



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENJEKSİYON VE KOMPAKSİYON PRENSİBİNDE
SIĞ DERİNLİKLER İÇİN UYGULANAN ZEMİN
İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali BEGER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

**Haziran-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ali BEGER tarafından hazırlanan "ENJEKSİYON VE KOMPAKSİYON PRENSİBİNDE SİĞ DERİNLİKLER İÇİN UYGULANAN ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışması 10/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Levent SELÇUK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI

İmza

.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TIGREK

FBE Müdürü



Bu tez çalışması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ile Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) tarafından, altyapı ve laboratuvar imkânlarının kullanılmasına izin verilerek projersiz olarak desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Ali BEGER

30.05.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENJEKSİYON VE KOMPAKSİYON PRENSİBİNDE SIĞ DERİNLİKLER İÇİN UYGULANAN ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali BEGER

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Turgay BEYAZ

2019, 81 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Levent SELÇUK
Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Can BALCI
Dr. Öğretim Üyesi Turgay BEYAZ (Danışman)

Bu çalışmada, tasarlanan bir proje için taşıma gücü zayıf olan veya yetersiz kalan bir alandaki zeminin iyileştirilmesi veya güçlendirilmesi için yapılması gereken işlemler anlatılmaktadır.

Bu kapsamda, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde 3 farklı lokasyondaki, 5'er alanda; a) her lokasyonda iyileştirme yapılmadan önce, zeminin doğal haldeki jeoteknik özellikleri b) her bir lokasyonda dört (4) ayrı yöntemle zemin iyileştirme uygulandıktan sonraki jeoteknik özellikleri araştırılmıştır. Uygulanan iyileştirme yöntemleri sırasıyla: i) Çimento enjeksiyonu, ii) Kireç enjeksiyonu, iii) Epoksi enjeksiyonu ve iv) Ağırlık düşürme (dinamik kompaksiyon)'dir.

Zemin iyileştirmesi yapılmadan önce, zeminin doğal haldeki jeoteknik özellikleri; arazide mikrotremor ölçümleriyle ve laboratuvarında deneyler yapılarak belirlenmiştir. Bu şekilde elde edilen ilk değerler; zeminin orijinal (referans) özellikleri olarak kabul edilmiştir.

Literatürde (rapor, makale vb. çalışmalarda) yapılmış uygulamaları anlatılan 4 farklı yöntemle zemin iyileştirme işlemi yapılmıştır. Bu iyileştirme işlemlerinden sonra 28 gün beklenmiştir. Bu süre zarfında, zemine enjekte edilen sıvıların (malzemenin) katıldığı kabul edilmiştir. Zeminden karotlu sondaj yöntemiyle, Shelby tüpü içerisine zemin örnekleri alınmıştır. Alınan zemin örneklerinin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla, laboratuvarında deneyler yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen parametreler, zeminin taşıma gücündeki değişimi hesaplamak için kullanılmıştır. Zemin iyileştirme işlemi yapılan alanlarda, yine mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. İyileştirme işlemlerine bağlı olarak, zemin salınım periyodundaki değişim hesaplanmıştır.

Bütün işlemlerden sonra, zemin iyileştirme işlemi yapıldıktan sonra belirlenen zemin taşıma gücü değerleri ve zemin salınım periyodu değerleri; zeminin orijinal haldeki taşıma gücü ve salınım periyodu değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu şekilde, zemin iyileştirme işleminin zemine sağladığı bir katkı olup-olmadığı araştırılmıştır.

Elde edilen bilgiler yardımıyla; zemin iyileştirmesinin zeminin taşıma gücünü yaklaşık %10-25 arasında artış göstermiştir. Zemin salınım periyodu değeri azalmıştır/düşmüştür, bu düşmenin zemindeki sıkılaşmaya bağlı olduğu, zemin iyileşmesinin gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batman, çimento enjeksiyonu, epoksi enjeksiyonu, kireçle iyileştirme, mikrotremor ölçümü, taşıma gücü, zemin iyileştirme, zemin salınım periyodu.

ABSTRACT

MSc THESIS

EVALUATION OF SOIL IMPROVEMENT METHODS APPLIED FOR SHALLOW DEPTH IN INJECTION AND COMPACTION PRINCIPLES

Ali BEGER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN GEOLOGICAL ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Turgay BEYAZ

2019, 81 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Levent SELÇUK

Assist. Prof. Dr. Mehmet Can BALCI

Assist. Prof. Dr. Turgay BEYAZ (Advisor)

In this study, processes required to improve or strengthen the soil in an area where the bearing capacity of the soil is weak or insufficient are explained for a designed project. In this scope, in three locations in Batman University West Raman Campus, in five areas for each of the three locations; a) geotechnical properties of the soil before any strengthening process, b) geotechnical properties of soil after the improvement of each of the four soil strengthening processes are investigated. Implemented soil improvement processes are i) Cement grouting, ii) Lime injection, iii) Epoxy injection and iv) Drop weight (dynamic compaction).

Before the strengthening processes, natural geotechnical properties of soil are determined by in-situ microtremor measurements and laboratory experiments. These first values obtained are accepted as the original (reference) properties of the soil.

Four different soil improvement methods are implemented of which improvements are explained in the literature (studies like reports, articles, etc.). After these improvement processes, the soil specimens have waited for 28 days. In this time interval, it is accepted that the fluid (material) injected in the soil is solidified. Soil specimens are collected to Shelby tubes by employing the core drilling method. To determine the geotechnical properties of the collected soil specimens, laboratory experiments are conducted. The parameters obtained from these experiments are used to calculate the change in the bearing capacity of the soil. Again, microtremor measurements have been made in the areas where soil improvement methods implemented. Depending on the strengthening processes, the changes in the oscillation period of the soil are calculated.

After all processes are completed, the bearing capacity and the oscillation period values of the soil that are determined after the implementation of enhancement processes are compared with the bearing capacity and the oscillation period values of the original soil. In this way, whether the enhancement process had any contribution to the soil is investigated.

With the help of the obtained information, it is observed that the soil enhancement process has increased the bearing capacity of the soil by around 10-25%. The oscillation period of the soil has been reduced; it is accepted that this reduction is due to the stiffening in the soil and the soil improvement has occurred.

Keywords: Batman city, grouting, epoxy, lime improvement, microtremor, soil strengthen, soil improvement, soil period.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde, başlangıcından sonuna kadar yanımda olan, yardımlarını ve desteklerini benden esirgemeyen, her aşamada bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Turgay BEYAZ'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans ders aşamasında emeklerini gördüğüm, bilgi ve birikiminden yaralandığım kıymetli hocalarım, Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜNAL, Dr. Öğr. Üy. Salih DİNÇ ve Dr. Öğr. Üy. Alim BARAN'a;

Lisansüstü çalışmamda, her türlü desteğini esirgemeyen Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Sema TETİKER'e ve onun şahsında Jeoloji Mühendisliği anabilim dalı yöneticilerine, bütün akademik ve idari personeline;

Bu tez çalışması, Pamukkale Üniversitesi (PAÜ-Denizli) Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ile Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) tarafından altyapı ve laboratuvar imkânlarının kullanılmasına izin verilerek desteklenmiştir. Bu vesileyle, her iki kurumun yönetici ve çalışanlarına;

Lisansüstü çalışmamın bütün idari yükünü sırtlayarak, her türlü sorunların çözümünde mütevazı ve naif kişiliklerinin yanında manevi destekleriyle beni motive ve teşvik eden; Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yöneticilerine, Enstitü Sekreteri ve bütün idari personeline;

Arazi çalışmaları için enjeksiyon düzeneğinin tasarlanması, çalıştırılması ve ara sıra oluşan aksaklıkların giderilmesinde pratik çözümleriyle bana destek olan, Batman Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığındaki mesai arkadaşlarıma, özellikle Erdal KILIÇ ve Şube Müdürü Mehmet Dahil KILIÇ'a;

Bu tez çalışmasının yazım aşamasında büyük katkı sağlayan, çeşitli şekil, grafik ve tabloların çiziminde, tezimi okuyarak yazım hatalarının düzeltilmesinde emeği geçen Jeoloji Müh. Gökçe KAHRAMAN'a;

en içten dileklerle ayrı ayrı teşekkür ediyorum.

Elbette ki, yaşamımdaki yerleri herkesten daha özel olan, lisansüstü çalışmamın her aşamasında yanımda olan, bu konuda beni teşvik eden, tez yazımı sırasında büyük fedakârlık gösteren, bana sabırla katlanan, başından sonuna kadar manevi destekleriyle bana güç kaynağı olan aileme en derin sevgi, saygı ve şükranlarımı sunuyorum.

Ali BEGER
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Zeminlerin Jeoteknik-Geoteknik Özellikleri.....	2
1.2. Zemin İyileştirme ve Güçlendirme Amaçlı İş ve İşlemler.....	4
1.2.1. Zeminlerde jeofizik yöntem(ler): mikrotremor ölçümleri.....	5
1.2.2. Zemin iyileştirme ve güçlendirme yöntemleri.....	5
1.3. Zemin İyileştirme ve Güçlendirme Amaçlı Yer Seçimi: Batman.....	6
1.4. Çimento Enjeksiyonu.....	7
1.4.1. Enjeksiyon teknikleri.....	7
1.4.2. Permeasyon (sızdırma-emdirme) enjeksiyonu.....	8
1.4.3. Kompaksiyon (sıkıştırma) enjeksiyonu.....	8
1.5. Kireçle Stabilizasyon.....	9
1.5.1. Mekanik stabilizasyon veya karıştırma.....	10
1.5.2. Kimyasal stabilizasyon.....	11
1.5.3. Kireç stabilizasyonunda dikkat edilecek hususlar.....	11
1.5.4. Kireçle stabilizasyon yönteminin uygulandığı zemin türleri.....	11
1.5.5. Stabilizasyon iyileştirmede kullanılacak makineler.....	12
1.5.6. Dozaj, kirecin dökülmesi ve bununla ilgili kontrol.....	13
1.5.7. Malzemeyi parçalama ve karıştırma.....	13
1.5.8. Sıkıştırma işlemi.....	14
1.5.9. Bağlantı noktaları.....	14
1.5.10. Stabilizasyon sonrası yapılması gereken bakım çalışmaları.....	15
1.6. Epoksi Enjeksiyonu.....	15
1.6.1. Epoksinin kullanım alanları.....	17
1.6.2. Epoksinin genel özellikleri.....	18
1.7. Dinamik kompaksiyon.....	19
1.7.1. Avantajları (SCDOT, 2010).....	24
1.7.2. Dezavantajları (SCDOT, 2010).....	25
1.7.3. Çevresel kısıtlamalar.....	25
1.8. Mikrotremor.....	25
1.8.1. Mikrotremor ölçümlerinin amacı.....	26

1.8.2.	Mikrotremor ölçümlerinin alınmasında dikkat edilecek hususlar	27
1.8.3.	Mikrotremor ölçümlerinden alınan verilerin analizi.....	27
1.8.4.	Mikrotremor ölçümlerinin uygulaması.....	29
2.	KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	30
2.1.	Çimento Enjeksiyonu İle İlgili Çalışmalar.....	31
2.2.	Kireç Şerbeti Enjeksiyonu-Kireçle Stabilizasyon ile İlgili Çalışmalar.....	31
2.3.	Dinamik Sıkıştırma İle İlgili Çalışmalar.....	32
2.4.	Epoksi Enjeksiyonuyla Zemin İyileştirme-Güçlendirme İle İlgili Çalışmalar.....	34
2.5.	Mikrotremor Ölçümleri ile İlgili Çalışmalar.....	36
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1.	Zemin İyileştirme Amacıyla Kullanılan Yardımcı Malzemeler:.....	41
3.2.	Enjeksiyon Düzenegi Olarak Kullanılan Cihaz Ve Donanımlar:.....	44
3.3.	Zemin Hakim Titreşim Periyodu Ölçüm Düzenegi:.....	45
3.4	Doğal Zemin Parametreleri ve İyileştirme Uygulamaları.....	46
3.5	Laboratuvar Çalışmaları.....	48
4.	DENEYSEL BULGULAR.....	54
4.1	Çimento Enjeksiyonu Sonucunda Elde Edilen Zemin Dayanım Parametreleri.....	57
4.2	Kireç Bulamacı Enjekte Edilmiş Zeminlerin Dayanım Parametreleri.....	57
4.3	Epoksi Enjeksiyonu Sonucunda Elde Edilen Zemin Dayanım Parametreleri.....	58
4.4	Dinamik Kompaksiyon Sonucu Elde Edilen Zemin Dayanım Parametreleri.....	58
4.5	Mikrotremor Ölçümlerine Göre Zeminin Değişen Dayanım Parametreleri.....	59
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
6.	KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....		66
EK-A:		66
EK-B:		71
EK-C:		76
ÖZGEÇMİŞ.....		81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Menard dinamik kompaktör (Impe, 1989).....	20
Şekil 1.2. Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan dalgalar (Impe, 1989).....	21
Şekil 1.3. Enine dalgalar sonucu değişen kesme gerilmeleri (Impe, 1989).....	22
Şekil 1.4. Dinamik kompaksiyon sonucu su muhtevastındaki değişim (Impe, 1989).....	22
Şekil 1.5. dinamik kompaksiyonun zeminin elastisite modülüne etkisi (Impe, 1989).....	23
Şekil 3.1. Yer Bulduru Haritası	40
Şekil 3.2. Zeminin doğal özelliğinin tespiti ve iyileştirme yapmak için ayrılan alanlar..	41
Şekil 3.3. Dinamik kompaksiyon tekniğinde uygulamalar	43
Şekil 3.4. İyileştirme amacıyla zemine enjeksiyon yapmak için tasarlanan düzenek.....	47
Şekil 3.5. Deney yapılan zeminlerin doğal tane boyu dağılımı (elek analizi) grafiği.....	51
Şekil 3.6. Zeminin Konsolidasyon-Sıkışma Grafiği.....	52
Şekil 3.7. İçsel Sürtünme Açısı ve Kohezyon Değeri Grafiği.....	53
Şekil A.1. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	66
Şekil A.2. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	66
Şekil A.3. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	66
Şekil A.4. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	67
Şekil A.5. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	67
Şekil A.6. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	67
Şekil A.7. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	68
Şekil A.8. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	68
Şekil A.9. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	68
Şekil A.10. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	69
Şekil A.11. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	69
Şekil A.12. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	69
Şekil A.13. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	70
Şekil A.14. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	70
Şekil A.15. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	70
Şekil B.1. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	71
Şekil B.2. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	71
Şekil B.3. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	71
Şekil B.4. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	72
Şekil B.5. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	72
Şekil B.6. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	72
Şekil B.7. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	73
Şekil B.8. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	73
Şekil B.9. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	73
Şekil B.10. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	74
Şekil B.11. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	74
Şekil B.12. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	74
Şekil B.13. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	75
Şekil B.14. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	75
Şekil B.15. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	75
Şekil C.1. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	76
Şekil C.2. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	76
Şekil C.3. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	76
Şekil C.4. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	77
Şekil C.5. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	77

Şekil C.6. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	77
Şekil C.7. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	78
Şekil C.8. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	78
Şekil C.9. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	78
Şekil C.10. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	79
Şekil C.11. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	79
Şekil C.12. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	79
Şekil C.13. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı).....	80
Şekil C.14. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri.....	80
Şekil C.15. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği.....	80

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Stabilizasyon Metodları (Tunç, 2002).....	10
Tablo 1.2. Zemin Cinsine Göre Tavsiye Edilen Stabilizasyon Metodu.....	10
Tablo 1.3. Çeşitli Ülkeler ve bu Ülkelerde üretilen Epoksi markaları.....	16
Tablo 1.4. Farklı durumlar için k değerleri (Impe, 1989).....	23
Tablo 3.1. Deney yapılan zeminlerin doğal haldeki tane boyu dağılımı Raporu.....	50
Tablo 3.2. Kıvam (Atterberg) Limitleri.....	51
Tablo 3.3. Su İçeriği Değerleri.....	51
Tablo 3.4. Zeminin Konsolidasyon-Sıkışma Özellikleri.....	52
Tablo 3.5. Özgül Ağırlık Deney Raporları.....	52
Tablo 4.1. Direkt Kesme Deney Raporu-II (1:2 oranında çimento:su karışımı).....	54
Tablo 4.2. Direkt Kesme Deney Raporu-III (1:2 oranında kireç:su karışımı).....	54
Tablo 4.3. Direkt Kesme Deney Raporu-IV (3:1 oranında epoksi:sertleştirici karışımı)..	55
Tablo 4.4. Direkt Kesme Deney Raporu-SK-V.....	55
Tablo 4.5. Taşıma gücü hesap tablosu.....	56
Tablo 4.6. Taşıma Gücündeki iyileşme oranları.....	57
Tablo 4.7. Taşıma Gücündeki iyileşme oranları.....	57
Tablo 4.8. Taşıma Gücündeki iyileşme oranları.....	58
Tablo 4.9. Taşıma Gücündeki iyileşme oranı.....	59
Tablo 4.10. Mikrotremor ölçüm değerleri.....	60

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1.1.'de killi bir zeminin ilk hali ve kireçle stabilize edildikten sonraki hali	13
Resim 1.2.'de zemine kireç serilmesi ve greyder ile karıştırılması	14
Resim 1.3. Mikrotremör Ölçüm Cihazı.....	26
Resim 3.1. Enjeksiyon işleminde uygulanan basınç.....	42
Resim 3.2. Serbest düşmeye bırakılmış ağırlık etkisiyle oluşan sıkışma.....	44
Resim 3.3. Zeminde iyileştirme yapmak amacıyla dizayn edilen düzenek.....	48
Resim 3.4. Shelby tüpü içerisine alınan numuneler	49
Resim 3.5. Su içeriği, ıslak elek ve kıvam limitleri için ayrılan numuneler.....	49
Resim 3.6. Islak elek uygulanacak numuneler.....	50
Resim 3.7. Islak elek sonrası numuneler.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

W_{opt}	: Optimum su içeriği
Mm	: Milimetre
Cm	: Santimetre
M	: Metre
°C	: Santigrat derece
LL	: Likit limit
PL	: Plastik limit
PI	: Plastisite indeksi
ML	: Düşük plastisiteli inorganik silt ve çok ince kumlar
CL	: Düşük plastisiteli killer
CH	: Yüksek plastisiteli killer
F_o	: Frekans
T_o	: Zemin hakim titreşim periyodu
H/V	: Yatay/düşey oranı
T_A ve T_B	: Yerel zemin davranış spektrumları
AL	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Cr	: Süreklilik katsayısı
Cu	: Üniformaluk katsayısı
D10	: Zeminin en ince %10'luk bölümünün en büyük dane çapı
D15	: Zeminin en ince %15'lik bölümünün en büyük dane çapı
D30	: Zeminin en ince %30'luk bölümünün en büyük dane çapı
D60	: Zeminin en ince %60'lık bölümünün en büyük dane çapı
d85	: Çimentonun en ince %85'lik bölümünün en büyük dane çapı
d90	: Çimentonun en ince %90'lık bölümünün en büyük dane çapı
Dr	: Relatif sıklık
E	: Elastisite modülü
PSI	: Basınç birimi
Hp	: Beygir gücü
ϕ°	: İçsel sürtünme açısı
C	: Kohezyon
qnet	: Net taşıma gücü
qemn	: Emniyetli taşıma gücü

Kısaltmalar

TC	: Türkiye Cumhuriyeti
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DDB	: Deprem Dairesi Başkanlığı
USGS	: (Amerika) Birleşik Devletler Jeologlar Birliği
EMSC	: The European-Mediterranean Seismological Centre (Avrupa-Ortadoğu Sismologlar Birliği)
METU	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
YTU	: Yıldız Teknik Üniversitesi
K	: Kuzey
D	: Doğu
DB	: Doğu-Batı
KG	: Kuzey-Güney
UD	: Yukarı-Aşağı
z	: Düşey (yukarı-aşağı) yön
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAF	: Doğu Anadolu Fay Zonu
BÇK	: Bitlis-Çüngüş Kenet kuşağı
MG	: Menderes Grabeni

vb. : ve benzeri (ve bu gibi)
vd. : ve diğerleri
KRDAE : Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
TS : Türk Standartları
PÇ : Portland Çimentosu
ASTM : American Society for Testing and Materials
DSİ : Devlet Su İşleri
AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials
CBR : California Taşıma Oranı
USC : Birleştirilmiş Sınıflandırma Sistemi
MB : Metilen Mavi (Methylen Blue)
KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü
UV : Ultraviyole
L1 :1. Lokasyon
L2 :2. Lokasyon
L3 :3. Lokasyon
UA1 :1. Uygulama Alanı
UA2 :2. Uygulama Alanı
UA3 :3. Uygulama Alanı
SK1 :1. Sondaj Kuyusu (Doğal zemin)
SK2 :2. Sondaj Kuyusu (Çimento enjekte edilmiş zemin)
SK3 :3. Sondaj Kuyusu (Kireç enjekte edilmiş zemin)
SK4 :4. Sondaj Kuyusu (Epoksi enjekte edilmiş zemin)
SK5 :5. Sondaj Kuyusu (Dinamik kompaksiyon uygulanmış zemin)

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılda başlayan ve çağımızda da devam etmekte olan hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yapı alanlarının hızla tükenmesine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak her geçen gün yeni yapılaşma alanlarının açılması zorunlu hale gelmiştir. Bu yeni açılan alanların zaman zaman yapılaşmaya uygun olmadığı ortaya çıkmakta, bir başka deyişle taşıma gücü zayıf olan alanların da yapılaşmaya açıldığı görülmektedir. Zayıf temel zeminlerinde ortaya çıkan düşük taşıma gücü ve yüksek deformasyon sorunları; zemin iyileştirme konusunda yeni yöntem ve tekniklerin geliştirilmesini ve uygulanmasını zaruri bir hale getirmiştir. Dünya nüfusu son derece hızlı bir şekilde artmaktadır. Buna bağlı olarak, şehirleşme için yerleşime uygun güvenli alanlar daralmaktadır. Dolayısıyla, yapılaşmaya elverişli olmayan, zayıf dayanıma/taşıma gücündeki zeminlere sahip alanların da yerleşime açılması söz konusudur. Bu durumdaki yerleşime uygun olmayan veya jeoteknik açıdan sorunlu alanların zemin özelliklerini, yapı inşasına elverişli hale getirmek için geliştirilmiş teknikler yardımıyla, iyileştirmek mümkün olmaktadır.

Bir alanda yapılaşmaya başlanmadan önce, zeminin ilksel (orijinal) jeoteknik özelliklerinin ortaya konması gerekmektedir. Zeminin jeoteknik özellikleri, arazi ve laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmalar ve deneylerle belirlenir.

Jeoteknik özellikleri belirlenmiş herhangi bir zemin, yerleşime uygun özelliklerde değil ise; zemin özellikleri göz önüne alınarak, en uygun “zemin iyileştirme ve güçlendirme” tekniği ile zemin özellikleri yapılaşmaya uygun hale getirilmektedir.

Zemine uygulanan iyileştirme ve güçlendirme yöntemlerinin başarılı olup-olmadığı, işlemler tamamlandıktan sonra, yapılacak kontrol deneyleri ile belirlenebilmektedir.

Jeoteknik özellikleri belirlenecek olan bir zeminde, önerilecek iyileştirme ve güçlendirme işlemlerinden sonra, zeminin jeoteknik özelliklerinde gerçekleştirilen sağlamlaştırma çalışmasının başarılı olup-olmadığının kontrolü ve yorumlanması bu tez çalışmasının konusunu oluşturmaktadır.

Mühendislikte temel kaya üzerinde yer alan bozuşmuş-ayrışmış, gevşek veya tutturulmuş, düşük dayanımlı, ince veya iri taneli jeolojik kökenli malzeme zemin olarak adlandırılır.

Yakın geçmişte ülkemizde yaşanan depremlerde, yüzeye yakın jeolojik yapının (zeminin) deprem hasar oranlarında önemli rol oynadığı görülmüştür.

Özetle; öncelikle zemin iyileştirmenin (zemin ıslahının) teorik tanımı ve gerekçelerine değinilmiştir. Daha sonraki bölümlerde, arazide seçilen 3 (üç) farklı alanda; 1) Zeminlerin doğal haldeki özellikleri tesbit edilmiş ve 2) Her bir alanda aynı standartlarda ve verilen sıra ile; i) çimento enjeksiyonu, ii) kireç enjeksiyonu, iii) epoksi enjeksiyonu ve iv) dinamik kompaksiyon teknikleri kullanılarak zemin iyileştirme-güçlendirme yöntemleri uygulanmış ve bu işlemten sonra numuneler alınarak laboratuvarda zemindeki değişimleri belirlemek için deneyler yapılmıştır.

Ayrıca, her bir alanda-arazi şartlarında, doğal halde ve iyileştirme-güçlendirme yapıldıktan sonra, mikrotremor ölçümleri yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş/yorumlanmıştır.

Laboratuvar ortamında, su muhtevası, birim hacim ağırlık, kıvam limitleri, tek eksenli dayanım, konsolidasyon vb. çeşitli deneyler yapılarak elde edilen sonuçlara göre taşıma gücü hesapları yapılmıştır.

Arazi şartlarında homojen olmayan zeminlerde yapılan bu deneysel çalışmalardan çimento enjeksiyonu, kireç enjeksiyonu ve dinamik kompaksiyon yöntemleri daha önce birçok çalışmada kullanılmıştır. Epoksi enjeksiyonu yapılarak zeminin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar ise çok sınırlıdır. Epoksinin yüksek yapıştırma kabiliyetinin ince tane içeriği yüksek zeminlerdeki (siltli-killi zeminlerdeki) davranışı ve taşıma gücüne etkisi de bu çalışmada araştırılmıştır.

1.1. Zeminlerin Jeoteknik-Geoteknik Özellikleri

Mühendislikte temel kaya üzerinde yer alan bozuşmuş-ayrışmış, gevşek veya tutturulmuş, düşük dayanımlı, ince veya iri taneli jeolojik kökenli malzeme zemin olarak adlandırılır.

Yakın geçmişte ülkemizde yaşanan depremlerde, yüzeye yakın jeolojik yapının (zeminin) deprem hasar oranlarında önemli rol oynadığı görülmüştür.

Zeminin mühendislik özellikleri arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler yardımıyla belirlenir.

Zeminin sıklığı, su içeriği, kıvam limitleri deprem anında zeminin gerilme değerlerini etkilemektedir. Bunun yanı sıra, deprem anında açığa çıkan enerji nedeniyle, zeminde hissedilebilir titreşimler oluşmaya başlar. Yapılar da, benzer titreşimlerin etkisindedir. Zemin ve/veya yapı salınımı olarak kabul edilen bu titreşimler, uzun süre devam ettiğinde, yapılarda hasara neden olabilmektedir.

Herhangi bir alan yapılaşmaya açılmadan önce, zeminin mühendislik davranışının belirlenmesi; jeoteknik, taşıma gücü, yeraltı suyu, oturma, çökme (sübsidans), kütle hareketi (heyelan, akma, kayma vb.), baskın periyod ve zemin büyütme haritalarının oluşturulması sağlıklı bir yapılaşma için önem taşımaktadır.

Örneğin; zeminin konsolidasyon değerinin bilinmesi -yapı ağırlığı etkisiyle- yapı-zemin etkileşimindeki izin verilebilir (nihai) sıkışma değerinin bilinmesini dolayısıyla -zeminin sıkışmasına bağlı olarak- yapıda oluşabilecek deformasyonun önlenmesini, zemin baskın periyodunun bilinmesi yıkılmaya neden olan rezonans olayından kaçınılmasını, zemin büyütmesinin bilinmesi ise yapıyı etkileyebilecek deprem kuvvetinin doğru saptanmasını sağlayacaktır.

Zeminin sıklığı, buna bağlı oluşan zemin gerilmesi ve yumuşak zeminin (soft soil) deprem sırasında oluşturduğu tepkinin belirlenebilmesi sonucunda alternatif çözüm önerilerinin ortaya konması; deprem-zemin-yapı etkileşmesine bağlı olarak meydana gelen zararın azaltılmasında, önemli faktörlerden biridir.

Yapıların proje hesabını yapan mühendisler, zeminin ve yapıların aynı titreşim periyodunda olmasını (veya birbirine yakın frekansla titreşmesini) istemezler. Yapıların ve zeminin farklı titreşim periyodunda olması istendiği (yani aynı frekansta titreşmesi istenmediği) için; deprem meydana gelmeden önce zeminlerin hakim titreşim periyodunun belirlenmesi amaçlanır. Zeminler rüzgar, yağmur, deniz dalgaları, trafik, patlamalar vb. dış kaynaklar etkisiyle sürekli olarak “mikrotremor (mikro titreşimcik)” adı verilen salınım hareketini yapmaktadır. Deprem meydana gelmeden önce yapılan “mikrotremor” ölçümleri ile (kullanılan ölçüm cihazları da mikrotremor olarak adlandırılmaktadır) zeminlerin hakim titreşim periyodu/frekansı belirlenebilmektedir.

Mikrotremor ile elde edilen yatay ve düşey bileşen gürültü kayıtları arasındaki oran, ölçü alınan noktadaki zeminin baskın periyodu ve büyütme faktörü ile ilişkilidir.

Mikrotremor ölçümleri jeoteknik mühendisliğinde yerel zemin koşullarını belirlemek için çok kullanılan yöntemlerden birisidir. İlerleyen teknolojiye paralel olarak, deney cihazlarındaki gelişmeler mikrotremor ölçümlerinin kullanımını arttırmış ve zeminlerin spektral büyütme, zemin hakim periyodu, anakaya derinliği, eşdeğer (ortalama) kayma dalgası hızı profilleri gibi farklı saha özelliklerini belirlemek ve yerel zemin davranışı özelliklerini bulmak için bir çok yeni mikrotremor yöntemi geliştirilmiştir. Mikrotremor yöntemi, güvenilir ve düşük maliyetlidir.

Zeminin jeoteknik/geoteknik özelliklerinin izin verdiği taşıma gücü, sıkışma, konsolidasyon, oturma gibi sınırlar dahilinde, inşa edilecek yapının proje hesaplarında

zeminin önceden belirlenen bu değeri yardımıyla, yapının titreşim periyodunun, zeminin hakim titreşim periyodundan/frekansından farklı olması için inşaat öncesinde çeşitli hesaplamalar yardımıyla yapılar dizayn edilir.

Yapılan işlemler sonucunda, yapılaşma için riskli bölgeler belirlenmiş olur. Riskli alanlarda mühendislik yapılarının projelendirilmesi aşamasında, zemin şartlarının iyileştirilmesi veya güçlendirilmesi deprem hasarının azaltılabilmesini sağlayacaktır.

1.2. Zemin İyileştirme ve Güçlendirme Amaçlı İş ve İşlemler

Artan nüfus ve hızla büyüyen şehirler, sağlam zemine sahip yapılaşma alanlarının azalmasına etki etmektedir. Hatta bazen, yapıların uygun olmayan zeminler üzerine inşa edilmesi gerekebilmektedir. Bu gibi durumlarda, zeminin jeoteknik özelliklerini, tasarlanan yapıyı inşa edilebilecek hale getirmek gerekmektedir. Zemin koşullarını mevcut durumundan daha uygun hale getirmek için yapılan iş ve işlemler: “Zemin iyileştirilmesi/güçlendirilmesi” olarak adlandırılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, jeoteknik özellikleri önceden belirlenmiş olan zemin(ler)de, farklı “zemin iyileştirme ve güçlendirme” tekniklerinin uygulanması sonucunda; en uygun sağlamlaştırma yönteminin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu kapsamda, Batman il merkezinde, seçilecek bir alanında;

-hiçbir müdahale olmadan, zeminin doğal haldeki jeoteknik özellikleri belirlenecek,

-farklı iyileştirme ve güçlendirme tekniği ile zemin sağlamlaştırılacak (dayanımı ve yük taşıma kapasitesi arttırılacak) ve

-uygulanan iyileştirme ve güçlendirme sonucunda, zeminin jeoteknik özelliklerindeki değişim belirlenecektir.

Dolayısıyla, “zeminde iyileştirme ve güçlendirme” yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra;

-zeminin genel özelliklerinin tespiti,

-taşıma gücü hesaplamaları ve

-doğal salınım periyodunun/frekansının belirlenmesi çalışmaları bu tezin kapsamını oluşturmaktadır.

1.2.1. Zeminlerde jeofizik yöntem(ler): mikrotremor ölçümleri

Zeminlerin dinamik parametrelerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla mikrotremor ölçümleri yapılacaktır. Yüzey tabakaları, genellikle doğal ve yapay kaynaklara bağlı olarak mikrotremor adı verilen titreşimler açığa çıkarır. Mikrotremorlar, farklı kaynaklardan yayılan yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir. Mikrotremorların kökeni, doğal (fırtınalar, rüzgar, yağmur, deniz dalgaları vb.) ve yapay (bitkiler, tekerli araçlar, patlatmalar vb.) kaynaklar olarak çeşitlilik gösterir. Araştırmacılara göre; rüzgâr, trafik, tren ve diğer endüstriyel aktiviteler, deniz dalgalarının kıyıya çarpması, atmosferdeki alçak basınç-okyanus etkileşmesi vb. gibi bütün etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir. Mikrotremorların en önemli özelliği, zemin özelliklerine bağlı olarak, farklı alanlar için belirgin değişimler göstermesidir. Bu değişimler ölçülen yerin jeolojik özellikleri ile ilişkilidir.

Mikrotremor dalgaları değişik jeolojik birimlerin yüzeyinde farklı salınımlar gösterirler. Genel olarak mikrotremorlar, cisim ve yüzey dalgalarının girişimi ile oluşur ve enerjisinin büyük bir kısmı yüzey dalgası olarak yayılır. Mühendislik jeolojisi ve jeofiziği, çalışmalarında; dinamik zemin parametrelerinin ve değişimlerinin belirlenebilmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

Mikrotremor ölçümleriyle, yüzey dalgalarının dispersiyon özelliği kullanılarak, S-dalga hızının derinlikle değişimi belirlenebilmekte; S-dalga hızından yola çıkarak zemin baskın periyodu ve büyütme etkisi hesaplanabilmektedir.

1.2.2. Zemin iyileştirme ve güçlendirme yöntemleri

Zemin iyileştirme ve güçlendirme işlemleri;

- Çimento enjeksiyonu,
- Kireçle stabilizasyon,
- Taş kolonlar,
- Kazıklı temel,
- Zemin çivisi,
- Ankraj,
- Jeosentetik uygulaması: Jeomembran, Jeogrid, Jeotekstil,
- Toprakarme,
- Yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi,

- Sıkıştırma,
- Bakterilerle iyileştirme,
- İstinat duvarı vb. birçok ayrı yöntemle yapılabilmektedir.

