

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HEYELAN DURAYLILIĞININ JEOLojİK VE JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
DEĞERLENDİRİLMESİ (GÜMÜŞHANE SÜLEYMANİYE ÖRNEĞİ)**

YÜKSEK LİSANS

Osman ABANOZ

OCAK-2024
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HEYELAN DURAYLILIĞININ JEOLojİK VE JEOfİZİK YÖNTEMLERLE
DEĞERLENDİRİLMESİ (GÜMÜŞHANE SÜLEYMANİYE ÖRNEĞİ)**

**ASSESSMENT OF LANDSLIDE DURABILITY USING GEOLOGICAL AND
GEOPHYSICAL METHODS (EXAMPLE OF GUMUSHANE SULEYMANIYE)**

YÜKSEK LİSANS

Osman ABANOZ

**OCAK-2024
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HEYELAN DURAYLILIĞININ JEOLOJİK VE JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
DEĞERLENDİRİLMESİ (GÜMÜŞHANE SÜLEYMANİYE ÖRNEĞİ)**

**ASSESSMENT OF LANDSLIDE DURABILITY USING GEOLOGICAL AND
GEOPHYSICAL METHODS (EXAMPLE OF GUMUŞHANE SULEYMANIYE)**

YÜKSEK LİSANS

Osman ABANOZ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut SARI

**OCAK-2024
GÜMÜŞHANE**

KABUL VE ONAY

X X X X

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Heyelan Duraylılığının Jeolojik Ve Jeofizik Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Gümüşhane Süleymaniye Örneği)**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, baştan sona kadar danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi Mahmut SARI ve Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ sorumluluğunda tamamladığımı, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

26/01/2024

Osman ABANOZ

TEŞEKKÜR

“Heyelan Duraylılığının Jeolojik ve Jeofizik Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Gümüşhane Süleymaniye Örneği)” adlı araştırma Gümüşhane Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tezde kullanılan gerçek veriler; Gümüşhane il sınırları içerisinde Süleymaniye kayak tesis alanında Gümüşhane Üniversitesi (G.Ü) Jeofizik Mühendislik bölümlerine ait cihazlar ile alınmıştır.

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, planlamasında ve çalışmalarının yürütülmesinde her türlü bilgi, destek ve değerli görüşlerinden yararlandığım tez danışmanlarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mahmut SARI ve Sayın Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ’a ölçümlerin alımında bana yardım eden Abdullah Özdemir ve Teoman Bekâr’a ölçümlerin yorumlanmasında ve birçok konuda bilgisini ve tebrübesini esirgemeyen Jeofizik Yüksek Mühendisi Rasim Taylan KARA’ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı; varlıkları ve sevgileri ile bana güç veren aileme, kıymetli eşim Safiye ÇELİK ABANOZ ve yaşam kaynağım oğlum Musab ABANOZ’a armağan ediyorum.

Osman ABANOZ

GÜMÜŞHANE-2024

ÖZET

Bu çalışmada, Gümüşhane ili Süleymaniye yerleşkesinde Kış Sporları Merkezi olarak planlanan alanda mühendislik çalışmaları sonucunda elde edilen parametreler limit denge analizleri ile heyelan alanlarının mevcut durum ve sismik yük etkisi altındaki duraylılığı incelenmiştir. Bu kapsamda, inceleme alanında jeofizik yöntemlerden 12 adet kırılma ve çok kanallı yüzey dalgası, 17 adet mikrotremor, 6 adet elektrik rezistivite tomografi (ERT) ve 14 adet araştırma sondajı ile 2 adet araştırma çukuru açılmış olup, inceleme alanında yayılım gösteren yamaç molozları ve temel kayanın kalınlık ve elastik dinamik parametreleri, baskın frekans, baskın periyot ve H/V oranları elde edilip zemin sınıfları gibi özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş örneklerde laboratuvar da kesme kutusu deneyi yapılarak yamaç molozlarının kohezyon ve içsel sürtünme açıları belirlenmiştir. İnceleme alanında yayılım gösteren yamaç molozlarının duraylılığını belirlemek için dört farklı limit denge analiz yöntemi (Bishop, Janbu, Spencer, GLE/ Morgenstern-Pice) kullanılarak belirlenen AA', BB', CC' kesit hatlarında mevcut durum ve sismik yük etkisindeki durum, analiz edilerek güvenlik sayıları belirlenmiştir. Buna göre AA', BB' ve CC' kesit hatlarına ait güvenlik sayıları sırasıyla $F_{sa}=1.74-1.83$, $F_{sb}=1.90-2.02$, $F_{sc}=1.35-1.36$ aralığında değiştiği görülmüştür. Aynı kesit hatları sismik yük etkisinde analiz edildiğinde güvenlik sayılarının $F_{sa}=1.15-1.21$, $F_{sb}=1.30-1.41$, $F_{sc}=1.02-1.03$ arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kesit hatlarının analizinden elde edilen güvenlik sayıları incelendiğinde limit denge koşullarının üstünde değerler alması planlanan kayak güzergâhının zemin duraylılığı açısından uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Jeofizik Yöntemler, Limit Denge Analizleri, Gümüşhane

SUMMARY

In this study, the parameters obtained as a result of engineering studies in the area planned as Winter Sports Center in the Süleymaniye campus of Gümüşhane province, limit balance analysis, and the stability of landslide areas under the effect of current situation and seismic load were examined. Within the given framework, a total of 12 masw-refraction investigations, 17 microtremor assessments, 6 electrical resistivity tomography (ERT) surveys, and 14 research drillings, along with 2 research pits, were conducted in the designated study region. The research region was analyzed to determine the thickness and elastic dynamic characteristics, dominant frequency, dominant period, and H/V ratios of the slope debris and thematic rock spread. Additionally, the qualities of these materials were assessed, including their soil classes according to the Turkish earthquake regulation. Afterwards, cohesion and internal friction angles of the slope debris were determined by performing a shear box test in the laboratory on undisturbed samples taken from the research pits. Four different limit equilibrium analysis methods (Bishop, Janbu, Spencer, GLE/Morgenstern-Pice) were used to determine the stability of the slope debris spread in the study area. Safety numbers were determined by analyzing the current situation and the situation under the influence of seismic load on the created section lines AA', BB', CC'. Accordingly, the safety numbers of AA, BB and CC section lines vary between $F_{sa} = 1.74-1.83$, $F_{sb} = 1.90-2.02$, $F_{sc} = 1.35-1.36$, respectively. Upon subjecting the same section lines to seismic load, it was ascertained that the safety factors exhibited a range of values, specifically F_{sa} ranging from 1.15 to 1.21, F_{sb} ranging from 1.30 to 1.41, and F_{sc} ranging from 1.02 to 1.03. As a result, when the safety numbers obtained from the analysis of the section lines were examined, it was determined that the ski route planned to take values above the limit equilibrium conditions was suitable in terms of ground stability.

Keywords: Landslide, Geophysical Methods, Limit Equilibrium Analyzes, Gümüşhane

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ	XII
EKLER DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2.İNCELEME ALANI JEOLojİSİ	2
1.3. LİTERATÜR İNCELEMESİ	4
2.KULLANILAN YÖNTEMLER	7
2.1.JEOFİZİK YÖNTEMLER	7
2.1.1.Sismik Yöntemler	7
2.1.1.1.Sismik Kırılma Yöntemi	8
2.1.1.2. Sismik Kırılma Tomografi (SKT).....	9
2.1.1.2. Çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW).....	11
2.1.2. Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT)	13
2.1.3.Mikrotremör Yöntemi	15
2.1.3.1. Nakamura (H/V Spektral Oran) Tekniği.....	16
2.2. SONDAJ ÇALIŞMALARI	18
2.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	19
2.3.1. Karot Yüzdesi ve Kaya Kalitesi.....	20
2.3.2. Zemin İndeks – Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	20
2.3.3. Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	21
2.3.4. Kaya Mekaniği Deneyleri	22
2.4. DURAYLILIK ANALİZLERİ.....	23
2.5. LİMİT DENGİ ANALİZİ	25

3.YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	26
3.1. SİSMİK ÇALIŞMALAR.....	26
3.1.1. Zeminin Dinamik ve Elastik Parametreleri.....	29
3.1.1.1. Yoğunluk: ρ (Gr/Cm ³)	29
3.1.1.2. Poisson Oranı (μ);	30
3.1.1.3. Elastisite Modülü (E, Kg/cm ²)	31
3.1.1.4. Kayma (Shear) Modülü (G, Kg/cm ²)	33
3.1.1.5. Bulk (Sıkışmazlık) Modülü (K, Kg/cm ²)	34
3.2. ELEKTİRİK REZİSTİVİTE TOMOGRAFİ (ERT) ÇALIŞMALARI	35
3.3. MİKROTREMOR ÇALIŞMALARI	38
3.4.LİMİT DENGİ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMESİ.....	41
4. SONUÇLAR	46
KAYNAKÇA.....	48
EKLER	56
ÖZGEÇMİŞ	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2. Doğu Pontidler'in genel jeoloji haritası (Güven, 1993; Kurt vd., 2006)	3
Şekil 3. İnceleme alanında jeolojik birimleri	4
Şekil 4. Üç tip deprem dalgasının partikül hareketi (URL-1).....	8
Şekil 5. a) Dalga cephesi b) Huygens prensibi c) Snell yasasının şematik gösterimi (Hilber vd., 2012).....	9
Şekil 6. Sismik kayıtlardan alınan ilk varışların piklenmesi.....	10
Şekil 7. a) Ölçülen ve hesaplanan eğrinin karşılaştırılması b) 2 boyutlu SKT kesiti.....	11
Şekil 8. MASW yöntemine genel bakış: (a, b) saha ölçümleri; (c) dispersiyon analizi; (d) 1B S dalgası hız-derinlik kesiti	12
Şekil 9. a) ERT sistemini oluşturan elemanların taslak gösterimi (Ulusoy vd, 2012) (b) Wenner-Schlumberger diziliminin veri noktalarıyla şematik gösterimi (Ekinci vd., 2013)	15
Şekil 10. H/V tekniğinin basit diyagram gösterimi (Nakamura, 2008)	17
Şekil 11. Sondaj Lokasyon Haritası ve ERT ölçüm düzeni	19
Şekil 12. İnceleme alanı AÇ-1 nolu araştırma çukuru civarında zeminde gözlemlenen açılmalar.....	24
Şekil 13. Yamaç molozlarını karakterize edecek kesit hatlarının (AA', BB', CC') görünümü	25
Şekil 14. İnceleme alanında Jeofizik ölçüm hatlarının ve mikrotremör ölçüm noktalarının gösterimi	26
Şekil 15. SKT ve MASW çalışmaları arazi görüntüleri.....	27
Şekil 16. ERT 1 Kesiti; Profil 1 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.....	36
Şekil 17. ERT 2 Kesiti; Profil 2 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.....	36
Şekil 18. ERT 3 Kesiti; Profil 3 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.....	37
Şekil 19. ERT 4 Kesiti; Profil4 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.....	37
Şekil 20. ERT 5 Kesiti; Profil5 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.....	38

Şekil 21. ERT 6 Kesiti; Profil 6 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.....	38
Şekil 22. H/V Spektral Oran Haritası.....	40
Şekil 23. İnceleme alanı Vs30 haritası.....	40
Şekil 24. Zemin Büyütme Haritası.....	41
Şekil 25. İnceleme alanı AA' nolu kesit hattı	42
Şekil 26. İnceleme alanı AA' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi	42
Şekil 27. İnceleme alanı AA' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi (Sismik yüklü)	43
Şekil 28. İnceleme alanı BB' nolu kesit hattı.....	43
Şekil 29. İnceleme alanı BB' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi	43
Şekil 30. İnceleme alanı BB' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi (Sismik yüklü)	44
Şekil 31. İnceleme alanı CC' nolu kesit hattı.....	44
Şekil 32. İnceleme alanı CC' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi	44
Şekil 33. İnceleme alanı CC' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi (Sismik yüklü)	45

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Yerel Zemin Sınıfları (TBDY 2018)	13
Tablo 2. İnceleme alanında açılan sondaj kuyusuna ait koordinatlar	19
Tablo 3. SPT deney sonuçları	20
Tablo 4. Elek analizi, kıvam limitleri deneyi sonuçları ve zemin sınıfları	21
Tablo 5. Doğal birim hacim ağırlığı, direk kesme deneyi deney sonuçları	22
Tablo 6. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ve Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları. ...	22
Tablo 7. Sismik Değerlendirme Sonuçları	28
Tablo 8. Zemin Birimlerinin Yoğunluk Sınıflaması: (Keçeli, 1990).	29
Tablo 9. Çalışma Alanından Elde Edilen Sismik Hızlardan Hesaplanan Yoğunluk Değerleri.	29
Tablo 10. Poisson sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması. (Ercan,2001)	30
Tablo 11. İnceleme alanı Poisson oranları ve tabaka sıkılık durumları	31
Tablo 12. Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli,1990).	32
Tablo 13. İnceleme alanı Elastisite modülü değerleri ve tabaka dayanım durumları.....	32
Tablo 14. Kayma modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)	33
Tablo 15. İnceleme alanı Kayma modülü değerleri ve tabaka dayanım durumları	33
Tablo 16. Bulk modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)	34
Tablo 17. İnceleme alanı Bulk modülü değerleri ve tabaka sıkışma durumları.....	34
Tablo 18. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen parametreler	39
Tablo 19. Kayaçların hesaplanan TCR ve RQD değerleri.	90

EKLER DİZİNİ

EK 1. Jeofizik Ekler	56
EK 2. Çalışma Alanı Karot Sandık Resimleri.....	77
EK 3. Kayaçların hesaplanan TCR ve RQD değerleri.	90



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	:Baskın Frekans
C	:Karot Numunesi
CL	:Düşük Plastisiteli Kumlu Kil
E	:Elastisite Modülü
E_s	:Kaynakların Frekansa Bağlı Genlik Etkileri
G	:Kayma Modülü
i_c	:Kritik Açısı
K	:Bulk Modülü
LL	:Likit Limit
N	:Seyahat Zamanı
PL	:Plastik Limit
PI	:Plastisite İndeksi
SPT	:Standart Penatrosyon Testi
SC	:Killi Kum
$S_T(f)$	:Gözlem Noktasındaki Transfer Fonksiyonu
$S_{TT}(f)$	:Modifiye Transfer Fonksiyonu
$S_V S$	:Dalgasının Düşey Bileşeni
$S_H S$	:Dalgasının Yatay Bileşeni
t_1	:Birinci Ortamın Tabaka Kalınlığı
t_2	:İkinci Ortamın Tabaka Kalınlığı
T_0	:Periyod
ω_n	:Doğal Su İçeriği
X_c	:Kritik Uzaklık
V_p	:P Dalgası hızı
V_s	:S Dalgası Hızı
V_1	:1.Ortamın Hızı
V_2	:2.Ortamın Hızı
μ	:Poisson Oranı
ρ	:Yoğunluk
γ_n	:Doğal Birim Hacim Ağırlığı
z	:Derinlik

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

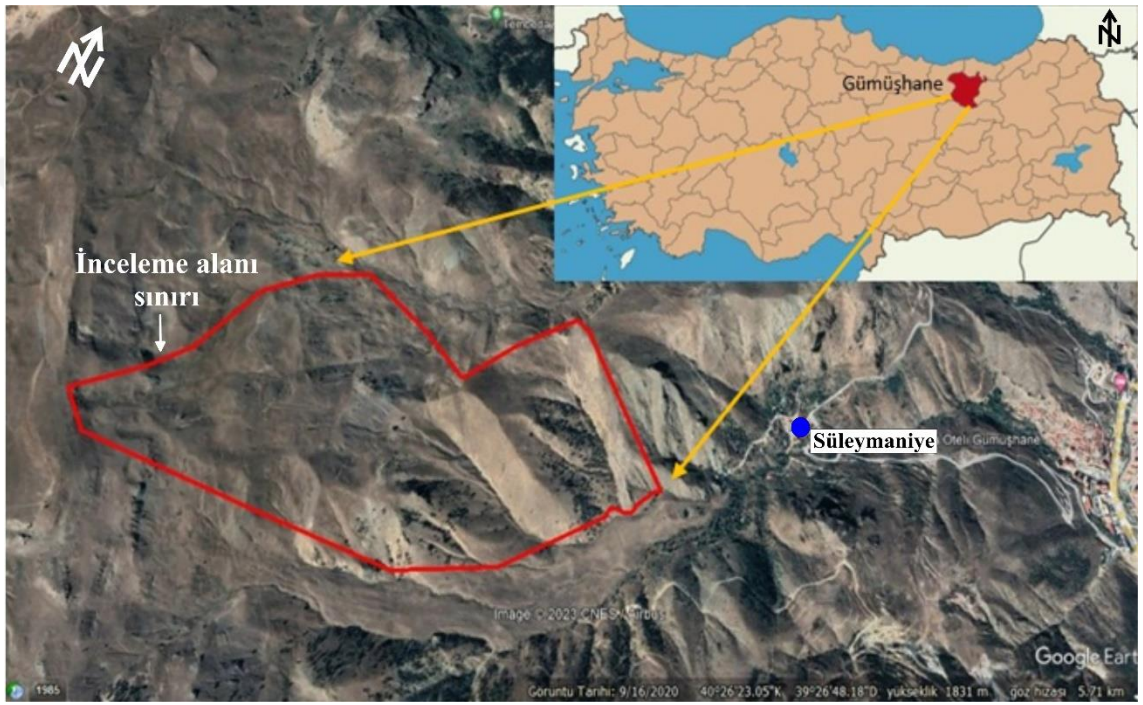
Heyelanlar yapısı itibariyle kayma yüzeyi ve derinliği, hareket, zemin türü, yer altı suyu seviyesini ve dinamik parametreleri gibi birçok mühendislik alanına girmesi nedeniyle karmaşık bir jeoteknik problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür karmaşık mühendislik sorunların çözümüne ulaşmada disiplinler arası jeofizik ve jeolojik çalışmalar yapılarak heyelan geometrisi daha güvenli ortaya koyulabilmektedir.

Heyelan alanlarının birçok jeoteknik özelliğini belirlemede jeofizik yöntemler kullanılarak heyelanın; sınırları, kayma yüzeyinin kalınlığı, yeraltı suyu seviyesi ve durumu, bölgesindeki değişik jeolojik yapıların dağılım düzeni, temel kaya derinliği gibi özellikleri tespit edilebilmektedir (Gallipoli vd., 2000; Sass vd., 2008; Marinescu vd., 2017; Pasierb vd., 2019; Whiteley vd., 2021; Wrobel vd., 2022; Zhang vd., 2023).

Jeolojik ve jeofizik uygulamalar ile kış sporları için planlanan alanlarda yamaç duraylılığını belirlemek ve heyelanları incelemek için; jeofizik haritalamalar, mühendislik jeolojisi çalışmaları, laboratuvar analizleri ve heyelanların matematiksel-fiziksel-jeolojik modellenmesi hedeflenmektedir (Gelişli, 2018).

Bu çalışma kapsamında, Gümüşhane ili Merkez ilçesi Süleymaniye mahallesinde yapılması planlanan Süleymaniye Kış Sporları Merkezi çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Belirlenen alanda jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucunda elde edilen mühendislik parametreleri ile çalışma alanının zemin durumu ortaya koyularak limit denge analizleri ile heyelan alanlarının mevcut durum ve sismik yük etkisi altındaki duraylılığı incelenmiştir. Bu doğrultuda çalışma alanında jeofizik yöntemlerden; sismik kırılma (SK), çok kanallı yüzey dalgası (MASW), elektrik rezistivite tomografi (ERT) ve Mikrotremör yöntemleri (M) kullanılarak heyelanlar için risk teşkil edebilecek yamaç molozlarının yayılım derinliği, ana kaya sınırları, elastik dinamik parametreleri ve özdirenç değerleri ortaya koyulmuştur. İnceleme alanında 12 adet sismik ölçüm alınarak P ve S dalga hızlarının derinlikle değişimleri ve Vs30 değeri belirlenmiştir. Sismik kırılma ve MASW yöntemlerinden elde edilen P ve S hız değerlerine göre zemin ve ana kayanın elastik dinamik parametreleri elde edilmiştir. İnceleme alanında özellikle heyelan risk teşkil edebilecek alanlarda 6 adet ERT ölçümü alınarak özdirenç değerlerine göre yamaç molozunun yayılımı, ana kaya sınırları ve suya dolgun zonlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca 17 noktada mikrotremör ölçümü alınarak H/V Spektral oranı yöntemi

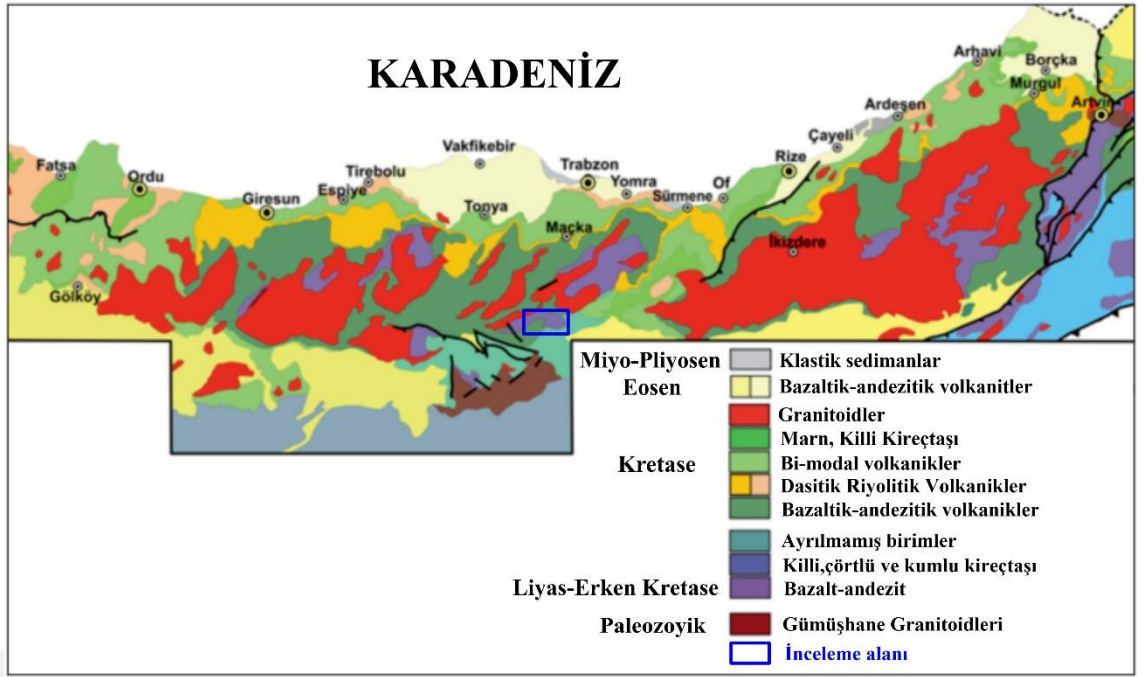
kullanılıp baskın periyod (T_0) ve baskın frekans (A_0) değerleri belirlenmiştir. Jeofizik yöntemlerden elde edilen veriler kullanılarak inceleme alanında yayılım gösteren yamaç molozu yayılımı ve ana kaya sınırı baz alınarak duraylılık analizleri yapılmıştır. Bishop, Janbu, Spencer, GLE/ Morgenstern-Price yöntemleri kullanılarak inceleme alanının duraylılığı mevcut durumda ve sismik yük etkisindeki durumunu değerlendirilmiştir. İnceleme alanındaki analizinden elde edilen güvenlik sayıları limit denge koşullarına göre değerlendirilerek planlanan kayak güzergâhının yamaç duraylılığı açısından uygun olup olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

1.2.İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanı, Pontid tektonik birliğinin en doğusunun, kuzey - güney geçiş zonunda yer almaktadır. Bölgede Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişik yaşta ve farklı litolojide birimler görülmektedir. Pontid Tektonik Kuşağı'nın doğusu, batıda Bafra-Kızılırmak vadisinden başlayarak Gürcistan sınırına kadar doğu-batı istikametinde uzanan yaklaşık 500 km uzunluğundadır. Birliğin kuzey sınırını Karadeniz, güney sınırını ise Kuzey Anadolu Fay Zonu tarafından sınırlandırılmakta olup, 100-150 km genişliğinde bir alanı kapsamaktadır. Doğu Karadeniz Tektonik Kuşağı, metalojenik türde Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş yitime bağlı ada yayı dizisinin bir parçası olduğu araştırmacılarca kabul edilmektedir (Ketin, 1966). İnceleme alanında bulunan Şenköy formasyonu birçok araştırmacı tarafından tipik rift çökelleri olarak tanımlanırken, volkano-tortul bir istif özelliği sunmaktadır (Kandemir, 2004).

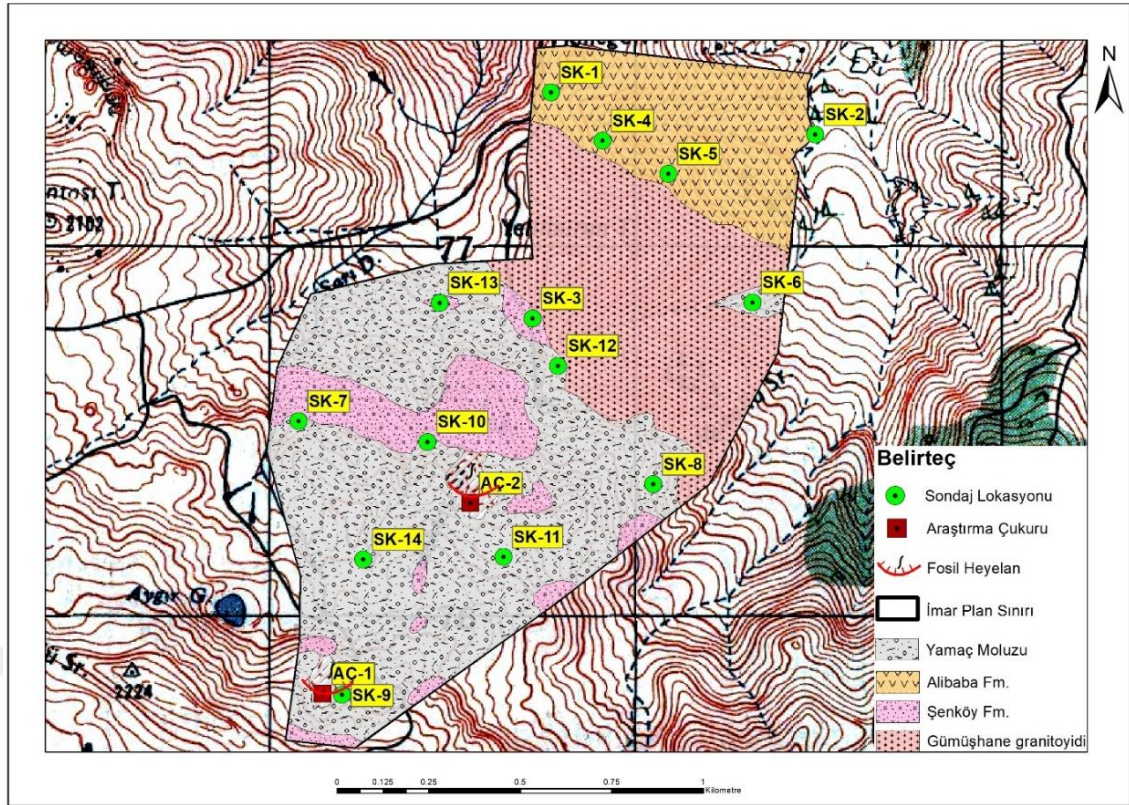


Şekil 2. Doğu Pontidler'in genel jeoloji haritası (Güven, 1993; Kurt vd., 2006).

İnceleme alanının tabanında Orta-Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoidi, bu birimin üzerine ise Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu' na ait kırmızı kireçtaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı-kıltaşı, andezit-bazalt lav ve piroklastları ve çörtler uyumsuz olarak gelmektedir. İnceleme alanında Orta Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu bazaltik-andezitik breşlerden oluşmuş ve Gümüşhane Granitoidi ile sınırı bindirme faylıdır (Güven, 1993).

İnceleme alanının en genç birimini yamaç molozları oluşturmakta olup, birim kil boyutundan blok boyutuna kadar farklılık gösteren malzemedir oluşmaktadır. Genellikle kil, silt, killi kum, siltli kum ve killi çakıl özelliğindedir (Şekil 2).

İnceleme alanında yamaç molozlarının yayılım gösterdiği alan içerisinde iki farklı yerde fosil heyelan alanı belirlenmiştir. Belirlenen fosil heyelan alanları topoğrafya da dalgalanmaların ve basamaklanmanın olduğu, yer yer yüzeysel zemin kesilmelerinin gözlemlendiği (0.5-1,0 m derinliğinde) topoğrafik bozukluklar olarak gözlenmiştir. Bu alanlarda özellikle yamaç molozu kalınlığının belirlenmesi amacıyla araştırma sondajları ve jeofizik hatlar bu alanlara yayılmıştır. Fosil heyelan alanlarında açılmış olan AÇ-1 ve AÇ-2 araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş örneklerde kesme kutusu deneyleri yapılarak zeminin dayanım parametreleri belirlenmiş ve bu fosil heyelan alanlarında belirlenen kesit hatlarında limit denge analizleri yapılarak bu heyelan alanlarının sismik yük etkisinde duraylılığı değerlendirilmiştir.



Şekil 3. İnceleme alanında jeolojik birimleri

1.3. Literatür İncelemesi

Heyelanlar, hidrolik ve jeolojik koşulların sonucunda insan aktiviteleri, arazi kullanımı, bitki örtüsü tarafından etkilenen yağış ve sismik olayların tetiklediği yapay ve doğal şev duraysızlıklarıdır (Souters ve Van Westen, 1996). Büyük projelerde insan yaşamını doğrudan ya da dolaylı olumsuz etkilemesi nedeniyle heyelanların duraylılıklarına olan hassasiyet giderek artmıştır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Dağ, 2006; Nefeslioğlu vd., 2008; Pasierb vd., 2019; Beyene vd., 2023). Heyelanlar açısından riskli alanların fiziksel yapısı dikkate alınmadan planlanması bu alanların işlevini kaybetmesine, ekonomik kayıplara ve can kayıplarına sebebiyet verebilmektedir. Bu kapsamda planlanan çalışma alanlarının jeolojik ve jeofizik yöntemler ile ön etüt çalışmaları yapılarak zemin özellikleri ve duraylılık durumları ortaya koyulmalıdır (Grifths ve Lane 1999; Truty vd., 2009; Wysokiński, 2011; Zheng vd., 2009; Ozbay ve Cabalar 2015; Cho 2016; Xu ve Yang 2018; Daniel vd., 2021; Sari, 2023).

Kuran (1976) çalışmasında, Eğirdir gölü kıyısına yakın ve o bölgede meydana gelen heyelan alanında araştırmalar yaparak heyelanın kayma yüzeyini sismik kırılma ve ERT yöntemlerini kullanarak tespit etmiştir. Ergüvanlı ve Tarhan (1982) yılında yaptıkları çalışmada Doğu Karadeniz bölgesi kıyı kesimlerindeki kütle hareketlerini mühendislik jeolojisi açısından değerlendirmiştir. Önalp vd., (1987) yılında yapmış

olduğu çalışmada Doğu Karadeniz bölgesinde gerçekleşen heyelanlarının türlerini ve oluşum mekanizmalarını ortaya koymuşlardır.

Frasheri vd., (1998) yılında yaptığı çalışmasında, üç farklı heyelan bölgesini jeofizik ve jeolojik açıdan değerlendirmiştir. Kayma yüzeylerinin tamamı jeofizik çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Arndt vd., (2000) yılında yaptığı çalışmasında heyelan potansiyel alanlarını belirlemek için yüzeyden ve kuyu içerisinde jeofizik çalışmalar yaparak mekanik sondajdan alınan karot numuneleri ile rezistivite ve gamma logu ölçümlerini kıyaslamışlardır. Bu ölçümler sonucunda iki boyutlu jeofizik kesitlerden yeraltının jeolojik yapısını ve kayma yüzeyinin sınırlarını belirlemişlerdir.

Gürbüz vd., (2005) Karabük ilinde bulunan bir heyelan üzerinde jeofizik yöntemleri kullanarak araştırma yapmışlardır. Sismik kırılma, ERT ve mikrotremör yöntemleri kullanılarak heyelanın yapısını ve tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Kullanılan jeofizik yöntemler birbirleri ile kıyaslayarak ve aralarında çok iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile heyelan gibi karmaşık yapılarda jeofizik yöntemlerin oldukça kullanılabilir olduğu vurgulanmıştır.

Dağ vd., (2006) yılında yaptıkları çalışmalarında, Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelan duyarlılığını istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirmiştir. Pehlivan (2008) yılında Gümüşhane ili Kürtün ilçesindeki baraj etrafında yamaçların duraylılıklarını değerlendirmiştir. Kılıç (2006) yılındaki çalışmasında Senirkent heyelanının araştırılması amacıyla ERT ve sismik kırılma yöntemleri kullanmıştır. Sismik kırılma, ERT ve jeolojik bilgilerin sonucunda bölgenin jeoteknik kesiti çıkarılıp ana kaya ve kil dolgularının sınırları belirlenmiştir. Heyelana karşı önlem amaçlı yapılan bentlerin işlevini yitirmemesi için düzenli olarak kontrol edilmesi önermişlerdir.

Otto ve Sass (2006) yılında yaptığı çalışmasında heyelanın kayma yüzeyi derinliği ve içyapısını belirleyebilmek için yer radarı, ERT ve sismik kırılma yöntemlerini kullanmıştır. Bu üç yöntemde alüvyon kalınlığı ve ana kaya derinliği belirlenip yöntemlerin birbirleri ile uyumlu olduğu ortaya koyulmuştur.

Uyanık ve Türker (2007)' de Fethiye ilçesinde bulunan potansiyel heyelan alanına sahip alanda sismik kırılma, ERT ve arazi deneyleri yapmışlardır. Heyelan malzemesinin sınırları ve heyelanın kayma yüzeyini sismik kırılma yöntemiyle belirlerken suya doygun olan zemin birimleri ERT çalışması ile belirlemişlerdir.

Göktürkler vd., (2008) yılında yaptıkları çalışmalarında İzmir-Altındağ heyelanını ERT ve sismik kırılma yöntemini birlikte kullanarak incelemişlerdir. Alanda ön çalışma yapılarak jeolojik birimlerin sınırları jeofizik yöntemlerle ortaya koyulmuşlardır. Sass vd., (2008) yılında yaptığı çalışmada heyelanın oluşum yapısını

belirlemek için ERT ve yer radarı yöntemlerini kullanmışlardır. Zemin türünü belirlemek için ise mekanik sondaj yapmışlardır. Özdirenç kesitlerine göre yüzeye yakın bölgelerde yüksek özdirençli yapılar tespit etmişlerdir. Bunların kireçtaşı blokları oldukları düşünüp kayma yüzeyinin bu yüksek özdirençli yapının altındaki düşük özdirençli bölgede olduğu tahmin etmişlerdir.

Dağ vd., (2011) yılında yapmış oldukları çalışmalarında heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında çeşitli yöntem ve parametreleri inceleyerek heyelanların oluşmasına etki eden en baskın parametrelerin neler olduğunu önceden yapılan çalışmalar ile karşılaştırarak değerlendirmiştir. Colangelo ve Perrone (2012) yılında yaptıkları çalışmalarında heyelan sınırlarını belirlemek amacıyla jeofizik kesitleri ile sondaj verilerini ilişkilendirilerek, özdirenç kesiti ve kayma yüzeyi sınırları belirlemişlerdir.

Ravindaran ve Ramanujam (2012) Hindistan'da heyelan bölgesinin kayma sınırlarını belirlemek amacıyla ERT çalışması yapmışlardır. Özdirenç kesitleri ile yer altı suyu derinliği ve kil ile gnays arasındaki sınır belirlenmiştir. Al - Saigh ve Al - Dabbagh (2010), heyelanın kayma yüzeyinin belirlenmesine yönelik sadece sismik kırılma çalışması yapılmışlardır. Sismik kırılma ile yeraltının katmanları ve bu katmanların boyuna dalga hızları belirlemişlerdir. Yer altı kesiti göz önünde bulundurularak muhtemel kayma yüzeylerini ortaya koymuşlardır.

Kul Yahşi ve Ersoy (2018) Trabzon'da Yeşilyurt heyelan alanında jeofizik yöntemleri kullanarak heyelan duraylılık analizleri yapmışlardır. Heyelan kayma sınırlarını jeofizik yöntemlerden sismik kırılma, ERT ve yer radarı yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. Elde edilen jeofizik parametrelerden dalga hızı ve özdirenç değerlerinin 2.5 m deki yeraltı suyundan kaynaklı birbirinden farklı olduklarını gözlemlediler. Saha ölçümleri ve laboratuvar testlerini kullanarak heyelan alanını limit denge analizleri modelleyip şev güvenlik katsayısını belirlemişlerdir.

Innocenti vd., (2023) araştırmalarında şev duraylılığının modellenmesinde jeofizik yöntemlerden yararlanmışlardır. Jeofizik ölçümler aracılığıyla N-SPT değerini tahmin ederek ve çevresel sismik gürültü ölçümlerinden elde edilen sonuçlardan sürtünme açısını belirlemişlerdir.

2. KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Jeofizik Yöntemler

Süleymaniye kış sporları merkezi inceleme alanında heyelanın sınırlarını, kayma yüzeyinin derinliğini, yeraltı suyu durumunu, temel kayanın derinliğini ve yeraltının elastik ve dinamik parametrelerini belirlemek için jeofizik uygulamalardan; Sismik kırılma, MASW, ERT ve Mikrotremör yöntemleri kullanılmıştır.

