

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAYBURT KIRKLARTEPE BARAJI EKSEN YERİ VE GÖL ALANININ
KAYA KÜTLE GEÇİRİMLİLİĞİNİN JEOFİZİK VE JEOTEKNİK
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mahmut SARI

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BAYBURT KIRKLARTEPE BARAJI EKSEN YERİ VE GÖL ALANININ
KAYA KÜTLE GEÇİRİMLİLİĞİNİN JEOFİZİK VE JEOTEKNİK
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Mahmut SARI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.05.2019
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aysel ŞEREN

Trabzon 2019

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında
Mahmut SARI Tarafından Hazırlanan

BAYBURT KIRKLARTEPE BARAJI EKSEN YERİ VE GÖL ALANININ
KAYA KÜTLE GEÇİRİMLİLİĞİNİN JEOFİZİK VE JEOTEKNİK
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21/05/2019 gün ve 1805 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA

Üye : Prof. Dr. Aysel ŞEREN

Üye : Prof. Dr. Hakan KARSLI

Üye : Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY

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

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Bayburt Kırklartepe Barajı Eksen Yeri ve Göl Alanının Kaya Kütle Geçirimsizliğinin Jeofizik ve Jeoteknik Yöntemlerle Belirlenmesi” adlı araştırma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tezde kullanılan gerçek veriler Bayburt ili sınırları içerisinde Kırklartepe Baraj alanında K.T.Ü ve Gümüşhane Üniversitesi (G.Ü) Jeofizik Mühendislik bölümlerine ait cihazlar ile alınmıştır.

Bayburt Kırklartepe Baraj alanında yaptıkları jeoteknik çalışmaları bizimle paylaşan Devlet Su İşleri (DSİ) 22. Bölge Müdürlüğü’ne teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, 18.F5114.02.01 kodlu proje kapsamında G.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. Destekleri için G.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Doktora tez konusunun belirlenmesinde, planlamasında ve çalışmalarının yürütülmesinde her türlü bilgi, destek ve değerli görüşlerinden yararlandığım tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Aysel ŞEREN ve G.Ü. Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmaların boyunca bana öneri, destek ve yardımlarını esirgemeyen, tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Hakan KARSLI’ya ve Sayın Doç. Dr. Hakan ERSOY’a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmasının arazi verilerinin toplanması aşamasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN, Arş. Gör. Hilal ALEMDAĞ, Arş. Gör. Bayram Ali TEMEL, Öğr. Gör. Hüseyin KALKAN, Arş. Gör. Tevfik KOÇAK, Jeofizik Müh. Rasim Taylan KARA, Temel SARI, Büşra SARI, Bülent ŞAHİNOĞLU, Ali KURT ve Ahmet Melih KURT’a teşekkürler ediyorum. Çalışma alanının minerolojisi ve petrografisinin değerlendirilmesinde yardımını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER’e ve çalışma alanının deprenselliğinin değerlendirilmesinde yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK’e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamı; varlıkları ve sevgileri ile bana güç veren aileme, kıymetli eşim Kübra SARI’ya ve en değerlimiz kızım Mihra’ya armağan ediyorum.

Mahmut SARI
Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Bayburt Kırklartepe Barajı Eksen Yeri ve Göl Alanının Kaya Kütle Geçirimsizliğinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Aysel ŞEREN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/06/2019

Mahmut SARI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. İnceleme Alanının Konumu.....	2
1.3. Amaç ve Kapsam.....	3
1.4. Literatür İncelemesi.....	4
2. KULLANILAN YÖNTEMLER.....	10
2.1. Sismik Yöntemler.....	10
2.1.1. Sismik Kırılma Yöntemi.....	13
2.1.1.1. Sismik Kırılma Tomografisi (SKT).....	14
2.1.2. Çok Kanallı Yüzey Dalgası (ÇKYD) Analizi.....	17
2.2. Elektrik Özdirenç Yöntemi.....	22
2.2.1. Elektrik Özdirenç Tomografisi (EÖT).....	25
2.3. Yer Radarı Yöntemi (GPR).....	28
2.4. Jeoteknik Çalışmalar.....	40
2.4.1. Geçirimsizlik.....	40
2.4.1.1. Lugeon Deneyi.....	41
2.4.1.2. Enjeksiyon Perde Derinliğinin Hesaplanması.....	45
2.4.2. RQD (Kaya Kalite Göstergesi) ve Eklem Sıklığı.....	46
2.4.3. Kaya Kütlelerinin Bozunma Derecesi.....	47
2.4.4. Schmidt Geri Sıçrama Sertliği.....	48
2.4.5. İstatistiksel Çalışmalar.....	49
2.4.5.1. Basit Regresyon Analizleri.....	50
V	
3. ÇALIŞMA ALANI JEOLojİSİ.....	53
3.1. Kayaç Özellikleri (Kuvars-Mika-Şist).....	56

3.2.	Deprem Durumu	59
3.3.	Hidroloji	60
4.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	61
4.1.	Sismik Çalışmalar	62
4.1.1.	Sismik Verilerin Toplaması, Değerlendirilmesi ve Elde Edilen Kesitler	62
4.2.	Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) Çalışmaları.....	108
4.2.1.	EÖT Verilerin Toplanması, Değerlendirilmesi ve Elde Edilen Kesitler.....	108
4.3.	Yer Radarı (GPR) Çalışmaları.....	116
4.3.1.	GPR Verilerinin Toplanması, Değerlendirilme ve Elde Edilen Kesitler	116
4.4.	Sondaj Çalışmaları	125
4.4.1.	SK_1 Nolu Sondaj Kuyusu	125
4.4.2.	SK_2 Nolu Sondaj Kuyusu	126
4.4.3.	SK_3 Nolu Sondaj Kuyusu	126
4.4.4.	SK_4 Nolu Sondaj Kuyusu	126
4.4.5.	SK_5 Nolu Sondaj Kuyusu	127
4.4.6.	SK_6 Nolu Sondaj Kuyusu	127
4.4.7.	YSK_1 Nolu Sondaj Kuyusu.....	127
4.4.8.	YSK_2 Nolu Sondaj Kuyusu.....	127
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	128
5.1.	Basit Regresyon Analizleri.....	128
5.1.1.	Lugeon ile RQD Arasındaki İlişki	128
5.1.2.	Lugeon ile Schmidt Sertliği Arasındaki İlişki	130
5.1.3.	Lugeon ile P-Dalga Hızı Arasındaki İlişki	132
5.1.4.	Lugeon ile Özdirenç Arasındaki İlişki	134
5.1.5.	Lugeon ile S-Dalga Hızı Arasındaki İlişki	136
5.1.6.	Lugeon ile Derinlik Arasındaki İlişki	138
5.1.7.	S-Dalga Hızı ile P-Dalga Hızı Arasındaki İlişki	140
5.1.8.	Eklem Sıklığı ile RQD Arasındaki İlişki	141
5.2.	Eşitliklerin Performanslarının Değerlendirilmesi.....	142
5.3.	Baraj Eksen Yeri Bölgelendirme Çalışmaları	145
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	163
7.	KAYNAKLAR	168
8.	EKLER.....	185



Doktora Tezi

ÖZET

BAYBURT KIRKLARTEPE BARAJI EKSEN YERİ VE GÖL ALANININ KAYA KÜTLE GEÇİRİMLİLİĞİNİN JEOFİZİK VE JEOTEKNİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Mahmut SARI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Aysel ŞEREN
2019, 184 Sayfa, 19 Sayfa Ek

Son yıllarda inşa edilen büyük mühendislik yapıları içerisinde barajlar, ön fizibilite çalışmalarının titizlikle ele alınması, teknik ve ekonomik yapılabirliklerinin ciddi bir şekilde değerlendirilmesi ve en uygun mühendislik çözümlerinin getirilmesi gereken önemli mühendislik yapılarındandır. Bu nedenle baraj inşası öncesinde, özellikle eksen yeri ve göl alanındaki kaya kütlelerinin geçirimsizliği belirlenmesi gereken en önemli fiziksel parametredir. Bu tez çalışmasında, Bayburt-Kırklartepe baraj alanındaki kaya kütlelerinin geçirimsizliğinin yerinde belirlenmesinde, uygulaması zaman alıcı ve pahalı olan sondaj çalışmaları ve basınçlı su testleri (BST) en aza indirilip saha karakteristiği ve proje özellikleri dikkate alınarak, kaya kütlelerinin geçirimsizliği daha düşük maliyetli, inceleme alanının tamamını kapsayacak şekilde veri toplayabilen ve daha pratik ölçüm yapılabir jeofizik yöntemlerden elde edilen veriler yardımıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, yerinde yapılan BST testlerinden elde edilen Lugeon (LU) değerleri ile jeofizik ve jeoteknik parametreler karşılaştırılarak kaya kütlelerinin geçirimsizliğini belirlemeye yönelik deneysel eşitlikler belirlenmiştir. Bu eşitlikler arasında kaya kütlelerinin geçirimsizliğini etkileyen parametrelerden Schmidt sertliği, P ve S dalga hızları (V_p, V_s) ve özdirenç değerleri ile Lugeon değerleri dikkate alınarak incelenen baraj alanındaki metamorfik kaya kütlelerine ait geçirimsizlik sınıflaması yapılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler ve bölgelendirmeler sonucunda, Lugeon geçirimsizlik sınıf aralıkları dikkate alınarak, oluşturulan geçirimsizlik sınıflamasında litolojik derinlik, Schmidt sertliği, P dalga hızı, S dalga hızı ve özdirenç değerleri karşılaştırılarak inceleme alanında yayılım gösteren metamorfik kaya kütlelerinin geçirimsiz özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel analizlerden en iyi performans gösteren eşitliklerin LU- V_p ve LU- V_s arasında olduğu görülmüştür. Son olarak, Pulur metamorfik kaya kütleleri Lugeon sınıf aralıklarına göre geçirimsiz ve çok geçirimsiz değer aralıklarında sınırlandırılarak geçirimsiz kaya kütleleri için; P dalga hızı, S dalga hızı ve özdirenç değerleri sırasıyla 2000-3500 m/s, 950-1300 m/s ve 300-950 Ohm.m arasında, çok geçirimsiz kaya kütleleri için; 950-2000 m/s, 550-950 m/s ve 10-300 Ohm.m arasında değıştiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırklartepe Barajı, Geçirimsizlik, Jeofizik ve Jeoteknik Yöntem

PhD. Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF THE ROCK MASS PERMEABILITY OF BAYBURT KIRKLARTEPE
DAM AXIS LOCATION AND LAKE AREA BY USING GEOPHYSICAL AND
GEOTECHNICAL METHODS

Mahmut SARI

Karadeniz Technical University
Institute of Science and Technology
Department of Geophysical Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Aysel ŞEREN
2019, 184 Pages, 19 Pages Appendix

Among the major engineering structures built in recent years, dams are one of the important engineering structures that need to be meticulously handled with pre-feasibility studies and seriously evaluated in terms of their technical and economic feasibility to come up with the most appropriate engineering solutions. Therefore, determination of permeability of rock masses in axis location and lake area is the most important parameter before construction. In this study, it is aimed to determine the permeability of the rock mass in the Bayburt-Kırklartepe dam site by getting help from the data obtained from the geophysical methods that can collect data covering the entire area of the rock mass with lower costs and less permeability of the rock mass as well as considering the field characteristics and project features and minimizing the use of drilling operations and pressurized water tests (BST) which are difficult and costly to implement. In this context, the empirical equations for determining the permeability of the rock mass have been proposed by comparing the Lugeon values obtained from on-site BST tests and geophysical and geotechnical parameters. Among these equations, Schmidt hardness, P and S wave velocity (V_p , V_s) and resistivity values, and Lugeon values were taken into consideration as parameters affecting the permeability of rock mass, and the permeability classification of metamorphic rock mass was formed. As a result of the statistical evaluations and zoning for dam axis location, it was determined that the metamorphic rock mass spreading in the study area has a permeability characteristic by comparing lithological depth, Schmidt hardness, V_p , V_s and resistivity values in the permeability classification which was formed by considering the Lugeon permeability class intervals. The best performing equations in the statistical analyses were found between LU- V_p and LU- V_s . Finally, Pular metamorphic rock mass was limited to nonpermeable and high-permeable value ranges according to Lugeon class ranges. V_p , V_s and resistivity values were found between; 2000-3500 m/s, 950-1300 m/s and 300-950 Ohm.m for nonpermeable rock mass, and 950-2000 m/s, 550-950 m/s and 10-300 Ohm.m for high-permeable rock mass, respectively.

Key Words: Kırklartepe Dam, Permeability, Geophysical and Geotechnical Methods.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Sistematik olarak belirlenen sondaj noktaları ve tespit edilemeyen yeraltı yapıları	2
Şekil 1.2. İnceleme alanı yer belirleme haritası.....	3
Şekil 2.1. a) P dalgasının yayılım doğrultusu ve partikül hareketi b) S dalgasının yayılım doğrultusu ve partikül hareketi (Allen, 2007).....	12
Şekil 2.2. a) Love ve Rayleigh dalgası yayılım doğrultusu ve partikül hareketleri, b) Rayleigh dalga yayılımının eliptik parçacık hareketi (Van Der Hilst 2004)	12
Şekil 2.3. a) Dalga cephesi ve ışın arasındaki ilişki, b) Huygens prensibine göre düzlem dalga yayılımı, c) Fermat kanunu, d) Snell yasası.....	13
Şekil 2.4. a) SKT yönteminde kullanılan kaynak ve jeofonların yerleşim düzeni, (Said vd., 2015) b) Çalışma alanı kaynak noktaları ölçüm düzeni.....	15
Şekil 2.5. a) Sismik kayıta ilk varışların piklenmesi, b) Hesaplanan ile gözlenen eğrinin karşılaştırılması, c) İki boyutlu sismik hız-derinlik kesiti.....	16
Şekil 2.6. ÇKYD yönteminin veri toplama uygulamasının gösterimi (Park vd., 2004'den düzenlenerek).....	17
Şekil 2.7. ÇKYD analizi veri işlem adımları.....	21
Şekil 2.8. Arazi ölçü sistemi. A ve B akım elektrotları ve M ve N gerilim elektrotları (Robinson ve Coruh, 1988'den düzenlenmiştir).....	23
Şekil 2.9. Çeşitli kayaç ve materyallerin özdirenç değer aralıkları (Palacky, 1987).....	25
Şekil 2.10. Çok elektrotlu Wenner-Schlumberger ve Wenner dizilimi	26
Şekil 2.11. Özdirenç ölçümlerinin yorumda kullanılan 1B,2B ve 3B modeller.....	27
Şekil 2.12. İki boyutlu ölçümlerde elde edilen verilerin blok diyagramı (Look, 2004).....	28
Şekil 2.13. a) GPR yöntemi çalışma prensibi b) Tüm yansımaları içeren GPR kesiti.....	29
Şekil 2.14. Elektromanyetik dalga yayılımı (Daniels, 2004).....	29
Şekil 2.15. Maxwell denklemlerinin şematik gösterimi (Annan, 2001)	31
Şekil 2.16. a) Sabit aralıklı anten ile uygulanan GPR ölçümü, b) ODN metodu ile uygulanan GPR ölçümü, c) GAYK metodu ile uygulanan GPR ölçümü (Reynolds, 1997) d) Karşılıklı kuyular arası sıfır ve çoklu ofset durumlarında radar tomografi ölçümleri (Kayen vd., 2002; Annan, 2009).....	36

Şekil 2.17.	Örnek bir GPR hattı ve uygulanan veri işlem adımları. (a) Ham veri. (b) Sıfır zaman düzeltmesi (c) Dewow (d) Genlik kazanç işlemi. (e) Background removal.(f) Band geçişli süzgeç. (g) Göç işlemi	39
Şekil 2.18.	Arazide sondaj ve BST deneyi	41
Şekil 2.19.	Lugeon deneyinin yapılışı (Şekercioğlu, 2007)	42
Şekil 2.20.	Tij ve maşonlardaki yük kaybını gösteren Abak (Şekercioğlu, 2007)	43
Şekil 2.21.	Basıncılı su deneylerinde elde edilen eğri tipleri yorumları (Albayrak, 1975).....	45
Şekil 2.22.	Enjeksiyon perde derinliğinin hesaplanması (Şekercioğlu, 2007)	46
Şekil 2.23.	Schmidt çekici genel kısımları ve ölçüm düzeneği	49
Şekil 2.24.	Derinliğe göre Lugeon değerlerine ait dağılım grafiği	50
Şekil 2.25.	Farklı r, katsayılarına göre değişkenler arasındaki ilişkinin şekilsel görünümü	51
Şekil 3.1.	Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999) ve çalışma alanının yaklaşık konumu	53
Şekil 3.2.	Çalışma alanı baraj eksen yeri ve genel jeolojisi (MTA 1985'den değiştirilerek hazırlanmıştır)	55
Şekil 3.3.	İnceleme alanında alınan MS nolu kuvars-mika şistlerin mineral birliktelikleri ve dokusal özellikleri. (a) Kayaçta gözlenen S1-S2 deformasyon yapıları. (b) Kalıntı feldispat mineralleri ve bu minerallerin kenar zonları boyunca gelişen yeniden kristallenme yapılarının görünümü. (c) Kristalize kuvars+muskovit+kil minerallerinin birlikteliği ve rekrystalize mineral inklüzyonları içeren kalıntı alkali feldispat porfiroklastı. (d) Örneklerde gözlenen makaslama deformasyonu ve kalıntı porfiroklastlar ile kalıntı mineral zonları boyunca yeniden kristallenme ile oluşan kuvars mineralleri (Mu: Muskovit, Sr: Serizit, Rk: Rekrystalize kuvars, kayaca ait mikro görüntüler çapraz nikol altında alınmıştır).....	58
Şekil 3.4.	1970-2019 yılları arasında depremlerin büyüklük değerleri ve oluştuğu alanlar (mavi renk içerisine alınan bölge çalışma alanını göstermektedir).....	59
Şekil 3.5.	Çalışma alanının Türkiye deprem tehlike haritasındaki değeri.....	60
Şekil 4.1.	Baraj eksen yeri ve göl alanında alınan ölçüm hatları ve sondaj noktaları (a) Kazı öncesi göl alanı ve baraj eksen yerinde alınan hatlar (b) Kazı öncesi baraj eksen yerinde alınan paralel hatlar (mavi renkte belirtilen) (c) Kazı sonrası alınan elektrik ve sismik hatlar.....	61
Şekil 4.2.	Baraj eksen yerindeki (a) kazı öncesi (b) kazı sonrası çalışma alanı.....	62
Şekil 4.3.	Arazi çalışmalarından görüntüler	63
Şekil 4.4.	a) SH_1_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V _s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	67

Şekil 4.5.	SH_1_1 profiline ait SKT kesiti.....	67
Şekil 4.6.	a) SH_1_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	68
Şekil 4.7.	SH_1_2 profiline ait SKT kesiti.....	68
Şekil 4.8.	a) SH_1_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	69
Şekil 4.9.	SH_1_3 profiline ait SKT kesiti.....	69
Şekil 4.10.	a) SH_1_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	70
Şekil 4.11.	SH_1_4 profiline ait SKT kesiti.....	70
Şekil 4.12.	a) SH_2_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	71
Şekil 4.13.	SH_2_1 profiline ait SKT kesiti.....	71
Şekil 4.14.	a) SH_2_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	72
Şekil 4.15.	SH_2_2 profiline ait SKT kesiti.....	72
Şekil 4.16.	a) SH_2_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	73
Şekil 4.17.	SH_2_3 profiline ait SKT kesiti.....	73
Şekil 4.18.	a) SH_2_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	74
Şekil 4.19.	SH_2_4 profiline ait SKT kesiti.....	74
Şekil 4.20.	a) SH_3_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	75
Şekil 4.21.	SH_3_1 profiline ait SKT kesiti.....	75
Şekil 4.22.	a) SH_3_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	76
Şekil 4.23.	SH_3_2 profiline ait SKT kesiti.....	76
Şekil 4.24.	a) SH_3_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi.....	77
Şekil 4.25.	SH_3_3 profiline ait SKT kesiti.....	77

Şekil 4.26.	a) SH_3_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	78
Şekil 4.27.	SH_3_4 profiline ait SKT kesiti	78
Şekil 4.28.	a) SH_4_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	79
Şekil 4.29.	SH_4_1 profiline ait SKT kesiti	79
Şekil 4.30.	a) SH_4_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	80
Şekil 4.31.	SH_4_2 profiline ait SKT kesiti	80
Şekil 4.32.	a) SH_4_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	81
Şekil 4.33.	SH_4_3 profiline ait SKT kesiti	81
Şekil 4.34.	a) SH_4_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	82
Şekil 4.35.	SH_4_4 profiline ait SKT kesiti	82
Şekil 4.36.	a) SH_5_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	83
Şekil 4.37.	SH_5_1 profiline ait SKT kesiti	83
Şekil 4.38.	a) SH_5_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	84
Şekil 4.39.	SH_5_2 profiline ait SKT kesiti	84
Şekil 4.40.	a) SH_5_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	85
Şekil 4.41.	SH_5_3 profiline ait SKT kesiti	85
Şekil 4.42.	a) SH_5_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	86
Şekil 4.43.	SH_5_4 profiline ait SKT kesiti	86
Şekil 4.44.	a) SH_6_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	87
Şekil 4.45.	SH_6_1 profiline ait SKT kesiti	87

Şekil 4.46.	a) SH_6_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	88
Şekil 4.47.	SH_6_2 profiline ait SKT kesiti	88
Şekil 4.48.	a) SH_6_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	89
Şekil 4.49.	SH_6_3 profiline ait SKT kesiti	89
Şekil 4.50.	a) SH_6_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	90
Şekil 4.51.	SH_6_4 profiline ait SKT kesiti	90
Şekil 4.52.	a) SH_7_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	91
Şekil 4.53.	SH_7_1 profiline ait SKT kesiti	91
Şekil 4.54.	a) SH_7_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	92
Şekil 4.55.	SH_7_2 profiline ait SKT kesiti	92
Şekil 4.56.	a) SH_7_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	93
Şekil 4.57.	SH_7_3 profiline ait SKT kesiti	93
Şekil 4.58.	a) SH_7_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	94
Şekil 4.59.	SH_7_4 profiline ait SKT kesiti	94
Şekil 4.60.	a) SH_8_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	95
Şekil 4.61.	SH_8_1 profiline ait SKT kesiti	95
Şekil 4.62.	a) SH_8_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	96
Şekil 4.63.	SH_8_2 profiline ait SKT kesiti	96
Şekil 4.64.	a) SH_8_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	97
Şekil 4.65.	SH_8_3 profiline ait SKT kesiti	97

Şekil 4.66.	a) SH_8_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	98
Şekil 4.67.	SH_8_4 profiline ait SKT kesiti	98
Şekil 4.68.	a) SH_9_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	99
Şekil 4.69.	SH_9_1 profiline ait SKT kesiti	99
Şekil 4.70.	a) SH_9_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	100
Şekil 4.71.	SH_9_2 profiline ait SKT kesiti	100
Şekil 4.72.	a) SH_10_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	101
Şekil 4.73.	SH_10_1 profiline ait SKT kesiti	101
Şekil 4.74.	a) SH_11_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	102
Şekil 4.75.	SH_11_1 profiline ait SKT kesiti	102
Şekil 4.76.	a) SH_12_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	103
Şekil 4.77.	SH_12_1 profiline ait SKT kesiti	103
Şekil 4.78.	a) SH_13 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	104
Şekil 4.79.	SH_13 profiline ait SKT kesiti	104
Şekil 4.80.	a) SH_14 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	105
Şekil 4.81.	SH_14 profiline ait SKT kesiti	105
Şekil 4.82.	a) SH_15 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	106
Şekil 4.83.	SH_15 profiline ait SKT kesiti	106
Şekil 4.84.	a) SH_16 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) $1B-V_s$ hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi	107
Şekil 4.85.	SH_16 profiline ait SKT kesiti	107
Şekil 4.86.	Elektrik Özdirenç yöntemi arazi çalışmaları	108