Bu yöntemlerin seçiminde zeminin jeoteknik özellikleri göz önüne alınmaktadır. Zeminin iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi sırasında göz önüne alınması gereken bazı özellikler aşağıda sıralanmıştır:

Zemin iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için uygun yöntemin seçilmesinde;

- Zeminin su içeriği,
- Sıklığı,
- Tane boyutu (ince daneli veya iri daneli oluşu),
- Kohezyonu,
- Gözeneklilik ve geçirgenlik durumu,
- Yeraltı suyu durumu (su içeriği, su derinliği vb.),
- Temel kayanın derinliği,
- Zeminin taşıma gücü değeri,
- Zemine inşa edilecek yapının ağırlığı,
- Yapının yüksekliği (yapının salınım periyodu) vb. birçok faktör göz önüne alınarak karar verilmektedir.

1.3. Zemin İyileştirme ve Güçlendirme Amaçlı Yer Seçimi: Batman

Aktif deprem kuşağında yer alan ülkemizde, Batman ilinin diri fay hatlarına yakınlığı dikkat çekmektedir. Kuzeyinde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayının (DAF) kesişme alanı, Kuzey batısında Doğu Anadolu Fay hattına olan yakın mesafesi ve il sınırları içerisinde geçen Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı) deprem tehlikesinin büyüklüğünü pekiştirmektedir.

Günümüze kadar meydana gelen ve deprem kaynaklı ağır hasar ve kayıpların oluşmasının temelinde, zayıf zeminler üzerinde bilinçsizce gerçekleştirilen çarpık kentleşmeler yer almaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek, olabilecek can ve mal kayıplarını en aza indirebilmek için özellikle deprem riski yüksek bölgelerde zemin özelliklerinin, yer tepkisinin, jeolojik parametrelerin sağlıklı bir biçimde belirlenebilmesi; zeminlerin olumsuz özelliklerinin giderilebilmesi (veya minimum düzeye indirilebilmesi) adına oldukça önem arz eder. Bu amaçla, zemin parametrelerine uygun yapı

tasarlanabilmesi, zeminin taşıma gücünün artırılabilmesi, yeraltı suyunun olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi ve güvenli yapılar inşa edilebilmesi için jeoteknik, jeolojik, jeofiziksel ve geoteknik vb. yaklaşımlarla elde edilen verilerin yorumlanabilmesi bir diğer önemli konudur.

Bu yüksek lisans tezi sırasında; çalışma alanındaki her bir gözlem noktasındaki (lokasyondaki) zeminin mekanik-jeoteknik özellikleri, hakim titreşim periyodu (frekans veya zemin büyütme değeri) belirlenerek elde edilen değerlerden inceleme alanı için uygun zemin iyileştirme ve güçlendirme yöntem(ler)i önerilmesi, uygulanan iyileştirme yöntem(ler)i arasından en efektif olanının belirlenmesi; zemin parametrelerine uygun iyileştirme yöntemi önerebilme (zemin parametresi-iyileştirme yöntemi arasında ilişkisi kurabilme) ve bunları etkileyen faktörleri yorumlayabilme yeteneğini geliştirme imkanı sağlayacaktır.

Ayrıca, elde edilebilecek verilere bağlı olarak; çalışma alanındaki zemin(ler) için jeoteknik haritası, mühendislik jeolojisi haritası, büyütme haritasına (hakim titreşim periyoduna) göre zemin sınıfı (Z1, Z2, Z3, Z4) haritalarını öğrenme-tanıma, hazırlama ve değerlendirebilme yeteneği gibi bilgi birikimlerini de kazandıracaktır.

1.4. Çimento Enjeksiyonu

1.4.1. Enjeksiyon teknikleri

Enjeksiyon işlemi; temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesi durumudur. Enjeksiyondaki amaç zeminin ya da kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Enjeksiyon ile iyileştirme zeminin gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimsizlik gibi hidrojeolojik özelliklerini iyileştirerek elde edilir.

Enjeksiyon teknikleri karışımın zemin içerisine verilmiş şekline ve zemin yapısında sebep olacağı davranış değişikliğine göre sınıflandırılır. Bunlar:

- Permeasyon (sızdırma) enjeksiyonu
- Kompaksiyon (sıkıştırma) enjeksiyonu
- Yüksek basınç enjeksiyonu (Jet-grout)
- Konsolidasyon enjeksiyonu
- Kontak enjeksiyonu
- Kaya enjeksiyonu

- Çatlatma enjeksiyonu
- Perde enjeksiyonu olarak sıralanabilir.

Zemin yapısını bozmadan yapılan enjeksiyonlar:

- Permeasyon (sızdırma) enjeksiyonu
- Kontak enjeksiyonu
- Kaya enjeksiyonu

Zemin yapısını bozarak yapılan enjeksiyonlar:

- Kompaksiyon enjeksiyonu
- Konsolidasyon enjeksiyonu
- Çatlatma enjeksiyonu
- Perde enjeksiyonu
- Yüksek basınç enjeksiyonu (Jet-grout) olarak sıralanabilir.

1.4.2. Permeasyon (sızdırma-emdirme) enjeksiyonu

Permeasyon enjeksiyonunun temel amacı zeminin hacminde ve yapısında önemli bir değişiklik meydana getirmeksizin zemin içerisindeki boşlukların enjeksiyon malzemesiyle doldurulması işlemidir. Enjeksiyon malzemesi başlangıçta akışkan iken zemin boşlukları içerisinde zamanla sertleşmekte ve dolayısıyla zemin özelliklerini değiştirmektedir.

1.4.3. Kompaksiyon (sıkıştırma) enjeksiyonu

Kompaksiyon enjeksiyonu 25 mm'den daha az çökme değeri olan, yeterli plastisiteyi sağlayacak kadar silt ve içsel sürtünmeyi sağlayacak kadar da kum içeren katı enjeksiyon malzemesinin zemin boşlukları içerisine girmeksizin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturacak ve bu sayede etrafındaki gevşek zeminleri sıkıştıracak şekilde yüksek basınçlarda enjekte edilmesi olarak tanımlanır.

Kompaksiyon enjeksiyonu çoğunlukla zayıf ve yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında, temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde, yapı oturmalarının engellenebilmesinde, farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda ve tekrar eski seviyelerine yükseltilmesinde kullanılabilir.

Kompaksiyon enjeksiyonunun avantajları:

- a) Belirlenen bir noktanın iyileştirilmesi

- b) Kısa sürede tüm ekipmanların kurulumunun yapılabilmesi
- c) Uygulama alanlarının geniş olması
- d) Birçok zemin türünde etkili sonuç alınabilmesi
- e) Dar girişli ve boşluk payı az olan zeminlerde uygulanabilmesi
- f) Bilinen herhangi bir zararının olmaması
- g) Atık toprak sorunu oluşturmaması
- h) Temele veya kolona bağlanmasına ihtiyaç duyulmaması
- i) Var olan temellere uyumlu olması ve onlara zarar vermemesi
- j) Yer değiştirme ve kazık çakmaya ekonomik bir alternatif olması
- k) Diğer yöntemlerle ulaşılamayan yüksek derinliklere ulaşılabilmesi.

1.5. Kireçle Stabilizasyon

Stabilizasyon istenen standartları karşılayamayan taban zemini ya da üstyapı malzemeleri üzerinde, elverişsiz olan malzeme özelliklerini istenilen seviyeye getirmek için yapılan iyileştirme işlemleridir. Bu amaçla zemine ya da malzemelere değişik katkı malzemeleri katılarak sıkıştırılması sonucu zemin kararlı bir hale getirilir.

Stabilizasyon işleminde; agrega ve bağlayıcı madde ilavesi ile zeminin ya da üstyapı malzemesinin taşıma gücü artırılır ve su tutma kabiliyetleri azaltılarak geçirimsiz hale getirilir.

Zemin stabilizasyonu; zeminin direncini arttırmak, sahip olduğu direnci değişik hava şartlarında korumak ve aynı zamanda değişken yük ve iklim şartlarının zararlı etkileri altında uzun zaman dayanacak hale getirilmelerini sağlamak amacıyla yapılır. Bunun için zemin, bağlayıcı ile karıştırılıp sıkıştırılarak kararlı hale getirilir. Bu işleme zemin stabilizasyonu denir (Alataş, 1997).

Stabilizasyon Metodları:

- a) Mekanik Stabilizasyon veya Karıştırma
- b) Kimyasal Stabilizasyon (Kireç, Çimento, Uçucu Kül vb.)
- c) Bitüm Stabilizasyonu
- d) Zemin Enjeksiyonu
- e) Yeni Stabilizasyon Teknikleri (Tunç, 2002).

Tablo 1.1. Stabilizasyon Metodları (Tunç, 2002)

STABİLİZASYON	ZEMİN CİNSİ	AMAÇ
Asfalt, Çimento	İnce granüler	
Asfalt, Çimento,	Kaba granüler	Yük taşıma ve deformasyon direncini artırmak
Kompaksiyon, Çimento, Kireç	Düşük Pl killer	
Kireç	Yüksek Pl killer	
Çimento, Asfalt, Uçucu Kül	İnce granüler	Don duyarlılığını azaltmak
Çimento, Kireç	Düşük Pl killer	
Çimento, Asfalt, Kireç	Düşük Pl killer	Su geçirimsizliği
Çimento, Kompaksiyon	Düşük Pl killer	Kabarma-Büzülme
Kireç	Yüksek Pl killer	
Kireç	Yüksek Pl killer	Esnekliği azaltmak
Çimento	Elastik kil veya siltler	

Tablo 1.1.'de zemin cinsine göre tavsiye edilen stabilizasyon metodları ve amaçlanan hedefler gösterilmektedir.

1.5.1. Mekanik stabilizasyon veya karıştırma

Mekanik stabilizasyon iki veya daha fazla farklı zeminin uygun oranlarda karıştırılarak istenilen şartları sağlayan bir zemin haline dönüştürülmesidir. Böylece yük altında kalıcı deformasyon yapmayan yani stabil bir zemin elde edilmiş olur.

Mekanik karıştırmada karışım oranları için belli bir sistem ve/veya bir metot yoktur. Değişik tip zeminlerin değişik oranlarda deneme yanılma ile karıştırılmalı ve özelliklerini incelemek suretiyle karar verilmelidir.

Tablo 1.2 Zemin Cinsine Göre Tavsiye Edilen Stabilizasyon Metodu (Rodriquez, 1988)

ZEMİN BİLEŞİMİ	TAVSİYE EDİLEN STABİLİZASYON YÖNTEMİ	AMAÇ
Organik Madde	Mekanik Stabilizasyon	Diğer metodlar etkisizdir
Kum	Mekanik Stabilizasyon	İnce ve plastik olmayan malzeme kullanarak stabilizasyonu arttırmak
	Çimento	Mukavemeti artırmak
	Asfalt	Kohezyon sağlamak
Silt	Mekanik veya Kimyasal Stabilizasyon	Zemin özelliklerini iyileştirmek
Killer;		
-Alofenler	Kireç veya Kireç-Uçucu Kül	Mukavemeti artırmak
-Kaolin	Kum ile Mekanik Stabilizasyon	Stabiliteyi artırmak
	Çimento	Kısa süreli mukavemeti artırmak
	Kireç	İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak
-İllit	Çimento	Kısa süreli mukavemet artışı
	Kireç	İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak
-Montmorillenit	Kireç	İşlenebilirliği ve kısa süreli mukavemeti arttırmak

1.5.2. Kimyasal stabilizasyon

Zeminin olumsuz etkilerini giderek kaplamada oluşabilecek bozulmaları önlemek veya zeminin fiziksel özelliklerini iyileştirerek kaplama kalınlığını azaltmak amacıyla zemine çimento, kireç, uçucu kül, tabii puzolan, vb. maddeler katılarak yapılan zemin ıslahına kimyasal stabilizasyon denir. Her iki amaçta; zeminde stabiliteyi yani deformasyona karşı direnci arttırmaktır (Tunç, 2001).

1.5.3. Kireç stabilizasyonunda dikkat edilecek hususlar

- a) Kirecin yüksek aktivitede olması,
- b) Kirecin tam söndürülmesi,
- c) Kirecin toprağa mütecanis bir şekilde karıştırılması,
- d) İlavesi tespit edilen kireç miktarının tam olarak toprağa karıştırılması gerekmektedir.

Zemin-kireç karışımının özellikleri, ilave edilen kireç miktarı, zeminin tipi ve zemin-kireç karışımının kür süresi ile değişir (Cilason, 1964).

Zemin-kireç karışımları üzerinde yapılan arazi deneyleri mukavemetin zamanla arttığını göstermektedir. Zemin-kireç karışımlarının uzun ömürlü olmasına etki eden faktörler şunlardır:

- a) Kirecin uygun miktarda ilave edilmesi(optimum kireç miktarı),
- b) Sıcak havada ve yeterli sürede kür edilmesi,
- c) Maksimum kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılması,
- d) Kireç ve zemin cinsi
- e) Zemin içindeki organik maddelerin % 4 'den az olması gerekmektedir.
- f) Toprağın uygun bir ekipman ile kazılıp stabilizasyona hazır hale getirilmesi,
- g) Kirecin malzeme ile dikkatli ve homojen bir şekilde karıştırılması,

Sulama işlemi ile optimum nem koşullarına getirilmelidir (Atanur, 1971).

1.5.4. Kireçle stabilizasyon yönteminin uygulandığı zemin türleri

Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemeler AASHTO Sınıflandırma Sistemine göre A5, A6, A7, A-2-6, A-2-7 veya Birleştirilmiş Sınıflandırma Sistemine (USC) göre CH, CL, MH, ML, GC, SC sınıflarına giren plastisite indeksi 10'dan büyük ($PI \geq 10$) veya Kaliforniya Taşıma Oranı (Yaş CBR %) < 10 veya CBR şişme %'si ≥ 3 olan zemin/malzemeler için stabilizasyon-iyileştirme yapılması uygundur.

Stabilizasyon maddesi olarak kirecin en uygun uygulama alanı karayolu inşaatıdır. Kireç stabilizasyonu köy yollarından devlet ekspres yollarına kadar bütün yolların altyapı, üstyapı inşaatlarında kullanılabilir.

Sönmemiş kireç su ile karıştırıldığında hidrasyon oluşur ve sönmüş kireç meydana gelir. Sönmüş kireç killi zeminlerle karıştırıldığında aktif kil iyonları ile kalsiyum iyonları arasında iyon alışverişi olur. Diğer taraftan, aynı zamanda killerin birçoğu puzzolan olduğundan puzzolanik reaksiyon meydana gelir. Bu arada zemin kolay dağılabilir bir hal alır. Puzzolanlar ile kirecin reaksiyona girmesi sonucunda tabii çimento meydana gelmiş olur. Tabii çimento maddesi belirli bir su muhtevasında sıkıştırılır ve ilk sertleşme başlar (Atanur, 1973).

Kirecin sönmesi esnasında ağırlıkça % 30 mertebesinde suyu bünyesine alma özelliği vardır. Bu özellik göz önüne alınarak doğal su içeriğinin optimum su içeriğinden (W_{opt}) çok yüksek olduğu durumlarda sönmemiş kireç tercih edilebilir. Sönmemiş kirecin kullanılması halinde dışarıya ısıveren sönme işlemi arazi koşullarında gerçekleşeceğinden iş ve işçi sağlığı açısından gerekli tedbirlerin buna göre planlanması yerinde olacaktır (KGM, 2005).

Kireç ile zemin stabilizasyonu halen uygulanmakta olan eski bir yöntemdir. Günümüzde yol inşaatlarında, havaalanlarında ve park sahalarında değişik uygulamalarına rastlanmaktadır (Özbayoğlu, 1997).

1.5.5. Stabilizasyon iyileştirmede kullanılacak makineler

İyileştirme yapılacak zeminin kazılması, parçalanması, su ve kireçle karıştırılması işlemi uygun ekipman seçimi yapılmalı, homojen bir karışım elde edilmelidir. Makine seçimi; günlük üretim miktarı ve uygulanacak tabaka kalınlığına göre yapılmalıdır. Kireç serici makinelerin kullanılması durumunda; kirecin uygulanacak karışım oranına göre ayarlanabilir olması tercih edilmelidir.

Sıkıştırma işleminde kullanılacak makine-ekipmanlar; iyileştirilecek zemin özelliklerine göre istenilen sıkışma oranlarını sağlayacak nitelikte keçi ayağı, lastik tekerlekli veya demir bandajlı silindirler ile titreşimli olarak uygulama yapabilmelidir.

Sulamada kullanılacak araçlar su miktarını ve sulama hızını kontrol edebilmeli, suyun homojen olarak dağıtabilmelidir.

1.5.6. Dozaj, kirecin dökülmesi ve bununla ilgili kontrol

Dozaj, işlem görecekt zeminin metrekaresine göre şantiyede hesaplanır. Kuru zemin için laboratuvarıda belirlenen yüzde cinsinden dozaja göre kg/m² dozajı hesaplanır.

Kuvvetli rüzgârın olduğu günlerde, kirecin uçuşarak uygulanması gereken miktarın azalmasına ve şantiye personeline zarar vermesine mahal vermemek için döküm yapılmamalıdır. Ayrıca uygulama mahaline; gün içinde çalışılacak miktarda kireç getirtilerek kullanılmalı, böylece kirecin dış etkenlerle taşınması ve kısmi karbonatlaşma reaksiyonları engellenmelidir.

Kirecin sıvı veya toz olarak kullanıldığı durumlarda, kireç dökme makinesi geçmeden önce, toprağın üzerine, yüzeyi 1,0 m² olan, köşeli bir bez parçası veya bir kap yerleştirilir ve bezin veya kabın üzerinde biriken kireç tartılarak makinenin geçiş sayısına göre atılan kireç miktarı belirlenir. Eğer kireç çalışma alanına torbalarla getirilmişse, bu torbalar düzgün ve uzun bir çizgi oluşturacak şekilde ve aralıkları dozaja uygun olarak hesaplanarak dizilir. Yere konulan torbalar bir bıçakla ortalarından kesilip boşaltılarak birçok küçük tepecik oluşturulur. Rüzgar nedeniyle likit kireç kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmelidir.

Boşaltılan torbalar tepeciklerin önünde durmalıdır. Daha sonra kireç, tırmık kullanılarak elle ya da traktörle veya başka bir motorlu araçla çekilen dişli veya noktalı disklerle düzlenmelidir. İyi bir dağılım için genellikle iki geçiş yeterli olmaktadır.



Resim 1.1.'de killi bir zeminin ilk hali ve kireçle stabilize edildikten sonraki hali gösterilmektedir.

1.5.7. Malzemeyi parçalama ve karıştırma

Parçalama ve karıştırma işi için kullanılan bir makinenin, malzemeyi 25 mm'lik elekten tamamen geçene kadar veya en azından % 60'ı 4.75mm (No.4) elekten geçene

kadar işlemesi ile uygulanır. Bu makinaların gücünün, uygulama yapılacak tabakanın kalınlığına ve günlük tüketim miktarına göre ayarlanması gerekir. Karışım işlemi sırasında ve sonrasında, gerekli görüldüğü taktirde, işlem gören malzeme bir sonraki sıkıştırma işlemi için optimum su değeri yakalanana dek sulanmalıdır.



Resim 1.2.'de zemine kireç serilmesi ve greyder ile karıştırılması gösterilmektedir.

1.5.8. Sıkıştırma işlemi

Karıştırma işleminin tamamlanmasının ardından hemen sönmemiş kireç kullanılacağı durumlarda sönme ekzotermik reaksiyonu tamamlandığında, optimum su içeriği de dikkate alınarak sıkıştırma yapılır. Sönmemiş kirecin tamamen sönmesi için gereken süre, zeminin nem oranına ve ısisına bağlı olarak 2 veya 3 saat dinlendirilmesi yeterlidir.

Birden fazla tabakanın stabilize edilmesi planlandığında; stabilize edilen tabaka üstü uygun bir malzeme ile örtülmeli, stabilize edilecek- iyileştirilecek diğer tabakanın da gün sonunda kadar serilmesi gerekmektedir. Kireç stabilizasyonu-iyileştirmesi yapılacak zeminler için kullanılan sıkıştırma makinelerine bağlı olarak sıkıştırma tekniğinin saptanması gerekmektedir. Bunun için işin başlangıcında 1000-1500 m²'lik bir alanda deneme serimi çalışması yapılarak kullanılan sıkıştırma makinelerinin hızı, geçiş sayısı, makinelerin kullanım önceliği ve tabaka kalınlığı tespit edilir.

1.5.9. Bağlantı noktaları

Kireç ile yapılan iyileştirme uygulamasının yapılacağı büyük projelerde birbirini takip eden günlerde ortaya çıkan bağlantı bölgelerinde yaklaşık olarak 10-15 metrelik bir

bindirme bölgesi kabulü yapılır. Bindirme yapılan bu bölgenin yeniden gözden geçirilmesi gerekiyorsa bu kısma uygun oranda kireç ilave edilip yeniden karıştırılır ve oluşturulacak tabaka kalınlığına göre serme ve sıkıştırma işlemi tekrarlanır. Kireç stabilizasyonu bitirilmiş bölgelerde serme, sıkıştırma sonuçları kontrol edilmeli, problemlili bölgelere gerekli müdahaleler yapıldıktan sonra yeni tabaka imalatlarına geçilmelidir.

1.5.10. Stabilizasyon sonrası yapılması gereken bakım çalışmaları

Çalışmanın tamamlanmasının ardından üst tabakaların imalatı için stabilize edilen tabaka 1 aydan daha fazla açıkta bekletilmemelidir. Stabilizasyon yaz mevsiminde veya havadaki nemin düşük olduğu aylarda yapılıyorsa tabaka yüzeyinde kuruma gerçekleşmesi muhtemeldir. Bu tür durumlarda en az 3 gün uygulama alanının arazöz ile sulanması ve silindirle düzleme amacıyla sıkıştırılması gerekmektedir. Gerekli görülmesi durumunda bu süre 7 güne kadar uzatılabilir.

Sfalt yol gibi projelerde; alt temel (tüvenan) malzemesinin stabilize edilmiş tabaka üzerine serilmesinin 30 günden fazla zaman alacağı durumlarda alttemel tabakasının serimi yapılmadan önce yüzeyin tekrardan sulanıp sıkıştırılması gerekmektedir. İyileştirilmiş malzeme hiçbir şartta üstü kapatılmadan kış şartlarına maruz bırakılmamalıdır.

Standartlara uygun bir şekilde yapılan kireçle stabilizasyon işleminde mukavemet 1 yıla kadar belirli bir seviyede sürer. Zeminin serbest basınç mukavemeti kireç muhtevası ile artar (Kavak ve ark. 2008).

1.6. Epoksi Enjeksiyonu

Epoksi termosetler grubundan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir. Epoksi yapıların çevresel etkilere karşı dayanıklı hale getirilmesi ile her zaman inşaat sektörünün en önemli tartışma ve araştırma konularından biri olmuştur. Epoksi yüzey kaplamalarında, her türlü kara ve deniz yapısında, doğanın (rüzgar, fırtına, dalga, ısı değişimleri, donma-çözülme, kirlenme, kimyasal etkiler, vs.) ve sanayinin (mekanik, fiziksel ve kimyasal) en kötü koşullarına karşı yapı yüzeylerini (iç ve dış) estetik malzemelerle kaplayarak korumak için geliştirilen teknolojik yapı malzemesi grubudur. Bunların yanı sıra üstün yapışma özelliği, mekanik ve fiziksel dayanımlarından dolayı değişik yapılardaki inşaat malzemelerini birbirine yapıştırmak ve tutturmak için kullanılmaktadır.

Epoksi reçine teknolojisine bakıldığında;1930'ların sonunda, glisidil eter esaslı epoksi reçinelerinin hazırlanması ve iyileştirilmesi (sertleştiriciler yardımı ile) üzerine ilk patentlerinin alındığı görülmektedir. Avrupa'da Ciba-Geigy ve ABD'de Shell, 1940'ların ortalarından başlayarak bisfenol A digilidil eteri esaslı reçineleri başarıyla ticarileştiren ilk firmalardandır. Günümüzde epoksi reçinelerinin dünya çapında üreticileri ve bu üreticilerin ürünlerinin isimlerinin bazıları aşağıda sıralanmaktadır. (Bulmuş ve diğ., 2000).

Aşağıda Tablo 1.3'te ABD, Almanya ve Türkiye'de epoksi üretimi yapan çeşitli firmaların listesi bulunmaktadır. Türkiye'de yapılan epoksi ürünlerinin hammaddeleri yurtdışından karşılanmaktadır.

Tablo 1.3. Çeşitli Ülkeler ve bu Ülkelerde üretilen Epoksi markaları

Üretici Firma	Üretilen Ürünün Ticari İsmi
Dow Chemical (ABD)	D.E.R., D.E.N., Tactix, Quatrex
Shell Chemical (ABD)	Epon
Ciba-Giegy (ABD)	Araldite, ECN, EPN
Hi-Tek (ABD)	Epi-Rez
Reichold (ABD)	Epotuf
Union Carbide (ABD)	Bakalite, E.R.L.
EPAKEM (Almanya)	EP 100 vb.
FRAMARY GMBH (Almanya)	FM Epoksi, Betonrep Elasto vb.
KÖSTER (Almanya)	KB-POX İN, NB Sistem, Flex vb.
BRV (Türkiye)	Primer, SC 600, Floor SC vb.
Polin Kimya (Türkiye)	Polin EP 9002-9003-9010-9011 vb.
APEX (Türkiye)	Minerva S/Levelling SD-Topping vb.
PÜRKAY (Türkiye)	Elite Line, SL 20, SL 21 SL 23 vb.
HESKON (Türkiye)	Self Levelling, Multilayer vb.
DURATEK (Türkiye)	ABT 218-226, ASL 538, AV 14 vb.

Epoksi reçinelerinin araştırılmasına 20 yüzyılın ilk yarısında başlanmış ve kısa sürede birçok sektörde kullanım olanağı yaratılmıştır. Epoksi reçineler, uygulamalarındaki kolaylıklar ve yüksek mekanik özelliklerinden dolayı çok kullanışlı bir bağlama malzemesi olduğu için tercih edilir. Epoksinin, göstermiş olduğu yüksek adezyon, sertleşirken az büzülmesi, büyük sıcaklık değişimlerinde çabuk sertleşebilmesi, uygulandıktan kısa bir süre sonra hizmet verebilmesi gibi birçok önemli avantajı vardır. Özellikle teknik üstünlük ve kullanımdaki kolaylık ile hızlı oluşuna karşılık UV ışınlarına karşı dayanımsız olması, pahalı olması ve fleksibilitesinin düşük olması bu ürünün dezavantajlarındandır. Malzemenin çok pahalı olmasından dolayı çalışırken çok dikkatli

olunmalı, teknik açıdan yeterli ve deneyimli kişilerce uygulaması yapılması gerekir (Işık, 1999).

Epoksinin bir zemin iyileştirme metodu olarak kullanılıp kullanılamayacağını inceleyebilmek için çalışmamızda; deneysel bir yöntem olarak zemine epoksi enjekte edilmesine karar verilmiştir. Zemine epoksi enjekte edilmesi üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Epoksinin zeminler üzerinde yapacağı etkiyi inceleyebilmek için yapılan bu çalışmada 3 farklı sahada zemine epoksi enjekte edilmiş ve bu durumun taşıma gücünü nasıl etkileyeceği araştırılmıştır.

1.6.1. Epoksinin kullanım alanları

Epoksinin kullanıldığı alanlar uygulama yöntemine ve ürün seçimine bağlı olarak şöyle sıralanabilir;

- Yapıların özellikle bodrum mahallerinde oluşan çatlaklardaki su sızıntılarının önüne geçilebilmesi için dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- Uzay ve havacılık sektörlerinde kullanılmaktadır.
- Donatı ve inşaat demirlerinin ankrajında; taş, çelik, alüminyum ve hatta ahşap gibi malzemelerin yapıştırılmasında kullanılabilir.
- Betonarme yapılarda; demirlerin ankrajının yapılması durumunda (filiz ekme) kullanılmaktadır.
- Beton, sıva, metal, seramik, polyester ve epoksi yüzeyler üzerine ince bir astar malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- Saha betonlarında yüzey sertleştiricisi olarak kullanılmaktadır.
- Yapısal bağlantı ve onarım işlerinde kullanılmaktadır.
- Prefabrik beton elemanları ve kolonların montajında; çatlak ve kırıkların tamiratlarında kullanılmaktadır.
- Yüzey koruyucu kaplama olarak kullanılmaktadır.
- Su yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- Taze betonu, eski sertleşmiş beton veya harca bağlamak için yapıştırıcı reçine olarak kullanılmaktadır.
- Aşınmaya karşı koruyucu kaplama yüzeyi olarak kullanılmaktadır.
- Köprü taşıyıcı plakalar, makina ayakları, bağlama civataları, tren ray hatlarında sorunsuz yüzey ve dayanıma sahip imalatların montajında kullanılmaktadır.
- Ahşap yapıların su ve diğer çevresel koşullara karşı korunması için koruyucu boya olarak kullanılmaktadır.
- Betonarme, ahşap veya yığma yapılarda; bina yüklerin azaltılması, yapısal değişikliklerin yapılması, dizayn ve imalat hatalarının düzeltilmesi için yapıların güçlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.
- Kimyasal ve mekanik etkilerle karşılaşılacak zeminlerde ve duvarlarda seramik kaplama imalatlarının derzlerinde, sert, su geçirimsiz ve kimyasallara dayanıklı derz dolgu malzemesi olarak; havuz, çamaşırhane, hastane, laboratuvarlarda kullanılmaktadır.
- Yüksek dayanımlı zemin ve duvar boyası olarak kullanılmaktadır.
- Su altı imalatlarında su geçirimsiz bir tabaka yaratmak amacıyla kullanılmaktadır.

- Ev dekorasyon dekoratif objelerin (3 boyutlu zemin kaplama banyo ve teraslar için, masa, sehpa, sandalye, tablo, vazo, vb.) üretimlerinde kullanılmaktadır.
- Çeşitli endüstriyel çalışmalarda kullanılmaktadır. Müzik aletleri yapımı, elektronik ve elektrikli bileşenler, otomotiv sanayi vb.

En yaygın olarak kullanılan Epoksi grubu, zemin kaplaması olarak kullanılan gruptur. Ayrıca son zamanlarda kimyasal içerikli su yalıtım imalatlarının en alt tabakasında astar malzemesi olarak da kullanılması yaygınlaşmıştır. Çok kullanışlı bir su yalıtım malzemesidir. Fakat UV (ultraviyole) güneş ışınlarına karşı dayanıksız olduğundan üzerlerine poliüretan veya polyurea esaslı malzemeler serilerek bu problemin önüne geçilebilmektedir.

1.6.2. Epoksinin genel özellikleri

Epoksinin genel özellikleri şöyle sıralanabilir;

- Kimyasal maddelere ve asitlere çok karşı dayanıklıdır.
- Sürtünmeye, darbelere, sıkışmaya, akmaya ve aşınmaya karşı dayanıklı bir yüzey oluşturur.
- Sertleşme sırasında düşük büzülme ve neme karşı kimyasal direnç gösterir.
- Dekoratif uygulamalarda geniş bir renk yelpazesine sahiptir. İstenilen birçok renkte üretilebilir.
- Kolay temizlenebilir ve hijyeniktir.
- Agregası, silis kumu vb, doğal malzemelerin ve çeşitli kimyasalların ilavesi ile kaymaz bir yüzey elde edilebilir.
- Yağ ve kimyasal maddelere karşı dirençlidir.
- Elektrik yalıtkanlığı çok yüksektir.
- Estetiktir.
- Solvent içermez.
- UV güneş ışınlarına karşı dayanımsızdır.
- Uzun ömürlü bir malzemedir.
- Yüksek maliyetli bir malzemedir.
- Hamur kıvamında olması nedeni ile kolay ve değişik ortamlarda uygulanabilir.
- Nemli ve ıslak yüzeylerde kullanımı uygundur (Işık, 1999).
- Rötire yapmaksızın sertleşir (Işık, 1999).
- Düşük vizkoziteli sıvılar olup uygun bir karşıt bağlama bileşeni ile karıştırılmasıyla termoset hale dönüşebilir. Ayrıca sertleştirici düşük vizkoziteli ve uygulanması kolay olup modifiye edilirler (Işık, 1999).
- Kimyasal yapılarında özellikle polar hidroksil ve eter gruplarını içermelerinden dolayı epoksi reçineleri çok iyi yapıştırıcı ve bağlayıcılardır. Sertleşme sırasında çok az büzülme gerçekleştirdikleri için yapıştırılan yüzeyler arasındaki adezyon kuvvetinde azalma olmaz. Bu yüzden de adezyon kuvvetleri, herhangi bir basınç ve bekleme istenmeksizin elde edilebilecek en iyi değerleri verir (Işık, 1999).
- Yüksek sıcaklıklarda dahi akma problemi yaşanmaz.

Epoksi yukarıda sıralanan özelliklerinden dolayı; dayanıklı, kullanım alanı geniş, dekoratif, kimyasal ve fiziksel maddelere karşı dayanımı çok yüksek, kolay uygulanabilirliği ve kullanım ömrü içinde insan sağlığına zarar vermeyen alanlarda her geçen gün daha da artan bir şekilde kullanılmaktadır. Yapı sektörünün her geçen gün daha bilimsel ve teknolojik metotlara yönelme ihtiyacı, uzmanlaşmış bilimsel ve teknik kadrolarla üretilen ve uygulanan ürünlerin daha da yaygınlaşarak kendilerine kullanım alanı yaratma şansını ve zorunluluğunu dayatmaktadır. Bu çerçevede epoksi ürünler grubu gelecekte çok daha fazla tanınacak, kullanılacak ve sevilecek modern yapı malzemelerinden biridir.

1.7. Dinamik Kompaksiyon

Önceden hesaplamaları yapılmış bir yükseklikten ağır bir kütlenin zemine düşürülmesi sonucu problemlili gevşek zeminlerin sıkıştırılması prensibi ile çalışan bir zemin iyileştirme metodu olarak tanımlanabilir. Ağırlık ve düşürme yüksekliği birbirinden bağımsız değişkenler değildir. Aralarında lineer bir bağıntı oluşmaktadır. Bu metot literatürde kayıtlı olarak ilk kez Menard ve Broise (1975) tarafından gerçekleştirilmiş olup doymuş veya neredeyse doymuş zeminlerin ani bir darbe ile sıkıştırılmasını sağlayıp kesme deformasyonu, geçici yüksek boşluk suyu basıncı ve buna müteakip konsolidasyonu arttırmaktır. Doymuş, gevşek, iri daneli zeminlerin sıkıştırılmasında taşıma gücünü arttırdığı ve bu metot ile sıkıştırılması kumlu zeminlerin sıvılaşmaya karşı daha dayanıklı olduğu depremler esnasında tespit edilmiştir (Mayne, 1984).