2.1.1. Sismik Yöntemler

Sismik yöntemler jeofizik çalışmalarda kullanılan en yaygın yöntemlerinden biridir. Bu yöntemler balyoz, kontrollü patlayıcı gibi yapay bir kaynak yardımıyla oluşturularak yayılan elastik dalgaların, belirli bir düzen içerisinde yüzey boyunca dizilmiş jeofonlara gelen dalgaların zamana karşı genliklerin kaydedilerek yeraltı özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Sismik dalgalar yer içerisinde kaya parçacıklarının titreşimi ile iletilen akustik enerji olup, cisim (P ve S) ve yüzey (Love ve Rayleigh) dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

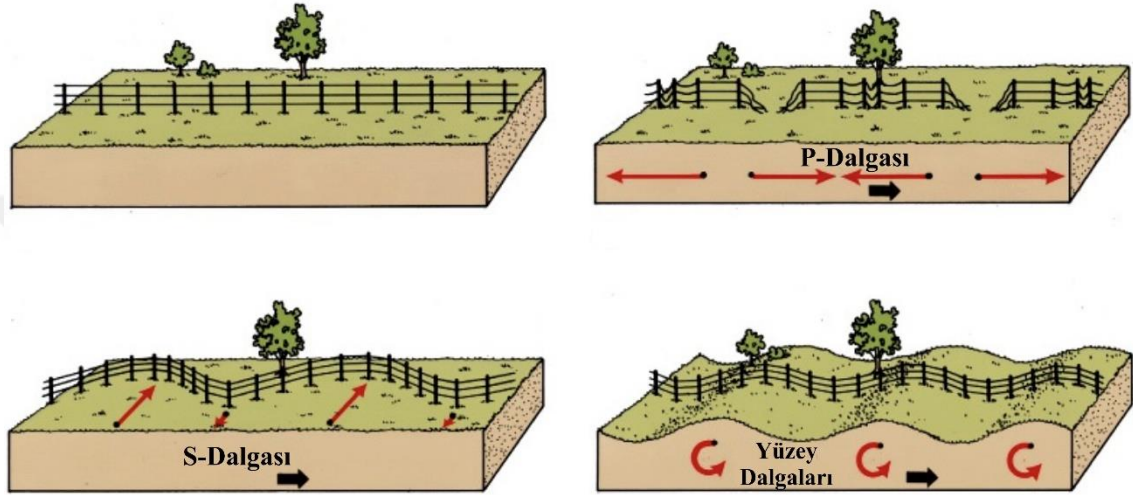
Cisim dalgaları, yoğunluk ve sertlik açısından malzeme özellikleri tarafından kontrol edilir. Yoğunluk ve sertlik ise sıcaklığa, bileşime ve malzeme fazına göre değişir. İki tür parçacık hareketi iki tür cisim dalgasına neden olur. Bu dalgalar, P (birincil) ve S (ikincil) dalgalarıdır (Şekil 4). Birincil dalgalar oluşturulan yayılma doğrultusuna paralel ilerler ve kayıtçıya ulaşan ilk dalgalarıdır. İkincil dalgalar, parçacık hareketinin dalga yayılma yönüne dik olduğu kayma dalgalarıdır. S dalgası hızı katı ortamlarda yayılım gösterirler. S dalgalarının SH yatay düzlem üzerinde, SV düşey düzlem olmak üzere iki türü vardır. İzotropik ortamda SH ve SV aynı hızda hareket ederler(Gardner1974).

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}G}{\rho}} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Burada; V_p : P-dalga hızı (m/s), λ : Lamé sabiti, k : Sıkışmazlık modülü ($\text{N/m}^2=\text{Pa}$), ρ : Yoğunluk (Kg/m^3), G : Kesme modülü (N/m^2) şeklindedir.

Yüzey dalgaları hava ve yer arayüzeyinde yayılım gösterirler ve yer yuvarlanması “ground roll” olarak adlandırılırlar (Şekil 4). Yüzey dalgalarının sınırlandırılmış yarı sonsuz esnek ortamda serbest bir yüzey veya sedimanter kayalardan oluşan bir yüzey ile bulunması gerekir. Yüzey dalgaları yer içerisinde cisim dalgalarına göre yavaş hareket ederler ve çok uzak mesafelerde de kaydedilebilen dalgalar oldukları için, dispersiyon eğri karakteristikleri ve faz hızı kullanılarak kabuk ve üst manto yapıları incelenebilmektedir (Aki ve Richards, 2002).



Şekil 4. Üç tip deprem dalgasının partikül hareketi (URL-1).

2.1.1.1. Sismik Kırılma Yöntemi

Sismik kırılma yöntemi, yeraltı jeolojik koşullarını karakterize etmek için sismik dalgaların jeolojik katmanları ve kaya/toprak birimleri üzerindeki kırılmasını kullanan bir yüzey jeofiziği yöntemidir. Yöntem iki farklı izotropik ortam (örneğin topraktan ana kayaya) arasındaki bir sınırdan geçerken sismik dalga kırılma açıları arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılan bir formül olan Snell yasası tarafından yönetilen bir jeofizik prensibi içerir. Sismik kırılma yöntemi, yamaç alanlarındaki sedimanların iç yapısını özellikle ana kaya geometrisini belirlemek için kullanılan pratik ve tahribatsız bir yöntemdir (Caris ve Van Asch, 1991; Hack, 2000; Jongmans vd., 2009; Hilber vd., 2012). Bu yöntemin genel esasları Snell, Fermat ve Huygens yasalarını içerir.

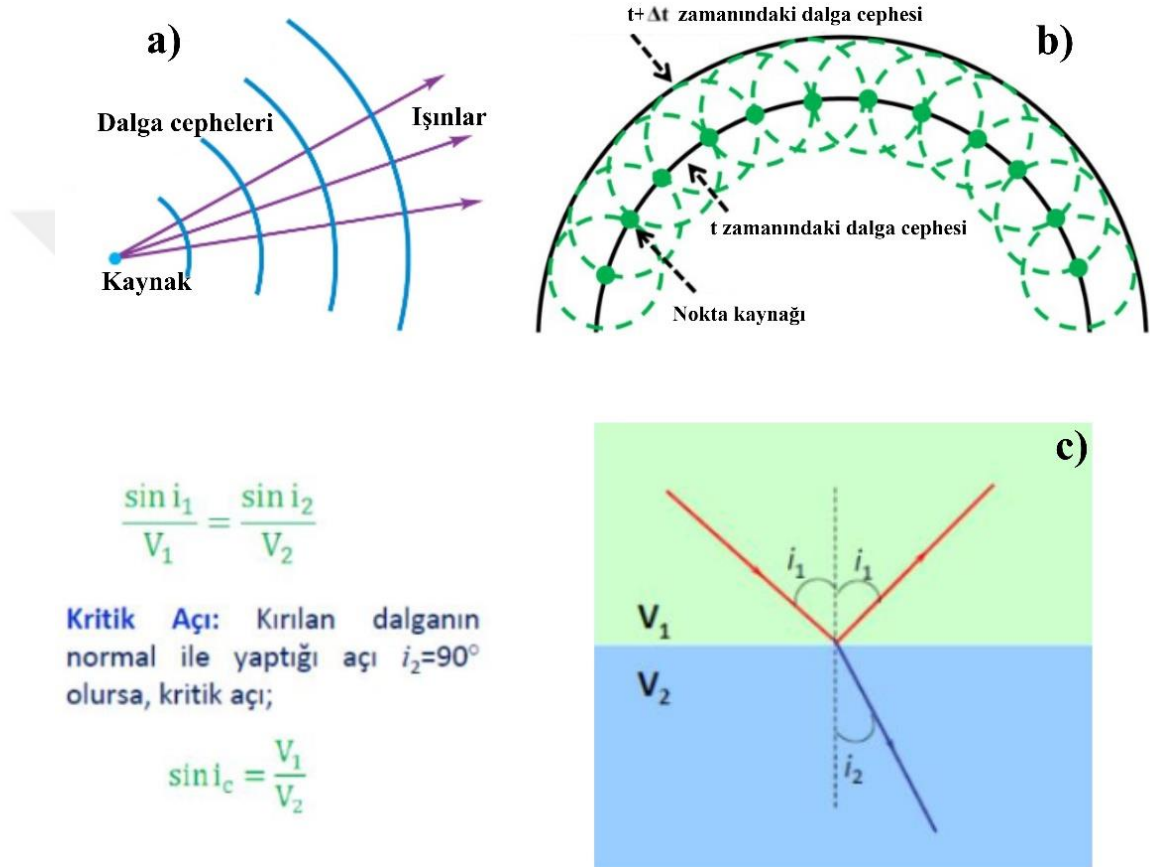
Dalga kaynağından çıkan bir dalga hareketinin ön yüzeyi dalga cephesini oluşturur. Merkezden dışa doğru açılarak ilerler. Hareket yönünü gösteren oklar ise ışınları temsil eder (Şekil 5a).

Huygens prensibi; ışın izleme yöntemi, her bir grid noktası için hücreler içerisindeki alanlara bölünerek her bir nokta kaynak ışın yollarını oluşturur. Sonrasında,

en kısa seyahat zamanını veren ışın yolu belirlenir. Böylelikle, hem ışın yolları hem de seyahat zamanı hesaplanır (Şekil 5b).

Fermat prensibi, kaynaktan çıkan bir ışının diğer bir noktaya ulaşabilmesi için gereken zamanın minimum olmasıdır.

Snell yasası; farklı yayılım hızına sahip ortamlardaki ışınların kırılması, hızları ve açıları arasındaki ilişki ile tanımlanır (Şekil 5c) ve sismik dalga yayılımının temel prensibidir.



Şekil 5.a) Dalga cephesi b) Huygens prensibi c) Snell yasasının şematik gösterimi (Hilber vd., 2012).

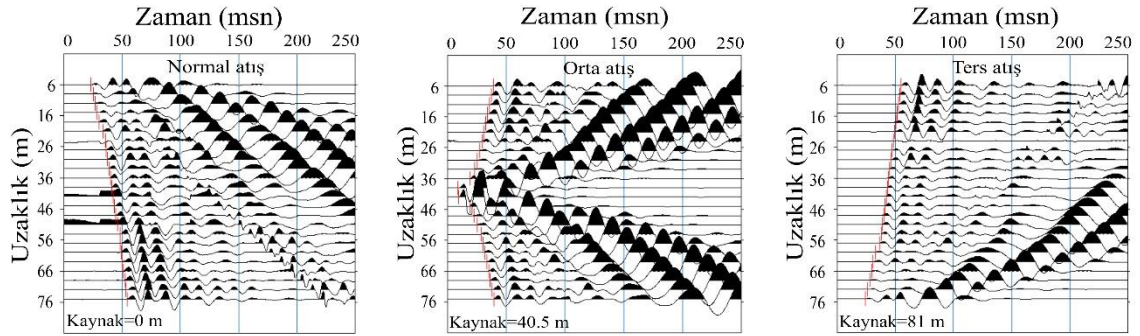
2.1.1.2. Sismik Kırılma Tomografi (SKT)

Jeofizik ölçümler belirli noktalardan alınan (sondaj gibi) ölçümlerin aksine alanın genelini karakterize edilebilir (Sari vd., 2020). Sismik hızlar, suya doygunluk, malzeme bileşimi, ayrışma hızı ve gözeneklilik hacmi gibi kaya özelliklerinden etkilenir (Bogoslovsky ve Ogilvy, 1977; Kaminskiy, 2013; Kassab ve Weller, 2015). Bu faktörlerden su içeriği ve gözeneklilik, boşluk suyu basıncının artmasında, kayma mukavemetinin azalmasında ve son olarak heyelanın tetiklenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Imani, 2020; Imani vd., 2021b; Xu vd., 2016; Yalçın, 2007; Sari, 2023).

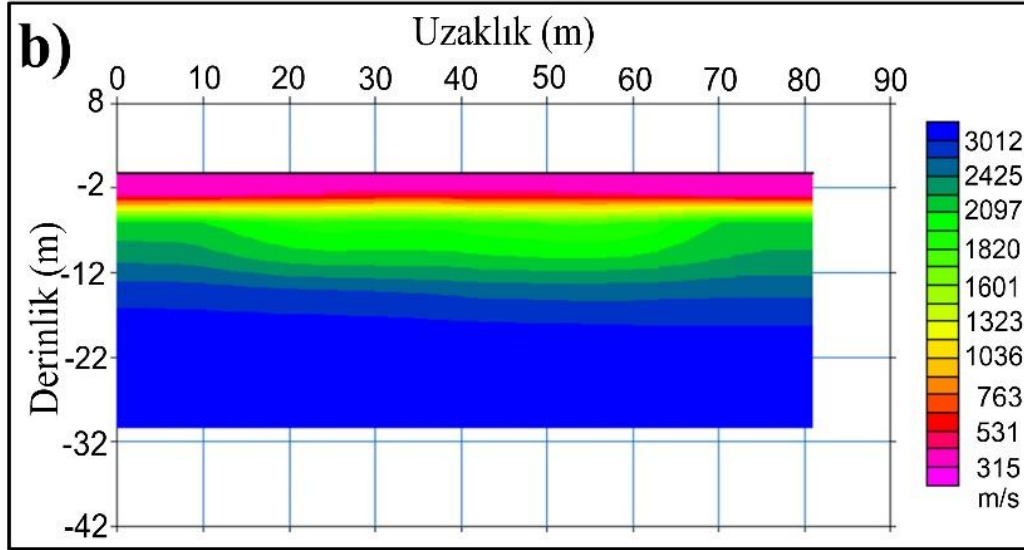
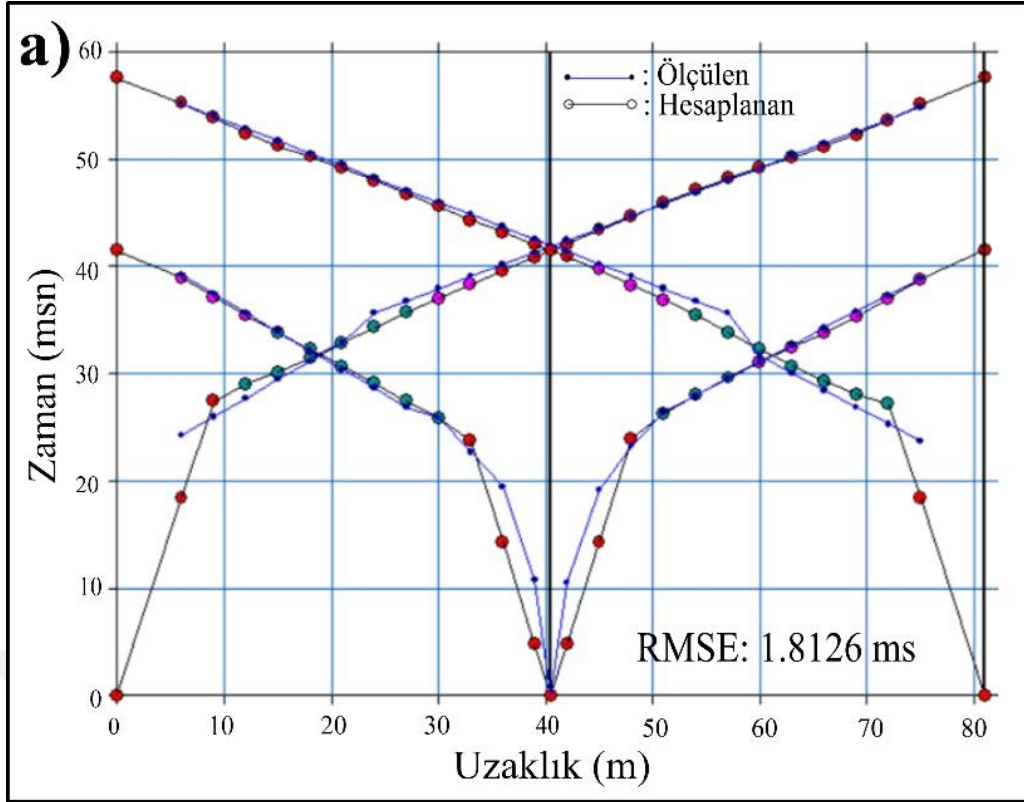
Sismik hızları etkileyen, mekânsal ve zamansal olarak çeşitlilik gösteren faktörlerin varlığı nedeniyle heyelan çalışmalarında geleneksel sismik kırılma yöntemi sıklıkla kullanılsa da SKT yöntemi, yüksek çözünürlüklü modelleme sağlaması sebebiyle heyelan araştırmalarında en sık kullanılan jeofizik teknik olarak kabul edilmektedir (Hack, 2000; McCann ve Forster, 1990). SKT, 2B ve 3B araştırmalarda hızı tahmin etmek için ileri ve ters çözüm algoritmalarını kullanır (Al-Heety ve Shanshal, 2015). Hız değişimlerinin gradyan ve ayrık katmanlar olarak yorumlanmasına olanak tanır (Azwin vd., 2013).

SKT yöntemi ile su içeriğini, heyelan kütlelerinin hacmini ve heyelan malzemelerinin fiziksel özellikleri tespit edilip değerlendirilebilir. Seçilen araştırma yöntemleri fiziksel özelliklere göre değişiklik gösterebilir. Heyelanın hacmi, morfolojisi ve penetrasyon derinliği gibi diğer parametrelerin araştırılması için inceleme alanına kurulan ekipmanın doğru bir şekilde dikkate alınması gerekir (Jongmans ve Garambois, 2007).

SKT'nin esas amacı, inceleme alanında oluşturulacak yeraltı kesitini hücrelere bölerek iki nokta arasındaki ışın yollarını ve ışın izleme seyahat zamanı hesaplar (White 1989). Normal, orta ve ters atış yapılarak elde edilen sismik kayıta veri işlem aşamasının ilk adımı olarak ilk varışlar piklenir (Şekil 6). Sonrasında ışın izleme teorisi kullanılarak bir başlangıç teorik seyahat zamanları hesaplanır (Şekil 7a). Her ışın için elde edilen seyahat zamanları arasındaki farklar kıyaslanır (Şekil 7b).



Şekil 6. Sismik kayıtlardan alınan ilk varışların piklenmesi



Şekil 7. a) Ölçülen ve hesaplanan eğrinin karşılaştırılması b) 2 boyutlu SKT kesiti

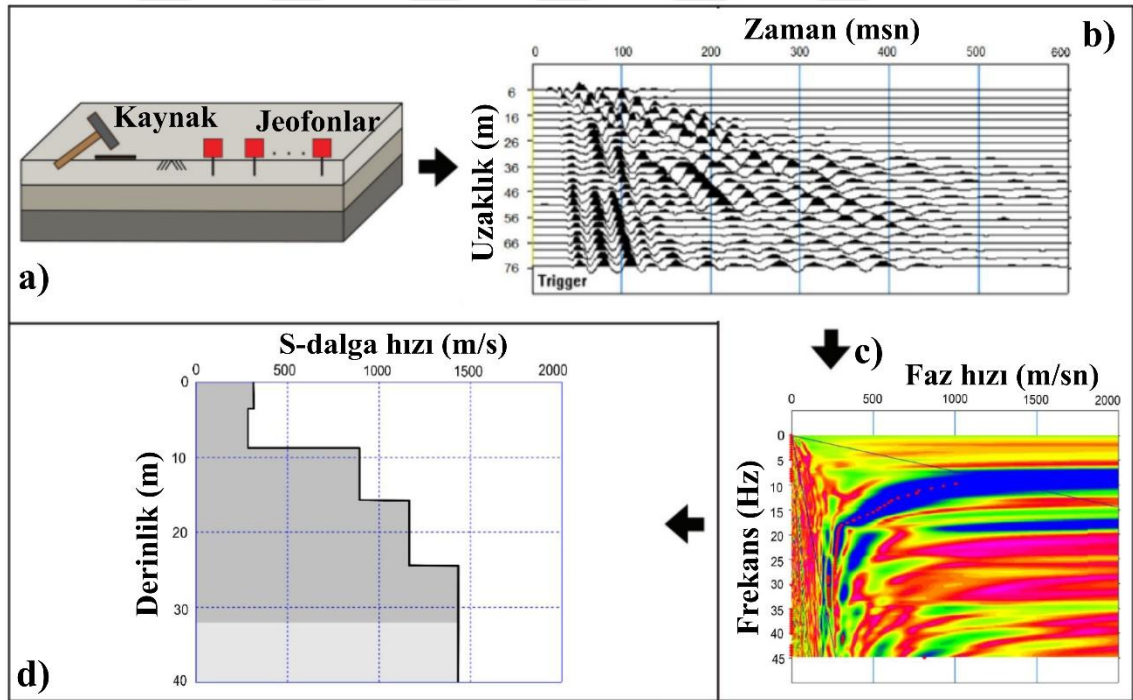
2.1.1.2. Çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW)

Çoğu yüzey dalgası analiz yönteminin temeli, temel mod Rayleigh dalgalarının frekansa bağlı faz hızının (Park vd., 1999), yani deneysel temel mod dağılım eğrisinin doğru belirlenmesidir. Rayleigh dalgası faz hızı, frekansın bir fonksiyonu olmasının yanı sıra, çeşitli toprak özellikleri grubuyla, en önemlisi de kayma dalgası hızıyla ilişkilidir (Xia vd., 1999). MASW yöntemi, yüzey dalgalarının spektral analizi (SASW) yönteminin bazı zayıf yönlerinin üstesinden gelmek için geliştirilen ileri bir tekniktir (Park vd., 1999). MASW'nin başlıca avantajları SASW yöntemiyle karşılaştırıldığında sahada daha

verimli, daha hızlı ve daha az iş gücü gerektiren bir veri toplama sağlar. Ayrıca, kaydedilen verilerden gürültülerin kaldırılmasıyla daha doğru deneysel sonuçlar sağlar (Xia vd., 2003).

MASW yöntemi ile elde edilen kayma dalgası hızı saha karakterizasyon çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee vd., 2015; Long vd., 2010). Literatürde yumuşak kil (Cai vd., 2010; Cai vd., 2014; Omar vd., 2011; Gylland vd., 2013; Solberg vd., 2016), sert kil (Jung vd., 2012), killi şeyller (Gutierrez vd., 2008) ve kumlar (Biryaltseva vd., 2016; Guo ve Yang, 2017; Wang vd., 2010) gibi çok çeşitli malzemeler V_s kullanımına ilişkin örnekler içermektedir. Kayma dalga hızı aynı zamanda sıvılaşma riski yüksek alanlarda (Kayabali, 1996) ve toprak baraj çalışmalarında da (Lorenzo vd., 2014; Schneider vd., 2001) kullanılmaktadır.

MASW yöntemi üç ana adıma ayrılmıştır; sismik kaydın elde edilmesi, dispersiyon analizi ve ters çözüm analizidir (Park vd., 1999). SeisImager yazılımı, dispersiyon ve ters çözüm analizlerini gerçekleştirmek için tasarlanmıştır (Yong, A vd., 2016). Analizlerin gerçekleştirilmesi için tek bir yüzey dalgası kaydı yeterlidir. Ana veri toplama ve hesaplama adımları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. MASW yöntemine genel bakış: (a, b) saha ölçümleri; (c) dispersiyon analizi; (d) 1B S dalgası hızı-derinlik kesiti

Veri toplama için düşük frekanslı alıcılar (jeofonlar) kullanılır. İnceleme alanının yüzeyine sıralı bir şekilde dizilirler (Şekil 6a). Ölçüm profilinin bir ucundan uygulanan

darbeli bir kaynak tarafından bir dalga oluşturulur. Jeofonlar, ortaya çıkan dalga yayılımını zamanın bir fonksiyonu olarak kaydederler (Şekil 6b).

Dispersiyon analizinde elde edilen yüzey dalgası verilerinden dispersiyon eğrileri çıkarılır. Elde edilen zaman serilerinin uzay-zaman alanından farklı bir alana dönüştürüldüğü dönüşüm tabanlı yöntemler aktif kaynak araştırmalarında yaygın olarak kullanılır (Socco vd., 2010). Bunlar, frekans-dalga sayısı (f-k) dönüşümü (Yılmaz, 1987), yavaşlık- frekans (p-f) dönüşümü (McMechan ve Yedlin 1981) ve faz kaydırma (Park vd., 1998) dönüşüm yöntemleridir. Bu dönüşümler ile dispersiyon eğrisi elde edilir (Şekil 6c). Elde edilen dispersiyon eğrisi ters çözüm işlemleri uygulanarak bir boyutlu kayma dalga hızının derinlikle değişimi elde edilir (Şekil 6d).

Zemin tabakalarının ilk 30m derinliğe kadar ortalama kesme dalgası hızı V_{s30} olarak tanımlanır. TBDY 2018' göre ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak 6 farklı zemin sınıfı kabul edilmiştir. Yerel zemin sınıfları için alt ve üst limitler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Yerel Zemin Sınıfları (TBDY 2018).

Yerel	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$	$(N_{60})_{30}$	$(C_u)_{30}$
		[m/s]	[darbe /30 cm]	[kPa]
Sınıfı				
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	—	—
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760- 1500	—	—
ZC	Çok sıkı kum. çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum. çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum. çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşulların sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	<70
Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler				
ZF	1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.). 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 5 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri. 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

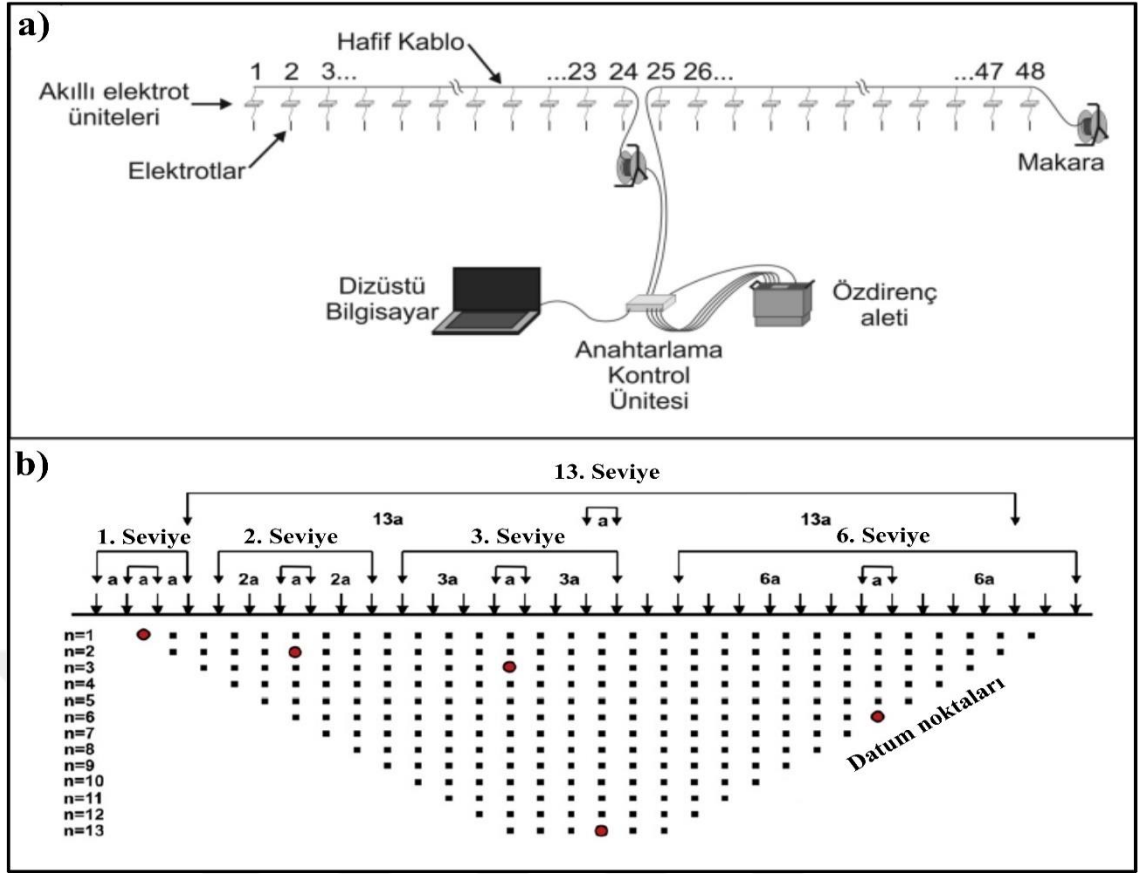
2.1.2. Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT)

ERT, zemin yüzeyinde ölçümler yaparak yeraltının öz direnç dağılımını belirlemek için kullanılan gelişmiş bir jeofizik yöntemidir. Bu yöntem şev deformasyonlarının

değerlendirilmesinde ve yüzey kütle hareketlerinin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Friedel vd., 2006; Jongmons ve Garambois 2007; Constantin vd., 2011; Pasierb, 2015; Bellanova vd., 2018; Silhan vd., 2019). Özellikle heyelan gövdesinin geometrisi, kayan malzeme ile altta yatan ana kaya arasındaki kayma yüzeyi ve yüksek su içeriğine sahip alanların konumunun belirlenmesinde uygulanır (Panek vd., 2008; Darde vd., 2013; Holec vd., 2013; Dostal vd., 2014; Tomecka-Sunhon vd., 2017; Crawford ve Bryson, 2018). ERT yönteminden elde edilen bilgiler ile inceleme alanlarında heyelan duraylılığı ve drenaj sistemlerinin kurulması önlem projeleri planlanabilmektedir (Perrone vd., 2014).

ERT yöntemi, yere bir çift akım elektrotundan akım verilerek yer içerisinde bir potansiyel alan yaratılır ve diğer çift potansiyel elektrotundan ölçülen bu potansiyeller arasındaki fark ölçülerek, görünür öz direnç değerleri hesaplanan bir jeofizik yöntemlerden biridir. ERT ölçüm tekniğinde, paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı bir dizi DC elektriksel direnç ölçümünden oluşur. Seçilen ölçüm dizisine bağlı olarak tüm olası elektrot kombinasyonları için otomatik ve programlı ölçüm alınır (Loke, 2014; Pasierb, 2012). Elektrot aralıklarının artması araştırma derinliğini arttırarak daha derinden bilgi almamızı sağlar. Ölçüm sonuçlarında tüm heterojen, karmaşık ve anizotropik katmanları temsil eden kayaların görünen direnci Ohm yasasına göre belirlenir.

En yaygın kullanılan ölçüm sistemleri, iyi derinlik aralığı ve en iyi yatay çözünürlük sağlayan Wenner-Schlumberger ve Dipol-dipol dizilimleridir (Şekil 9), (Loke, 2000; Kneisel ve Hauck, 2008).



Şekil 9. a) ERT sistemini oluşturan elemanların taslak gösterimi (Ulusoy vd, 2012). (b) Wenner-Schlumberger diziliminin veri noktalarıyla şematik gösterimi (Ekinci vd., 2013).

ERT verileri iki boyutlu ters çözüm işlemi ile doğrusal olmayan optimizasyon tekniği kullanılarak RES2DINV yazılımında modellenir (Geotomo Software- Loke 2014). Ters çözüm algoritmalarının ayrıntılı çözüm teknikleri literatürdeki çalışmalarda bulunabilir (Marquardt, 1970; Aster vd., 2005; Loke ve Dahlin, 2002; Loke, 2017). Ters çözüm işleminin amacı ölçülen ve hesaplanan görünür direnç değerleri arasındaki tutarsızlığın derecesini belirleyen hatayı en aza indirmektir. RES2DINV programında üç ters çözüm algoritmasını uygulamak mümkündür. Bunlar standart en küçük kareler, düzgünlük kısıtlaması ve robust ters çözüm algoritmalarıdır (bu konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgi Pasierb, 2015’de yer almaktadır). L2 normu olarak sınıflandırılan standart ve düzgünlük kısıtlama yöntemleri en küçük kareler optimizasyon yöntemlerine dayanarak model öz direnç değerlerindeki alansal değişikliklerin karelerinin toplamını (RMS hatalarını) en aza indirirler.

2.1.2. Mikrotremör Yöntemi

Mikrotremor, doğal ya da yapay etkenlerden oluşan, sayısal olarak periyodun 0.05 ve 2 saniye, genliğin 0.1 ve 1 mikron arasında değiştiği titreşimler olarak tanımlanır.

Zemin koşullarının etkilerinin ortaya koyulmasında ayrıca yararlanılan yöntemlerden biridir (Bour vd., 1998). Düşük frekans içerikli ($<1\text{Hz}$) titreşimler dünyanın belli bir yörüngede dönmesi, gel-git etkisi, jeotermal hareketler, yeraltında oluşan sismik olaylar, rüzgâr gibi doğal kaynaklardan, yüksek frekans ($>1\text{Hz}$) içeriğine sahip yapay olarak kültürel gürültü olarak adlandırılan endüstriyel aktiviteler, trafik ve insan kaynaklı gürültüler gibi, birçok sebepten oluşabilmektedir. Bu hareketliliğin nedeni çoğunlukla yeryüzü kaynaklıdır. Mikrotremor kaynağı genellikle deniz tabanı ya da yerkürenin üstündeki hareketlerden oluşabilmektedir (Toksöz ve Lacoss, 1968).

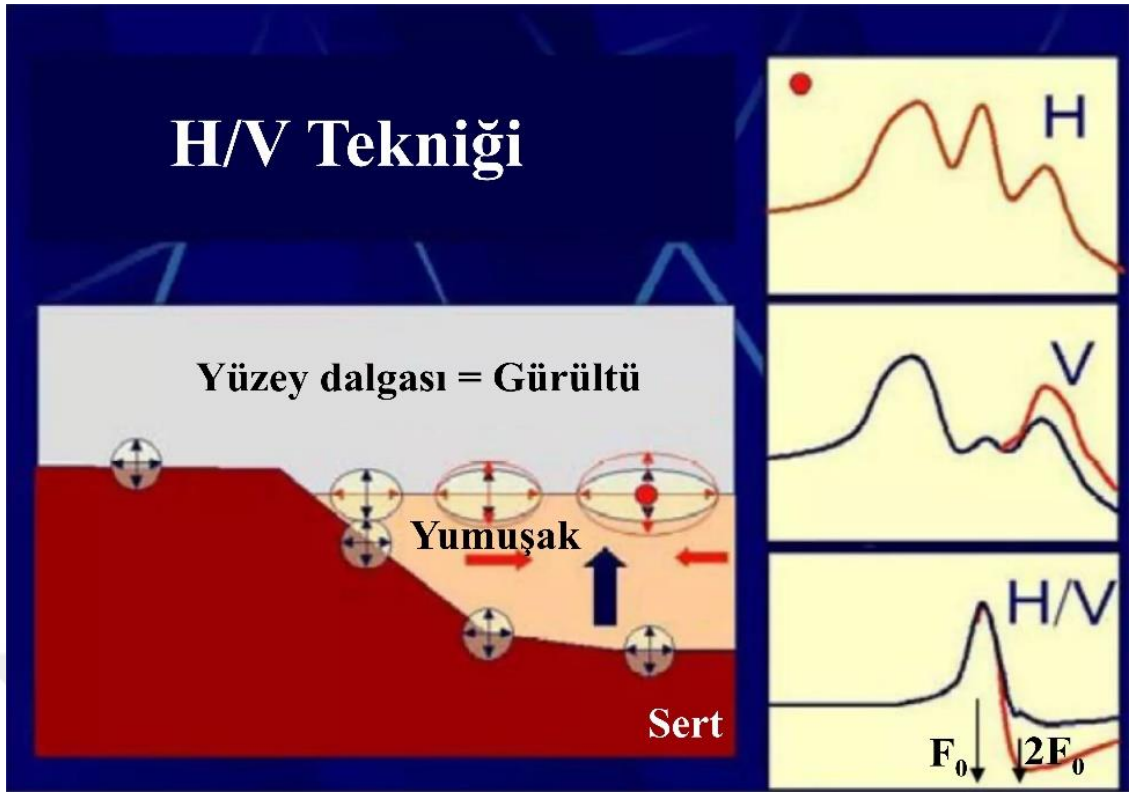
Mikrotremor araştırmaları jeolojik yapının belirlenmesinde popüler bir yöntemdir (Nakamura, 1989; Tokimatsu, 1995; Nakamura, 1997; Nakamura, 2000; Nakamura vd., 2000; Gürler vd., 2000). Mikrotremor arazi çalışmalarında tek istasyon ve birden fazla istasyonlar kullanılarak ölçümler yapılabilmektedir. Genellikle tek istasyon ölçüm tekniği kullanılıp zamandan bağımsız ve farklı noktalarda üç bileşen için titreşim kaydı alınır (Beker, 2011). F-K (frekans dalga sayısı), Remi (Refraction-Mikrotremor), ESPAC (Genişletilmiş Uzaysal ilişki) ve SPAC (Uzaysal Özilişki) teknikleri kullanılarak uygun mikrotremor verileri elde edilebilmektedir.

Tek istasyon Mikrotremor kayıtlarının Değerlendirilmesi için Fourier genlik, referans istasyonuna göre spektral oranlar, Nakamura (H/V) ve Sıfır kesme yöntemleri kullanılır (Beker, 2011).

Mikrotremor verilerinden kestirilen zemin parametrelerinin başında baskın periyod (T_0) ve baskın frekans (A_0) gelir. H/V oranı (Nakamura tekniği) ile kaydedilen mikrotremor verisi değerlendirilerek baskın periyod ve baskın frekans parametreleri kesitirilebilir (Akkaya, 2020). Arazi çalışmaları, mikrotremor ölçümlerine uygun bir zamanda belli bir sürede kaydedilen mikrotremor verilerine dayanır.