Şekil 4.87.	Baraj eksen yerine dik alınan EH_1-EH_5 arasındaki EÖT kesitleri.....	110
Şekil 4.88.	Baraj eksen yerine dik alınan EH_6-EH_9 arasındaki EÖT kesitleri.....	111
Şekil 4.89.	Baraj eksen yerine paralel alınan EH_13-EH_16 arasındaki EÖT kesitleri.....	112
Şekil 4.90.	Baraj göl alanında alınan EH_10-EH_12 arasındaki EÖT kesitleri.....	113
Şekil 4.91.	Kazı sonrası baraj eksen yerinde alınan EH_17-EH_20 arasındaki EÖT kesitleri.....	114
Şekil 4.92.	Kazı sonrası baraj eksen yerinde alınan EH_21-EH_23 arasındaki EÖT kesitleri.....	115
Şekil 4.93.	GPR arazi çalışmaları ve 100 MHz korumasız anten düzeneği.....	116
Şekil 4.94.	RH_1 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri.....	118
Şekil 4.95.	RH_2 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri.....	119
Şekil 4.96.	RH_3 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri.....	120
Şekil 4.97.	RH_4 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri.....	121
Şekil 4.98.	RH_5 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri.....	122
Şekil 4.99.	RH_6 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri.....	123
Şekil 4.100.	RH_7 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri.....	124
Şekil 4.101.	Baraj eksen yeri sondaj bilgileri.....	125
Şekil 5.1.	Lugeon ile RQD arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	129
Şekil 5.2.	Lugeon sınıflama değerlerine göre RQD değer aralıkları.....	130
Şekil 5.3.	Lugeon ile Schmidt sertliği arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	131
Şekil 5.4.	Lugeon sınıflama değerlerine göre Schmidt sertliği değer aralıkları.....	132
Şekil 5.5.	Lugeon ile P-Dalga Hızı arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	133
Şekil 5.6.	Lugeon sınıflama değerlerine göre P-Dalga hızı değer aralıkları değer aralıkları.....	134
Şekil 5.7.	Lugeon ile Özdirenç arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	135
Şekil 5.8.	Lugeon sınıflama değerlerine göre Özdirenç değer aralıkları.....	136
Şekil 5.9.	Lugeon ile S-dalga hızı arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	137
Şekil 5.10.	Lugeon sınıflama değerlerine göre S dalga hızı değer aralıkları.....	138
Şekil 5.11.	Lugeon ile Derinlik arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	139
Şekil 5.12.	Lugeon sınıflama değerlerinin derinlikle değişim aralığı.....	139

Şekil 5.13.	S dalga hızı ile P dalga hızı arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	141
Şekil 5.14.	RQD ile eklem sıklığı arasındaki basit regresyon ilişkisi	142
Şekil 5.15.	Ölçülen ve tahmin edilen Lugeon (LU) ilişkisi (mavi çizgi ile gösterilen).....	144
Şekil 5.16.	Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre litoloji bölgelendirmesi	150
Şekil 5.17.	Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre RQD % bölgelendirmesi	151
Şekil 5.18.	Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre eklem sıklığı bölgelendirmesi	152
Şekil 5.19.	Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre Schmidt sertliği bölgelendirmesi	153
Şekil 5.20.	Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre Lugeon bölgelendirmesi.....	154
Şekil 5.21.	Baraj eksen yerinde sismik kırılma ölçümlerine göre V_p hızı bölgelendirmesi	155
Şekil 5.22.	Baraj eksen yerinde ÇKYD ölçümlerine göre V_s hızı bölgelendirmesi	156
Şekil 5.23.	Baraj eksen yerinde elektrik özdirenç ölçümlerine göre Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen özdirenç bölgelendirmesi	157
Şekil 5.24.	Baraj eksen yerinde elektrik özdirenç ölçümlerine göre Wenner dizilimi ile elde edilen özdirenç bölgelendirmesi.....	158
Şekil 5.25.	Çalışma alanında belirlenen hatlardan elde edilen GPR kesitlerinin (100 MHz lik) ölçü konumlarına göre yerleştirilmesi sonucu elde edilen görünüm.....	159
Şekil 5.26.	Çalışma alanında belirlenen hatlardan elde edilen GPR kesitlerinin (25 MHz lik) ölçü konumlarına göre yerleştirilmesi sonucu elde edilen görünüm.....	160

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. ÇKYD çalışmalarında önerilen parametre değerleri (Park vd., 2004).....	19
Tablo 2.2. Zemin türlerinin sismik hızları (Keçeli, 2011).....	22
Tablo 2.3. Bazı jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri. (n/a bu malzemeler için bir değer olmadığını ifade etmektedir), (Wilchek, 2000).	32
Tablo 2.4. Yaklaşık olarak kullanılan merkez frekansa karşı karşılık gelen ölçüm aralığı ve maksimum ve minimum nüfuz derinliği.....	33
Tablo 2.5. Farklı yeraltı ortamlarının bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısı ϵ_r , hız V, elektrik iletkenlik σ ve sönümlenme α değerleri (Leckebush, 2003).....	34
Tablo 2.6. Çeşitli jeolojik malzemelerin hidrolik iletkenlik ve geçirimsizlik değer aralıkları (Singhal ve Gupta, 1999)	40
Tablo 2.7. Kayaçların LU (Lugeon, 1933) ve K birimine göre geçirimsizlik sınıflaması.	44
Tablo 2.8. Deere (1964)'nin RQD sınıflandırması ve ISRM (2007)'in eklem sıklığı sınıflandırması	47
Tablo 2.9. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 2007).....	48
Tablo 2.10. Karpuz ve Paşamehmetoğlu (1997)'nin Schmidt sertliğine göre bozunma derecesi	48
Tablo 2.11. Araştırmacılar tarafından geçirimsizlik analizde kullanılan eşitlikler	50
Tablo 4.1. Sismik çalışmalar veri toplama parametreleri.....	64
Tablo 4.2. GPR ölçüleri alınırken seçilen ölçü parametreleri.....	117
Tablo 5.1. Lugeon (LU) ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri.....	129
Tablo 5.2. Lugeon (LU) ile Schmidt sertliği arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri.....	131
Tablo 5.3. Lugeon (LU) ile P-Dalga Hızı arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri	133
Tablo 5.4. Lugeon (LU) ile Özdirenç arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri	135
Tablo 5.5. Lugeon (LU) ile S dalga hızı arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri	137
Tablo 5.6. Lugeon (LU) ile Derinlik (d) arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri	138

Tablo 5.7.	S-Dalga Hızı ile P-Dalga Hızı arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri	140
Tablo 5.8.	Eklem Sıklığı (F) ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri	141
Tablo 5.9.	Geçirimsizlik (Lugeon) değerlerinin dolaylı olarak belirlenmesi için önerilen eşitliklere ait performans indeksleri	143
Tablo 5.10.	Metamorfik kaya kütlesi ve alüvyon zona ait geçirimsizlik sınıflaması.....	161



SEMBOLLER DİZİNİ

$A(x,w)$: Genlik Spektrum
\bar{B}	: Manyetik akı yoğunluğu
c	: Işığın Hızı
c_w	: Frekansa Bağlı Faz Hızı
ÇKYD	: Çok Kanallı Yüzey Dalgası
ϵ_r	: Bağlı Dielektrik Sabit
ϵ_0	: Serbest Havanın Elektriksel Geçirgenliği
E	: Young modülü
\bar{E}	: Elektrik alan şiddet vektörü
EÖT	: Elektrik Özdirenç Tomografi
ΔV	: Gerilim Farkı
d_x	: Jeofon aralığı
\bar{D}	: Elektrik yer değiştirme vektörü
Φ	: Faz Kayması
f	: Frekans
GAYK	: Geniş Açılı Yansıma ve Kırılma
H	: Yeraltı Suyundan Manometreye Kadar olan mesafe
\bar{H}	: Manyetik alan yoğunluğu
I	: Akım
I_{ik}	: i 'inci hücredeki k 'inci ışının ışın yolu
\bar{J}	: Elektrik akım yoğunluğu vektörü
k	: Elektrotların Konumuna Bağlı Geometrik Faktör
k	: Dalga Sayısı
K	: Hidrolik İletkenlik Katsayısı
LU	: Lugeon
λ	: Dalga boyu
μ	: Sıkışmazlık modülü
μ_r	: Manyetik Geçirgenlik

N	: Sismik Kayıtçı Kanallarının Toplam Sayısı
ODN	: Ortak Derinlik Noktası
P	: Kayıp Faktörü
σ	: İletkenlik
P_{eff}	: Deney Zonundaki Gerçek Basınç
P_m	: Manometrede Okunan Basınç
P_c	: Meydana gelen yük kaybı
ρ_a	: Görünür Özdirenç
ρ	: Yoğunluk
$P(x,w)$: Faz Spektrumu
σ	: Poisson oranı
q	: Elektrik alan yükü yoğunluğu
RQD	: Kaya kalite göstergesi
$RMSE$: Karekök ortalama hata payı
SKT	: Sismik Kırılma Tomografisi
t	: t-testi
t_i	: Gözlenen Seyahat Zamanı
u_k	: Yavaşlık
V_p	: P Dalga Hızı
V_s	: S Dalga Hızı
V_m	: Radyo Dalgalarının Hızı
VAF	: Values account for
w	: Radyan Cinsinden Frekans
x	: Uzaklık
Z_{max}	: En Büyük Araştırma Derinliği

1. GENEL BİLGİLER

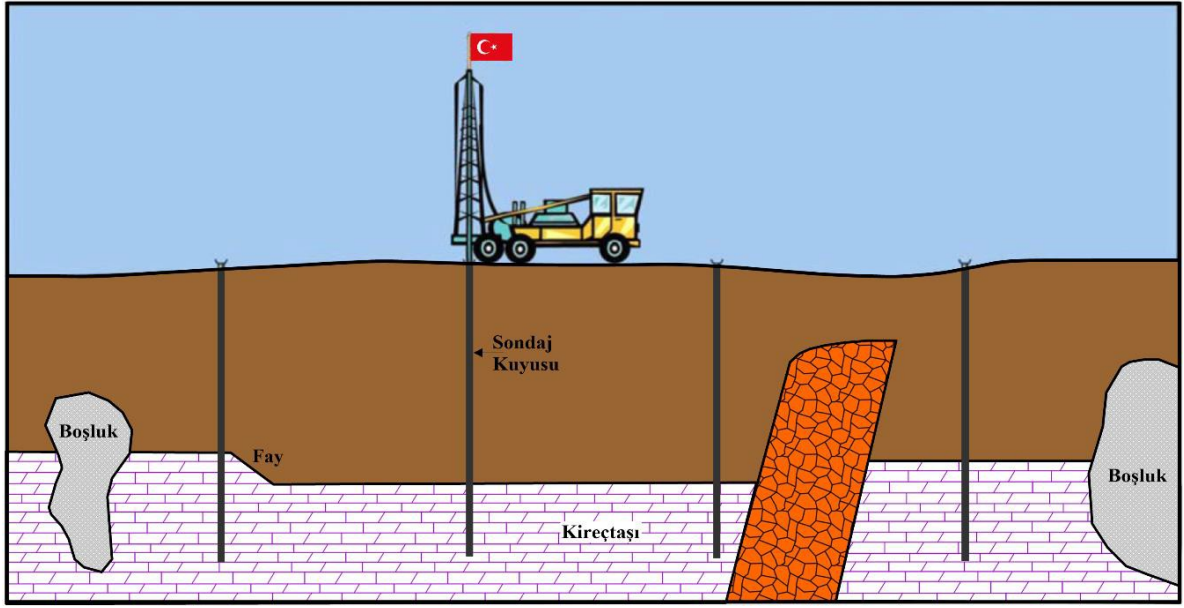
1.1. Giriş

Yaşam kaynağı suyu denetim altına almak, insanoğlunun geçmişten günümüze temel sorunlarından biri olmuştur. Bu denetimi sağlamak için inşa edilen barajlar; sellerden korunmak, yerleşim yerlerine içme suyu sağlamak, enerji üretmek, ırmakların yönünü değiştirmek ve tarım arazilerini sulamayı sağlayan en önemli yapılardandır. Bu bağlamda ülkemizde 1954-2002 yılları arasında 276, 2002-2017 yılları arasında ise 451 baraj ve/veya gölet tamamlanmıştır. Planlama, proje ve inşaat aşamasında bulunan 727 baraj ve/veya gölet ise 2018-2023 yılları arasında tamamlanması planlanmaktadır (URL-1, 2018). Bu istatistikler, bizlere ülkemizdeki baraj yatırım harcamalarının toplam yatırım ödenekleri içerisindeki payının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla baraj yatırımlarının titizlikle ele alınması, önceliklerin belirlenmesi, alternatifler arasında teknik ve ekonomik yapılabilirliklerinin ciddi bir biçimde değerlendirilmesi, en uygun mühendislik çözümlerinin getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda baraj gibi mühendislik yapılarının inşasından önce planlama aşamasında, yapıların kurulacağı alanın geçirimsizlik, duraylılık, taşıma gücü ve kaya kütle deformasyonu gibi mühendislik özelliklerini incelemek baraj projelerinin en önemli safhalarını oluşturmaktadır. Baraj gibi mühendislik yapılarının asıl amacı, kısmen geçirimsiz bir ortam oluşturarak gövde arkasında suyu biriktirmektir. Bu nedenle eksen yeri ve göl alanındaki kaya veya zemin kütlelerinin geçirimsizliği belirlenmesi gereken en önemli parametredir.

Kaya kütlelerinin geçirimsizliği, genellikle açılan sondaj kuyularında yapılan yerinde deneyler (basınçlı su deneyi) ile, zemin kütlelerinin geçirimsizliği ise sondaj kuyularında uygulanan pompaj deneyleri ile belirlenmektedir. Sondaj çalışmalarının yüksek maliyetlerde olması sebebi ile açılan araştırma sondajları sayısı sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle çalışma alanlarında bulunan jeolojik istifin derinlikle değişimi ve yanal litolojik yayılımı ayrıntılı bir şekilde ortaya koyulamamaktadır. Bu durum Şekil 1.1'de verilen fotoğrafla özetlenmiş olup, yetersiz sondaj çalışmaları neticesinde yeraltındaki çeşitli jeolojik yapılar (faylar, karstik boşluklar veya farklı formasyonlar) belirlenmemektedir.

Büyük bütçeler ayrılarak planlanan baraj projelerinde hataya mahal verecek bir durumunun söz konusu olmaması gerekmektedir. Dolayısıyla bu projelerin, saha

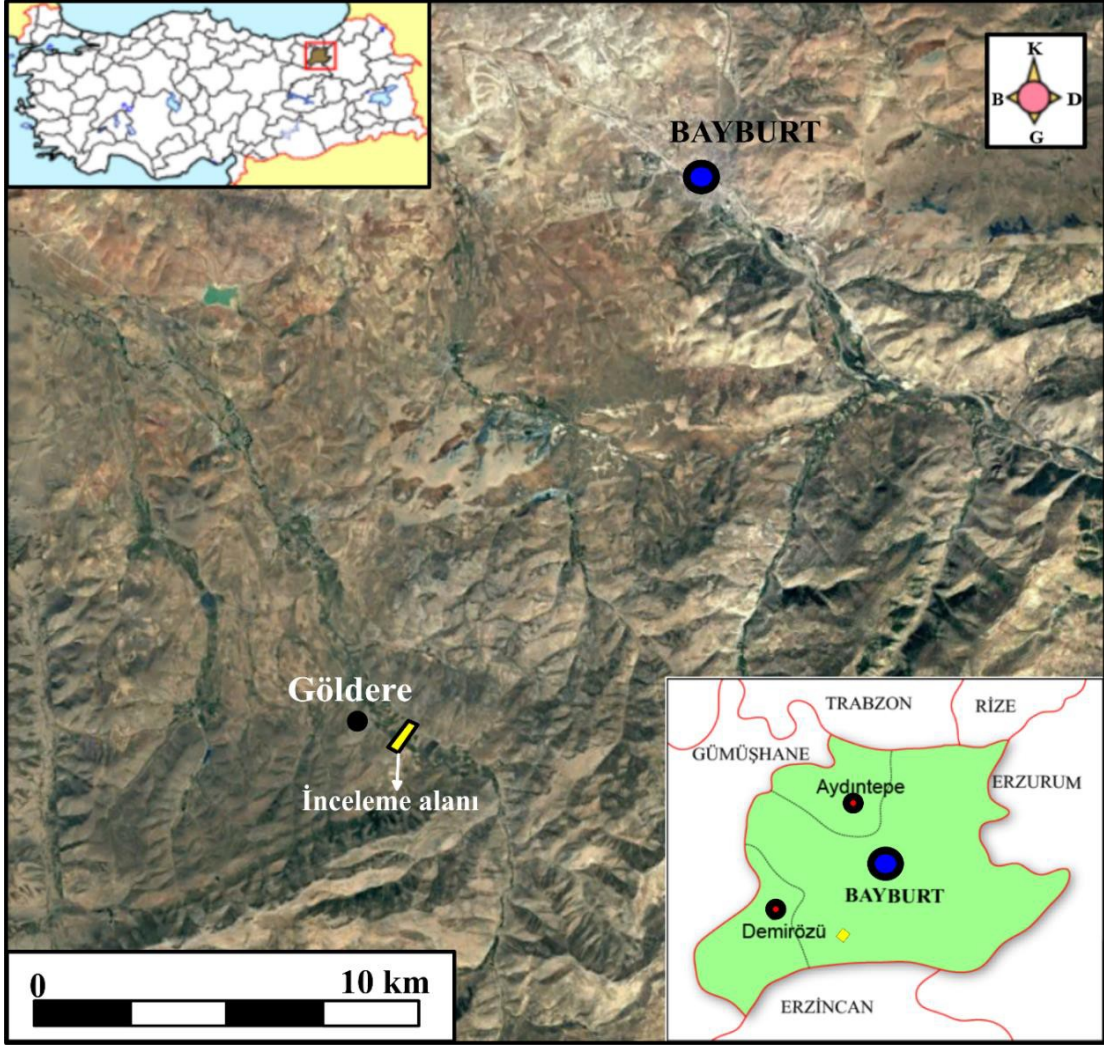
karakterizasyonuna yönelik uygulanacak jeoteknik çalışmalara ve çalışma alanının genelini tanımlayacak şekilde bilgi verebilen güvenilirliği artıracak jeofizik çalışmalara ihtiyacı vardır. Bu çalışmalar ile mühendislik problemlerinin çözümünde; sığ yeraltı yapısı, elastik-dinamik zemin özellikleri, tabakaların kalınlıkları, derinlikleri, iletkenlikleri, sismik hızları, öz dirençleri, kırık-çatlak sistemleri, tektonik oluşumların ve örtülü fayların konumları, yeraltı suyu seviyesi, jeolojik temel ve sağlam zemin derinliği belirlenebilmektedir.



Şekil 1.1. Sistematically belirlenen sondaj noktaları ve tespit edilemeyen yeraltı yapıları

1.2. İnceleme Alanının Konumu

Kırklartepe barajı; Bayburt ili, merkez ilçesi, Göldere köyünün yaklaşık 850 m güneydoğusunda Sarıhan (Haho) Deresi üzerinde yer almaktadır (Şekil 1.2). İnceleme alanı, 40.125735° kuzey enlemleri ile 40.119465° doğu boylamları arasında yer almakta olup, 1/25000 ölçekli Trabzon H44-d1, d2, d3, d4 topografik haritalarında bulunmaktadır.



Şekil 1.2. İnceleme alanı yer belirleme haritası

1.3. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, inceleme alanındaki kaya kütlelerinin geçirirliiliğinin yerinde belirlenmesinde uygulanan zor ve pahalı olan sınırlı sondaj çalışmaları ve basınçlı su testleri (BST) en aza indirilip saha karakteristiği ve proje özellikleri dikkate alınarak, kaya kütlelerinin geçirirliiliği daha düşük maliyetli, inceleme alanının tamamını kapsayacak şekilde veri toplayabilen ve daha pratik ölçüm alım kolaylığı sağlayan jeofizik yöntemlerden elde edilen veriler yardımıyla belirlenip, geçirirliilik (Lugeon) testleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda jeofizik ve jeoteknik parametrelerden elde edilecek veriler karşılaştırılarak kullanımı kolay bir geçirirliilik sınıflaması önerilecektir.

Bu amaç doğrultusunda; Kırklartepe barajı eksen yeri ve göl alanındaki kaya kütlelerinin geçirimsizlik özelliklerini belirlemek için jeofizik uygulamalardan; sismik kırılma tomografi (SKT), çok kanallı yüzey dalgası (ÇKYD), elektrik özdirenç tomografi (EÖT) ve yer radarı (GPR) yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, baraj eksen yerinde açılan temel sondaj kuyularında yapılan BST ve sondaj karotlarından belirlenen kaya kalite göstergesi (RQD), eklem sıklığı ve Schmidt sertliği değerleri belirlenmiştir. Belirlenen jeofizik ve jeoteknik parametreler dikkate alınarak baraj eksen yerinde 2 boyutlu bölgelendirme profilleri (RQD, eklem sıklığı, Schmidt sertliği, Lugeon, P-S dalga hızları ve özdirenç) oluşturulmuş ve kaya kütlelerinin derinlikle değişimi incelenmiştir. Elde edilen bütün parametreler birbirleriyle ilişkilendirilerek baraj eksen yeri ve göl alanının geçirimsizlik sınıflaması oluşturulmuştur.

1.4. Literatür İncelemesi

Baraj sahası çalışmalarında litolojik birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri birincil öneme sahiptir. İncelenen birimlerin manyetik duyarlılığı, ses dalga hızı ve elektriksel özdirenç gibi fiziksel özellikleri jeofiziksel tepkiler oluşturup, bu tepkiler yardımıyla çalışma alanını oluşturan birimlerin yapısal ve sedimentolojik özelliklerini daha iyi tanımlama olanağı sağlamaktadır. Ayrıca baraj çalışmalarında, hidrojeolojik haritalama, su doygunluğu, tuzluluk, gözeneklilik ve geçirgenlikteki değişikliklerin özellikleri jeofizik yöntemler kullanılarak etkin bir şekilde belirlenmektedir (Rubin ve Hubbard, 1995). Bu yöntemlerden SKT ve ÇKYD analizi yöntemleri ara yüzey geometrisini bulmada (Gaba `s vd., 2014; Pandula, 2000; Haeni 1986; Karlı vd., 2017), kaya ve tortul katmanlarının fiziksel özelliklerini belirlemede (Marti vd., 2006; Gabr vd., 2012; Prekopov´ vd., 2016; Kourkafas vd., 1996), çevre ve yeraltı suyu problemlerini belirlemede (Brixova vd., 2018; Geissler, 1989; Bruno ve Godio, 1997; Osumneje ve Kudamnya, 2014; Birkelo vd., 1987), sığ derinliklerin yapısal özelliklerinin haritalamada (McClymont vd., 2016; Hamdan vd., 2010) ve jeoteknik araştırmalarda (Beng vd., 1982; Shtivelman vd., 2003; Cardelli vd., 2014; Coulouma vd., 2012; Hack, 2000; Shtivelman vd., 1998a; 1998b; Shtivelman ve Goldman, 2000; Abidin vd., 2011; Jeng, 1995) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Elektrik özdirenç tomografi, baraj rezervuar alanlarında, su kaçakları ve sızıntıları belirlemede (Panthulu vd., 2001; Johansson ve Dahlin, 1996), kırık-çatlak sistemlerini belirlemede (Marti vd., 2006), yeraltı suyu tespitinde (Gan vd., 2013; Hamdan vd.,

2010), tabaka sınırlarının tespitinde (McClymont vd., 2016; Al- Zoubi vd., 2007; Coulouma vd., 2012; Asfahani vd., 2010) ve baraj çalışmalarında (Çakmak, 2008; Cardelli vd., 2014; John, 2011; Al Saigh vd., 1994; Wan ve Fell, 2004; Rozycki vd., 2006; Boleve vd., 2011; Bedrosian vd., 2012; Sarı ve Şeren, 2016) kullanılmaktadır. GPR yöntemi toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında (Davis ve Annan, 1989), yüzeye yakın sığ jeolojik birimlerin tespitinde (Kadioğlu, 2003; Sarı vd., 2017), fay, kırık-çatlak sistemlerinin haritalanmasında (Aldaş vd., 2004; 2005; Slater ve Niemi, 2003; Green vd., 2003; Topçu, 2015; Aydın ve Şeren, 2014), yeraltı karstik boşluk aramalarında (Kadioğlu ve Ulugergerli, 2004; Şeren vd., 2012), yeraltı su seviyesinin tespitinde (Bano vd., 2000; Dannowski ve Yaramancı, 1999; Hariri, 1996, Benson, 1995) kullanılmaktadır. Ayrıca kayaçların geçirimliliği laboratuvarında örnekler üzerinde veya doğrudan arazide yapılan deneyler üzerinde belirlenebilir. Kaya kütlelerinde açılan araştırma sondajlarıyla kaya kütle geçirimliliğinin belirlenmesi üzerine literatürde (Goodman vd., 1965; Snow, 1968; Kiraly,1969; 1978; 2002; Heuer, 1995; Ewert 1997; Karagüzel ve Kılıç, 2000; Barton, 2004; Fayo vd., 2005; Coli vd., 2008) birçok çalışma vardır.

Brixova vd., (2018) Slovakya'da bulunan Batı Karpat Dağları'nda 4 bölgede sığ sismik çalışmalar yapmışlardır. Çalışmasının ilk aşamasında, Katar'ınka Manastır Göleti'nin derinliğini 2-3 m arasında olduğunu belirlemişler ve bu çalışmanın doğruluğunu EÖT yöntemiyle teyit etmişlerdir. İkinci aşamasında, bölgede bulunan termik santral atık depolama yerinin; bu alanda alınan ölçüm hattının 20 m altında olduğunu tespit etmişlerdir. Üçüncü aşamasında ise yeraltı su seviyesinin varsayılan derinliğinin zeminin 3.5 m arasında olduğunu doğrulamışlardır. Son aşamasında, Turiec Baseni ile Mal'a Fatra baseni arasındaki fay oluşumu sismik kırılma tomografi yöntemiyle haritalamışlardır.