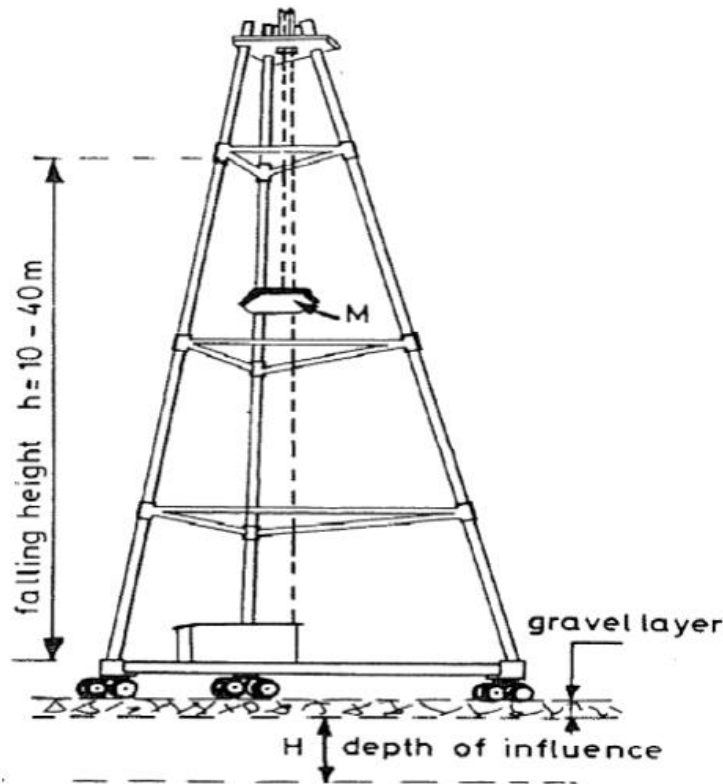
Zemin titreşimleri potansiyel olarak yakın çevrede bulunan diğer binalara, su-kanalizasyon-doğalgaz gibi yeraltı şebekelerine ve hassas ekipmanlara zarar verebileceği gibi insanları da rahatsız edecek bir seviyeye ulaşabilir. Dinamik kompaksiyon sonucu bu tür önemli zemin titreşimleri meydana gelebileceğinden yapılan çalışmaya pek çok kısıtlamaların getirilmesi gerekmektedir. Uygulama sonucu oluşan zemin titreşimi kazık imalatı, patlatma ve trafik gibi pek çok inşaat aktivitesi sonucu oluşan titreşimlerden farklı değerlere ulaşmaktadır (Hwang ve ark. 2006).

Amerika'nın Colorado eyaletinin Rock Spring bölgesinde terk edilmiş bir madenin yıkılması amacı ile dinamik kompaksiyon uygulaması esnasında çevrede bulunan binaların hasar aldığı bilinmektedir. Bu dinamik kompaksiyon çalışması 25 ve

35 tonluk ağırlıkların eski maden ocağının üzerine düşürülmesi ile uygulanmış ve çalışmanın 3. haftasında çevredeki sakinlerin şikâyetleri üzerine çalışma durdurulmak zorunda bırakılmıştır. Colorado'daki bir mühendislik firması olan J.A. Cesare & Associates'in konu hakkında ki raporunda hasar sebebinin dinamik kompaksiyon olduğunu ve bu tip titreşim kaynaklı oturmaların ve hidromekanik kaynaklı deplasmanların oluşabileceğini rapor edilmiştir. Firmanın raporunda ayrıca alınan sismik kayıtlar doğrultusunda hasar gören 19 binanın 7'sinin yapısal olarak doğrudan etkilendiğini ve diğer 12'sinin zeminde oluşan deplasmanlar ve oturmalar sebebiyle hasar gördüğü tespit edilmiştir (Gearino, 2010).

Dinamik kompaksiyon bilindiği üzere en eski derin sıkıştırma metotlarından biridir. Proctor'un ilk olarak 77 sene önce öne sürdüğü zeminlerin sıkıştırılması prensibi esas alınarak geliştirilmiştir. Bu derin sıkıştırma tekniği modern literatürde ilk olarak 1957 yılında İngiltere'deki Road Araştırma Laboratuvarında analiz edilmiştir. Ancak modern literatüre göre yetmişlerin başlarında Menard tarafından dinamik derin kompaksiyon tam anlamıyla kullanılmaktadır.

Metot ağır bir kütlenin yüksekten serbest olarak zemine düşürülmesini içerir. (Şekil 1.1) Bu düşürmeler yerel zemin koşullarına bağlı olarak belirli sayı, zaman aralıkları ve uygulama alanında gerçekleştirilmelidir.

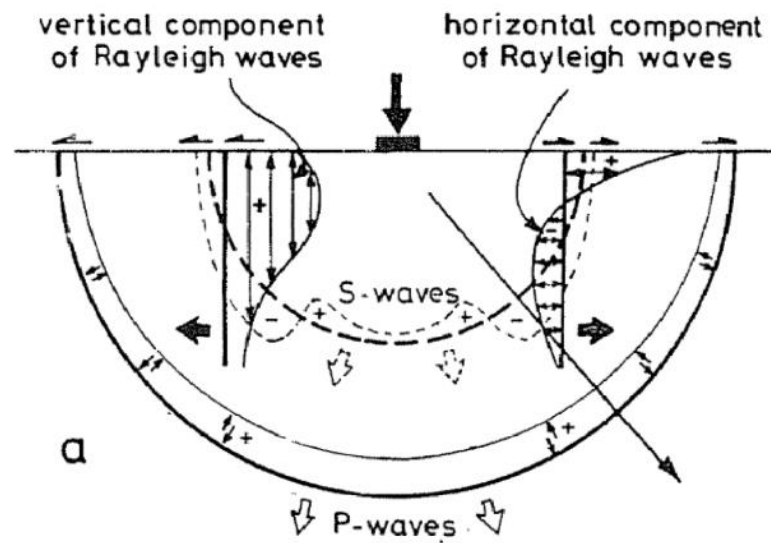


Şekil 1.1. Menard dinamik kompaktör (Impe, 1989)

İlk olarak gevşek kum, çakıl ya da uç direnci 10 MN/m^2 'den küçük olan taşlı tabakaların sıkıştırılmasında denenmiştir.

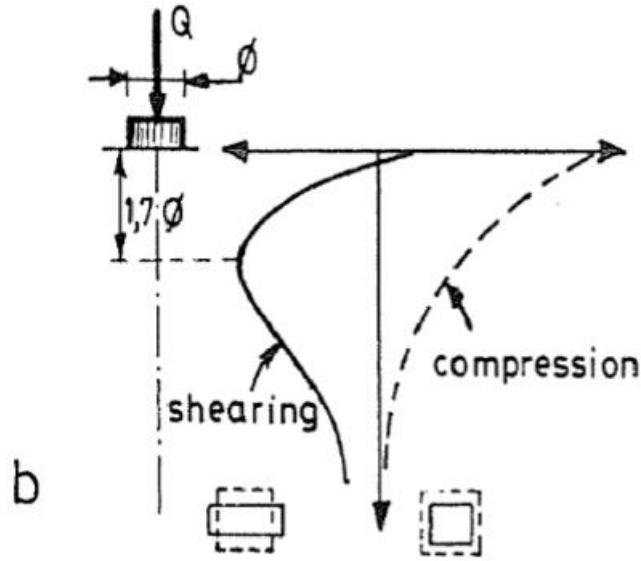
Bu teknik kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılmasında da kullanılabilir olarak değerlendirilir (Impe, 1989). Bu açıkça görülen sıra dışı sonuç pek çok kohezyonlu alüvyon zeminlerde bulunan organik maddelerin mikro düzeyde hava kabarcıklarına sebep olması ile açıklanır. Bu mikro düzeydeki hava kabarcıkları toplam zemin hacminin %1-4'ü kadardır ve bir sıkıştırma işleminde tabakanın sıkışmasına zemin hazırlamaktadır. Tekrarlı düşürmeler altında boşluk suyu basıncı sıkıştırılan tabakanın ağırlığına kadar yükselir ve zemin kaynayan kum davranışı sergiler (sıvılaşma). Bu dengesiz durum sonucu zeminde fissürler oluşur ve permeabilitesi artar.

Dinamik kompaksiyon sonucu zemin içerisinde yayılma hızı 3 km/s olan boylamsal dalgaların yanı sıra yüzey dalgaları ve enine dalgalar da gözlemlenir. (Şekil 1.2)

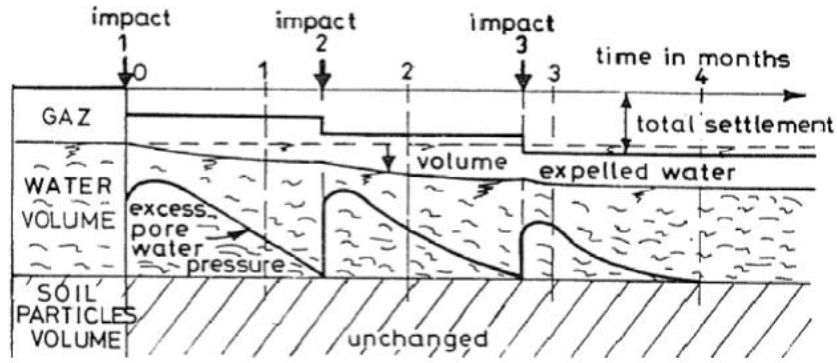


Şekil 1.2. Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan dalgalar (Impe, 1989)

Boylamsal dalgalar prensip olarak mevcut iskelet yapıyı yırtar ve zemin yüzeyinde kırılmaya uğrarken enine dalgalar ise derinde bulunan tabakaların sıkıştırılmasında etki eder. Enine dalgalar sonucu değişen kesme gerilmeleri (Şekil 1.3) sayesinde dane iskeletinin yeniden oturması esnasında tabakanın üst tarafında bulunan sıkıştırılmış zeminin permabilitesi büyük ölçüde iyileşir ve boşluk suyunun çıkışına sebep olur. Böylece dane, boşluk suyu ve havadan oluşan toplam hacim azaltılmış olur ve bunun sonucunda zemin iyileşir. (Şekil 1.4)



Şekil 1.3 Enine dalgalar sonucu değişen kesme gerilmeleri (Impe, 1989)



Şekil 1.4. Dinamik kompaksiyon sonucu su muhtevsındaki değişim (Impe, 1989)

Dinamik kompaksiyonun tesir derinliği olan H darbe enerjisine ($E_d = M \times h$), zeminin sönümlleme özelliklerine, düşürülen kütlenin şekline, dane iskeletinde bulunan boşluklarındaki su ve havaya ve boşluk suyunun drenaj imkânına bağlıdır. Genel olarak dinamik kompaksiyonun tesir derinliği;

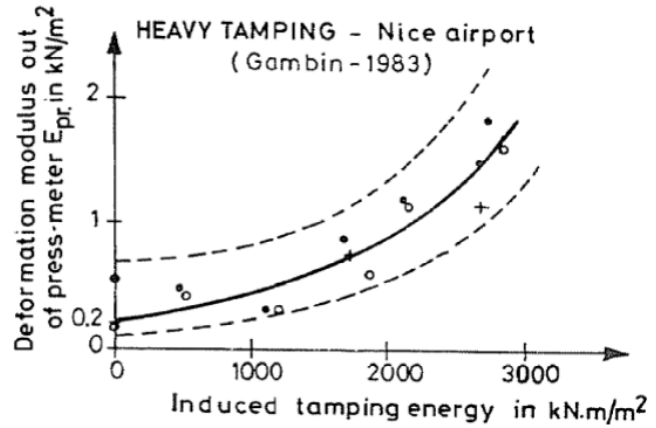
$$H = k\sqrt{Mh}$$

Şeklinde formülize edilir . Burada M (düşürülen cismin ağırlığı) ton, H (tesir derinliği) ve h (düşürme yüksekliği) metre olarak alınır. k ise azaltma kat sayısıdır ve 1'den büyüktür. Zeminin kil içeriği, heterojenliği ve su muhtevası artıka kat sayı azalır. Bazı durumlar için k değerleri Tablo 1.4'te gösterilmiştir.

Tablo 1.4. Farklı durumlar için k değerleri (Impe, 1989)

Zemin Tipi	Yazar	Önerilen k değeri
Genel	Ménard (1972)	$1/\sqrt{10}$
Katı Killer	Léonards ve diğ. (1975)	$0,5/\sqrt{10}$
Yumuşak Kil	Charles ve diğ. (1978)	0,35 - 0,40
Kaya Dolgular	Bjölgrund & Hang (1983)	1

Dinamik kompaksiyon enerjisinin zeminin elastisite modülüne etkisi Şekil 1.5’de belirtilmiştir. Görülüyor ki elastisite modülü 2 ile 10 kat arasında artmaktadır fakat oturmalar bekleneceğinden 4 ile 5 katı kadar azalmaktadır. Ayrıca drenajsız kayma mukavemetinin de 2 kat azaltılmasında daha doğru sonuç verir.



Şekil 1.5. dinamik kompaksiyonun zeminin elastisite modülüne etkisi (Impe, 1989)

Açıkça görülmekte ki darbeler altında zemin yüzeyinde kraterler oluşur krater tabanından daha yukarıda kalan kısım örselenir ve bu kısımlara iyileştirme uygulanamaz. Bu nedenle kraterlerin çok derin oluşmaması için yeterli kalınlıkta (1,50 – 2,00 m) kaya dolgu yapılması gerekir. Aynı zamanda bu üst tabaka çalışmayı yapan makine için bir taşıma zemini oluşturur ve fazla basınç altında zeminde bulunan artık boşluk suyunun yüzeye daha hızlı çıkışına etki eder. Çalışma vuruş noktalarının uygun bir şekilde dağıtılması ile alt tabakadan yüzeye doğru kademeli olarak sıkıştırılması planlanır. Sıkıştırma işlemi, kenarları 5 ile 20 m arasında değişen üçgen ya da kare şeklinde ayrılan bölgelerin köşelerinde uygulanır. Başta büyük mesafelerin kullanılması derin sıkıştırma etkisini arttırılabilir. Mesafelerin yakın olması ise yüzeye yakın tabakaların daha iyi sıkıştırılmasına katkı sağlar.

Kalsiyum karbonatın bol olduğu tabakalarda iyileştirme işlemi daha iyi sonuç verir iken montmorillonit gibi kil mineralleri içeren tabakalarda aksine sonuçların olumsuz etkilenmesine sebep olduğu bilinmektedir.

Dinamik kompaksiyonun kullanışlılığı konusundaki problemlerden biri; aşırı konsolide bir tabakanın sıkıştırılması sırasında daneler açıkça süspansiyon haline dönüştürmesidir. Aşırı konsolide tabakanın başlangıçtaki efektif basıncı yok olur ve bu da tabakanın sıkıştırma özelliklerine olumsuz yönde tesir eder.

Dinamik kompaksiyon esnasında çevredeki yapıların hasar görmemesine ayrıca dikkat edilmesi çok önemlidir. Depremlerde olduğu gibi tehlikenin nedeni çalışma sırasında meydana gelen dalgaların frekansı, genliği ve hızı olarak düşünülür.

Meydana gelen titreşimlerin frekansı genelde 5 Hz olup pek çoğu 12 Hz'den küçüktür ve çevre binalara zarar vermedikleri tespit edilmiştir. En çok dikkat edilmesi gereken özellikle büyük kütleler ile çalışılıyorsa meydana gelen titreşimlerin genlikleridir. Büyük kütlelerin meydana gelen titreşimlerin genliklerini büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir.

Örneğin Norveç'te bahsi geçen bu üç parametreden hız parametresi yapılan inşaat çalışmaları için sınırlandırılmaktadır. Bu yasaya göre normal bir inşaat esnasında meydana gelecek titreşimlerin hızı 50 mm/s olarak sınırlandırılmaktadır. Ayrıca çevrede nükleer santral gibi önemli yapıların bulunması durumunda limit daha da düşürülür.

1.7.1. Avantajları (SCDOT, 2010)

- İşlem bir sondalama ve düzeltme aracı olarak da değerlendirilebilir. Düşürülen ağırlıkla gevşek zeminlerin ve mağaraların varlığı saptanabilir ve bunların yaratabileceği olası problemler önceden belirlenebilir.
- Zemin sıkışması çalışma esnasında açıkça gözlemlenir. Birkaç düşürme işlemin ardından sıkışan kraterler zeminin sıkıştırdığı anlamına gelir.
- Dinamik kompaksiyon heterojen yataklarda (aşınmış kaya parçacıkları, gevşek dolgular, inşaat hafriyatları ve katı atıklarda) kullanılması hususunda bir problem bulunmaz.
- Sıkıştırma işlemi su seviyesinin altındaki tabakalara etki edebildiğinden pahalı drenaj işlemlerinden kurtulma noktasında fayda sağlar.
- Taşıyıcı tabakayı eşit olarak sıkıştırması nedeni ile farklı oturmaları minimum bir seviyeye indirir.

- Standart inşaat ekipmanları çok büyük ağırlıklar ve yüksekliklerle çalışılmadığı sürece dinamik kompaksiyonda kullanılmasında bir sakınca yoktur. Çok büyük ağırlıklar ve yükseklikler için bu konuda uzmanlaşmış ekipler ile çalışılmalıdır.
- Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan kraterlerin su dolması önleildiği takdirde kötü hava koşullarında da uygulanabilir.

1.7.2. Dezavantajları (SCDOT, 2010)

- Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan titreşimler darbe noktasından çok uzak mesafelere ulaşabilir ki bu titreşimler nedeni ile yerleşim bölgelerine yakın yapılan çalışmalarda daha hafif kütleler ve alçak yükseklikler kullanılmasını gerekli kılar.
- Yer altı su seviyesinin yüzeye 2 m'den yakın olduğu bölgelerde yüzeydeki bölgenin yumuşamasına sebep olabileceği gibi ağırlık zemine saplanabilir.
- Çok gevşek bölgelerde çalışma platformu kullanılması gereklidir. Bu platform düşürülen kütlenin zemine penetrasyonunu azaltmak için kullanılır ve projeye büyük maliyetler yükleyebilir.
- 146 kN ile 292 kN arası sıkıştırma enerjilerinde kaynaktan 7 m mesafede büyük yatay deplasmanlar (3 – 8 cm) kaydedilmektedir. Bu durum yakında bulunan gömülü yapı ve altyapılarda problemlere sebep olur.

1.7.3. Çevresel kısıtlamalar

Daha önce de belirtildiği gibi dinamik kompaksiyonun çevreye bazı olumsuz etkileri bulunur. Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun çalışmalarına göre çevre binaların zarar görmesi titreşimin partikül hızıyla direkt ilişkilidir (Elias, 2006). Bu rapora göre titreşimlerin frekansına bağlı olarak partikül hızlarının limitleri belirlenmiştir. Normal koşullarda dinamik kompaksiyon 5 ile 12 Hz arası frekanslı titreşimler oluşturur.

1.8. Mikrotremor

Doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan, genlikleri 0,1–1 mikron arasında ve periyotları 0,05 ve 2 sn aralığında değişen yer titreşimlerine mikrotremor adı verilmektedir. Mikrotremorun Türkçe ifadesi 'titreşimcik' olarak tanımlanabilir. İlk

mikrotremor çalışması 1960'lı yıllarda Japonya'da 'Kanai' tarafından yapıldığı bilinmektedir.

Mikrotremorların genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Periyotları 0,05 ila 2 sn arasında seyrederek.
- Genlikleri; 10^{-4} - 10^{-2} milimetre arasındadır ve 0,1 ila 1 mikron mertebelerindedir.
- Dalga şekilleri düzgün değildir.
- Gündüzleri gecelere göre daha hareketlidir.
- Grup halindeki titreşimler daha kısa periyotludur.
- Yapay ve doğal nedenlerden dolayı oluşabilirler.



Resim 1.3. Mikrotremör Ölçüm Cihazı

1.8.1. Mikrotremor ölçümlerinin amacı

- Zemin cinsleri ve arazi tabakalanmasının tespit edilebilmesi.
- Yer hareketinin yerel zemin koşulları etkisiyle oluşturabileceği büyütme özelliklerinin tespit edilmesi.
- Zemin baskın periyodunun tespit edilmesi.
- Özellikle mikro bölgeleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan mikrotremor sayesinde sismik bölgelendirmeler yapılabilmesi.
- Bölgelerin potansiyel jeoteknik risklere karşı farklı risk derecelerinde tanımlanmasının yapılabilmesi (Bolbol, 2016).

1.8.2. Mikrotremor ölçümlerinin alınmasında dikkat edilecek hususlar

- Çok hassas üç bileşenli (iki yatay, bir düşey) sismometrelere ihtiyaç duyulmaktadır.
- Kaydın her noktada anlamlı bir süre için alınması yerinde olur.
- Yerleşimin ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu yerlerden kaçınılmalıdır.
- Ölçümler gece saatlerinde alınmalı ve gürültüsüz (rüzgar ve meteorolojik dahil olmak üzere) uygun alanlar (asfalt ve kaya olmayan) seçilmelidir.
- İvmeölçerler yerine hızölçerler tercih edilmelidir. Çünkü ivmeölçerlerin tüm bileşenleri için geniş frekans bandında gürültü çözümlemesinde, yeterli çözünürlük gücüne sahip değildir.
- 1 sn'den daha uzun periyotlu titreşimlerin analizi yapılacaksa 5 sn veya 10 sn'lik hızölçerler tercih edilmelidir.
- Mekanik ve elektronik gürültüye neden olabilecek uzun, dış donanımlardan kaçınılmalıdır.
- Ölçümler sırasında hava koşulları önemlidir. Yağmurlu ve rüzgarlı günlerde ölçüm alınmamalıdır. Rüzgar düşük frekanslarda büyük sapmalara neden olmaktadır (Bolbol, 2016).

1.8.3. Mikrotremor ölçümlerinden alınan verilerin analizi

Mikrotremor kayıtları hız sismometreleri ile yapılmaktadır. Mikrotremor ölçümleri ayrı noktalarda ayrı zamanlarda alınabildiği gibi bir bölgedeki titreşim özelliklerinin noktalar arasında ya da seçilen bir bağıl noktaya göre gösterdiği değişimin belirlenmesi istendiğinde, genellikle bir çizgi üzerine yerleştirilen çok sayıda sismometreden oluşan düzenlerle eş zamanlı olarak da alım yapılabilmektedir (Bolbol, 2016).

Spektral analiz yöntemleri kullanarak, sismik dalga karakteristikleri ve bu dalgaların yapılar üzerindeki etkisinin anlaşılması mümkün olabilmektedir. Gözlenen dalganın spektrumu bize dalganın hangi yolu izleyerek geldiği ve bu yol üzerinde neler tarafından etkilendiği başka bir değişle zemin koşullarının sismik dalga yayılımı üzerindeki etkisi hakkında verimli bilgiler vermektedir. Zeminde kaydedilebilen ve çeşitli nedenlerden kaynaklanan çok küçük genlikli titreşimler olarak adlandırılan mikrotremor dalgalar için de spektral analiz yöntemlerinin kullanılması ve mikrotremor

karakteristiklerinin zemin koşullarından ne şekilde etkilendiğın tespit edilebilmesi mümkündür. (Bolbol, 2016)

Alının zaman verileri için Fourier dönüşümü yapılarak frekans spektrumuna göz atılır. Frekans spektrumunda tüm enerji ya bir çan biçimli doruk altında ya da tüm frekans aralığında birkaç tane çan biçimli doruk altında birikir. Her doruk, o yeri etkileyen ayrı bir titreşim ya da salınım bileşenini işaret eder. Bunlara harmonik denilmektedir. ($f_1, f_2, f_3, f_4, \dots, f_n$). Bunlar $f_1, f_2, f_3, f_4, \dots, f_n$ frekanslarında $g_1, g_2, g_3, g_4, \dots, g_n$ genliklerinden teşkil edilirler. Bu harmoniklerden küçük frekanslı olanlar tüm derinlikleri (f_1) orta frekanslar orta derinlikleri ($f_2, f_3, f_4, \dots$) en yüksek frekanslı olan (sağa doğru = f_n) sığ derinliklerde oluşan titreşimlerdenidir. O nedenle, yapı statığında kullanılmak üzere tüm yapıyı simgeleyen f_1 frekansı ($1/T_1$) ya da en büyük enerjiyi içeren baskın periyot (T_B) olarak kabulü yapılır. Kimi durumlarda T_1 ve T_B aynı olabilmektedirler. Hangi doruk bileşen çanı altında kalan yüzey büyük ise, o frekansa denk gelen titreşim yöreyi en çok etkileyen titreşim kaynağı olarak kabul edilir. (Bolbol, 2016)

Genel olarak spektral analiz yöntemleri kullanılarak sismik dalga karakteristikleri tanımlanmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla Fourier dönüşüm tekniğı ile kayıtların spektrumları tespit edilir (Bolbol, 2016).

Mikrotremor verilerinin analiz edilebilmelerinde (Mikrotremor verilerinin incelenmesi ile elde edilen Fourier spektrumlarının değerlendirilmesinde) yaygın olarak dört yöntem kullanılmaktadır:

- Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının doğrudan yorumlanması,
- Sert zeminde veya kaya üzerinde bulunan bir referans istasyonuna göre spektral oranların tespit edilmesi,
- Yatay hareket bileşenlerinin düşey hareket bileşenine göre spektral oranlarının tespit edilmesi (Nakamura Yöntemi),
- Sıfır kesme yöntemi (Kanai Yöntemi) ile mikrotremor verilerinin analizi ve zemin sınıflandırmalarının yapılması (Bolbol, 2016).

İlk üç yöntemin ortak özelliğı yerel zemin etkisinin elastik yarı sonsuz ortam üzerinde yer alan tek bir yumuşak zemin tabakasından kaynaklandığı varsayımına dayanır. Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının doğrudan değerlendirilmesi sonucu zemin hâkim periyodunun bulunması ve referans istasyonuna göre spektral oranların elde edilmesi veya yatay hareket bileşenlerinin düşey hareket bileşenlerine göre

spektral oranların belirlenmesi sonucunda zeminlerdeki büyütme seviyelerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Bu durumda iki boyutlu ve üç boyutlu yerel zemin etkileri ihmal edilmektedir (Lermo ve Chavez, 1994).

1.8.4. Mikrotremor ölçümlerinin uygulaması

Tez çalışmamızda; uygulama alanında 3 ayrı lokasyonda 5'er adet 10 dk lık mikrotremör ölçümü alınmıştır. Toplam 15 adet mikrotremor ölçümü alınmıştır. Arazi ortamında alınan mikrotremor ölçümleri Geopsy programında modellenmiştir. Geopsy programında değerlendirilmiş pencere boyu 30-45 sn aralığındadır. Bu titreşimler jeotermal aktiviteler, yeraltındaki sismik aktiviteler, atmosfer etkileri, yerkürenin belli bir ekseninde dönmesi, gelgit etkisi, rüzgâr ve kültürel gürültüler (trafik, endüstriyel aktiviteler vb. bazı insan kaynaklı etkiler) nedeniyle oluşmaktadır. Tüm bu sayılan olayların yeryüzüne etkisi titreşim olarak yansır. Nakamura Yönteminin temelinde, mikrotremorların yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tek tabakalı gevsek bir zeminde ağırlıklı olarak Rayleigh dalgası olarak yayıldığı, ayrıca mikrotremorların bölgesel, yakın yüzey kaynaklarından etkilendiği ve derin kaynakların etkisi olmadığı varsayımları yapılarak tasarlanmıştır. Diğer bir varsayım ise düşey bileşenin zemin tabakası tarafından büyütülmediğidir. Yani zemin tabakasının yüzeyindeki hareketin düşey bileşeninin genlik spektrumunun, zemin tabakasının tabanındaki hareketin düşey bileşeninin genlik spektrumuna oranının 1 olduğu varsayılmaktadır. Zaman ortamında alınan sayısal veriler, Fourier dönüşümü ile frekans ortamına taşındıktan sonra, verilerin frekans içerikleri ve genlikleri ile ilgili analizler ve değerlendirmeler yapılabilir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

İyileştirme veya güçlendirme, zeminin belirli özelliklerinin, bir mühendislik uygulaması amacıyla fiziksel, kimyasal, mekanik veya biyolojik yöntemler kullanılarak ıslah edilmesi olarak tanımlanır. Zemini iyileştirmedeki amaç; taşıma gücü yetersiz alanlara yapı inşaatına bağlı ağır yük uygulanması durumlarında; deprem, kütle hareketleri, akma veya toprak kayması gibi afetlerden etkilenebilecek yapı temel zeminlerini inşaatı başlamadan önce (bazen inşaatı sonrasında) daha uygun ve yeterli koşullara getirmektir.

Zaman içerisinde geliştirilen birçok zemin iyileştirme yöntemiyle, problemli zeminler ıslah edilerek; zemindeki oturma problemi ortadan kaldırılmakta, şev veya kütle hareketlerinin önüne geçilebilmekte, taşıma gücü ile güvenlik katsayısı artırılmakta ve deprem anında sıvılaşan, mukavemeti azalan zeminler sağlamlaştırılabilmektedir.

Zemin iyileştirmede çok sayıda yöntem mevcuttur. Yöntemler arasından yapılacak seçim; zemin türüne, iyileştirmedeki amaca, uygulanacak derinliğe, yapı yüküne, temel derinliğine, iyileştirme yöntemi için kullanılacak donanım-malzemelere, yöntemlerin verimliliğine ve ekonomikliğine göre belirlenmektedir.

Her mühendislik yapısının zemin durumu ve problemi kendisine özgüdür. Farklı zemin, yapı ve yeraltı suyu durumu için değişik iyileştirme yöntemleri önerilebilir.

Zemin iyileştirme ve güçlendirme yöntemlerinin zamana bağlı gelişimi tarihsel sıraya göre aşağıda özetlenmiştir:

Zemin türlerine göre farklı iyileştirme veya güçlendirme yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına, zemine yapacağı katkı göz önüne alınarak karar verilmelidir (Rodriquez, 1988).

Mekanik, kimyasal, bitüm, zemin enjeksiyonu vb. birçok yeni sağlamlaştırma tekniği geliştirilmiştir (Tunç, 2002).

Zemin iyileştirme ve güçlendirme teknikleriyle, derin temel sistemlerinden daha ekonomik ve daha çabuk uygulanabilen jeoteknik çözümler üretilebilmektedir. Ancak, yöntemlerin hepsinin benzer zemin koşullarına uygulanması söz konusu değildir (Nalçakan, 2004).

Amerika Devlet Karayolu ve Ulaşım Görevlileri Birliği (AASHTO) Sınıflandırma Sistemine (AASHTO-T193) göre; zemin sınıflaması A-1'den (en iyi zemin) A-8'e (en kötü zemin) değişmektedir. Burada A-5, A-6, A-7, A-2(6), A-2(7) sınıfında olan

zeminlerin duraylı hale getirilmesi için iyileştirme uygulanması tavsiye edilmektedir (Thomson, 1969; ASTM D 1633; TS 1900-1).

Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) göre; CH, CL, MH, ML, GC, SC sınıflarına giren, plastisite indeksi 10'dan büyük ($PI \geq 10$) veya Kaliforniya Taşıma Oranı 10'dan küçük (Yaş CBR% <10) veya CBR şişme oranı 3'e eşit veya daha büyük (CBR% ≥ 3) olan zeminlere iyileştirme yapılması önerilmektedir (ASTM D 1633; TS 1900-1).

2.1. Çimento Enjeksiyonu İle İlgili Çalışmalar

Zeminin direncini arttırmak ve bu direncin değişik hava, yük ve iklim şartlarına karşı uzun zaman dayanacak hale gelmesini sağlamak amacıyla yapılan iş ve işlemlere zemin stabilizasyonu denir. Ufalanabilen ve toz halinde serpiştirilebilen zeminlerin, belirli oranlarda çimento ilave edilerek, optimum su içeriğinde sıkıştırılması işlemine çimento stabilizasyonu denmektedir (Alataş, 1997).

Zemin enjeksiyonu sırasında deformasyona karşı direnci arttırmak için çimento, kireç, uçucu kül, doğal puzolan, vb. maddeler katılarak yapılan zemin ıslahına kimyasal stabilizasyon denmektedir. İri taneli zeminlerin (GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC) ıslahı için kullanılabilir (Tunç, 2001).

Zemin sıvılaşmasının önlenmesi için, rijit yapı-bodrum-temel tasarımı vb. bazı yöntemler önerilmektedir. Jet-grout enjeksiyonu sırasında şerbetin dağılımını ve oluşan geometriyi belirlemek zor olacağından dikkatli ve detaylı gözlem ve kontrol testleri yapılmalıdır (Altun, 2010).

2.2. Kireç Şerbeti Enjeksiyonu-Kireçle Stabilizasyon ile İlgili Çalışmalar

Zeminin kireç ile ıslahında; zemin-kireç karışımının niteliğini zeminin tipi, kireç miktarı ve karışımının kür süresi etkilemektedir (Cilason, 1964).

Kireçle zemin ıslahında serilecek malzeme, sulanarak optimum su içeriğine getirildikten sonra sıkıştırma işlemi yapılmalıdır (Atanur, 1971).

Sönmüş kireç, puzolanik madde olarak bilinen killi zeminlerle karıştırıldığında kimyasal reaksiyona girer, iyon alışverişi etkisiyle doğal çimento meydana gelir. Bu malzemenin belirli bir su içeriğinde sıkıştırılmasıyla ilk sertleşme başlar (Atanur, 1973).

Kireçle zemin ıslahı eski bir yöntem olmasına rağmen, yollarda, havaalanlarında ve park alanlarında halen uygulanmaktadır (Özbayoğlu, 1997).

Karayolları Teknik Şartnamesine göre, zemin stabilizasyonunda kullanılacak kireç, çevreye zarar vermeyecek şekilde standartlara uygun depolanmalı, uygulama esnasında gerekli güvenlik önlemleri alınmalı ve rüzgârlı havada kullanılmamalıdır (KGM, 2005).

Standartlara uygun bir şekilde yapılan kireçle zemin ıslahında dayanım, 1 yıla kadar belirli bir seviyede kalır. Zeminin serbest basınç dayanımı eklenen kireç oranında artar (Kavak ve diğ., 2008).

Kireçle stabilizasyon işleminde, serbest basınç ve çekme mukavemetleri için tavsiye edilen sınır değerlerine dikkate edilmesi oldukça önemlidir (ASTM D 1633).

2.3. Dinamik Sıkıştırma İle İlgili Çalışmalar

Dinamik kompaksiyon, belirli bir yükseklikten ağır bir kütlenin düşürülmesi sonucu zeminin daha sıkı hale gelmesini sağlayan bir iyileştirme yöntemidir. Düşen ağırlık ve düşme yüksekliği birbirinden bağımsız değişkenler olmayıp aralarında doğrusal bir ilişki vardır. Dinamik derin kompaksiyon, en eski sıkıştırma yöntemlerinden biridir. İlk kez Proctor tarafından 1940'lı yıllarda öne sürülmüştür. Bu sıkıştırma tekniği ilk kez 1957'de İngiltere Yol Araştırma Laboratuvarı'nda analiz edilmiştir. Tam anlamıyla 1970'lerin başında Menard tarafından kullanılmıştır. Bu yöntem, ilk kez Menard ve Broise (1975) tarafından önerilmiş ve uygulanmıştır.