2.1.3.1. Nakamura (H/V Spektral Oran) Tekniği

H/V oranı (mikrotremorların yatay ve düşey bileşenlerinin Fourier spektrumları arasındaki oran) yetmişli yılların başlarında Japon bilim adamları tarafından ortaya atılmıştır. Bu oranın Rayleigh dalgalarının eliptik yörüngesiyle ilişkili olduğunu göstermişlerdir (Nakamura, 1989). Bu teknikte, yatay bileşenlerin yoğunluktan ve düşük hızlı tabakalardan etkilendiği, düşey bileşenin zemin tabakalarından etkilenmediği varsayılmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. H/V tekniğinin basit diyagram gösterimi (Nakamura, 2008).

Bu sebeple, yatay bileşen kayıtlarının spektrumları düşey bileşenlerin spektrumlarına zemin transfer fonksiyonunu elde etmek için oranlanır. Mikrotremor kayıtlarının kaynağına ilişkin Nakamura (1989)'da bazı varsayımlarda bulunmuştur.

- Yüzey kaynakları tarafından yaratılan etkin dalga türü zemin ortamında yayılan Rayleigh dalgasıdır.
- Üç bileşenli mikrotremor kaydının Rayleigh dalgasının düşey bileşeni üzerindeki etkisi yüzeyde varken temel kayada yoktur.
- Mikrotremor kaydının düşey bileşeni zemin tarafından büyütülmez.
- Rayleigh dalgasının düşey ve yatay bileşende mikrotremor kaydı üzerindeki etkisi aynıdır. Temel kaya üzerinde 0.2-20 Hz aralığında düşey ve yatay bileşenlerin spektral oranı 1' oldukça yakındır ($H_b/V_b \approx 1$).

Bu varsayımlar altında E_s , kaynakların frekansa bağlı genlik etkileri olarak tanımlanır. Temel kaya ve yüzeydeki düşey bileşenlerin spektral genlik oranı olarak alınabilir:

$$E_s(f) = \frac{S_{V_s}(f)}{S_{V_b}(f)} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$S_T(f)$, gözlem noktasındaki transfer fonksiyonudur. Temel ve yüzeydeki yatay bileşenlerin spektral oranı olarak tanımlanır:

$$S_T(f) = \frac{S_{HS}(f)}{S_{HB}(f)} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Nakamura (1989), bu şekilde ölçüm noktasının transfer fonksiyonu $S_T(f)$, kaynak etkisini gösteren $E_s(t)$ 'e oranlanarak, kaynak etkisini ölçüm değerlerinden uzaklaştırılmış olur ve Modifiye transfer fonksiyonu $S_{TT}(f)$:

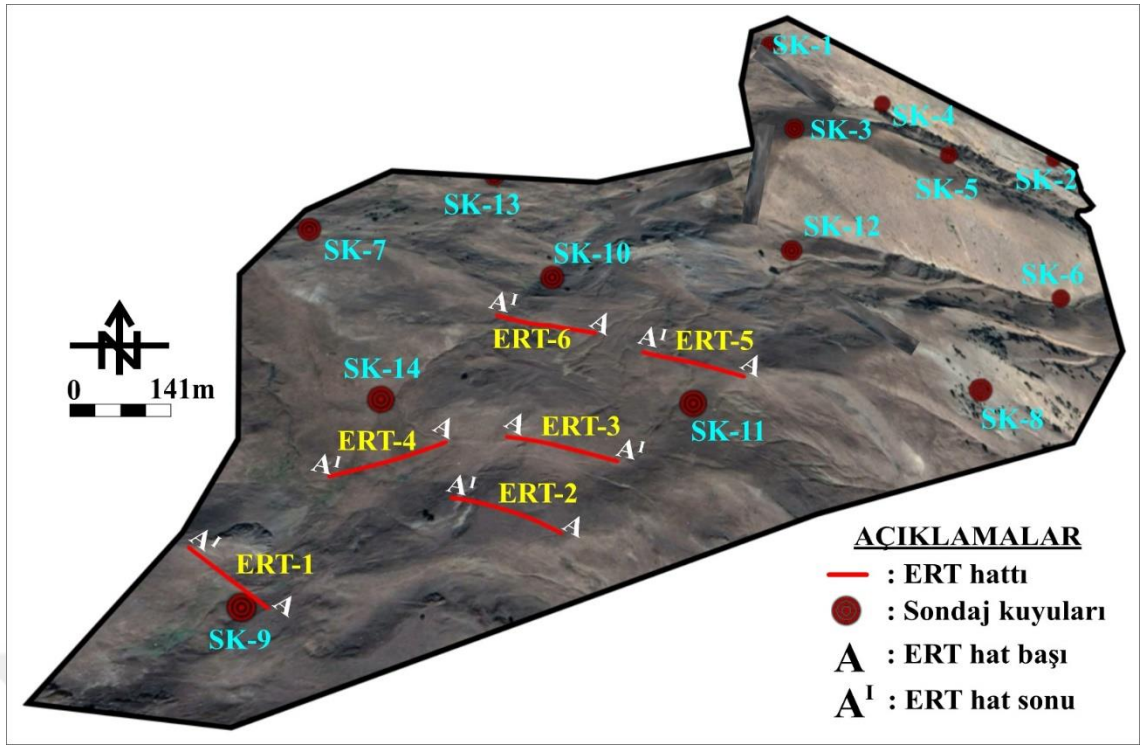
$$\begin{aligned} S_{TT}(f) &= \frac{S_T(f)}{E_s(f)} = \frac{S_{HS}(f)}{S_{VS}(f)} \times \frac{S_{VB}(f)}{S_{HB}(f)} \\ &= R_s(f) \times R_B(f) \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

şeklinde tanımlanabilir. Nakamura (1989) göre mühendislik amaçlı çalışmalarda ilgilenilen frekans aralığında (genel olarak 1-20 Hz) $R_B(f)$ yaklaşık 1'e eşittir. Bu şekilde $R_s(f)$ olarak verilen transfer fonksiyonu yüzeyde ölçülen mikrotremor verisinden elde edilebilir. Yüzeyde ölçülen temel gürültünün (mikrotremor kaydının) yatay ve düşey bileşenlerinin oranı Rayleigh dalgası etkisini giderme imkânı sağlar ve sadece jeolojik ortamın etkisini yansıtır.

$$S_{TT}(f) = \frac{S_{HS}(f)}{S_{VS}(f)} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

2.2. Sondaj Çalışmaları

İnceleme alanında Gümüşhane İl Özel İdaresi tarafından alınan toplam derinliği 280 m olan 14 adet araştırma sondaj bilgisinden yararlanılarak laboratuvar çalışmalarına ve jeofizik verilere katkı sağlanmıştır (Şekil 11). Karot sandık fotoğrafları Ek-2 de verilmiştir. Sondaj koordinatları, derinlikleri ve zemin tanımlamaları Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 11. Sondaj Lokasyon Haritası ve ERT ölçüm düzeni

Tablo 2. İnceleme alanında açılan sondaj kuyusuna ait koordinatlar

Sondaj Kuyu No	X	Y	Derinlik (m)
SK-1	4479028.5	537762.4	20.00
SK-2	4478913.6	538484.2	20.00
SK-3	4478411.2	537711.6	20.00
SK-4	4478896.9	537903.1	20.00
SK-5	4478806.3	538083.5	20.00
SK-6	4478454.7	538312.6	20.00
SK-7	4478130.6	537073.3	20.00
SK-8	4477958.4	538042.0	20.00
SK-9	4477383.4	537191.7	20.00
SK-10	4478073.9	537425.4	20.00
SK-11	4477759.5	537632.6	20.00
SK-12	4478281.9	537781.4	20.00
SK-13	4478453.6	537458.1	20.00
SK-14	4477752.5	537249.8	20.00

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanında sondajların farklı derinliklerinden birimleri temsil eden örselenmiş Standart Penatrosyon Testi (SPT) ve karotiyer ile alınan karot numunesi (C) alınmıştır. Örneklerin, tane boyu dağılımı, doğal birim hacim ağırlığı (γ_n), Atterberg limitleri (LL, PL, PI), kaya kalitesi değerleri Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarın da ASTM (1998) standartlarına uygun olarak değerlendirilmiştir.

2.3.1. Karot Yüzdesi ve Kaya Kalitesi

Alibaba, Şenköy Formasyonu ve Gümüşhane granitoidine ait birimlerin karot yüzdeleri ve kaya kalitesi değerleri arazi deneyleri çalışması kapsamında yapılmış olup elde edilen sonuçlar Ek-3’de verilmiştir. Karot numunelerinden belirlenen RQD ve TCR değerlerinin formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$$RQD\% = \frac{10 \text{ cm'den büyük silindirik karot uzunluğu}}{\text{Manevra boyu}} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$TCR = \frac{\text{Toplam karot uzunluğu}}{\text{Manevra boyu}} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 8})$$

2.3.2. Zemin İndeks – Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında arazi deneyi yamaç molozu ve Şenköy Formasyonu rezidüeli olarak yayılım gösteren alanda özellikle üst zonlarda (kil ve kum özellikli zemin) SPT deneyi yapılmıştır. Sondaj noktaları ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numune üzerinde zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi, kıvam limitleri hesaplanmıştır. Laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen verilere göre zeminler yaygın olarak CL (düşük plastisiteli kumlu kil), yer yer de SC (Killi kum), ML (siltli ince kum), CH (yüksek plastisiteli kil) özelliklerini karakterize etmektedir (Tablo 3). Elek analizi, kıvam limitleri deneyi sonuçları ve zemin sınıfları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. SPT deney sonuçları

Sondaj No.	Örnek No.	Derinlik (m)	USCS	SPT-N	Kıvamlılık
SK7	SPT1	9.00-9.45	SC	R	Çok Sıkı
SK7	SPT2	12.00-12.45	CL	R	Sert
SK7	SPT3	13.50-13.95	ML	R	Sert
SK7	SPT4	15.00-15.45	ML	73	Sert
SK7	SPT5	16.50-16.95	CL	R	Sert
SK9	SPT1	1.50-1.95	CH	7	Orta
SK9	SPT2	3.00-3.45	CL	4	Orta
SK9	SPT3	4.50-4.95	CL	R	Sert
SK9	SPT4	7.50-7.95	CL	21	Çok katı
SK11	SPT1	1.50-1.95	CL	7	Orta
SK11	SPT2	3.00-3.45	CL	17	Çok katı
SK11	SPT3	4.50-4.95	CL	63	Sert
SK12	SPT1	1.50-1.95	CL	15	Çok katı
SK12	SPT2	3.00-3.45	CL	21	Çok katı
SK12	SPT3	4.50-4.95	ML	21	Çok katı
SK12	SPT4	6.00-6.45	CL	26	Çok katı
SK12	SPT5	7.50-7.95	ML	33	Sert
SK12	SPT6	9.00-9.45	CL	25	Çok katı
SK12	SPT7	10.50-40.95	CL	37	Sert

Tablo 3. (Devamı)

SK14	SPT1	1.50-1.95	CH	10	Katı
SK14	SPT2	3.00-3.45	CL	15	Çok katı
SK14	SPT3	6.00-6.45	CL	25	Çok katı
SK14	SPT4	9.00-9.45	CL	32	Sert
SK14	SPT5	12.45-12.95	CL	40	Sert

Tablo 4. Elek analizi, kıvam limitleri deneyi sonuçları ve zemin sınıfları

GN/SK No	Numune Derinliği (m)	Kıvam Limitleri			Elek Analizi		Zemin Sınıfı
		LL (%)	PL (%)	PI (%)	10 Kalan %	200 Geçen %	
SK1	1.50-1.95	44	18	26	8.12	19.19	SC
SK7	9.00-9.45	38	20	18	18	44.48	SC
SK7	12.00-12.45	35	13	22	3.36	59.13	CL
SK7	13.50-13.95	35	27	8	7.89	56.22	ML
SK7	15.00-15.45	32	26	6	8.16	59.13	ML
SK7	16.50-16.95	32	20	12	10	57.80	CL
SK8	1.50-1.95	32	20	12	64	14.87	GC
SK9	1.50-1.95	55	20	35	6.04	74.45	CH
SK9	3.00-3.45	40	16	24	7.8	55.89	CL
SK9	4.50-4.95	40	8	32	19.05	53.60	CL
SK9	7.50-7.95	37	16	21	12.03	58.36	CL
SK11	1.50-1.95	36	19	17	28.22	53.67	CL
SK11	3.00-3.45	36	12	24	6.20	61.04	CL
SK11	4.50-4.95	40	12	28	17	50.09	CL
SK12	1.50-1.95	36	11	25	10.52	73.83	CL
SK12	3.00-3.50	40	20	20	12.50	54.22	CL
SK12	4.50-4.95	35	24	11	5	76.70	ML
SK12	6.00-6.45	35	11	24	5.01	71.98	CL
SK12	7.50-7.95	35	24	11	10	65.27	ML
SK12	9.00-9.45	35	11	24	25	55.17	CL
SK12	10.50-10.95	30	15	15	27.60	55.96	CL
SK14	1.50-1.95	54	24	30	20	55.32	CH
SK14	3.00-3.45	45	20	25	13.03	53.00	CL
SK14	6.00-6.45	40	22	18	12.50	55.90	CL
SK14	9.00-9.45	44	23	21	10	63.83	CL
SK14	12.45-12.95	46	20	26	11	75.19	CL
AC1	1.50-2.00	45	15	30	14	72.03	CL
AÇ2	1.50-1.95	44	22	20	20	63.49	CL

2.3.3. Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında yapılan sondajlarda gözlemlenen plastisiteli yapıdaki inorganik kil, siltli kumlu kil zemin olarak değerlendirilmiştir. Sondaj kuyularında ve araştırma çukurlarında yüzeyden itibaren ortalama derinliği 5m olan CL özellikli inorganik siltli-killi zemine rastlanmıştır (Tablo 5). İnceleme alanında şev niteliğindeki sondaj kuyuları ve gözlem noktalarından alınan örselenmiş numune üzerinde doğal birim hacim ağırlığı

deney sonuçları verilmiştir. İlgili sahada araştırma çukuru çalışmalarından alınan numuneler üzerinde laboratuvar şartları altında bulunan C (kg/cm²) ve Ø (°) değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Doğal birim hacim ağırlığı, direk kesme deneyi deney sonuçları

Sk No	Numune Derinliği (m)	Doğal Hacim (kN/m ³)	Birim Ağırlığı	Direk Kesme (uu)		Litoloji	Formasyon
				C (kgf/cm ²)	Ø (°)		
AÇ-1	1.5-2.0	17.45		64.29	11	Kil	Yamaç Moluzu
AÇ-2	1.5-2.0	18.2		52.94	18	Kil	Yamaç Moluzu

2.3.4. Kaya Mekaniği Deneyleri

İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan örneklerden aşağıda tablolarda verilen derinliklerden çift tüplü karotiyerle alınan kayaç örnekleri üzerinde nokta yükü dayanım indeksi deneyi ve tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılarak zemin parametreleri belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Nokta Yükü Dayanım İndeksi ve Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Nokta Yükü Dayanım İndeksi Is (50), MPa	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
SK-1	5.80-6.00	-	0.59	-
SK-1	8.00-8.20	-	1.88	-
SK-1	8.50-9.00	24.42	-	56.08
SK-1	10.00-10.50	24.03	-	21.16
SK-1	12.00-12.50	-	1.24	-
SK-1	14.50-15.00	-	0.35	-
SK-1	16.50-17.00	24.52	-	15.08
SK-1	19.50-20.00	25.11	-	13.81
SK-2	1.50-2.00	-	3.51	-
SK-2	3.00-3.50	-	4.60	-
SK-2	4.00-4.50	26.18	-	70.28
SK-2	5.00-5.50	-	4.15	-
SK-2	7.00-7.50	-	1.35	-
SK-2	9.50-10.00	-	1.40	-
SK-2	11.50-12.00	26.97	-	97.40
SK-2	14.00-14.50	-	4.75	-
SK-2	15.50-16.00	26.58	-	222.93
SK-2	19.00-19.50	26.77	-	154.53
SK-3	3.00-3.50	-	0.27	-
SK-3	7.50-8.00	-	0.45	-
SK-3	14.00-14.50	25.31	0.46	-
SK-3	14.50-15.00	24.22	-	6.30
SK-3	17.00-17.50	26.64	2.26	-

Tablo 6. (Devamı)

SK-3	19.50-20.00	25.14	3.20	-
SK-4	1.50-2.00		3.00	-
SK-4	4.00-4.50	22.76	1.22	
SK-4	6.50-7.00	23.73	-	8.12
SK-4	8.50-9.00	25.39	1.92	-
SK-4	11.00-11.50	23.93	-	15.08
SK-4	15.00-15.50	25.42	1.08	-
SK-4	17.00-17.50	24.22	-	25.58
SK-4	19.00-19.50	24.03	-	52.27
SK-5	1.50-2.00	-	2.55	-
SK-5	3.00-3.50	-	0.41	-
SK-5	4.50-5.00	-	2.40	-
SK-5	6.00-6.50	-	0.68	-
SK-5	8.50-9.00	24.52	1.22	-
SK-5	11.50-12.00	-	0.88	-
SK-5	13.50-14.00	-	0.20	-
SK-5	17.00-17.50	24.18	1.35	-
SK-6	7.50-8.00	-	0.68	-
SK-6	9.00-9.50	24.03	-	20.77
SK-6	12.00-12.50	24.42	-	20.50
SK-6	15.00-15.50	-	1.15	-
SK-6	17.50-18.00	-	0.76	-
SK-6	20.00-20.50	-	1.47	-
SK-7	19.50-20.00	25.00	-	112.55
SK-10	7.50-8.00	-	2.25	-
SK-10	13.00-13.50	24.62	-	14.12
SK-10	15.00-15.50	24.71	-	17.40
SK-10	16.50-17.00	24.91	-	17.18
SK-10	19.00-19.50	24.82	-	13.15
SK-12	13.00-13.50	-	0.67	-
SK-12	16.00-16.50	-	2.34	-
SK-12	18.00-18.50	24.52	-	17.02
SK-13	3.00-3.50	25.20	-	128.84
SK-13	4.00-4.50	24.91	-	88.23
SK-13	7.00-7.50	24.52	-	142.93
SK-13	8.00-8.50	23.83	-	8.40
SK-13	15.00-15.50	-	0.69	-
SK-13	17.50-18.00	25.01	-	121.60
SK-13	20.00-20.50	-	0.21	-
SK-14	14.00-14.50	-	0.25	-
SK-14	19.50-20.00	26.28	-	13.54

2.4. Duraylılık Analizleri

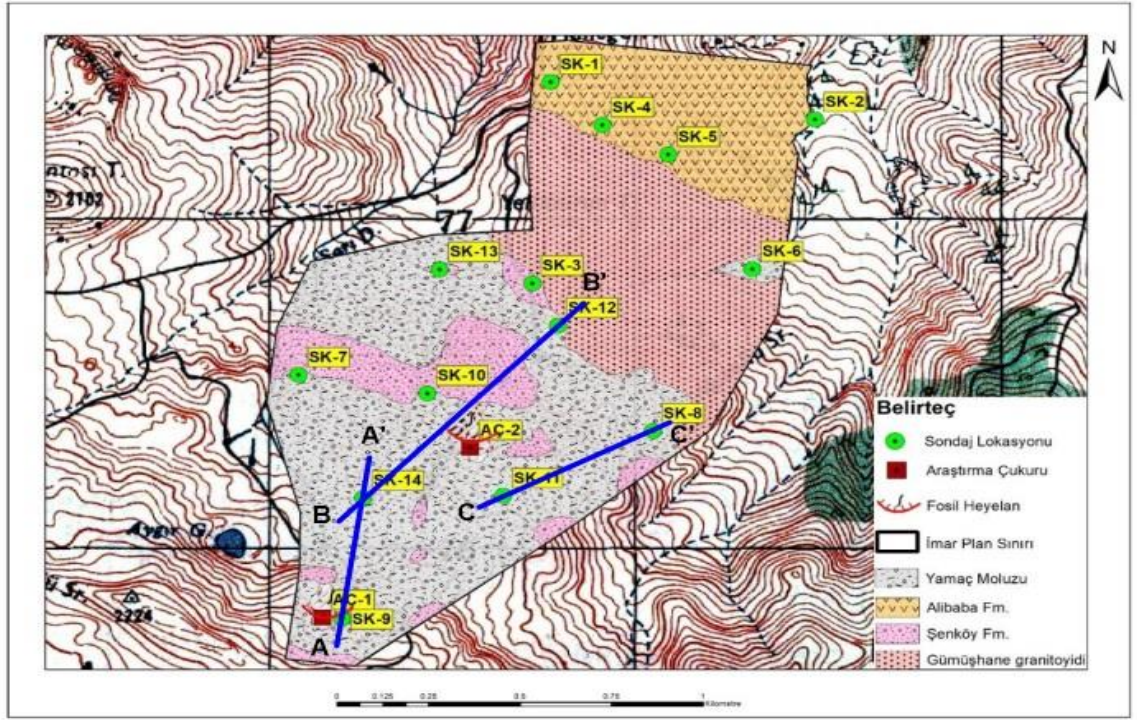
İnceleme alanında yayılım gösteren yamaç molozları özellikle 0.5m-5m derinliğinde tamamen zemine dönüşmüş olup, düşük plastisiteli kil özelliğindedir. Özellikle bahar aylarında mevsimsel olarak yağışların artması sebebiyle drenaj ağlarından akış gösteren yüzey suları ve karların erimesiyle zeminde belirli derinliklere

kadar sızma yaparak kütleyi doygun duruma getiren sızıntı suları sebebiyle yavaş akma diye tanımladığımız (krip) yüzeysel dalgalanmalar ve 1m derinliğe erişmeyen basamaklanma ve yer yer topoğrafyada küçük çaplı açılmalar ve akmlar oluşturmuştur (Şekil 12).



Şekil 12. İnceleme alanı AÇ-1 nolu araştırma çukuru civarında zeminde gözlemlenen açılmalar

İnceleme alanında yamaç molozlarını karakterize edecek şekilde alınan A-A', B-B' ve C-C' kesit hatlarında (Şekil 13) açılmış olan sondaj ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örneklerinde elek analizi, birim hacim ağırlık ve kesme kutusu deney sonuçları kullanılarak duraylılık analizleri yapılmıştır.



Şekil 13. Yamaç molozlarını karakterize edecek kesit hatlarının (AA', BB', CC') görünümü

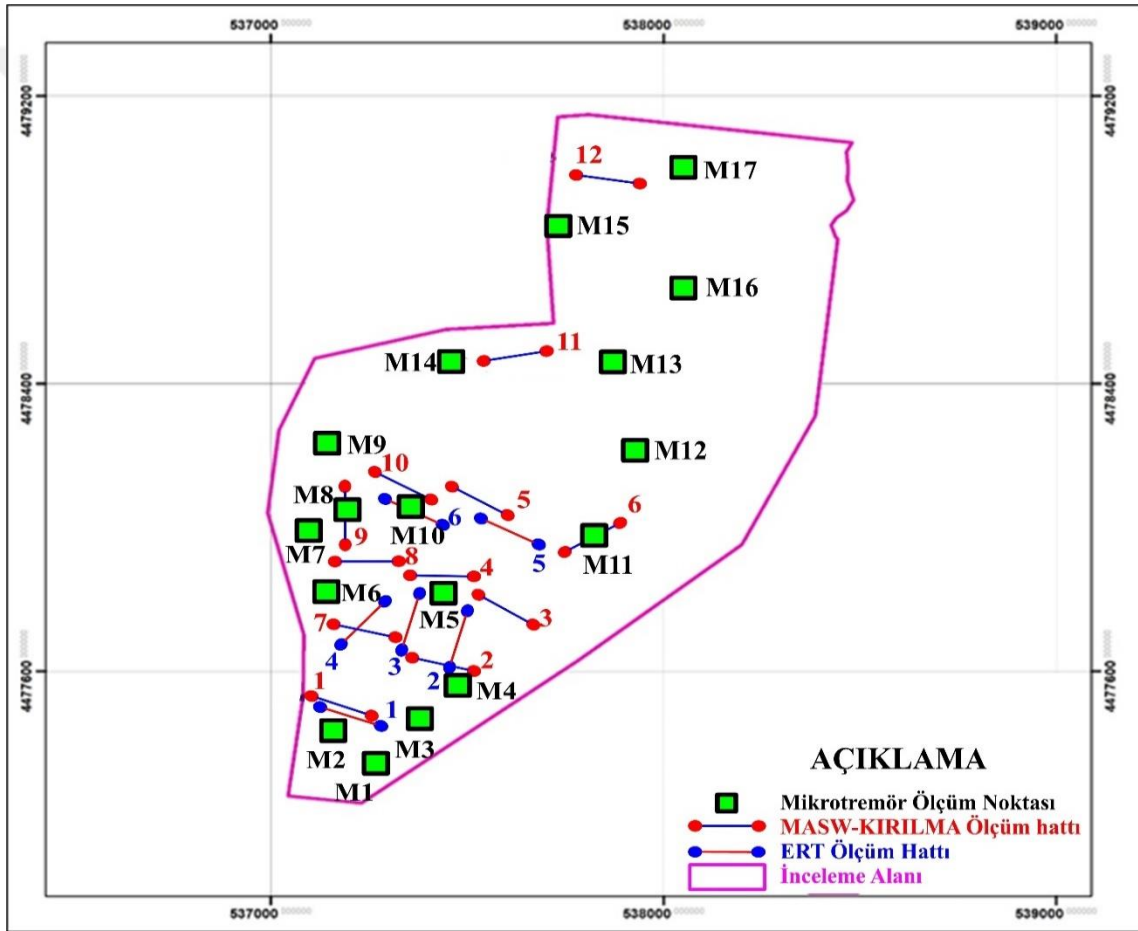
2.5. Limit Denge Analizi

İnceleme alanında yapılan saha çalışmaları dikkate alınarak belirlenen kesit hatlarında (AA', BB', CC') limit denge analizleri Slide2 (Rocscience, 2022) bilgisayar programında yapılmıştır. Limit Denge (LE) yönteminde, Mohr-Coulomb yenilme kriteri esas alınmıştır. Bu çalışmada kayak güzergâhı olarak planlanan alanda yayılım gösteren yamaç molozu biriminde dört farklı limit denge analiz yöntemi (Bishop, Janbu, Spencer, GLE/Morgenstern-Price) kullanılarak kayak güzergâhının mevcut durumda ve sismik yük etkisindeki durumu değerlendirilmiş ve güvenlik sayıları belirlenmiştir. Analizler Slide2 bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yatay yer ivmesi değeri bölgede beklenen ivme değeriyle uyumlu olacak şekilde $a_y \approx 0.19g$ alınmıştır (Türkiye Deprem Tehlike Haritası, 2018).

İnceleme alanında yamaç molozlarından oluşan bölgelerde AA', BB' ve CC' nolu kesit hatları öncelikle doğal durumda analiz edilmiş ve daha sonra bölgenin depremselliği dikkate alınarak sismik yük etkisinde analiz edilerek duraylılığı değerlendirilmiştir.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Gümüşhane ili Süleymaniye yerleşkesinde Kış Sporları Merkezi olarak planlanan inceleme alanında jeofizik ve jeolojik yöntemler sonucunda elde edilen parametreler limit denge analizleri ile heyelan alanlarının mevcut durum ve sismik yük etkisi altındaki duraylılığı incelenmiştir. Jeofizik çalışmalar kapsamında inceleme alanındaki potansiyel heyelan alanları içerisinde 12 adet SKT ve MASW, 17 adet mikrotremör ve 6 adet ERT ölçümü alınmıştır. İnceleme alanında arazi şartlarının elverişli olduğu ve özellikle Kış Sporları Merkezinde planlanan kayak yolu güzergâhında jeofizik hatlar ve ölçüm noktaları Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14. İnceleme alanında Jeofizik ölçüm hatlarının ve mikrotremör ölçüm noktalarının gösterimi

3.1. Sismik Çalışmalar

Sismik ölçümler (SKT ve MASW) inceleme alanında toplamda 12 hatta alınmıştır (Şekil 15). Ölçüm toplama sırasında 24 kanallı sismograf cihazı, 8 kg balyoz, 4.5 Hz’lik düşey bileşen alıcılar ve 3 cm kalınlığında 25 cm yarıçaplı demir tabla kullanılmıştır.

Sismik sinyalin sinyal/gürültü oranını yükseltmek her atış noktasında için 3 düşey yığma yapılmıştır.

SKT ölçümlerinde jeofon aralıkları 3 m, ofset aralığı 3 m olmak üzere toplam 72 m serim yapılmış ve ortalama 30 m derinlikten bilgi alınmıştır. İnceleme alanına ait görüntüler Şekil 15’de verilmiştir. SKT verileri SeisImager programıyla değerlendirilip ilk varış zamanları doğru ve güvenilir bir şekilde piklenerek bilgisayar ortamında ters çözüm işlemine tabi tutulup sıg yeraltı yapısının 2-boyutlu sismik hız-derinlik kesitleri elde edilmiştir (Ek-1). SKT ölçümlerinden elde edilen farklı katmanlarda ki P-dalga hızı değerlerinin litoloji ile ilişkisi Tablo 7’de verilmiştir.

MASW ölçümlerinde jeofon aralıkları 3 m ve ofset mesafesi 15 m olmak üzere toplamda 84 m serim yapılmıştır. MASW verileri SeisImager programı değerlendirilerek faz kayması yöntemi kullanılarak faz hızı-dispersiyon eğrisi elde edilerek yeraltının derinlikle değişen 1-boyutlu S-dalga hız değerleri elde edilmiştir (Ek-1). İnceleme alanından elde edilen MASW ölçüm parametrelerinin farklı katmanlardaki S-dalga hızı, Vs30 değeri, zeminin dinamik ve elastik tüm parametreleri Tablo 7’de verilmiştir. Ayrıca, uydu görüntüsü üzerine inceleme alanın genelini kapsayacak şekilde Vs30 değerleri entegre edilerek inceleme alanının Vs30 haritası elde edilmiştir (Bölüm 3.3’de verilmiştir) (Şekil 23).



Şekil 15. SKT ve MASW çalışmaları arazi görüntüleri

Tablo 7. Sismik Değerlendirme Sonuçları

Hat	Tabaka No	P Dalgası Hızı Vp (m/sn)	S Dalgası Hızı Vs (m/sn)	Vp/Vs	Yoğunluk (d _{gr} /cm ³)	Bulk Modülü (K, kg/cm ²)	Elastisite Modülü (E, kg/cm ²)	Kayma Modülü (G, kg/cm ²)	Poisson Oranı (μ)	Zemin Büyütmeye Değeri	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T ₀ , sn)	Vs30 (m/sn)
SİS-1	1	848	409	2.07	1.67	8284	7535	2794	0.35	1.30	0.16	729
	2	1100	578	1.90	1.79	13686	15659	5980	0.31			
	3	1925	1051	1.83	2.05	45773	58316	22644	0.29			
SİS-2	1	496	233	2.13	1.46	2535	2154	793	0.36	1.93	0.32	379
	2	575	302	1.90	1.52	3177	3630	1386	0.31			
	3	965	523	1.85	1.73	9801	12228	4732	0.29			
SİS-3	1	600	287	2.09	1.53	3828	3406	1260	0.35	1.66	0.25	485
	2	648	339	1.91	1.56	4160	4703	1793	0.31			
	3	1140	628	1.82	1.80	13928	18204	7099	0.28			
SİS-4	1	758	364	2.08	1.63	6486	5833	2160	0.35	1.46	0.20	606
	2	960	515	1.86	1.73	9826	11910	4588	0.30			
	3	1620	896	1.81	1.97	30613	40475	15815	0.28			
SİS-5	1	534	252	2.12	1.49	2987	2567	946	0.36	1.83	0.29	412
	2	632	330	1.92	1.55	3940	4431	1688	0.31			
	3	1030	558	1.85	1.76	11365	14164	5480	0.29			
SİS-6	1	756	363	2.08	1.63	6452	5800	2148	0.35	1.56	0.22	541
	2	982	529	1.86	1.74	10287	12616	4869	0.30			
	3	1625	918	1.77	1.97	29885	42024	16602	0.27			
SİS-7	1	675	322	2.10	1.58	5015	4431	1638	0.35	1.70	0.26	467
	2	865	450	1.92	1.68	8034	8944	3402	0.31			
	3	1075	582	1.85	1.78	12531	15587	6029	0.29			
SİS-8	1	676	321	2.11	1.58	5049	4410	1628	0.35	1.65	0.24	494
	2	976	525	1.86	1.73	10122	12363	4768	0.30			
	3	1200	654	1.83	1.82	15829	20063	7784	0.29			
SİS-9	1	655	314	2.09	1.57	4672	4182	1548	0.35	1.60	0.23	515
	2	834	428	1.95	1.67	7537	8083	3059	0.32			
	3	1160	627	1.85	1.81	14868	18411	7116	0.29			
SİS-10	1	582	275	2.12	1.52	3616	3119	1150	0.36	1.70	0.26	466
	2	635	334	1.90	1.56	3970	4554	1740	0.31			
	3	1210	667	1.81	1.83	15938	20869	8141	0.28			
SİS-11	1	583	275	2.12	1.52	3634	3121	1150	0.36	1.69	0.25	471
	2	653	342	1.91	1.57	4246	4814	1836	0.31			
	3	1200	650	1.85	1.82	15955	19877	7690	0.29			
SİS-12	1	594	281	2.11	1.53	3788	3276	1208	0.36	1.78	0.28	432
	2	668	350	1.91	1.58	4470	5075	1936	0.31			
	3	990	535	1.85	1.74	10413	12886	4980	0.29			

3.1.1. Zeminin Dinamik ve Elastik Parametreleri

İnceleme sahasında alınan sismik ölçümler ile belirlenen P ve S dalga hız değerlerinden elde edilen zeminin yoğunluk (ρ), Poisson oranı (μ), elastite modülü (E), kayma modülü (G) ve bulk modülü (K) parametreleri tespit edilmiştir. Bu parametrelerin formülleri, tanımlamaları ve inceleme alanı tabaka tanımlamaları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

3.1.1.1. Yoğunluk: ρ (Gr/Cm³)

Telford (1976) tarafından verilen P-dalga hızına göre ampirik olarak belirlenen yoğunluk değeri aşağıdaki formülden hesaplanır. Zemin birimlerinin yoğunluk sınıflaması tanımlaması değer aralıkları Tablo 8’de verilmiştir. İnceleme alanında yoğunluk değer aralıklarına göre zemin tanımlamaları Tablo 9’da verilmiştir.

$$\rho = 0.31V_p^{0.25} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Tablo 8. Zemin Birimlerinin Yoğunluk Sınıflaması: (Keçeli, 1990).

Yoğunluk d (gr/cm ³)	Tanımlama
<1.20	Çok düşük
1.20-1.40	Düşük
1.40-1.90	Orta
1.90-2.20	Yüksek
>2.20	Çok Yüksek

Tablo 9. Çalışma Alanından Elde Edilen Sismik Hızlardan Hesaplanan Yoğunluk Değerleri

Hat	Tabakalar	Yoğunluk(d) (gr/cm ³)	Tanımlama
SİS-1	1. Tabaka	1.67	Orta
	2. Tabaka	1.79	Orta
	3. Tabaka	2.05	Yüksek
SİS-2	1. Tabaka	1.46	Orta
	2. Tabaka	1.52	Orta
	3. Tabaka	1.73	Orta
SİS-3	1. Tabaka	1.53	Orta
	2. Tabaka	1.56	Orta
	3. Tabaka	1.80	Orta
SİS-4	1. Tabaka	1.63	Orta
	2. Tabaka	1.73	Orta
	3. Tabaka	1.97	Yüksek
SİS-5	1. Tabaka	1.49	Orta
	2. Tabaka	1.55	Orta
	3. Tabaka	1.76	Orta

Tablo 9. (Devamı)

SİS-6	1. Tabaka	1.63	Orta
	2. Tabaka	1.74	Orta
	3. Tabaka	1.97	Yüksek
SİS-7	1. Tabaka	1.58	Orta
	2. Tabaka	1.68	Orta
	3. Tabaka	1.78	Orta
SİS-8	1. Tabaka	1.58	Orta
	2. Tabaka	1.73	Orta
	3. Tabaka	1.82	Orta
SİS-9	1. Tabaka	1.57	Orta
	2. Tabaka	1.67	Orta
	3. Tabaka	1.81	Orta
SİS-10	1. Tabaka	1.52	Orta
	2. Tabaka	1.56	Orta
	3. Tabaka	1.83	Orta
SİS-11	1. Tabaka	1.52	Orta
	2. Tabaka	1.57	Orta
	3. Tabaka	1.82	Orta
SİS-12	1. Tabaka	1.53	Orta
	2. Tabaka	1.58	Orta
	3. Tabaka	1.74	Orta

3.1.1.2. Poisson Oranı (μ);

Poisson Oranı; bir malzemenin elastik bölgede enine birim değişmesinin boyuna birim değişmesine oranı olarak tanımlanır. Poisson oranı birimlerin katılığını bir başka ifadeyle gözenekliliğini ifade etmektedir ve aşağıdaki formülle hesaplanır. Zemin birimlerinin poisson sınıflaması sıklık durumları değer aralıkları Tablo 10’da verilmiştir. İnceleme alanında Poisson değerlerine göre tabakaların sıklık durumları Tablo 11’de verilmiştir.

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2V_p^2 - 2V_s^2} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Tablo 10. Poisson sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması (Ercan,2001).