Al-Fares vd., (2018) baraj gövdesine yakın altyapı zeminindeki potansiyel sızıntı bölgelerinin belirlenebilmesi için elektrik öz direnç tomografi yöntemini kullanmışlardır. Ölçümlerini Suriye'nin kuzeybatısındaki Abu Baara toprak dolgu barajında, baraj eksen yerine paralel üç profilde almışlardır. Çalışma alanında jeolojik yapıyı karakterize eden 3 ana blok tespit etmişlerdir. Bu blokların, alüvyon çökelti, dirençli ve kırıklı kireçtaşı ve dolomit ana kaya olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, sert ana kaya içerisinde birkaç yapısal problemlili durum tespit etmişlerdir. Bu durumları fay, kırık veya karstik boşluklar ile ilişkilendirmişlerdir. Sonuç olarak barajın sızıntı sebebinin kırıklar ve ana kaya içerisinde gelişen karstik oluşumların olduğunu belirlemişlerdir.

Durdağ (2018) Türkiye'nin üç ayrı bölgesinde ÇKYD yönteminin kullanıldığı arazi çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmaların birincisinde, tünel yapısının oluşturduğu boşluk yapısının bulunması ve aynı ortamdaki dolgu-zemin ayrımını çalışmıştır. İkinci çalışmada, düşük hız yapısına sahip bir bölgede sismik hızlar (P ve S) yardımıyla jeoteknik parametreleri belirlemiştir. Son çalışmasında ise toprak-kaya ayrımını belirlenmesini sismik hızlar yardımıyla tespit etmiştir.

Yılmaz ve Köksoy (2017) Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) ve Doğal Potansiyel (Self Potansiyel-SP) yöntemlerini kullanarak Afyon ilinin içme suyunu sağlayan Akdeğirmen dolgu barajındaki sızıntı yollarını belirlemiştir. Baraj yeri KB-GD yönündeki EÖT kesitinin sol kısmında düşük özdirençli ($< 10 \text{ Ohm.m}$) bölgede su çıkışını tespit etmişlerdir. Sızıntının olduğu bölgelerde negatif SP belirtileri gözlemlerken su akışının yüzeye yaklaştığı bölgelerde pozitif SP belirtileri gözlemiştir. Ayrıca, düşük özdirençli bölgeler ile negatif SP belirtilerinin birbiriyle uyumlu olduğunu belirlemiştir. McClymont vd., (2016) uzun mesafeli boru hatlarının geçtiği güzergahta saha jeolojisinin detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için jeofiziksel çalışmalar yapmışlardır. İlk çalışma alanında elektrik özdirenç tomografisi, sismik kırılma tomografisi ve ÇKYD analizi kullanarak kil tabakasının kalınlığını ve tabaka sınırlarını belirlemiştir. İkinci çalışmalarında ise sismik yansıma ve GPR yöntemlerini kullanarak boru geçiş güzergâhındaki faylı ve kırıklı-çatlaklı yapıları tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, potansiyel tehlike gördükleri noktalarda sondaj çalışmaları önerisinde bulunmuşlardır.

Rehman vd., (2016) Suudi Arabistan'ın Doğu Cidde'de yer alan Al Misk gölündeki beton barajdaki atık su sızıntılarının elektrik özdirenç ve indüksiyon polarizasyon teknikleriyle belirlenmesi çalışmalarını yapmışlardır. Jeofizik çalışmaların sonucunda barajın her iki tarafında da sızıntıların olduğunu belirlemiştir. Sızıntının barajın ön tarafındaki yeraltı suyunu da kirlettiğini tespit etmişlerdir. Kirliliğin yayılma derecesini anlamak için daha detaylı hidrojeolojik ve jeofizik araştırmalar yapılmasını önermişlerdir.

Alemdağ (2015) Gümüştaş atık barajı eksen yeri ve göl alanında yayılım gösteren andezit ve andezitik breş kaya kütlelerinde deneysel ve sayısal modeller ile geçirimsizliği değerlendirmiş ve olası sızma durumlarının derinlikle değişimini incelemiştir.

Gouet vd., (2015) Doğu Kamerun Kadey Nehri boyunca doğru akım elektrik özdirenç yöntemini kullanarak kil dolgu kanallarını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında 48 kanallı çoklu elektrot sistemini kullanarak Schlumberger dizilimini

uygulamışlardır. Bu çalışma ile yeraltının zayıf zonlarını ve süreksizliklerini belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak iletken bölgelerde karakterize edilen mineralleşmenin, yıpranmış dağılmış kil minerallerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Karahan (2015) Gümüşhane ilinin Kelkit ilçesinin Yeşilirmak Havzası'nda bulunan Bulak Göleti'nin oturacağı kaya kütlelerinin geçirimsizlik özellikleri araştırmış ve enjeksiyon perde derinliğini belirlemeye çalışmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda birimlerin yanal ve düşey devamlılıkları, %RQD değerleri, ayrışma derecesi, süreksizlik özellikleri, geçirimsizlik özellikleri ve yeraltısuyu durumunu tespit etmiştir. Elde edilen veriler ışığında ve bu alanının çeşitli ölçeklerde kesit ve haritalarını hazırlamıştır. Yapılan tüm incelemeleri dikkate alarak havza için enjeksiyon perde derinliği önermiştir.

Heterojenlik ve anizotropi nedeniyle sadece hidrojeolojik bilgiler kullanılarak, karstik alanlardaki yeraltı su aramalarını sadece sondaj çalışmalarıyla belirlemek oldukça zordur. Gan vd., (2013) elektrik özdirenç yönteminde Schlumberger dizilimi kullanarak karstik alanlarda ölçümler almışlardır. Ayrıca hidrojeolojik verilerle jeofiziği birleştirerek en uygun sondaj noktaları belirlemişlerdir. Sonuç olarak, bu bütünleşmiş çalışmalar ile karstik su aramaları için jeofizik çalışmaların az maliyetli ve kullanışlı olduğunu göstermişlerdir.

Akinrinmade vd., (2013) şehirlerdeki yüksek su ihtiyacını karşılamak için toprak veya kaya dolgu barajların geliştirilmesini amaçlamışlardır. Bu kapsamda barajı besleyen nehir boyunca Schlumberger dizilimi kullanılarak toplamda 7 adet düşey elektrik sondaj ile küçük boyutlu çatlakları tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, çalışma alanının jeolojisi ve mühendislik özellikleri nehrin deşarj miktarını karşılar nitelikte olduğunu bununda dolgu barajların gelişimini arttıracığı sonucuna varmışlardır.

Oursingbé vd., (2012) Çad Cumhuriyeti'nin güney doğusunda bulunan IRO gölü bölgesindeki 25 köyde 30 hatta çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışması yaparak yeraltı sularını belirlemeye çalışmışlardır. İnceleme alanındaki akifer yapısının kırıklardaki akışın, heterojenlik, anizotropik ve süreksizliklerden kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, yeraltı suyu tespit etmede %65.22 lik bir başarı oranı sağlamışlardır. Yeraltı suyunun genellikle granit oluşumlarda ve ayrılmış özelliklere sahip rezervuarlarda azaldığını belirlemişlerdir.

Akgün (2012) Kütahya fayının batı kesiminde jeolojik, jeomorfolojik ve jeofizik (yer radarı ve doğru akım özdirenç) çalışmalar ile olası fayın tam lokasyonunu belirlemiştir. Ayrıca havza içerisinde gömülü olarak bulunan fayların tespit edilebilmesi için, fay

boyunca üçgen yüzeyler, birikinti konileri, fay önu çökelleri gibi aktif tektonik unsurların gözlemlendiği yerlerde jeofizik yöntemler uygulanarak fay zonunun kesin yerini ve derinliğini tespit etmiştir.

Gürocak vd., (2012) Atasu barajı eksen yerindeki bazalt ve piroklastiklerin geçirimsizlik özelliklerini ve enjeksiyon derinliğini belirlemek amacıyla bazaltların içerdiği eklemler ve bu eklemlerin geçirimsizliğe olan etkisini incelemiştir. Yerinde yapılan Lugeon deneylerinde belirlenen geçirimsizlik katsayısı değerine göre bazalt ve piroklastiklerin geçirimsizliğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, bazalt ve piroklastiklerin 20 m, 40 m ve 50 m derinlikler için geçirimsizlik özelliklerini ve enjeksiyon perde derinliğini iki boyutlu sonlu elemanlar sızıntı analizi ile belirlemiştir.

Algül (2011) Haydarlı baraj alanında zeminden kaynaklanan problemleri belirlemek ve çözüm önerileri üretmek için çalışmada çok elektrotlu elektrik özdirenç, çok atışlı sismik kırılma ve mekanik sondaj çalışmaları kullanmıştır. Baraj alanındaki jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımını ortaya koymak için çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışması yapılmış ve yaklaşık 30-40 m ye kadar jeolojik birimlerin ayrımlılığı sağlanmıştır. Çalışma sahasında yapılan çok atışlı sismik kırılma çalışmaları ile jeolojik birimlerin yapısal ve mekanik özelliklerine ek olarak dinamik özellikleri de ortaya konulmuştur. Yapılan tüm çalışmaların sonucunda KD-GB yönünde bir faylanma, göl alanı içerisindeki birimlerin geçirimsizlik durumları ve bent alanı yerinin uygunluğunu belirlemiştir.

Atıcı (2010) farklı litolojik birimlerin Lugeon deneylerinden elde edilen geçirimsizlik değerleri ile süreksizlik sıklığı, derinlik, RQD, bozunma derecesi gibi mühendislik özelliklerini karşılaştırarak alansal bir hidrojeolojik tanımlama ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Bu amaca göre istatistik analizler yaparak çeşitli diyagramlar oluşturmuştur. Yaptığı değerlendirmeler sonucunda geçirimsizlik ile süreksizlik sıklığı değerleri arasındaki değişimin doğru orantılı olduğunu belirlemiştir.

Hunter vd., (2007) doğru akım özdirenç yöntemi, sismik kırılma tomografisi, audio-manyetotellürik (AMT) ve doğal uçuşma yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmalarında, doğru akım özdirenç tomografisi ve sismik kırılma tomografisini temel kaya derinliğini ve sivilaşma potansiyeli olan yatak oluşumlarını belirlemede, AMT yöntemini ise ana kaya derinliğini doğrulamak ve daha derin fayları tespit etme için uygulamışlardır. Sonuç olarak, yeni baraj inşalarında inceleme alanın jeoteknik alt yapısının belirlenmesinde yöntemlerin uygunluğuna önemi vurgulamışlardır. Ayrıca, kullanılan jeofizik yöntemlerle

çalışma alanındaki yanal değişimler ve baraj ayaklarındaki şüpheli fayları da tespit etmişlerdir.

Gürocak vd., (2007) Malatya'nın Yazihan ilçesindeki Boztepe barajında, baraj eksen yerindeki kayaçların geçirimsizlikleri ve süreksizliklerin geçirimsizliğe olan etkilerinin belirlenmesi çalışmalarını yapmışlardır. Baraj yerinde elde edilen sonuçlara göre tüfitin, az geçirimli-geçirimsiz ve bazaltın ise az geçirimli-geçirimsiz kaya sınıfından olduğunu tespit etmişlerdir.

Shtivelman (2003) sismik yöntemleri kullanarak, sığ çalışmalarda karşılaşılan problemlerinin çözümleri hakkında bilgiler sağlamıştır. İlk çalışmasında fayların haritalanması ve yetersiz su kaynağına sahip bölgede akifer yapısını incelemiş ve ikinci çalışmasında derin çukur oluşumlu alanda sığ tuz tabakasını tespit etmiştir. Son çalışmasında ise köprü inşaat sahasında sismik risk değerlendirmesi için kayma dalgasını belirlemiştir.

Arslan (1999) Kanak Barajı baraj yeri ve göl alanında bulunan kayaçların mühendislik jeolojisi, hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi ve baraj inşaatı uygulamaları açısından değerlendirilmesini amaçlamıştır. Baraj yeri sondaj kuyularında yapılan basınçlı su deneyleri sonuçlarına göre baraj yeri kayaçları "az geçirimli" kayaçlar olarak tanımlamıştır. Baraj yeri kayaçları Kayaç Kütle Değeri (RMR) sınıflamasına göre "iyi kaya-orta kaya", Değiştirilmiş Kaya Kütle Değeri (M-RMR) sınıflamasına göre "zayıf kaya" olarak sınıflamıştır. Sonuç olarak, Kanak baraj yeri ve göl alanının topografik, jeolojik, mühendislik jeolojisi ve hidrojeolojik özellikleri, depremselliği ve baraj inşaatında kullanılacak malzemelerin sağlanabilmesi olanaklarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda barajın kil ve çekirdekli toprak dolgu tipinde inşa edilebileceği sonucuna varmıştır.

Dannowski vd., (1999) gözeneklilik ve su içeriği oluşumlarından bilgi edinmek amacıyla bu özellikler ile doğrudan ilişkili olan elektrik özdirenç yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında dielektrik sabit ve özdirenç değerlerini; gözeneklilik ve su içeriğini belirlemek amacıyla birlikte değerlendirmişlerdir. Hidrojeofizik parametrelerin yorumlanmasının ve sonuçlarının güvenli ve doğru olmasının yalnızca bir yöntemle bağlı sağlanamayacağını ve iyi bilinen bir jeolojik model oluşturmada GPR ve jeoelektrik yöntemlerin birleştirilerek gözeneklilik ve su içeriğinin güvenilir tahminlerinde kesin sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

2. KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu çalışma kapsamında baraj eksen yeri ve göl alanında kaya kütlelerinin geçirimsizlik özelliğini belirlemek için jeofizik yöntemlerden; sismik (Sismik kırılma tomografi, ÇKYD analizi), elektrik özdirenç tomografi ve GPR yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, baraj eksen yerinde açılan temel sondaj kuyularında yapılan basınçlı su testleri (BST) ve sondaj karotlarından belirlenen kaya kalite göstergesi (RQD), eklem sıklığı ve Schmidt serliği değerleri gibi jeoteknik çalışmalar kullanılarak istatistik analizler yapılmıştır.

2.1. Sismik Yöntemler

Kayaçların ve zeminlerin özelliklerini belirten fiziksel parametreler mühendislik jeolojisi açısından çok önemlidir. Bu kapsamda sismik yöntemler, yeraltındaki jeolojik tabakalarının geometrisini, fiziksel özelliklerini ve jeomekanik parametrelerini belirlemede kullanılan, bir enerji kaynağından yayılan elastik dalgaların, belirli bir düzen içerisinde yayılması ve alıcılara gelen dalgaların zamana karşı genliklerin kaydedilmesi şeklinde uygulanan jeofizik yöntemlerdir.

Sismik dalgalar yer içerisinde ilerleyen titreşimler olup, enerjiyi hareketin meydana geldiği kaynaktan itibaren bütün yönlerde iletirler. Cisim ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Cisim dalgaları sınırsız homojen ortamda yayılır. Yüzey dalgalarının oluşabilmesi için çökel kayalardan oluşan veya serbest bir yüzeyin olması gerekir. Yüzey dalgaları cisim dalgalarına göre yer içinde daha yavaş hareket ederler.

Cisim dalgaları temel dalgalardır. Uygulanan gerilmenin cisim içerisinde oluşturduğu gerilme ve yamulmalara bağlı olan dalgalardır. Bu dalgalar P ve S dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Enerji kaynağından yayılan ilk dalga P dalgasıdır. Yayılan ilk dalga olması nedeniyle birincil (primer, P) olarak da adlandırılır. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusu boyunca sıkışma-genleşme şeklindedir (Şekil 2.1a). P dalgaları katı, sıvı ve gaz ortamlarında yayılma özelliği gösterir. P dalgalarını pratikte oluşturmak için düşey yönde patlayıcı, ağırlık düşürme veya darbe vurma kaynaklı uygulanır. P-dalga hızı aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

Burada; V_p : P-dalga hızı (m/s), λ : Dalga boyu, k : Sıkışmazlık modülü ($N/m^2=Pa$), ρ : Yoğunluk (Kg/m^3), μ : Kesme modülü (N/m^2) şeklindedir.

S dalgaları enerji kaynağından kesme gerilmeleri sonrası oluşan dalgalardır. Bu nedenle ikincil (seconder, S) olarak adlandırılır. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna dik olarak, yani enine; sağa-sola ve aşağı-yukarı hareketle ilerler (Şekil 2.1b). Sadece katı ortamlarda yayılırlar. S dalgalarının SH ve SV olmak üzere iki türü vardır. SH yatay düzlem üzerinde, SV düşey düzlem üzerinde oluşan parçacık hareketinin adıdır. S dalgasının hızı aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

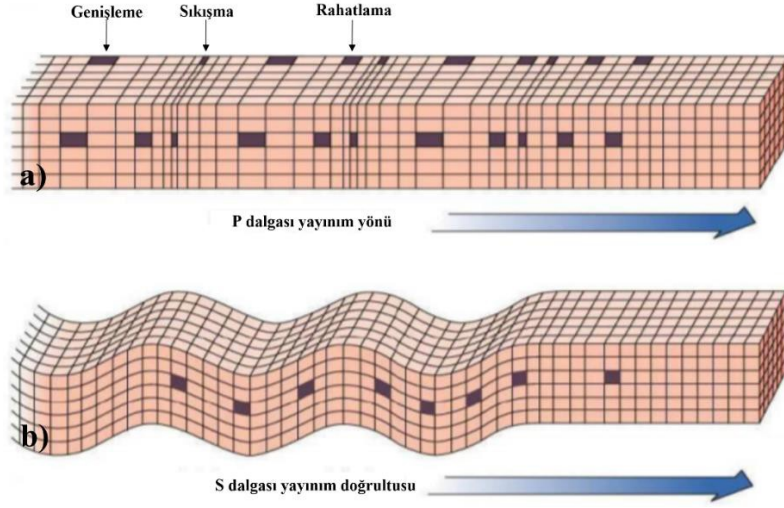
Burada; V_s : S-dalga hızı (m/s), μ : Kesme modülü (N/m^2) ve ρ : Yoğunluk (Kg/m^3) şeklindedir. P ve S dalga hızı oranı;

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\mu}} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{\frac{1}{2}-\sigma}} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile verilir. Elastik katılar için genellikle 0.25 olan poisson oranı (σ) formülde yerine yazılırsa $\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{3}$ olacaktır.

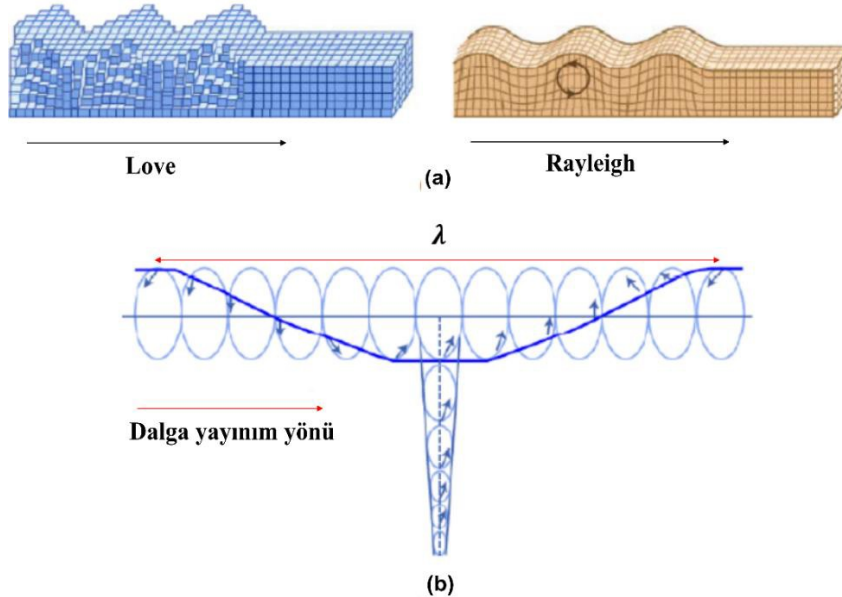
S dalgasının genlik ve periyodu P dalgasından büyüktür. S dalgasının yayılma frekansı 1-40 Hz arasında olmakla birlikte etkin genlikteki frekansları 20 Hz civarındadır (Keçeli 2011).

S dalgaları yayılım boyunca ilerlerken malzemenin makaslanma gerilmesinden daha fazla etkilenir, P dalgaları sadece ilerleme doğrultusundaki sıkılık değişimine karşı hassastır. Makaslanma gerilmesi sıkışma sertliğinden daha önemlidir. Çünkü makaslanma gerilmesi ara yüzeydeki malzemenin kuvvet yapısındaki makaslanan gerilim durumu ile ilgilidir (Helbig ve Mesdağ, 1982).



Şekil 2.1. a) P dalgasının yayınım doğrultusu ve partikül hareketi b) S dalgasının yayınım doğrultusu ve partikül hareketi (Allen, 2007)

Yüzey dalgaları, yer-hava ara yüzeyinde yayılan dalgalardır (Şekil 2.2). Bu dalgalar çok uzak mesafelerde bile kaydedilebilen dalgalar oldukları için, faz hızı ve dispersiyon eğri karakteristikleri kullanılarak kabuk ve üst manto yapıları incelenebilmektedir (Aki ve Richards, 2002).



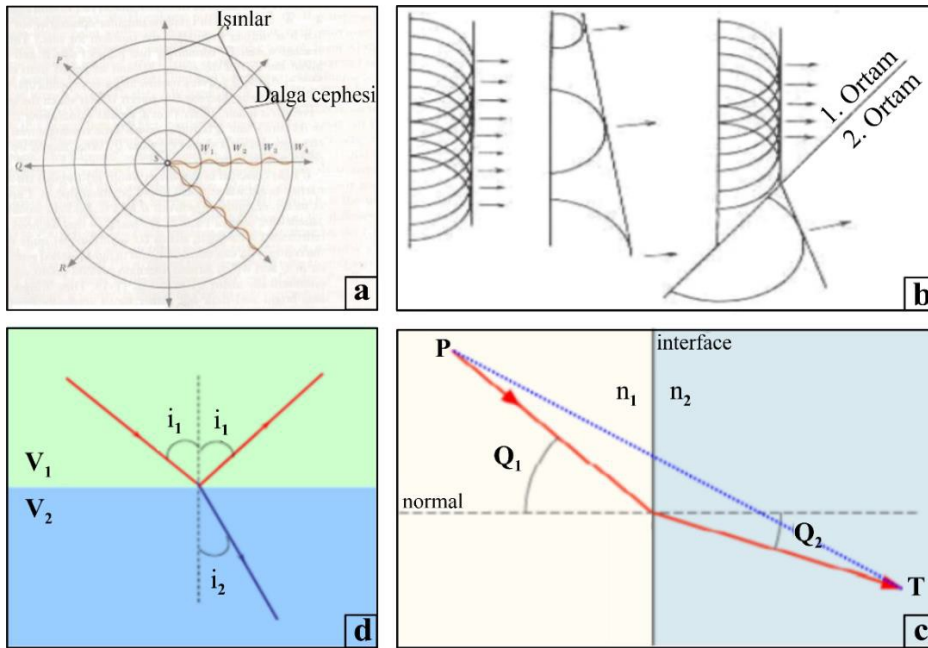
Şekil 2.2. a) Love ve Rayleigh dalgası yayınım doğrultusu ve partikül hareketleri, b) Rayleigh dalga yayınımının eliptik parçacık hareketi (Van Der Hilst 2004)

Yüzey dalgaları Rayleigh ve Love dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yarı sonsuz ortamlarda oluşurlar. Ragleigh dalgaları Love dalgalarına göre daha yavaştır. Rayleigh dalgaları elips hareketi yaparak ilerler ve elastik özellikteki katı bir cismin serbest yüzeyinde yayılır. “Ground roll” dalgaları Rayleigh dalgasının özel bir türü olan, göreceli olarak düşük frekans, düşük hız ve yüksek genlikle açıklanır (Sheriff, 1991).

Love dalgalarının salınım düzlemleri yatay olmasına karşın yayınım doğrultusu dik olarak salınan parçacık hareketiyle oluşur. Ayrıca, Love dalgaları tabakalı ortamlarda her zaman dispersif özellik gösterirler.

2.1.1. Sismik Kırılma Yöntemi

Sismik kırılma yöntemi, mühendislik çalışmalarında sığ yapıların jeolojik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntem, bir noktadan yere verilen enerjinin yer içerisinde elastik dalga şeklinde yayılırken, profil boyunca dizilen alıcılarda algılanıp kayıt edilmesi esasına dayanmaktadır. Her kayıt edilen dalganın gidiş-geliş seyahat zamanı vardır. Dalganın aldığı yol bilgileri ve bilinen seyahat zamanıyla hızı belirlenir. Hız bilgileri ile tabaka kalınlıkları hesaplanır. Sismik kırılma yönteminin kuramsal esasları Huygens, Fermat ve Snell kanunlarına dayanmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. a) Dalga cephesi ve ışın arasındaki ilişki, b) Huygens prensibine göre düzlem dalga yayılımını, c) Fermat kanunu, d) Snell yasası

Enerji noktalarından yayılan dalgalar, suya atılan taşın yarattığı dalgalar gibi genişleyen daireler biçiminde oluşur. Bu dalgalar yeryüzünde üç boyutlu ortamda küresel olarak yayılırlar küreyi oluşturan bu yüzeylere ‘dalga cephesi’ denir (Şekil 2.3a).