Doygun veya doyguna yakın zeminlerin ani bir darbe ile sıkışmasını sağlayıp; kesme deformasyonu ve geçici boşluk suyu basıncı artışı sağlayarak konsolidasyonu arttırmaktır. İri daneli, gevşek ve suya doygun kumlu zeminlerde taşıma gücünü ve sıvılaşma direncini arttırmaktadır (Mayne, 1984).

Dinamik derin kompaksiyon yöntemi, alanın/projenin özelliğine bağlı olarak, ıslak veya kuru karıştırma şeklinde 2 (iki) ayrı şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntemin avantajları ve dezavantajları göz önüne alınarak uygulama şekline karar verilir. Avantajlardan bazıları: Düşürülen ağırlıkla gevşek zeminlerin ve mağaraların varlığı saptanabilir ve olası problemleri önceden belirlenebilir. Zemin sıkışması çalışma esnasında net görülebilir. Birkaç düşürmeden sonra oluşan kraterler zeminin sıkıştırdığı anlamına gelir. Dinamik kompaksiyon heterojen alanlarda kullanılabilir, problem oluşturmaz. Sıkıştırma işlemi, yeraltı su seviyesinin altındaki tabakalara etki edeceğinden

drenaj masraflarını azaltır. Tabakaları eşit sıkıştırdığı için farklı oturmaları en aza indirir. Standart inşaat ekipleri/donanımları ile çok büyük ağırlıklar ve yüksekliklerle çalışılmadığı sürece dinamik kompaksiyonda da kullanılabilir. Çok büyük ağırlıklar ve yükseklikler için uzmanlaşmış kişilerle çalışılmalıdır.

Dinamik derin kompaksiyon yöntemi, ağır bir kütlenin yüksekte serbest olarak zemine düşürülmesi temeline dayanır. Bu düşürmeler, yerel zemin koşullarına, kütlenin ağırlığına ve taban alanına bağlı olarak; bir uygulama alanında belirli sayıda ve zaman aralığında gerçekleştirilir. Başlangıçta gevşek kum, çakıl ya da uç direnci 10 MN/m^2 'den küçük olan taneli zeminlerin sıkıştırılması için denenmesine rağmen, kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılması için de kullanılabilir (Impe, 1989).

Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun çalışmalarına göre, dinamik kompaksiyon nedeniyle çevre binaların zarar görmesi söz konusu olup, titreşimin partikül hızıyla direkt ilişkilidir. Titreşimin frekansına bağlı olarak partikül hızları için sınır değerler getirilmiştir. Normal şartlarda dinamik kompaksiyon, 5-12 Hz arası frekansta titreşim üretir (Elias, 2006).

Dinamik kompaksiyon sırasında ortaya çıkan sarsıntı, yakın çevrede bulunan diğer binalara, su-kanalizasyon-doğalgaz vb. altyapıya veya hassas ekipmanlara zarar verebileceği gibi insanları da rahatsız edebilir. Bu zemin titreşimleri kazık imalatı, patlatma, trafik, inşaat aktiviteleri vb. sonucu oluşan titreşimlerden çok daha fazla rahatsızlık oluşturmaktadır (Hwang ve diğ., 2006).

Dinamik kompaksiyonla oluşan kraterlere su dolması önlenabilirse, yağışlı havalarda da uygulanabilir. Dezavantajlarından bazıları ise: Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan titreşimler darbe noktasından çok uzak mesafelere ulaşabilir ki bu titreşimler nedeni ile yerleşim bölgelerine yakın çalışmalarda daha hafif kütleler ve alçak yükseklikler kullanılmasını gerektirir. Yer altı su seviyesinin yüzeye 2 m'den yakın olduğu bölgelerde yüzeydeki bölgenin yumuşamasına ve ağırlığın zemine gömülmesine neden olabilir. Çok gevşek alanlarda, çalışma platformu kurulması gerekir. Bu platform düşürülen kütlenin zemine gömülmesini önler ancak, projeye büyük maliyetler getirebilir. Sıkıştırma enerjisi etkisiyle, kaynaktan 7 m mesafede büyük yatay öteleme (3-8 cm) oluşturduğu için yakındaki gömülü yapı ve altyapılarda probleme neden olabilir (SCDOT, 2010).

Rock Spring bölgesinde (Colorado-ABD) terk edilmiş bir madenin yıkılması için 25-35 ton ağırlık düşürülerek yapılan dinamik kompaksiyon uygulamasında yakınında bulunan binalar hasar görmüştür. Bu işlem sırasında yapılan şikâyetlere istinaden çalışma

durdurulmuştur. J.A.Cesare & Associates adlı mühendislik firması tarafından; hasar sebebinin dinamik kompaksiyon olduğu, bu tür uygulamalarda titreşim kaynaklı oturmaların ve hidromekanik etkiyle de deplasmanların gelişebileceği ifade edilmiştir (Gearino, 2010).

2.4. Epoksi Enjeksiyonuyla Zemin İyileştirme-Güçlendirme İle İlgili Çalışmalar

Juesheng ve diğ. (1985) çalışmalarında; di-feniliyodonyum hekza-floroarsenat içeren termal sertleştirilebilir epoksi sisteminin sertleşme reaksiyonunu, “Ayrımlaştırılabilir Taramalı Kalorimetri (Differential Scanning Calorimetry-DSC)” düzeneğinin dinamik ve izotermal özelliğini kullanarak incelemişlerdir. Sertleşmenin iki ardışık reaksiyonda oluştuğunu tespit etmişler. İlk tepkime sonunda oluşan ürünün IR spektrumunda 1220 cm^{-1} 'de Ph-O-C bağına belirleyen bir pik ve UV spektrumunda 272 nm 'de bir fenil eter son grubunu belirleyen bir pik noktası tespit etmişlerdir. İkinci işlem sonunda elde edilen ürünün IR spektrumunda 1260 cm^{-1} 'de Ph-O-C bağına gösteren bir pik noktası daha belirlemişlerdir. Ayrıca bu iki tepkime için kinetik parametreler de tespit etmişlerdir.

Arslan (1991), betonarme kirişlerin, epoksi ile çelik levha yapıştırılarak onarılması ve güçlendirilmesi çalışmasında; dayanım, süneklik, enerji tüketimi, rijitlik özelliklerini araştırarak, güçlendirme levhası başlığı tutulmuş kirişler ve yüksüz onarım yapılmış kirişin iyi davranış sergilediğini tespit etmiştir.

Sanchez ve diğ., (1993) yaptıkları çalışmada, sertleştirilmiş epoksi reçinelerinin termal davranışlarını TGA, DSC ve FTIR ile incelemiş ve farklı epoksi/ amin (DGEBA/ETDA) oranlı üç sistem ve metalik dolgu maddeleri (Al, Cu, Zn) ile termal davranışlarını irdeleyerek termal dekompozisyon için kinetik parametreleri hesaplamışlar ve metalik dolgu maddesi ilavesiyle E_a 'nın azaldığını tespit etmişlerdir.

Allen ve Ishidan (1996) yaptıkları çalışmada benzoksazin kataliz etkisiyle, açık halka polimerleşmesi esaslı yeni bir sınıf fenolik zincirli termoset reçine üzerine çalışmışlar. Üstün fiziksel ve mekanik özellikler gösteren bu ürünlerle, geleneksel noalok ve resol tipi fenolik reçinelerin birleştirilmesiyle, pek çok kusurun giderilebileceğini tespit etmişler. Benzoksazinleri, performanslarını arttırmak için epoksi reçinelerle kopolimerleştirmişler. Polibenzoksazin ağına epoksi katarak, termoset yapının çapraz bağlanma (crosslinking) yeteneğini arttırmış ve buna bağlı olarak da ürünün mekanik

özelliklerini iyileştirmişler. Eş-polimerleşmenin, poli-benzoksazin'in esneme direncinde önemli artışlara sebep olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Mamedov ve diğ., (1997) çalışmalarında, çeşitli paramanyetik merkezli yarı iletken, oligorezorsinoller, oksidatif polikondenzasyon yöntemi ile sentezleyerek elektriksel iletkenlik özelliklerini incelemişlerdir.

Epoksi reçineler, 20 yy. ilk yarısından itibaren araştırılmaya ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Epoksi reçineler, yüksek mekanik özellikleri ve kolayca uygulanabilmesi nedeniyle çokça tercih edilmektedir. Gösterdiği yüksek adezyon, sertleşme sırasındaki düşük büzülme özelliği, farklı sıcaklıklarda çabuk sertleşebilmesi, uygulandıktan kısa süre sonra performansını göstermesi gibi birçok avantaja sahiptir. Ancak, UV ışınlarına karşı dayanımsızlığı, pahalı olması ve düşük esnekliği bu malzemenin önemli dezavantajlardır. Çalışmalarda çok dikkatli olunmalı, teknik bilgisi yüksek ve deneyimli kişilerce uygulamalıdır (Işık, 1999).

Epoksi reçine teknolojisi 1930'lu yıllarda uygulamaya başlanmış ve glisidil eter esaslı epoksi reçineler hazırlanarak, sertleştirici katıldıktan sonra iyileştirme amaçlı olarak uygulanmıştır. Ciba-Geigy (Avrupa'da) ve Shell (ABD), 1940'ların ortalarından başlayarak "bi-sfenol A di-glidil eter" esaslı reçineleri ticarileştiren ilk firmalardır. Epoksi reçine üreticisi sayısı, reçine türü ve sayısı artmıştır (Bulmuş ve diğ., 2000).

Şahmetlioğlu (2000) çalışmasında üç farklı epoksi reçine (Bi-sfenol A esaslı, epoksi novalak ve epoksi oligonaftol) sentezleyerek bunları piyasadan temin ettiği üç farklı sertleştirici (etilendiamin, melamin ve adalit) ile farklı sıcaklıklarda reaksiyona sokmuştur. Metalürjik kok tozunu bu çalışmada sentezlenen reçineler ile sertleştirici karışımlarını kullanarak en uygun serleşme koşullarını saptamayarak suda çözünmeyen ve çevre kirliliğine minimal düzeyde etki eden briket elde etmeye çalışmıştır.

Kaygusuz (2008) çalışmasında, yangından hasar gören farklı karışım türlerindeki betonların GFRP ve epoksi enjeksiyonu ile onarımı ve güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Yangın hasarına uğramış numuneler üzerinde uygulanan epoksi enjeksiyonu ile onarım çalışmalarında beton basınç dayanımlarında iyileşmeler tespit etmiştir. Yangın hasarına uğramış numuneler üzerinde epoksi enjeksiyonu sonrası gerçekleşen iyileşme onarım öncesine kıyasla %2 ila %123 arasında kaldığını belirtmiştir.

Yavuzcan (2008) çalışmasında, tersinir yük etkisiyle hasara uğratılmış betonarme kirişlerde oluşan çatlakların epoksi enjeksiyonu ile onarılmasından sonraki eğilme rijitliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çatlakları epoksi ile onarılmış kirişlerde eğilme rijitliğinin, uygulama kalitesine ve çatlakların genişliğine büyük ölçüde bağlı olduğunu

ifade etmektedir. Orta genişlikteki çatlaklarda daha başarılı sonuçlara ulaşmış ve eğilme rijitliğinde artışlar olduğunu gözlemiştir. Dar çatlaklarda epoksi enjeksiyonu yeterli şekilde uygulanamadığından eğilme rijitliğinde artış gözlenmemiştir. Geniş çatlaklarda, sıkışabilen epoksi kalınlığı arttığı için eğilme rijitliğindeki artışın donmuş epoksinin elastisite modülüne bağlı olduğunu gözlemiştir.

2.5. Mikrotremor Ölçümleri ile İlgili Çalışmalar

Genlikleri 0,1–1,0 mikron (μ) arasında ve periyotları (T) 0,05-2,0 sn aralığında değişen, dış etkenlerle yer kabuğunda oluşan küçük salınımlar mikrotremor (titreşimcik) olarak adlandırılmaktadır (Kanai ve Tanaka, 1954; Kanai ve Tanaka, 1961).

Nogoshi ve Igarashi (1971) çalışmalarında, mikrotremor kayıtlarından elde edilenlerle Rayleigh dalgalarının H/V (yatay/düşey) değerlerini karşılaştırmışlar ve mikrotremorların çoğunlukla Rayleigh dalgalarından oluştuğu sonucuna varmışlardır.

Mikrotremor rüzgâr, okyanus dalgaları, jeotermal reaksiyonlar, küçük magnitüdlü yer sarsıntıları gibi doğal veya insan eliyle oluşan trafik, patlatma, vb. gibi yapay etkenlerle meydana gelmektedir (Katz, 1976).

Nakamura (1989) yaptığı araştırmada, tek bir yerdeki titreşimciklerin yatay spektrumlarının düşey spektrumlarına oranlanması sonucunda; bölgesel yer etkilerinin hesaplanabildiğini göstermiştir. Pik frekans aralığında mikrotremörün H/V'si düşey gelen SH dalgasıyla açıklanabildiğini, yaptığı 30 dakika süreli mikrotremor ölçüm kayıtlarını kullanarak, kültürel etkilerin Fourier spektrumunu değiştirdiğini ve değişken kaynakların doruk periyotları üzerinde etkisi olduğunu ifade etmiştir.

Mikrotremor kayıtlarının Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının değerlendirilmesi sonucu; zemin hâkim titreşim periyodunun bulunması ve referans istasyonuna göre spektral oranların elde edilmesi veya yatay hareket bileşenlerinin düşey hareket bileşenlerine göre spektral oranları yardımıyla, zeminlerin büyütme değeri belirlenebilmektedir. Bu durumda iki boyutlu ve üç boyutlu yerel zemin etkileri ihmal edilmektedir (Lermo ve Chavez, 1994).

Ölçümler sırasında hava koşulları önemlidir. Yağmurlu ve rüzgarlı günlerde ölçüm alınmamalıdır. Rüzgar düşük frekanslarda büyük sapmalara neden olmaktadır (Muccirelli, 1998).

Aşçı ve diğ. (2005), zemin titreşimi sonucu oluşan sıvılaşma ile zeminin baskın periyodu arasında bir ilişki olması gerektiği ön görüşünden hareketle; kıyı kesimindeki

bir zemini özdirenç, sondaj ve sismik ölçümlerle araştırmışlardır. Çalışma sonucunda mikrotremor ölçümleriyle hazırlanan baskın periyot haritasında yüksek salınım gösteren bölgeler ile yüksek sıvılaşma riski taşıyan bölgelerin çakıştığını belirlemişlerdir.

Siyahi ve diğ. (2005) çalışmalarında, Adapazarı'nda, mikrotremor ölçümleriyle belirledikleri zemin büyütmesi değerleri ile mikro bölgeleme yapmışlardır. Yorumlarını, Nakamura yöntemiyle-Fourier genlik spektrumlarından zemin salınım periyodu ve zemin büyütmesini hesaplayarak yapmışlar. Mikrotremor ölçümleri yapılan bölgelerin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine göre; 1999-Kocaeli depreminde oluşan hasarı kıyaslamışlar. Salınım periyotlarının yerel zemin özelliklerine bağlı olarak değiştiği ve yapısal hasar dağılımıyla paralellik gösterdiğini ifade etmişler.

Çoşgun ve diğ. (2007), örnek bir yapıda, dinamik davranışa etkisi olduğunu öngördükleri; zemin özellikleri, yapısal özellikler ve yapının içinde yapının davranışını etkileyen iş makineleri kaynaklı titreşimler vb. 3 (üç) faktörün etkisini mikrotremor ölçümleri olarak incelemişlerdir.

Karabulut ve diğ. (2009), 17 Ağustos 1999-Kocaeli depreminden sonra, Avcılar kampüsünde, güçlendirme ve onarım sürecine girmiş bir Fakülte binanın hâkim titreşim periyodu değişimini araştırmışlardır. Zemin yapı etkileşimini ortaya koyabilmek için mikrotremor ölçümleri olarak, yatay/düşey spektral oran tekniği ile fakülte binasının salınım periyodunu hesaplamışlardır.

Bayülke (2011), betonarme çerçeveli yapıların, düşük genlikli titreşimler altında mikrotremor ölçümleri yaparak dolgu duvarsız ve duvarlı yapıların salınım periyotlarını karşılaştırıp, dolgu duvarların yapının salınım periyoduna etkisini araştırmıştır.

Tekebaş ve diğ. (2011) çalışmasında, mikrotremor ölçümlerinin güvenilir bir değerlendirmesi için gereken 3 temel koşulu irdelemişlerdir. Bunlar, tahmin edilen T_0 'a göre seçilmesi gereken pencere sayısı, tüm kayıt içerisindeki belirgin devirlerin sayısının 200'den büyük olması gerektiği ve f_0 değerinin 0,5 Hz'den büyük veya küçük olmasına göre H/V eğrisinin standart sapmasının (σ) belli değerlerden küçük olması ($f_0 < 0,5\text{Hz}$ ise $\sigma < 3$ ve $f_0 > 0,5\text{Hz}$ ise $\sigma < 2$) koşullarıdır. Bu koşulların etkisini araştırmak için kullanımı kolay bir ara yüz hazırlamışlar.

Utku ve diğ. (2011) çalışmalarında, iki farklı zeminde, Nakamura tekniğiyle mikrotremor ölçümleri yaparak; bu yöntemdeki sınırlamaları-kısıtlamaları araştırmışlar. Yatay bileşenin düşey bileşene oranı (H/V) prensibine dayanan Nakamura yaklaşımı ile zeminden hem doğal haliyle, hem de güçlendirme yapılmış haliyle mikrotremor ölçümleri olarak: Nakamura tekniğiyle zeminlerin ayırt edilmesinin mümkün olmadığını ifade

etmişlerdir. Bunun nedeni olarak; Nakamura tekniğindeki (H/V) oranının ölçüm alanındaki ortalama dinamik davranıştan etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Özcan (2013) çalışmasında, kat sayıları ve taşıyıcı sistem özellikleri farklı olan mevcut betonarme yapılarda mikrotremor ölçümleri yaparak mevcut yapıların salınım periyodunu araştırmıştır. Ölçüm aldığı yapıların bilgisayar ortamında model özellikleri ile ilgili hesaplamalar yaparak, deneysel verilerle kıyaslamıştır.

Mevcut betonarme binaların dinamik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında elde ettiği verilere göre mikrotremor, yapıların dinamik özelliklerini belirlemede pratik bir araçtır. Ancak, yeni inşa edilen yapıların salınım periyotlarının ölçülen değerlere yakın hesaplanmış olmasına rağmen, hafif hasarlı yapılarda güçlendirme öncesi ve sonrası alınan periyot ölçümlerinde öngörülemeyen farklar bulunmaktadır (Karagöz, 2014).

Mikrotremor genel olarak; zemin tabakalarının ayırtlanmasında, zeminin büyütme özelliğinin tespitinde, zemin baskın periyodunun belirlenmesinde, sismik mikro-bölgeleme yapılmasında ve bölgesel jeoteknik riskleri tanımlamak için kullanılmaktadır (Bolbol 2016).

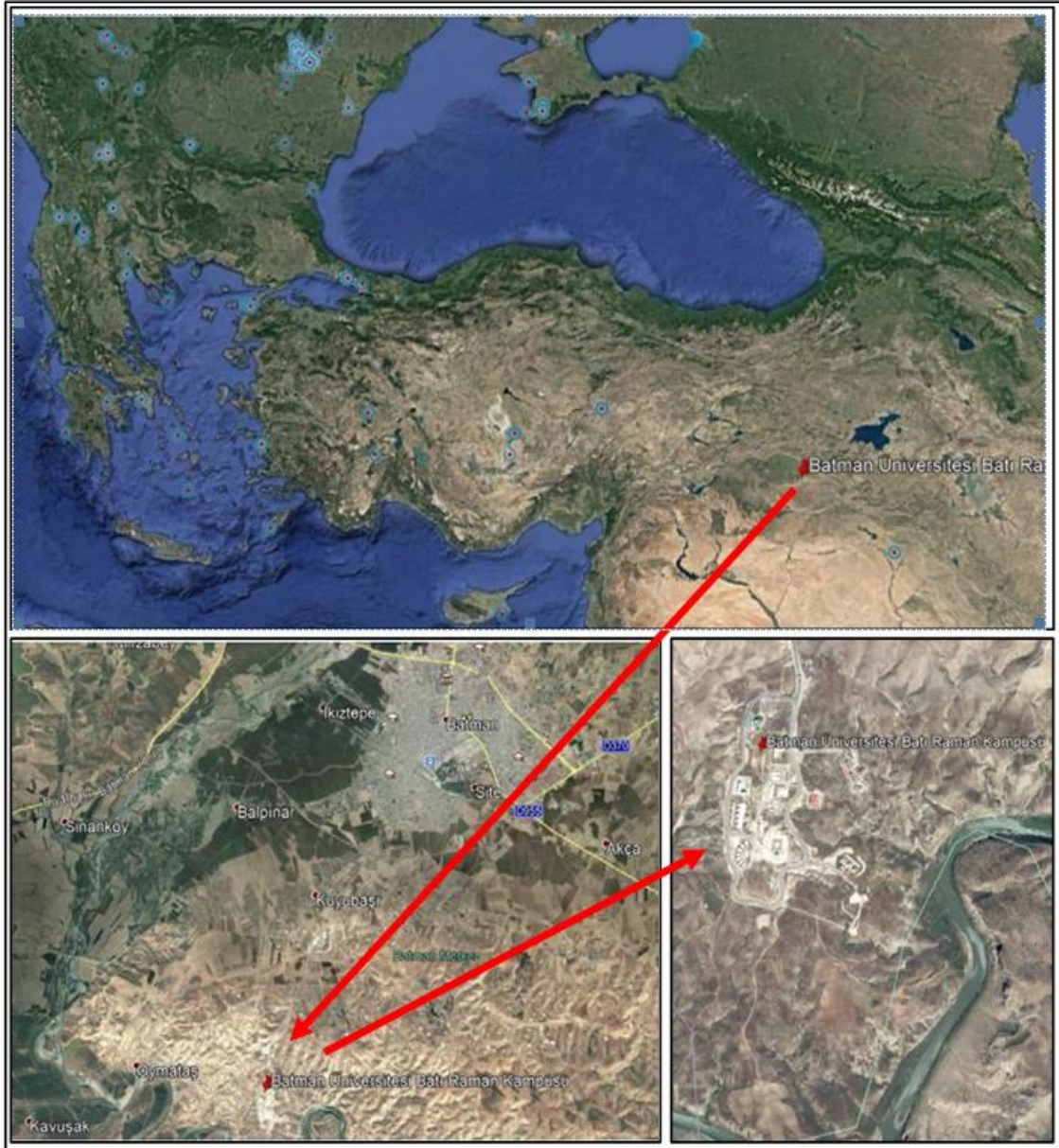
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, taşıma gücü zayıf zeminlerde iyileştirme çalışması yapılması tercih edilmiştir. Öncelikle, taneli ve gevşek, bağlayıcı içermeyen, kum ve silt içeriği yüksek, çakıl içerebilen zemin türleri tercih edilmiştir. Bu özelliklere sahip en az 5 lokasyonda çalışılması hedeflenmiştir. Ancak, çalışmanın niteliği, hassaslığı ve bazı kısıtlamalar nedeniyle; Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde belirlenen 3 lokasyonda çalışılmak zorunda kalınmıştır. Bunlar özet olarak:

- i) Ekonomik yetersizlik-kısıtlamalar: Proje desteği alınamaması,
- ii) Alanın güvenliği-korunması: Her bir lokasyonda yapılacak çalışma uzun süreceği için, yapılan iyileştirmeye dışarıdan (meraklı kişilerce) müdahale edilmesi riskinin bulunması,
- iii) Ulaşım-kontrol: Lokasyonlara kolay ulaşılabilmesi ve belirli aralıklarla kontrol edilmesi, çalışmanın hassasiyeti ve elde edilecek verilerin güvenilirliği için önemlidir,
- iv) Enerji ihtiyacı: İyileştirme düzeneğinin çalıştırılabilmesi için elektriğe ihtiyaç duyulması ve herhangi bir yerden karşılanamama riskinin bulunması,
- v) Devlet kurumlarına ait alanların dışında çalışılması, özel sektörcü şüpheyi karşılanabilmekte; gayrimenkulün değerinde düşüşe neden olabileceği veya kamulaştırma yapılabileceği endişesiyle; şahısların bu tür çalışmalara izin vermekte şüpheyi kapılması, ... vb. şekilde sıralanabilir.

Çalışmanın uygulama aşamasında iyileştirme yapılacak yerin (alanın) belirlenmesi, deney setinin oluşturulması, iyileştirme yönteminin seçilmesi, uygulama çalışmaları, numune alınması, yapılan laboratuvar deneyleri ve elde edilen verilerin yorumlanması aşağıda özetlenen aşamalardan oluşmaktadır:

1. Batman il sınırları içerisinde bulunan Batman Üniversitesi Batı Raman kampüsü sınırları içerisinde 3 ayrı lokasyon (L1, L2 ve L3) seçilmiştir (Şekil 3.1).



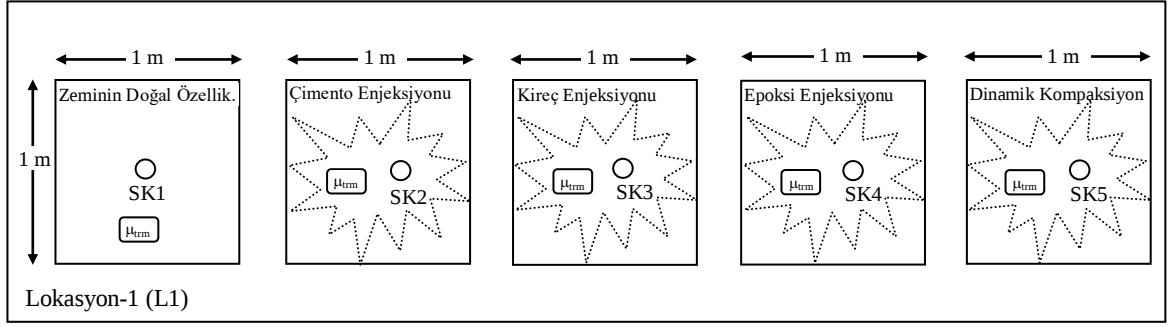
Şekil 3.1. Yer Bulduru Haritası (Görüntüler Google Earth'ten alınmıştır. Erişim T.: 19.06.2019).

2) Zemin Parametrelerinin Elde Edilmesi için Her bir lokasyonda, 1 m² alana sahip 5 ayrı alan sınırı belirlenmiştir (Şekil 3.2).

3) Her bir lokasyonda, önce zeminin doğal özellikleri (SK1) belirlenmiştir.

4) Diğer alanlarda sırasıyla; i) Çimento enjeksiyonu (SK2), ii) Kireç enjeksiyonu (SK3), iii) Epoksi enjeksiyonu (SK4) ve iv) Ağırlık düşürme (dinamik kompaksiyon) (SK5) yöntemleriyle zemin iyileştirmesi yapılmıştır.

5) Her lokasyondaki her bir alandan, iyileştirmenin yapıldığı tarihten itibaren 28 gün geçtikten sonra, numuneler alınarak laboratuvarında deneyler yapılmış, iyileştirme öncesi ve sonrası zeminin taşıma gücündeki değişim araştırılmıştır.



Şekil 3.2. Seçilen lokasyonlarda yapılan çalışmalara bir örnek; Zeminin doğal özelliğinin tespiti ve iyileştirme yapmak için ayrılan alanlar.

(SK1: Zeminin doğal özelliklerini belirlemek için kullanılan alandır. Kesikli çizgiler, iyileştirme yapılan yeri ve tahmini etki alanını simgelemektedir. İyileştirme sonrası ölçümler ve numuneler bu alanın içinden alınmıştır. SK: Sondaj kuyusu-numune yeri, μ_{trm} : Mikrotremor ölçümü)

6) Lokasyonlardaki her 5 alanda mikrotremor ölçümleri yapılmış; doğal haldeki ve iyileştirme yapıldıktan sonraki ölçüm sonuçları kıyaslanarak; zemin hakim titreşim periyodundaki değişim araştırılmıştır.

7) Elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirilerek, iyileştirme yapılan her bir lokasyon için en efektif (en verimli) iyileştirme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

8) En son aşamada, her bir lokasyondaki en verimli iyileştirme yöntemleri arasında kıyaslama yapılmış, varsa aradaki farkın nedeni araştırılmaya ve sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

Çalışmada, kullanılan, malzeme, materyal, donanım vb. her türlü emtia aşağıdaki ana gruplar ve alt başlıklar halinde aşağıda sıralanmıştır:

3.1. Zemin İyileştirme Amacıyla Kullanılan Yardımcı Malzemeler:

i) Çimento: Piyasa şartlarında en kolay ulaşılabilir olan ve TS EN 197-1:2012 standardına uygun olarak üretilen; Limak Kurtalan Çimento markalı “CEM I 42,5 N” kodlu ürün uygulama için tercih edilmiştir. Enjeksiyon amacıyla 1 : 2 oranında (1 birim çimento : 2 birim su veya 1,5 kg çimento : 3 litre su olacak şekilde) karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan bu mayi iyice karıştırılıp şerbet haline getirildikten sonra enjeksiyon tankına doldurulmuştur. Tasarladığımız düzeneğin enjeksiyon tiji (borusu) 1 m uzunlukta olup en fazla 1 m derinliğe karışımı zerk edebilmektedir. Yapılan ön denemelerle, efektif enjeksiyon basıncının kaç psi (kaç bar) olacağı araştırılmıştır. 30 psi (2 Bar)’dan yüksek basınçlarda enjeksiyon sıvısının zemine nüfuz etmeden sondaj deliğinin ağzından dışarı çıktığı (sondajcılık deyimiyle kuyunun refü yaptığı - kustuğu) gözlenmiştir. Enjeksiyon işlemi için en efektif basıncın 20 psi (1,4 Bar) arasında

olduğunda sorunsuz olarak enjeksiyon işleminin yapılabildiği gözlemlenmiş ve bütün iyileştirme uygulamaları/enjeksiyonları 20 psi basınçta yapılmıştır (Resim 3.1).

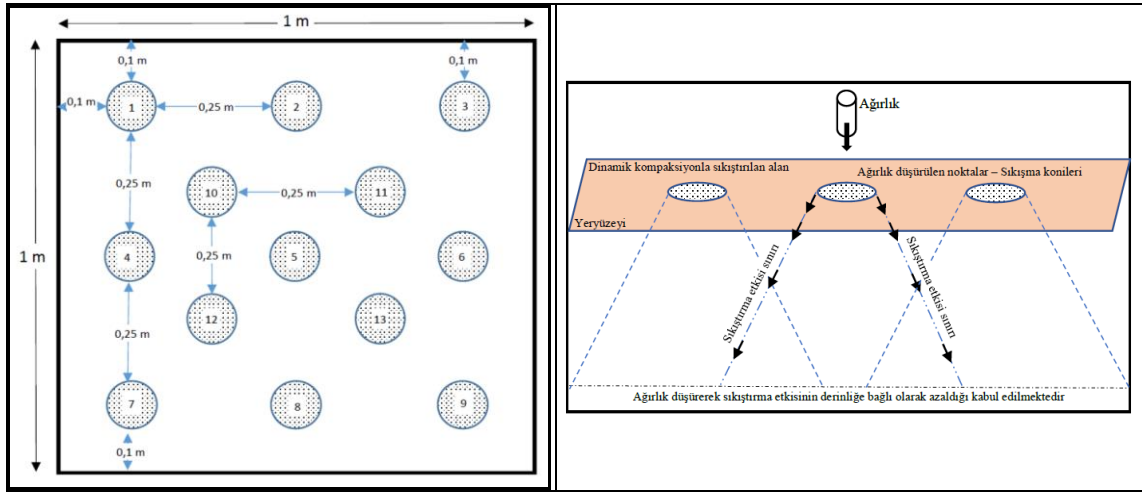


Resim 3.1. Enjeksiyon işleminde uygulanan basınç

ii) Kireç: Kireçle iyileştirme işleminde, satın alma işleminde en kolay temin edilebilir olan, Limak-Kurtalan Çimento markasının “Kireç” ürünü tercih edilmiştir. Enjeksiyon amacıyla 1 : 2 oranında (1 birim kireç : 2 birim su veya 1,5 kg kireç : 3 litre su olacak şekilde) karışım hazırlanarak, iyice karıştırılıp şerbet haline getirildikten sonra enjeksiyon tankına doldurulmuştur. Enjeksiyon düzeneğinin tiji (borusu) en fazla 1 m derinliğe karışımı zerk edebilmektedir. Kireç şerbeti, 20 psi (1,4 Bar) basınçta zemine enjekte edilmiştir. Bu kapsamdaki bütün iyileştirme enjeksiyonları 20 psi basınç altında yapılmıştır (Şekil 3).

iii) Epoksi: Sıvı olarak üretilen bağlayıcı veya yapıştırma amacıyla kullanılan kimyasal bir reçinedir. Zemine uygulandıktan kısa bir süre sonra kurumaktadır. Su, asit ve alkalilere karşı dirençlidir. Direncini uzun bir süre korumaktadır. Kolay temizlenmekte, mekanik dayanımı yüksek olup, tekne imalatı, onarımı vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu, KÖSTER markasının 2 bileşenli (A ve B olarak adlandırılan 2 tüp) KB-POX IN isimli, epoksi (reçine) esaslı, düşük viskoziteli ve solvent (çözücü) içermeyen enjeksiyon ürünü tercih edilmiştir. Enjeksiyon işleminde; A : B tüplerindeki eriyikler 4,0 A : 1,0 B oranında (3,6 kg A : 0,9 kg B bileşenleri) karıştırılmıştır. Bu karışım, “400 devir/dakika” dönme hızında, homojen kıvama gelecek şekilde karıştırılmıştır. Toplamda 4,5 kg epoksi uygulama alanına enjekte edilmiştir. 4,5 kg epoksi enjeksiyon tankına (tüpüne) doldurulmuş ve kompresörden elde edilen 20 psi (1,4 Bar) basınçla zemine enjekte edilmiştir.

iv) **Ağırlık-metal kütle:** 35 cm yüksekliğinde, 10 cm çapında ve 28 kg ağırlığında, silindirik şekilli, içi dolu demir (çelikten mamül) bir kütle, üzerine sabitlenmiş bir kol yardımıyla kaldırılabilir şekilde tasarlanmıştır. Bu tekniğin uygulanması sırasında yapılan iş ve işlemler şu şekilde sıralanabilir: 1 m²'lik alanın köşelerinden 10'ar cm, birbirlerinden ise 25 cm uzaklıkta (3 sıra x 3 adet/sıra) olacak şekilde 9 adet ağırlık düşürme noktası oluşturulmuştur. Ayrıca, merkez noktanın etrafında, ortaya yakın noktalar arasında 4 tane daha ağırlık düşürme noktası belirlenerek, ağırlık düşürme yöntemiyle, dinamik kompaksiyon uygulanmıştır. Her bir lokasyondaki 1 m²'lik alan bu şekilde oluşturulan toplam 13 ağırlık düşürme noktasına uygulanan sıkılaştırma işlemiyle iyileştirilmeye çalışılmıştır. Sıkıştırma amacıyla, her bir noktaya ağırlık 5'er kez düşürülmüştür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Dinamik kompaksiyon tekniğinde; a) Sıkıştırma amaçlı ağırlık düşürülen noktalar, b) Düşen ağırlığın zeminde oluşturduğu sıkıştırma etkisini gösteren düşey kesit

Taban alanı $78,5 \text{ cm}^2$ ($\pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 5^2 = 0,00785 \text{ m}^2$) olan bu kütle, 120 cm yükseklikten zemine düşürülerek, zemin sıkışmaya/sıkılaşıma zorlanmıştır. Serbest düşmeye bırakıldığı yükseklik etkisiyle zemine **4,9 m/s**'lik bir hızla düşmekte ve/veya çarpılmaktadır [($m \cdot g \cdot h = 0,5 \cdot m \cdot v^2$); ($28\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \cdot 1,2\text{m} = 0,5 \cdot 28\text{kg} \cdot v^2$)dir. $v^2=24$; $v=4,9 \text{ m/s}$]. Bu esnada zemine yaklaşık 330 N'luk (0,33 kN) bir kuvvet uygulamaktadır. Dolayısıyla, zemine 42 kPa'lık bir kuvvet uygulamakta ($F=0,33\text{kN}/0,00785\text{m}^2=42\text{kN/m}^2$) ve zemini kompaksiyona yani sıkışmaya zorlamaktadır (Resim 3.2).