POİSSON ORANI	SIKILIK	V_p/V_s
0.50	Cıvık sıvı	∞
0.40-0.49	Çok gevşek	∞ -2.49
0.30-0.39	Gevşek	2.49-1.87
0.20-0.29	Sıkı-katı	1.87-1.71
0.10-0.19	Katı	1.71-1.50
0.00-0.09	Sağlam kaya	1.50-1.41

Tablo 11. İnceleme alanı Poisson oranları ve tabaka sıkılık durumları

Hat	Tabakalar	Poisson Oranı (μ)	Sıkılık
SİS-1	1. Tabaka	0.35	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı
SİS-2	1. Tabaka	0.36	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı
SİS-3	1. Tabaka	0.35	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.28	Sıkı Katı
SİS-4	1. Tabaka	0.35	Gevşek
	2. Tabaka	0.30	Gevşek
	3. Tabaka	0.28	Sıkı Katı
SİS-5	1. Tabaka	0.36	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı
SİS-6	1. Tabaka	0.35	Gevşek
	2. Tabaka	0.30	Gevşek
	3. Tabaka	0.27	Sıkı Katı
SİS-7	1. Tabaka	0.35	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı
SİS-8	1. Tabaka	0.35	Gevşek
	2. Tabaka	0.30	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı
SİS-9	1. Tabaka	0.35	Gevşek
	2. Tabaka	0.32	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı
SİS-10	1. Tabaka	0.36	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.28	Sıkı Katı
SİS-11	1. Tabaka	0.36	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı
SİS-12	1. Tabaka	0.36	Gevşek
	2. Tabaka	0.31	Gevşek
	3. Tabaka	0.29	Sıkı Katı

3.1.1.3. Elastisite Modülü (E, Kg/cm²)

Bir doğrultuda gerilmelerin, deformasyonlara oranı olarak tanımlanır. Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanım sınıflaması Tablo 12’de verilmiştir (Keçeli,1990). İnceleme alanında Elastisite değerlerine göre tabakaların dayanım durumları Tablo 13’de verilmiştir ve aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$E = \frac{G(3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

Tablo 12. Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli,1990).

Elastisite Modülü (E, kg/cm²)	Dayanım
<1000	Çok zayıf
1000-5000	Zayıf
5000-10000	Orta
10000-30000	Sağlam
>30000	Çok Sağlam

Tablo 13. İnceleme alanı Elastisite modülü değerleri ve tabaka dayanım durumları

Hat	Tabakalar	Elastisite Modülü (kg/cm²) E	Dayanım
SİS-1	1. Tabaka	7535	Orta
	2. Tabaka	15659	Sağlam
	3. Tabaka	58316	Çok Sağlam
SİS-2	1. Tabaka	2154	Zayıf
	2. Tabaka	3630	Zayıf
	3. Tabaka	12228	Sağlam
SİS-3	1. Tabaka	3406	Zayıf
	2. Tabaka	4703	Zayıf
	3. Tabaka	18204	Sağlam
SİS-4	1. Tabaka	5833	Orta
	2. Tabaka	11910	Sağlam
	3. Tabaka	40475	Çok Sağlam
SİS-5	1. Tabaka	2567	Zayıf
	2. Tabaka	4431	Zayıf
	3. Tabaka	14164	Sağlam
SİS-6	1. Tabaka	5800	Orta
	2. Tabaka	12616	Sağlam
	3. Tabaka	42024	Çok Sağlam
SİS-7	1. Tabaka	4431	Zayıf
	2. Tabaka	8944	Orta
	3. Tabaka	15587	Sağlam
SİS-8	1. Tabaka	4410	Zayıf
	2. Tabaka	12363	Sağlam
	3. Tabaka	20063	Sağlam
SİS-9	1. Tabaka	4182	Zayıf
	2. Tabaka	8083	Orta
	3. Tabaka	18411	Sağlam
SİS-10	1. Tabaka	3119	Zayıf
	2. Tabaka	4554	Zayıf
	3. Tabaka	20869	Sağlam
SİS-11	1. Tabaka	3121	Zayıf
	2. Tabaka	4814	Zayıf
	3. Tabaka	19877	Sağlam
SİS-12	1. Tabaka	3276	Zayıf
	2. Tabaka	5075	Orta
	3. Tabaka	12886	Sağlam

3.1.1.4. Kayma (Shear) Modülü (G, Kg/cm²)

Makaslama gerilmeleri yatay kuvvetlere karşı formasyonun direncini gösterir. Kayma modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı Tablo 14’de verilmiştir. İnceleme alanında Kayma modülü değerlerine göre tabakaların dayanım durumları Tablo 15’de verilmiştir ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$G = \frac{dV_s^2}{100} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Tablo 14. Kayma modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990).

Kayma (Shear) Modülü (G, kg/cm ²)	Dayanım
<400	Çok zayıf
400-1500	Zayıf
1500-3000	Orta
3000-10000	Sağlam
>10000	Çok sağlam

Tablo 15. İnceleme alanı Kayma modülü değerleri ve tabaka dayanım durumları

Hat	Tabakalar	Kayma Modülü (kg/cm ²) G	Dayanım
SİS-1	1. Tabaka	2794	Orta
	2. Tabaka	5980	Sağlam
	3. Tabaka	22644	Çok Sağlam
SİS-2	1. Tabaka	793	Zayıf
	2. Tabaka	1386	Zayıf
	3. Tabaka	4732	Sağlam
SİS-3	1. Tabaka	1260	Zayıf
	2. Tabaka	1793	Orta
	3. Tabaka	7099	Sağlam
SİS-4	1. Tabaka	2160	Orta
	2. Tabaka	4588	Sağlam
	3. Tabaka	15815	Çok Sağlam
SİS-5	1. Tabaka	946	Zayıf
	2. Tabaka	1688	Orta
	3. Tabaka	5480	Sağlam
SİS-6	1. Tabaka	2148	Orta
	2. Tabaka	4869	Sağlam
	3. Tabaka	16602	Çok Sağlam
SİS-7	1. Tabaka	1638	Orta
	2. Tabaka	3402	Sağlam
	3. Tabaka	6029	Sağlam
SİS-8	1. Tabaka	1628	Orta
	2. Tabaka	4768	Sağlam
	3. Tabaka	7784	Sağlam

Tablo 15. (Devamı)

SİS-9	1. Tabaka	1548	Orta
	2. Tabaka	3059	Sağlam
	3. Tabaka	7116	Sağlam
SİS-10	1. Tabaka	1150	Zayıf
	2. Tabaka	1740	Orta
	3. Tabaka	8141	Sağlam
SİS-11	1. Tabaka	1150	Zayıf
	2. Tabaka	1836	Orta
	3. Tabaka	7690	Sağlam
SİS-12	1. Tabaka	1208	Zayıf
	2. Tabaka	1936	Orta
	3. Tabaka	4980	Sağlam

3.1.1.5. Bulk (Sıkışmazlık) Modülü (K, Kg/cm²)

Bulk Modülü, bir kütleyi çepeçevre saran basınç altında sıkışmasının ölçüsüdür. Bulk modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların sıkışması Tablo 16'da verilmiştir. İnceleme alanında Bulk modülü değerlerine göre tabakaların sıkışma durumları Tablo 16'da verilmiştir ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$K = ((d(V_p^2 - 4/3V_s^2)/100)kg/cm^2 \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Tablo 16. Bulk modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990).

Bulk Modülü (K, kg/cm²)	Sıkışma
<400	Çok Az
400-10000	Az
10000-40000	Orta
40000-100000	Yüksek
>100000	Çok Yüksek

Tablo 17. İnceleme alanı Bulk modülü değerleri ve tabaka sıkışma durumları

Hat	Tabakalar	Bulk Modülü (kg/cm²) K	Sıkışma
SİS-1	1. Tabaka	8284	Az
	2. Tabaka	13686	Orta
	3. Tabaka	45773	Yüksek
SİS-2	1. Tabaka	2535	Az
	2. Tabaka	3177	Az
	3. Tabaka	9801	Az
SİS-3	1. Tabaka	3828	Az
	2. Tabaka	4160	Az
	3. Tabaka	13928	Orta
SİS-4	1. Tabaka	6486	Az
	2. Tabaka	9826	Az
	3. Tabaka	30613	Orta

Tablo 17. (Devamı)

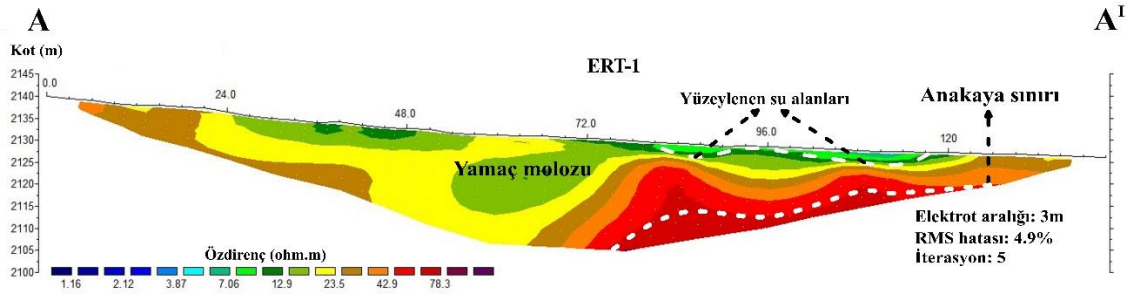
SİS-5	1. Tabaka	2987	Az
	2. Tabaka	3940	Az
	3. Tabaka	11365	Orta
SİS-6	1. Tabaka	6452	Az
	2. Tabaka	10287	Orta
	3. Tabaka	29885	Orta
SİS-7	1. Tabaka	5015	Az
	2. Tabaka	8034	Az
	3. Tabaka	12531	Orta
SİS-8	1. Tabaka	5049	Az
	2. Tabaka	10122	Orta
	3. Tabaka	15829	Orta
SİS-9	1. Tabaka	4672	Az
	2. Tabaka	7537	Az
	3. Tabaka	14868	Orta
SİS-10	1. Tabaka	3616	Az
	2. Tabaka	3970	Az
	3. Tabaka	15938	Orta
SİS-11	1. Tabaka	3634	Az
	2. Tabaka	4246	Az
	3. Tabaka	15955	Orta
SİS-12	1. Tabaka	3788	Az
	2. Tabaka	4470	Az
	3. Tabaka	10413	Orta

3.2. Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) Çalışmaları

Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) ölçümleri RADC-024 marka 48 kanallı öz direnç cihazıyla alınmıştır. Bu çalışmada hem yanal hem de düşey ayrımlılığı daha iyi görebilmemizi sağlayacak Wenner-Schlumberger dizilimi tercih edilmiştir. Bu ölçümlerde elektrot aralığı 3 m ve hat uzunluğu 141 m belirlenip güç kaynağı olarak 12V'luk aküler kullanılmıştır. ERT verileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliğinde Res2dinv (Loke, 2010) programıyla değerlendirilerek 2 boyutlu öz direnç kesitleri elde edilmiştir. Oluşan 2 boyutlu öz direnç kesitleri üzerinde her elektrotun denk geldiği kot noktaları işleme dâhil edilerek, kesitlerin yükseklik değişimleriyle beraber arazi yüzeyine daha uyumlu hale getirilmiştir. Kesitlerin oluşturulmasında hata oranı (RMS) genellikle %5 altında olmasına dikkat edilmiştir. ERT hatlarının lokasyonları Şekil 11'de verilmiştir.

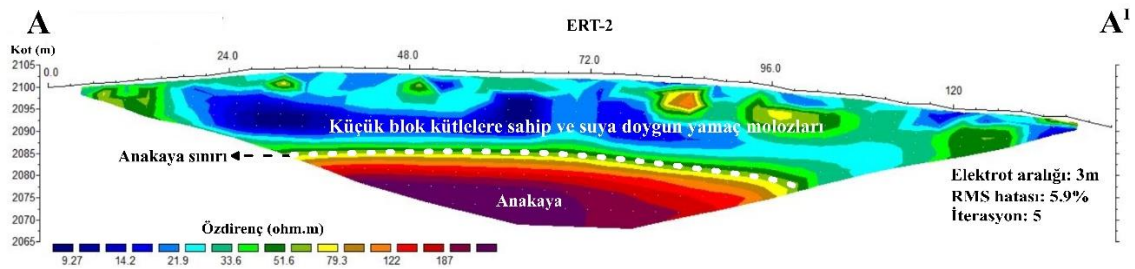
ERT 1 hattı 141m uzunluğunda olup elektrot aralığı 3m alınarak yapılan ölçümlerin sonuçları Şekil 11'de verilmiştir. ERT kesitinde genel olarak düşük öz dirençli (0-50 ohm.m) birimler, profil başlangıcından profilin ortasına ve yaklaşık 30m derinliğe kadar uzanmaktadır. Bu birim yer-yer kil arakatlı, ayrılmış parçalı kumtaşı yamaç

molozunu karakterize etmektedir. Yüksek öz direnç değerine sahip (>70 ohm.m) kırmızı renk ile gösterilen profilin ortasında sonuna kadar uzanan birim ise Şenköy formasyonuna sahip kumtaşı ve kıltaşı ardalanmasıyla geçilmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. ERT 1 Kesiti; Profil 1 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.

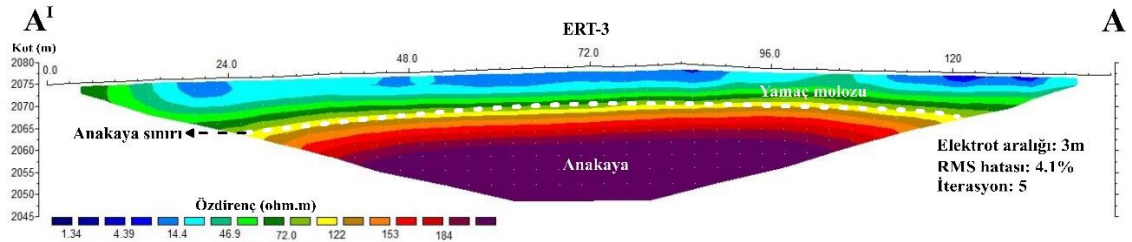
ERT 2 ölçüm lokasyonu Şekil 11’de verilmiştir. ERT kesitinde genel olarak düşük öz dirençli (0-50 ohm.m) birimler, profil başlangıcından profilin sonuna kadar ve yaklaşık 15m derinliğe kadar uzanmaktadır. Bu birim çakıl, kil ve kum boyutundaki malzemelerden oluşan küçük blok kütlelere sahip ve suya doygun yamaç molozunu karakterize etmektedir. Yüksek öz direnç değerine sahip sarı-kahverengi renk ile gösterilen (70-130 ohm.m) profilin 15-20m derinliğinde değişen birimler çok ayrılmış kaya, yüksek öz direnç değerine sahip (>130 ohm.m) kırmızı renkli yüksek öz direnç değerine sahip birimler ise ayrılmış kaya olarak karakterize edilir (Şekil 17).



Şekil 17. ERT 2 Kesiti; Profil 2 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.

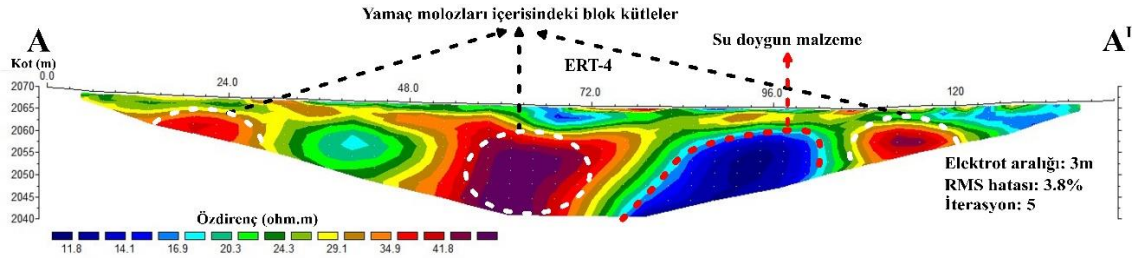
ERT 3 hattı lokasyonu Şekil 11’de verilmiştir. ERT kesitinde genel olarak düşük öz dirençli (0-50 ohm.m) birimler, profil başlangıcından profilin sonuna kadar ve yaklaşık 15m derinliğe kadar uzanmaktadır. Bu birim çakıl, kil ve kum boyutundaki malzemelerden oluşan yamaç molozunu karakterize etmektedir. Yüksek öz direnç değerine sahip sarı-kahverengi renk ile gösterilen (70-150 ohm.m) profilin 15-20m derinliğinde değişen birimler çok ayrılmış kaya, yüksek öz direnç değerine sahip

(>130ohm.m) kırmızı renkli birimler ise ayrıışmış kaya olarak nitelendirilebilir. Profile 2 ile aynı paralellikte alındığından birbirlerine benzer özellikte birimler ortaya koymuşlardır (Şekil 18).



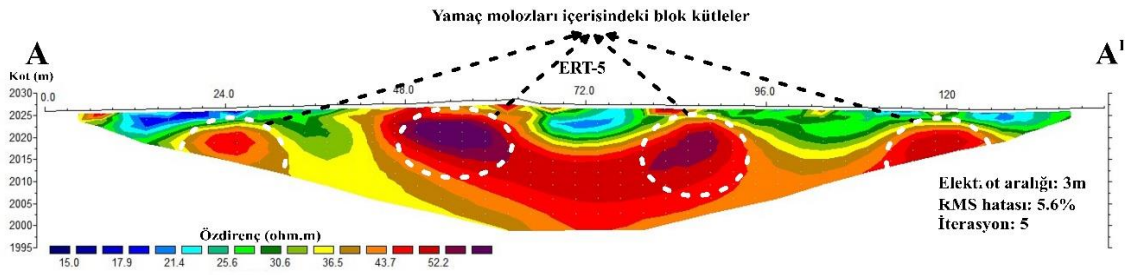
Şekil 18. ERT 3 Kesiti; Profil 3 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti.

ERT 4 hattı lokasyonu Şekil 11’de verilmiştir. ERT kesitinde genel olarak düşük öz dirençli (0-50 ohm.m) birimler mevcuttur. Profil başlangıcından profilin sonuna kadar ve yaklaşık 30m derinliğe kadar uzanmaktadır. Bu birim çakıl, kil ve kum boyutundaki malzemelerden oluşan yamaç molozunu karakterize etmektedir. Düşük öz direnç değerine sahip mavi renk ile gösterilen (5-15 ohm.m) arasında değişen, 80 ile 110 m arasında uzanan birim muhtemel suya doymuş yamaç molozu varlığının göstergesidir. Yüksek öz direnç değerine sahip kırmızı renkli birimler ise Yamaç molozları içindeki blok kütleleri olarak nitelendirilebilir (Şekil 19).



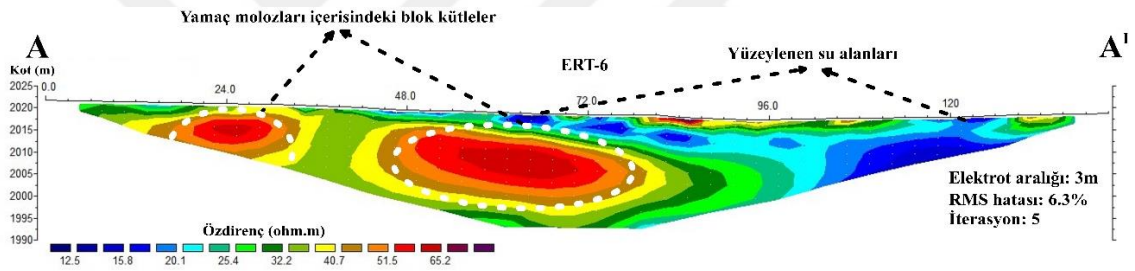
Şekil 19. ERT 4 Kesiti; Profil4 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti

ERT 5 hattı lokasyonu Şekil 11’de verilmiştir. ERT kesitinde genel olarak düşük öz dirençli mavi renk ile gösterilen birimler çakıl, kil ve kumlu malzemeden oluşan yamaç molozunu karakterize etmektedir. Profilin hemen hemen tamamında gözlenen daha yüksek öz direnç değerlerine sahip 10-30m derinliğe kadar uzanan (kırmızı renk ile gösterilen) birimlerin ayrıışmış, kırıklı-çatlaklı yer yer parçalı kumtaşı-kiltaşı araldanmasından oluşan birimleri karakterize ettiği görülmektedir. Yüksek öz direnç değerine sahip kırmızı renkli birimler ise yamaç molozları içindeki blok kütleleri olarak nitelendirilebilir (Şekil 20).



Şekil 20. ERT 5 Kesiti; Profil5 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti

ERT 6 hattı lokasyonu Şekil 11’de verilmiştir. ERT kesitinde yüzeyden derine doğru uzanan düşük öz dirençli (5-15 ohm.m) birimlerin su içeriği yüksek birimleri temsil ettiği görülmektedir (60m-140m arası). Yüzeye yakın yaklaşık 7m derinliğe uzanan birimler yamaç molozundan oluşmaktadır. Sarı-kahverengi renk ile gösterilen birimlerin yamaç molozları içindeki blok kütleleri, kırmızı renkli yüksek öz direnç değerine sahip (kırmızı ile gösterilen) birimler ise ayrılmış kaya olarak nitelendirilebilir (Şekil 21).



Şekil 21. ERT 6 Kesiti; Profil 6 için Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen yer elektrik kesiti

3.3. Mikrotremor Çalışmaları

Çalışma kapsamında yapılan 17 adet “M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17” mikrotremor ölçümleri inceleme alanının tamamını kapsayacak şekilde alınmıştır (Şekil 14). Ölçümler sırasında üç bileşenli GURALP CMG-6TD hızölçer sismometre, 12V 7 Amper akü ve taşınabilir bilgisayar sistemi kullanılmıştır. Ölçümler Scream 4.4 programı ile değerlendirilerek yaklaşık 30 dakikalık üç bileşenli kayıtlar alınmıştır (Düşey (Z), K-G ve D-B). Değerlendirme sonucunda baskın frekans, baskın periyod ve H/V oranları elde edilmiştir (Ek-4). Mikrotremor ölçümlerine ait sonuçlar Tablo 18’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 17 noktadan alınan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen spektrumların birbiri ile uyum içinde olduğu ve yamaç molozu kalınlığının fazla olduğu ve kaya olan ortamlara benzer karakteristik eğri tipleri göstermektedir. Tablo 18’de verilen değerler incelendiğinde elde edilen ortalama periyodun 0.28 sn, bu periyoda ait TA ve TB değerleri sırasıyla 0.19 ve

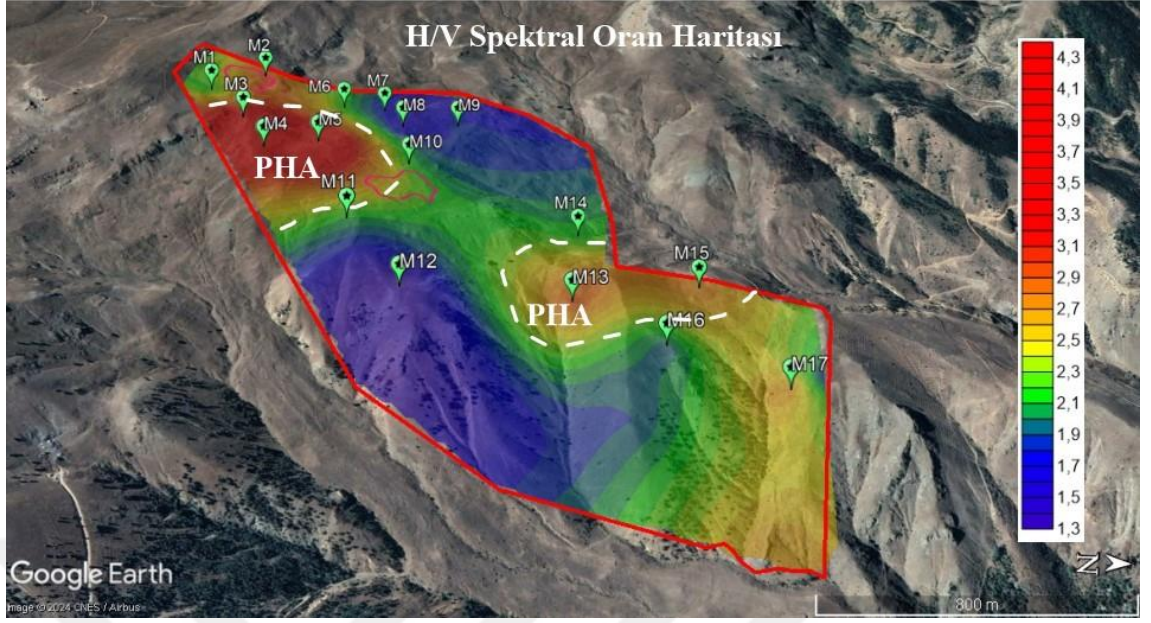
0.42sn olduğu görülmektedir. İnceleme alanına ait H/V oranı değerleri uydu görüntüsü üzerine entegre edilerek Şekil 22’de tüm alanı kapsayacak şekilde verilmiştir.

Tablo 18. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen parametreler

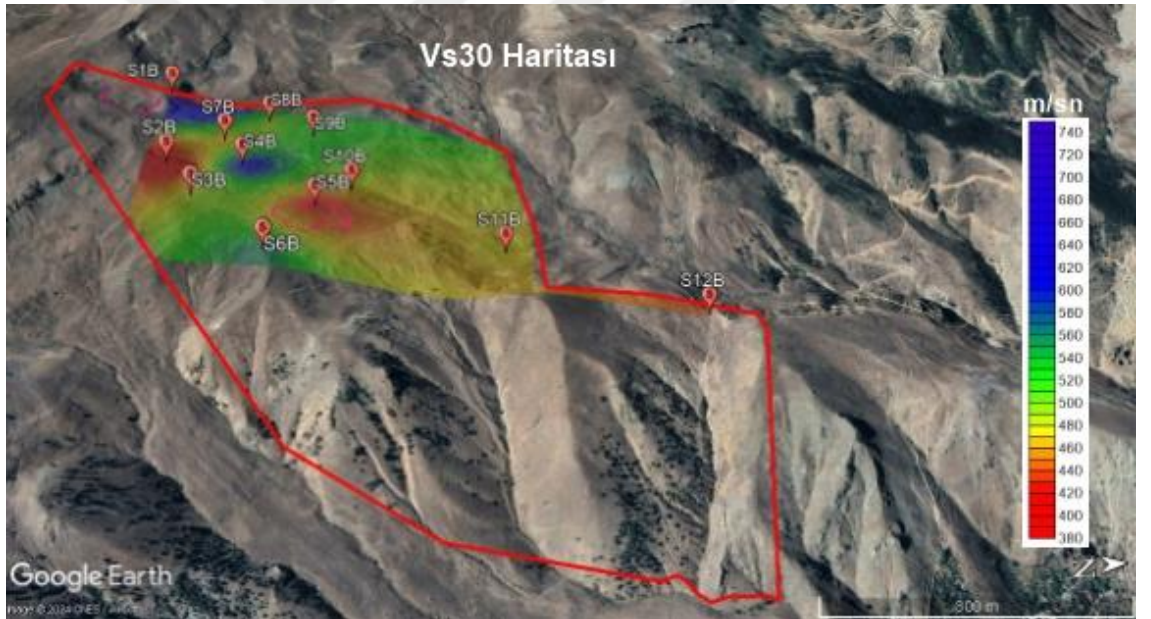
Ölçü No	Frekans (Hz)	Periyod (sn) To	Alt Periyod (Sn) Ta	Üst Periyod (Sn) Tb	Pencere Boyu	Pencere Sayısı	H/V Oranı
Mt-1	4.60	0.22	0.15	0.33	10	182	2.16
Mt-2	2.92	0.34	0.23	0.51	10	180	3.00
Mt-3	4.58	0.22	0.15	0.33	10	184	3.68
Mt-4	4.00	0.25	0.17	0.38	10	182	3.72
Mt-5	1.26	0.79	0.53	1.19	10	176	4.24
Mt-6	4.60	0.22	0.15	0.33	10	180	2.16
Mt-7	3.86	0.26	0.17	0.39	10	167	1.77
Mt-8	5.28	0.19	0.13	0.29	10	173	1.59
Mt-9	5.35	0.19	0.13	0.29	10	176	1.86
Mt-10	1.20	0.83	0.56	1.25	10	38	2.16
Mt-11	3.96	0.25	0.17	0.38	10	160	2.09
Mt-12	6.37	0.16	0.11	0.24	10	135	1.39
Mt-13	4.75	0.21	0.14	0.32	10	45	2.96
Mt-14	4.25	0.24	0.16	0.36	10	128	2.16
Mt-15	8.57	0.12	0.08	0.18	10	180	2.81
Mt-16	7.53	0.13	0.09	0.20	10	182	1.93
Mt-17	5.51	0.18	0.12	0.27	10	182	2.75

İnceleme alanında H/V değerlerinin de bölgedeki hâkim frekans değerleri değişimiyle uyumlu olacak şekilde dağılım göstermiştir. H/V değerlerinin 1.39-4.5 değerleri arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. H/V spektral oran haritasını incelediğimizde büyütme değerlerinin (3-4.5 arasında değişen) M3, M4, M5 ve M13 ölçümlerine yakın kırmızı renk ile konturlanan alanlarda heyelan riskinin fazla olduğu düşünülmektedir. Aynı alanda alınan simik ölçümlerde ise yamaç molozu kalınlığının çok olduğu ve sismik hızların Vs:230-330 m/s Vp:550-850 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 23’de ki Vs30 haritasına baktığımızda bu alanda ortalama hız değerinin 350-450 m/s arasında değiştiği ve zemin büyütme değerlerini incelediğimizde 1,3-1,93 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm bu değerler, H/V spektral oranı haritası, Vs30 haritası ve zemin büyütme haritasındaki değerler benzer sonuçlar vermekte olup heyelan potansiyeli yüksek alanı göstermektedir (PHA: Potansiyel heyelan alan, beyaz kesikli çizgi içerisinde alınan alan, Şekil 22,23,24). PHA alanı; Poisson oranına göre “Gevşek”, Elastite modülüne göre “Zayıf”, Kayma modülüne göre “Az sıkışmış” alanları karakterize ettiği belirlenmiştir. PHA alanına yakın alanına yakın alınan ERT ölçümlerinde ise öz direnç değerlerinin 0-50 ohm. m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu değerlerin yer-yer kil arakatlı, ayrılmış parçalı kumtaşı yamaç molozunu

karakterize etmektedir. ERT yönteminde PHA alanlarında diğer yöntemlerle uyumlu değerler verdiği görülmektedir.



Şekil 22. H/V Spektral Oran Haritası



Şekil 23. İnceleme Alanı Vs30 Haritası



Şekil 24. Zemin Büyütme Haritası

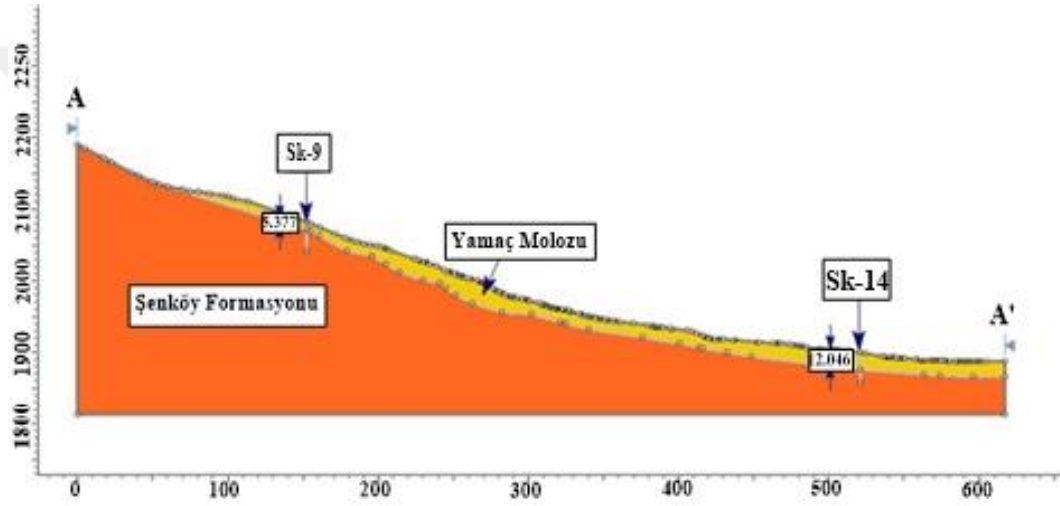
3.4. Limit Denge Analizi ve Değerlendirmesi

İnceleme alanında yapılan saha çalışmaları dikkate alınarak belirlenen kesit hatlarında (AA', BB', CC')(Şekil 13) limit denge analizleri Slide2 (Rocscience, 2022) bilgisayar programında yapılmıştır. Limit Denge (LE) yönteminde, Mohr-Coulomb yenilme kriteri esas alınmıştır. Bu çalışmada kayak güzergâhı olarak planlanan alanda yayılım gösteren yamaç molozu biriminde dört farklı limit denge analiz yöntemi (Bishop, Janbu, Spencer, GLE/Morgenstern-Price) kullanılarak kayak güzergâhının mevcut durumda ve sismik yük etkisindeki durumu değerlendirilmiş ve her bir durum için güvenlik sayıları belirlenmiştir. Analizler Slide2 bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yatay yer ivmesi değeri bölgede beklenen ivme değeriyle uyumlu olacak şekilde $a_y \cong 0.19g$ alınmıştır (Türkiye Deprem Tehlike Haritası, 2018).

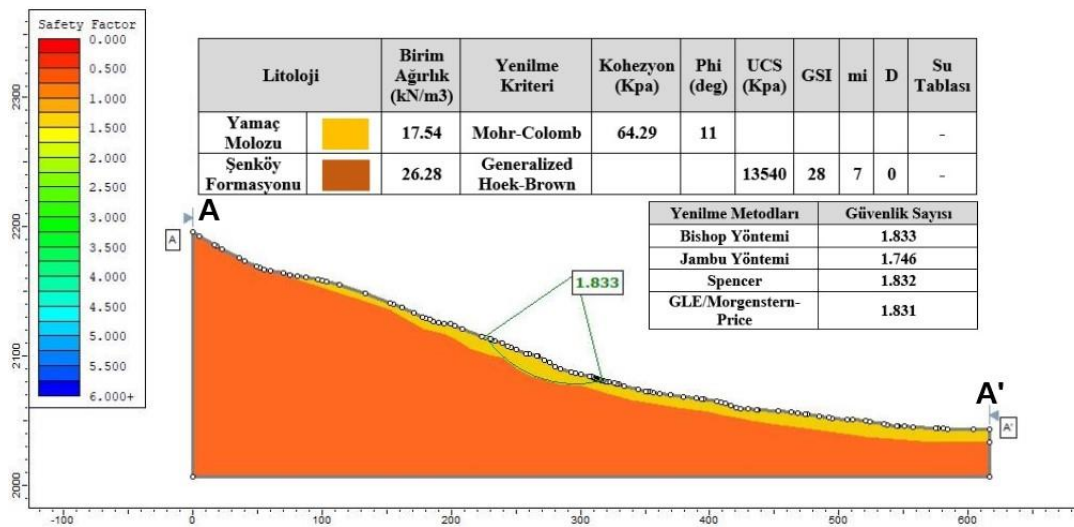
İnceleme alanında yamaç molozlarından oluşan bölgelerde AA', BB' ve CC' nolu kesit hatları öncelikle doğal durumda analiz edilmiş ve daha sonra bölgenin depremselliği dikkate alınarak sismik yük etkisinde değerlendirilmiştir. İnceleme alanı AA' kesiti, doğal durumda ve sismik yük altında derlendirilmesi sırasıyla Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27'da verilmiştir. İnceleme alanı BB' kesiti, BB' kesiti doğal durumda ve sismik yük altında derlendirilmesi sırasıyla Şekil 28, Şekil 29 ve Şekil 30'da verilmiştir. İnceleme alanı CC' kesiti, CC' kesiti doğal durumda ve sismik yük altında derlendirilmesi sırasıyla Şekil 31, Şekil 32 ve Şekil 33'de verilmiştir.

Kesit hatlarında yapılan limit denge analizleri değerlendirildiğinde doğal ve sismik yük etkisinde şevlerin duraylı olduğu, kesit hatlarının limit denge analizi sonucunda elde edilen güvenlik sayılarının limit denge koşulu olan 1'den büyük

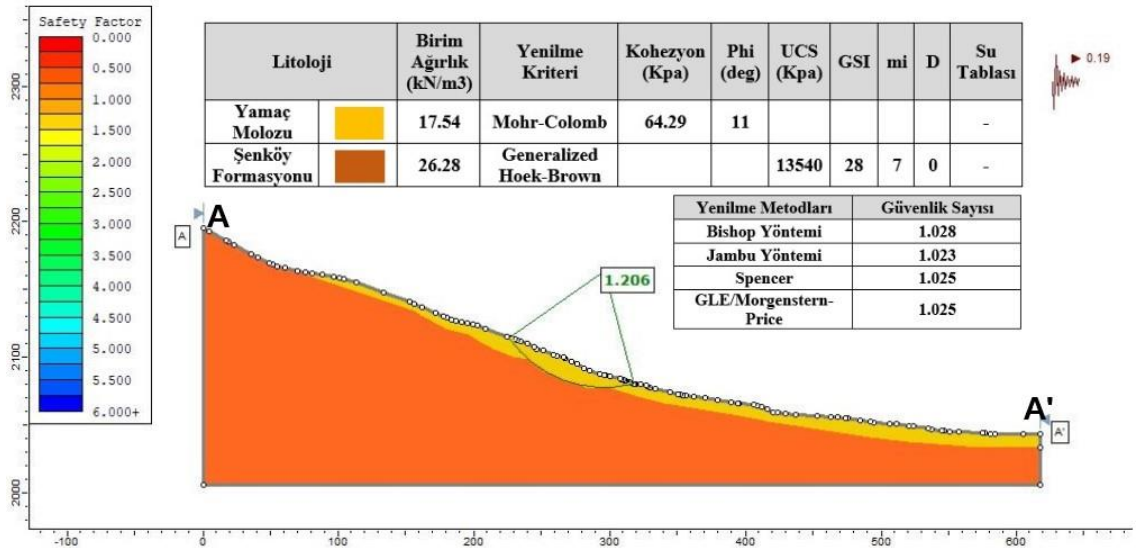
olmasıdır. İncelenen kesit hatlarından AA' nolu kesit doğal durumda güvenlik sayısı değeri $F_{sa}=1.74-1.83$, sismik yük etkisi altında ise $F_{sa}=1.15-1.21$ arasında değişim göstermektedir. BB' nolu kesit doğal durumda güvenlik sayısı değeri $F_{sb}=1.90-2.02$, sismik yük etkisi altında ise $F_{sb}=1.30-1.41$ arasında değişim göstermektedir. CC' nolu kesit doğal durumda güvenlik sayısı değeri $F_{sc}=1.35-1.36$, sismik yük etkisi altında ise $F_{sc}=1.02-1.03$ arasında değişim göstermektedir. Kesit hatlarının analizinden elde edilen güvenlik sayıları incelendiğinde limit denge koşullarının üstünde değerler alması planlanan kayak güzergâhının yamaç duraylılığı açısından uygun olduğunu göstermektedir. Sahada gözlemlenen zemin açılmalarının ve lokal yüzeysel akımların önlenmesi için pist güzergâhının en üst kotundan drenaj ağlarını toplayıp, kayak pistinin içerisine suyun yüzeysel akışını kesecek kafa hendeği ve üst drenaj ağı planlanmalıdır.



