi-Rubai sahasına ait rekonesans jeoloji raporu. TPAO Arama Grubu. Rapor no. 488, 9 s., Ankara.

Şaroğlu, F. & Emre, Ö. (1987). Karacadağ volkanitlerinin genel özellikleri ve Güneydoğu Anadolu Otoktonu'ndaki yeri. Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 384-391.

Schmidt, K. (1935). First report over geological and paleontological: MTA Derleme no. 1532, 11 s., Ankara.

Schmidt, G.C. (1961). Stratigraphy and Petroleum possibilities of Central DistrictVI, Turkey. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No: 332, Rapor No: 4, 43. Ankara (yayımlanmamış) (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 767).

Seed, H.B. & Idriss, I.M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 1249-1273.

Seed, H. B & Idriss, I. M. (1982). Ground motion and soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute.

Seed, H.B. (1985). Influence of SPT producers in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, V. 111, No. 12.

Selçuk, H. (1981). Etüde geologique de la partie meridionale du Hatay (Turquie). These de 1'Universite de Geneve Section Siciences de la terre No: 1997,116 p.

Şengündüz, N. & Aras, M.(1986). XI ve XII. Bölgelerde Mardin Grubu karbonatlarının ve Karaboğaz Formasyonu'nun fasiyes dağılımı, diyajenetik özellikleri ve çökelme modeli: TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 1005, 75 s., Ankara.

Skempton, A.W. (1986). Standart Penetration Test Procedures and The Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Over Consolidation, Geotechnique 36:3.

Stratum, (1963). General geological report on the Petroleum District V with reference to the areas AR/A.ME./648, 649, AR/C.ME./657, 660, AR/P.E.R:/650, 659 (Aladdin Middle East Ltd. Report). Petrol işleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No: 125, Rapor No: 7, 19.

Sütçü, Y.F. (2008). 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 74 Diyarbakır-M43 Paftası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara. (yayımlanmamış).

Taşman, C.E. (1930). Mardin ve Siirt vilayetindeki bazı akşamının jeoloji ve petrol ihtimalatı hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 215, 21. Ankara. (yayımlanmamış).

Taşman, C.E. (1933). Dicle ile Mardin ve Suriye hudutları arasındaki mıntıkanın petrol ihtimalatı hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 216, 7. Ankara. (yayımlanmamış).

Telford, WM., Geldart, LP., Sheriff, RE, & Keys DA. (1976). Applied Geophysics, Cambridge University Pres.

Ten Dam, A. (1954). Preliminary report on the İspandika section. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 2211, 17, Ankara. (yayımlanmamış).

Terzaghi, K. & Peck R.B. (1948). Soil Mechanics In Engineering Practice. New York: John Wiley and Sons

Tolun, N. (1954). Güneydoğu Anadolu'nun stratigrafisi ve tektoniği. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 2147, 95. Ankara. (yayımlanmamış).

Tolun, N. (1955). Besni, Adıyaman, Samsat arası bölgelerinin jeolojik etüdü. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 2251,51, Ankara. (yayımlanmamış).

Tolun, N. (1960). Stratigraphy and tectonics of Southeastern Anatolia. Revue de la Faculte des Sciences de 1'Universite D'İstanbul, Tome XXV, Fasc. 3-4, serie B, 204-264p.

Tuna, D. (1973). VI. Bölge litostratigrafi birimleri adlamasının açıklayıcı raporu. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 813, 131, Ankara (yayımlanmamış).

Ulusay, R. (2001). Uygulamalı Geoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayınları: 38, Ankara.

Uygur, K. & Aydemir, V. (1988). Bölükyayla-Çukurtaş sahalarında (XII.Bölge) Derdere, Karababa, Karaboğaz ve Sayındere formasyonlarının yer altı jeolojisi: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2454, 268 s., Ankara.

Uzuner, B. A. (1995). Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, 27-92.

Uzuner, B.A. (2000). Temel Mühendisliğine Giriş: Derya Kitabevi, Trabzon.

Vanderschmidt, H. (1933). Report on the stratigraphy of the Mardin area, SE Turkey. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 226, 15. Ankara. (yayımlanmamış).

Wang, W. (1979). "Some Findings İn Soil Liquefaction", Water Conservancy And Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China, 3-9.

Wang, J.G.Z.Q. & Law, K.T. (1994). Siting in earthquake zones, Rotterdam: A. A. Balkema Publishers.

VVilson, H.H. & Krummenacher, R. (1959). Geology and oil prospects of the Gaziantep Region, Southeast Turkey (N.V. Turkse Shell Report). Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No: 351, Rapor No: 2, 53, (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 839) Ankara. (yayımlanmamış).

Xia, J. Miller, R.D. & Park, C.B.(1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleighwaves: Geophysics, 64, 691-700.

Yilmaz, O, Eser, M, & Berilgen, MM, (2006). A case study for seismic zonation in municipal areas, The LeadingEdge, March issue, 319-330, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK.

Yılmaz, E. & Duran, O. (1997). Güneydoğu Anadolu bölgesi otokton ve allokton birimler stratigrafi adlama sözlüğü (Lexicon). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü, Eğitim Yayınları, No: 31, 460 s. (yayımlanmamış).

Yılmaz, Y. (1984). Amanos Dağları'nın jeolojisi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 1920, 591, Ankara. (yayımlanmamış).

Youd, L. T. v.d. (21 farkli yazar). (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER-NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127(10), pp.817-833, 2001.