Resim 3.2. Serbest düşmeye bırakılmış ağırlık etkisiyle zeminde oluşan sıkışma

3.2. Enjeksiyon Düzenegi Olarak Kullanılan Cihaz Ve Donanımlar:

i) Pompa - kompresör ve basınçölçerler: 1,6 Hp gücünde (beygir gücünde) motora sahip, 1 - 8 bar arasında basınç uygulayabilen hava basma kapasiteli, 50 litre hacimli ve 35 kg ağırlığında taşınabilir bir kompresör kullanılmıştır.

ii) Güç kaynağı - jeneratör: Çalışma sırasında, benzinle çalışan (15 litre depo hacmi olan), el startıyla (el marşlı-düğmeli) çalıştırılabilen, 2800 W gücünde ve 45 kg ağırlığında taşınabilir bir jeneratör enerji-güç kaynağı olarak kullanılmıştır.

iii) Enjeksiyon malzemesi (mayisi-sıvısı) için depo-uygulama tüpü: Enjeksiyon uygulama tüpü olarak boş durumdaki bir klima gazı tüpü kullanılmıştır. Yaklaşık 40 bar basınca dayanıklı olduğu için bu klima gazı tüpü tercih edilmiştir. Tüpün altına ve üstüne iki adet delik açılmış ve kaynak vasıtası ile birer vana yerleştirilmiştir. Üstteki vana enjeksiyonda kullanılmak üzere hazırlanmış karışımı (çimento, bulamaç vb. gibi) malzemeyi tüpün içine yerleştirmek için, alttaki vana ise üstten yerleştirilen malzemenin tüp içerisinde stabil kalmasını sağlamak amacıyla konulmuştur. Enjeksiyon işlemine başlamadan önce tüpün içerisinde basınç oluşmasını sağlamak amacıyla kompresörle hava basılmıştır. Tüp içerisindeki basınçlı hava yardımıyla enjeksiyon mayisi zemine gönderilmeden önce, üstteki vana kapatılıp alttaki vana açılmakta bu vesile ile zemine sıvı enjeksiyonu yapılabilmektedir.

iv) Enjeksiyon borusu (tiji): Hazırlanan karışımı zemine enjekte edebilmek amacıyla, 1,5 metre uzunluğunda, 3 cm çapında ve 1 mm et kalınlığında metal (demir) bir boru enjeksiyon tiji olarak kullanılmıştır. Enjeksiyon tijinin alt ucu, sıvı akışını/kaçışını engellemek için metal bir parçayla kaynak yapılarak körlenmiştir (kapatılmıştır). Enjeksiyon tijinin alt 40 cm'lik bölümüne birbirlerine çapraz olacak şekilde (şaşırtmalı olarak) 0,5 cm çapında 10 adet delik açılmıştır. Enjeksiyon tijinin üst 20 cm'lik bölümüne; tiji zemine girmesini-saplanabilmesini-itilebilmesini kolaylaştırmak amacıyla boruya dik olacak şekilde (dik konumda) metal çubuklarla destek kaynakları yapılmıştır.

3.3. Zemin Hakim Titreşim Periyodu Ölçüm Düzeneği:

i) Mikrotremor: Çalışmada, SR04S3-10 model mikrotremör kullanılmıştır. Mikrotremorlar, alınan ölçümlerini hassas ve doğru depolayabilme kabiliyetine sahip, üç yönlü kayıtlar alabilen sensörlerle donatılmış hız/ivme ölçerlerdir. SR04S3-10 Model Mikrotremor'un bazı teknik özellikleri:

- a) 1 - 100 Hz frekans aralığındaki salınımları kaydedebilirler.
- b) Aynı anda 3-yönden (3 bileşenli; x, y, z veya KG, DB, UD yönlerden) kayıt alabilen sismometrelerdir.
- c) 3 yönden aldığı kayıtların her birini ayrı ayrı muhafaza edebilmektedir.
- d) 3 Kanallı, 24-Bit sismik kayıtçılardır.
- e) Mikrotremor kayıtlarının depolanması amacıyla kullanılacak bilgisayarla uyum içinde çalışabilmesi için bir yapılandırma yazılımı (SARA: veri toplama ve yapılandırma yazılımı) ve ölçümlerin işlenebilmesi-yorumlanabilmesi için bir analiz yazılımı (GEOPSY: Mikrotremör kayıtlarının analizi yazılımı) kullanılmıştır. Bu yazılımlar, cihazla beraber kullanıcılara sağlanmakta olup, üretici firmalar tarafından geliştirilen lisanslı yazılımlardır.
- f) Cihaz, yaklaşık 4 kg ağırlıktadır. Bu nedenle arazide rahat taşınabilmektedir.
- g) Yer salınımlarının kaydedilebilmesi için mikrotremorların ölçüm alınacak ortamı temsil edebilen düzgün bir yüzey üzerine sabit olarak yerleştirilmesi gerekmektedir.

ii) Kayıt ünitesi (taşınabilir bilgisayar): Mikrotremor ölçümlerini arazide kaydedebilmek ve verilerin arazideyken ön incelemesini/ön izlemesini yapabilmek ve oluşabilecek hata veya eksiklikleri daha arazideyken tesbit edip, düzeltebilmek amacıyla

bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Bu bilgisayara mikrotremor ölçümlerini-kayıtlarını görebilmek, izleyebilmek ve bazı ön değerlendirmelerde bulunabilmek amacıyla mikrotremor yazılımları da yüklenmiştir. Kullanılan yazılımlar, mikrotremor ölçümlerini hizmet alımı yoluyla yapan, Jeofizik Mühendisliği firmasına ait olup tamamen yasal ve lisanslı ürünlerdir.

Bu çalışma sırasında, zemin iyileştirme öncesinde ve sonrasında yapılan diğer iş ve işlemler aşağıdaki konu başlıkları altında detaylı olarak anlatılmaktadır:

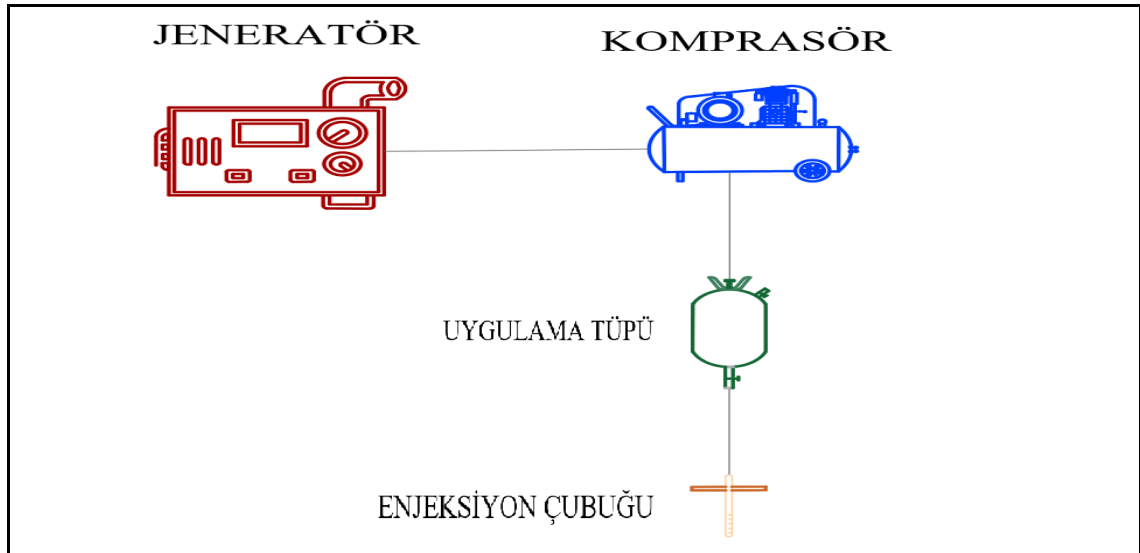
3.6 Doğal Zemin Parametreleri ve İyileştirme Uygulamaları

Bu tez çalışması kapsamında ilk olarak Batman il sınırları içerisinde, Batman Üniversitesinin Batı Raman Kampüsünde, 3 ayrı lokasyon seçilmiştir.

Seçilen bu lokasyonların öncelikle doğal haldeki jeoteknik özellikleri ortaya konulmuştur. Bu amaçla;

i) Her bir lokasyonda, arazide-yerinde mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Mikrotremor ölçümleri ilgili deney standartlarında önerilen bütün iş ve işlemlere uyularak yapılmıştır. Ölçümler, önce doğal zemin üzerinde, daha sonra iyileştirme yapılmış olan her bir alanda yapılmıştır. Buna göre her bir lokasyonda 5'er adet mikrotremor ölçümü alınmıştır. Bütün ölçümler, çevre şartlarının sakin olduğu, gürültü kaynaklarının olmadığı (veya en az olduğu) saatlerde yapılmıştır. Bütün lokasyon ve alanlarda, ölçüm süresi 20 dakika olarak standart şekilde yapılmıştır. Mikrotremor ölçüm sonuçları, büro ortamında gürültü kaynaklarından ve doğal-yer kaynaklı salınımlardan ayıklanması amacıyla filtrelenmiştir. Elde edilen veriler, grafiklere aktarılmış ve yorumlanmıştır.

Her bir lokasyonda sabit zeminden (1 m²'lik bir alan doğal zemin özellikleri için ayrılmıştır) alınan doğal örnekler üzerinde deneyler yapılmıştır. Daha sonra her bir lokasyonda her biri 1 m²'lik 4 (dört) küçük alan oluşturulmuştur. Zeminin iyileştirmesi veya güçlendirilmesi işleminde; çimento, kireç, epoksi vb. mayileri zemine enjekte edebilmek için basınçlı bir düzeneğe ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla, bu tez kapsamında, kendi ekonomik imkanlarımızla bir zemin enjeksiyon düzeneği tasarlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. İyileştirme amacıyla zemine enjeksiyon yapmak için tasarlanan düzenek

Zemin içine - düşey yönde iyileştirme/güçlendirme yapmak maksadıyla, hazırlanışı ve uygulanışı ile ilgili detayların aşağıda anlatıldığı enjeksiyon işlemleri yapılmıştır:

i) Çimento enjeksiyonu: Çimento enjeksiyonuna başlamadan önce ön araştırma için bir deneme alanı belirlenerek, çimento ve suyun farklı oranlarda karıştırıldığı çimento şerbeti hazırlanmıştır.

ii) kireç (bulamacı) enjeksiyonu,

iii) epoksi (2 ayrı sıvının karışımı) enjekte edilmiş (Şekil 2) ve iv) dinamik kompaksiyon (ağırlık düşürme) uygulaması yapılmıştır. Uygulamanın başlangıcından itibaren, zemine enjekte edilen mayilerin katılaşması veya zemin içinde sertleşmesi için 28 gün beklenmiştir. Zeminden karotlu sondaj tekniğiyle Shelby tüpü içerisine numuneler alınarak, laboratuvara gönderilmiştir. Laboratuvarda iyileştirilmiş zeminin dayanımındaki değişim (dayanımın artması gerektiği varsayımına göre dayanım artışı, diğer bir ifadeyle zeminin taşıma gücündeki artış) belirlenmeye çalışılmıştır.

Her 3 lokasyonda doğal haldeki zeminden ve iyileştirme yapılmış alanların hepsinden (4'er alan; yani toplam= 3 lokasyon*4 alan=12 alanın) mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler sonucunda, zeminin doğal haldeki hakim titreşim periyodu ile iyileştirmelere bağlı olarak değişen hakim titreşim periyodları belirlenmeye çalışılmıştır.

Zeminde iyileştirme ve güçlendirme amacıyla mayi enjekte edebilmek için, bu çalışma kapsamında, (daha önceki çalışmalardan esinlenerek) dizaynı tarafımızdan yapılan bir düzenek tasarlanmıştır. Bu düzenek yardımıyla; içerisine hazırlanan çimento harcı, kireç şerbeti veya akışkan durumundaki epoksi doldurulabilen basınca dayanıklı bir

tüpten, taşınabilir bir jeneratörden güç alarak çalışan kompresörün uyguladığı düşük basınçla zemine malzeme enjekte edilmektedir. Bunun için zemine, 1 m uzunluğunda, kenarında delikler olan bir metal (demir) boru saplanmıştır. Alttaki çıkış vanası kapatılan tüpe ağız kısmından (üstten) malzeme doldurulduktan sonra tüpün içerisi kompresör yardımıyla düşük basınçta hava doldurulmuştur. Tüp içerisine dolan hava içerdeki malzemeyi uygulama çubuğu aracılığıyla zemine enjekte etmektedir (Resim 3.3).



Resim 3.3. Zeminde iyileştirme yapmak amacıyla dizayn edilen enjeksiyon düzeneği

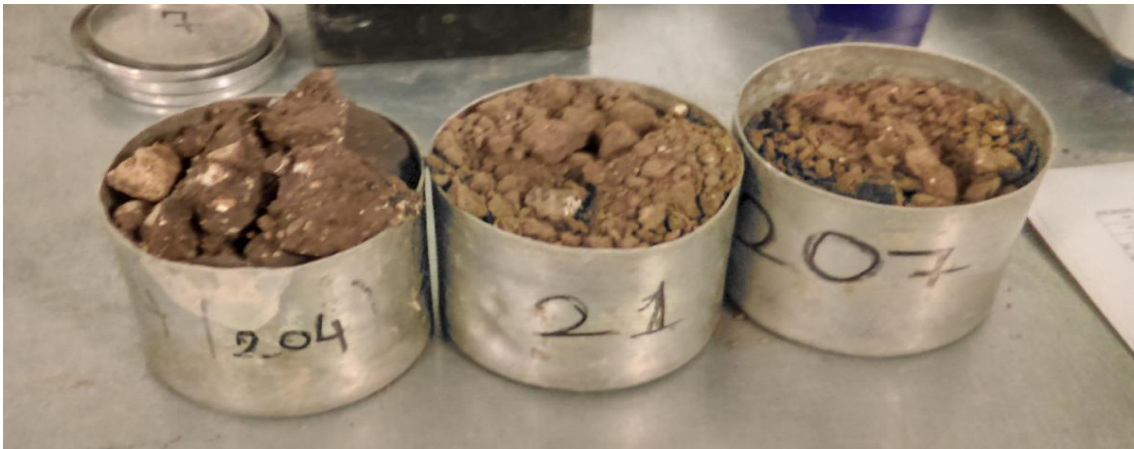
3.7 Laboratuvar Çalışmaları

Her bir lokasyonda karotlu sondaj makinesiyle Shelby tüpü içerisine alınan zemin örnekleri üzerinde, jeoteknik özellikleri ve dayanım parametrelerinin belirlenmesi için laboratuvarda zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.4. Laboratuvar deneyleri yapmak amacıyla Shelby tüpü içerisine alınan numuneler (1: doğal özelliklerdeki numuneler (sol üstte), 2: çimento enjeksiyonu yapılmış (ortada-üstte), 3: kireç enjeksiyonu yapılmış (sağ-üst), 4: epoksi enjeksiyonu yapılmış (sol-alta) ve 5: ağırlık düşürme ile iyileştirilmiş (ortada-alta) zemin örnekleri)

Hiçbir işlem yapılmamış ham zemin üzerinde laboratuvar ortamında elek analizi, atterberg limitleri, doğal birim ağırlık, özgül ağırlık ve direkt kesme kutusu deneyleri yapılmıştır (Resim 3.5, 3.6 ve 3.7). Lokasyon-1 (L1)'de, Sondaj Kuyusu-1 (SK-1)'den alınan numune (L1-SK1), taşıma sırasında örselendiği için (kesme kutusu deneyi güvenilir sonuç vermemiş), numune üzerinde sadece üç eksenli basınç deneyi ve konsolidasyon deneyi yapılmıştır.



Resim 3.5. Su içeriği, ıslak elek ve kıvam limitleri için ayrılan numuneler



Resim 3.6. Islak elek uygulanacak numuneler

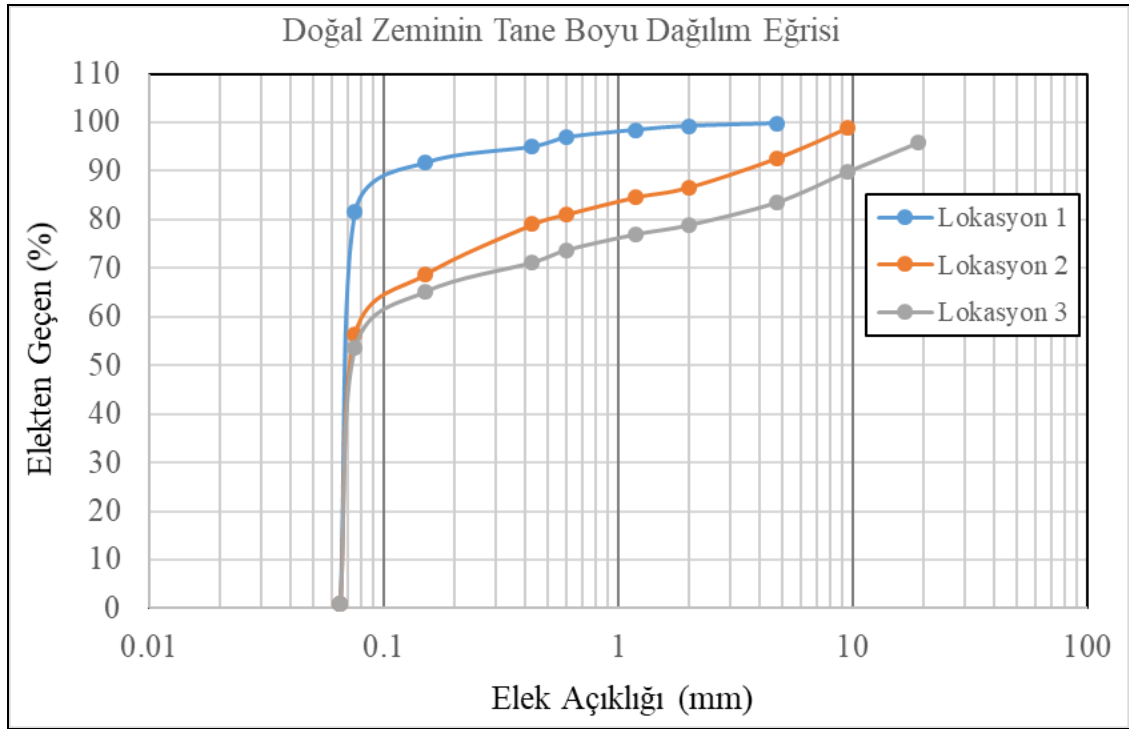


Resim 3.7. Islak elek sonrası numuneler

Zeminin tane boyu dağılımının belirlenmesi amacıyla ıslak elek analizi yapılmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Deney yapılan zeminlerin doğal haldeki tane boyu dağılımı (elek analizi) Raporu

Sondaj Kuyusu-1 (SK-1)			
	Lokasyon 1 (L1)	Lokasyon 2 (L2)	Lokasyon 3 (L3)
Elek Çapı (mm)	Elekten Geçen(%)	Elekten Geçen (%)	Elekten Geçen (%)
37,5			100,00
19		100,00	92,80
9,5	100,00	98,88	89,82
4,75	99,81	90,68	83,57
2,00	99,29	86,67	78,90
1,18	98,47	84,60	76,97
0,60	96,93	82,10	73,75
0,43	95,01	79,02	71,21
0,150	89,67	66,72	65,19
0,075	87,50	61,41	61,55



Şekil 3.5. Deney yapılan zeminlerin doğal tane boyu dağılımı (elek analizi) grafiği

Kıvam limitlerinin (Atterberg limitleri: Plastik limit (PL), Likit Limit (LL) deneyleri (ve hesaplamayla belirlenen Plastisite İndisi ($PI=LL-PL$) değeri) belirlenmesi için ayrıca deneyler yapılmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Kıvam (Atterberg) Limitleri

Sondaj Kuyusu-1 (SK-1)			
	Lokasyon 1 (L1)	Lokasyon 2 (L2)	Lokasyon 3 (L3)
Likit Limit (%)	43	32	41
Plastik Limit (%)	25	17	21
Plastisite İndisi (%)	18	15	20

Numunelerin alındığı mevsim şartlarına göre değeri değişebilen ancak, yine de yapılması istenen su muhtevası deneyi yapılarak zeminin su içeriği (%) belirlenmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Su İçeriği Değerleri

Sondaj Kuyusu-1 (SK-1)			
	Lokasyon 1 (L1)	Lokasyon 2 (L2)	Lokasyon 3 (L3)
Su Muhtevası (%)	10,9	8,5	11,9

Resim 3.5 ve 3.6 da kil numuneler için ıslak elek uygulanacak numuneler gösterilmekte Resim 3.7 de ise ıslak elek sonrası etüv de kurutulan numuneler gösterilmektedir.

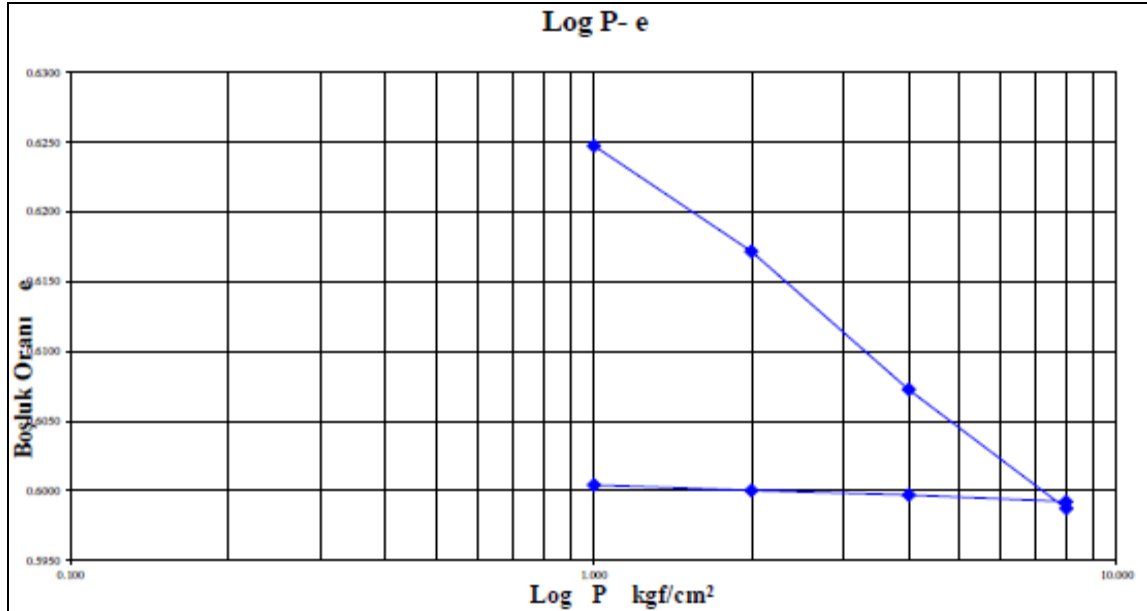
Tablo 3.4. Zeminin Konsolidasyon-Sıkışma Özellikleri

Şişme Oranı	Şişme Basıncı	Uygulanan Basınç	Sıkışma Katsayısı	Hacimsel Sıkışma Katsayısı
(%)	(kN/m ²)	(kgf/cm ²)	(a _v)	(M _v)
1,10		1,0 - 2,0	0,0076	0,0047
		2,0 - 4,0	0,0049	0,0031
		4,0 - 8,0	0,0021	0,0013

Yukarıda tablo 3.4'te Zemin Konsolidasyon-Sıkışma özellikleri verilmektedir. Aşağıda Tablo 3.5'de hiçbir işlem yapılmamış zeminlerde ki özgül ağırlık değerleri verilmektedir.

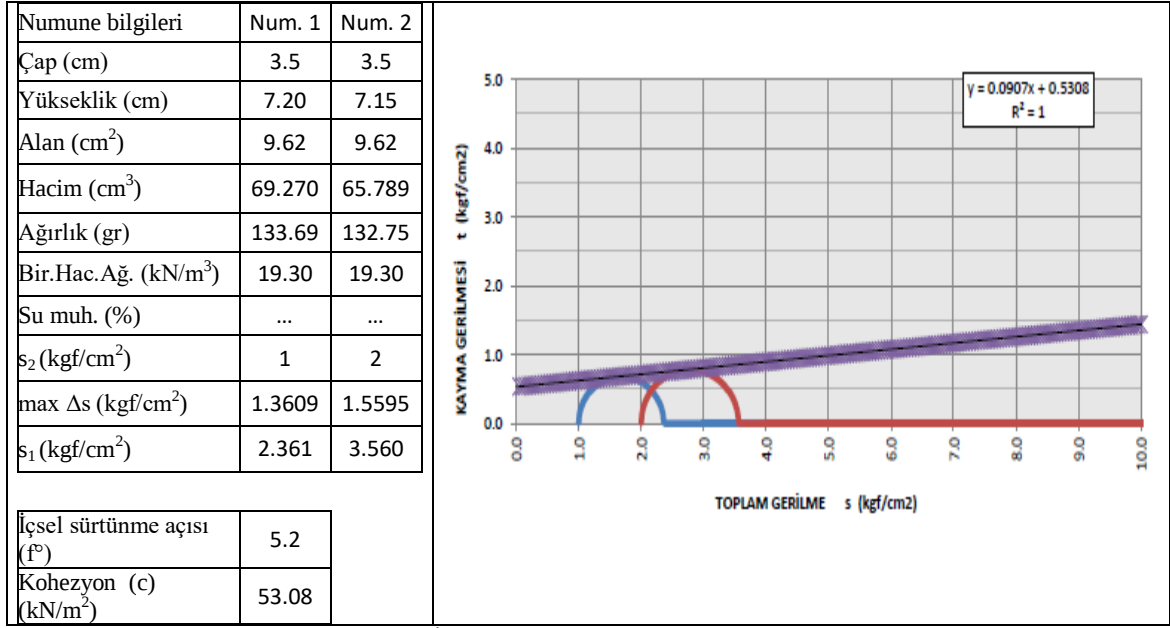
Tablo 3.5 Özgül Ağırlık Deney Raporları

Sondaj Kuyusu (SK-I)			
	Uygulama Alanı-I	Uygulama Alanı-II	Uygulama Alanı-III
Özgül Ağırlık (G _s)	2,14	2,16	2,15



Şekil 3.6. Zeminin Konsolidasyon-Sıkışma Grafiği

Yukarıda Şekil 3.6'da zeminin Konsolidasyon-Sıkışma grafiği verilmektedir. Aşağıda Şekil 3.7'de ise İçsel Sürtünme Açısı ve Kohezyon Değeri grafiği verilmektedir.



Şekil 3.7. İçsel Sürtünme Açısı ve Kohezyon Değeri Grafiği

4. DENEYSEL BULGULAR

Tez çalışması kapsamında üzerinde çalışılan alanda; zeminin doğal halindeki özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Lokasyon1 SK1'in su muhtevası %10,93, Lokasyon2 SK1'in su muhtevası %8,47 ve Lokasyon3 SK1'in su muhtevası ise %11,91 olarak belirlenmiştir.

Laboratuvar deneyleri sonucu hiçbir işlem yapılmamış ham zeminlerin özgül ağırlık verileri; 1. Uygulama alanımızdaki zeminin özgül ağırlığı $2,14 \text{ g/cm}^3$, 2. Uygulama alanımızdaki zeminin özgül ağırlığı $2,16 \text{ g/cm}^3$ ve 3. Uygulama alanımızdaki zeminin özgül ağırlığı $2,15 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması Sistemine (USCS) göre Lokasyon1 SK1 nolu zeminimiz CH (Yüksek Plastisiteli Kil), UA2 SK1 nolu zeminiz CL (Düşük Plastisiteli Kil) ve UA3 SK1 nolu zeminimiz yine CL (Düşük Plastisiteli Kil) olarak saptanmıştır.

Tablo 4.1 Direkt Kesme Deney Raporu-II (1:2 oranında çimento:su karışımı uygulanmıştır)

Sondaj Kuyusu (SK-II)									
	Lokasyon-I			Lokasyon-II			Lokasyon-III		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm^3)	1,94	1,90	1,87	1,93	1,93	1,90	1,87	1,89	1,86
Normal Gerilme (kgf/cm^2)	0,14	0,69	1,05	0,21	0,72	1,26	0,26	0,80	1,46
Kayma Gerilmesi (kgf/cm^2)	0,53	0,67	0,78	0,51	0,64	0,81	0,50	0,66	0,85
İçsel Sürtünme Açısı ($^\circ$)	12	12	12	11	11	11	12	12	12
Kohezyon (c) (kN/m^2)	49	49	49	45	45	45	42	42	42

Yukarıda Tablo 4.1 de SK-II olarak tanımlanan (Çimento enjeksiyonu yapılmış) zeminlerin laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen zemin parametreleri sunulmaktadır.

Tablo 4.2 Direkt Kesme Deney Raporu-III (1:2 oranında kireç:su karışımı uygulanmıştır)

Sondaj Kuyusu (SK-III)									
	Lokasyon-I			Lokasyon-II			Lokasyon-III		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm^3)	1,87	1,93	1,86	1,87	1,84	1,85	1,82	1,84	1,82
Normal Gerilme (kgf/cm^2)	0,24	0,91	1,63	0,26	0,78	1,27	0,17	0,65	1,12
Kayma Gerilmesi (kgf/cm^2)	0,51	0,68	0,87	0,55	0,67	0,80	0,48	0,64	0,83
İçsel Sürtünme Açısı ($^\circ$)	12	12	12	10	10	10	11	11	11
Kohezyon (c) (kN/m^2)	45	45	45	49	49	49	42	42	42

Yukarıda Tablo 4.2 de SK-III olarak tanımlanan (Kireç enjeksiyonu yapılmış) zeminlerin laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen zemin parametreleri sunulmaktadır.

Tablo 4.3 Direkt Kesme Deney Raporu-IV (3:1 oranında epoksi:sertleştirici karışımı uygulanmıştır)

Sondaj Kuyusu (SK-IV)									
	Lokasyon-I			Lokasyon-II			Lokasyon-III		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	1,84	1,86	1,82	1,88	1,86	1,86	1,90	1,93	1,87
Normal Gerilme (kgf/cm ²)	0,20	0,78	1,33	0,27	0,83	1,44	0,27	0,86	1,41
Kayma Gerilmesi (kgf/cm ²)	0,50	0,60	0,71	0,55	0,69	0,86	0,47	0,63	0,77
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ°)	13	13	13	12	12	12	13	13	13
Kohezyon (c) (kN/m ²)	46	46	46	48	48	48	40	40	40

Yukarıda Tablo 4.3 te SK-IV olarak tanımlanan (Epoksi enjeksiyonu yapılmış) zeminlerin laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen zemin parametreleri sunulmaktadır.

Tablo 4.4 Direkt Kesme Deney Raporu-SK-V

Sondaj Kuyusu (SK-V)									
	Lokasyon-I			Lokasyon-II			Lokasyon-III		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	1,85	1,88	1,86	1,85	1,83	1,81	1,84	1,83	1,85
Normal Gerilme (kgf/cm ²)	0,33	0,81	1,46	0,25	0,86	1,52	0,21	0,79	1,36
Kayma Gerilmesi (kgf/cm ²)	0,55	0,67	0,85	0,53	0,65	0,77	0,48	0,60	0,72
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ°)	11	11	11	11	11	11	10	10	10
Kohezyon (c) (kN/m ²)	46	46	46	48	48	48	44	44	44

Yukarıda Tablo 4.4 de SK-V olarak tanımlanan (Dinamik Kompaksiyon yapılmış) zeminlerin laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen zemin parametreleri sunulmaktadır.

Deney sonuçlarından çıkan parametreler kullanılarak Terzaghi yöntemi ile taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre numune alınan 15 noktanın Taşıma gücü hesabı (Zemin Emniyet Gerilmesi) toplu olarak Tablo 4.5’de verilmektedir.