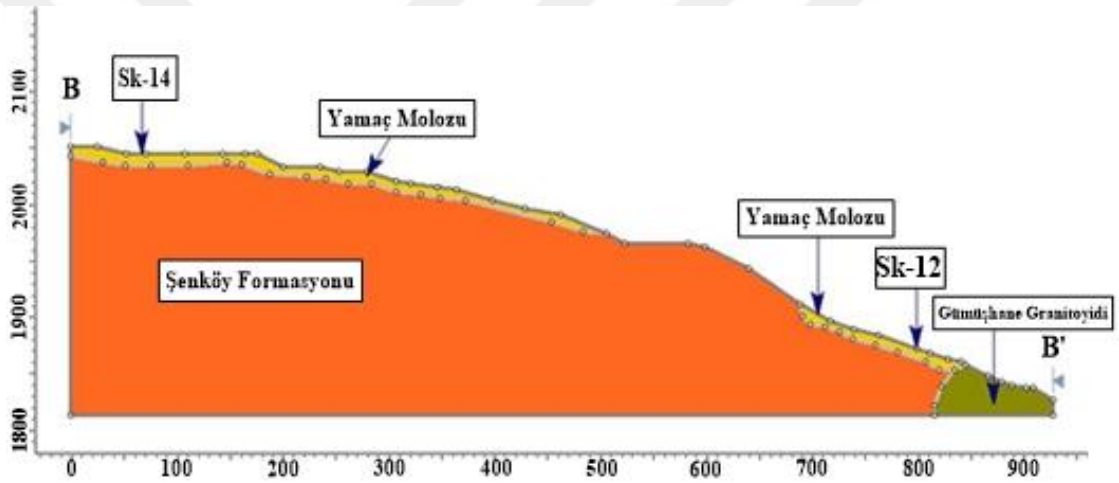
Şekil 25. İnceleme alanı AA' nolu kesit hattı



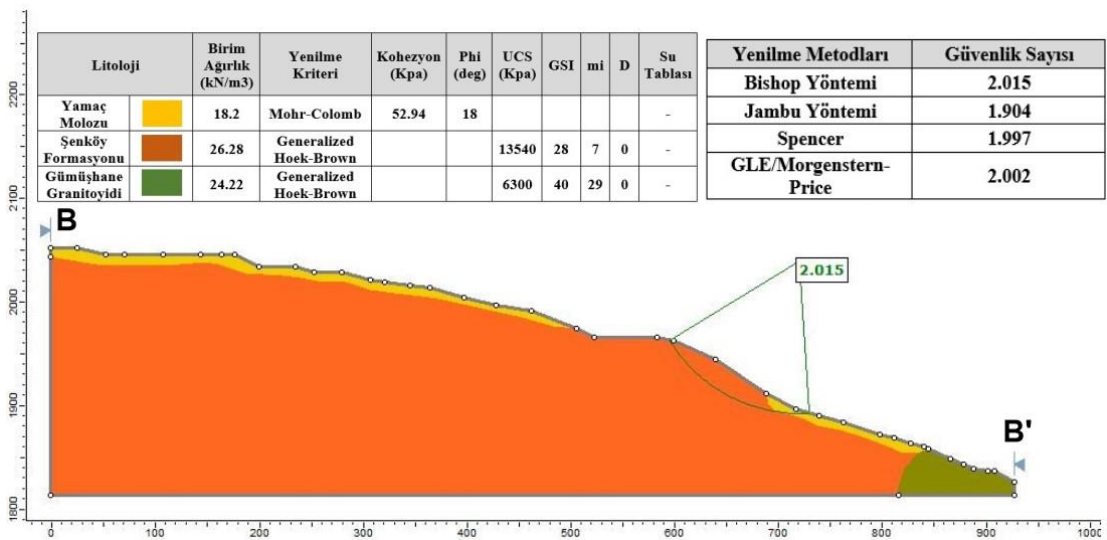
Şekil 26. İnceleme alanı AA' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi



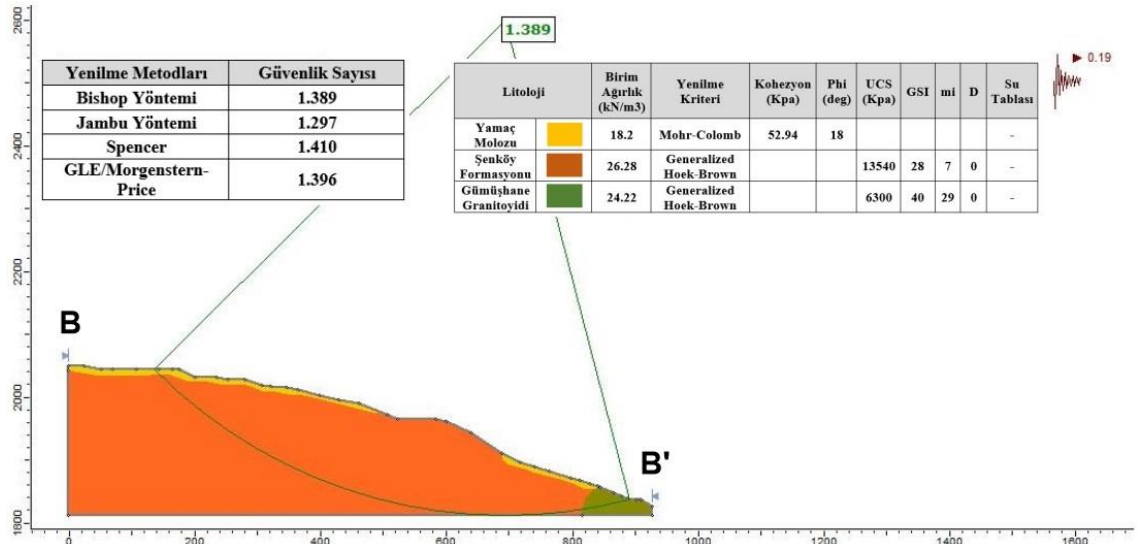
Şekil 27. İnceleme alanı AA' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi (Sismik yüklü)



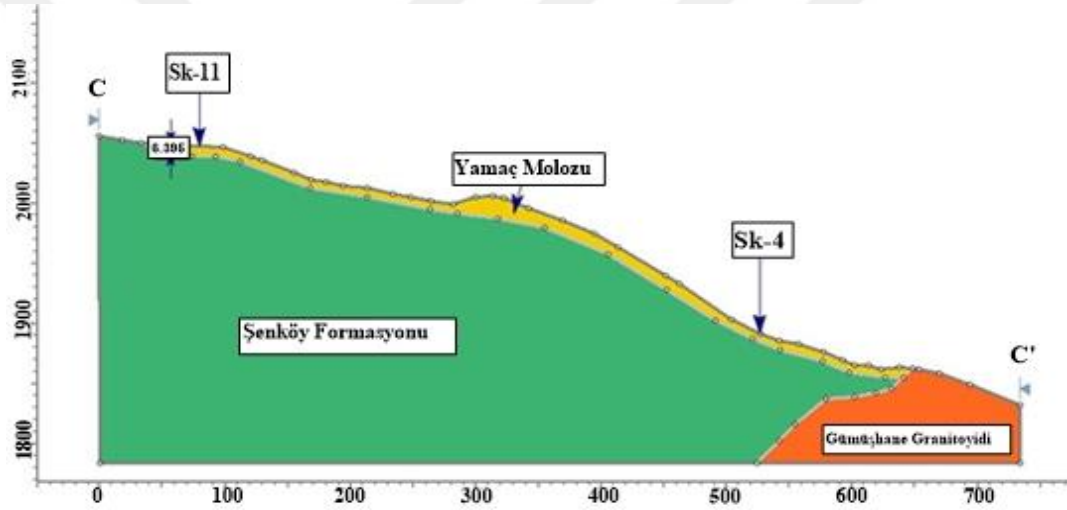
Şekil 28. İnceleme alanı BB' nolu kesit hattı



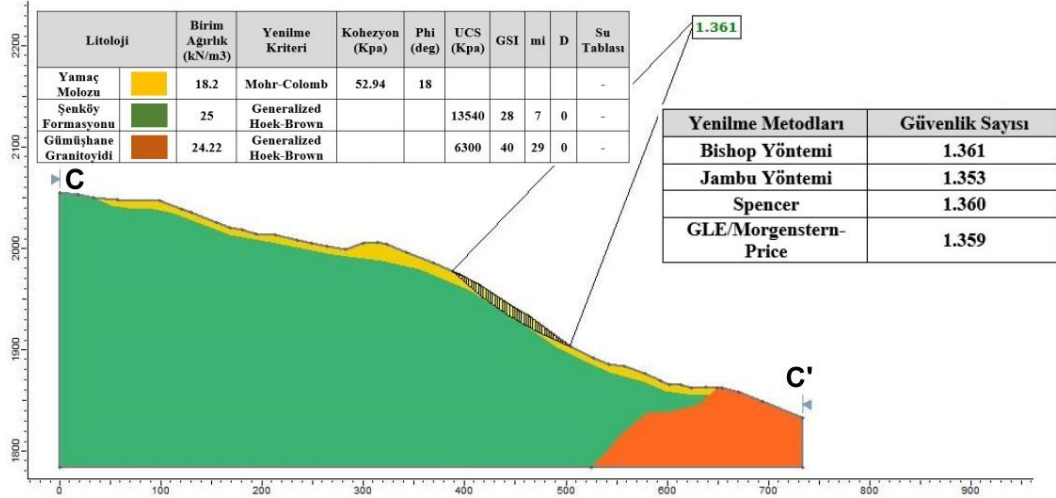
Şekil 29. İnceleme alanı BB' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi



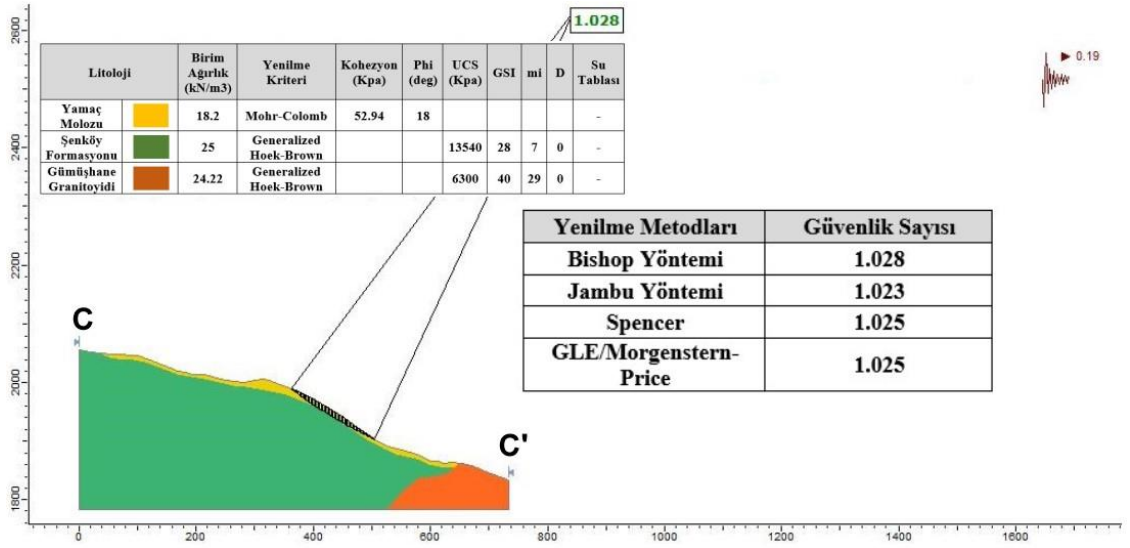
Şekil 30. İnceleme alanı BB' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi (Sismik yüklü)



Şekil 31. İnceleme alanı CC' nolu kesit hattı



Şekil 32. İnceleme alanı CC' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi



Şekil 33. İnceleme alanı CC' nolu kesit hattında yapılan limit denge analizi (Sismik yüklü)

4. SONUÇLAR

Gümüşhane ili Süleymaniye yerleşkesinde yapılması planlanan Kış sporları merkezinin heyelan duraylılığının belirlenmesine yönelik yerinde yapılan jeofizik ve jeolojik ölçümler ve deneylerle incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

➤ İnceleme alanında jeofizik ölçümler içerisinde 12 adet masw-kırılma, 17 adet mikrotremör ve 6 adet elektrik rezistivite tomografi (ERT) ölçümü gerçekleştirilmiştir. Kayma dalgası hızları dikkate alınarak; 18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğüne giren “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” tablosunda yer alan zemin sınıfa göre yamaç molozu birimi, Alibaba Formasyonu, Şenköy Şenköy Formasyonu ve Gümüşhane Granitoidine ait birimler; MASW ölçümleri sonucu elde edilen bilgiler ışığında Vs30m ortalama hızı değişimlerine göre hızların 397-729 m/s olduğu zemin cinsinin ZC “Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar” grubunda yer aldığı saptanmıştır. Heyelan riski tespit edilen alanlarda hız değerlerinin 230 – 450 m/s arasında değiştiği tespit edilmiştir.

➤ Mikrotremör sonuçlarında elde edilen spektrumların birbiri ile uyum içinde olduğu ve yamaç molozu ve kaya kalınlığının fazla olduğu ortamlarda gözlenen karakteristik bir eğri tipi gösterdiği görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde elde edilen ortalama periyodun **0.28 sn**, bu periyoda ait TA ve TB değerleri sırasıyla **0.19** ve **0.42 sn** olduğu görülmektedir. Bu değerler Türk Deprem yönetmeliğine göre Z2 ve Z3 zemin sınıflarını ifade etmekle birlikte, arazinin genel jeolojik durumu göz önüne alındığında çalışılan alanın zemin sınıfı ağırlıklı olarak Z2 zemin sınıfını ifade ettiği görülmüştür. Heyelan riski tespit edilen alanlarda periyot ve H/V değerlerinin 3.00 – 4.50 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

➤ ERT kesitleri incelendiğinde, çalışma alanında belirlenen fosil heyelan alanlarında düşük öz direnç değerlerine sahip (0-50 ohm.m arasında değişen) birimler geçilmiştir. Bu birimler yer-yer kil arakatlı, ayrılmış parçalı kumtaşı yamaç molozlarını karakterize edip heyelan durumu olarak riskli alanları teşkil ettiği düşünülmektedir.

➤ Yapılan jeolojik çalışmalar ve deneyler sonucunda; sondaj noktaları ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numune üzerinde zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen verilere göre zeminler yaygın olarak CL (düşük plastisiteli kil), yer yer de SC (Killi kum), ML (silt), CH (yüksek plastisiteli kil) özellikleri gösterdiği görülmüştür.

➤ İnceleme alanı ile kesişen MTA aktif heyelan alanlarının yayılım gösterdiği yamaç molozları özellikle 0.5m-5m derinliğinde düşük plastisiteli kil özelliğinde olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanında yamaç molozlarından oluşan bölgelerde AA', BB' ve CC' nolu kesit hatları öncelikle doğal durumda analiz edilmiş ve daha sonra bölgenin depremselliği dikkate alınarak sismik yük etkisinde yeniden analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. İncelenen kesit hatlarından AA' nolu kesit doğal durumda güvenlik sayısı değeri $F_{sa}=1.74-1.83$, sismik yük etkisi altında ise $F_{sa}=1.15-1.21$ arasında değişim göstermektedir. BB' nolu kesit doğal durumda güvenlik sayısı değeri $F_{sb}=1.90-2.02$, sismik yük etkisi altında ise $F_{sb}=1.30-1.41$ arasında değişim göstermektedir. CC' nolu kesit doğal durumda güvenlik sayısı değeri $F_{sc}=1.35-1.36$, sismik yük etkisi altında ise $F_{sc}=1.02-1.03$ arasında değişim göstermektedir. Kesit hatlarının analizinden elde edilen güvenlik sayıları incelendiğinde limit denge koşullarının üstünde değerler alması planlanan kayak güzergâhının yamaç duraylılığı açısından uygun olduğunu göstermektedir.

➤ Sahada gözlemlenen zemin açılmalarının ve lokal yüzeysel akımların önlenmesi için pist güzergâhının en üst kotundan drenaj ağlarını toplayıp, kayak pistinin içerisine suyun yüzeysel akışını kesecek kafa hendeği ve üst drenaj ağı planlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- ASTM D2487-98, (1998). “Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purpose (Unified Soil Classification System)”. Annual Book of ASTM Standards.
- Akkaya, İ. (2020). Jeofizik verilerinden elde edilen sismik zayıflık indisinin yapı hasar dağılımının belirlenmesinde kullanılabilirliği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1711-1723.
- Aki, K. ve Richards, P.G. (2002). Quantitative Seismology, University Science Books, Sausalito, California, 685s.
- AL-Saigh, N. H ve AL-Dabbagh, H. (2010). Identification of Landslide Slip-surface and its Shear Strength: A New Application for Shallow Seismic Refraction Method. *Journal Geological Society of India*, 76, 175-180.
- Al-Sadi, H., (1982). Seismic Exploration, 215, Birkhauser Verlag, Stuttgart.
- Arndt, R., Römer, A., Sendlhofer, G. ve Restner, U. (2000). Geophysical Reconnaissance Methods for Landslides in Softrocks. Internationales Symposion Interpraevent, Villach / Österreich, 191-201.
- Aster, RC., Borchers, B. ve Thurber, CH. (2005). Parameter Estimation And Inverse Problems. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Azwin, I.N., Saad, R. ve Nordiana, M. (2013). Applying the Seismic Refraction Tomography for Site Characterization, APCBEE Procedia, 5, 227-231.
- Beker, Y. (2013). Karadeniz Teknik Üniversitesi Yerleşkesinde Mikrotremor Yöntemi İle Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi. Yayımlanmamış doktora tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.
- Biryaltseva, T., Lunne, T., Kreiter, S.ve Morz, T. (2016). Relative density prediction based on in-situ and laboratory measurements of shear wave velocity. In: 5th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation (ISC'5), *GoldCoast*, Australia, pp. 389–394.
- Bogoslovsky, V. A. ve Ogilvy, A. A. (1977). Geophysical methods for the investigation of landslides, *Geophysics*, v. 42, n. 3, p. 562-571.
- Bour, M., Foussiac, D., Dominique, P. ve Martin, C. (1998). On The Use Of Microtremor Recordings In Seismic microzonation, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, (17). 465-474
- Cai, G., Liu, S. ve Tong, L. (2010). Field evaluation of deformation characteristics of a lacustrine clay deposit using seismic piezocone tests. *Eng. Geol.* 116, 251–260.
- Cai, G., Puppala, A.J. ve Liu, S. (2014). Characterization on the correlation between

- shear wave velocity and piezocone tip resistance of Jiangsu clays. *Engineering Geology* (Elsevier) 171, 96–103.
- Caris, J.P.T. ve Van Asch, T.W.J. (1991). Geophysical, geotechnical and hydrological investigations of a small landslide in the French Alps. *Engineering Geology*, 31(3–4): 249–276.
- Crawford, B., Kasmidi, M., Korompis, F. ve Pollnac, R.B. (2018). Factors influencing progress in establishing community-based marine protected areas in Indonesia. *Coastal Management*, 34(1), pp.39-64.
- Colangelo, G. Ve Perrone, A. (2012). Geoelectrical Tomography as an Operative Tool for Emergency Management of Landslide: An Application in Basilicata Region, Italy. *International Journal of Geophysics* Article ID 593268, 5 pages.
- Dağ, S., Bulut, F. ve Akgün, A. (2006). İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelanların değerlendirilmesi. 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 84.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S. ve Kaya, A. (2011). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem Ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 151-176.
- Dardé, J., Hyvönen N., Seppänen A., ve Staboulis S. (2013). Simultaneous reconstruction of outer boundary shape and admittivity distribution in electrical impedance tomography. *SIAM J Image Sci* 6:176–198.
- Dostál, I., Putiška, R. ve Kušnirák, D. (2014). Determination of shear surface of landslides using electrical resistivity tomography. *Contrib Geophys Geodesy* 44(2):133–147.
- Ekinci, Y. L., Türkeş, M., Demirci, A. ve Erginal, A. E. (2013). Shallow and deep-seated regolith slides on deforested slopes in Çanakkale, NW Turkey. *Geomorphology*, 201, 70-79.
- Ercan, A. (2001). Kıran (Afet) Bölgelerinde Yer Araştırma Yöntemleri: Bilgiler ve Kurallar, TMMOB JFMO Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları.
- Ergüvanlı, K. ve Tarhan, F. (1982). Mühendislik Jeolojisi, İ.T.Ü. Yayını, 590, İstanbul.
- Fraseri, A., Kapllani, L. ve Dhima, F. (1998). Geophysical Landslide Investigation and Prediction in the Hydrotechnical Works. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 1(3), 38-43.
- Friedel, S, Thielen, A. ve Springman, SM. (2006). Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical

- testing. J Appl Geophys 60:100–114. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.01.001>
- Gardner, G.H.F., Gardner, L.W ve Gregory, A.R. (1974) Formation Velocity and Density the Diagnostic Basics for stratigraphic traps, *Geophysics*, 39, 770-780
- Gallipoli, M., Lapenna V., Lorenzo P., Muccarelli M., Perrone A., Piscitelli S. ve Sdao F. (2000). Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 4, 117-128.
- Gelişli, K. (2018). Jeofizik Yöntemlerle Heyelan Araştırmaları. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*. Cilt 17, (2). s. 115-126.
- Guo, C., Yang, Z., Wu, X., Tan, T. ve Zhao, K. (2019). Application of an Adaptive Multi-Population Parallel Genetic Algorithm with Constraints in Electromagnetic Tomography with Incomplete Projections. *Applied Science*, 9, 2611.
- Güven, İ.H. (1993). Doğu Pontidlerin 1/25 000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, *MTA Dergisi Yayınları*, Ankara.
- Gürbüz, M., Koç N. ve Hamzaçebi G. (2005). Jeofiziksel Yaklaşımlarla Heyelan Yapısının Araştırılması. Kocaeli Deprem Sempozyumu, 1154-1156.
- Gutierrez, M., Nygard, R., Hoeg, K. ve Berre, T. (2008). Normalized undrained shear strength of clay shales. *Eng. Geol.* 99, 31–39.
- Gurler, E.D., Nakamura Y., Saita J. ve Sato T. (2000). Local site effect of Mexico City based on microtremor measurement. 6th International Conference on Seismic Zonation. Palm Spring Riviera Resort, California, USA. p. 65
- Göktürkler, G., Balkaya, Ç. ve Erhan, Z. (2008). Geophysical Investigation of landslide: The Altındağ landslide site, İzmir (western Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 65, 84-96.
- Gylland, A., Long, M., Emdal, A. ve Sandven, R. (2013). Characterisation and engineering properties of Tiller clay. *Engineering Geology (Elsevier)* 164, 86–100.
- Hibert, C., Grandjean, G., Bitri, A., Travelletti, J., ve Malet, J. (2012) Characterizing landslides through geophysical data fusion: Example of the La Valette landslide (France). *Eng. Geol.* 128, 23–29.
- Holec, J., Bednarik M., Sabo M., Minar J., Yilmaz, I. ve Marschalko M. (2013). A small-scale landslide susceptibility assessment for the territory of Western Carpathians. *Nat Hazard* 69:1081–1107.
- Imani, P. (2020). Landslide investigations and monitoring by Electrical Resistivity and

- Seismic Refraction Tomography in a case study, PhD thesis, In School of Earth Sciences (Zhejiang University), p. 153.
- Imani, P., Tian, G., Hadiloo, S., ve El-Raouf, A.A. (2021). Application of combined electrical resistivity tomography (ERT) and seismic refraction tomography (SRT) methods to investigate Xiaoshan District landslide site: Hangzhou, China, *J. Appl. Geophys.*, 184, 104236
- Innocenti, A., Rosi, A., Tofani, V., Pazzi, V., Gargini, E., Masi, E.B., Segoni, S., Bertolo, D., Paganone, M. ve Casagli, N. (2023). Geophysical Surveys for Geotechnical Model Reconstruction and Slope Stability Modelling. *Remote Sensing*, 15(8), p.2159.
- Jongmans, D., Bièvre, G., Renalier, F., Schwartz, S., Beaurez, N. ve Orengo, Y. (2009). Geophysical investigation of a large landslide in glaciolacustrine clays in the Trièves area (French Alps). *Eng. Geol.* 109, 45–56.
- Jongmans, D. ve Garambois, S. (2007). Geophysical investigation of landslides: a review. *Bull Soc France* 178(2):101–112
- Jung Y.H., Finno, R.J. ve Cho, W. (2012). Stress-strain responses of reconstituted and natural compressible Chicago glacial clay. *Eng. Geol.* 129–130, 9–19.
- Kaminskiy, A.E. (2013). Program of two-dimensional seismotomography data processing and interpretation, User's Manual, In ZondST2D softw, version 4 (Saint-Petersburg.)
- Kandemir, R. (2004). Sedimentary characteristics and accumulation condition of Early-Middle Jurassic aged Şenköy Formation nearby Gümüşhane. Karadeniz Tech. Univ. PhD Thesis, Trabzon (unpublished), 1-274
- Kassab, M.A. ve Weller A. (2015). Study on P-wave and S-wave velocity in dry and wet sandstones of Tushka region, Egypt, *Egyptian J. Pet.*, 24, 1-11.
- Kayabalı, K. (2002). Modeling of seismic hazard for Turkey using the recent neotectonic data. *Engineering Geology*, 63, 221-232.
- Ketin, İ. (1966). Anadolunun tektonik üniteleri M.T.A yayınları, Ankara
- Keçeli, A. (1990). Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, *Jeofizik Dergisi*, 2, 83-92.
- Kılıç, A. (2006). Senirkent Heyelan Alanının Rezistivite ve Sismik Yöntemlerle Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Isparta.
- Kıds Fun Science,(2013). S Waves And P Waves, <https://www.kids-fun-science.com/s-waves.html> 10.01.2024

- Kneisel, C. ve Hauck, C. (2008). Electrical method. In: Hauck C, Kneisel C (eds) Applied geophysics in periglacial environments. Cambridge University Press, Cambridge, pp 3–27
- Kuran, U. (1976). Yer Altı Suyundan Maksimum Verim Elde Edilebilecek Sahanın Jeofizik Çalışmalarla Saptanması ve Bunların Mühendislik Problemlerin Çözümündeki Önemi, *Jeofizik Mecmuası*, Türkiye Jeofizikçiler yayını, No:6.
- Kul Yahşi, B. ve Ersoy, H. (2018). Site characterization and evaluation of the stability of the Yesilyurt Landslide (Trabzon, NE Turkey) using back analysis method. *Journal of Geophysics and Engineering*, 15(3), 927-937.
- Loke, M. (2014). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Malaysia
- Loke, M. (2000). Topographic modelling in electrical imaging inversion. In: 62nd EAGE conference and technical exhibition: Glasgow, Scotland, 29 May–2 June 2000, Extended Abstracts, D-2
- Loke, M. (2014). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Malaysia
- Loke, M. ve Dahlin T. (2002). A comparison of the Gauss- Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *J Appl Geophys* 49:149–162. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(01\)00106-9](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(01)00106-9)
- Loke, M.H. (2017). Rapid 3-D resistivity & IP inversion using the leastsquares method. Geotomo software, Penang Malaysia
- Loke, M.H. (2011). Electrical resistivity surveys and data interpretation. In: Gupta H.K. (Ed), Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer, Dordrecht, pp. 276-283.
- Lorenzo, J.M., Hicks, J. ve Vera, E.E. (2014). Integrated seismic and cone penetration test observations at a distressed earthen levee: Marrero, Louisiana, U.S.a. *Eng. Geol.* 168,59–68.
- Marquardt, D. (1970). Generalized inverse, ridge regression, biased linear estimation and nonlinear regression. *Technometrics* 12:591–613.
- McMechan, G. A. ve Yedlin, M. J. (1981). Analysis of dispersive waves by wave field transformation, *Geophysics*, 46, 869–874.
- McCann, F. (1990). Reconnaissance geophysical methods in landslide investigations 59-78, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Railway Technical Research Institute,

- Quarterly Reports, 30(1).
- Nakamura, Y. (1997). Seismic Vulnerability indices for ground and structure using microtremor. World Congress on Railway Research, Florence, Italy. November
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application. World Conference of Earthquake Engineering.
- Nakamura, Y. (2008). On the H/V spectrum. Paper presented at the 14 th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China
- Omar, M.N., Abbiss, C.P., Taha, M.R. ve Nayan, K.A.M. (2011). Prediction of long-term settlement on soft clay using shear wave velocity and damping characteristics. *Eng. Geol.* 123, 259–270.
- Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J. (1998). Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record, Technical Program with Biographies, *SEG*, 68th Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, 1377-1380.
- Pasierb, B. (2012). Resistivity tomography in prospecting geological surface and anthropogenic objects. *Techn Trans Environ Eng* 23-Ş:201–209
- Pasierb, B. (2015). Numerical Evaluation 2D electrical resistivity tomography for investigations of subsoil. *Techn Trans Environ Eng* 2-Ş:101–113. <https://doi.org/10.4467/2353737XCT.15.230.4616>
- Panek, T., Hradecky, J. ve Silhan, K. (2008). Application of electrical resistivity tomography (ERT) in the study of various types of slope deformations in anisotropic bedrock: case studies from the Flysch Carpathians. *Studia Geomorphol Carpatho-Balcanica* 42:57–73
- Perrone, A., Lapenna, V. Ve Piscitelli, S. (2014). Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: a review. *Earth-Sci Rev* 135:65–82. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.07.01>
- Ravindran, A., ve Ramanujam, N. (2012). Palaeoscars and Landslide Prediction using 2D ERI Techniques in Ooty Area, Nilgiri District, Tamilnadu. *Archives of Applied Science Research*, 4(1), 262-268.
- Sass, O., Bell, R., ve Glade T. (2008). Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany). *Geomorphology* 93: 89- 103.
- Sarı, M., Seren, A. ve Alemdag, S., (2020). Determination of geological structures by geophysical and geotechnical techniques in Kırklartepe Dam Site (Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 182, 104174.
- Sarı, M. (2023). Evaluation of stability in rock-fill dams by numerical analysis methods:

- a case study (Gümüşhane-Midi Dam, Türkiye). *Baltica*.
- Schneider, J.A., Mayne, P.W. ve Rix, G.J. (2001). Geotechnical site characterization in the greater Memphis area using cone penetration tests. *Eng. Geol.* 62, 169–184.
- Soeters, R.S. ve Van Westen, C.J. (1996). Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In *Landslides: Investigation and Mitigation* A.K. Turner and R.L. Schuster (eds.). Transportation Research Board, National Research Council, Special Report-247, National Academy Press, Washington DC, 129-177.
- Solberg, I.L., Long, M., Baranwal, V.C., Gylland, A.S. ve Ronning, J.S. (2016). Geophysical and geotechnical studies of geology and sediment properties at a quick-clay landslidesite at Esp, Trondheim, Norway. *Engineering Geology* (Elsevier) 208, 214–230.
- Toksöz, M.N. ve Lacoss, R.T. (1968). Microseisms: mode structure and sources. *Science* 159 (3817), 872–873.
- Tokimatsu, K. (1995). Geotechnical site characterization using surface waves. In *Proc. 1st Intl. Conf. Earthquake Geotechnical Engineering*, Ishihara (ed), Balkema. 1333-1368
- Tomecka-Suchoń, S., Żogała, B., Gołębiowski, T., Dzik, G., Dzik T. ve Jochymczyk, K. (2017). Application of electrical and electromagnetic methods to study sedimentary covers in high mountain areas. *Acta Geophys* 65:743–755.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Ulusoy, İ., Artuner, H. ve Aydar, E. (2012). Dağıtılmış Anahtarlamalı Özdirenç Görüntüleme Sistemi. *Yerbilimleri*, 33(3), 141-168.
- Wang, W., Xie, B., Pan, K., Wang, J. ve Feng, B. (2010). Electromagnetic imaging of heterogeneous media based on the accelerated differential evolution algorithm. *Progress in Geophysics*, 25(6), 2002-2008.
- Xia, J., Miller, R. D., Park, C. B., Hunter, J. A., Harris, J. B. ve Ivanov, J. (2002). Comparing Shear-Wave Velocity Profiles Inverted from Multichannel Surface Wave with Borehole Measurements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 181-190.
- Xia, J., Miller, R.D. ve Park, C.B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave, *Geophysics*, 64, 691-700.
- Xu, D., X.-Y. Hu, C.-L. Shan ve Li R.H. (2016). Landslide monitoring in southwestern China via time-lapse electrical resistivity tomography, *Appl. Geophysics.*, 13, 1-12.

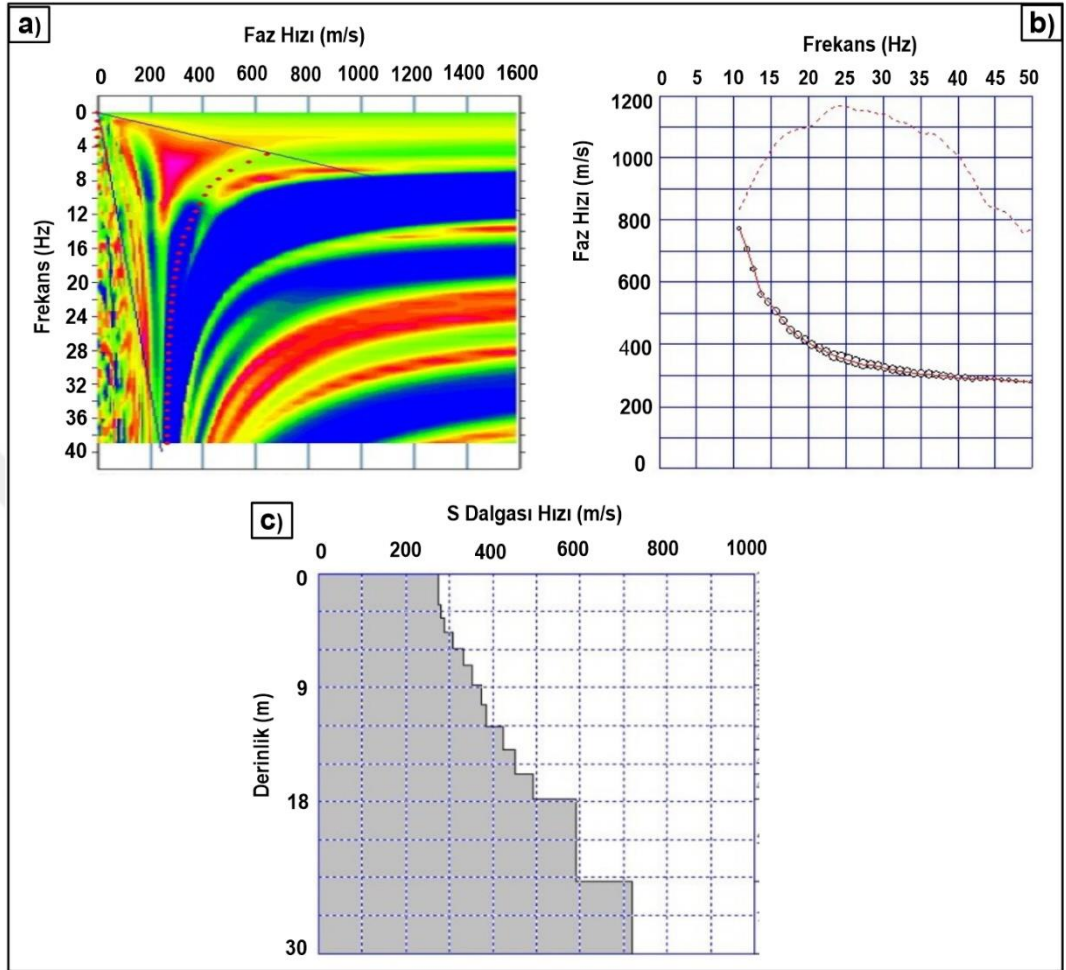
- Yalcin, A. (2007). The effects of clay on landslides: A case study, *Appl. Clay Sci.*, 38, 77-85.
- Yılmaz, H. R. (1987). Zemin geoteknik parametrelerinin değişkenliği, istatistiksel özellikleri ve İzmir iç körfezi kuzey kıyıları zeminleri üzerine uygulamalar. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yong, A., Thompson, E.M., Wald, D., Knudsen, K.L., Odum, J.K., Stephenson, W.J. ve Haefner, S. (2016). Compilation of V_{s30} Data for the United States: U.S. Geological Survey Data Series 978, 8 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ds978>.