Huygens prensibi; dalga cephesi üzerinde bulunan her bir nokta yeni bir dalga kaynağı oluşturur ve bu noktalardan homojen ortamda yayılan dalgaların yeni küresel dalga yüzeyleri oluşturmasıdır (Şekil 2.3b).

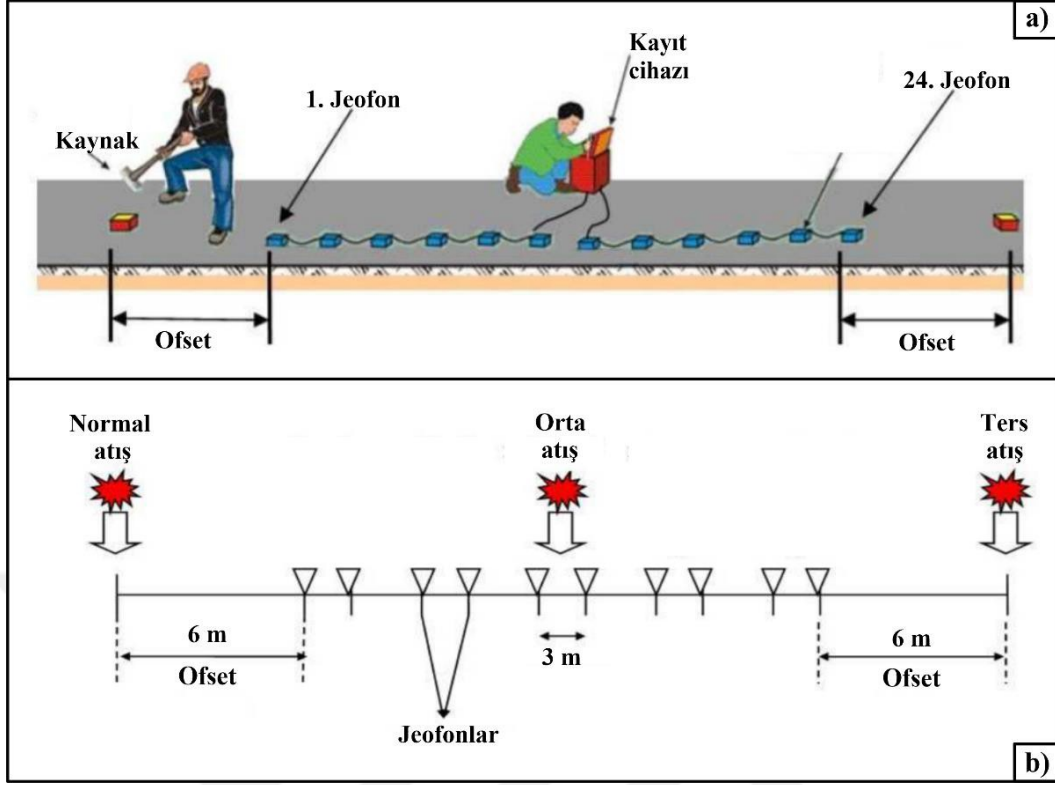
Fermat prensibi; kaynaktan çıkan bir ışının diğer bir noktaya ulaşabilmesi için gereken zaman minimum olmasıdır (Şekil 2.3c).

Snell yasası; farklı yayılım hızına sahip ortamlardaki ışınların kırılması, hızları ve açıların arasındaki ilişki ile tanımlanır (Şekil 2.3d) ve sismik dalga yayılımının temel prensibidir.

2.1.1.1. Sismik Kırılma Tomografisi (SKT)

Sismik kırılma tomografisi, yerdeki P-dalgası hız dağılımı görüntüsünü elde etmek için ilk varış zamanlarının tomografik ters çözümüdür. Alışılmış sismik kırılma ile karşılaştırıldığında çok fazla seyahat zamanı verisi gerektirip yanal ve düşey yönlerde sismik hız değişiminin güvenilir ve detaylı belirlenmesini sağlar (Sheehan vd., 2005). Kara sismiği veri işleme için sismik kayıtlardaki ilk olaylar genellikle gürültüler tarafından bastırıldığı için SKT oldukça önemli bir hale gelmiştir (Noble vd., 2010). SKT yöntemi, sismik kayıtlardan elde edilen ilk varış zamanlarından sığ yer altı hız yapısının tomografik olarak analiz edilmesini amaçlar. SKT yönteminde kullanılan kaynak ve jeofonların yerleşim düzeni ve kaynak ölçüm noktaları Şekil 2.4’de verilmiştir.

SKT’nin temel amacı, araştırma alanını hücrelere bölmektir. Her bir hücrenin kaynak ve alıcılar arasında yer aldığı, kübik şekilde ve sabit hızlı olduğu varsayılır. SKT algoritmaları, iki nokta ışın izleme seyahat zamanı ve ışın yollarını hesaplar. Her bir hücredeki dalganın hızını belirlemek için yavaşlık (hızın tersi) kullanılır.



Şekil 2.4. a) SKT yönteminde kullanılan kaynak ve jeofonların yerleşim düzeni, (Said vd., 2015) b) Çalışma alanı kaynak noktaları ölçüm düzeni

Işın yolu boyunca sismik tomografide seyahat zamanları hızın tersinin fonksiyonudur. Denklem (2.4) ile gösterilebilir.

$$t_i = \int_{s_i}^{r_i} u(r) dl \quad (i = 1,2,3 \dots) \quad (2.4)$$

Burada; kaynak (s_i), alıcı (r_i) ve sismik dalganın seyahat zamanı (t_i) arasında hesaplanır. Seyahat zamanı denklem (2.5)'deki gibi toplam şeklinde yazılabilir.

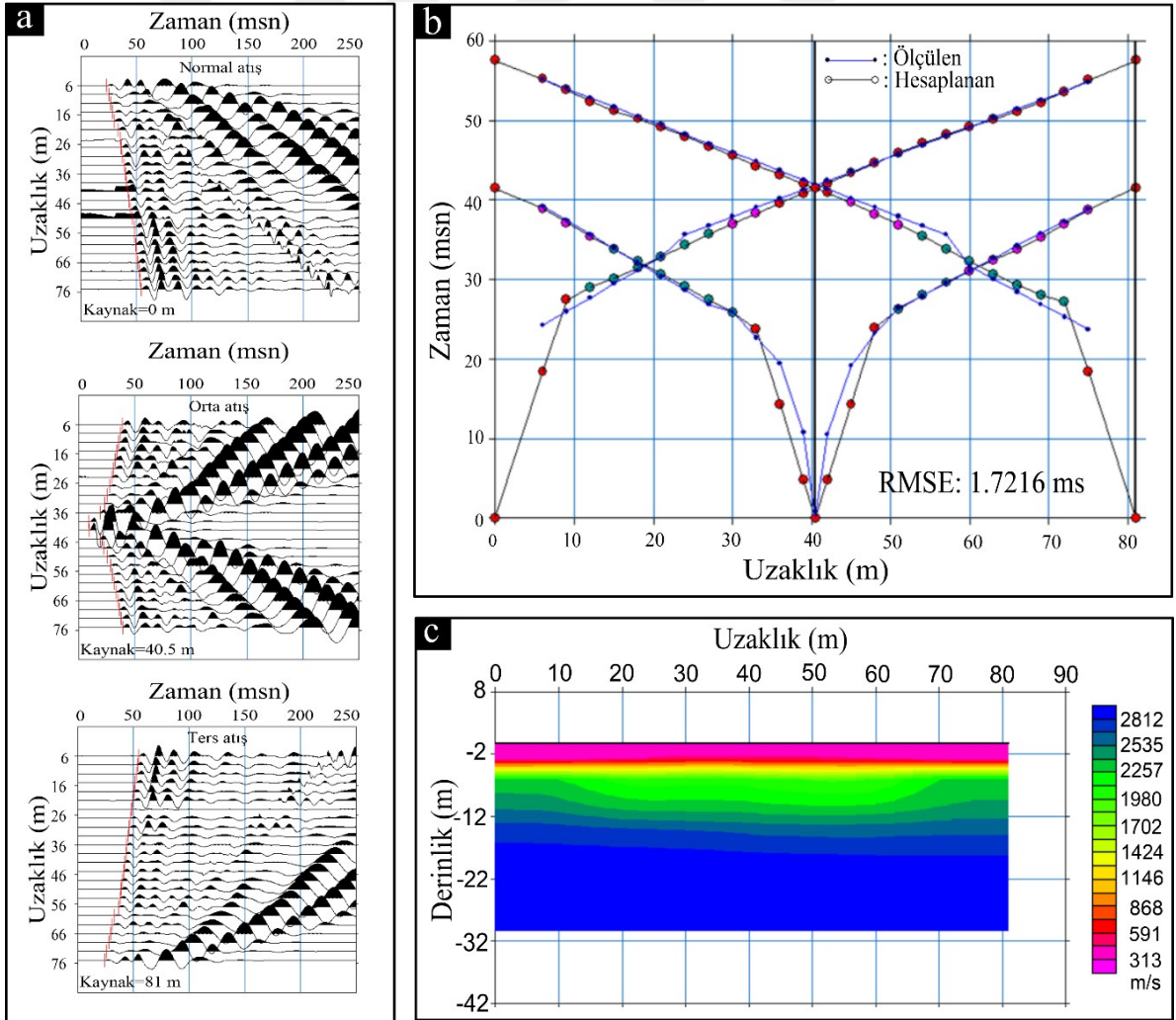
$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} u_k \quad (i = 1,2,3 \dots n) \quad (2.5)$$

u_k k 'nci hücrenin yavaşlığı ($k=1,2,\dots,n$), m ise hücre sayısıdır. l_{ik} , i 'inci hücredeki k 'inci ışının ışın yolu uzunluğudur. n her bir hücreden geçen ışın sayısıdır (Watanabe ve Sassa, 1996).

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

kısa seyahat zamanı veren ışın yolu belirlenir. Böylelikle, hem ışın yolları hem de seyahat zamanı hesaplanır.

SKT, başlangıç modeli boyunca ışın izleme yöntemiyle elde edilen seyahat zamanları ile arazi çalışmalarında gözlenen seyahat zamanları arasındaki farkın enküçülenmesidir ve 5 adımda gerçekleştirilir. İlk olarak ilk varışlar seçilir (Şekil 2.5a). İkinci olarak bir başlangıç yavaşlık modeli tespit edilir. Sonrasında ışın izleme kullanılarak teorik seyahat zamanları hesaplanır. Daha sonra teorik ve gözlenen seyahat zamanları arasındaki farklar her ışın için kıyaslanır. İki seyahat zamanı arasındaki fark verilen hata sınırından büyükse, yavaşlık modeli yinelenir (Şekil 2.5b). Son olarak uygun hata sınırına ulaşınca kadar işlem tekrarlanır ve siğ yeraltı yapısının iki boyutlu hız-derinlik kesiti elde edilir (Şekil 2.5c).



Şekil 2.5. a) Sismik kayıttaki ilk varışların piklenmesi, b) Hesaplanan ile gözlenen eğrinin karşılaştırılması, c) İki boyutlu sismik hız-derinlik kesiti

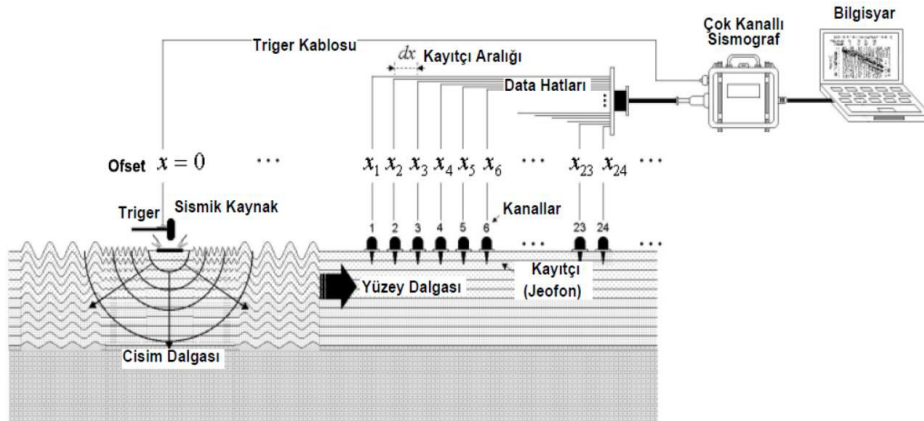
2.1.2. Çok Kanallı Yüzey Dalgası (ÇKYD) Analizi

ÇKYD yöntemi, katmanlı bir zemin modelinde Rayleigh dalgasının oluşmasında baskın bir etkiye sahip S dalgasının, dönüşmüş faz hızının ters çözümünden bir boyutlu S dalga hızı elde etmede kullanılmaktadır. Günümüzde bu konu ile yapılmış birçok çalışma mevcuttur (Hubbard, 2009; Kayacı vd., 2018; Ceylan, 2015; Özdağ vd., 2016; Ateş, 2017; Sarı, 2012). ÇKYD yönteminde farklı ortam ara yüzeylerinden yansıyan dalgalar kullanılarak yeraltı modellemesi yapılmaktadır. Yüzey dalgalarının yer içerisindeki dağılımı faz hızına, ortam yoğunluğuna ve frekansa bağlıdır. Bu üç faktör kayma dalgası hızının tespitinde ve dispersiyon eğrisinin oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır (Xia vd., 1999).

ÇKYD yöntemi etkin kaynak olarak kullanılması ve daha sınırlı nüfuz derinliğine sahip olması sebebiyle klasik S dalga hızı ölçümlerine göre daha başarılı sonuçlar sunmaktadır. Özellikle düşük hızlı ara tabakaların tespitinde ve yeraltının ilk 30 metrenin görüntülenmesinde oldukça sağlıklı sonuçlar vermesi nedeniyle etkin bir şekilde kullanıma sahiptir. Ayrıca, diğer yöntemlere göre en büyük avantajı kaynağın kontrollü olmasıdır. Bu yöntemle aktif bir sismik enerji kaynağı kullanılarak yerin bir boyutlu S dalga hız yapısı belirlenebilir.

ÇKYD analizindeki veri işlemin akışı, üç adımdan oluşmaktadır.

1. Yüzey dalgalarının toplanması (Şekil 2.6)
2. Dispersiyon (frekansa-bağımlı faz hızı) eğrisinin elde edilmesi
3. S-dalgası hız profili için ters-çözüm işlemin uygulanması



Şekil 2.6. ÇKYD yönteminin veri toplama uygulamasının gösterimi (Park vd., 2004'den düzenlenerek)

ÇKYD sinyalinin yatay ve düzlemsel nitelikte olmasını sağlamak için kaynak, ilk alıcıdan yeterince uzak olmalıdır. Eğer kaynak alıcıya çok yakın alınırsa, düzensiz ve düzlemsel olmayan hareketler gözlenebilir. Bu etki yakın alan etkisi diye adlandırılır. Yakın alan etkilerinden kaçınmak için önerilen ofset mesafesi istenen maksimum dalga boyunun yarısından daha büyük olmalıdır. Uzak alan etkisi, kaynak alıcı dizisinden çok uzakta konumlandırıldığında yaşanır. Bu durum, yüksek moddaki yüzey dalgasının hakim olduğu bir sinyal ile sonuçlanır (Çaylak 2009).

Dalgalar, genellikle titreşim kaynağı kullanılarak ya da balyoz gibi darbe türü bir sismik kaynak ile oluşturulur. Oluşturulan dalgalar S dalga hız profillerini oluşturmak için jeofonlar tarafından algılanır, sayısal olarak kaydedilir ve hemen sonra işlenir. Çözünürlüğün daha yüksek olması için jeofon aralığının küçük ve maksimum araştırma derinliği (Z_{max})'in onda biri kadar olması esastır (Stokoe vd., 1994). Çalışma düzeneğinde jeofon aralığı dx ile gösterilir;

$$dx \leq 0.1 * Z_{max} \quad (2.6)$$

Yakın-alan etkilerinden kaçınmak için kaynak ve birinci jeofon arasındaki ilk yakın açılım (dx_1), Z_{max} 'in yarısından küçük ya da eşit olmalıdır (Stokoe vd., 1994);

$$dx_1 \leq 0.5 * Z_{max} \quad (2.7)$$

Toplam yayılım uzunluğu X (alıcıların birinci ve sonuncu jeofon arasındaki uzaklık olarak verilen) aşağıdaki eşitlikle belirlenir (Nazarian vd., 1983);

$$X \geq Z_{max} \quad (2.8)$$

Sismik kayıtçı kanallarının toplam sayısı N , hedeflenen araştırma derinliği için en az X/dx kadar olmalıdır;

$$N \geq X/dx \quad (2.9)$$

Burada, N , X/dx ' den daha küçük olursa, Z_{max} 'dan daha büyük olan alıcılarla kat edilen toplam yüzey uzaklığı için daha fazla alıcı konum değişimi gerektiğinden dolayı her

zaman çok kanallı bir sismik kayıtçı tercih edilmelidir. Araştırma derinliğinin yarısı kadar en yakın kaynak-jeofon ofset aralığı seçilmelidir (Park vd., 1999b).

Kaynak ofsetinin optimizasyonu, çeşitli ofset uzaklıklarında deneme atışları toplanarak araştırmadan önce yapılabilir (Ivanov vd., 2009). ÇKYD çalışmalarında önerilen parametre değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. ÇKYD çalışmalarında önerilen parametre değerleri (Park vd., 2004).

Malzeme Niteliği* (V_s m/s)	X_1 (m)	d_x (m)	$X_{M(m)}$	Optimum Jeofon (Hz)	Optimum Kaynak* (Kg)	Kayıt Zamanı (ms)	Örnekleme Aralığı (ms)
Çok yumuşak $V_s < 100$	1 - 5	0.25- 0.5	≤ 20	4.5	≥ 5.0	1000	1.0
Yumuşak $100 < V_s < 300$	5 - 10	0.5 - 1.0	≤ 30	4.5	≥ 5.0	1000	1.0
Sert $200 < V_s < 500$	10 - 20	1.0 - 2.0	≤ 50	4.5 - 10.0	≥ 5.0	500	0.5
Çok Sert $500 < V_s$	20 - 40	2.0 - 5.0	≤ 100	4.5 - 40.0	≥ 5.0	500	0.5

Veri toplanması yapıldıktan sonra her bir atış topluluğun Ground roll dalgası faz hızları hesaplanmalıdır. Ground roll dalgasının faz ve frekans hızı dizisi verinin analizi ile hesaplanmalıdır. Ofset, alıcı aralığı kaynak gibi veri kazanç parametreleri, Ground roll sinyallerini güçlendirmek için ayarlanmalıdır (Park vd., 1999).

ÇKYD analizi hesaplama yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir (Park vd., 1999).

Bir atış topluluğunda zaman uzaklık ($x-t$) ortamının gösterimi $u(x, t)$ 'ye göre Fourier dönüşümü, $U(x, w)$ 'yi elde etmek için $u(x, t)$ zaman eksenine uygulanırsa,

$$U(x, w) = \int u(x, t) e^{iwt} dt \quad (2.10)$$

elde edilir. Sonrasında $U(x, w)$ iki ayrı terimin çarpanı şeklinde ifade edilir ise;

$$U(x, w) = P(x, w)A(x, w) \quad (2.11)$$

burada elde edilen $P(x,w)$ ve $A(x,w)$ sinyalleri, faz ve genlik spektrumudur. $P(x,w)$ dispersiyon özellikleri ile tüm bilgileri içerirken, $A(x,w)$ geometrik yayılma ve soğrulma gibi bütün özellikler hakkında bilgiler içerir. Bundan ötürü $U(x,w)$ aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$U(x, w) = e^{-i\Phi x} A(x, w) \quad (2.12)$$

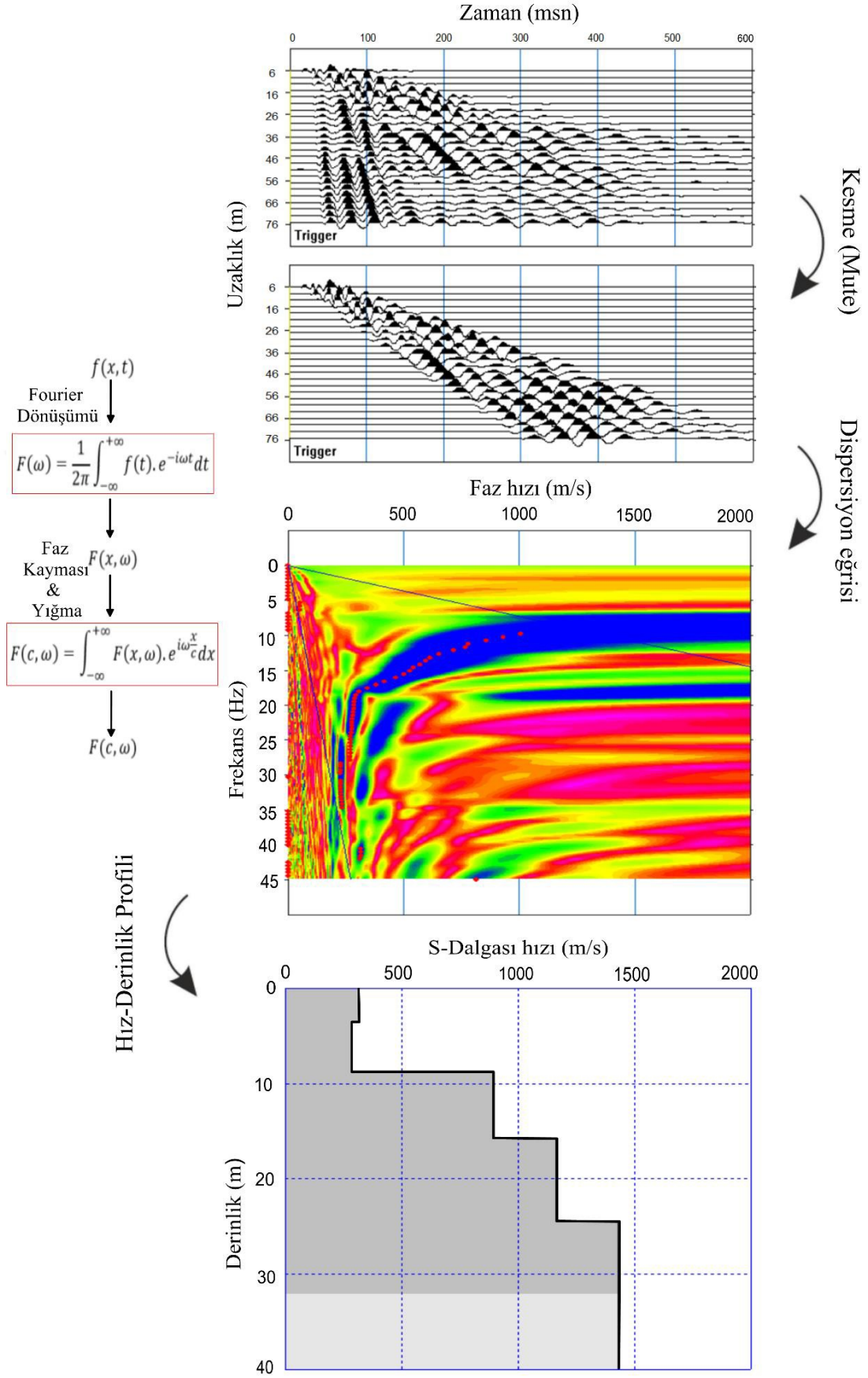
Burada w ; radyan cinsinde frekans, c_w ; frekansa (w) göre faz hızı ve Φ ise faz kaymasıdır. Dalga sayısı $k = w/c_w$ olarak tanımlanırsa, $U(x,w)$ 'ye aşağıdaki integral dönüşümü uygulanmasıyla $V(w, \Phi)$ elde edilir.

$$\begin{aligned} V(w, k) &= \int e^{ikx} [U(x, w)/|U(x, w)|] dx \\ &= \int e^{-e(\Phi-k)x} [A(x, w)/|A(x, w)|] \end{aligned} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13)'deki integral dönüşümünde, (2.12) denklemindeki dalga alanlarına göre bir faz hızı $c_w (= w/\Phi)$ olarak tanımlanıp faz hızına bağlı faz düzeltmesi uygulandıktan sonra bir frekansın dalga alanları ofset boyunca toplanır. Geometrik yayılmanın ve soğrulmanın etkilerini gidermek amacıyla her bir alıcıdaki dalga alanına, $U(x,w)/|U(x,w)|$ şeklinde düzeltme işlemi uygulanır. Bu işlemle, faz-hızı baskın olarak elde edilerek genliğin etkisi giderilir. Dalga sayısı faz kaymasına eşit olduğunda, her frekans (w) için belirli aralıkta değişen hızlar kullanılarak,

$$k = \Phi = w/c_w \quad (2.14)$$

elde edilir. Denklem (2.14) sağlanması durumunda faz hızı c_w hesaplanır. Son aşamada, Rayleigh dalgası faz hızı dispersiyon eğrisinin ters çözüm işlemi uygulanır. Ters çözüm işlemi neticesinde S dalga hızının, Rayleigh dalgası faz hızı üzerindeki baskın etkisi, derinlik profiline karşılık S dalga hızı elde edilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. ÇKYD analizi veri işlem adımları

Sismik yöntemlerden elde edilen sismik hızlar yardımıyla kaya kütlelerinin hızlarının değişim aralıkları belirlenebilir. Kaya kütlelerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlere bağlı olarak P ve S dalga hızlarının değişim aralığı Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Zemin türlerinin sismik hızları (Keçeli, 2011).