Tablo 11. Her bir lokasyondaki zemin iyileştirme yöntemlerine bağlı olarak, Terzaghi (1943)'e göre Zemin Taşıma Gücünün hesaplanması																				
	Lokasyon - 1					Lokasyon - 2					Lokasyon - 3									
	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5
c (kN/m ²)	53	49	45	46	46	47	45	49	48	48	40	42	42	40	44	40	42	40	40	44
φ (°)	5	7	6	8	7	6	7	4	7	6	7	7	6	7	6	7	7	6	8	6
γ (kN/m ³)	19.3	19	18.9	18.4	18.6	19	19.2	18.5	18.7	18.3	19.5	18.7	18.3	19.5	18.4	19.5	18.7	18.3	19	18.4
D _f	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
B (m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
L (m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
N _c	7.3	8.22	7.76	8.68	8.22	7.76	8.22	6.98	8.22	7.76	8.22	8.22	7.76	8.22	7.76	8.22	8.22	7.76	8.68	7.76
N _q	1.6	2.04	1.82	2.26	2.04	1.82	2.04	1.48	2.04	1.82	2.04	2.04	1.82	2.04	1.82	2.04	2.04	1.82	2.26	1.82
N _γ	0.5	0.78	0.64	0.92	0.78	0.64	0.78	0.4	0.78	0.64	0.78	0.78	0.64	0.78	0.64	0.78	0.78	0.64	0.92	0.64
Kare Temel (B=L)																				
K ₁	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
K ₂	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
q _u = (K ₁ *c*N _c) + (γ*D _f *N _q) + (K ₂ *γ*B*N _γ) (Terzaghi yöntemi)																				
q _u (kN/m ²)	527.6	573.6	494.9	580.1	542.1	514.0	535.1	461.9	562.3	520.5	487.2	503.2	464.6	520.9	483.6	487.2	503.2	464.6	520.9	483.6
q _{net} = q _u - (γ _n *D _f)																				
q _{net} (kN/m ²)	512.1	558.4	479.8	565.4	527.3	498.8	519.8	447.1	547.4	505.8	471.6	488.2	450.0	505.7	468.9	471.6	488.2	450.0	505.7	468.9
q _{enn} = q _{net} /GK																				
q _{enn} (kg/cm ²)	1.74	1.90	1.63	1.92	1.79	1.69	1.77	1.52	1.86	1.72	1.60	1.66	1.53	1.72	1.59	1.60	1.66	1.53	1.72	1.59

4.1 Çimento Enjeksiyonu Sonucunda Elde Edilen Zemin Dayanım Parametreleri

Deney sonuçlarından çıkan parametreler kullanılarak çimento enjekte edilmiş numunelere; Terzaghi yöntemi ile taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre çimento enjekte edilmiş zeminlerden Lokasyon1 SK2'in taşıma gücü $q_{emn} = 2,49 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon2 SK2'in taşıma gücü ise $q_{emn} = 2,15 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon3 SK2'in taşıma gücü $q_{emn} = 2,18 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.6. Taşıma Gücündeki iyileşme oranları

Taşıma Gücü Hesabı (Hiçbir İşlem Yapılmamış Zemin)		Taşıma Gücü Hesabı (Çimento Enjekte Edilmiş Zemin)		Zeminde İyileşme Oranı (%)
Lokasyon1 SK1	$q_{emn} = 2,04 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon1 SK2	$q_{emn} = 2,49 \text{ kg/cm}^2$	% 22,21
Lokasyon2 SK1	$q_{emn} = 1,93 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon2 SK2	$q_{emn} = 2,15 \text{ kg/cm}^2$	% 11,27
Lokasyon3 SK1	$q_{emn} = 1,81 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon3 SK2	$q_{emn} = 2,18 \text{ kg/cm}^2$	% 20,48

Tablo 4.6'da görüleceği üzere çimento enjekte edilmiş zeminlerden; 1. Uygulama alanında taşıma gücünde % 22,21, 2. Uygulama alanında taşıma gücünde %11,27 ve 3. Uygulama alanında taşıma gücünde % 20,48 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Çimento Enjeksiyonu sonucu elde edilen ortalama iyileşme oranı % 17,99 olarak belirlenmiştir.

4.2 Kireç Bulamacı Enjekte Edilmiş Zeminlerin Dayanım Parametreleri

Deney sonuçlarından çıkan parametreler kullanılarak kireç enjekte edilmiş numunelere; Terzaghi yöntemi ile taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre kireç enjekte edilmiş zeminlerden Lokasyon1 SK3'ün taşıma gücü $q_{emn} = 2,31 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon2 SK3'ün taşıma gücü ise $q_{emn} = 2,15 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon3 SK3'ün taşıma gücü $q_{emn} = 2,01 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.7 Taşıma Gücündeki iyileşme oranları

Taşıma Gücü Hesabı (Hiçbir İşlem Yapılmamış Zemin)		Taşıma Gücü Hesabı (Kireç Enjekte Edilmiş Zemin)		İyileşme Yüzdesi
Lokasyon1 SK1	$q_{emn} = 2,04 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon1 SK3	$q_{emn} = 2,31 \text{ kg/cm}^2$	% 13,50
Lokasyon2 SK1	$q_{emn} = 1,93 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon2 SK3	$q_{emn} = 2,15 \text{ kg/cm}^2$	% 11,18
Lokasyon3 SK1	$q_{emn} = 1,81 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon3 SK3	$q_{emn} = 2,01 \text{ kg/cm}^2$	% 11,34

Tablo 4.7'de görüleceği üzere kireç enjekte edilmiş zeminlerden; 1. Uygulama alanında taşıma gücünde % 13,50, 2. Uygulama alanında taşıma gücünde %11,18 ve 3.

Uygulama alanında taşıma gücünde % 11,34 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Kireç Enjeksiyonu sonucu elde edilen ortalama iyileşme oranı % 12 olarak belirlenmiştir.

4.3 Epoksi Enjeksiyonu Sonucunda Elde Edilen Zemin Dayanım Parametreleri

Deney sonuçlarından çıkan parametreler kullanılarak epoksi enjekte edilmiş numunelere; Terzaghi yöntemi ile taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre epoksi enjekte edilmiş zeminlerden Lokasyon1 SK4'ün taşıma gücü $q_{emn} = 2,53 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon2 SK4'ün taşıma gücü ise $q_{emn} = 2,44 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon3 SK4'ün taşıma gücü $q_{emn} = 2,27 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.8 Taşıma Gücündeki iyileşme oranları

Taşıma Gücü Hesabı (Hiçbir İşlem Yapılmamış Zemin)		Taşıma Gücü Hesabı (Epoksi Enjekte Edilmiş Zemin)		İyileşme Yüzdesi
Lokasyon1 SK1	$q_{emn} = 2,04 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon1 SK4	$q_{emn} = 2,53 \text{ kg/cm}^2$	% 24,37
Lokasyon2 SK1	$q_{emn} = 1,93 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon2 SK4	$q_{emn} = 2,44 \text{ kg/cm}^2$	% 26,34
Lokasyon3 SK1	$q_{emn} = 1,81 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon3 SK4	$q_{emn} = 2,27 \text{ kg/cm}^2$	% 25,47

Tablo 4.8'de görüleceği üzere epoksi enjekte edilmiş zeminlerden; 1. Uygulama alanında taşıma gücünde % 24,37, 2. Uygulama alanında taşıma gücünde %26,34 ve 3. Uygulama alanında taşıma gücünde % 25,47 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Epoksi Enjeksiyonu sonucu elde edilen ortalama iyileşme oranı % 25,40 olarak belirlenmiştir.

4.4 Dinamik Kompaksiyon Sonucu Elde Edilen Zemin Dayanım Parametreleri

Deney sonuçlarından çıkan parametreler kullanılarak basit dinamik kompaksiyon uygulanmış zeminlerde; Terzaghi yöntemi ile taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre dinamik kompaksiyon uygulanmış zeminlerden Lokasyon1 SK5'in taşıma gücü $q_{emn} = 2,18 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon2 SK5'in taşıma gücü ise $q_{emn} = 2,26 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Lokasyon3 SK5'in taşıma gücü $q_{emn} = 1,95 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.9 Taşıma Gücündeki iyileşme oranı

Taşıma Gücü Hesabı (Hiçbir İşlem Yapılmamış Zemin)		Taşıma Gücü Hesabı (Dinamik Kompaksiyon uygulanmış Zemin)		İyileşme Yüzdesi
Lokasyon1 SK1	$q_{emn} = 2,04 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon1 SK5	$q_{emn}=2,18 \text{ kg/cm}^2$	% 7,10
Lokasyon2 SK1	$q_{emn} = 1,93 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon2 SK5	$q_{emn}=2,26 \text{ kg/cm}^2$	% 17,03
Lokasyon3 SK1	$q_{emn} =1,81 \text{ kg/cm}^2$	Lokasyon3 SK5	$q_{emn}=1,95 \text{ kg/cm}^2$	% 7,94

Tablo 4.9’da görüleceği üzere dinamik kompaksiyon uygulanmış zeminlerden; 1. Uygulama alanında taşıma gücünde % 7,10, 2. Uygulama alanında taşıma gücünde %17,03 ve 3. Uygulama alanında taşıma gücünde % 7,94 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Dinamik Kompaksiyon sonucu elde edilen ortalama iyileşme oranı % 10,69 olarak belirlenmiştir.

4.5 Mikrotremor Ölçümlerine Göre Zeminin Değişen Dayanım Parametreleri

Aşağıda Tablo 4.10’da ölçümü alınan 15 noktanın dayanım parametreleri verilmektedir. Birinci, ikinci ve üçüncü lokasyonlarımızda uygulama yapılan tüm zeminlerin; frekans (F_0), zemin hakim titreşim periyodu (T_0), yatay/düşey oranı (H/V) ve yerel zemin davranış spektrumları (T_A ve T_B) değerleri verilmektedir. Değerler sırası ile; epoksi enjeksiyonu, çimento enjeksiyonu, kireç enjeksiyonu, ağırlık düşürme ve doğal zemin değerleri olarak sıralanmıştır.

Tablo 4.10. Mikrotremör ölçüm değerleri

LOK. NO	ÖLÇÜM NO	F ₀ (Hz)	T ₀ (s)	H/V Oranı	T _A (s)	T _B (s)	Uygulama Alanı Özelliği
L-1	MT 1	2,14	0,47	2,20	0,31	0,70	Epoksi enjeksiyonu
	MT 2	2,32	0,43	1,41	0,29	0,65	Çimento enjeksiyonu
	MT 3	2,45	0,41	1,40	0,27	0,61	Kireç enjeksiyonu
	MT 4	2,68	0,37	1,58	0,25	0,56	Ağırlık düşürme
	MT 5	2,72	0,37	3,22	0,25	0,55	Doğal zemin
L-2	MT 1	1,70	0,59	3,21	0,39	0,88	Epoksi enjeksiyonu
	MT 2	1,92	0,52	1,87	0,35	0,78	Çimento enjeksiyonu
	MT 3	2,07	0,48	3,42	0,32	0,72	Kireç enjeksiyonu
	MT 4	2,22	0,45	3,52	0,30	0,68	Ağırlık düşürme
	MT 5	2,29	0,44	3,29	0,29	0,66	Doğal zemin
L-3	MT 1	1,63	0,61	0,98	0,41	0,92	Epoksi enjeksiyonu
	MT 2	1,73	0,58	2,38	0,39	0,87	Çimento enjeksiyonu
	MT 3	1,81	0,55	1,87	0,37	0,83	Kireç enjeksiyonu
	MT 4	1,85	0,54	3,14	0,36	0,81	Ağırlık düşürme
	MT 5	1,91	0,52	2,31	0,35	0,79	Doğal zemin

- Yapılan mikrotremör çalışmasında zemin hâkim titreşim periyodu 0,37 - T₀ - 0,61 değer aralıkları elde edilmiştir.
- 3 ayrı lokasyonda yapılan ve bu 3 ayrı loksayon içerisinde 5 farklı şekilde yapılan deneyde mikrotremör ölçüm değerleri:

5 farklı ölçüm sonucunda elde edilen verilerde zemin gruplarının (zaman - frekans ortamında) hesaplanan periyotların çalışma sahasında deneylerin uygulanan zemine sıklık kazandırdığı ve zemin hâkim titreşim periyotların sayısal değerlerinin küçüldüğü hesaplanmıştır.

Zemin hâkim titreşim periyodu sırasıyla daha sıkı bir zemine dönüştüğü hesaplanmıştır.

1. Sırada Hiçbir İşlem Yapılmamış Ham Zemin
2. Sırada Ağırlık Düşürme İle İyileştirilmiş Zemin
3. Sırada Kireç Enjekte Edilmiş Zemin
4. Sırada Çimento Enjekte Edilmiş Zemin
5. Sırada Epoksi Enjekte Edilmiş Zemin

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Batman ili içerisinde Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde seçilen 3 ayrı lokasyonda arazi şartlarında toplam 15 noktada uygulamalı zemin iyileştirme teknikleri uygulanarak mikrotremor ölçümleri alınmıştır.

Epoksi enjeksiyonu ile iyileştirme yapılan lokasyonlarda ortalama %25,40 oranında bir iyileşmenin gerçekleştiği tespit edilmiştir. En verimli iyileşmenin sağlandığı uygulama epoksi enjeksiyonu ile sağlanmıştır.

Kimyasal zemin iyileştirme yöntemleri içerisinde değerlendirilebilecek epoksi enjeksiyonu ile zemin iyileştirme yöntemi üzerine daha önce yapılmış herhangi bir çalışmaya tarafımda rastlanılmamıştır.

Uygulaması yapılan üç lokasyonunda killi zeminlerden oluşmasından dolayı epoksi enjeksiyonun yeni bir zemin iyileştirme yöntemi olarak kabul edilebilmesi için diğer zemin türleri üzerinde de uygulamasının yapılması ve epoksinin çok maliyetli oluşundan dolayı ve en uygun karışım oranının saptanması gerekmektedir.

Çimento enjeksiyonu ile iyileştirme yapılan lokasyonlarda ortalama %17,99 oranında bir iyileşmenin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Kireç enjeksiyonu ile iyileştirme yapılan lokasyonlarda ortalama %12 oranında bir iyileşmenin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Basit dinamik kompaksiyon ile iyileştirme yapılan lokasyonlarda ortalama %10,69 oranında bir iyileşmenin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Alımı yapılan mikrotremor ölçümlerinden her 3 lokasyonda da zemine deney uygulanmadan önce hesaplanan zemin hâkim titreşim periyodu değerlerinde deneyden sonra minimal düzeyde düşüş olduğu ve dolayısıyla bu durum; zeminde beklenen iyileşmenin (veya zemini güçlendirmenin) gerçekleştiğinin bir diğer göstergesidir.

Hâkim titreşim periyotlarının, %5-10 arası küçük bir oranda dahi olsa, azaldığı yapılan hesaplamalardan anlaşılmaktadır.

Zemin iyileştirme çalışmaları, uzman bir ekip tarafından gerçekleştirildiğinde çok daha yüksek iyileştirme-güçlendirme değerlerine ulaşılacaktır.

İyileştirme veya Güçlendirme yöntemi zemin türüne göre seçilmeli, yapılacak iş/işlemler çok hassas olarak uygulanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Alataş, T., Yıldırım, B., 1997. “Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Kireç ile Birlikte Kullanımı. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması” 3, 21-35, Eskişehir.
2. Allen D.J., Ishida H., 1996. Mechanical Characterization of Copolymers Based on Benzoxazine and Epoxy, Polymer, Vol 37, pp 4487-4495.
3. Altun, S., 2010. Zemin iyileştirme yöntemleri, derin temeller ve uygulama örnekleri. İzmir İnşaat Mühendisleri Odası.
4. Arslan, M., 1991, Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
5. Aşçı, M., Özçep, F., Çetinel, T., Alpaslan, N., Irmak, S., Ulutaş, E., Güven, İ.T., Tunç, B., Tunç, S., Çaka, D., Yas, T., Efeoğlu, E., Barış, Ş. Ve Özer, M.F., 2005. “Zemin Sıvılaşması İle Mikrotremor Çözümleme Sonuçlarının Karşılaştırılması”, Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, 1140, Kocaeli.
6. Atanur, A., 1971. “Uçucu Küllerin Kimyasal ve Fiziksel Vasıfları ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması”, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.
7. Atanur, A., 1973. “Kireç Stabilizasyonu ve Yol Yapımındaki Tatbikatı”, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
8. Bayülke, N., 2011. Zemin Ve Betonarme Yapı Deprem Davranışı, Ankara: Evrim Yayınevi.
9. Bolbol, D., 2016. ‘Mikrotremor Verilerinin Elde Edilen H/V Eğrilerinin Güvenilirliğinin ve Zemin Hakim Titreşim Periyodunun Nitelenmesi: Bornova (İzmir) Kent Merkezi Örneği’, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
10. Bulmuş. V., Pişkin. E., 2000. Epoksi Reçineleri, Mühendislik Polimerleri s 24-44 Pgev Yayınları, İstanbul.
11. Cilason, N., 1964. “Toprak Stabilizasyonu”. K.G.M., Yayın No: 122, Ankara.
12. Coşgun, T., Pınar, A., Yüksel, F.A. ve Coşgun, A., 2007. “Mevcut Yapıların Deprem Riski Analizinde, Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Örnek Bir Mikrotremor Çalışması”, Kocaeli 2007 International Earthquake Symposium, 37-45, Kocaeli.
13. Elias, V., Welsh, J., Warren, J., Lukas, R., Collin, J.G., and Berg, R.R., (2006), Ground Improvement Methods, Volumes I and II, FHWA NHI-06- 019 ve FHWA NHI-06-020, US Dept.of Transportation, Federal Highway Administration.

14. Gearino, J., (2010). Homeowners may get dynamic compaction damage relief. Wynoming's Online News Source.
15. Hwang, J.H., Tu, T.Y., (2006). Ground vibration due to dynamic compaction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering V.26, No.5, pp. 337 – 346.
16. Impe, W.F.V., (1989). Soil Improvement Technique and their Evolution, A. A. Balkema, Rotterdam.
17. Işık, E., 1999, Epoksi ile Yapıştırılan ve Karbodur Elemanları ile Takviye Edilmiş Kompozit Kirişlerin Negatif Moment Bölgesindeki Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 12-13.
18. Juesheng, G.U., Subhash, C.N., Eli, M.P., 1985. Curing of Epoxy Resing with Dipphenyliodonium Salts as Thermal Initiators, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 30 pp. 2997-3007, 1985.
19. Kanai K., Tanaka T., 1954 On microtremors I, Bulletin of the Earthquake Research Instute 32,199-209.
20. Kanai K., Tanaka T., 1961. On microtremors VIII, Bull.of the Earthquake Research Instute 39, 97-114.
21. Karabulut, S., Özel, O., Özçep, F., “Deprem Tehtidi Altındaki Mühendislik Yapılarının Hakim Titreşim Periyotlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Seçenek: Mikrotremor Yöntemi Ve Örnek Uygulaması”, New World Sciences Academy, 4:3, 428-441, (2009).
22. Karagöz, Ş., 2014. “Betonarme Binaların Dinamik Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
23. Karayolları Genel Müdürlüğü TADB Teknik Araştırma Daire Başkanlığı Üstyapı Şube Müdürlüğü, Mart/2005 Kireç Stabilizasyonu Teknik Şartnamesi, Ankara.
24. Katz, L. J., 1976. Microtremor analysis of local geological conditions, Bull. Seism. Soc. Am. 66, 45-60.
25. Kavak A. , Güngör A. G. , Avşar C. , Atbaş B. , 16-17 Ekim 2008, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi Selçuk Üniversitesi, Konya.
26. Kaygusuz M.A., 2008, Yangın Hasarına Uğramış Betonun GFRP ve Epoksi Enjeksiyonu ile Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
27. Lermo, J. ve Chavez, G.F.J., 1994. Area Microtremors useful in site response evaluation. Bulletin of the Seismological Society of America, 84 (5), 1350–1364.
28. Mamedov B.A., Vidadi Yu.A., Alivea D.N. Regimov A.V., Paramagnetism and Electrical Conductivity Centre Relation in Semiconductor Oligoresorsinol, Polymer International, Vol. 43 pp 126-128 (1997).

29. Mayne, P.W., Jones, J.S., ve Dumas, J.C., (1984). Ground response to dynamic compaction. *Journal of Geotechnical Engineering*, V.110, No.6, pp. 757 – 774.
30. Mucciarelli, M., 1998. Reability and applicability of Nakamura’s Technique using microtremors: An experimental approach, *Journal of Earthquake Engineering*, 2,4,625-638.
31. Nogoshi M., Igarashi T., 1970. On the propagation characteristics of microtremors, *Journal Seismological Society Japan*, 23, 264– 280.
32. Nogoshi, M., Igarashi, T., 1971. On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2) (in Japanese with English abstract), *Journal Seismological Society Japan*, 24, 26-40.
33. Nalçakan M. S. 2004 430/2 TMH- Türkiye Mühendislik Haberleri.
34. Özbayoğlu, F., Gürel, A., 1997. “Nevşehir Pomzalarının Puzolonik Maddeler Katkısı İle Yol Stabilizasyonunda Kullanılması”. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 113-118, Isparta.
35. Özcan, G., “Yapıların Dinamik Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleri ile Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2013).
36. Rodriquez, A.R., “Soil Mechanics in Highway Engineering”, 1988.
37. www.zeminguclendirme.net/zemin-guclendirme.html (Erişim T.: 01.03.2016).
38. www.docplayer.biz.tr/93906-Zemini-kirec-ile-sabitlemek-guclendirmek.html (Erişim T.: 01.03.2016).
39. Sanchez G., Brito Z., Mujica V., Perdomo G., 1993. The Thermal Behaviour of Cured Epoxy-Resing The Influence of Metallic Fillers, *Polymer Degradation and Stability*, Vol.40, pp 109-114.
40. SCDOT, (2010). Ground Improvement, Bölüm 19. *Geotechnical Design Manual*. South Carolina.
41. Siyahi, B., Selçuk, M.E., 2005. “Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesinde Mikrotremor Ölçümlerinin Kullanılması: Adapazarı Örneği”, *Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu*, 1167-1177.
42. Şahmetlioğlu, E., 2000. Epoksi Reçinelerinin Üretimi, Bağlayıcı ve Yapıştırıcı Olarak Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 16-30.
43. Tekebaş, S., Yalçinkaya, E., 2011. “Mikrotremor Verilerinde Güvenilir H/V Eğrisi ve Belirgin T0 Niteleme Koşulları”, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 1-8.

44. Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. John Wiley, New York.
45. Tunç, A. 2001 Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınları, Yayın No.1, I. Baskı, İstanbul, s. 272.
46. Tunç, A., 2002. Yol mühendisliğinde geoteknik ve uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
47. Utku, M., Akgün, M., Özden, G., Gürler, M. ve Özdağ, Ö.C., 2011. “Mikrotremor Verisini Değerlendirmede Özel Durumlar”, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 1-10.
48. Yavuzcan A. 2008. Betonarme Kirişlerde Çatlakların Epoksi Enjeksiyonu İle Onarımının Eğilme Rijitliği Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

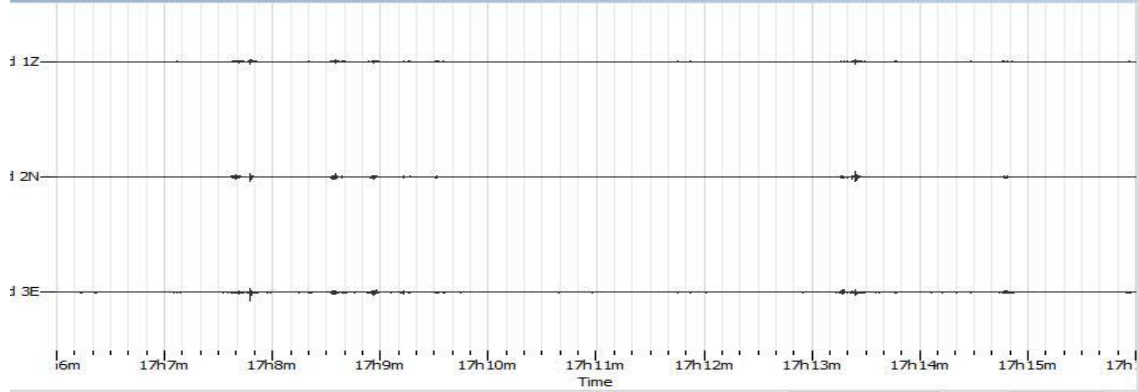
EKLER

EK-A:

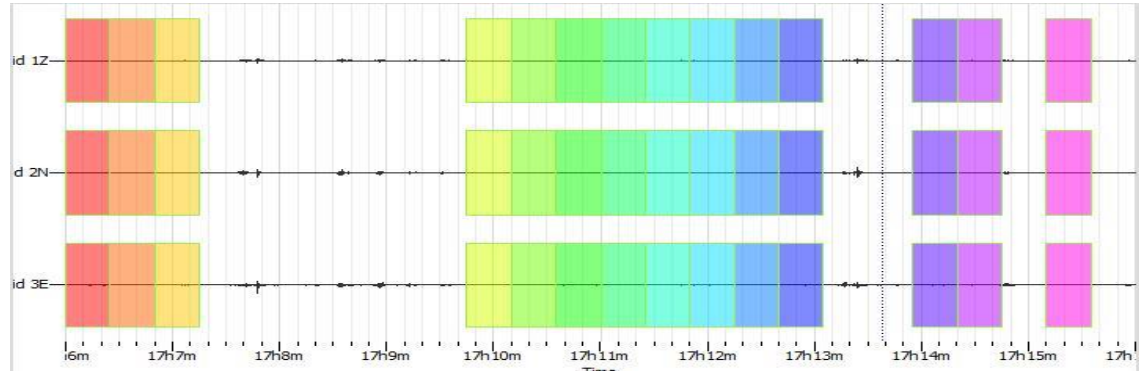
ÇALIŞMA ALANLARINDA YAPILAN MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİ VE YORUMLARINA AİT GRAFİKLER

Uygulama Alanı 1'in Ölçüm Değerlendirmeleri (Lokasyon 1)