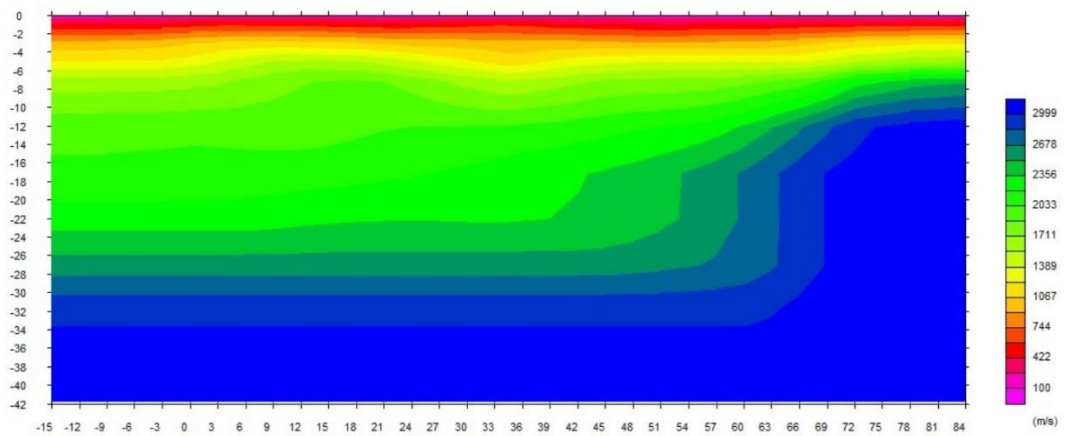
EKLER

EK 1. Jeofizik Ekler

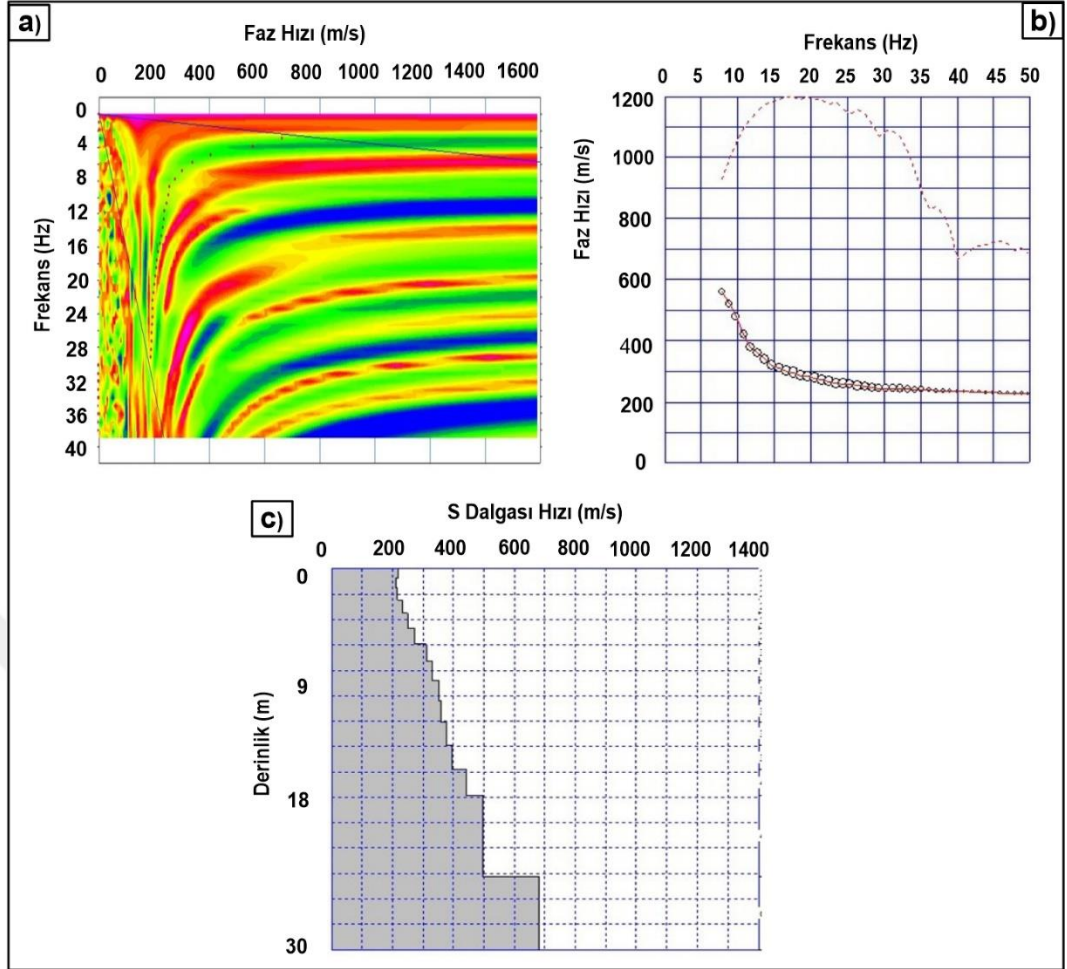
- a) Sis-1 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi



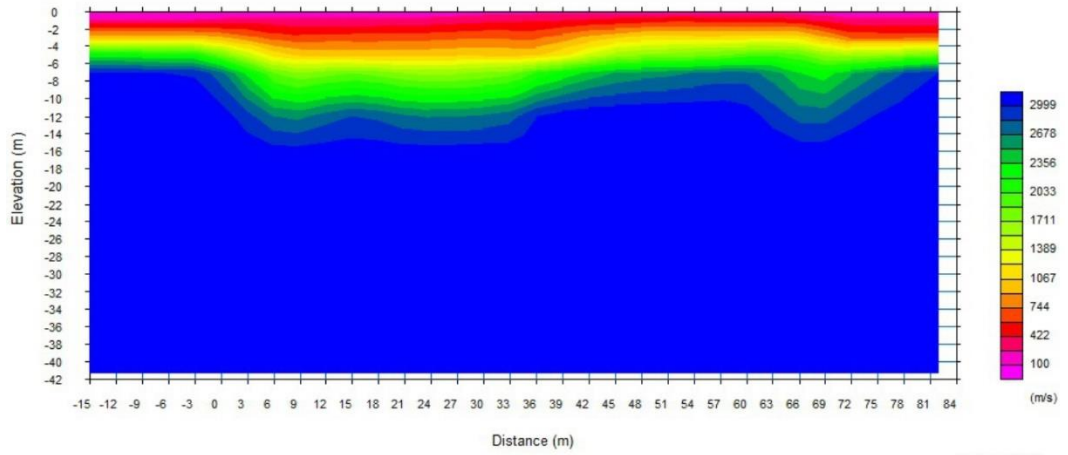
Sis-1 hattına ait 2B SKT kesiti



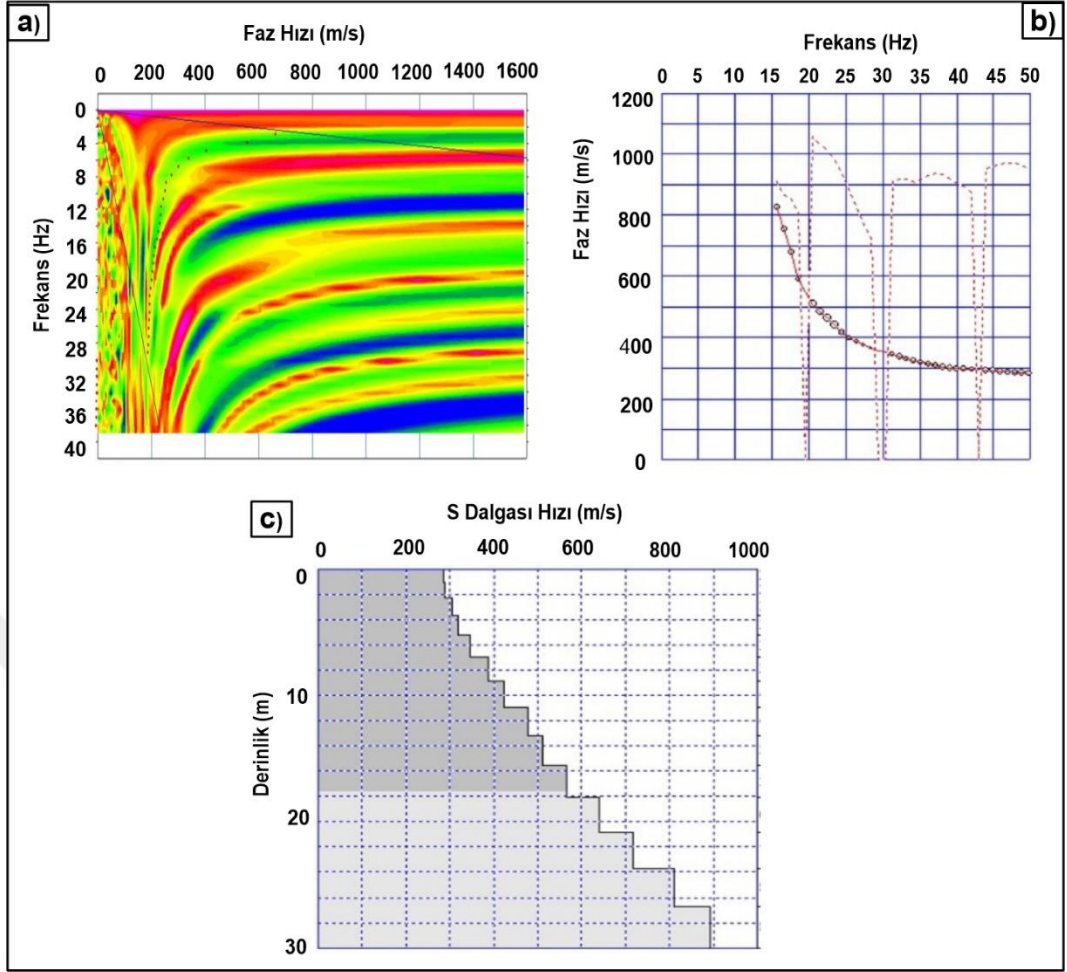
a) Sis-2 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi



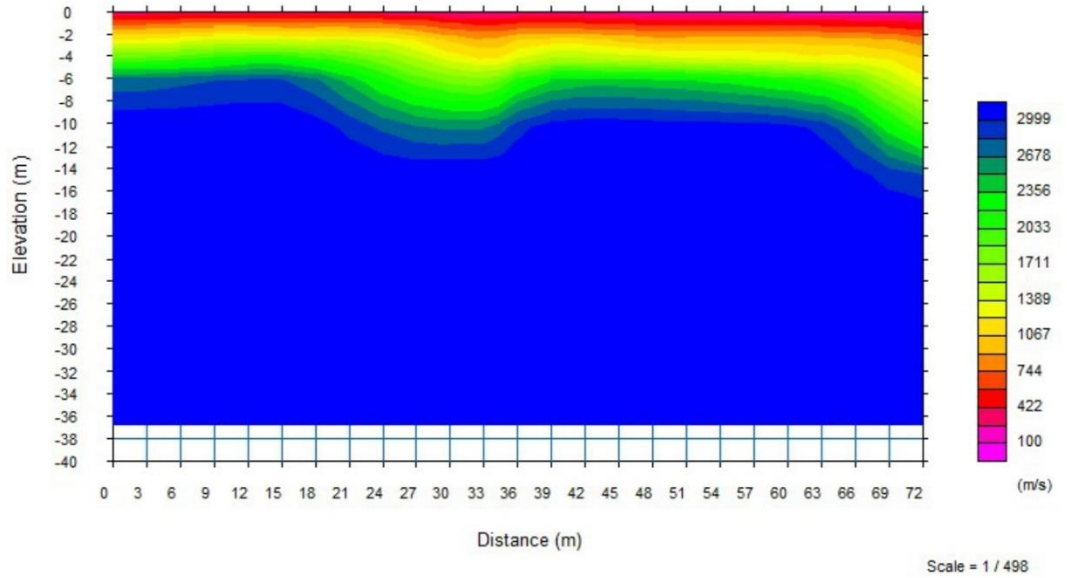
Sis-2 hattına ait 2B SKT kesiti



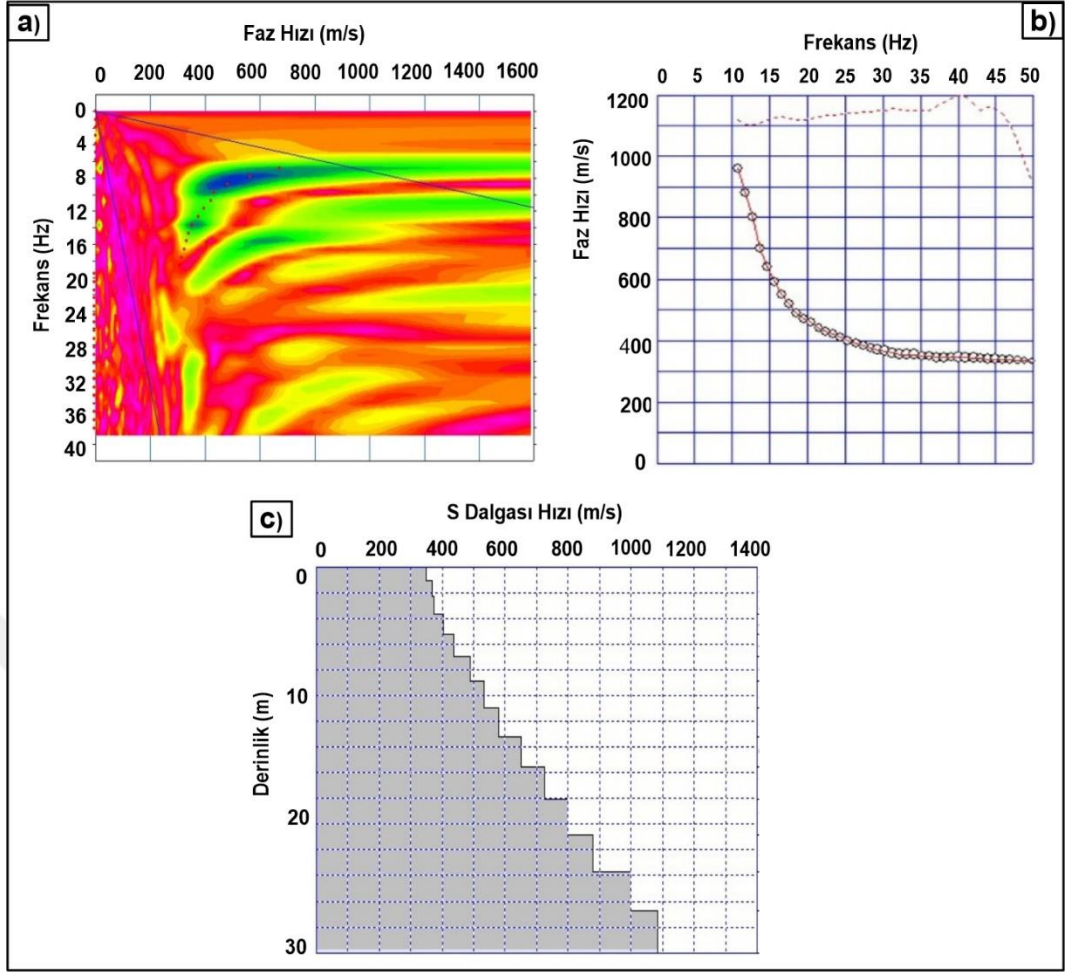
a) Sis-3 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi



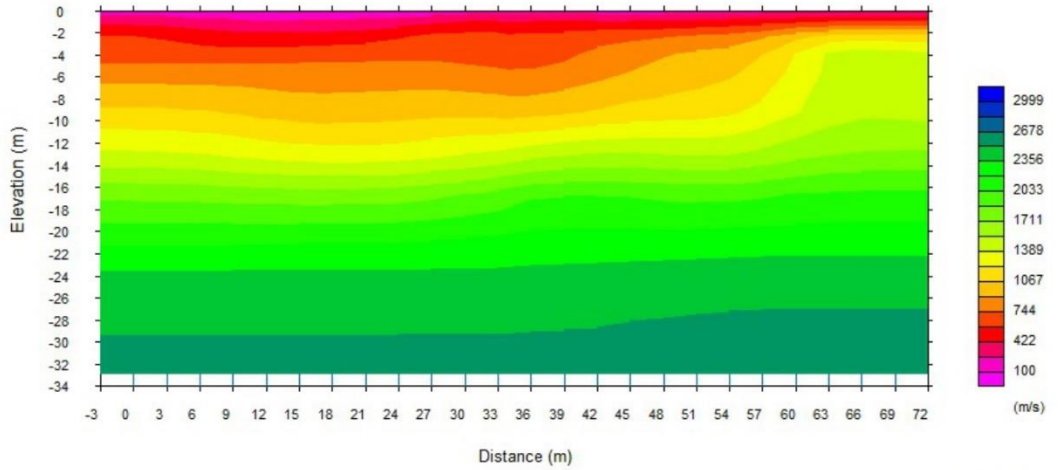
Sis-3 hattına ait 2B SKT kesiti



a) Sis-4 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi

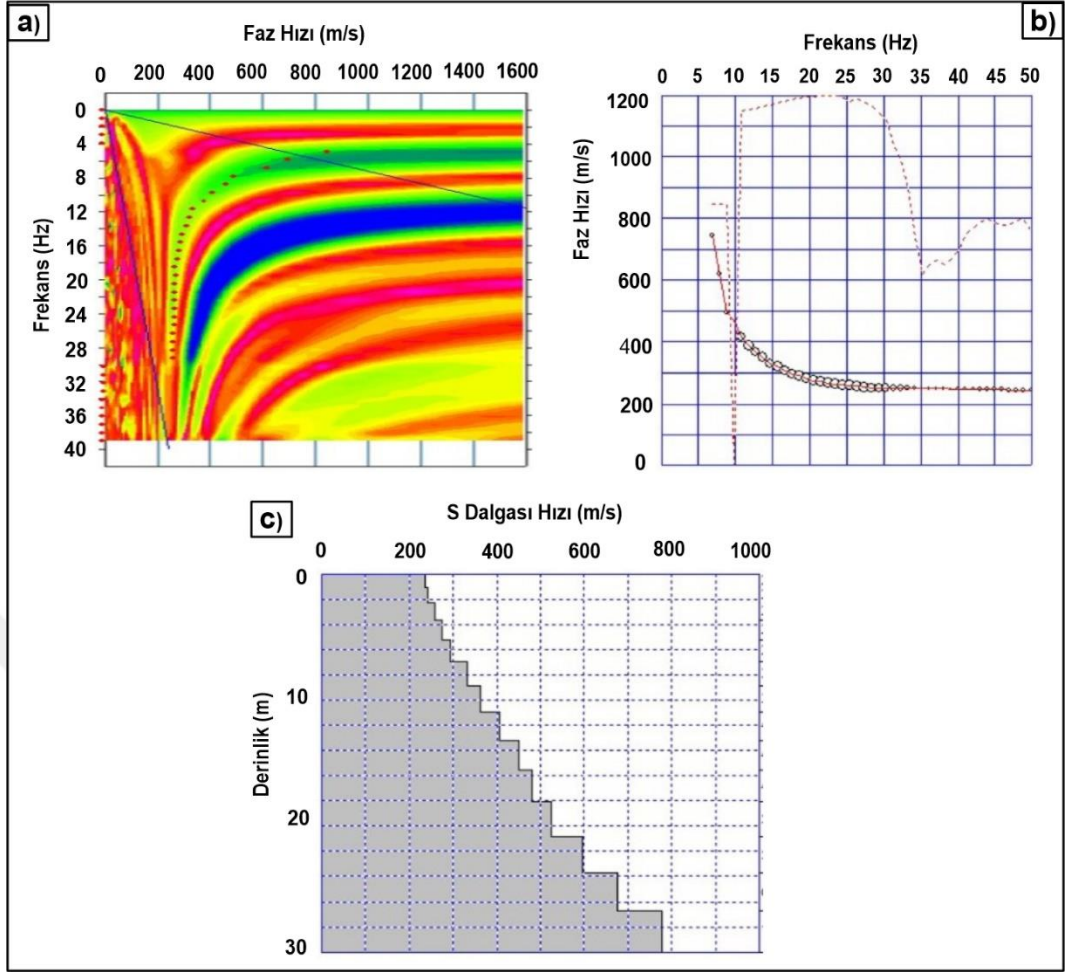


Sis-4 hattına ait 2B SKT kesiti

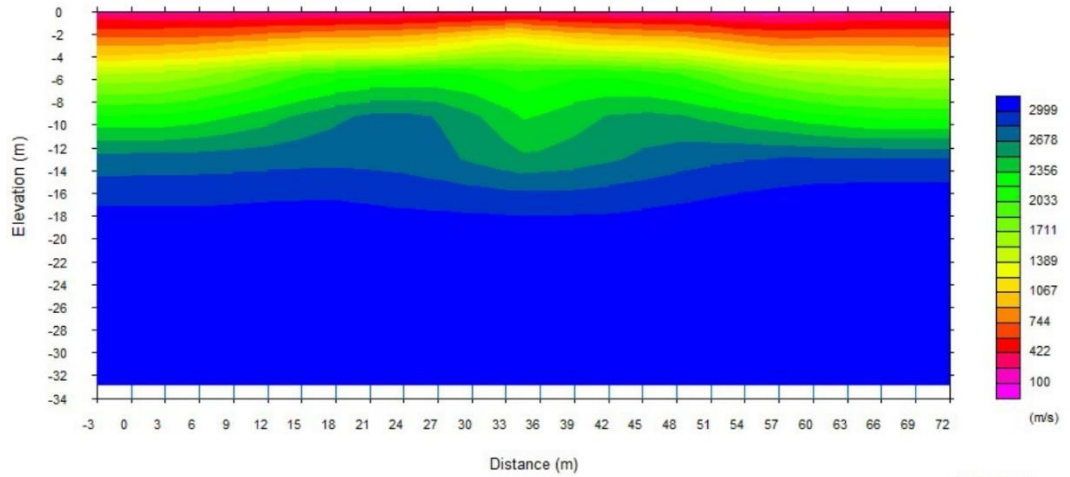


Scale = 1 / 452

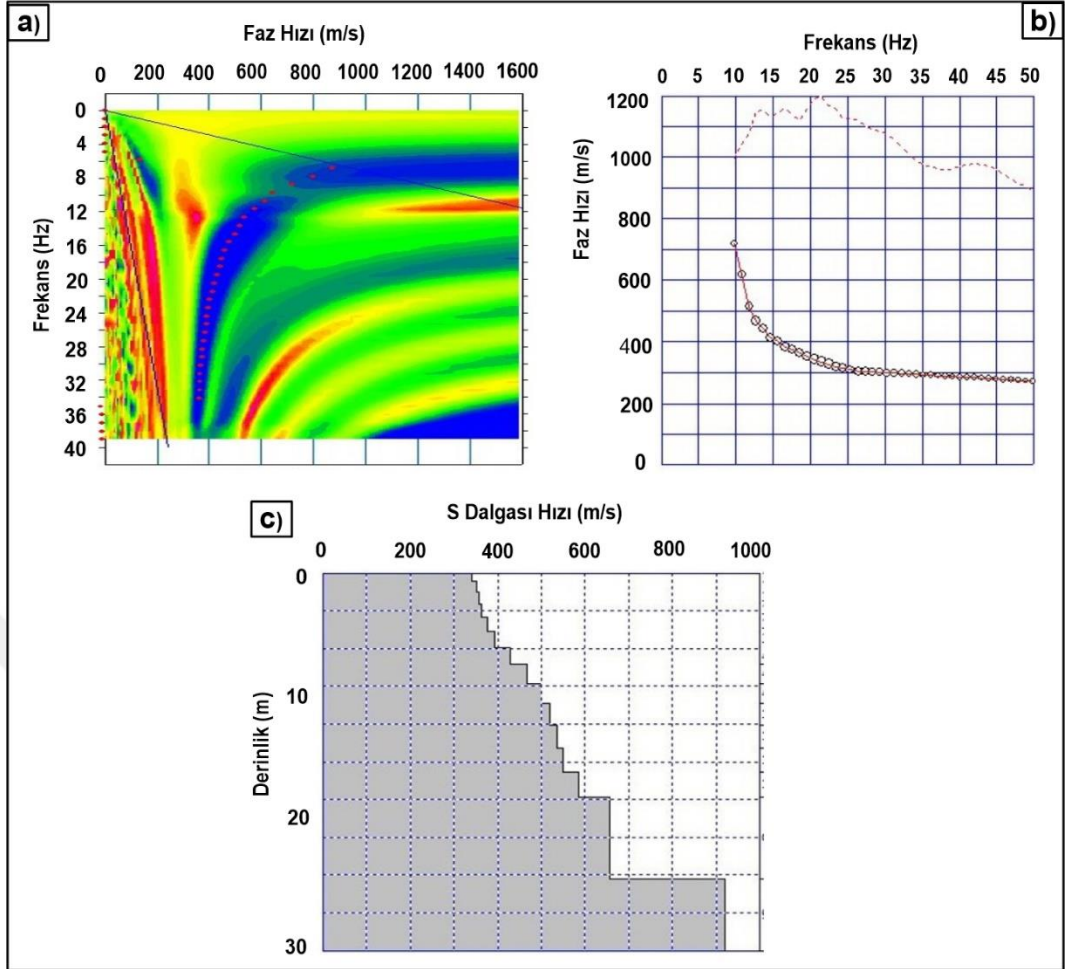
a) Sis-5 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi