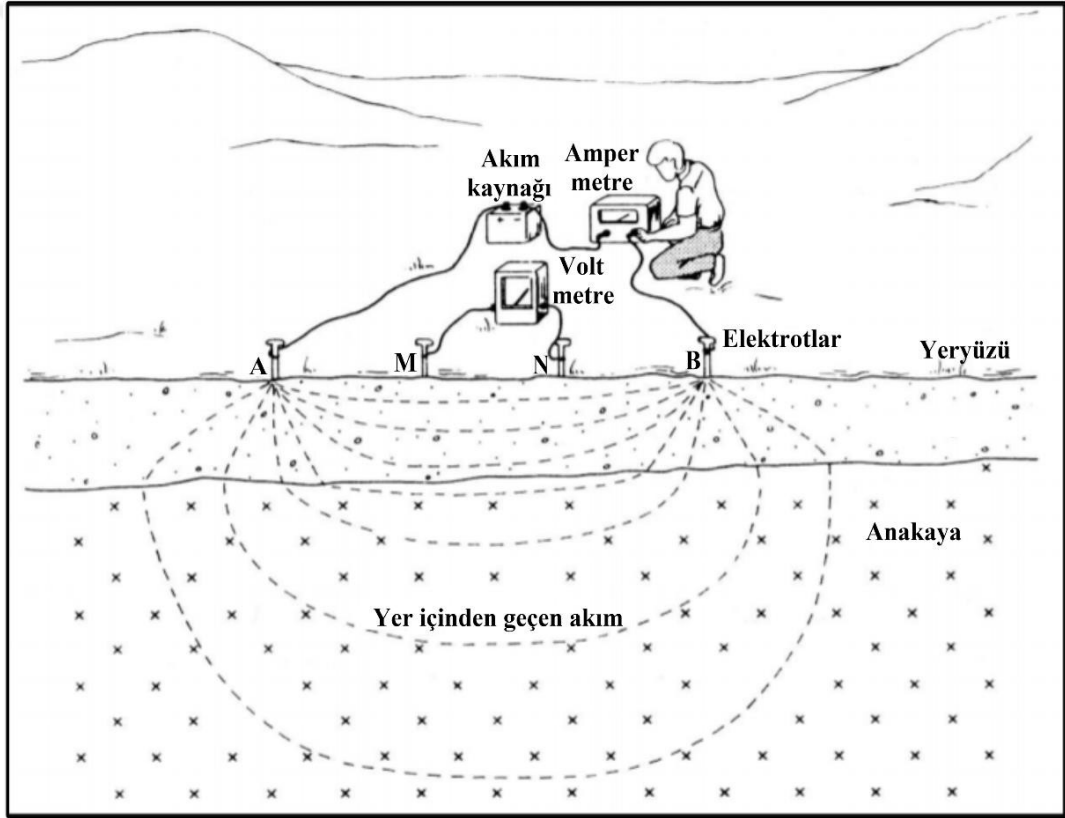
Zemin ve kaya türü	P sıkışma veya boyuna dalga hızı V_p (m/sn)	S kayma veya enine dalga hızı V_s (m/sn)
Hava	340	0
Su	1400-1500	0
Petrol	1300-1400	0
Alüvyon	500	100
Alüvial kil	210-600	70-150
Kil	1000-2500	
Diluvial kil	500-1800	100-350
Göl silti ve killi	150	450
Kuru kum	100-200	450
Islak kum	1500-2000	
Gevşek kum	600-1800	150-500
Göl Kum	700	110
Alüvial çakıl	400-1900	100-430
Çakıl, kuru kum	500-1000	200-300
Diluvial çakıl	900-2200	250-600
Tüf	600-2610	300-1390
Çamur taşı	600-1900	300-700
Silttaş	1000-4970	500-3110
Kireçtaşı	1200-6190	600-3350
Jips	200-3500	600-3350
Dolomit	2500-6500	
Şist	3200-5200	1454-3500
Granit	3300-5640	2000-3760
Gabro	4500-6500	2730-4300
Kaya tuzu	4500-6500	

2.2. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi baraj göl alanında ve baraj eksen yerindeki sızıntıları ve su kaçaklarını belirlemede etkili bir yöntemdir. Ayrıca yer altındaki yapıların uzanımlarını, konumlarını, kırık-çatlak sistemlerini belirlemede kullanışlı bir yöntem olup baraj alanındaki çalışmalarda (Johansson vd., 1996; Savvadis vd., 1999a,b; Titov vd., 2000;

Song vd., 2005; Sjö Dahl vd., 2005; Johansson vd., 2007; Al-Zoubi vd., 2007; Çakmak, 2008) etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Zemin ve kaya ortamlarında özdirenç değerleri bu ortamların içerisindeki kil, porozite, sıcaklık tuzluluk ve doygunluk gibi özelliklerine bağlıdır (Palacky, 1987; Ward, 1990).

Elektrik özdirenç yönteminin uygulanmasındaki temel amaç, kayaların yatay veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farkından yararlanarak jeolojik yapının ortaya konulmasıdır. Elektrik özdirenç yönteminde yere iki noktadan (A, B) yapay bir akım verilir ve bu akımın yer altında oluşturduğu elektrik alanının potansiyeli diğer iki nokta (M,N) arasında gerilim farkı olarak ölçülür (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Arazide ölçü sistemi. A ve B akım elektrotları ve M ve N gerilim elektrotları (Robinson ve Coruh, 1988'den düzenlenmiştir)

Ölçülen gerilim farkı, ortamın jeolojik yapısına ve elektrotlar arasındaki uzaklığa bağlıdır. Elektrotlar arasındaki uzaklık açılımı arttıkça, uygulanan alanın nüfuz derinliği artar. Elektrik özdirenç yöntemi yeraltının elektrik özdirençindeki değişimlerini ayırt edip yeraltı katmanlarının kalınlıklarını ve gerçek özdirençlerini derinlik sondajı şeklinde haritalayan bir yöntemdir.

Elektrik özdirenç yönteminde ölçülen büyüklük gerilim farkıdır. Fakat verilerin yorumu için gerilim farkı fiziksel bir büyüklük olan özdirence dönüştürülür. Bu dönüştürme işlemi,

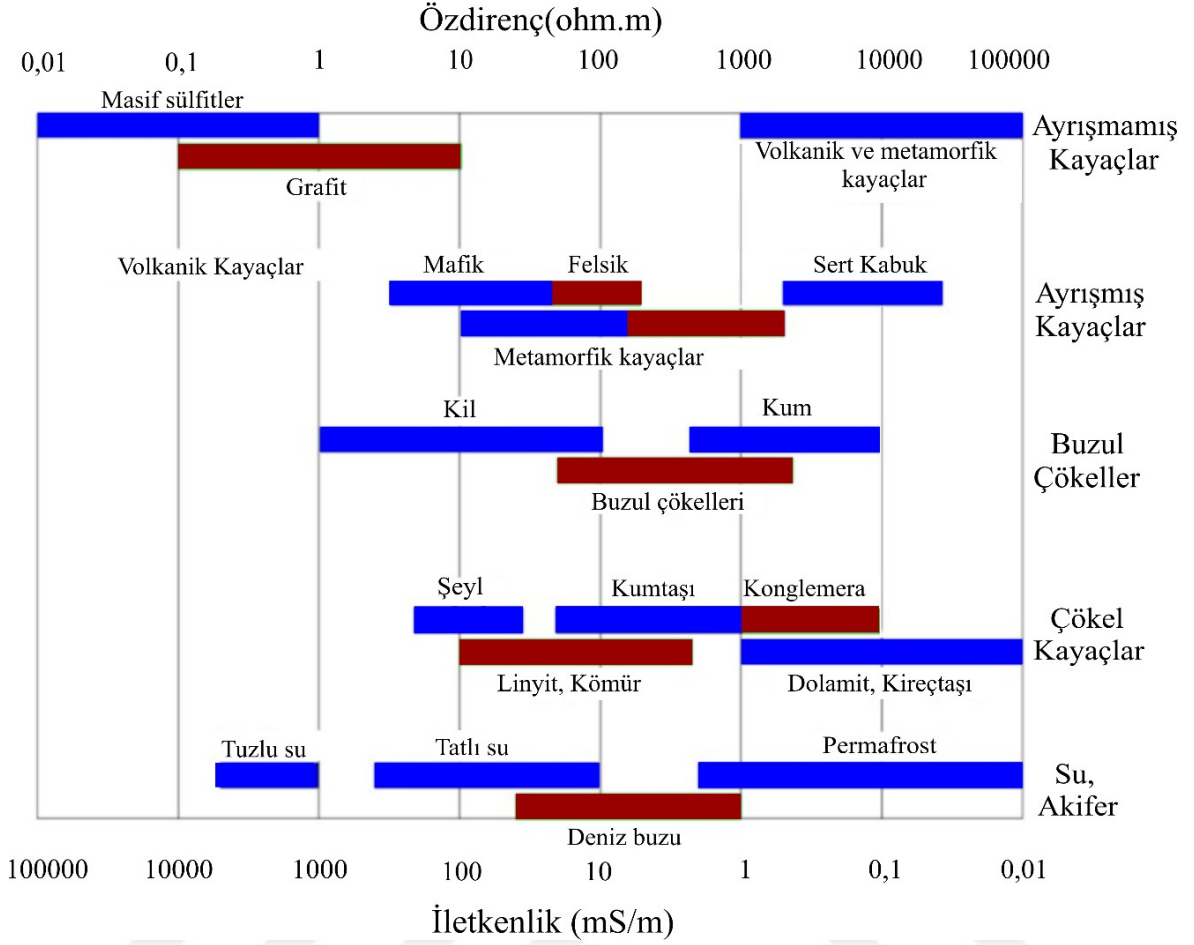
$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.15)$$

şeklinde çözülebilir. Burada k ; elektrotların konumuna bağlı geometrik faktör, I ; yere uygulanan akım ve ΔV , ölçülen gerilim farkıdır. Gerçekte yeraltı homojen olmadığı için bu bağıntı izotrop ve homojen bir ortamlar için geçerlidir. Bu bağıntıdan hesaplanan katmanlı ortam için özdirenç, görünür özdirenç (ρ_a) olarak adlandırılır.

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \quad (2.16)$$

Görünür özdirenç, kullanılan elektrot dizilimine jeolojik yapının şekline ve özdirençine bağlıdır. Bu jeolojik yapıda bulunan kayaç ve mineraller genellikle farklı özdirenç değerlerine sahiptirler (Şekil 2.9).

Metamorfik ve magmatik kayaçlar genellikle yüksek özdirenç değerlerine sahip olup bu kayaçların özdirenç değerleri su ile dolu çatlakların yüzdesine ve çatlaklara bağlıdır. Bundan dolayı bir kaya türü, kuru veya ıslak oluşuna bağlı olarak 1000 ile 100000 Ωm arasında bir özdirenç değerine sahip olabilmektedir. Gözenekli ve su içeriği yüksek olan sedimanter kayaçlar ise metamorfik ve magmatik kayaçlara göre daha düşük özdirenç değerine sahip olabilmektedir. Gevşek sedimanlar, sedimanter kayaçlara göre 10 ile 1000 Ωm arasında değişebilen düşük özdirenç değerlerine sahiptir. Killi zeminler genellikle kumlu zeminlere göre daha düşük özdirenç değerlerine sahiptir. Ancak, Şekil 2.8'e bakıldığında değişik türdeki kaya ve zemin özdirenç değerlerinin çakıştığı görülmektedir. Bunun nedeni, kaya ve zemin özelliklerinin özdirenç değerlerinin suya doygunluk derecesi, gözeneklilik ve çözülmüş tuz yoğunluğuna bağlı değişiklik göstermesidir.



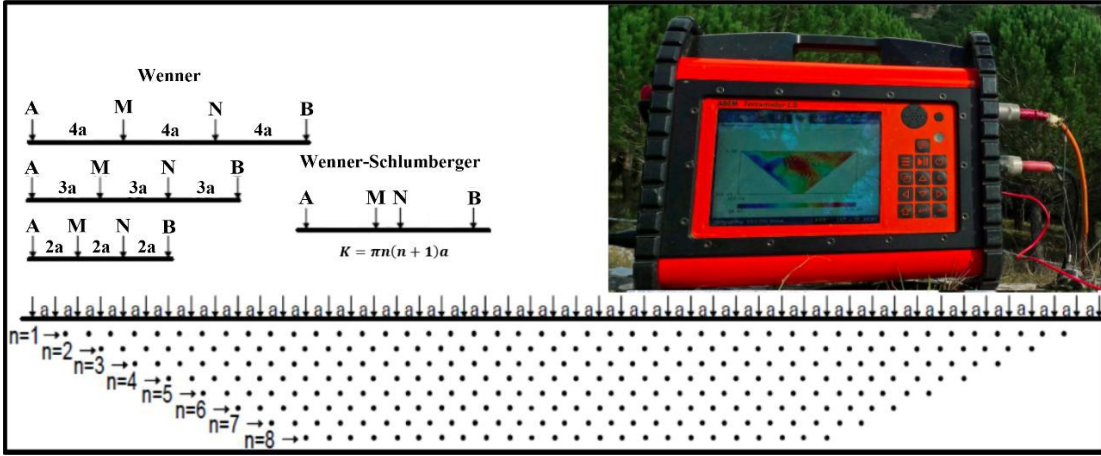
Şekil 2.9. Çeşitli kayaç ve materyallerin özdirenç değer aralıkları (Palacky, 1987)

2.2.1. Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT)

Bilgisayar kontrollü çoklu elektrot özdirenç ölçüm sistemlerinin gelişimi ve kullanılan ters çözüm algoritmaları, sığ yeraltı yapılarının araştırılmasında farklı problemler için EÖT yöntemini oldukça etkili hale getirmiştir. EÖT araştırmalarında çok elektrotlu ölçü sistemi Barker (1981) tarafından yayınlanmış, sonrasında Griffiths ve Turnbull (1985) tarafından detaylandırılarak, (Aristodemou ve Thomas-Betts, 2000; Yoon vd., 2003; Abu-Zeid, 2004; Naudet vd., 2004) ana kayanın tespit edilmesinde, (Overmeeren ve Ritsema, 1988; Binley vd., 2002; Sandberg vd., 2002; Abu-Zeid, 1994; Butler ve Llopis, 1990; Gourry ve Moldoveanu, 1997) gibi araştırmacılar tarafından hidrolojik uygulamalarda kullanılmıştır.

EÖT çalışmalarında çok elektrotlu sistem ile kolay ve hızlı ölçü alınabilmektedir. Bir hat boyunca dizilen elektrotlar eşit aralıklarla zemine çakılırlar. Çok kanallı kablunun bir

ucu çakılan her bir elektrota bağlanır. Çok kanallı kablo aracılığı ile elektrotlardan gelen akım ve gerilim değerleri cihaza aktarılır. Hatalı veya bağlı olmayan elektrotlar otomatik olarak cihaz tarafından tespit edilip kullanıcı uyarılır. Uyarıdan sonra hatalı elektrotlar düzeltilip cihaza daha önceden tanımlanan dizilimde ölçüm alınır. Elektrotların çeşitli konumlara göre geliştirilen ölçüm alım teknikleri elektrot dizilimi olarak adlandırılıp ölçüm esnasında farklılıklar gösterebilir. EÖT çalışmalarında, ortamın jeolojik yapısına göre Schlumberger, Wenner, Dipol-Dipol vb., dizilimler kullanılmaktadır. Düşey yöndeki süreksizliklerin araştırılmasında Wenner-Schlumberger, fay gibi yanal süreksizliklerin araştırılmasında Wenner dizilimi tercih edilebilir (Şekil 2.10).



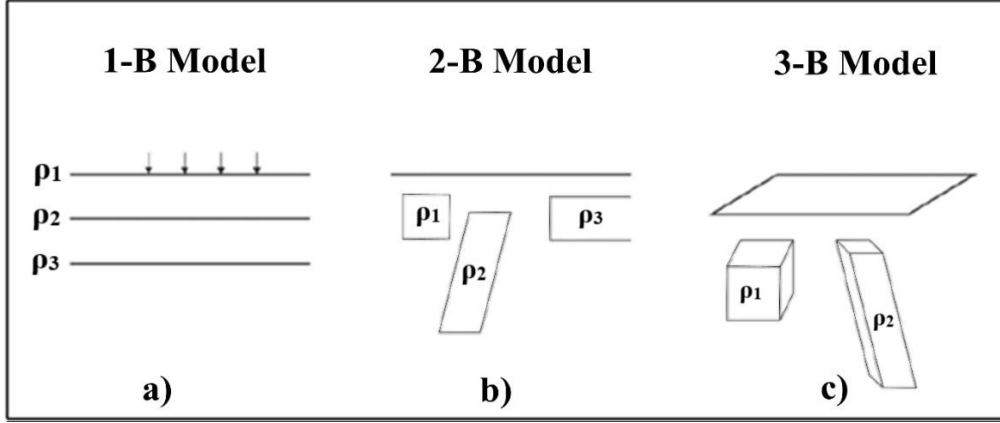
Şekil 2.10. Çok elektrotlu Wenner-Schlumberger ve Wenner dizilimi

Bu dizilimde geometrik faktör K , aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$K = \pi \cdot n(n+1) \cdot a \quad (2.17)$$

Burada $a = MN$, $n \cdot a = AM = BN$, $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$, ve $\pi = 3.14159$

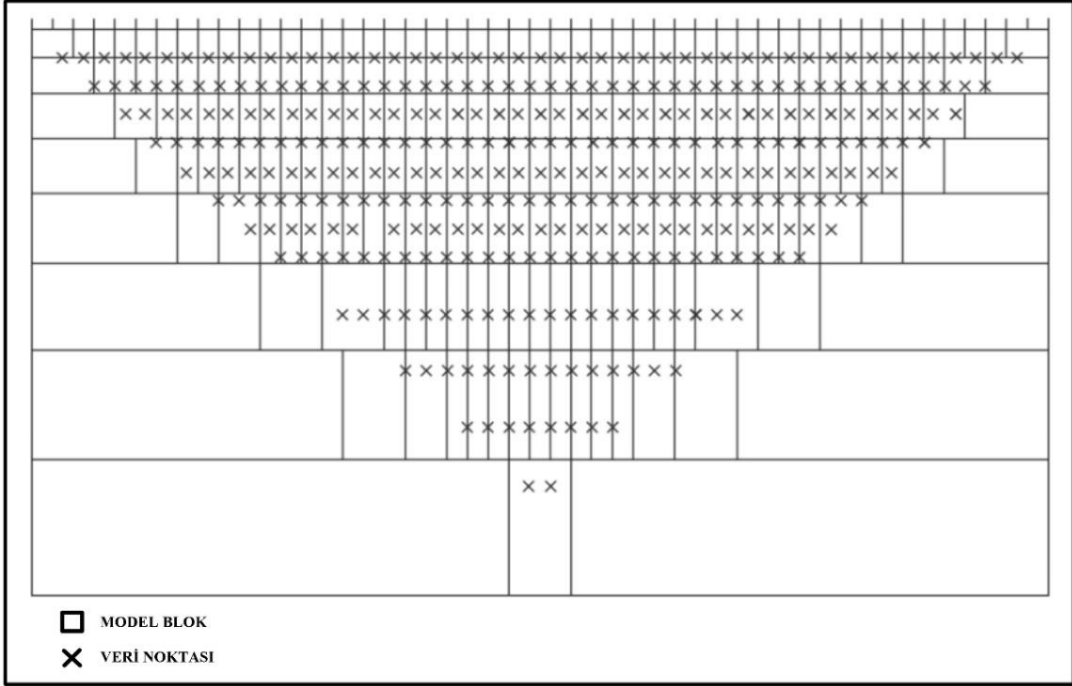
Elektrik özdirenç verilerinden elde edilen yapma kesitler ölçülen görünür özdirenç değerleri ile çizilebilmektedir. Düşey Elektrik Sondaj (DES)'de ölçülen görünür özdirenç değerleri açılımın fonksiyonu olarak log-log grafik kağıtlarına işlenir ve bu işlenen veriyi yorumlamak için yeraltının yatay tabakadan oluştuğu kabul edilir. Bu durumda yeraltının özdirenç sadece derinlikle değişirken yanal yönde bir değişim göstermez (Şekil 2.11a).



Şekil 2.11. Özdirenç ölçümlerinin yorumda kullanılan 1B,2B ve 3B modeller

İki boyutlu modellerde yanal yönde (x-yönünde) değişime izin verilir ancak y yönünde değişimlerin sabit olduğu varsayılır (Şekil 2.11b). En gerçekçi modeller ise özdeşlik değerlerinin her yönde değişimine izin verilen 3-boyutlu modellerdir (Şekil 2.11c). Bu çalışmada, Loke ve Barker (1995) tarafından verilen teknikte çalışan düzgünlük-kısıtlı en küçük kareler yöntemi (deGeoot-Hedlin ve Constable, 1990) , ters-çözüm algoritması ile RES2DINV (Loke, 2010) programı kullanılarak ters çözüm yapılmıştır. Bu program ile alınan ölçümlerden sonra yeraltının iki boyutlu görüntüsü hesaplanır. İki boyutlu EÖT kesitlerini elde etmek için algoritma tarafından kullanılan iki boyutlu yer modeli Şekil 2.12’de verilmiştir. Bu modele, ters çözüm işlem adımları uygulanarak ölçülen verilerin tümünü kapsayacak şekilde dörtgen bloklardan oluşur.

Ters çözümün ilk adımında önkestirim parametreleri ile düz çözüm yapılır. İki boyutlu ters-çözüm algoritması başlangıç modeli olarak yarı-sonsuz homojen bir yeraltı modelini seçer. RES2DINV programı, ters-çözüm işlemi için bu homojen ortamın özdeşliği ile ters çözüm işlemine sokulan görünür özdeşlik veri seti değerlerinin ortalamasını alır. Böylelikle başlangıç modeli, gerçek yeraltı modelinden farklı seçilmemiş olacaktır. Sonrasında ölçülen ve başlangıç modelin çakışma derecesini arttırmak için parametreler yenilenir. Son olarak, ters çözüm işleminde parametrelerin değiştirilmesi ve çakışmanın oluştuğuna karar verilene kadar bu işleme devam edilir.