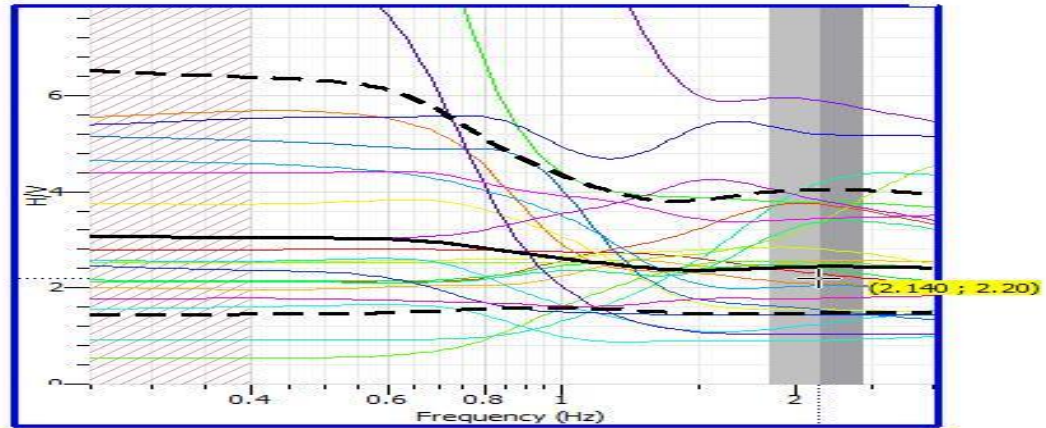
MT1 Ölçümü



Şekil A.1. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

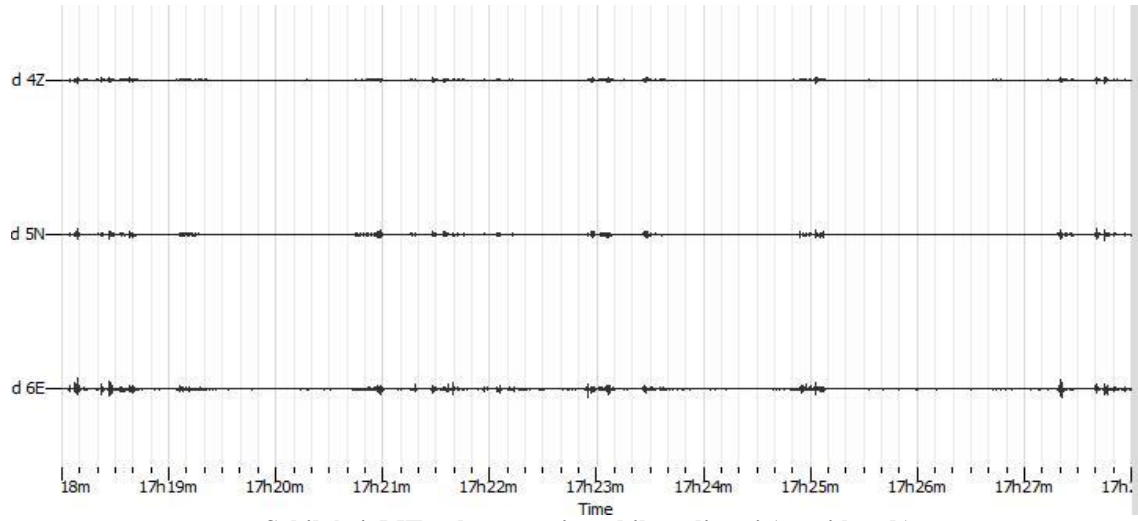


Şekil A.2. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

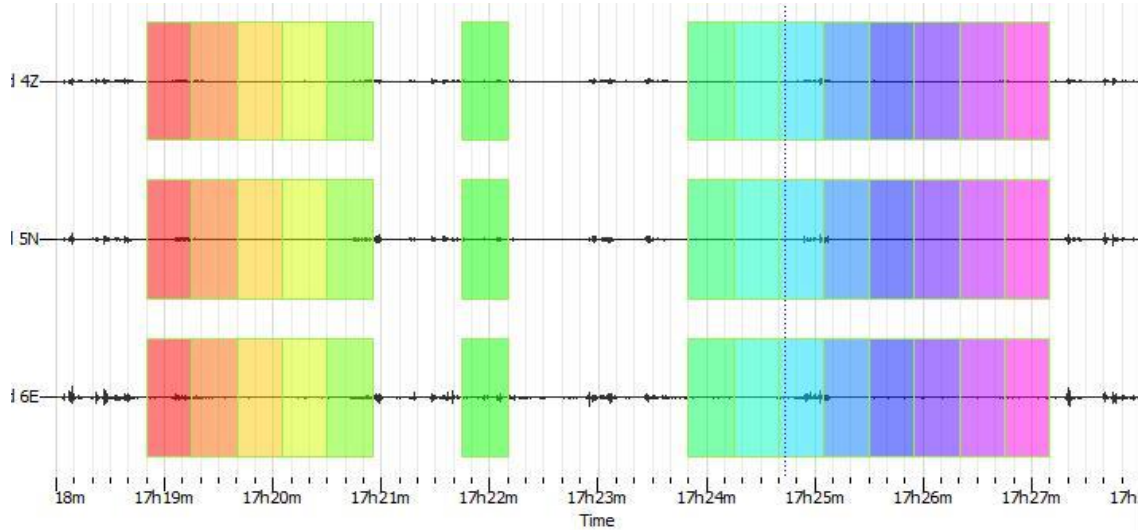


Şekil A.3. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

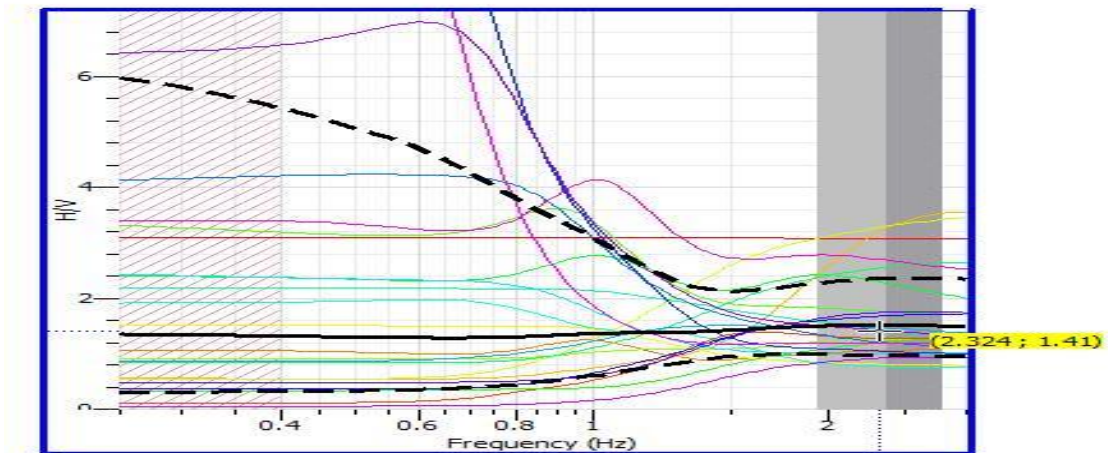
MT2 Ölçümü



Şekil A.4. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

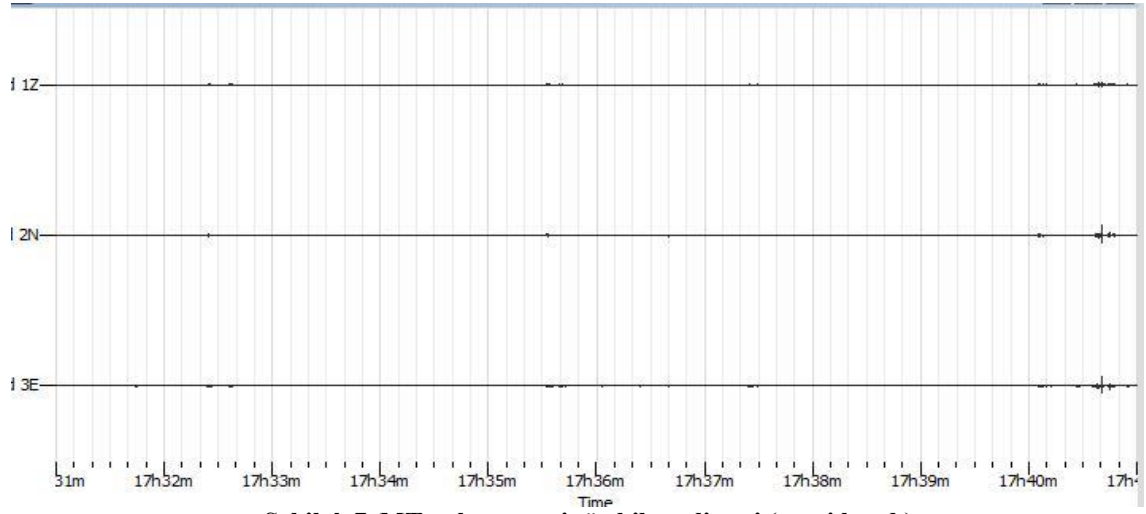


Şekil A.5. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

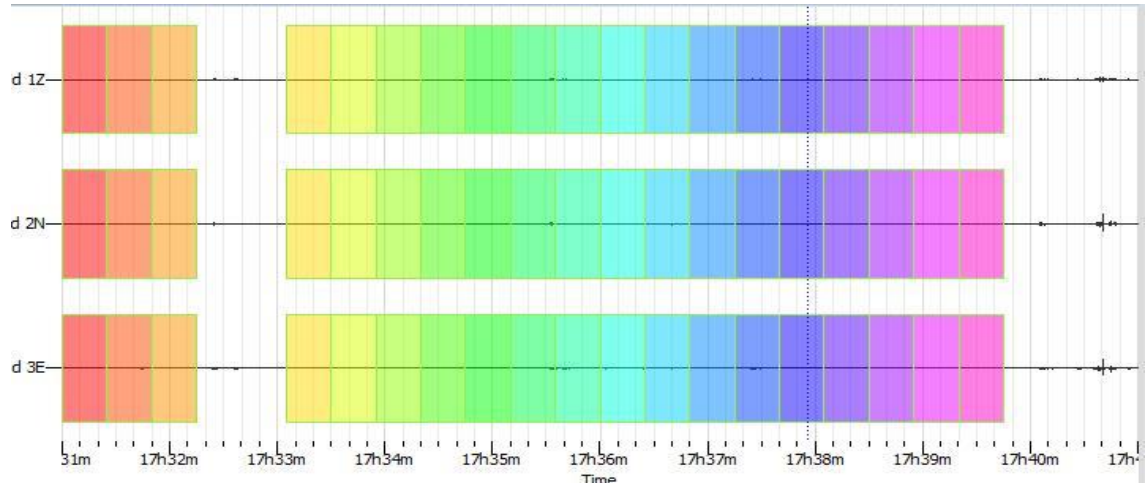


Şekil A.6. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

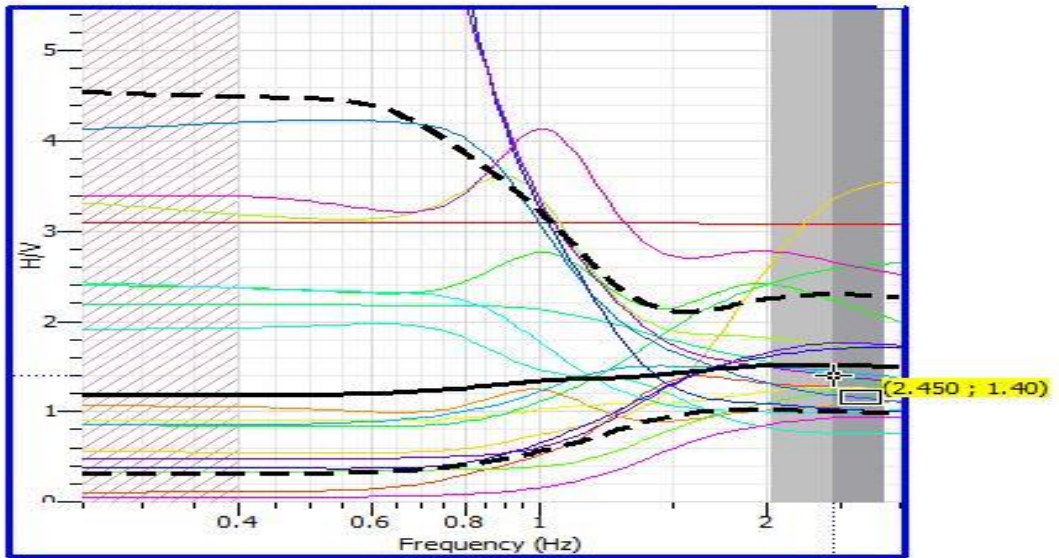
MT3 Ölçümü



Şekil A.7. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

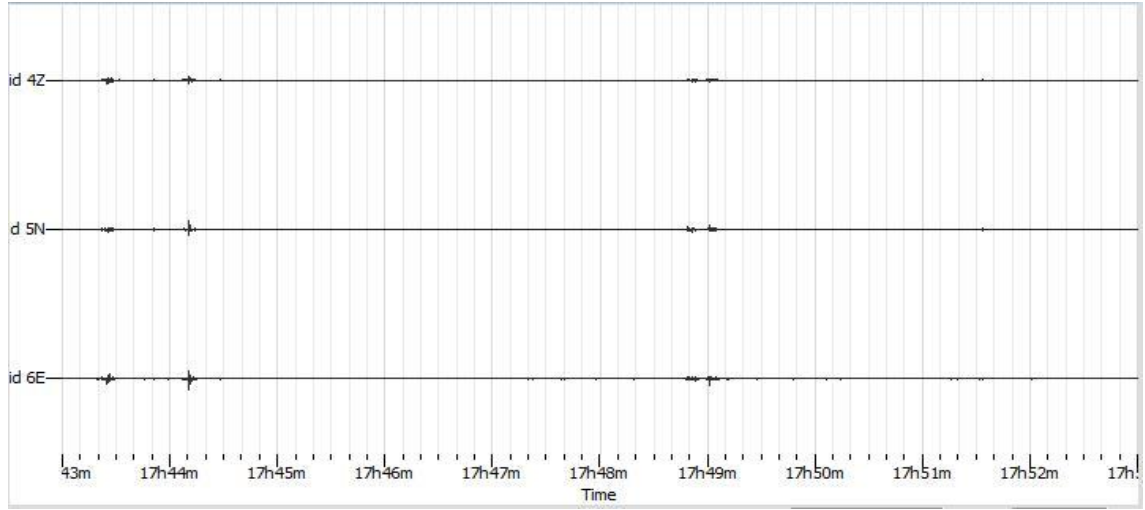


Şekil A.8. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

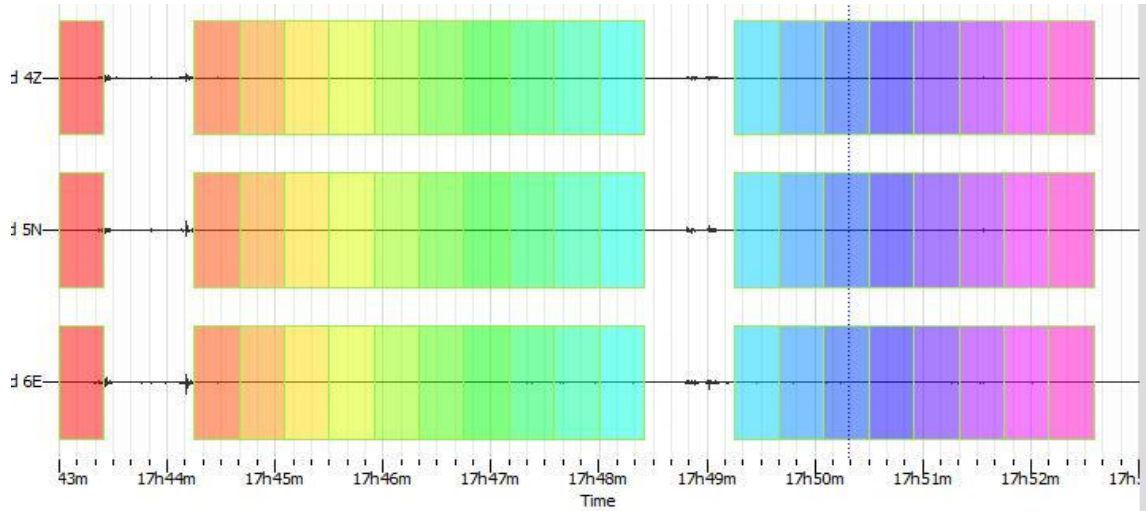


Şekil A.9. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

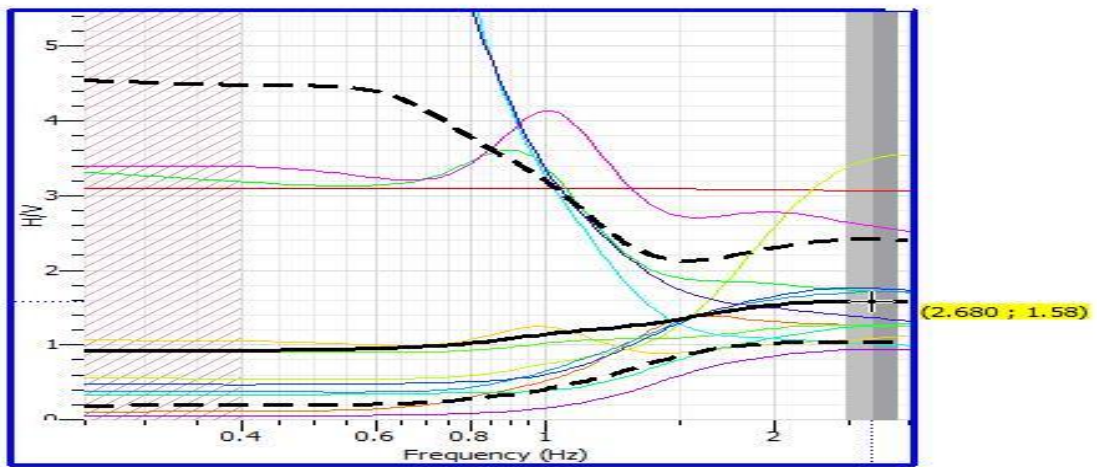
MT4 Ölçümü



Şekil A.10. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

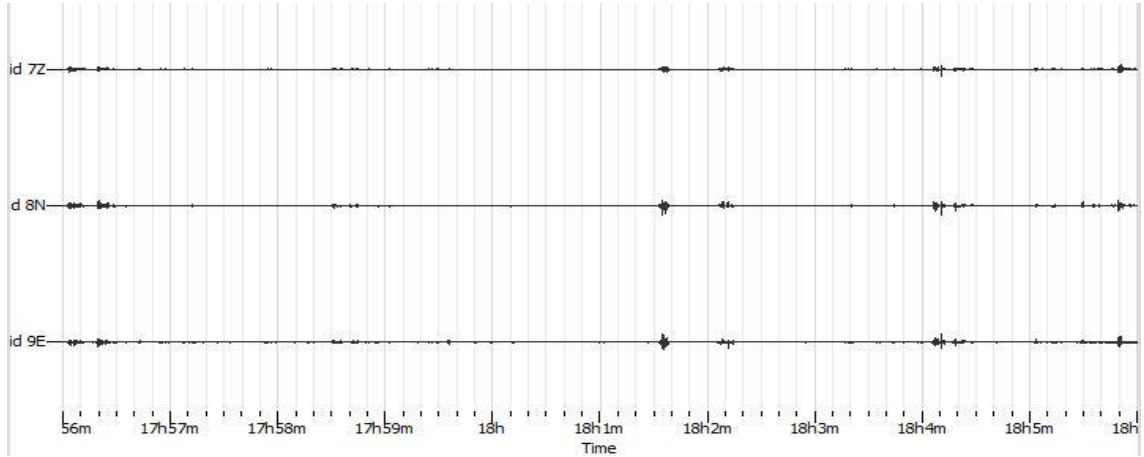


Şekil A.11. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

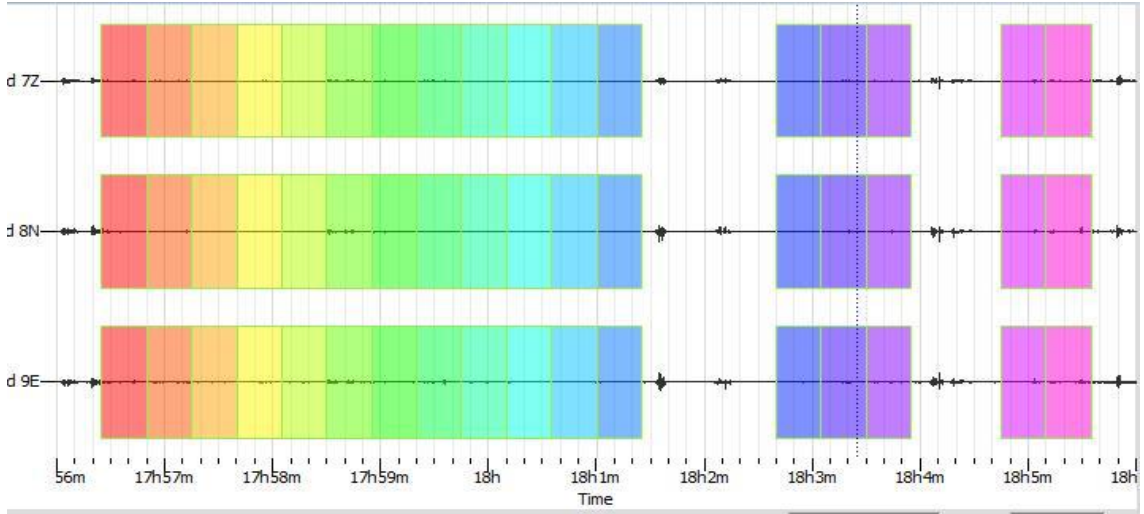


Şekil A.12. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

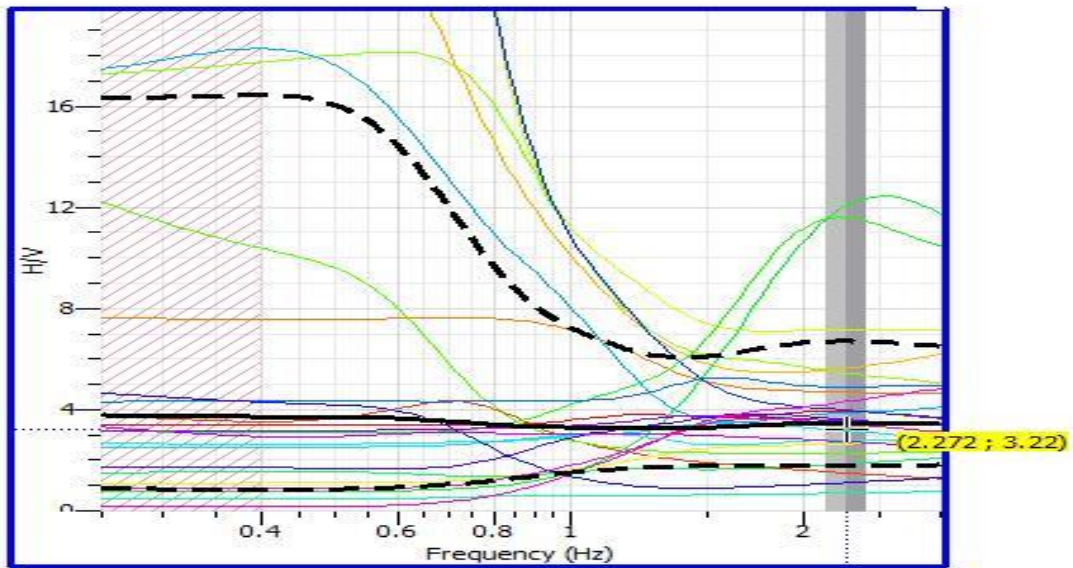
MT5 Ölçümü



Şekil A.13. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)



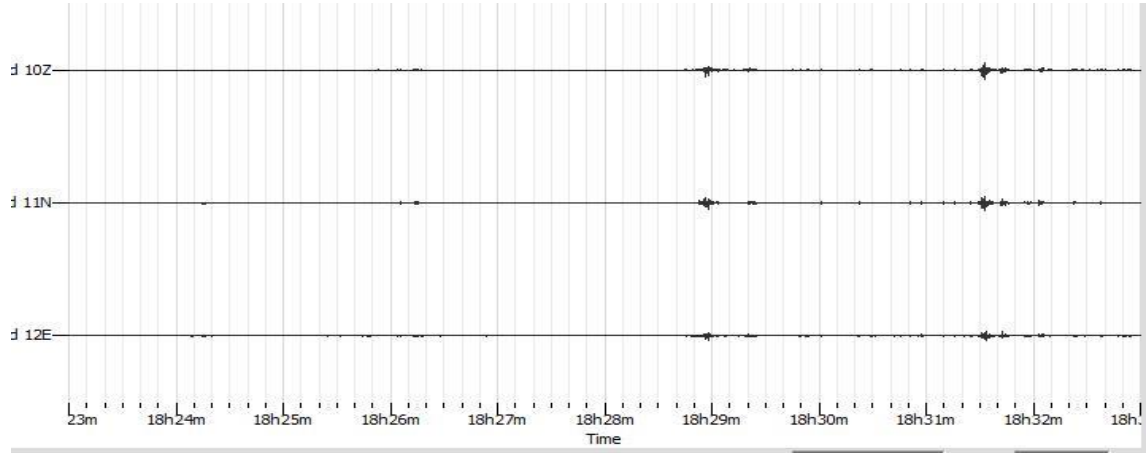
Şekil A.14. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri



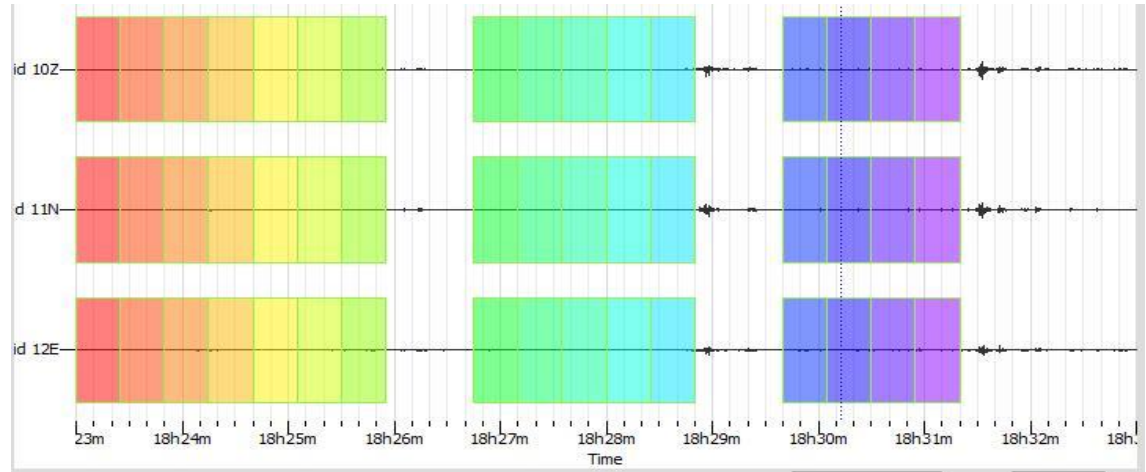
Şekil A.15. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

EK-B:

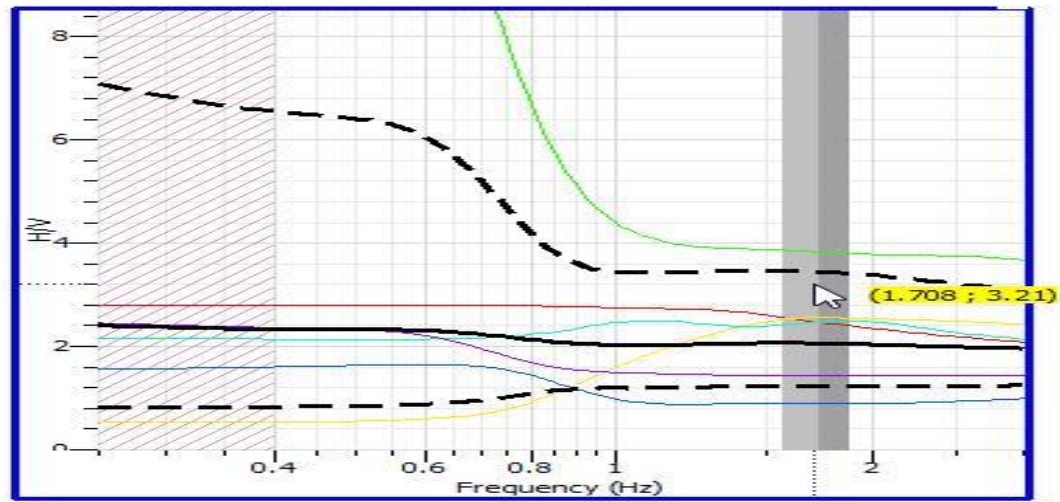
Uygulama Alanı 2'nin Ölçüm Değerlendirmeleri (Lokasyon 2)
MT1 Ölçümü