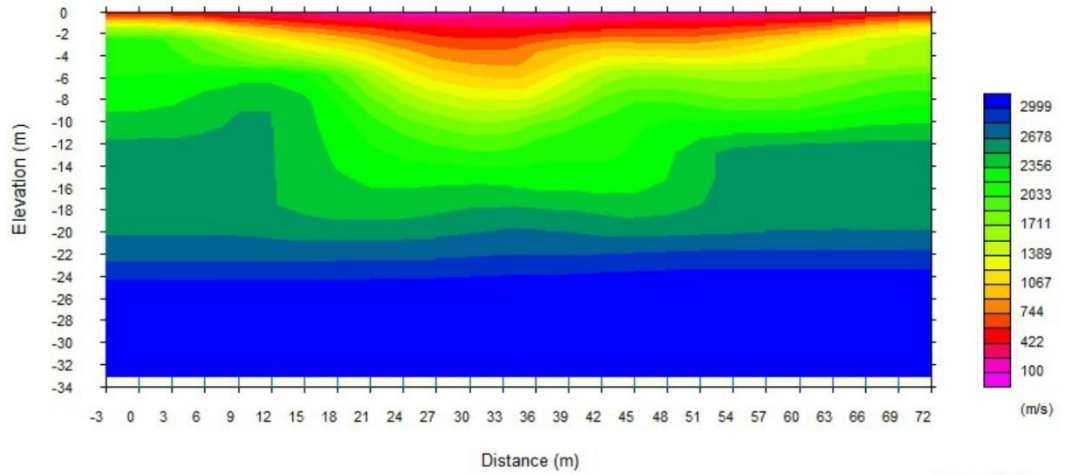
Sis-5 hattına ait 2B SKT kesiti



a) Sis-6 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi

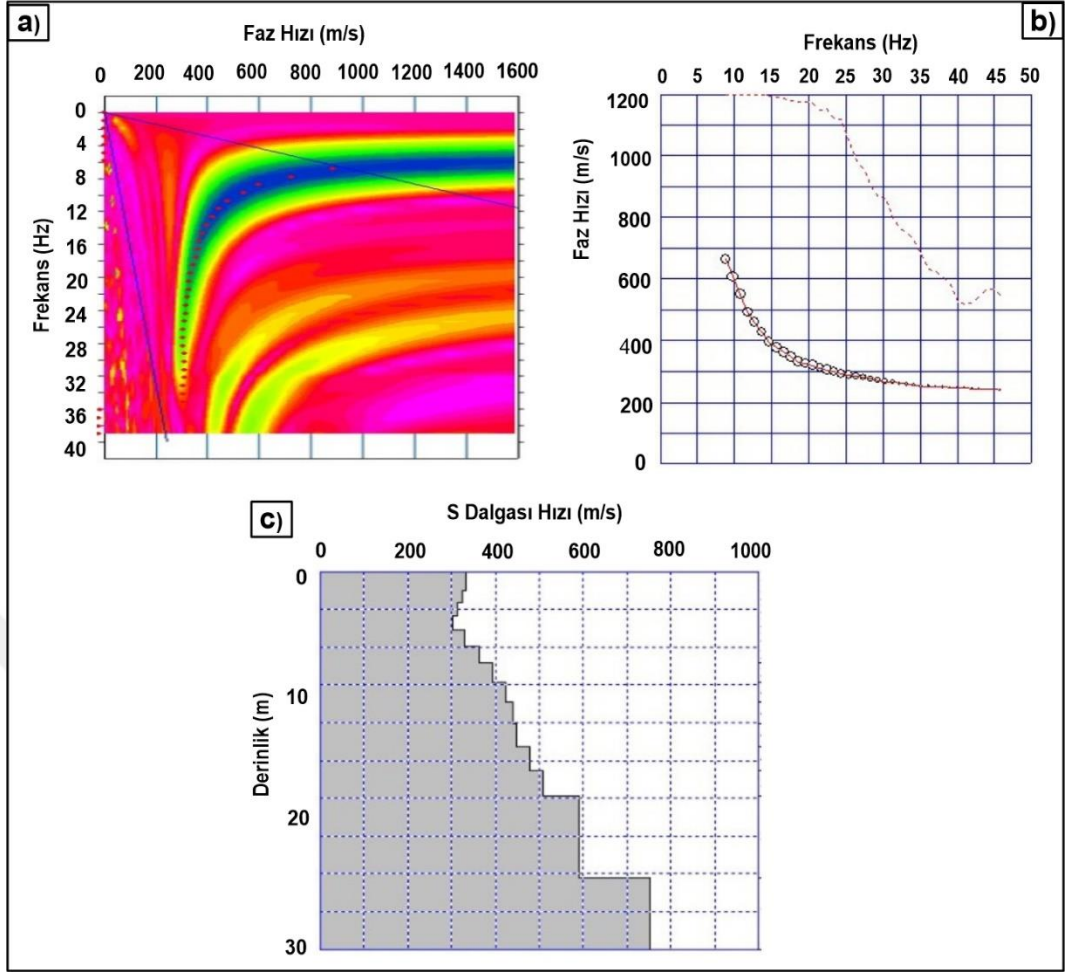


Sis-6 hattına ait 2B SKT kesiti

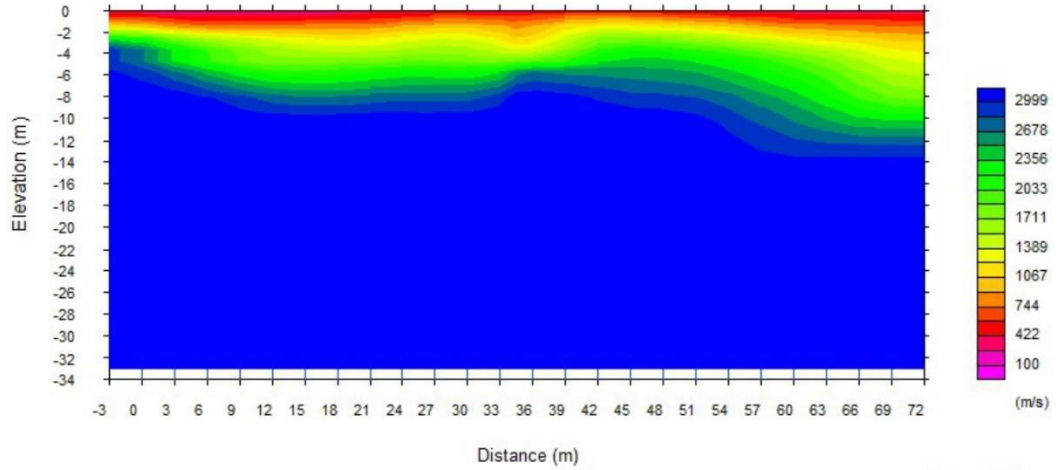


Scale = 1 / 474

a) Sis-7 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi

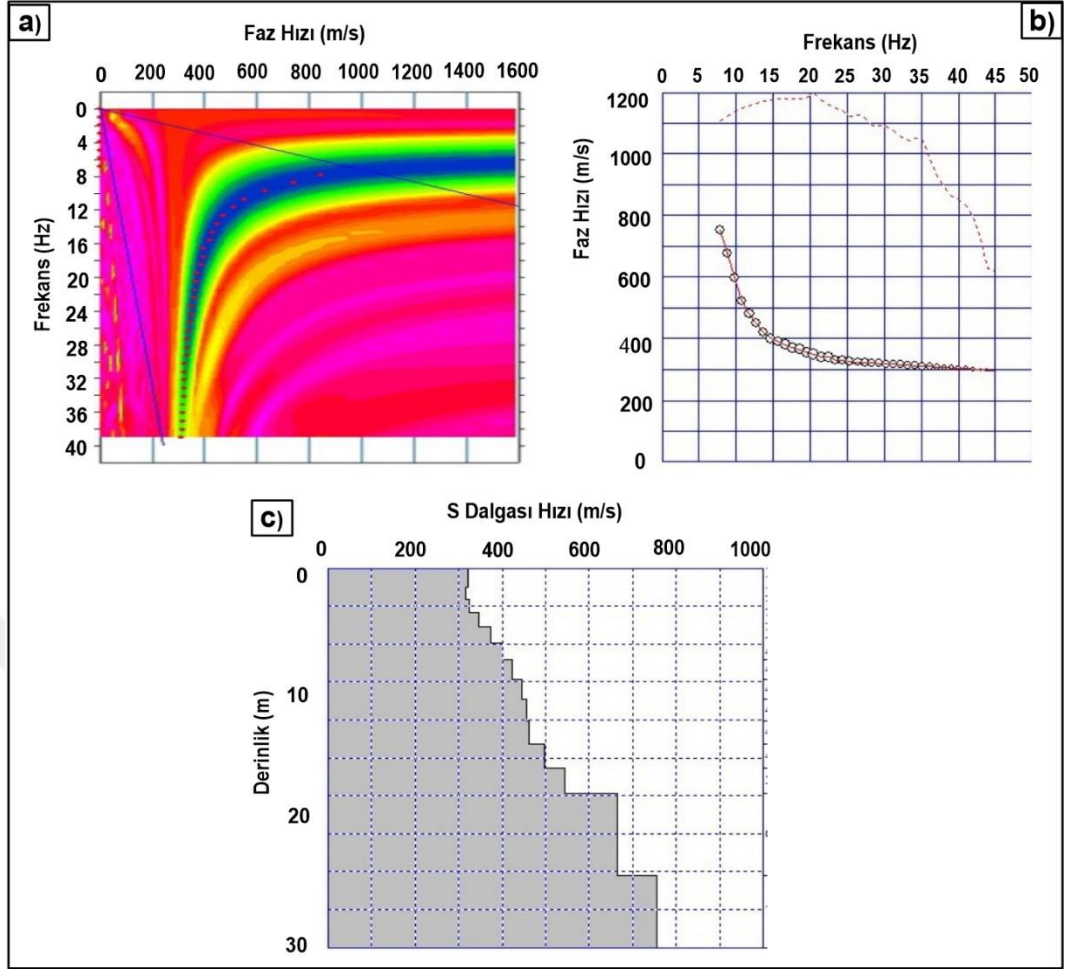


Sis-7 hattına ait 2B SKT kesiti

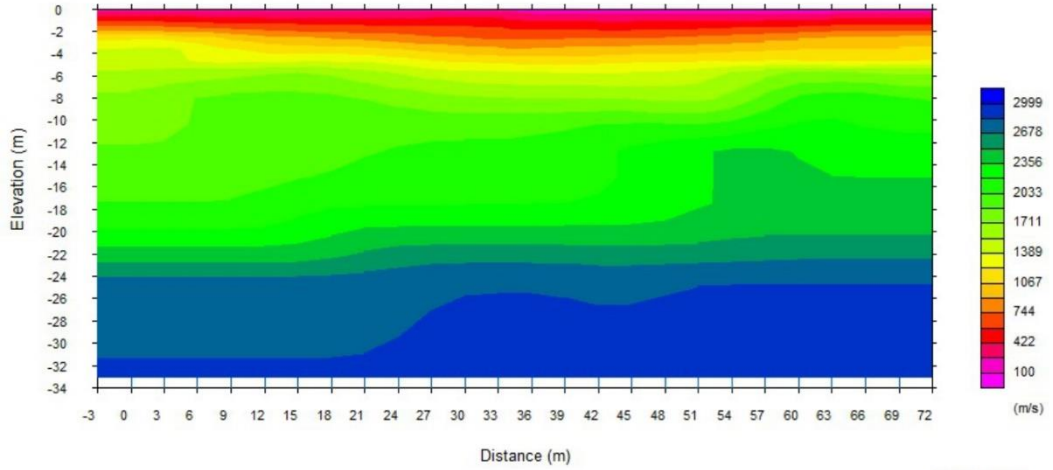


Scale = 1 / 498

a) Sis-8 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi

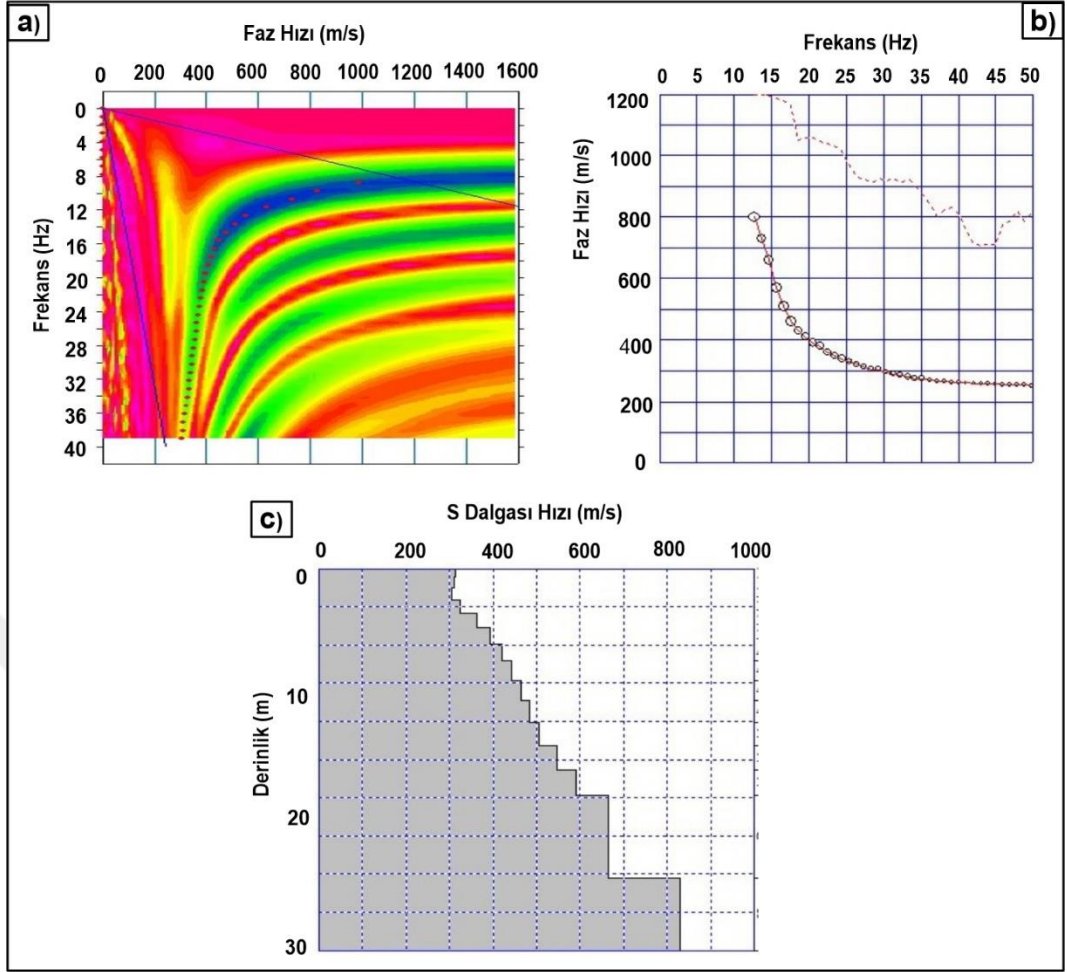


Sis-8 hattına ait 2B SKT kesiti

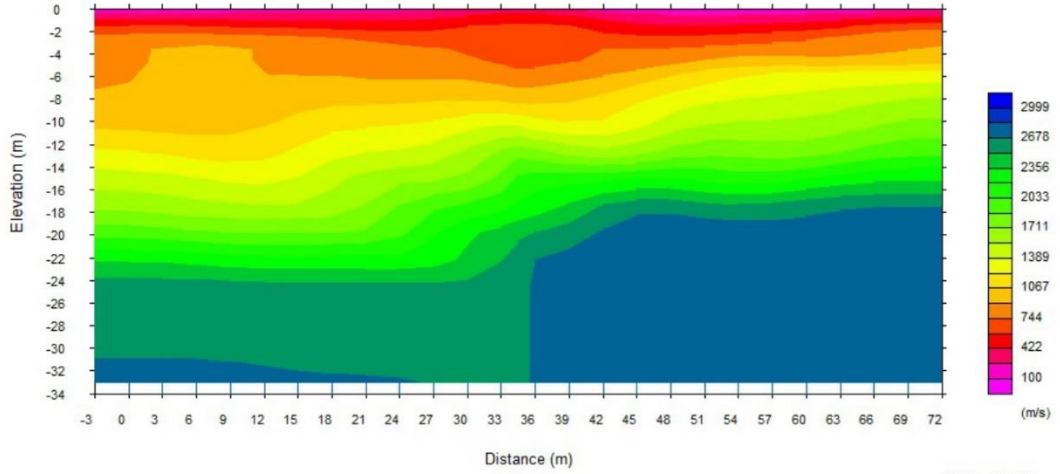


Scale = 1 / 433

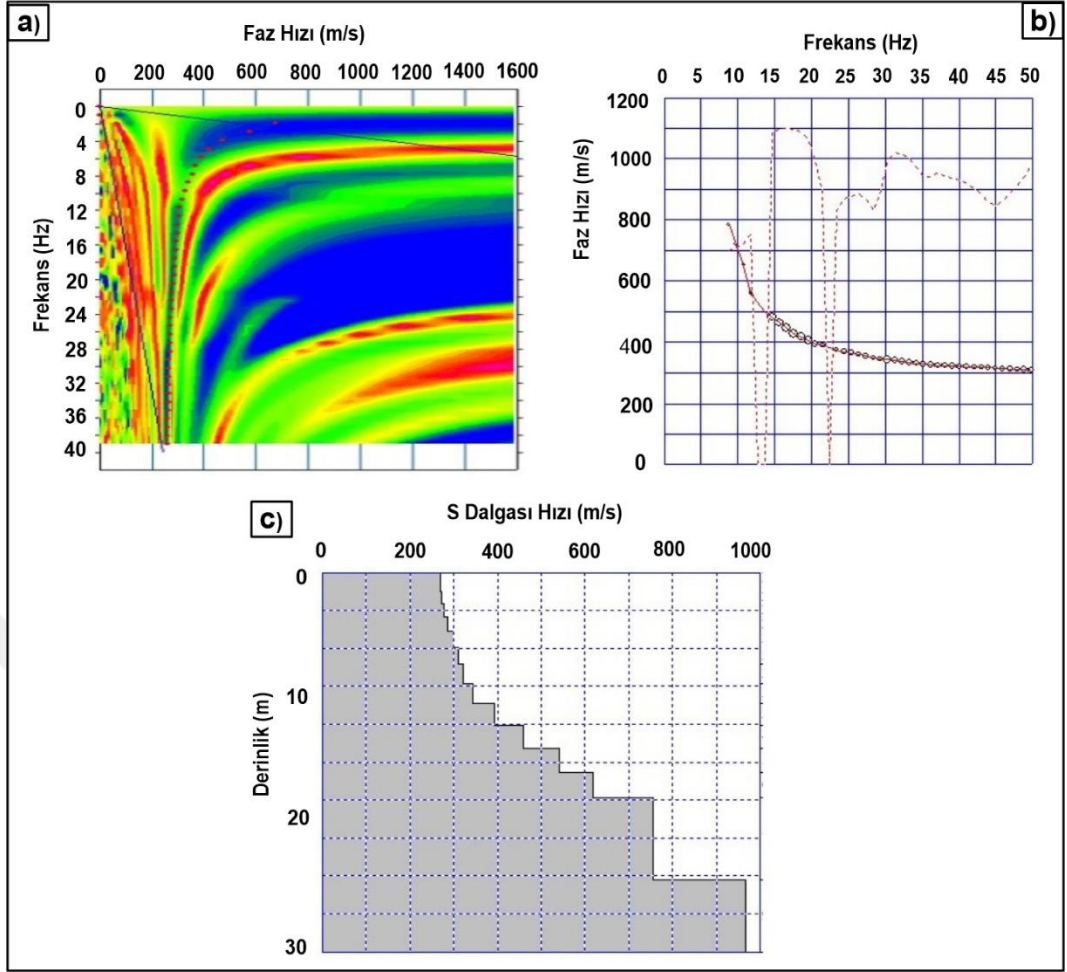
a) Sis-9 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi



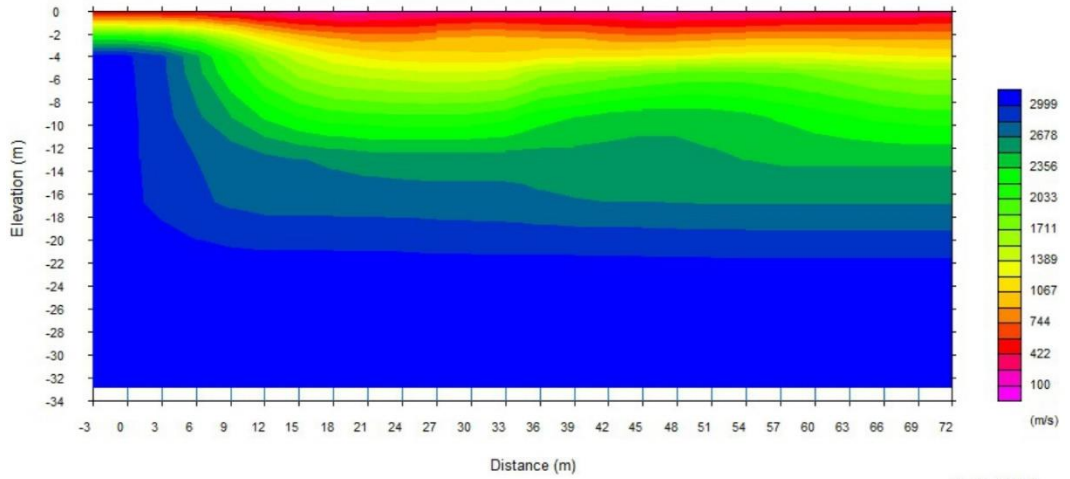
Sis-9 hattına ait 2B SKT kesiti



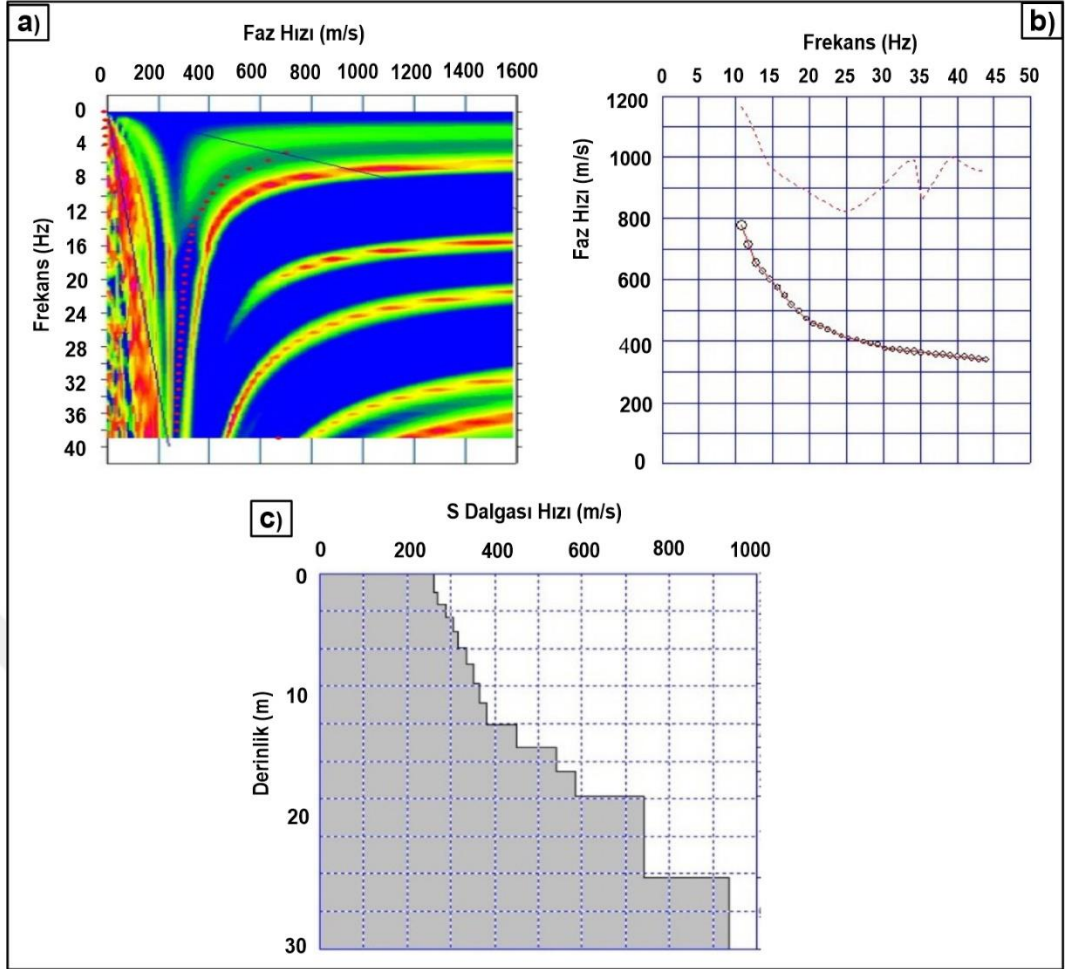
a) Sis-10 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi



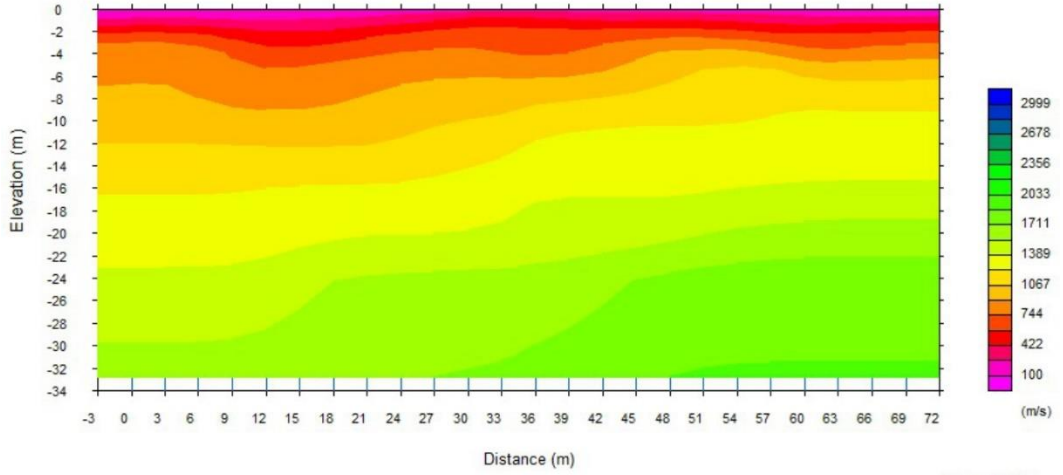
Sis-10 hattına ait 2B SKT kesiti



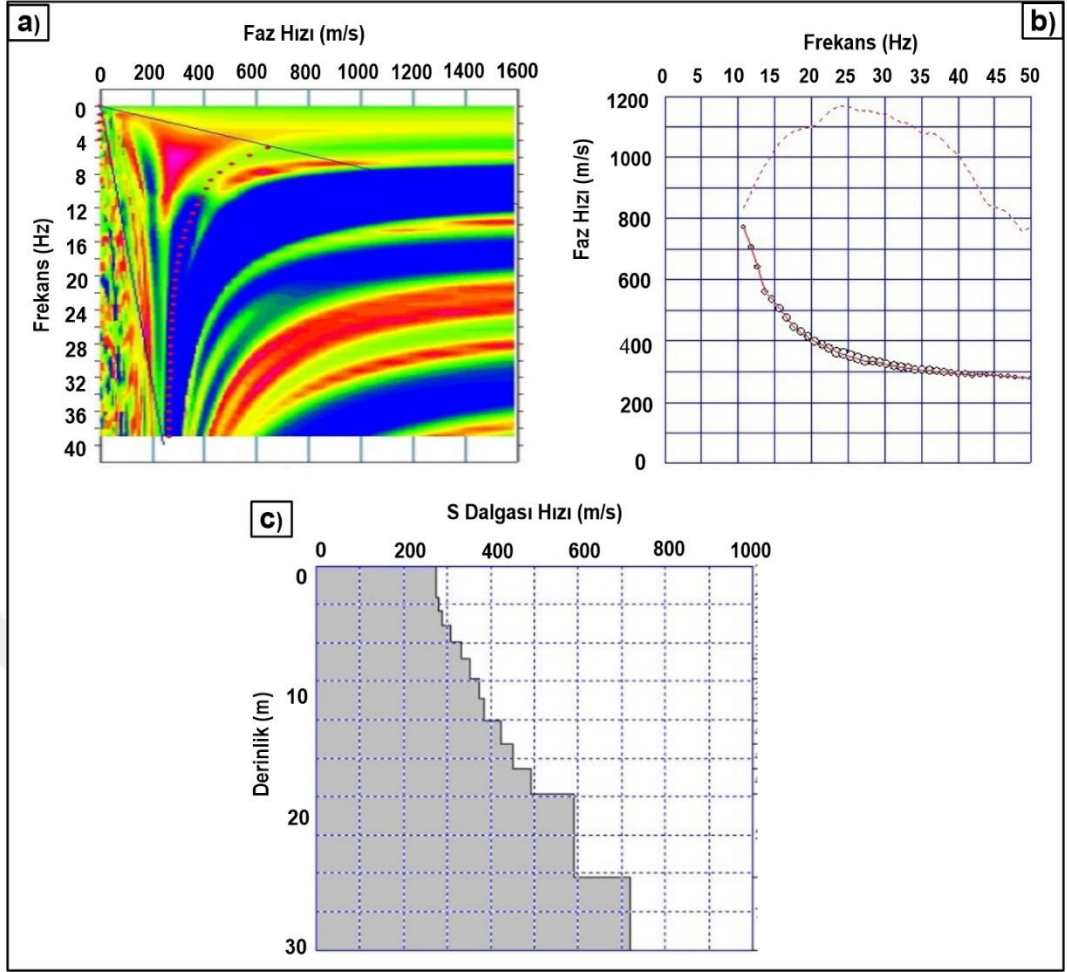
a) Sis-11 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi



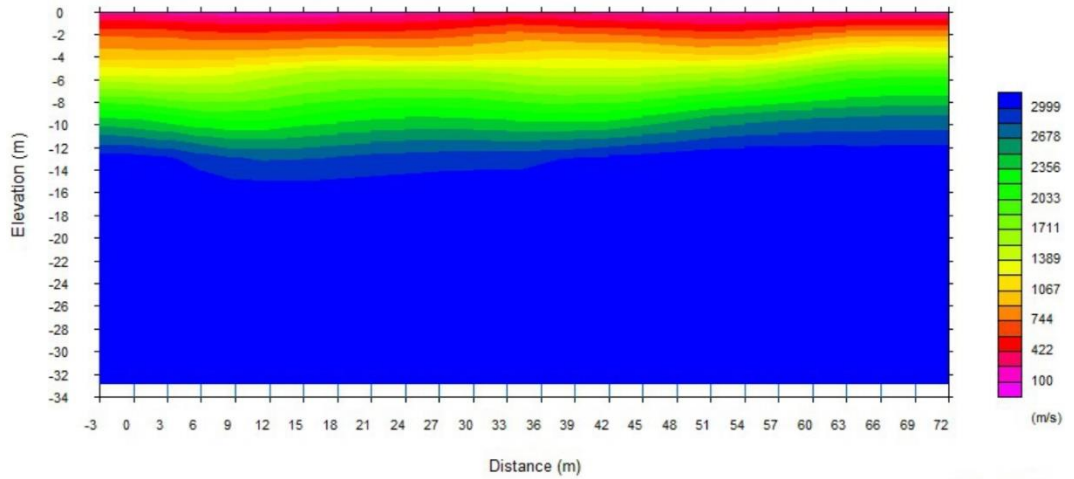
Sis-11 hattına ait 2B SKT kesiti

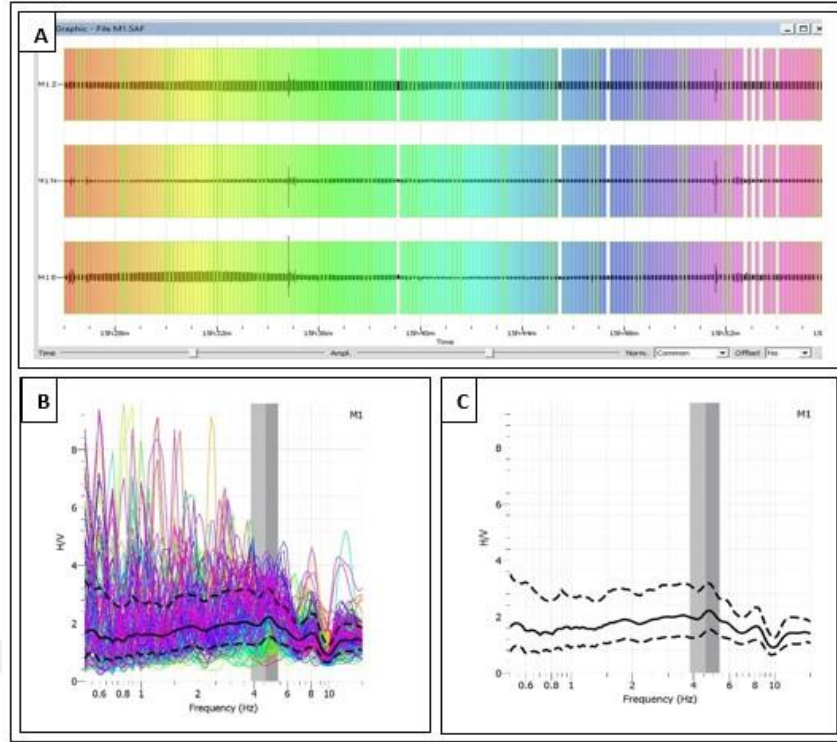


a) Sis-12 hattına ait MASW verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Dispersiyon eğrisi
c) 1B Vs hızının derinlikle değişimi

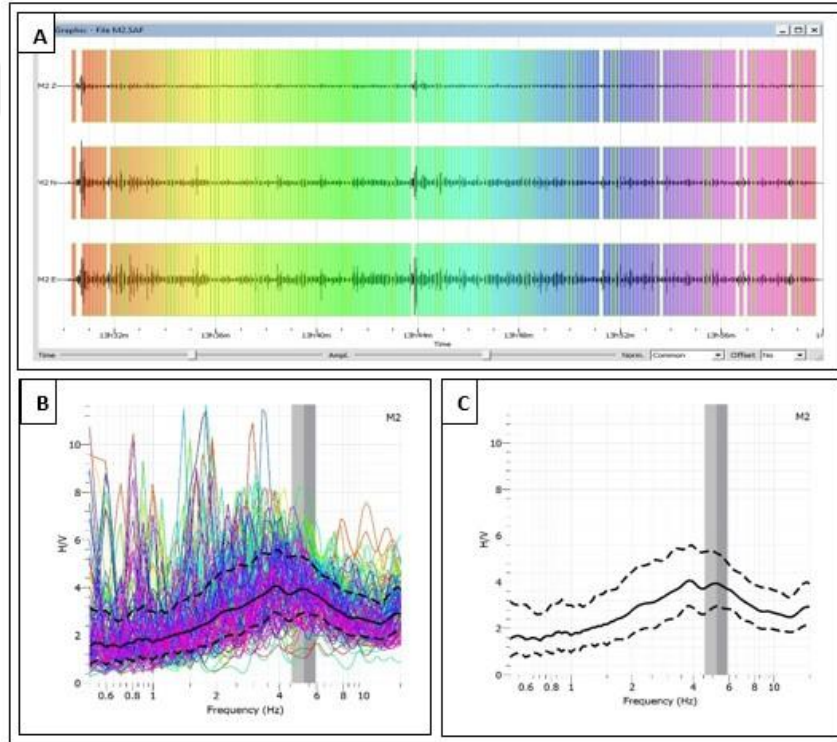


Sis-12 hattına ait 2B SKT kesiti

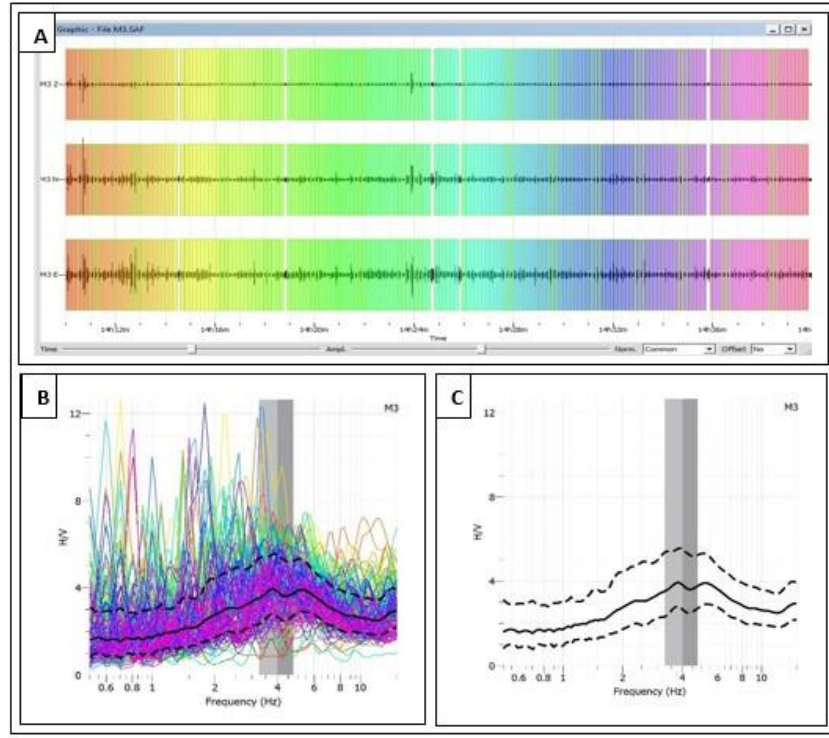




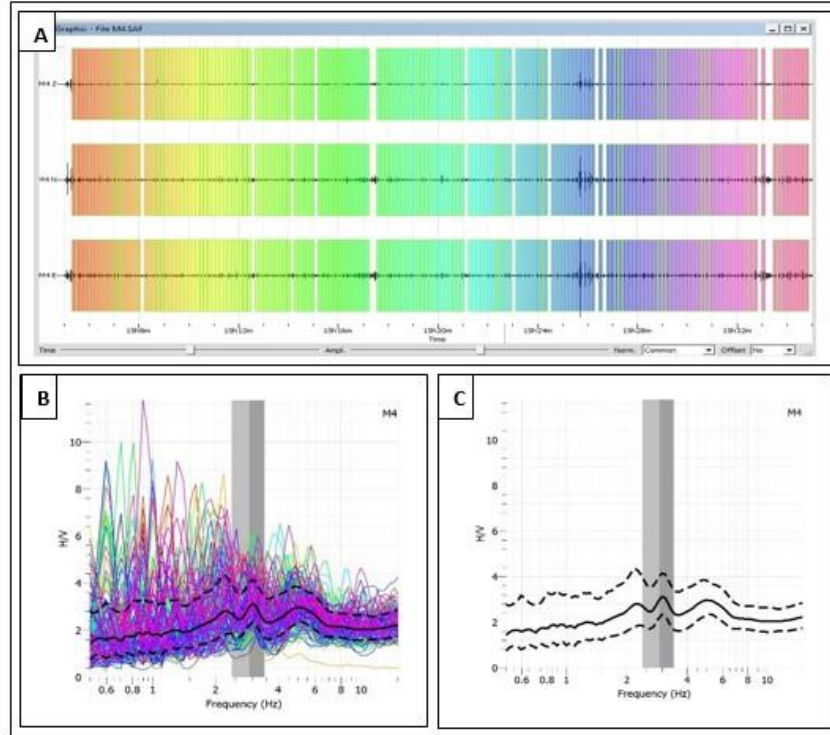
A) M1 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M1 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M1 Ortalama H/V Eğrisi



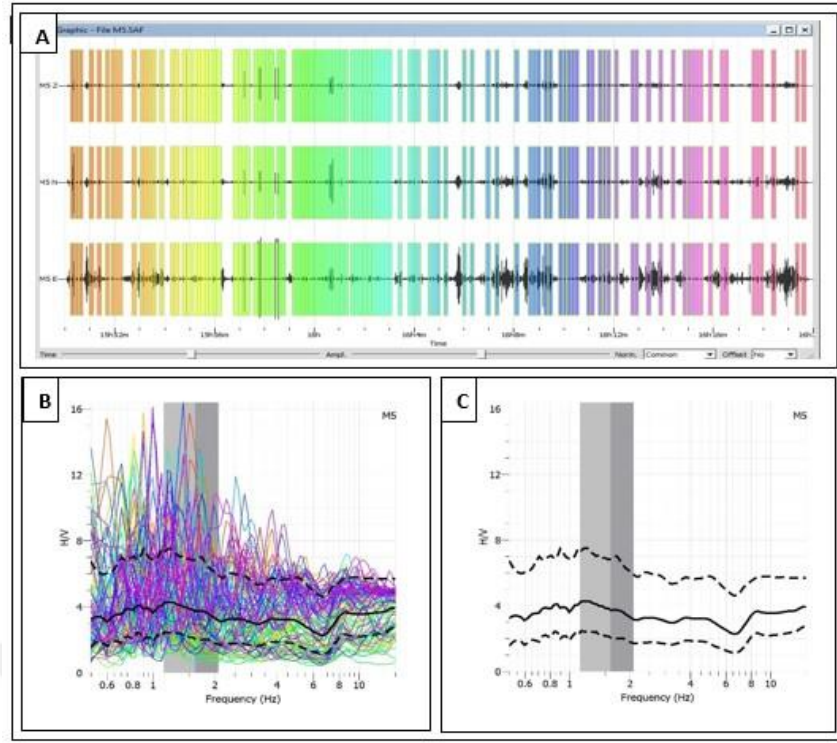
A) M2 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M2 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M2 Ortalama H/V Eğrisi



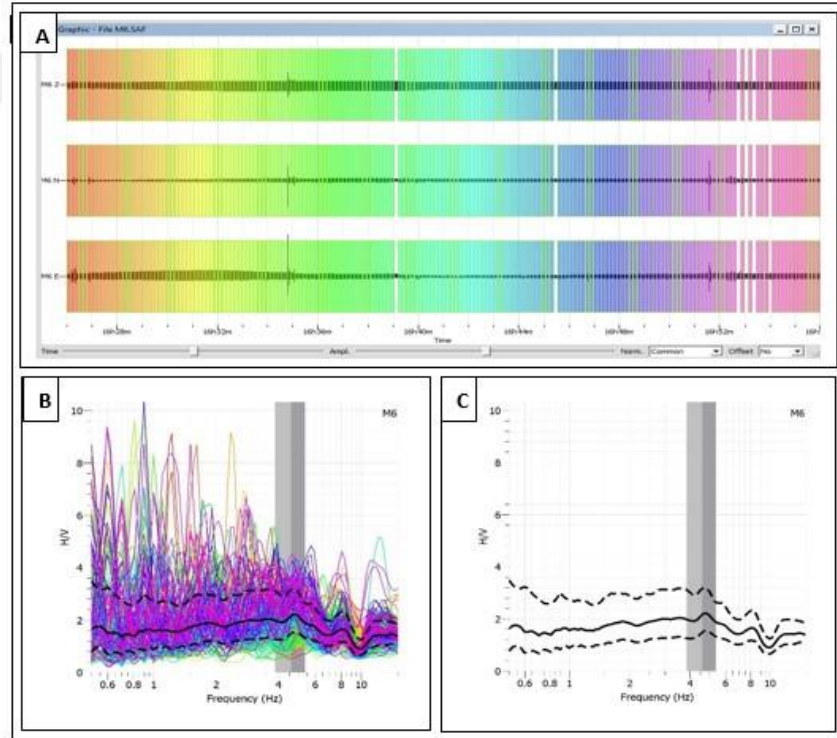
A) M3 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M3 Tüm Çözümleme Pencerelerine Ait H/V Eğrisi C) M3 Ortalama H/V Eğrisi



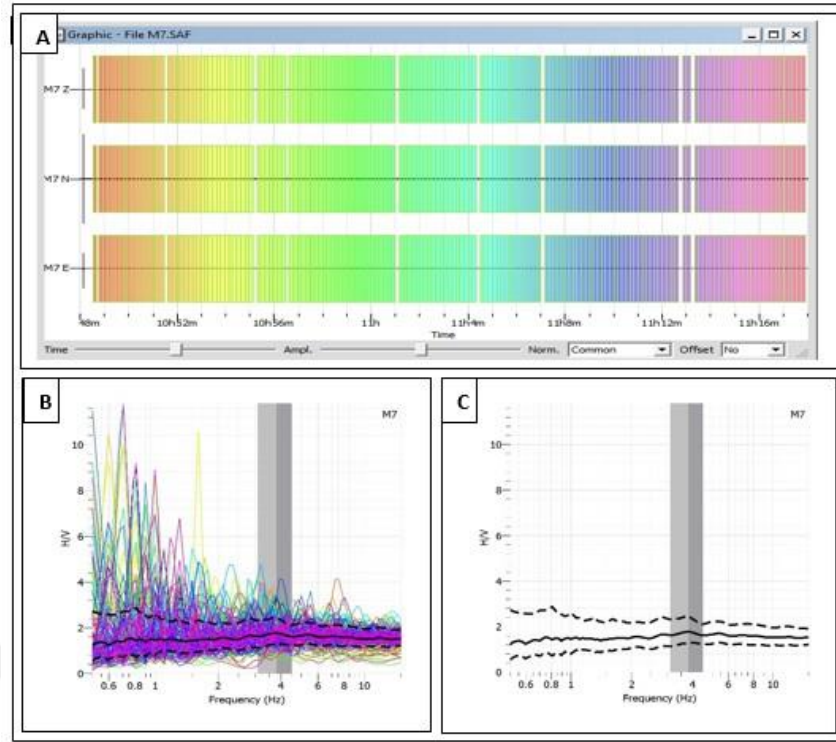
A) M4 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M4 Tüm Çözümleme Pencerelerine Ait H/V Eğrisi C) M4 Ortalama H/V Eğrisi



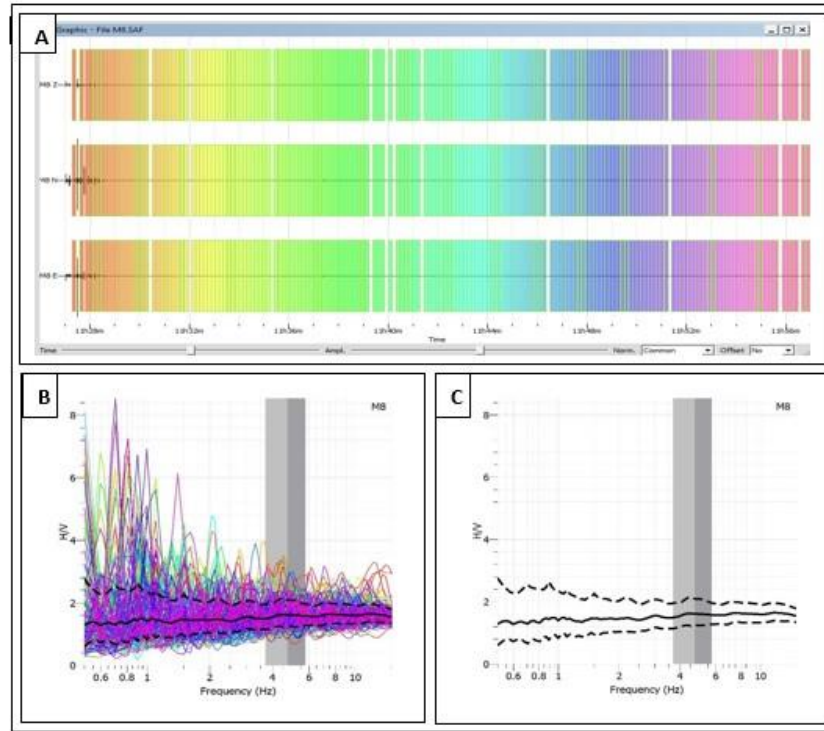
A) M5 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleeri (10 Sn'lik) B) M5 Tüm Çözümleme Pencereleerine Ait H/V Eğirisi C) M5 Ortalama H/V Eğirisi



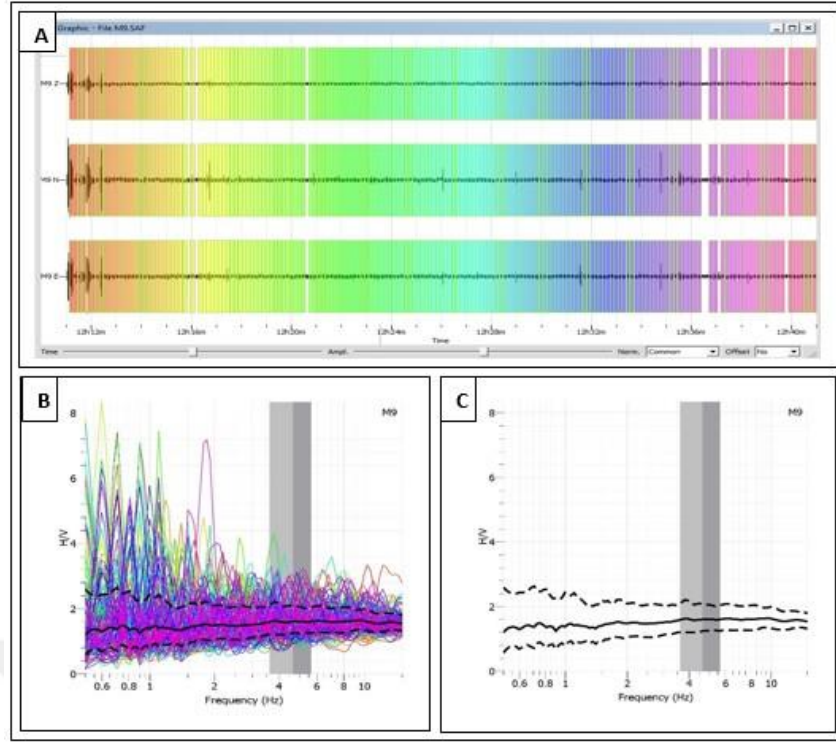
A) M6 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleeri (10 Sn'lik) B) M6 Tüm Çözümleme Pencereleerine Ait H/V Eğirisi C) M6 Ortalama H/V Eğirisi