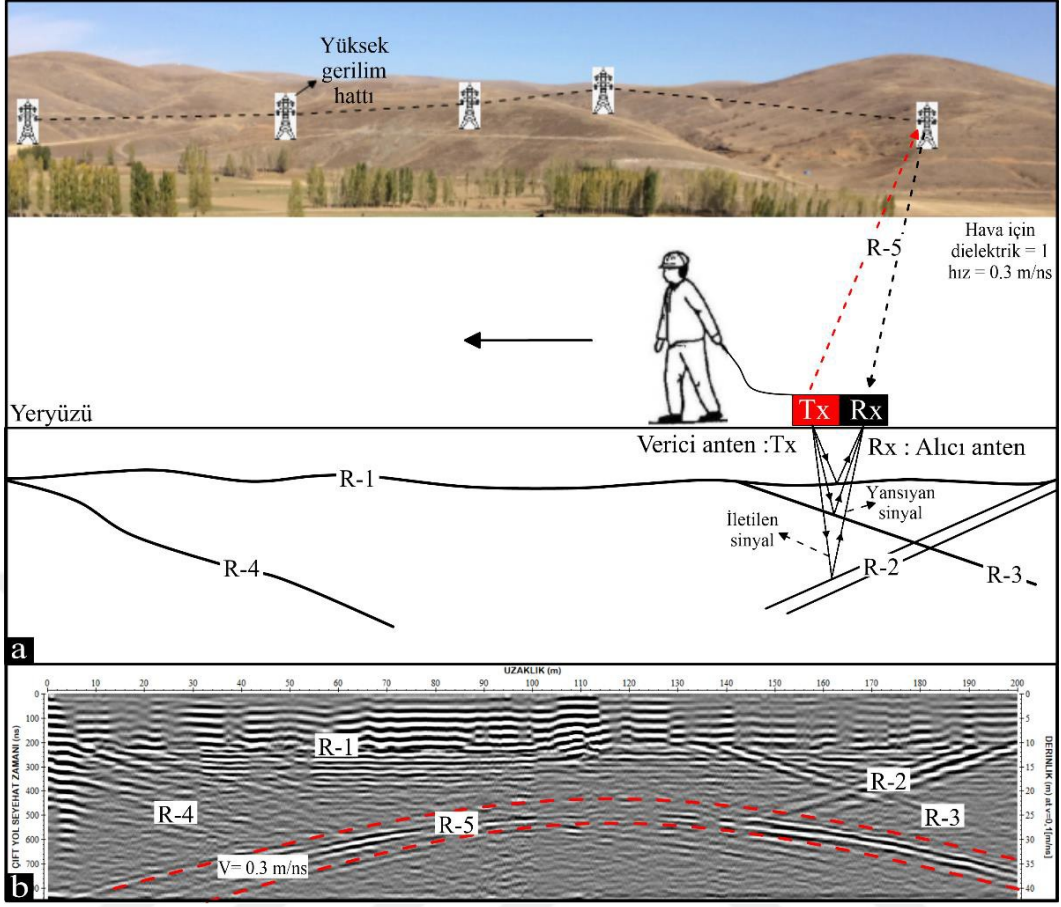


Şekil 2.12. İki boyutlu ölçümlerde elde edilen verilerin blok diyagramı (Look, 2004)

2.3. Yer Radarı Yöntemi (GPR)

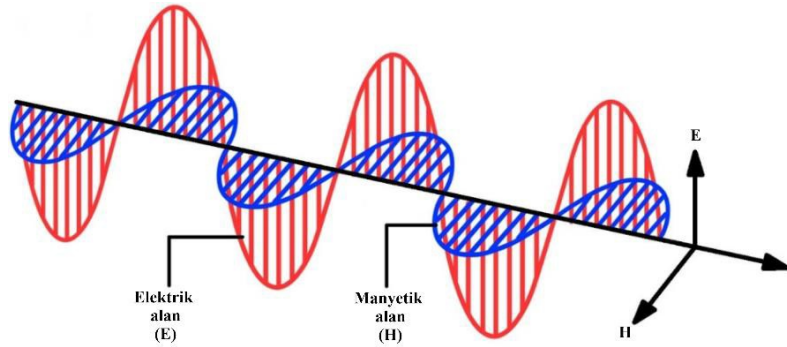
GPR, araştırılan ortamın sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyebilen elektromanyetik bir yöntemdir (Davis ve Annan, 1986). GPR yöntemi yer altına gönderilen yüksek merkez frekanslı elektromanyetik radar sinyallerinin yer içinde yayılımı sırasında farklı dielektrik özelliklere sahip süreksizliklerle (R-1, R-2, R-3, R-4) karşılaştıklarında enerjinin bir kısmını geriye yansıtıp yüzeydeki alıcı antenlerle dalganın çift yol seyahat zamanını nano saniye cinsinden kaydedilmesi esasına dayanmaktadır (Van der Kruck vd., 1999). GPR yönteminin çalışma prensibi Şekil 2.13a'da gösterilmiştir.

GPR araştırılan yüzeyin sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte belirlemeye çalışırken bazen araştırılan hedeften gelen yansımaların hedef-yansıma karakteristiğiyle örtüşmeyen aynı frekans bandına sahip olan sinyaller ile çakışır (Daniels, 2004). Bu nedenle hedef yansımalar bu tip gürültüler ile tanımlanamaz hale gelmektedir. Bu gürültüler; alıcı ve verici anten arasındaki etkileşim, hava ve yeryüzü arasındaki yansıma ve yer içerisinden farklı nesnelere gelen yansımalarla kaynaklanabilir. Şekil 2.13b'de yüksek gerilim hattından kaynaklanan hava-yeryüzü arasındaki yansımanın (R-5) sebep olduğu gürültü GPR kesitinde gösterilmiştir.



Şekil 2.13. a) GPR yöntemi çalışma prensibi b) Tüm yansımaları içeren GPR kesiti

GPR sinyallerindeki değişken zamanlı elektromanyetik alanlar (homejen ve izotropik bir ortamdaki), elektrik ve manyetik alanların bileşeninden oluşmaktadır (Şekil 2.14). Bu iki alan, yer altındaki yapıların elektriksel özelliklerinin değişiminin gözlenmesine ve yeraltında bulunan malzemelerin etkisi altında değişmesine izin vermektedir (Robert ve Daniels,1996; Annan, 2003).



Şekil 2.14. Elektromanyetik dalga yayılımı (Daniels, 2004)

Elektromanyetik (EM) dalgalarının oluşum teorisinin temeli Maxwell'in elde ettiği denklemler ile ifade edilebilir. Maxwell bu denklemlerde, zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alan oluşturması gibi, zamanla değişen bir elektrik alanın da bir manyetik alan oluşturacağını ifade eder. H.R. Hertz 1887 yılında Maxwell'in teorik olarak ispatladığı dalgaların varlığını bir indüksiyon bobini kullanarak üretilen ve sonrasında onları algılayarak deneysel olarak kanıtlamıştır.

Tüm elektrik ve manyetik olaylar ve bunlar arasındaki ilişki Maxwell Denklemleri olarak bilinen 4 denklem ile açıklanmıştır. Bu denklemler;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.18)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.19)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.20)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.21)$$

Burada;

\vec{E} : Elektrik alan şiddet vektörü (V/m)

ρ : Elektrik alan yükü yoğunluğu (C/m³)

\vec{B} : Manyetik akı yoğunluğu (T)

\vec{J} : Elektrik akım yoğunluğu vektörü (A/m²)

\vec{D} : Elektrik yer değiştirme vektörü (C/m²)

\vec{H} : Manyetik alan yoğunluğu (A/m)

olarak tanımlanmaktadır.

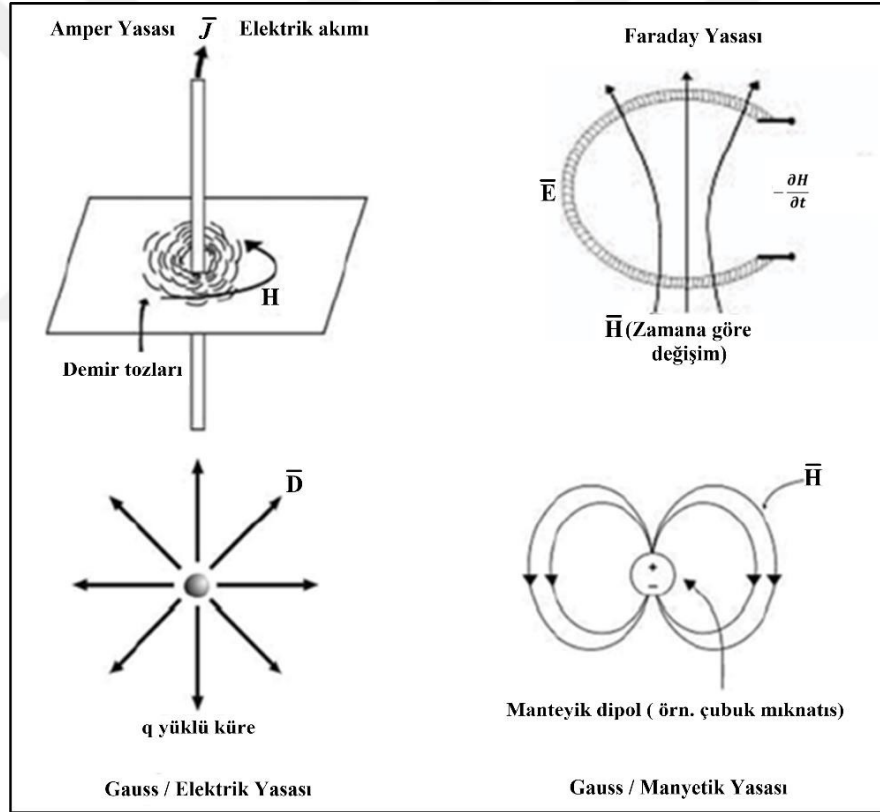
Maxwell'in 1. eşitliği (2.18) Faraday yasasını tanımlar. Zamanla değişen bir manyetik alan ortamdaki elektrik yüklerinin hareket etmesine neden olur ve bu yük hareketi, kapalı döngüsel bir elektrik alanı meydana getirmektedir.

Maxwell'in 2. eşitliği (2.19) Amper yasasını tanımlar. Bir elektrik akımı uzayda bir manyetik alanın vektörel kaynağını oluşturur. Oluşan bu manyetik alanın bölgedeki

iletkenlik (yük akışı) ve elektrik yüklerinin zamanla yer değiştirmesinden kaynaklanan toplam akıma orantılı olduğunu ifade eden Amper kanununun matematiksel ifadesidir.

Maxwell'in 3. eşitliği (2.20) Gauss yasasını ifade etmektedir. Elektrik alanın skaler kaynağı, ya elektrik alanın noktasal yüklerde sonlanması ya da maddeler içerisinde serbest yük yoğunluğu ile oluşur bu da Gauss yasası olarak bilinir.

Maxwell'in 4. eşitliği (2.21) doğada manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketlenmesiyle oluşan akım akışı sayesinde oluşur. Bu nedenle, manyetik alanlar sadece bu eşitlikte ifade edilen kapalı döngüde oluşacak ve manyetik alanın skaler kaynağı olmayacaktır. Bu durumda herhangi bir kapalı yüzeyde oluşan manyetik alanın akısı sıfıra eşittir. Maxwell denklemlerinin şematik gösterimi Şekil 2.15'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Maxwell denklemlerinin şematik gösterimi (Annan, 2001)

Radar sinyalinin ayrımlılık gücü ve penetrasyon derinliği, iletilen dalganın frekansına ve araştırılan ortamdaki malzemenin dielektrik özelliklerine bağlıdır (Tablo 2.3). GPR, yeraltı jeolojik özelliklerin iletkenlik ve hızların değişimleri nedeniyle araştırılmasına olanak sağlamaktadır.

Tablo 2.3. Bazı jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri. (n/a bu malzemeler için bir değer olmadığını ifade etmektedir), (Wilchek, 2000).

Malzeme	Bağıl dielektrik, Sabit, ϵ_r (ϵ/ϵ_0)	İletkenlik, σ , (mS/m)	Yayılm hızı, V, (m/nsn)	Soğrulma, Soğrulma sabiti, α
Hava	1	0	0.3	0
Buz	3-4	0.01	0.16	0.01
Su (taze)	80	0.5	0.033	0.1
Su (tuzlu)	80	3000	0.01	1000
Topraklar				
Kil	5-40	2-1000	0.06	1-300
Toprak (kuru)	3-5	0.01	0.15	0.01
Toprak (doğgun)	20-30	0.1-1.0	0.06	0.03-0.3
Silt	5-30	1-100	0.07	1-100
Mineraller				
Kalsit	7.8-8.5	$5*10^{-10}$	0.11	$3*10^{-10}$
Kuvars	4.2-5	$3*10^{-4}$ - $5*10^{-12}$	0.13-0.15	$2*10^{-8}$ - $4*10^{-12}$
Tortul kayalar				
Kireçtaşı	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1.0
Tuz (kuru)	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Kumtaşı	4.7-12	$1*10^{-5}$ -0.7	0.09-0.14	$5*10^{-8}$ -0.6
Şeyl	5-15	1-100	0.09	1-100
Magmatik kayalar				
Bazalt	12	$8*10^{-6}$ -0.025	0.09	$4*10^{-6}$ -0.01
Dasit	6.8-8,2	0.05	0.12	0.03
Diyabaz	10.5-34.5	$2*10^{-5}$ -50	0.05-0.09	$1*10^{-2}$ -26
Diorit	6	0.0002-0.002	0.12	0.0001-0.001
Gabro	8.5-40	0.001-1	0.05-0.10	$3*10^{-4}$ -0.6
Granit	4.6	0.01-1	0.13	0.01-1
Norit	61	0.02-1	0.04	0.004-0.2
Obsidiyen	5.8-10.4	n/a	0.11	n/a
Peridotit	8.6	0.15-0.33	0.10	n/a
Metamorfik kayalar				
Gnays	8.5	0.0003-0.02	0.10	n/a
Arjilit	n/a	1-100	n/a	n/a
Kuvarsit	n/a	$5*10^{-6}$ -100	n/a	n/a

Ortam şartları GPR ölçüleri için uygunsa, örneğin ortam yüksek oranda su ve kil içeriyorsa, uygun anten seçimiyle hedef yapıların yerleri ve derinlikleri belirlenebilir. GPR'ın genlik, faz bilgileri, saçılma özellikleri, varış zamanları ile yeraltı tabaka sınırları, yeraltı su seviyesi ve hedef kitleler hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Sonuç olarak oluşan veri matrisi içerisinde yansıma sinyallerinin belirli zamanlardaki ulaşım zamanları bulunmaktadır. GPR'ın performansı yeraltı özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Performans yansıma kalitesi, araştırma derinliği ve çözünürlük ile ifade edilebilir. Kullanılan farklı frekanslar hem çözünürlüğü hem de penetrasyon derinliğini etkiler. Yüksek frekanslarda, penetrasyon derinliği azalırken, düşey ayrımlılık artar. Buna karşılık, düşük frekanslı anten kullanılması durumunda araştırma derinliği artarken, düşey ayrımlılık azalmaktadır (Davis ve Annan, 1989; Annan, 2003).

Genellikle incelenilen ortamın düşük iletkenlikli ortam olması tercih edilir. Kil, şeyl gibi iletken ortamlar iletilen sinyalin soğrulmasına ve penetrasyon derinliğinin azalmasına neden olurken, granit ve kum gibi düşük iletkenli ortamlarda GPR dalgaları daha derinlere ulaşabilir (Annan vd., 1988). Tablo 2.4'de gösterildiği üzere iletken ortamlarda birkaç metre derinliğe kadar penetrasyon sağlanabilirken, düşük iletkenli ortamda bu 5-30 m arası derinlere kadar sağlanabilir (Davis ve Annan, 1986).

Tablo 2.4. Yaklaşık olarak kullanılan merkez frekansa karşı karşılık gelen ölçüm aralığı ve maksimum ve minimum nüfuz derinliği

Anten frekansı (MHz)	Hedef nesne boyutunun alt limiti (m)	Yaklaşık derinlik aralığı* (m)	Yaklaşık maximum nüfuz derinliği (m)
25	1	5-30	35-60
50	0.5	5-20	20-30
100	0.1-1	2-15	15-25
250	0.005-0.01	1-10	5-15
500	0.04	1-5	3-10
800	0.02	0.4-2	1-6
1000	cm	0.05-2	0.5-4

* Düşük öz dirençli materyallerin olmadığı normal jeolojik çevresel koşullarda

GPR yönteminde, hız ve sönümlenme yerin yüksek frekanslı radyo dalgalarının yayılmasını tanımlayan faktörlerdir (Davis ve Annan, 1989). Elektromanyetik dalganın yayılım hızını ortamın dielektrik sabiti belirler. Dielektrik sabit ile yayılma hızı arasında

ters orantı vardır. Dielektrik sabitin ani düşmesi sonucunda yeraltına gönderilen elektromanyetik dalgaların hızı artmaktadır. Dielektrik sabitin arttığı durumlarda (su içeriğinin yüksek olduğu durumlar), dalga hızı azalmakta ve enerji kaybına uğramaktadır. Bundan dolayı bu tür ortamlarda GPR ile çalışmak oldukça zordur (Weeds, 1994). Farklı jeolojik yeraltı ortamlarındaki radar enerjisinin yayılım hızları aşağıdaki Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Farklı yeraltı ortamlarının bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısı ϵ_r , hız V , elektrik iletkenlik σ ve sönümlenme α değerleri (Leckebrush, 2003).

Madde	ϵ_r	$V(\text{m/ns})$	$\sigma(\text{mS/m})$	$\alpha (\text{dB/m})$
Hava	1	0.3	0	0
Tuzlu su	81-88	0.033	3000	600
Tatlı su	80	0.033	0.5	0.1
Granit (kuru)	5	0.13	0.01	0.01
Kum (kuru)	5	0.13	0.01	0.01
Kil (ıslak)	10	0.095	500	300
Kumlu toprak (kuru)	2.6	0.19	1.4	1
Kumlu toprak (ıslak)	25	0.06	69	23
Killi toprak (kuru)	2.5	0.19	2.7	3
Killi toprak (ıslak)	19	0.07	500	200
Gölsel Çökel	50	0.04	-	-

Jeolojik malzemelerin elektromanyetik özellikleri, su içeriği ve onların bileşimleri ile ilişkilidir. Herhangi bir ortamdaki radyo dalgalarının hızı (V_m); bağıl dielektrik sabitine (ϵ_r), bağıl manyetik geçirgenliğe (manyetik olmayan malzemeler için $\mu_r = 1$) serbest ortamdaki ışığın hızına ($c = 0.3 \text{ mns}^{-1}$) bağlı olup (Reynolds, 1997);

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{(\frac{\epsilon_r \mu_r}{2})[(1+P^2)+1]}} \quad (2.22)$$

$$P = \sigma / \omega \epsilon \quad (2.23)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2.24)$$

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (2.25)$$

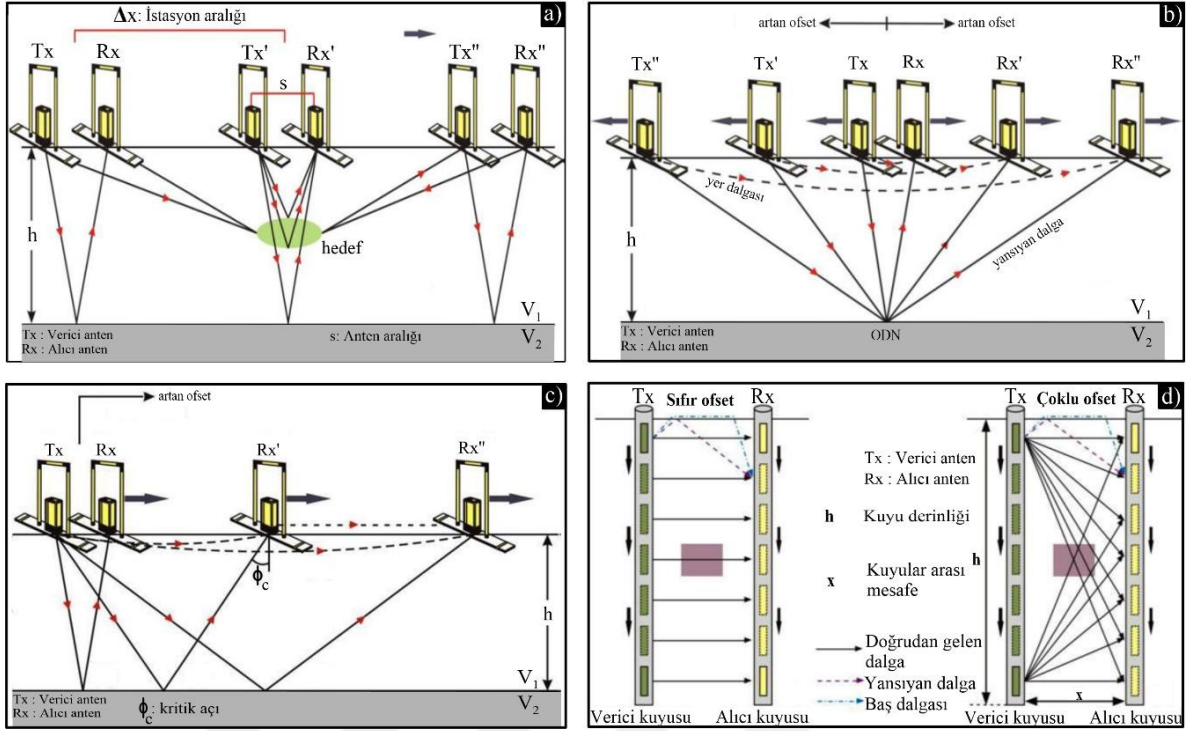
şeklinde gösterilir. Burada; f = frekans (Hz), ϵ = Elektriksel geçirgenlik, σ = İletkenlik (S/m), P = Kayıp faktörü, ϵ_0 = Serbest havanın elektriksel geçirgenliği ($8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m) olarak ifade edilir.

Uygun düşük kayıplı jeolojik malzemelerde ($P \approx 0$) radar dalgaları yayılımı ile radar sinyal hızı, ϵ_r ile ilişkili olup aşağıdaki denklem ile verilmiştir (Davis ve Annan, 1989).

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.26)$$

GPR ölçümlerinde veri toplamak için birçok anten düzeneği vardır. Bunlar, sabit aralıklı ölçüm, Ortak Derinlik Noktası (ODN) ve Geniş Açılı Yansıma-Kırılma (GAYK) ve kuyu tomografi ölçümleridir. Sabit anten aralıklı düzenekte verici T_x ve alıcı R_x antenler arasındaki uzaklık sabit olmak kaydıyla hareket ettirilir (Şekil 2.16a). ODN ölçümünde ise belirlenen sabit bir orta noktanın iki tarafa yerleştirilen verici T_x ve alıcı R_x antenler düzenli aralıklar ile birbirinden uzaklaştırılır (Şekil 2.16b). Tabakaların hızlarını belirlemek için ODN ölçümleri genel olarak kullanılır. GAYK ölçümünde ise verici T_x başlangıç noktasında sabit kalırken, alıcı R_x ofsetin artırılmasıyla doğrultu boyunca ilerler (Şekil 2.16c). Bu yöntemin uygulanabilmesi için eğimin çok az ve temel yansıtıcı yüzeyin yatay olması gerekmektedir (Reynolds, 1997). Karşılıklı kuyular arası radar tomografi ölçümleri sıfır ofset profil ve çoklu ofset profil gibi değişik düzenlerde gerçekleştirilir (Şekil 2.16d). Sıfır ofset profil düzeninde alıcı ve verici bir istasyondan diğerine eş zamanlı hareket eder. Çoklu ofset profil düzeninde ise, verici anten verici kuyusundaki bir istasyonda sabit kalırken, alıcı kuyusundaki alıcı anten sabit istasyon aralıkları ile kuyu içerisinde ilerler.

Ölçümler genellikle bir profil üzerinde, önceden belirlenmiş ölçüm noktalarında alınır. Verici T_x ve alıcı R_x antenler yer yüzeyde ilerleyerek çeşitli izler toplamakta ve bu izlerin binlercesi bir araya gelerek radargam adı verilen GPR kesitlerini oluşturmaktadır. Yansıma profilleri antenlerin bir hat üzerinde hareket etmesi ile toplanır. GPR çalışma prensibinde, verici T_x ve alıcı R_x antenlerden optik kablolar ile sinyaller kontrol birimine gelerek sayısallaşır. Kontrol biriminden ise çeşitli bağlantı yöntemleri ile bilgisayar ortamına aktarılır.