Şekil B.1. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

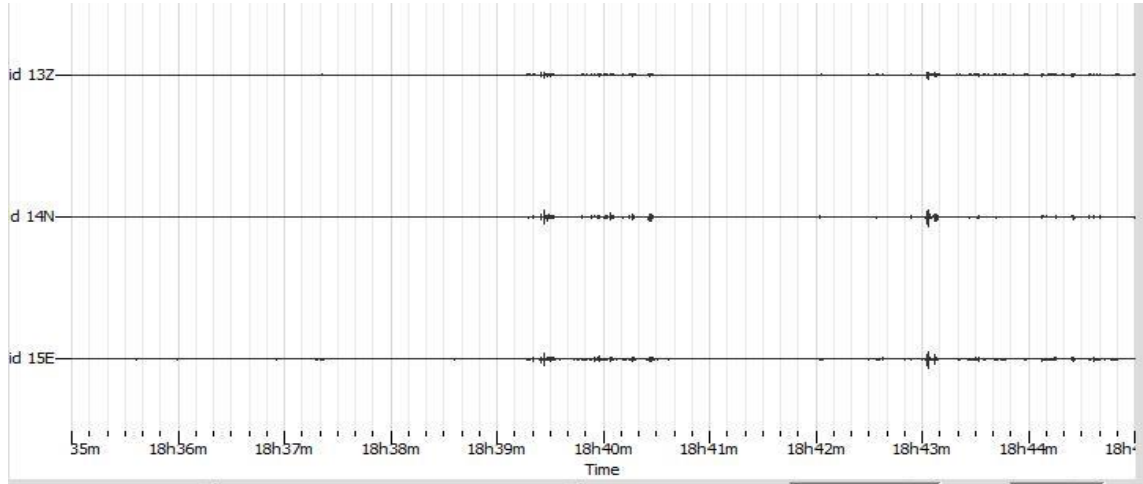


Şekil B.2. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

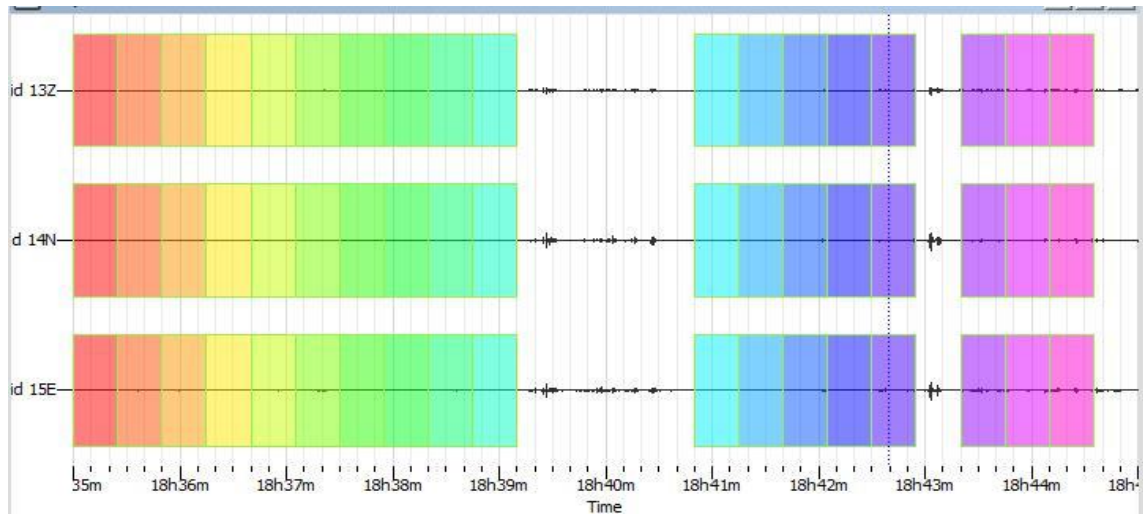


Şekil B.3. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

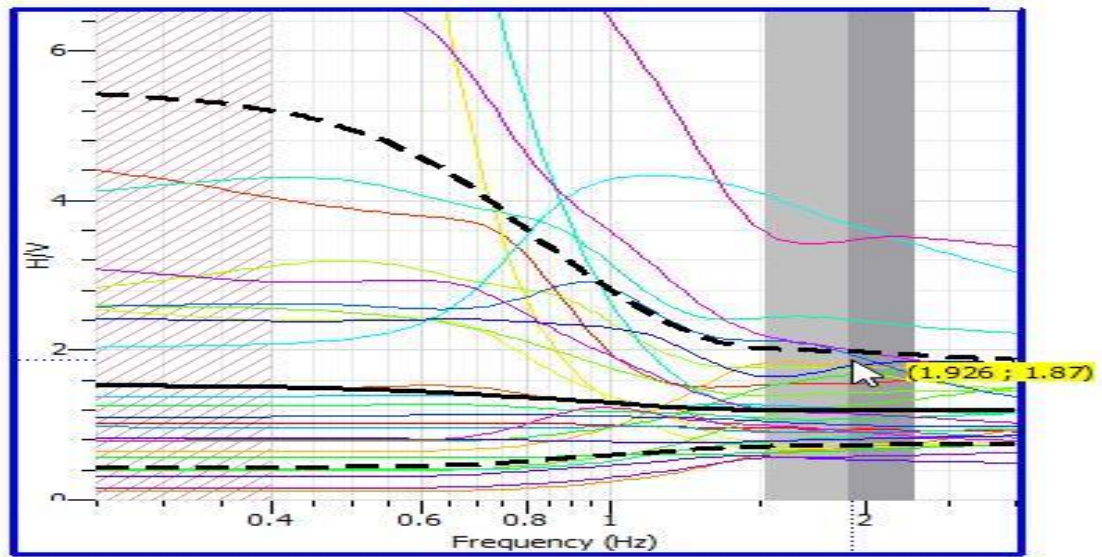
MT2 Ölçümü



Şekil B.4. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

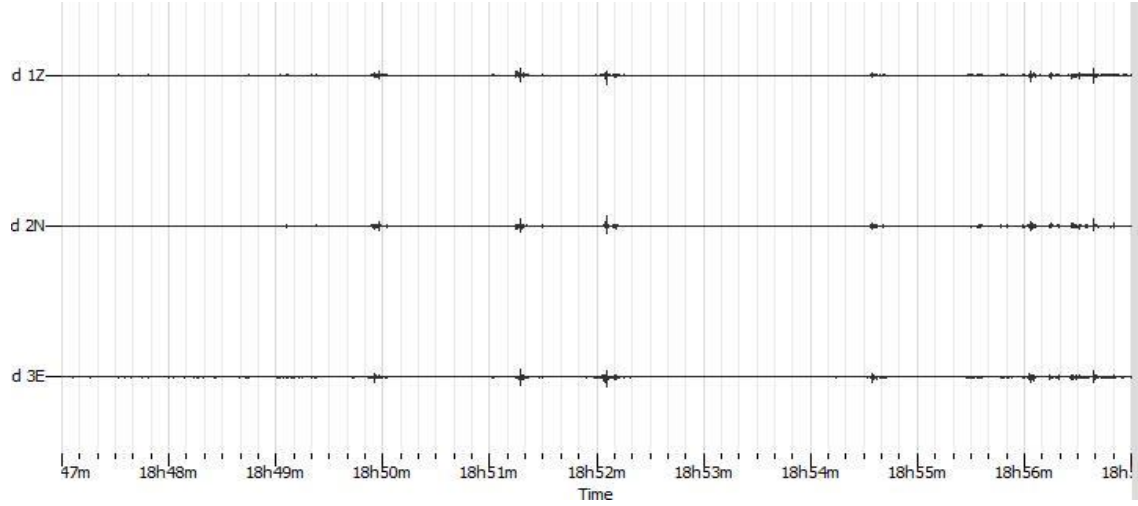


Şekil B.5. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

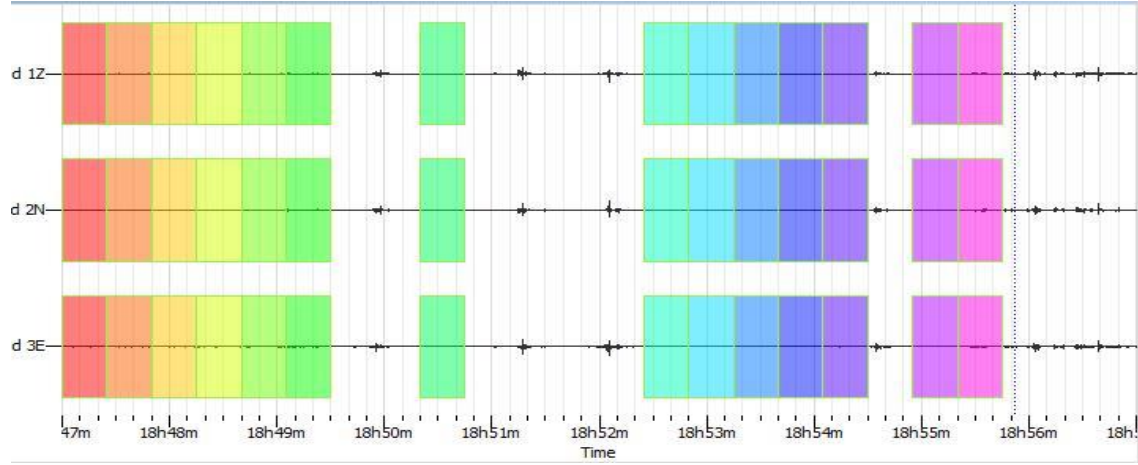


Şekil B.6. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

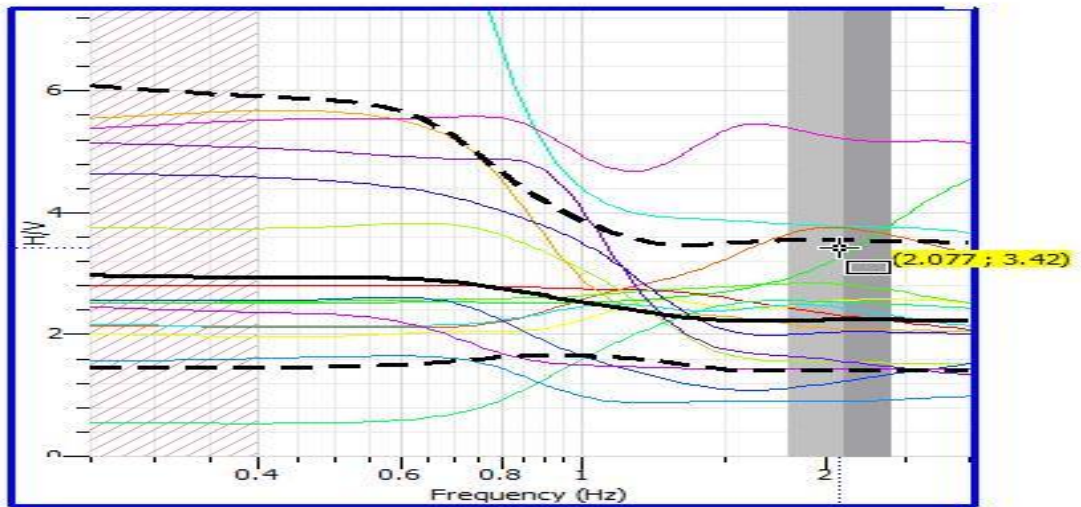
MT3 Ölçümü



Şekil B.7. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

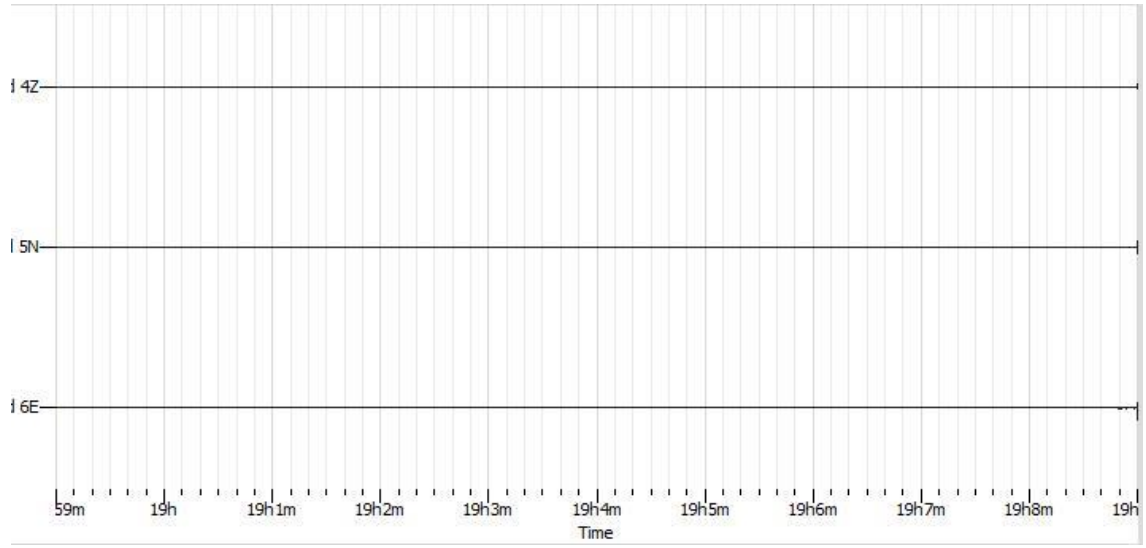


Şekil B.8. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

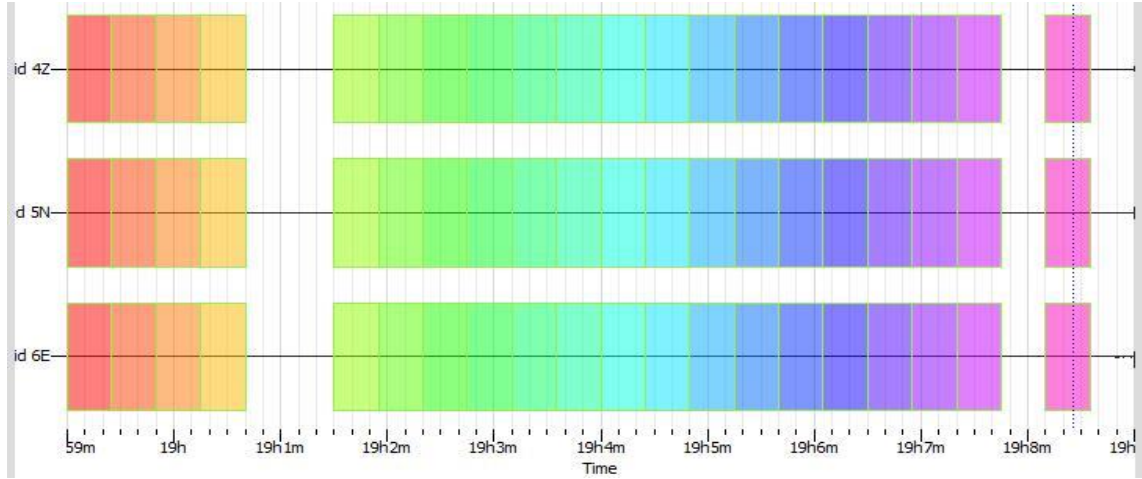


Şekil B.9. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

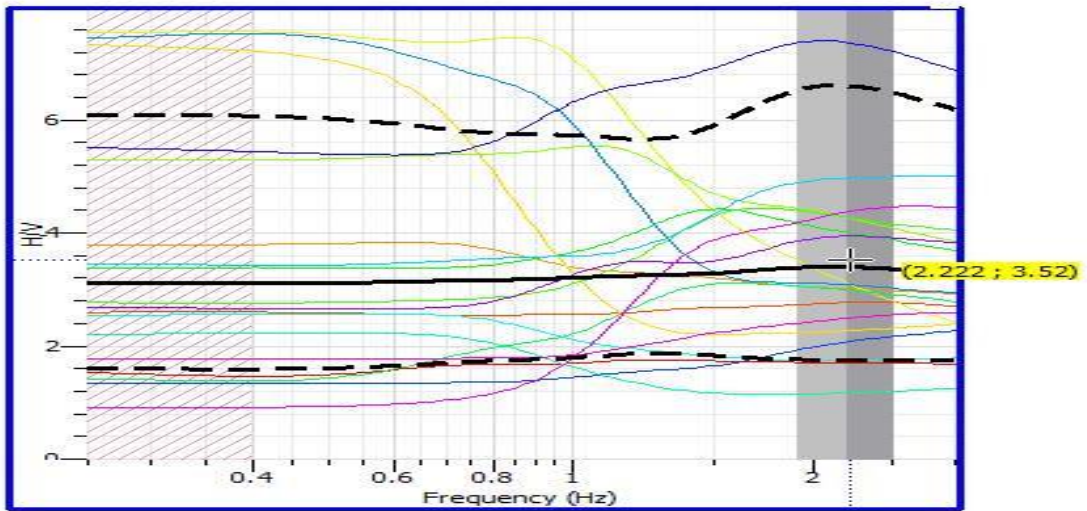
MT4 Ölçümü



Şekil B.10. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

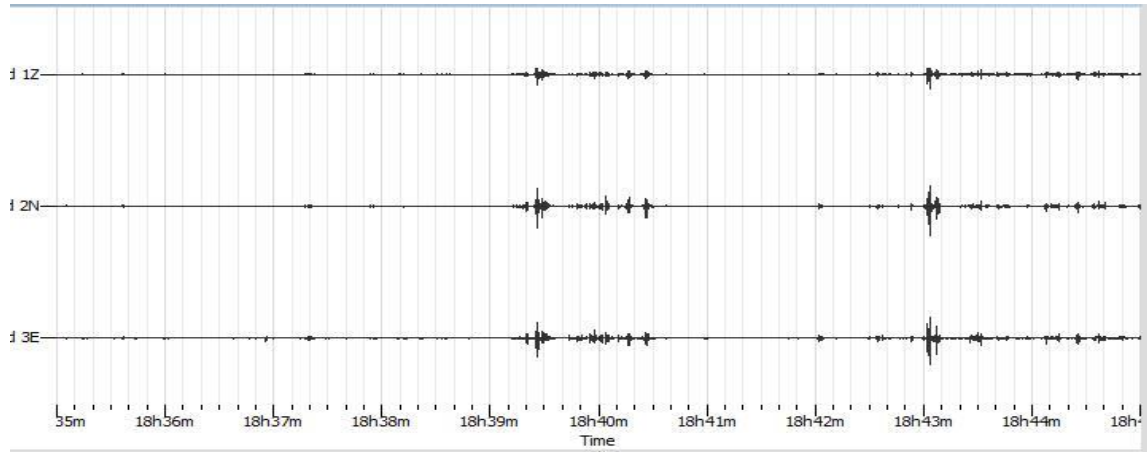


Şekil B.11. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

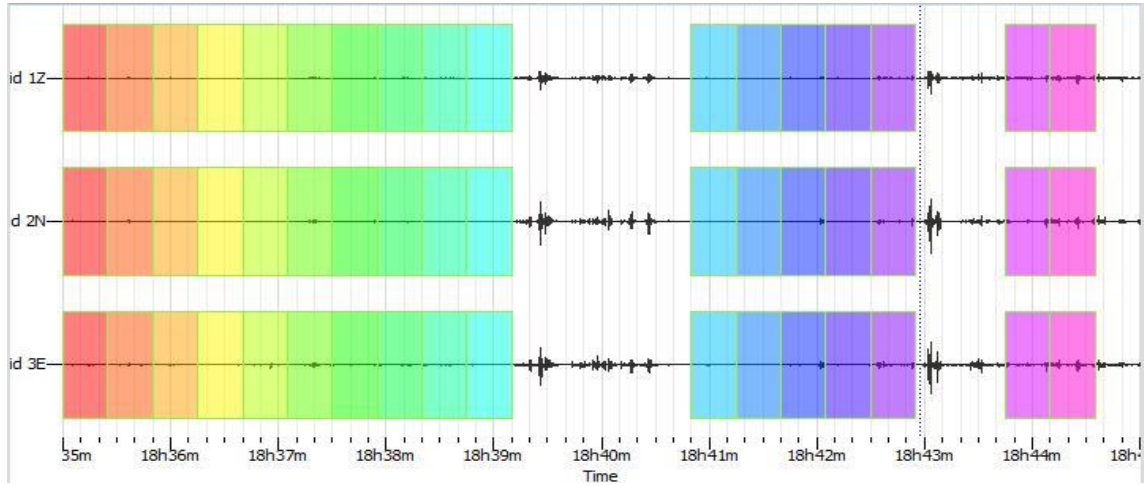


Şekil B.12. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

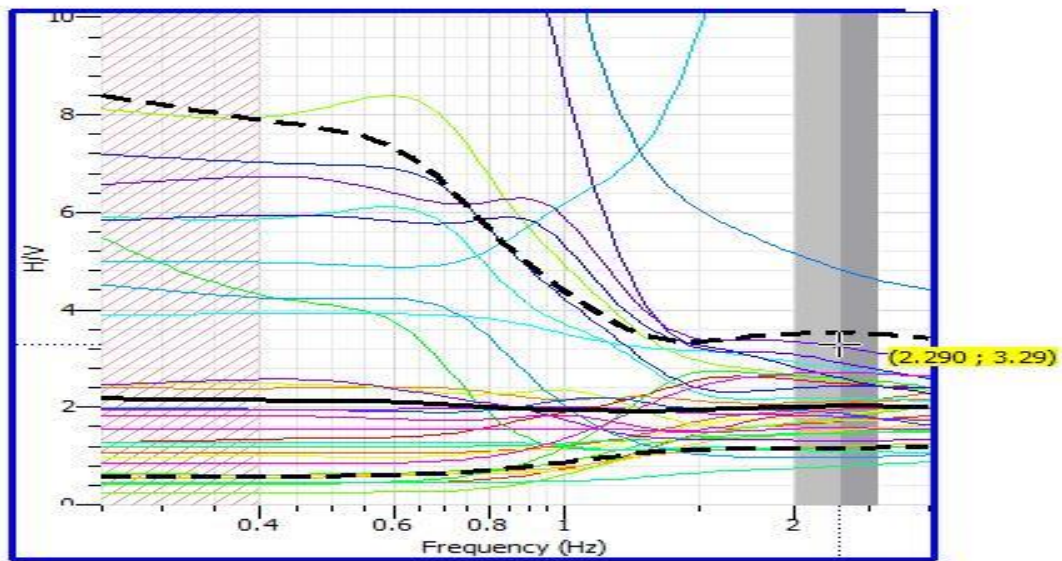
MT5 Ölçümü



Şekil B.13. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)



Şekil B.14. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

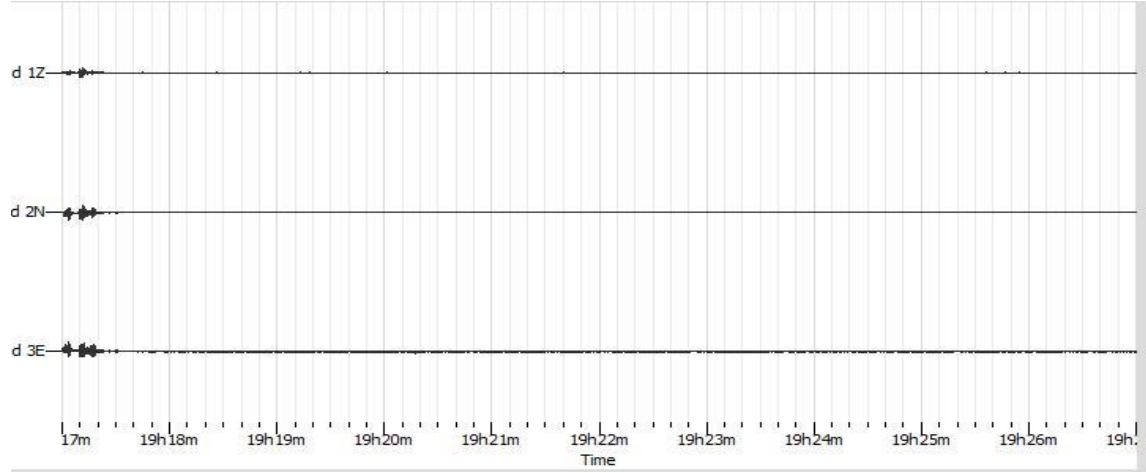


Şekil B.15. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

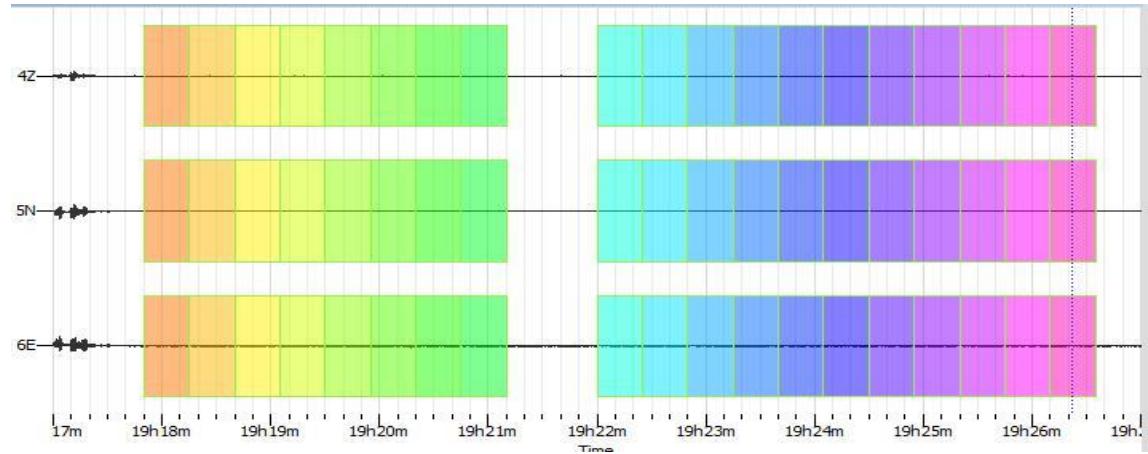
EK-C:

Uygulama Alanı 3'ün Ölçüm Değerlendirmeleri (Lokasyon 3)

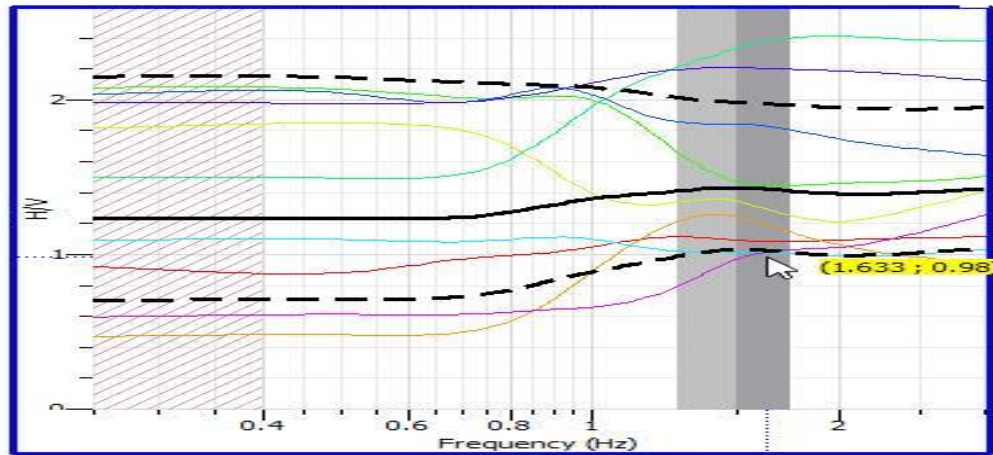
MT1 Ölçümü



Şekil C.1. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

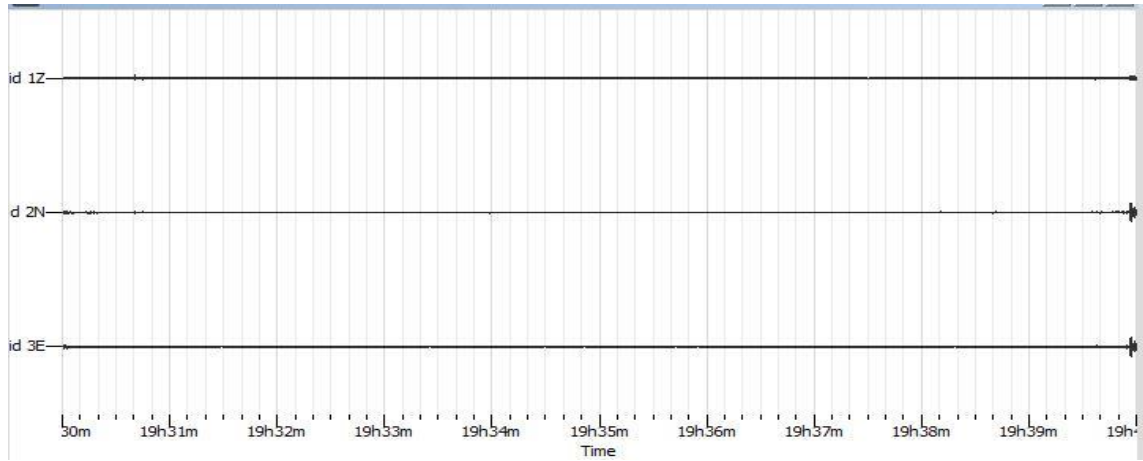


Şekil C.2. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

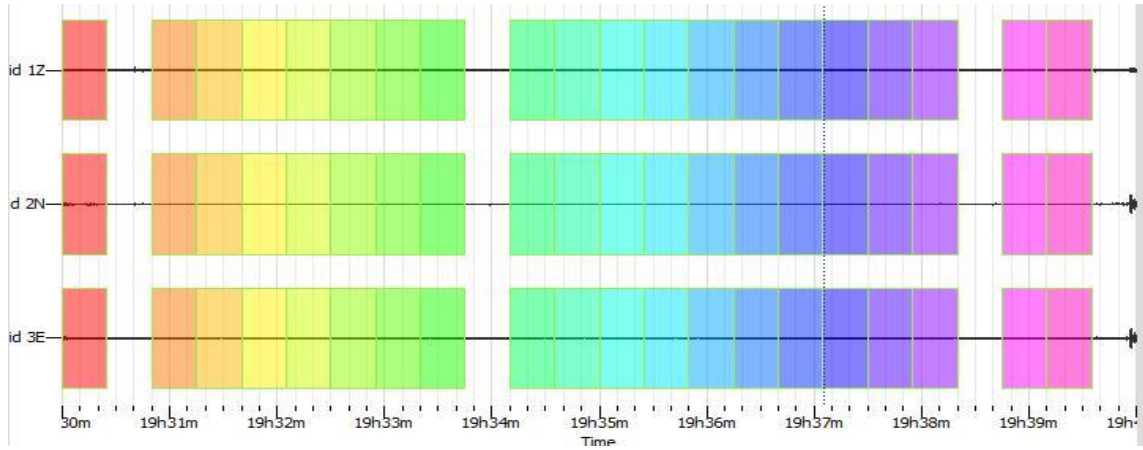


Şekil C.3. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

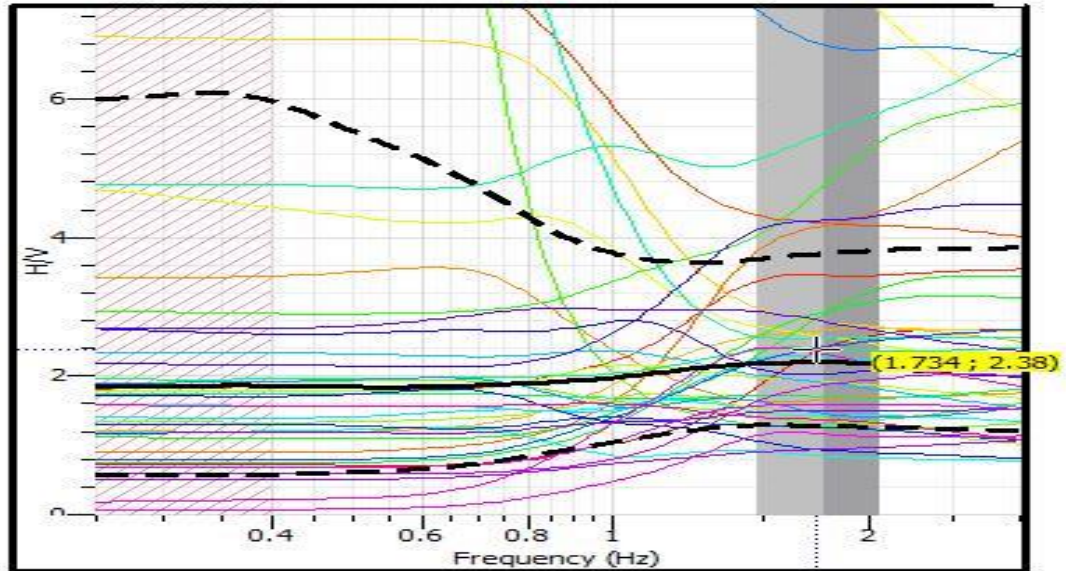
MT2 Ölçümü



Şekil C.4. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

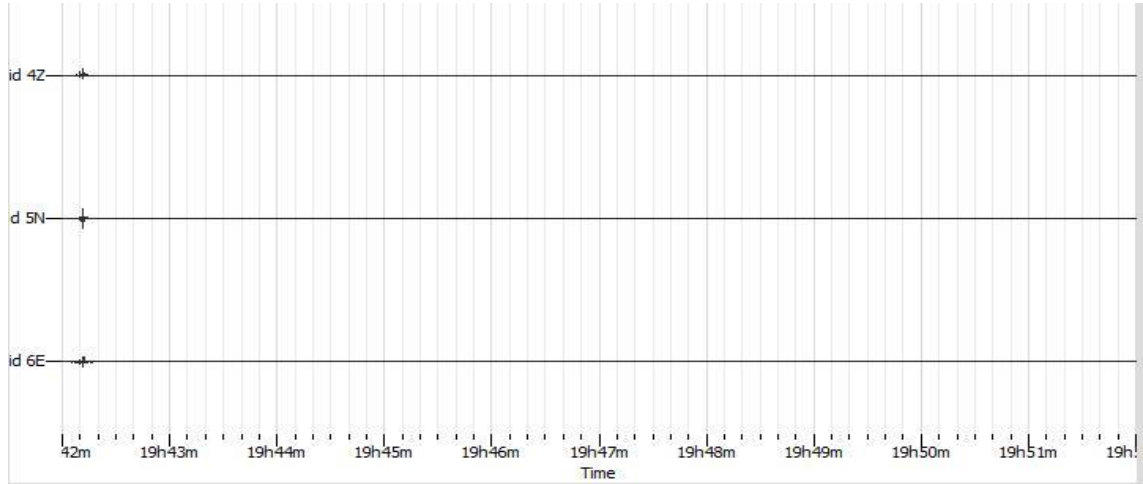


Şekil C.5. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

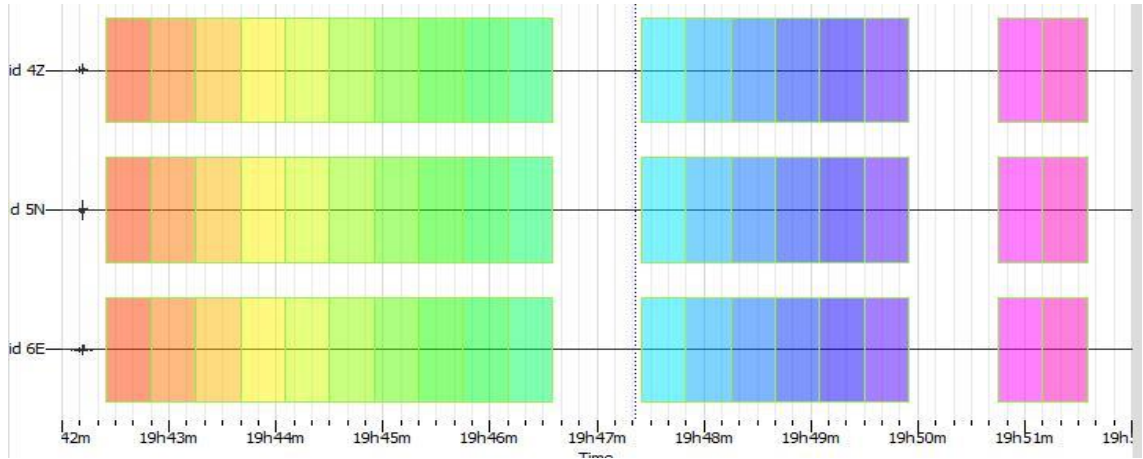


Şekil C.6. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

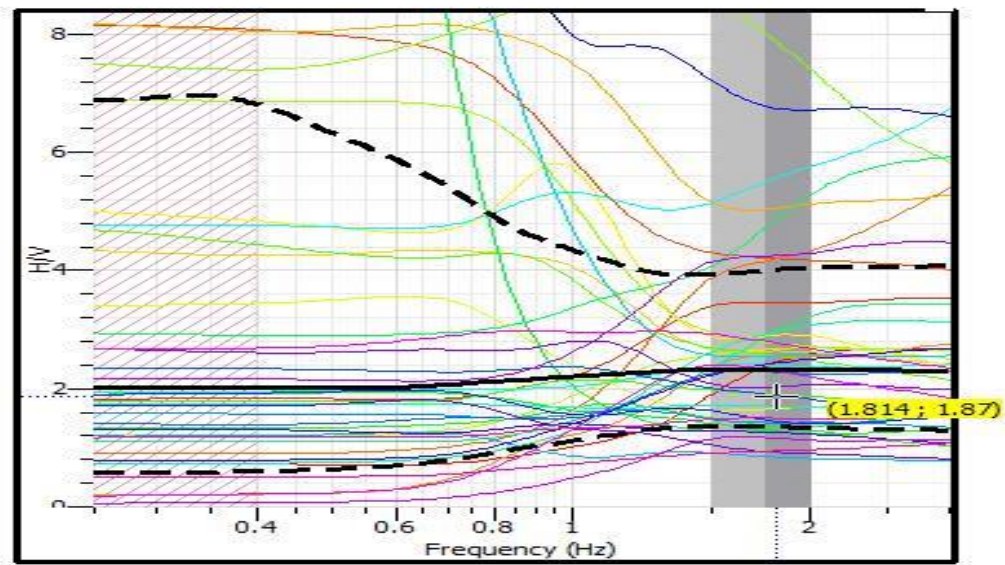
MT3 Ölçümü



Şekil C.7. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

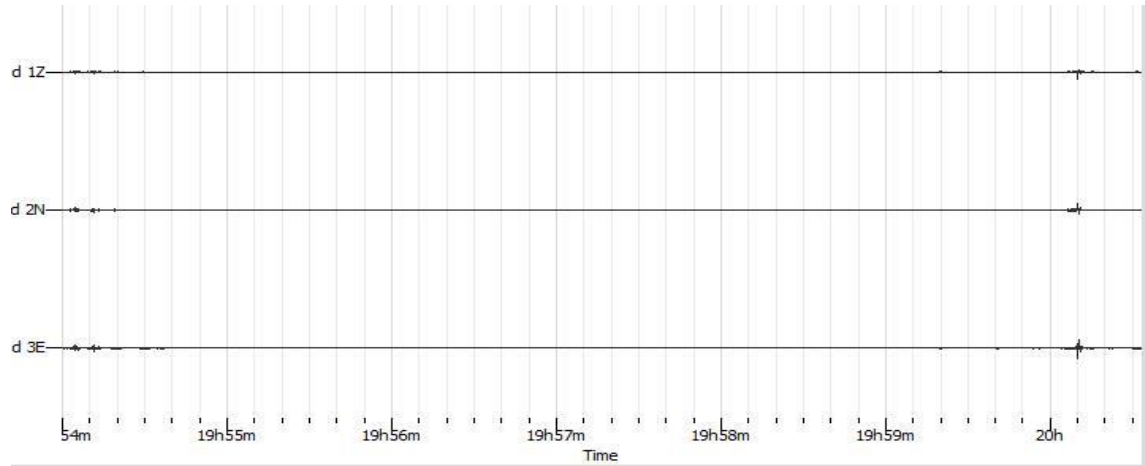


Şekil C.8. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

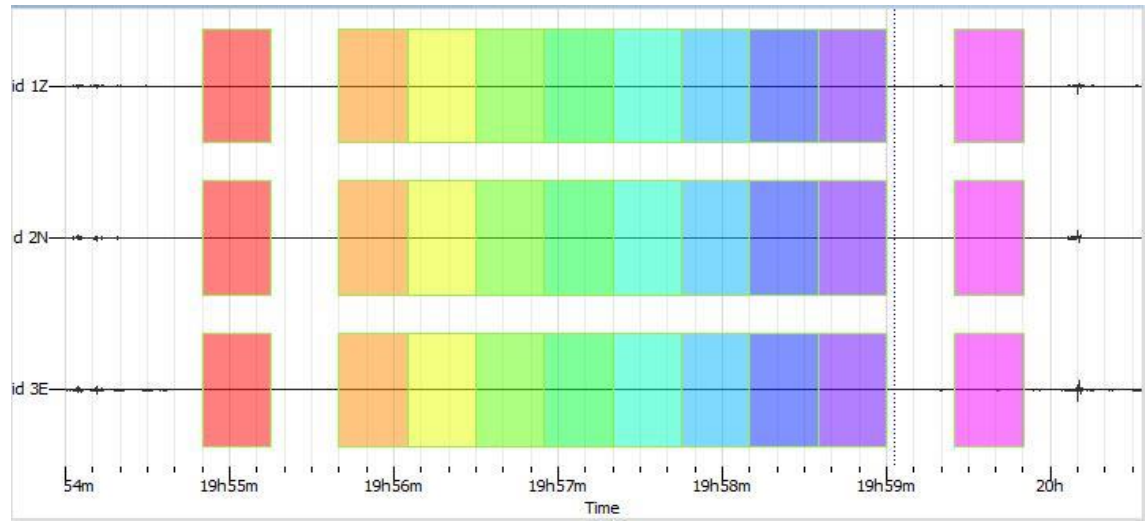


Şekil C.9. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

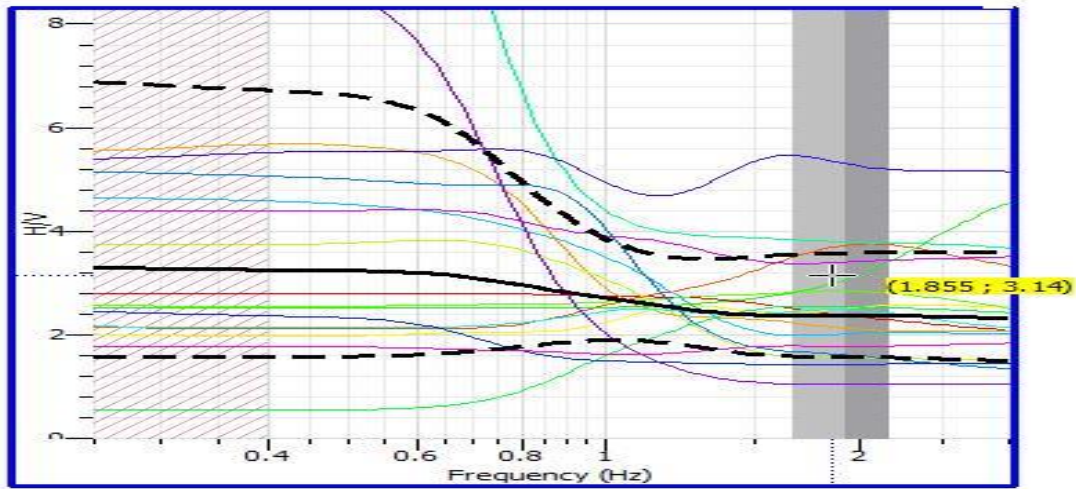
MT4 Ölçümü



Şekil C.10. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)

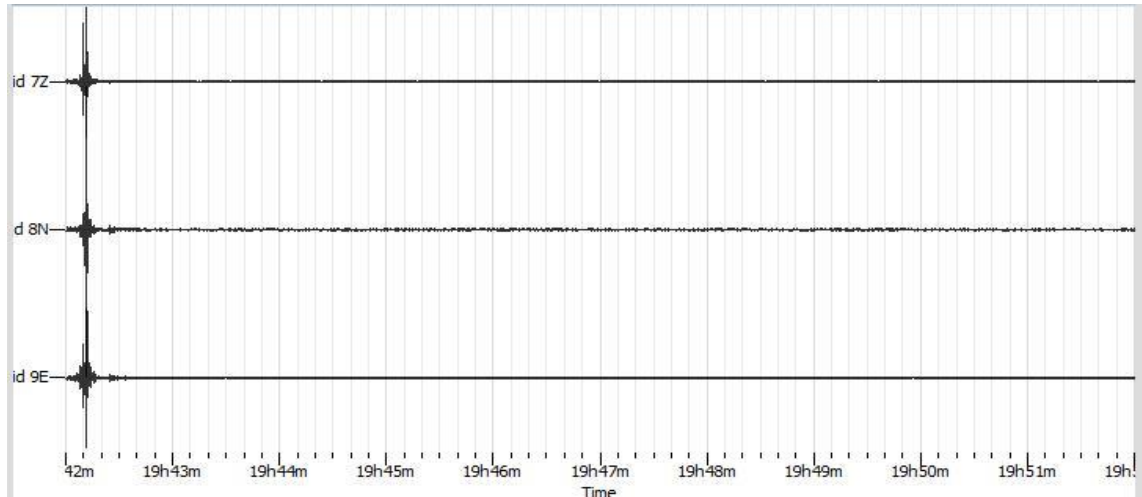


Şekil C.11. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri

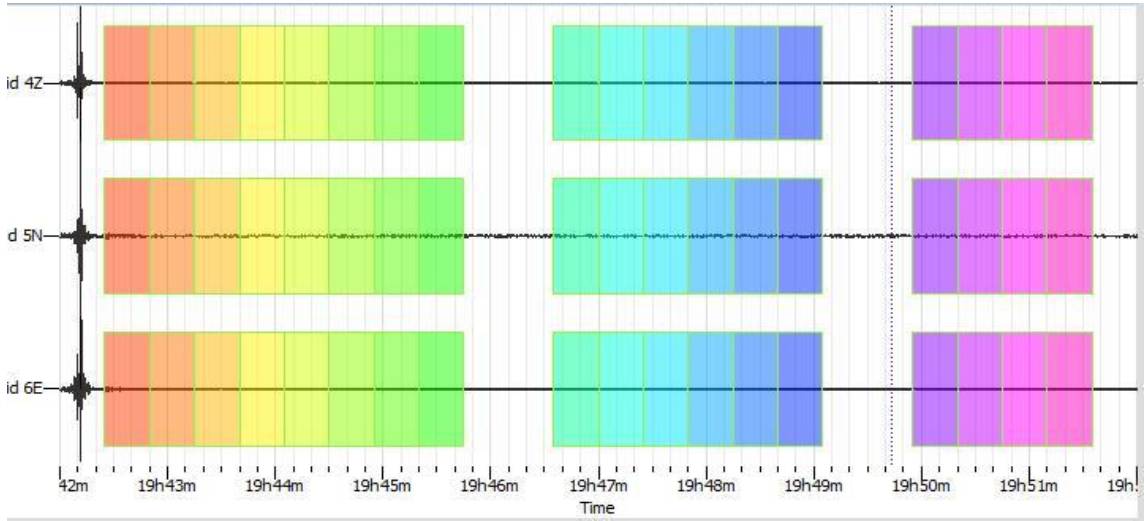


Şekil C.12. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

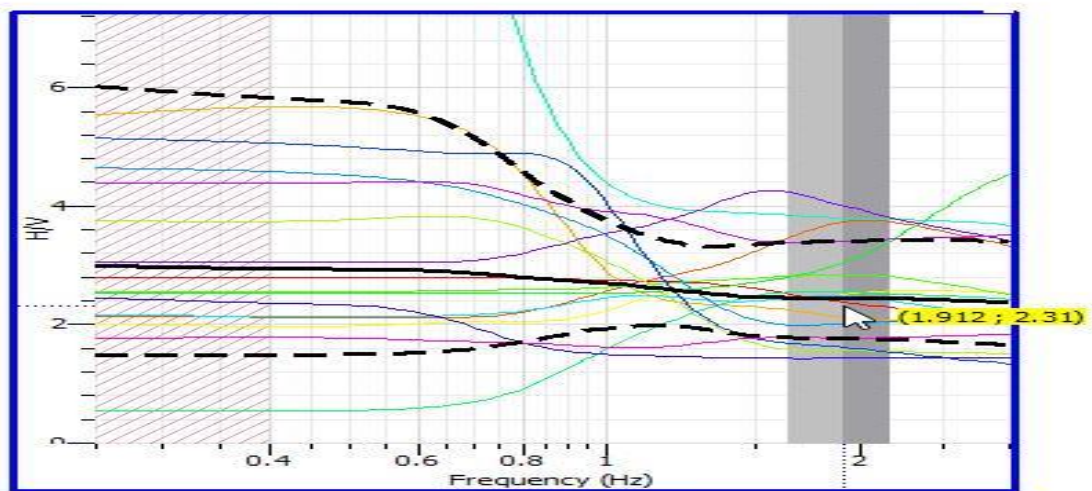
MT5 Ölçümü



Şekil C.13. MT noktasına ait üç bileşenli veri (arazi kaydı)



Şekil C.14. MT noktasına ait üç bileşenli verinin çözümleme pencereleri



Şekil C.15. MT noktasına ait baskın frekans H/V oranı grafiği

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali BEGER
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Beşiri-Batman – 16.03.1983
Telefon : (0532) 169 86 19
Faks :
e-mail : alibeger@hotmail.com

EĞİTİM

		Bitirme Yılı
Lise	: Pakize Kokulu Lisesi MERSİN-Merkez	2004
Üniversite	: Çukurova Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl.	2008
Yüksek Lis.	: Batman Üniv. Fen Bil. Enst. Jeoloji Müh. ABD.	2019
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2009	ESER Holding	Saha Mühendisi
2009 -	Batman Üniv. Yapı İşl.ve Tekn.Dai.Başk.	Mühendis

UZMANLIK ALANI: Üst Yapı, Alt Yapı, Geoteknik

YABANCI DİLLER: İngilizce