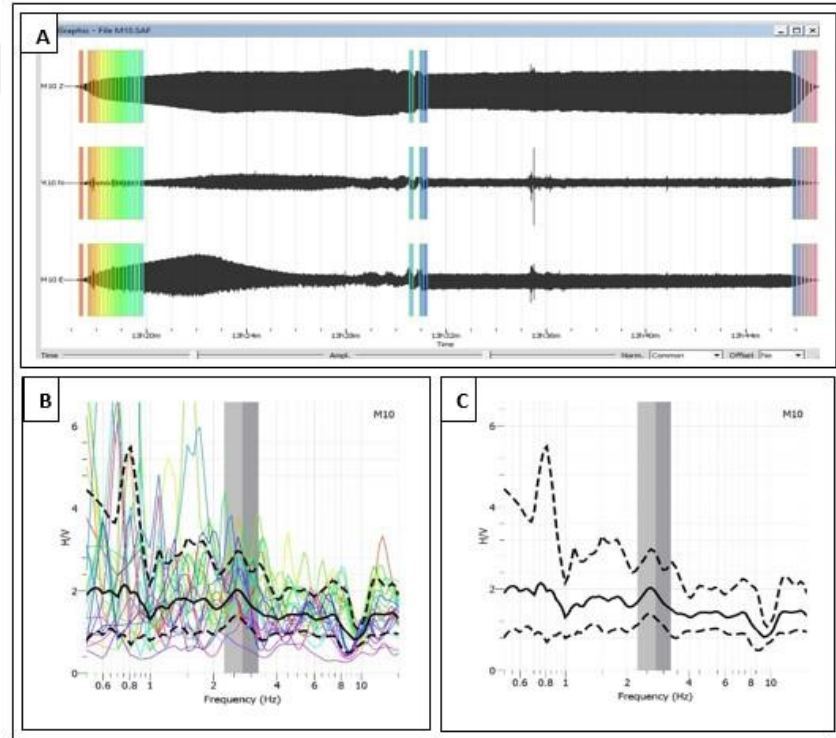
A) M7 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Penceresi (10 Sn'lik) B) M7 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M7 Ortalama H/V Eğrisi



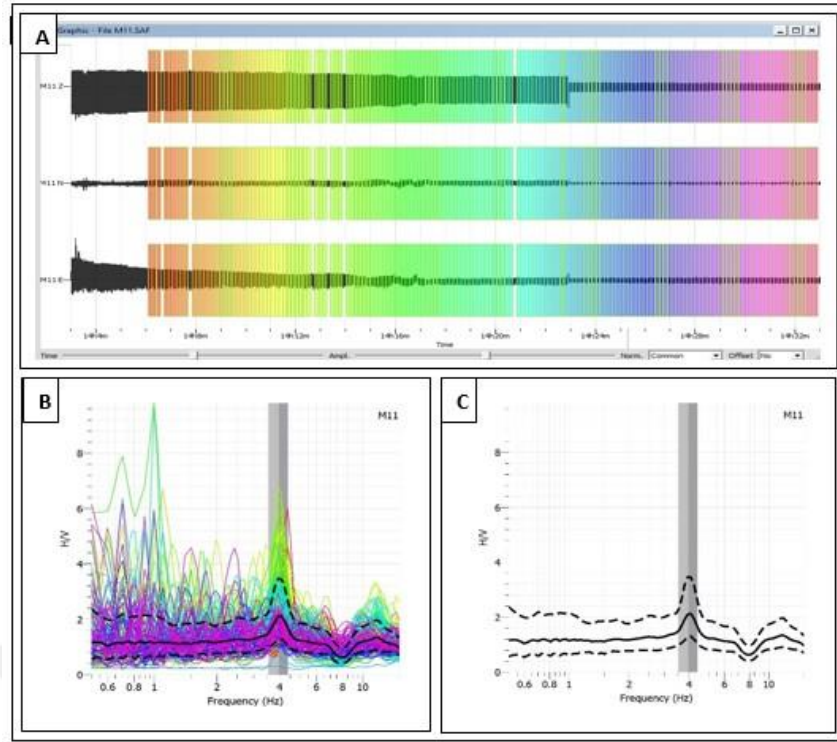
A) M8 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Penceresi (10 Sn'lik) B) M8 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M8 Ortalama H/V Eğrisi



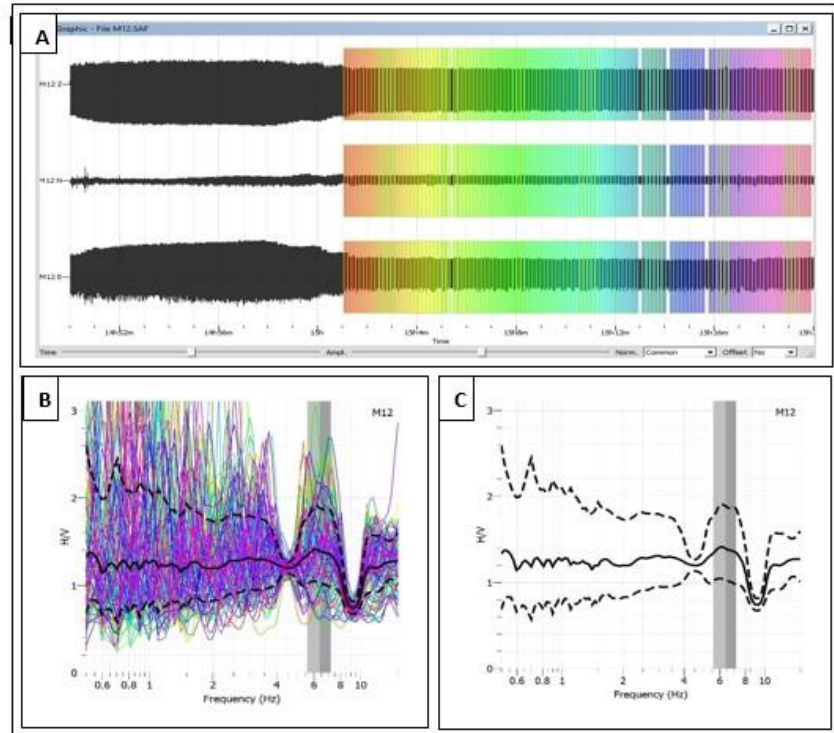
A) M9 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M9 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M9 Ortalama H/V Eğrisi



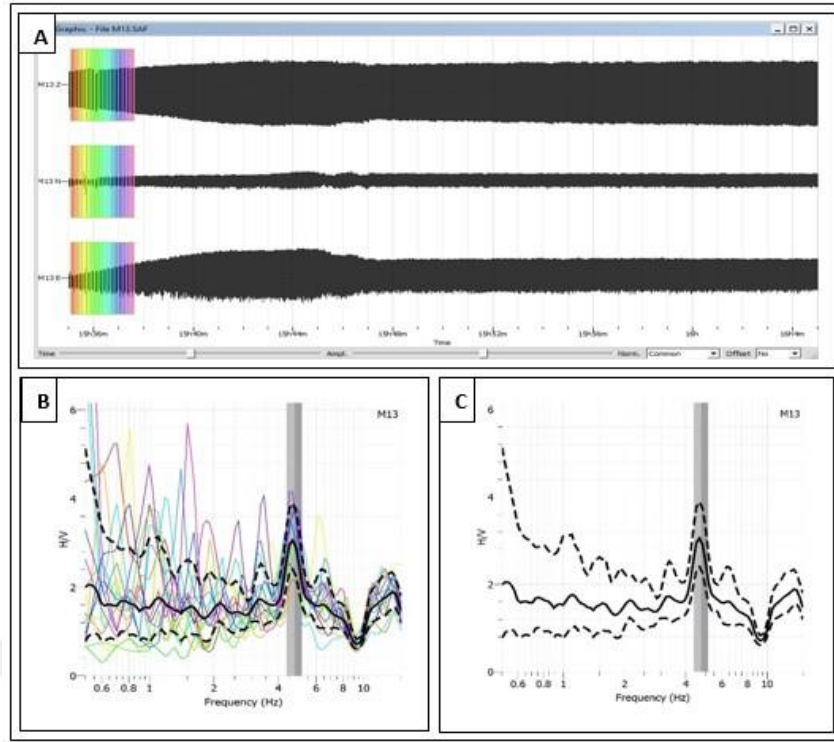
A) M10 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M10 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M10 Ortalama H/V Eğrisi



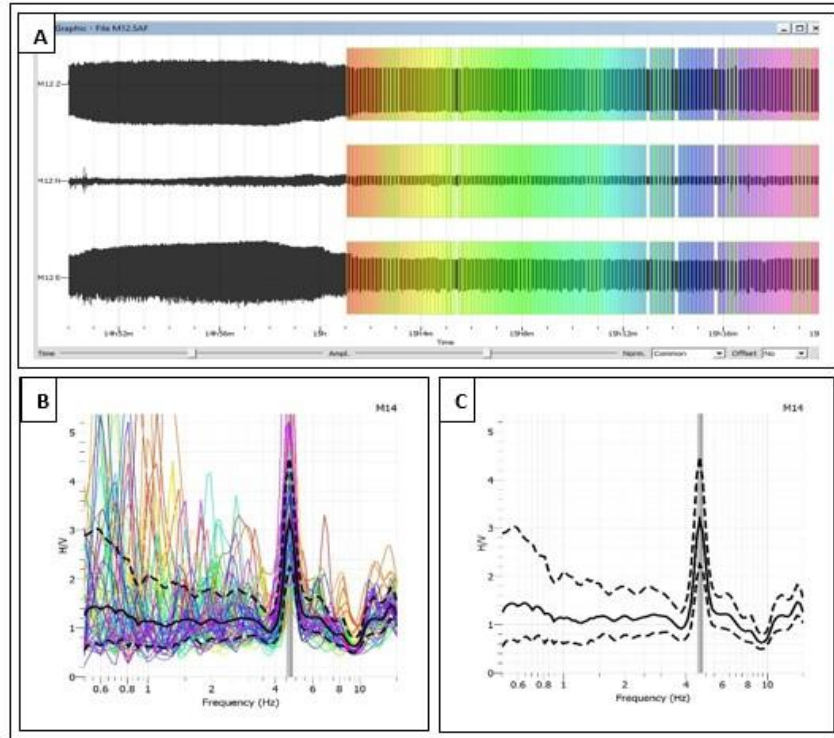
A) M11 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M11 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M11 Ortalama H/V Eğrisi



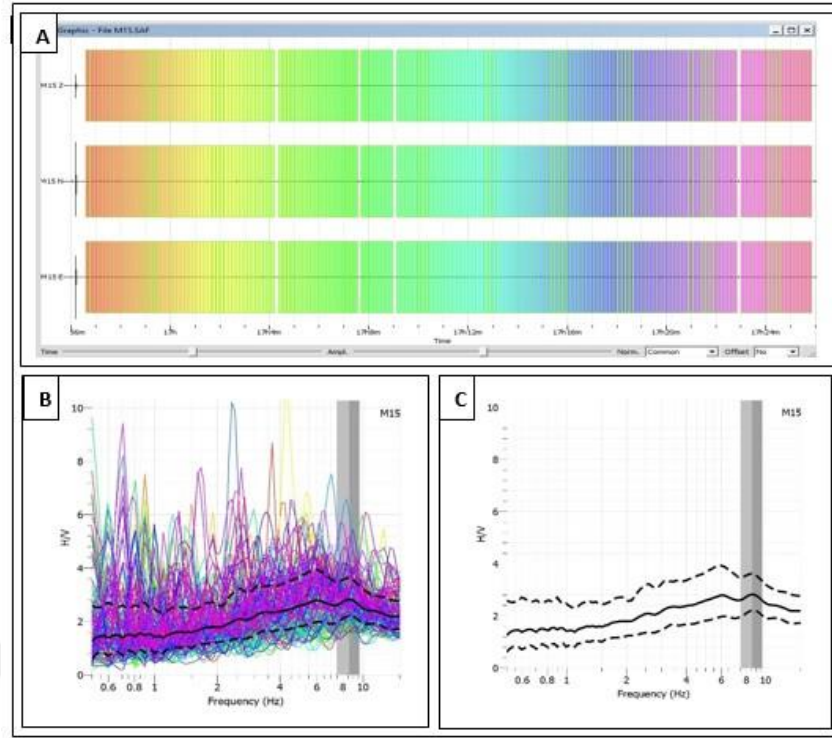
A) M12 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M12 Tüm Çözümleme Pencelerine Ait H/V Eğrisi C) M12 Ortalama H/V Eğrisi



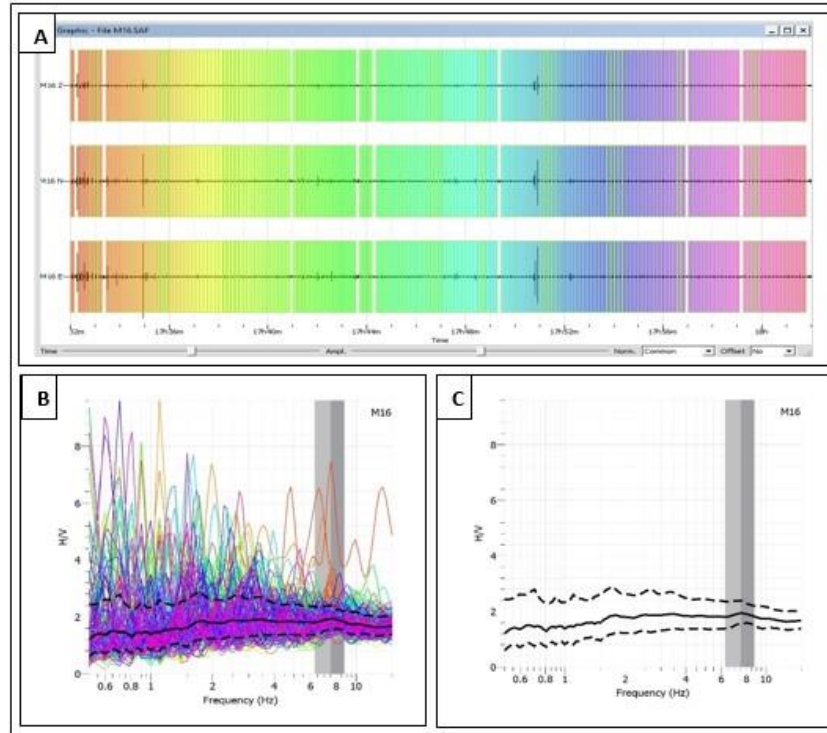
A) M13 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M13 Tüm Çözümleme Pencerelerine Ait H/V Eğrisi C) M13 Ortalama H/V Eğrisi



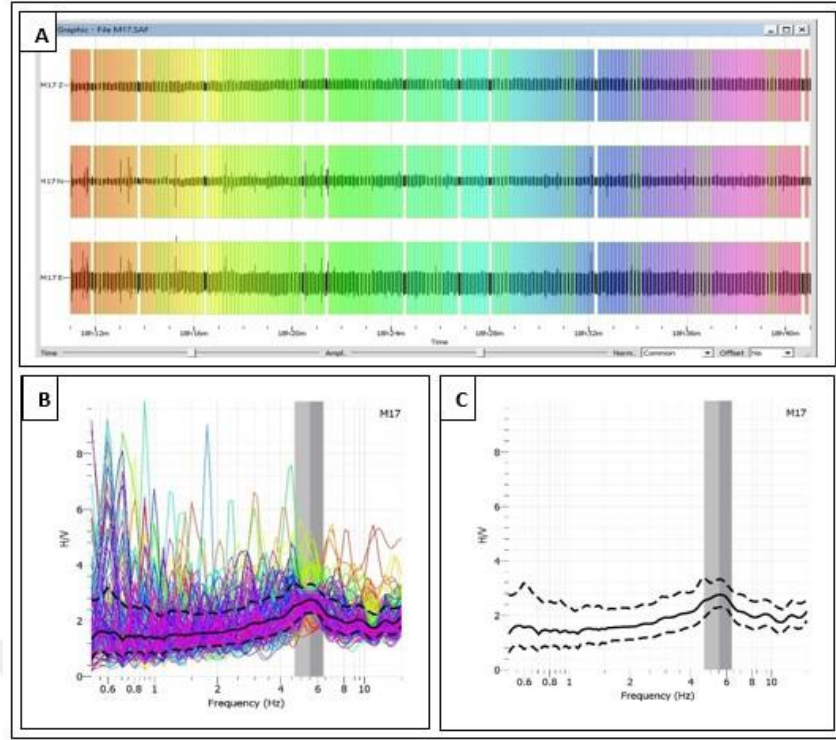
A) M14 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M14 Tüm Çözümleme Pencerelerine Ait H/V Eğrisi C) M14 Ortalama H/V Eğrisi



A) M15 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M15 Tüm Çözümleme Pencerelerine Ait H/V Eğrisi C) M15 Ortalama H/V Eğrisi



A) M16 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencereleri (10 Sn'lik) B) M16 Tüm Çözümleme Pencerelerine Ait H/V Eğrisi C) M16 Ortalama H/V Eğrisi



A) M17 Ham Veri Üzerinde Çözümleme Pencere (10 Sn'lık) B) M17 Tüm Çözümleme Pencere Ait H/V Eğrisi C) M17 Ortalama H/V Eğrisi

EK 2. Çalışma Alanı Karot Sandık Resimleri

SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 1/3

Derinlik : 00.00-9.00



SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 2/3

Derinlik : 9.00-14.50



SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-1

Sandık No : 3/3

Derinlik : 14.50-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-2

Sandık No : 1/4

Derinlik : 00.00-5.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-2

Sandık No : 2/4

Derinlik : 5.00-10.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-2

Sandık No : 3/4

Derinlik : 10.00-15.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-2

Sandık No : 4/4

Derinlik : 15.00-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-3

Sandık No : 1/2

Derinlik : 00.00-16.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-3

Sandık No : 2/2

Derinlik : 16.50-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-4

Sandık No : 1/4

Derinlik : 00.00-6.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-4

Sandık No : 2/4

Derinlik : 6.50-11.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-4

Sandık No : 3/4

Derinlik : 11.50-16.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-4

Sandık No : 4/4

Derinlik : 16.50-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-5

Sandık No : 1/4

Derinlik : 00.00-6.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-5

Sandık No : 2/4

Derinlik : 6.00-11.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-5

Sandık No : 3/4

Derinlik : 11.00-16.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-5

Sandık No : 4/4

Derinlik : 16.50-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-6

Sandık No : 1/2

Derinlik : 00.00-12.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-6

Sandık No : 2/2

Derinlik : 12.00-20.00

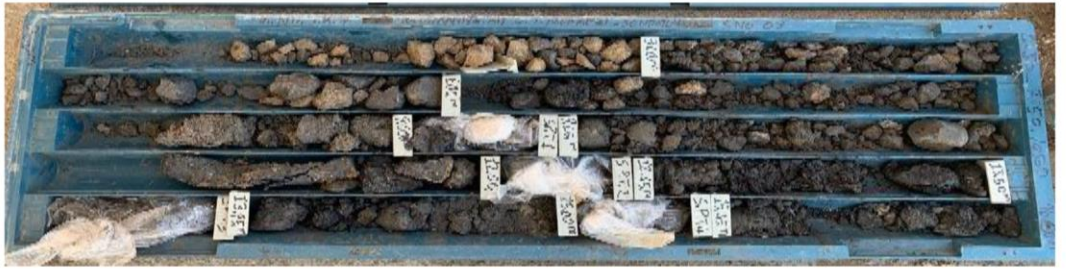


**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-7

Sandık No : 1/2

Derinlik : 00.00-16.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-7

Sandık No : 2/2

Derinlik : 16.50-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-8

Sandık No : 1/1

Derinlik : 00.00-20.00

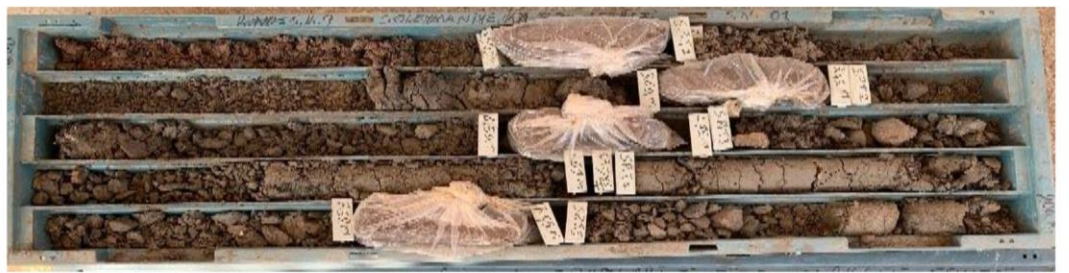


**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-9

Sandık No : 1/3

Derinlik : 00.00-9.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-9

Sandık No : 2/3

Derinlik : 9.50-17.50



SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-9

Sandık No : 3/3

Derinlik : 17.50-20.00



SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-10

Sandık No : 1/3

Derinlik : 00.00-10.50

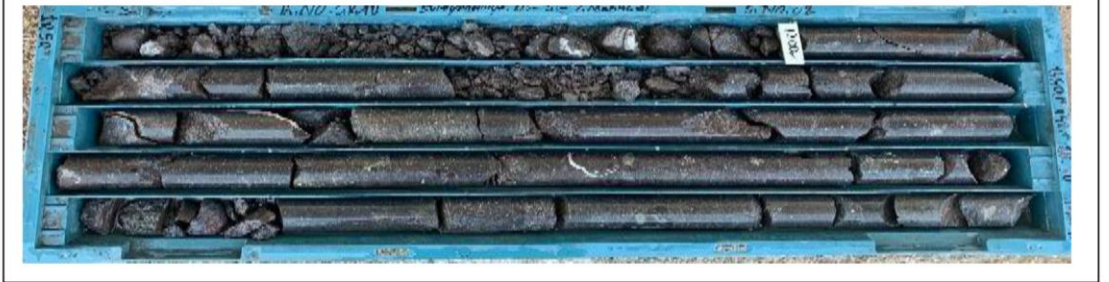


SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-10

Sandık No : 2/3

Derinlik : 10.50-17.00



SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-10

Sandık No : 3/3

Derinlik : 17.00-20.00



SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-11

Sandık No : 1/2

Derinlik : 00.00-10.50



SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE JEOTEKNİK ETÜT RAPORU

Kuyu No : SK-11

Sandık No : 2/2

Derinlik : 10.50-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-12

Sandık No : 1/2

Derinlik : 00.00-13.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-12

Sandık No : 2/2

Derinlik : 13.00-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-13

Sandık No : 1/3

Derinlik : 00.00-7.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-13

Sandık No : 2/3

Derinlik : 7.50-15.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-13

Sandık No : 3/3

Derinlik : 15.00-20.00



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-14

Sandık No : 1/3

Derinlik : 00.00-7.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-14

Sandık No : 2/3

Derinlik : 7.50-18.50



**SÜLEYMANİYE KIŞ SPORLARI MERKEZİ YAPILACAK ALANIN İMAR PLANINA ESAS JEOLJİK VE
JEOTEKNİK ETÜT RAPORU**

Kuyu No : SK-14

Sandık No : 3/3

Derinlik : 18.50-20.00



EK 3. Kayaçların Hesaplanan TCR ve RQD Değerleri.

Tablo 19. Kayaçların hesaplanan TCR ve RQD değerleri.

Sondaj No	Derinlik (m)	X	Y	TCR (%)	RQD (%)
SK-1	0.00-1.50	4478391	538550	18	0
SK-1	1.84-3.00	4479028.5	537762.4	42	0
SK-1	3.00-4.50	4479028.5	537762.4	23	0
SK-1	4.50-6.00	4479028.5	537762.4	43	0
SK-1	6.00-7.50	4479028.5	537762.4	81	0
SK-1	7.50-9.00	4479028.5	537762.4	100	57
SK-1	9.00-10.50	4479028.5	537762.4	100	43
SK-1	10.50-12.00	4479028.5	537762.4	95	43
SK-1	12.00-13.50	4479028.5	537762.4	87	7
SK-1	13.50-15.00	4479028.5	537762.4	96	0
SK-1	15.00-16.50	4479028.5	537762.4	100	26
SK-1	16.50-18.00	4479028.5	537762.4	78	15
SK-1	18.00-20.00	4479028.5	537762.4	92	62
SK-2	00.00-1.50	4478913.6	538484.2	100	0
SK-2	1.50-3.00	4478913.6	538484.2	100	7
SK-2	3.00-4.50	4478913.6	538484.2	100	51
SK-2	4.50-6.00	4478913.6	538484.2	100	18
SK-2	6.00-7.50	4478913.6	538484.2	100	31
SK-2	7.50-9.00	4478913.6	538484.2	100	21
SK-2	9.00-10.50	4478913.6	538484.2	100	51
SK-2	10.50-12.00	4478913.6	538484.2	100	13
SK-2	12.00-13.50	4478913.6	538484.2	100	16
SK-2	13.50-15.00	4478913.6	538484.2	100	40
SK-2	15.00-16.50	4478913.6	538484.2	100	60
SK-2	16.50-18.00	4478913.6	538484.2	100	59
SK-2	18.00-19.00	4478913.6	538484.2	100	88
SK-2	19.00-20.00	4478913.6	538484.2	100	37
SK-3	00.00-1.50	4478411.2	537711.6	24	0
SK-3	1.50-3.00	4478411.2	537711.6	20	0
SK-3	3.00-4.50	4478411.2	537711.6	20	0
SK-3	4.50-6.00	4478411.2	537711.6	28	0
SK-3	6.00-7.50	4478411.2	537711.6	22	0
SK-3	7.50-9.00	4478411.2	537711.6	15	0
SK-3	9.00-10.50	4478411.2	537711.6	25	0
SK-3	10.50-12.00	4478411.2	537711.6	41	0
SK-3	12.00-13.50	4478411.2	537711.6	42	0
SK-3	13.50-15.00	4478411.2	537711.6	59	35
SK-3	15.00-16.50	4478411.2	537711.6	35	19
SK-3	16.50-18.00	4478411.2	537711.6	35	0
SK-3	18.00-19.50	4478411.2	537711.6	64	15
SK-3	19.50-20.00	4478411.2	537711.6	100	44
SK-4	0.00-1.50	4478896.9	537903.1	53	0
SK-4	1.50-3.00	4478896.9	537903.1	51	0
SK-4	3.00-4.50	4478896.9	537903.1	97	10
SK-4	4.50-6.00	4478896.9	537903.1	100	18

Tablo 19. (Devamı)

SK-4	6.00-6,50	4478896.9	537903.1	94	50
SK-4	6.50-7.50	4478896.9	537903.1	100	21
SK-4	7.50-9.00	4478896.9	537903.1	95	34
SK-4	9.00-10.50	4478896.9	537903.1	100	22
SK-4	10.50-11.50	4478896.9	537903.1	100	42
SK-4	11.50-12.00	4478896.9	537903.1	95	0
SK-4	12.00-13.50	4478896.9	537903.1	100	10
SK-4	13.50-15.00	4478896.9	537903.1	100	31
SK-4	15.00-16.50	4478896.9	537903.1	100	56
SK-4	16.50-18.00	4478896.9	537903.1	100	77
SK-4	18.00-20.00	4478896.9	537903.1	100	100
SK-5	00.00-1.50	4478806.3	538083.5	81	0
SK-5	1.50-3.00	4478806.3	538083.5	87	0
SK-5	3.00-4.50	4478806.3	538083.5	75	0
SK-5	4.50-6.00	4478806.3	538083.5	91	0
SK-5	6.00-7.50	4478806.3	538083.5	100	21
SK-5	7.50-9.00	4478806.3	538083.5	100	23
SK-5	9.00-10.50	4478806.3	538083.5	100	10
SK-5	10.50-12.00	4478806.3	538083.5	100	14
SK-5	12.00-13.50	4478806.3	538083.5	100	10
SK-5	13.50-15.00	4478806.3	538083.5	100	14
SK-5	15.00-16.50	4478806.3	538083.5	100	15
SK-5	16.50-18.00	4478806.3	538083.5	100	18
SK-5	18.00-20.00	4478806.3	538083.5	100	37
SK-6	00.00-1.50	4478454.7	538312.6	13	0
SK-6	1.50-3.00	4478454.7	538312.6	19	0
SK-6	3.00-4.50	4478454.7	538312.6	35	0
SK-6	4.50-6.00	4478454.7	538312.6	45	0
SK-6	6.00-7.50	4478454.7	538312.6	63	0
SK-6	7.50-9.00	4478454.7	538312.6	67	18
SK-6	9.00-10.50	4478454.7	538312.6	37	10
SK-6	10.50-12.00	4478454.7	538312.6	67	10
SK-6	12.00-13.50	4478454.7	538312.6	53	10
SK-6	13.50-15.00	4478454.7	538312.6	59	0
SK-6	15.00-16.50	4478454.7	538312.6	51	0
SK-6	16.50-18.00	4478454.7	538312.6	68	0
SK-6	18.00-19.50	4478454.7	538312.6	67	11
SK-6	19.50-20.00	4478454.7	538312.6	100	21
SK-7	00.00-1.50	4478130.6	537073.3	16	0
SK-7	1.50-3.00	4478130.6	537073.3	21	0
SK-7	3.00-4.50	4478130.6	537073.3	30	0
SK-7	4.50-6.00	4478130.6	537073.3	29	0
SK-7	6.00-7.50	4478130.6	537073.3	41	0
SK-7	7.50-9.00	4478130.6	537073.3	23	0
SK-7	9.00-10.50	4478130.6	537073.3	41	0
SK-7	10.50-12.00	4478130.6	537073.3	33	0
SK-7	12.00-13.50	4478130.6	537073.3	30	0
SK-7	13.50-15.00	4478130.6	537073.3	29	0
SK-7	15.00-16.50	4478130.6	537073.3	31	0

Tablo 19. (Devamı)

SK-7	16.50-18.00	4478130.6	537073.3	29	0
SK-7	18.00-20.00	4478130.6	537073.3	68	16
SK-8	00.00-1.50	4477958.4	538042.0	33	-
SK-8	1.95-3.00	4477958.4	538042.0	21	-
SK-8	3.00-4.50	4477958.4	538042.0	26	-
SK-8	4.50-6.00	4477958.4	538042.0	21	-
SK-8	6.00-7.50	4477958.4	538042.0	32	-
SK-8	7.50-9.00	4477958.4	538042.0	19	-
SK-8	9.00-10.50	4477958.4	538042.0	22	-
SK-8	10.50-12.00	4477958.4	538042.0	23	-
SK-8	12.00-13.50	4477958.4	538042.0	18	-
SK-8	13.50-15.00	4477958.4	538042.0	23	-
SK-8	15.00-16.50	4477958.4	538042.0	15	-
SK-8	16.50-18.00	4477958.4	538042.0	22	-
SK-8	18.00-19.50	4477958.4	538042.0	15	-
SK-8	19.50-20.00	4477958.4	538042.0	38	-
SK-9	00.00-1.50	4477958.4	538042.0	31	-
SK-9	1.95-3.00	4477958.4	538042.0	90	0
SK-9	3.45-4.50	4477958.4	538042.0	57	0
SK-9	4.95-6.00	4477958.4	538042.0	82	0
SK-9	6.00-7.50	4477958.4	538042.0	48	0
SK-9	7.95-9.00	4477958.4	538042.0	43	0
SK-9	9.00-10.50	4477958.4	538042.0	53	0
SK-9	10.50-11.00	4477958.4	538042.0	94	0
SK-9	11.00-13.50	4478130.6	537073.3	51	0
SK-9	13.50-15.00	4478130.6	537073.3	48	0
SK-9	15.00-16.00	4478130.6	537073.3	77	28
SK-9	16.00-17.50	4478130.6	537073.3	67	10
SK-9	17.50-18.50	4478130.6	537073.3	100	15
SK-9	18.50-20.00	4478130.6	537073.3	100	10
SK-10	00.00-1.50	4478073.9	537425.4	21	-
SK-10	1.95-3.00	4478073.9	537425.4	46	-
SK-10	3.00-4.50	4478073.9	537425.4	67	-
SK-10	4.50-6.00	4478073.9	537425.4	67	-
SK-10	6.00-7.50	4478073.9	537425.4	67	13
SK-10	7.50-9.00	4478073.9	537425.4	29	10
SK-10	9.00-10.50	4478073.9	537425.4	37	-
SK-10	10.50-12.00	4478073.9	537425.4	48	-
SK-10	12.00-13.50	4478073.9	537425.4	85	51
SK-10	13.50-15.00	4478073.9	537425.4	67	51
SK-10	15.00-16.00	4478073.9	537425.4	100	94
SK-10	16.00-17.00	4478073.9	537425.4	100	50
SK-10	17.00-18.00	4478073.9	537425.4	100	100
SK-10	18.00-19.00	4478073.9	537425.4	100	86
SK-10	19.00-20.00	4478073.9	537425.4	100	44
SK-11	00.00-1.50	4477759.5	537632.6	14	-
SK-11	1.95-3.00	4477759.5	537632.6	34	-
SK-11	3.45-4.50	4477759.5	537632.6	31	-
SK-11	4.95-6.00	4477759.5	537632.6	64	24

Tablo 19. (Devamı)

SK-11	6.00-7.50	4477759.5	537632.6	33	-
SK-11	7.50-9.00	4477759.5	537632.6	41	-
SK-11	9.00-11.50	4477759.5	537632.6	37	10
SK-11	11.50-12.00	4477759.5	537632.6	94	20
SK-11	12.00-13.50	4477759.5	537632.6	67	40
SK-11	13.50-15.00	4477759.5	537632.6	67	10
SK-11	15.00-16.50	4477759.5	537632.6	67	34
SK-11	16.50-18.00	4477759.5	537632.6	67	25
SK-11	18.00-20.00	4477759.5	537632.6	50	25
SK-12	00.00-1.50	4478281.9	537781.4	27	-
SK-12	1.95-3.00	4478281.9	537781.4	36	-
SK-12	3.45-4.50	4478281.9	537781.4	28	-
SK-12	4.95-6.00	4478281.9	537781.4	28	-
SK-12	6.45-7.50	4478281.9	537781.4	44	-
SK-12	7.95-9.00	4478281.9	537781.4	53	-
SK-12	9.45-10.50	4478281.9	537781.4	48	-
SK-12	10.95-13.00	4478281.9	537781.4	28	13
SK-12	13.00-16.00	4478281.9	537781.4	33	7
SK-12	16.00-19.00	4478281.9	537781.4	52	18
SK-12	19.00-20.00	4478281.9	537781.4	84	30
SK-13	00.00-1.50	4478453.6	537458.1	43	-
SK-13	1.50-3.00	4478453.6	537458.1	53	-
SK-13	3.00-4.50	4478453.6	537458.1	81	71
SK-13	4.50-6.00	4478453.6	537458.1	91	60
SK-13	6.00-7.50	4478453.6	537458.1	67	25
SK-13	7.50-9.00	4478453.6	537458.1	95	49
SK-13	9.00-10.50	4478453.6	537458.1	39	0
SK-13	10.50-12.00	4478453.6	537458.1	81	7
SK-13	12.00-13.50	4478453.6	537458.1	53	0
SK-13	13.50-15.00	4478453.6	537458.1	67	29
SK-13	15.00-16.50	4478453.6	537458.1	67	32
SK-13	16.50-18.00	4478453.6	537458.1	82	35
SK-13	18.00-19.50	4478453.6	537458.1	65	39
SK-13	19.50-20.00	4478453.6	537458.1	98	20
SK-14	00.00-1.50	4477752.5	537249.8	41	-
SK-14	1.95-3.00	4477752.5	537249.8	96	-
SK-14	3.45-4.50	4477752.5	537249.8	44	-
SK-14	4.50-6.00	4477752.5	537249.8	48	-
SK-14	6.45-7.50	4477752.5	537249.8	66	-
SK-14	7.50-9.00	4477752.5	537249.8	42	-
SK-14	9.00-12.00	4477752.5	537249.8	60	-
SK-14	12.45-13.50	4477752.5	537249.8	26	10
SK-14	13.50-15.00	4477752.5	537249.8	34	0
SK-14	15.00-16.50	4477752.5	537249.8	22	0
SK-14	16.50-18.50	4477752.5	537249.8	35	0
SK-14	18.50-20.00	4477752.5	537249.8	43	20

ÖZGEÇMİŞ

İlkokulu ve ortaokulu 1995-2003 yılları arasında Maçka Çatak İlk ve ortaokulu'nda, Lise öğrenimini 2003-2006 yılları arasında Trabzon Maçka Çok Programlı Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Recep Tayip Erdoğan Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Muhasebe ve vergi Uygulamaları Bölümü'nde “Ön Lisans” eğitimi almaya hak kazandı. 2009 yılında yatay geçiş yaparak Karadeniz Teknik Üniversitesinde Ön Lisans eğitimini 10.06.2010 tarihinde tamamladı. 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik mühendisliği Bölümü'nde “Lisans” eğitimi almaya hak kazandı. Lisans eğitimini 10.06.2015 tarihinde tamamladı. 2020 yılında “Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı”nda “Yüksek Lisans” eğitimine devam ediyor.