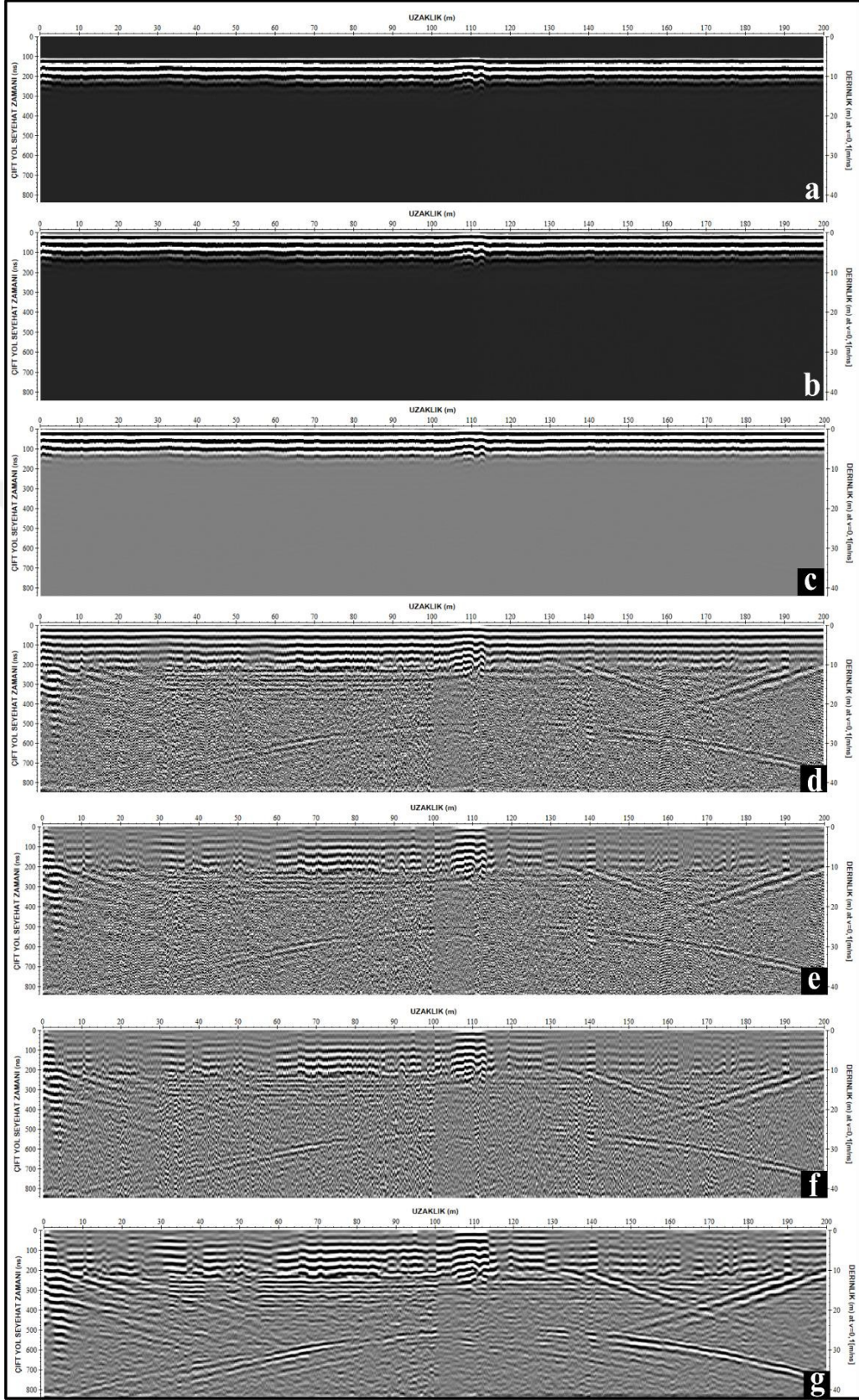
Şekil 2.16. a) Sabit aralıklı anten ile uygulanan GPR ölçümü, b) ODN metodu ile uygulanan GPR ölçümü, c) GAYK metodu ile uygulanan GPR ölçümü (Reynolds, 1997) d) Karşılıklı kuyular arası sıfır ve çoklu ofset durumlarında radar tomografi ölçümleri (Kayen vd., 2002; Annan, 2009)

Ölçülen ham GPR verilerinden araştırılan ortamın yapısal durumunu yorumlamak bir hayli zordur. Arazi çalışmalarında veriler toplanırken kötü hava, arazi koşulları ve aletsel donanımdan dolayı ortaya çıkabilecek yüksek ve düşük genlikli gürültüler veriye kaydedilebilir. Bu nedenle GPR ölçümlerinde elde edilen sayısal verilerin daha anlaşılır görüntüler haline getirilmesi gerekmektedir. Yorumlanabilir görüntüye ulaşabilmek için GPR çalışmalarının en önemli kısımlarından olan veri işlem aşamalarında çeşitli süzgeç parametreleri ve teknikleri kullanılmaktadır (Leucci ve Negri 2006). Bu veri işlem aşamaları, temel veri işlem ve ileri veri işlem olarak değerlendirilerek ham GPR verisine uygulanır. Uygulanan temel veri işlem adımları; sıfır zaman düzeltmesi, düşük frekans harmoniklerinin kaldırılması (Dewow), genlik kazanç işlemi (Gain) ve Ringing etkisinin giderilmesi (background removal) dir. İleri veri işlem adımları; band geçişli süzgeç ve göç işlemleridir. Herhangi bir çalışma alanında GPR ölçümlerinden elde edilen örnek GPR ham verisine genel olarak uygulanan veri işlem adımları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Ham GPR verisi (Şekil 2.17a).
- Sıfır zaman düzeltmesi: Alıcı ve verici antenler arasında boşluk sebebiyle alıcı anten ölçüme başladığı andan doğrudan gelen dalgaya ulaşıncaya kadar bir zaman geçmektedir. Bu nedenle GPR kesitlerinde anten ve yeryüzü arasında veri bulunmayan bir bölüm bulunmaktadır. Bu durumda veri negatif zamana kadar ötelenerek gürültü giderilebilir. Ayrıca, tüm izleri aynı sıfır zamanına taşımak için bir referans değerinin tanımlanması gerekir. Sıfır zaman düzeltmesi (i) İlk kırılma (dalga formunun titreşime başladığı zaman) (ii) İlk pozitif veya negatif pik noktaları (iii) İlk pozitif ve negatif pik arasındaki sıfır genlik noktası (iv) Pozitif ve negatif pikler arasındaki ortalama genlik noktası değerlerinden biri referans seçilerek uygulanabilir (Benedetto vd., 2017; Yelf, 2004), (Şekil 2.17b).
- Düşük frekans harmoniklerinin kaldırılması (Dewow): GPR kesitlerinde genellikle gerçek yansımaları veya kırılmaları maskeleyebilecek güçlü düşük frekans harmonikleri (wow) veya ilk doğru akım ofset (DC shift) etkileri görülür. Bu harmonikler, antenler tarafından iletilen gerçek bilgilerdir ve GPR izinin ortalama genliğinin sıfırdan farklı değerlere doğru bozulmasına neden olabilir (Dougherty, 1994). Bu oluşumları bastırmak için en yaygın filtreleme yaklaşımı dewow süzgeçleridir. Bu süzgeç, GPR sinyalinin Nyquist frekansının altındaki belirli bir eşikten daha düşük hakim frekanslı harmonikleri bastırır. Dewow süzgeç genellikle yeterli sonuçlar verir, ancak veri kaybına neden olabilecek bozunma etkilerinden kaçınmaya özen gösterilmelidir (Gerlitz vd., 1993), (Şekil 2.17c).
- Genlik Kazanç İşlemi (Gain): Geometrik açılım ve sinyal soğurulmasının etkisine bağlı olarak sonraki varışların görünümünün kuvvetlendirmesi işlemidir. Gain işleminde genellikle Reflexw programında 'energy decay' tekniği tercih edilir. Bu teknik her bir iz için ayrı ayrı uygulanır. Seçilen artış eğrisi 'y' ekseninde tüm profillere uygulanır ve enerjideki kayıplar ortaya çıkarılır. Tüm profile uygulanan bu artış ve azalış toplamda gerçekliliği etkilememekte sadece görünürlüğü yükseltmektedir. Tüm işlemler sonucunda izlerdeki enerji sabit bir değer ile çarpılır (Şekil 2.17d).
- Ringing etkisinin kaldırılması (Background removal): Ringing, gerçek yansımaları etkileyebilecek veya bastırabilecek güvenilir olmayan güçlü yatay

yansımalarından oluşur. Bu yatay benzeri yansımalar, anten ve elektrik kabloları, cep telefonları vb., arasındaki etkileşimden kaynaklanabilir. Bu durum genellikle ‘background gürültü’ olarak adlandırılır (Daniel, 2004). Bu gürültüyü kayıtlardan kaldırmak için GPR kesitindeki tüm izler kullanılarak ortalama bir GPR izi hesaplanır. Ortalama iz her bir GPR izinden çıkarılır. Background-removal filtresi, ham bir GPR izinin yerleşimini büyük ölçüde değiştirir ve GPR kesitinin görüntüsü netletirir. Ayrıca, düşük frekans harmonikleri bazen yatay benzeri yansımalarda görüldüğü için bu süzgeç kısmen bir dewow süzgeci olarak işlev görebilir (Şekil 2.17e).

- Band geçişli süzgeç: Bant geçişli süzgeç uygulanmasının en önemli nedeni, çoğunlukla verilerin görsel kalitesini artırmak için yüksek ve düşük frekanslı rastgele gürültüyü kaldırmaktır. Yüksek geçişli süzgeçler, tipik çevre nesnelere (örneğin, taşıtlar, bina ve trafik bariyerleri) tarafından üretilen gürültüyle çalışır; düşük geçişli süzgeçler, cep telefonları gibi EM cihazları tarafından üretilen sinyal bileşenlerini keser (Bano vd., 1999; Nuzzo, 2003). Genel olarak, düşük ve yüksek geçişli filtreler için frekans değerleri toplanan sinyalin analizi ile belirlenir. Bu süzgeçleme ile, bant genişliğinin yanlış ayarlanması, gürültünün uygun olmayan bir şekilde süzgeçlemesine veya büyük olasılıkla çıkartılan frekans bantlarında bulunan ilgili bilgilerin kaybına neden olabilir (Horstmeyer vd., 1996) (Şekil 2.17f).
- Göç: Göç işlemi GPR verilerinin değerlendirilmesi aşamasında önemli rol oynamaktadır. Yer altı yapılarının gerçek görüntüsünü GPR ham verisinden ve önceden tasarlanan hız modelinden yararlanarak gerçek görüntüsüne getirmenin yanında, göç algoritması gerçek çevresel hız modelinin tasarlanmasında etkili bir işlemdir. Göç işleminin bir türü olan “diffraction stack”, kolay bir göç işlemi olup asıl amacı yansıma ve kırınım enerjisini gerçek yerlerine geri taşımaktadır. Önceden belirlenmiş bir bant genişliği hesaplanmış bir hiperbol üzerinden profilin her noktası için uygulanıp uzaklık-zaman ortamında yapılır (Şekil 2.17g).



Şekil 2.17. Örnek bir GPR hattı ve uygulanan veri işlem adımları. (a) Ham veri. (b) Sıfır zaman düzeltmesi (c) Dewow (d) Genlik kazanç işlemi. (e) Background removal.(f) Band geçişli süzgeç. (g) Göç işlemi

2.4. Jeoteknik Çalışmalar

Jeoteknik çalışmalarda açılan temel sondaj kuyularında yapılan geçirimsizlik testleri ve sondaj karotlarından belirlenen RQD, eklem sıklığı, ayrışma derecesi ve schmidt sertliği değerleri belirlenmeye çalışılır.

2.4.1. Geçirimsizlik

Boşluktaki akışkanın hareketine olanak veren zemin özelliğine geçirimsizlik denir. Akışkanın su olması durumunda hidrolik iletkenlik katsayısı (K) dır. Hidrolik iletkenlik katsayısı ortamın ve akışkanın özelliklerine bağlıdır. Geçirimsizlik kayacın petrografik özelliklerine, tektonik olaylara ve metamorfik koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Kaya ve zemin türü bazı malzemelere ait geçirimsizlik ve hidrolik iletkenlik değer aralıkları Tablo 2.6’da verilmiştir (Singhal ve Gupta, 1999).

Tablo 2.6. Çeşitli jeolojik malzemelerin hidrolik iletkenlik ve geçirimsizlik değer aralıkları (Singhal ve Gupta, 1999).

Hidrolik İletkenlik	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³
K (ms ⁻¹)														
Geçirimsizlik, k (darcy)	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
Göreceli Değerler	Çok Yüksek			Yüksek			Orta			Düşük			Çok Düşük	
Konsolide olmayan malzemeler														
Çakıl	████████████████████													
Temiz kum		████████████████████												
Siltli kum			████████████████████											
Bloklu kil (Genellikle kırıklı)				████████████████████										
Kayalar														
Şeyl ve silttaşı (Kırıklı değil)												████████████████████		
Şeyl ve silttaşı (Kırıklı)												████████████████████		
Kumtaşı												████████████████████		
Kumtaşı (Kırıklı)												████████████████████		
Kireçtaşı ve dolomit												████████████████████		
Karstik kireçtaşı ve dolomit												████████████████████		
Masif bazalt												████████████████████		
Kırıklı bazalt												████████████████████		
Kırıklı ve bozunmuş kristalin kayac												████████████████████		
Masif kristalin kayac												████████████████████		

Geçirimsizlik arazide yapılan yerinde deneyler ya da laboratuvarında örnekler üzerinde belirlenebilir. Arazide yapılan geçirimsizlik deneyleri kaya ve/veya zeminlerde etkin geçirimsizlik değerlerini belirlemede oldukça öneme sahiptir (Şekercioğlu, 2002). Bu

deneyler göz önüne alınarak kayalar Lugeon birimine (lt/dak/m) ya da K (cm/s) katsayısına göre sınıflandırılırlar.

2.4.1.1. Lugeon Deneyi

Kaya kütlelerinin geçirimsizliğini belirlemede kullanılan en yaygın yöntemdir. İnceleme alanında yapılan sondaj ve Lugeon deneyi Şekil 2.18’de verilmiştir. Lugeon, 10 atm gerçek basınç altında 1 dakikada, 1 m uzunluğundaki deney zonunda litre olarak basılan su miktarıdır (Lugeon, 1933).

Sondaj kuyu ölçümleri genellikle düşey yönde 2 ile 5 metre arasında değişebilen deney noktalarında gerçekleştirilir. Kaya kütlelerinin fiziksel ve yapısal özelliklerine göre deneyde uygulanacak kademe boyu uzunlukları değişmektedir. Çok geçirimli ve değişken özellikteki kayalarda kademe boyu 1m’ye kadar düşerken, geçirimsiz ve üniform özellikli bir kaya kütlelerinde 5-10 m’lik kademelerde uygulanır (Akyüz, 2010).

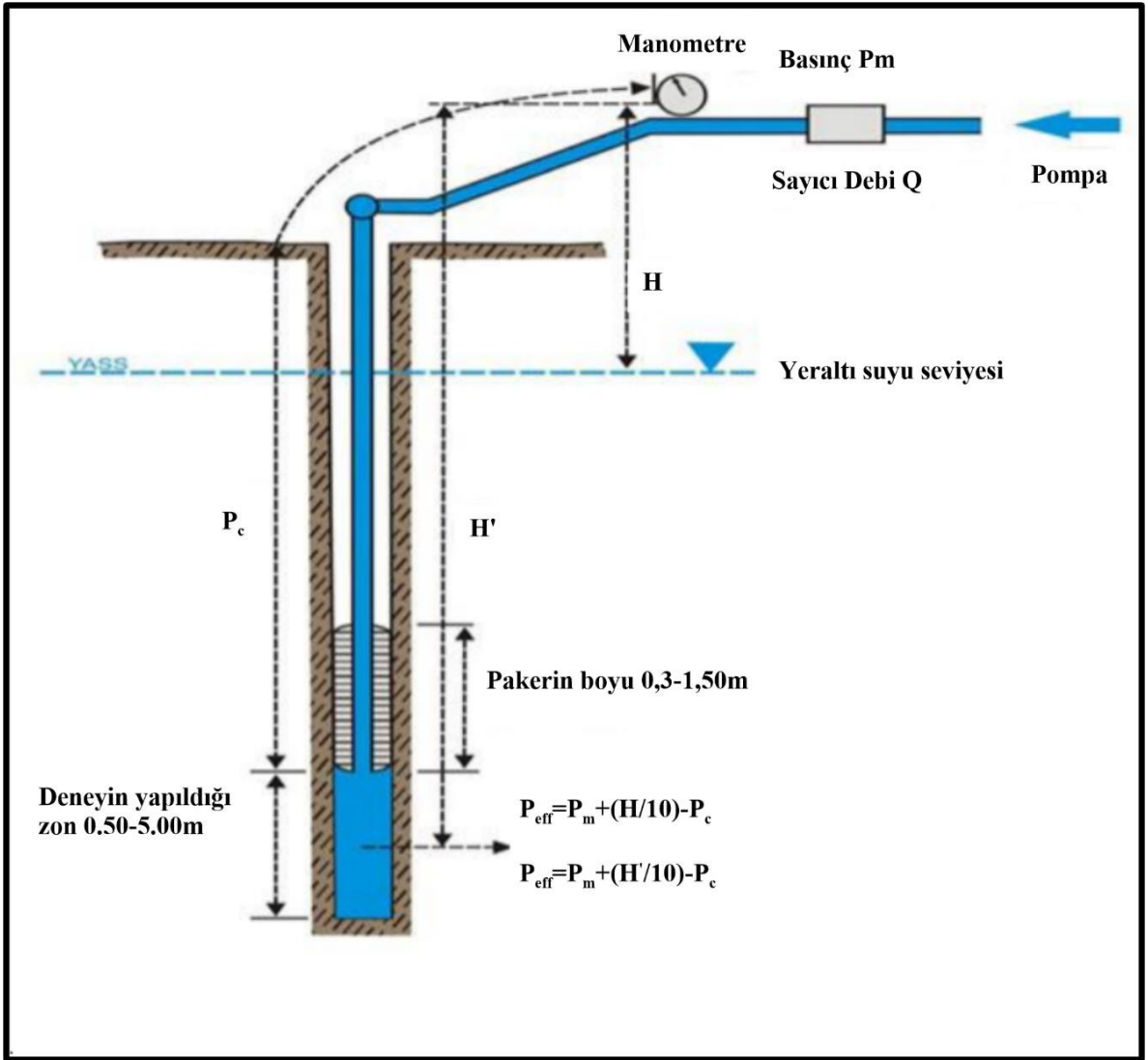


Şekil 2.18. Arazide sondaj ve BST deneyi

Kayacın özelliklerine göre değişen Lugeon deneyi sırasındaki uygulanan basınçlar, bu konuda belirlenmiş bir standart olmamakla beraber deney 2, 4, 6, 8, 10 kg/cm²’lik

basınç kademelerinde gerçekleştirilmektedir. Lugeon deneyi sırasında her basınç kademesinde 10 dakika beklenir ve su kaçaqları 5'er dakikalık aralarla kaydedilir. Daha sonra 9, 7, 5, 3, 1 kg/cm²'lik geri dönüş basınçları uygulanarak kayıt altına alınır (Şekil 2.19).

Lugeon yönteminde kullanılan basınçlar gerçek basınçlardır. Gerçek basınçlar hesaplanırken kuyunun eğimi, tij ve manşonlardaki yük kayıpları ve yeraltı su seviyesi dikkate alınır.



Şekil 2.19. Lugeon deneyinin yapılışı (Şekercioğlu, 2007)

Lugeon biriminin hesaplanmasında gerçek basıncı (P_{eff}) bulabilmek için yeraltı su tablası üzerindeki statik yük (H/10) ve manometrede okunan basınç (P_m) toplanıp, elde

edilen değerden, deney kademesi üst kotu ile manometre kotu arasındaki yük kaybı (P_c) çıkarılarak elde edilir.

$$P_{\text{eff}} = P_m + (H \text{ veya } H^1/10) - P_c \quad (2.27)$$

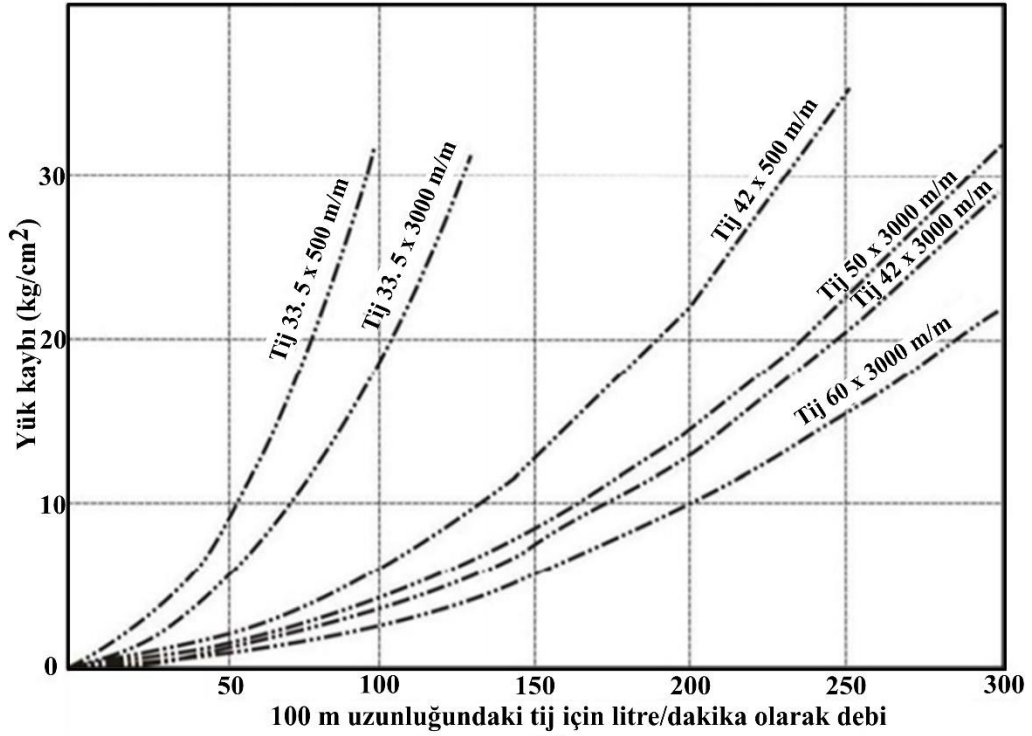
P_{eff} : Deney zonundaki gerçek basınç (kg/cm^2)

P_m : Manometrede okunan basınç (kg/cm^2)

H: Yeraltı suyundan manometreye kadar olan mesafe

H^1 : Yeraltı suyu olmaması durumunda deney zonunun ortasından manometreye kadar olan düşey uzaklık (m)

P_c : Manometre ile deney zonu başlangıcı arasındaki tijlerde, vanalarda, manometreden sonraki borularda meydana gelen yük kaybı (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Tij ve maşonlardaki yük kaybını gösteren Abak (Şekercioğlu, 2007)

Lugeon deneyi düşey yönde açılan sondajlarda,

Düşey kuyularda gerçek basınç:

Deney yeraltı suyu seviyesinde yapılıyorsa,

$$P_{\text{eff}} = P_m + (H/10) - P_c \quad (2.28)$$

Deney yeraltı suyu seviyesinin üzerinde yapıyorsa,

$$P_{\text{eff}} = P_m + (H^I/10) - P_c \quad (2.29)$$

Farklı nedenlerle deney sırasında 10 atm basınç uygulanmaması durumunda Lugeon değeri (LU) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$LU = (Q \times 10) / (P \times L) \quad (2.30)$$

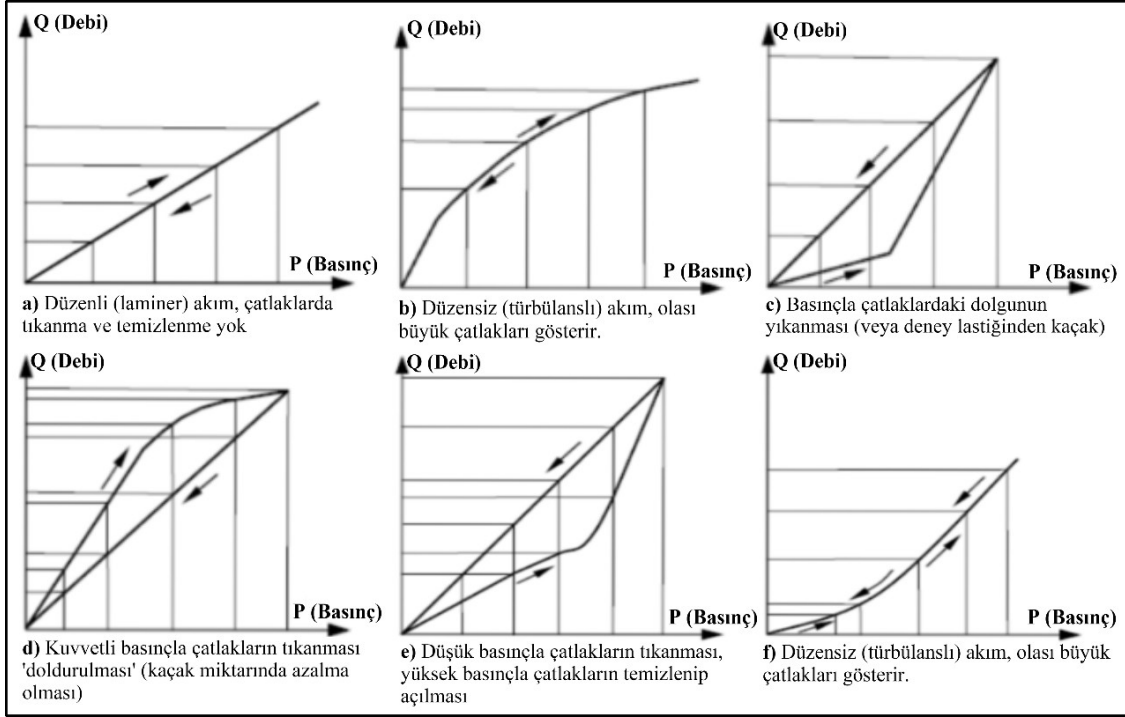
Bu eşitlikte, Q kuyuya verilen su miktarı (lt/dk), LU Lugeon değeri (lt/dk/m), P uygulanan su yükü (kg/cm^2) ve L kademe boyu (m) olarak ifade edilmektedir. (Fell vd., 2005)'de önerdiği çizelgedeki Lugeon değerleri ile hidrolik katsayısı (K) arasındaki ilişki denklemi (2.31)'de verilmiştir.

$$K = 1 \times 10^{-5} \times (LU)^{1.0082} \quad (2.31)$$

Lugeon deneylerinde uygulanacak gerçek basınç, manometre basıncı ile statik yükün toplamından, boru-tij-vana gibi elemanlarda olan sürtünme kayıplarının çıkarılmasına eşittir. Düşey, eğik ve yatay kuyularda gerçek basıncın hesaplanması deneyin yeraltı suyunun altında veya üstünde yapılmasına göre farklı şekilde hesaplanmaktadır. Lugeon BST deneyinde, basınç ve debiye bağlı kümeli eğrilerin yorumlanmasında, kayaçların geçirimsizliği ve boşlukların özellikleri ortaya koyulmaktadır. Elde edilen eğri tipleri ve yorumlamaları Şekil 2.21'de verilmiştir. Lugeon (LU) değerleri ve hidrolik katsayı (K) karşılık gelen kayaçların geçirimsizlik sınıflaması Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Kayaçların LU (Lugeon, 1933) ve K birimine göre geçirimsizlik sınıflaması.

Lugeon (lt/m/dak)	Kaya Sınıfı	Hidrolik Katsayı (K)	Kaya Sınıfı
<1	Geçirimsiz	<10 ⁻⁶	Geçirimsiz
1-5	Az Geçirimli	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵	Az Geçirimli
5-25	Geçirimli	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	Yarı Geçirimli
>25	Çok geçirimli	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	Geçirimli
		>10 ⁻³	Çok Geçirimli

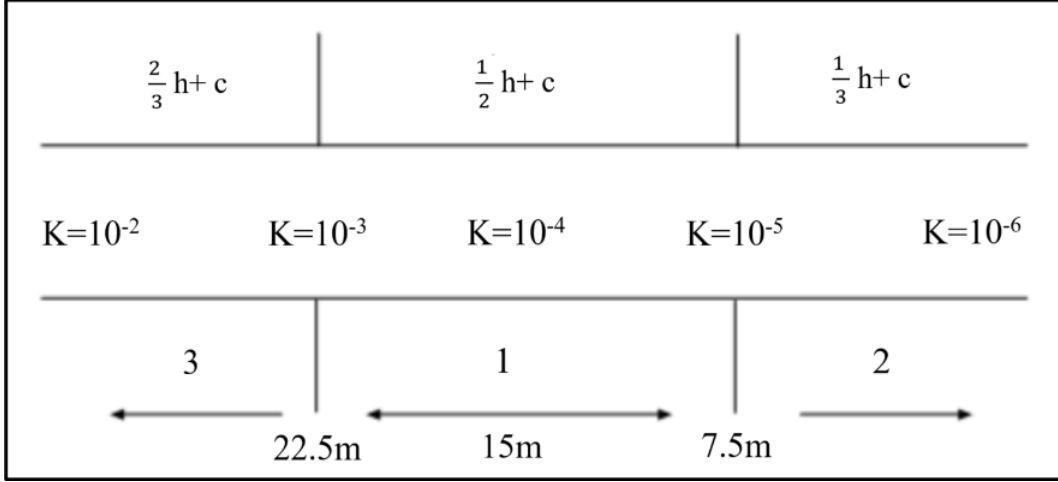


Şekil 2.21. Basınçlı su deneylerinde elde edilen eğri tipleri yorumları (Albayrak, 1975)

2.4.1.2. Enjeksiyon Perde Derinliğinin Hesaplanması

Baraj gövdesinde eksen yeri boyunca oluşabilecek sızıntılar (su kaçaqları) su kayıplarına sebebiyet verecek olup zamanla büyüyerek taşkınlara yol açabilmektedir. Dolayısıyla bu kaçaqların sızma derinliğini uzatıp baraj gövdesinde oluşabilecek kaldırma basınçlarını azaltarak uygun enjeksiyon perde derinliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Baraj sahalarında geçirimli özelliğe sahip birimleri geçirimsiz birimlere bağlayacak şekilde bir enjeksiyon perdesinin yapılması en çok istenilen durum olup çoğu zaman bu sağlanamamaktadır. Bu durumlarda, geçirimli ve yarı geçirimli birimlerin içerisine geçirimsizlik perdesi oluşturularak sızma boyutunun uzatılması amaçlanır ve amaca uygun enjeksiyon perde derinliği hesaplanır. Kayacın geçirimliliği ve baraj su sütununun yüksekliğine bağlı olarak enjeksiyon perde derinliğinin hesaplanması United States Breuau of Reclamation (USBR, 1980) tarafından deneysel olarak önerilmiş olup Şekercioğlu (2007) çalışmasında enjeksiyon perde derinliğinin hesaplanması kayacın geçirimliliğine ve barajın yüksekliğine bağlı olarak vermiştir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Enjeksiyon perde derinliğinin hesaplanması (Şekercioğlu, 2007)

$$1 \text{ numaralı bölgede: } h' = (h/2)+c \quad (2.32)$$

$$2 \text{ numaralı bölgede: } h' = (h/3)+c \quad (2.33)$$

$$3 \text{ numaralı bölgede: } h' = (2h/3)+c \quad (2.34)$$

h' = Enjeksiyon perdesinin derinliği (m)

h = Baraj su sütununun yüksekliği (m)

K = Hidrolik geçirimsizlik katsayısı (cm/s)

c = Kayacın geçirimsizliğine göre değişen katsayı

2.4.2. RQD (Kaya Kalite Göstergesi) ve Eklem Sıklığı

RQD, silindirik şekilde, boyu 10 cm ve daha büyük ve ilerleme aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış olan karot parçalarının, toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzde olarak ifade edildiği sayısal bir indekstir. RQD aşağıda verilen denklem ile belirlenir (Deere, 1964).

$$RQD = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L} \quad (2.35)$$

Burada l , RQD'ye dahil edilen ve boyu 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları n , ilerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı, L ise ilerleme uzunluğudur.

Eklem sıklığı, bir ilerlemedeki (1m) doğal süreksizliklerin sayısının ilerleme aralığının uzunluğuna oranıdır. RQD ile eklem sıklığı (F) parametreleri arasında genellikle ters orantılı durum mevcut olup, birinin artması diğerinin azalması şeklinde ifade edilmektedir. Priest ve Hudson (1976)'da birbirini denetleyen bu parametreler arasında denklem (2.36) ile verilen deneysel bir ilişki önermişlerdir.

$$RQD = 100 (0.1F+1)e^{-0.1F} \quad (2.36)$$

RQD ile eklem sıklığı arasında önerilen bu eşitliğe göre expotansiyel bir ilişki mevcuttur. Ayrıca, Deere (1964) RQD sınıflandırması ve ISRM (2007) eklem sıklığı sınıflandırması Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Deere (1964)'nin RQD sınıflandırması ve ISRM (2007)'in eklem sıklığı sınıflandırması

RQD (Kaya kalitesi)		Eklem sıklığı (m^{-1})	
ROD Sınır Değeri	Kaya kalitesi	Eklem sıklığı	Kaya tanımı
90-100	Çok iyi	<1	Masif
75-90	İyi	1-3	Az çatlaklı – kırıklı
50-75	Orta	3-10	Kırıklı
25-50	Kötü	10-50	Çok çatlaklı – kırıklı
0-25	Çok kötü	>50	Parçalanmış

2.4.3. Kaya Kütlelerinin Bozunma Derecesi

Kayaçların çeşitli etkenlerle, mekanik, fiziksel, elastik ve petrografik özelliklerinin değişmesi olayına bozunma denir. Aynı kayaçta görülen farklı derecedeki bozunma kayacın mühendislik özelliklerinde farklar oluştuğu için mühendislik jeolojisinde önemi büyüktür. Kayaçların ayrışması, süreksizlikler üzerindeki etkisine, ayrışmaya uğramış malzemenin kütledeki dağılımı ve kayaçtaki renk değişimine göre değerlendirilir (Şekercioğlu, 2002). Kayaçların bozunma derecelerine göre tanımlanması aşağıda Tablo 2.9'da verilmiş olup farklı bozunma derecelerindeki tipik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.9. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 2007).

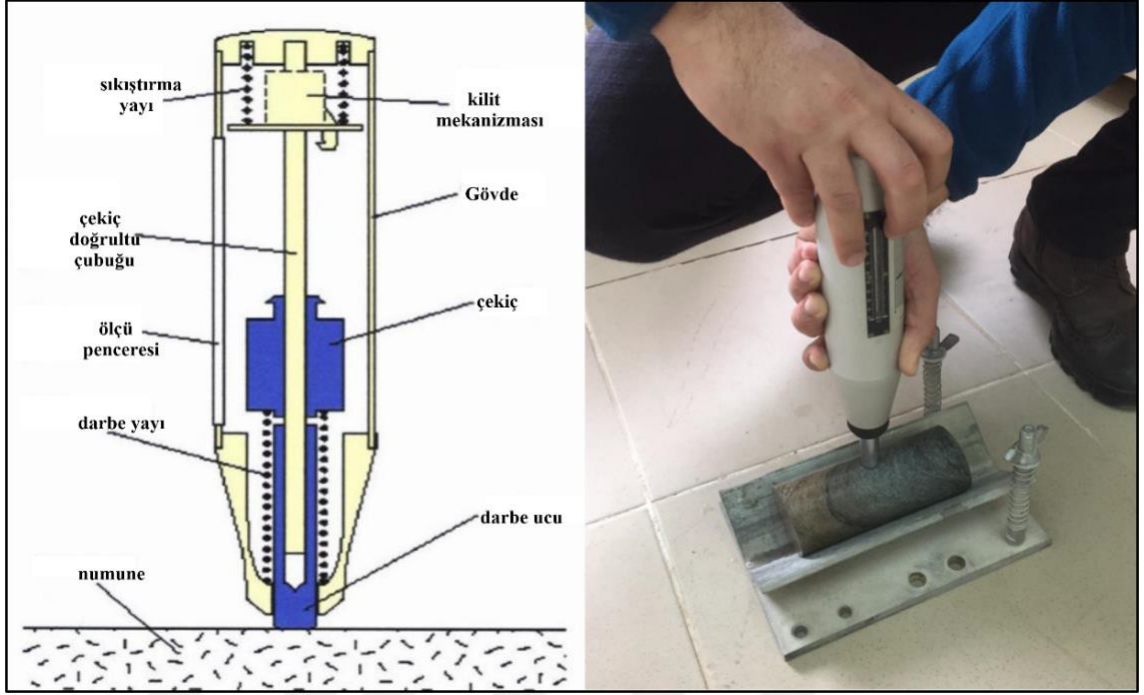
Ayrışma Terimi	Derece Sembolü	Tipik Özellikleri
Artık Zemin	W5	Kayacın tümü toprak malzemeye dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber, zemin taşınmamıştır.
Tamamen bozunmuş	W4	Kayacın tümü toprak malzemeye dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.
Orta derecede bozunmuş	W3	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak malzemeye dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Taze veya rengi değişmiş kaya sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.
Az bozunmuş	W2	Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiştir. Kayaç taze halinden zayıf olabilir.
Bozunmamış (taze)	W1	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.

2.4.4. Schmidt Geri Sıçrama Sertliği

Schmidt çekici kullanılarak kayaların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini ve basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılan bir deney aletidir (Ulusay vd., 2001). Schmidt çekici beton ve kayaç numunelerinin yüzey sertliklerinin belirlenmesinde de kullanılır. Schmidt çekici testi hem arazide hem de laboratuvarlarda yapılabilmektedir. Laboratuvarda sertlik ölçümleri numune beşiğine koyularak alınır ve schmidt çekicindeki değeri okunur (Şekil 2.23). Karot numunesinin farklı noktalarında ölçülen 20 darbenin büyükten küçüğe sıralanarak en büyük 10 tanenin ortalaması alınarak hesaplanır (ISRM, 2007). Karpuz ve Paşamehmetoğlu (1997)'nin Schmidt sertliğine göre bozunma derecesini sınıflamasını Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10. Karpuz ve Paşamehmetoğlu (1997)'nin Schmidt sertliğine göre bozunma derecesi

Bozunma Derecesi	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Tanımlama
I	54-61	Taze
II	39-54	Az Bozunmuş
III	28-39	Orta Derecede Bozunmuş
IV	19-28	İleri Derecede Bozunmuş
V	<19	Aşırı Derecede Bozunmuş



Şekil 2.23. Schmidt çekici genel kısımları ve ölçüm düzeneği

2.4.5. İstatistiksel Çalışmalar

Kaya kütlelerinin geçirimsizliği, mühendislik uygulamalarının tasarımında kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Bu parametrenin belirlenmesinde yerinde deneylerin haricinde geçirimsizliği denetleyen jeoteknik ve jeofizik özelliklerin çok karmaşık olması sebebiyle günümüzde bu parametrenin belirlenmesine yönelik çok az deneysel ilişki kurulabilmiştir. Yerinde deneylerin maliyetli, zaman alıcı ve sondaj kuyusu içerisinde yapılması sebebiyle incelenen her mühendislik yapısında bu tür deneyler imkânlar çerçevesinde kısıtlı yapılmaktadır. Bu durum yapılan değerlendirmelerde bir takım mühendislik eksikliklere yol açmaktadır. Bu sınırlamalar, araştırmacıları kaya kütlelerinin geçirimsizliğini deneysel ilişkiler yardımıyla belirleyebilmek için çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından geçirimsizlikte kullanılan bazı eşitlikler Tablo 2.11’de verilmiştir.

İstatistiksel analizler ile basit regresyon çalışmaları, anlamlılık testleri ve eşitliklerin performansını belirlemek için RMSE (karekök ortalama hata payı) ve VAF (Values Account For) indeksleri değerlendirilmiştir.

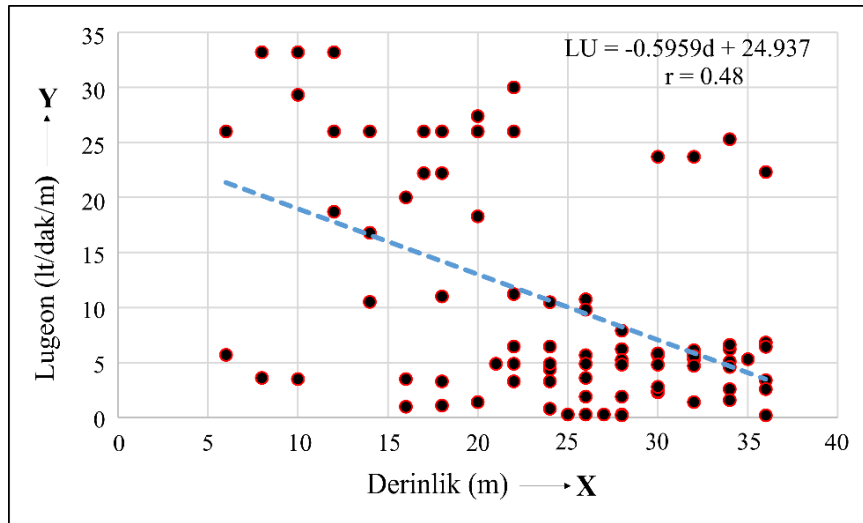
Tablo 2.11. Araştırmacılar tarafından geçirimlilik analizinde kullanılan eşitlikler

Araştırmacılar	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	No
Farid ve Rizwan (2017)	$K = 3447e^{-0.06(RQD)} \quad RQD > 50$	0.66	1
Farid ve Rizwan (2017)	$K = 1015e^{-0.02(RQD)} \quad RQD < 50$	0.65	2
Qureshi vd., (2014)	$K = 0.01382 - 0.003\ln(RQD)$	0.84	3
Adedokun vd., (2016)	$LU = -0.012(RQD) + 4.101$	0.77	4
Öge ve Çırak (2019)	$LU = 14.0 + 0.198(RQD)$	0.36	5
Kayabaşı vd., (2015)	$LU = -8.665\ln(RQD) + 41.229$	0.72	6
Kargaranbafghi vd., (2018)	$LU = 1933.3e^{-0.0019V_p}$	0.91	7

2.4.5.1. Basit Regresyon Analizleri

Basit regresyon iki değişken arasındaki ilişkiyi ifade eden matematiksel bir eşitlik olup, y bağımlı değişkenin değerini seçilen bir x bağımsız değişken değerinden tahmin edilir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Regresyonun şeklini görmek için önce dağılım diyagramı hazırlanır. Bu diyagramda biliniyorsa bağımsız değişken X eksenine ve bağımlı değişken Y eksenine yerleştirilir (Şekil 2.24).

Regresyon bağımsız değişkenin bilinmesi veya bilinmemesi durumuna göre iki farklı şekilde hesaplanır (Morrison, 1983; Draper ve Smith, 1981). Örneğin, derinliğe göre Lugeon değişimi ölçülmüş ise buradan açıkça Lugeon değişiminin derinliğe bağlı olduğu söylenebilir. Yani Lugeon bağımlı (Y) buna karşılık derinlik bağımsız değişkendir (X).



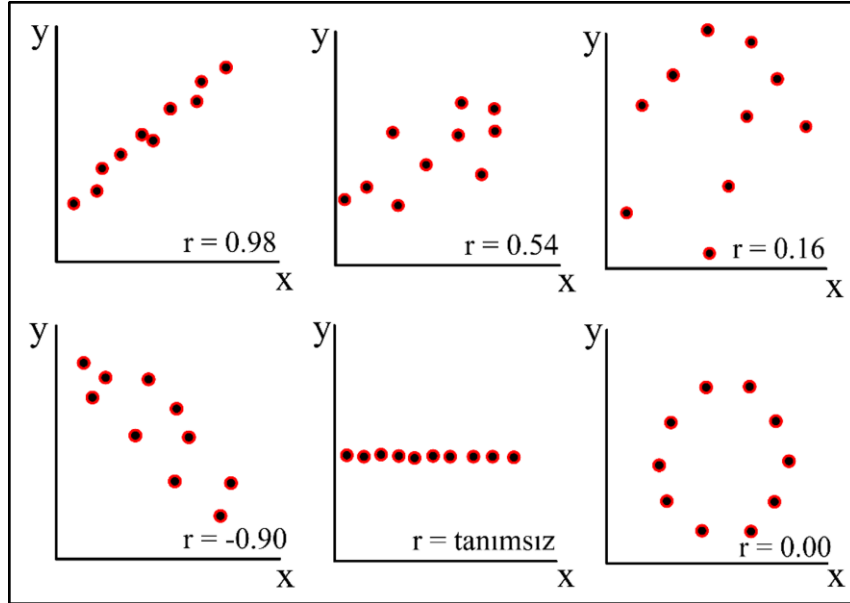
Şekil 2.24. Derinliğe göre Lugeon değerlerine ait dağılım grafiği

Basit regresyon analizlerinde korelasyon katsayısının anlamlı olup olmadığı her zaman test edilmelidir. Korelasyon katsayısı, belli anlamlılık düzeyinde ve $n-2$ serbestlik derecesinde t testi kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$t = r\sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2.37)$$

Bu formülde bulunan t (h), t (tablo) değerlerinden büyük ise ‘korelasyon anlamlıdır’ sonucuna varılır. Korelasyon katsayısı EK-1’deki tablodan yararlanılarak başka bir şekilde de test edilebilir. Burada, değişkenler arasında hesaplanan korelasyon katsayısı (r) EK-1’de verilen tabloda Pearson’un belirlediği korelasyon katsayısından büyük ise ilişkinin anlamlı olduğu söylenebilir. Ayrıca, korelasyon analizlerinde %95 güvenilirlik düzeyinde elde edilen anlamlılık katsayılarının 0.05 değerinden küçük çıkması karşılaşılan tüm değişkenlerin anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Korelasyon katsayısı değerleri +1 ile -1 arasında değişir. Bu nedenle, x ile y arasında çok iyi bir ilişki varsa veya her ikisi de aynı oranda değişiyorsa $r = +1$, ikisi arasında çok iyi bir ilişki var fakat birisinin bir birim artışına karşılık diğeri bir birim azalmakta ise, $r = -1$ ’dir. $r = 0$ ’da iki değişken arasında herhangi bir ilişki yoktur şeklinde tanımlanır (Şekil 2.25), (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).



Şekil 2.25. Farklı r katsayılarına göre değişkenler arasındaki ilişkinin şekilsel görünümü

Basit regresyon analizleri oluşturulurken istatistiksel modellerde, doğrusal ($y=ax+b$), geometrik ($y=ax^b$), logaritmik, ($y=a \ln x+b$), ve üssel ($y=ae^{bx}$) fonksiyonlarda değerlendirilirler. Oluşturulan eşitliklerin performansını değerlendirmek için, ölçülen değerlerin hesaplanan değerden farkları ile ölçülen değerlerin varyans değerlerini esas alan ölçüt (VAF) ve hataların standart sapmasını ifade eden ölçüt (RMSE) dikkate alınır. VAF ve RMSE değerleri aşağıda verilen eşitliklerden hesaplanır.

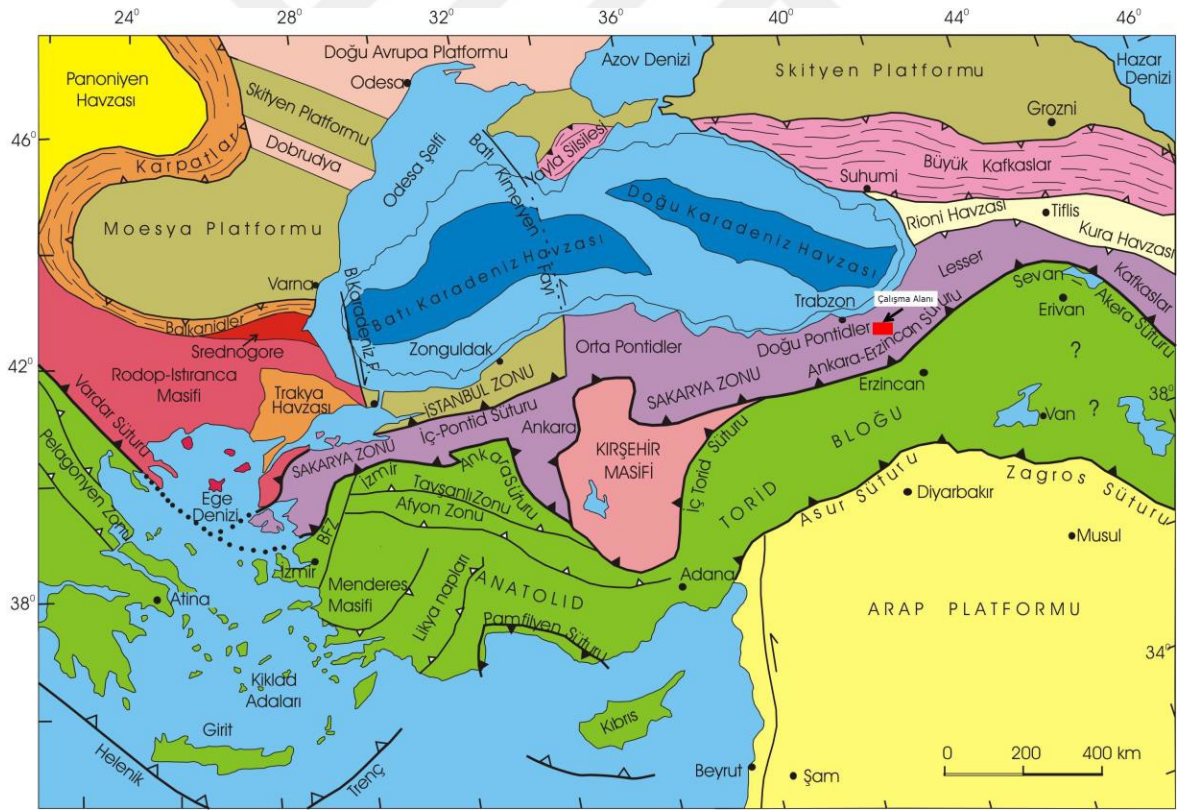
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad (2.38)$$

$$VAF = \left[1 - \frac{\text{var}(y-y')}{\text{var}(y)} \right] \times 100 \quad (2.39)$$

Bu eşitliklerde y (ölçülen) ve y' (hesaplanan) terimleri bağımlı değişken değerlerini göstermektedir. Bu indekslerden VAF'nin 100 ve RMSE'nin 0 yakın olması tahmin modelinin mükemmel olduğunu gösterir. Ancak görgül bir eşitliğin performansı kötü olduğu zaman VAF genelde sonuç vermemektedir. Yani ölçülen ve tahmin edilen verilerin farkının varyansı, ölçülen verinin varyansından büyük olması durumunda VAF negatif değer alacak ve elde edilen eşitliğin performansının VAF ile değerlendirilmesi söz konusu olmayacaktır.

3. ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ

Alpin, Pan-Afrikan/Kadomiyen, Variskan ve Kimmeriyen gibi birçok orojenik dönemler geçiren Türkiye, tektonik olarak farklı jeolojik kökenlere sahip birçok tektono-stratigrafik birliğin bir araya gelmesi sonucu meydana gelmiştir (Okay, 2008; Göncüoğlu, 2010). İlk kez Ketin (1966) tarafından Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Kuşağı şeklinde dört birliğe ayrılan Türkiye, daha sonra Okay ve Tüysüz (1999) tarafından da farklı ana tektonik birliklere ve suture zonlarına ayrılmıştır (Şekil 3.1). Bu tektonik birliklerden kuzeyde yer alan ve önemli bir bölümünü oluşturan Pontidler ise benzerlik ve/veya farklılıkları dikkate alınarak “Batı Pontidler”, “Orta Pontidler” ve “Doğu Pontidler” olmak üzere üç farklı bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 3.1. Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999) ve çalışma alanının yaklaşık konumu

Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Doğu Pontidler (KD Türkiye), volkanik ve plütonik kayaçların yaygın olarak gözlemlendiği önemli bir alan konumundadır (Arslan vd., 2000; Kaygusuz, 2000; Kaygusuz vd., 2006; Karlı vd., 2010; Saydam Eker vd., 2012; Aslan vd., 2014; Sipahi vd., 2014; Aydınçakır, 2014; Temizel vd., 2016; Gücer vd., 2017; Yücel vd., 2017).

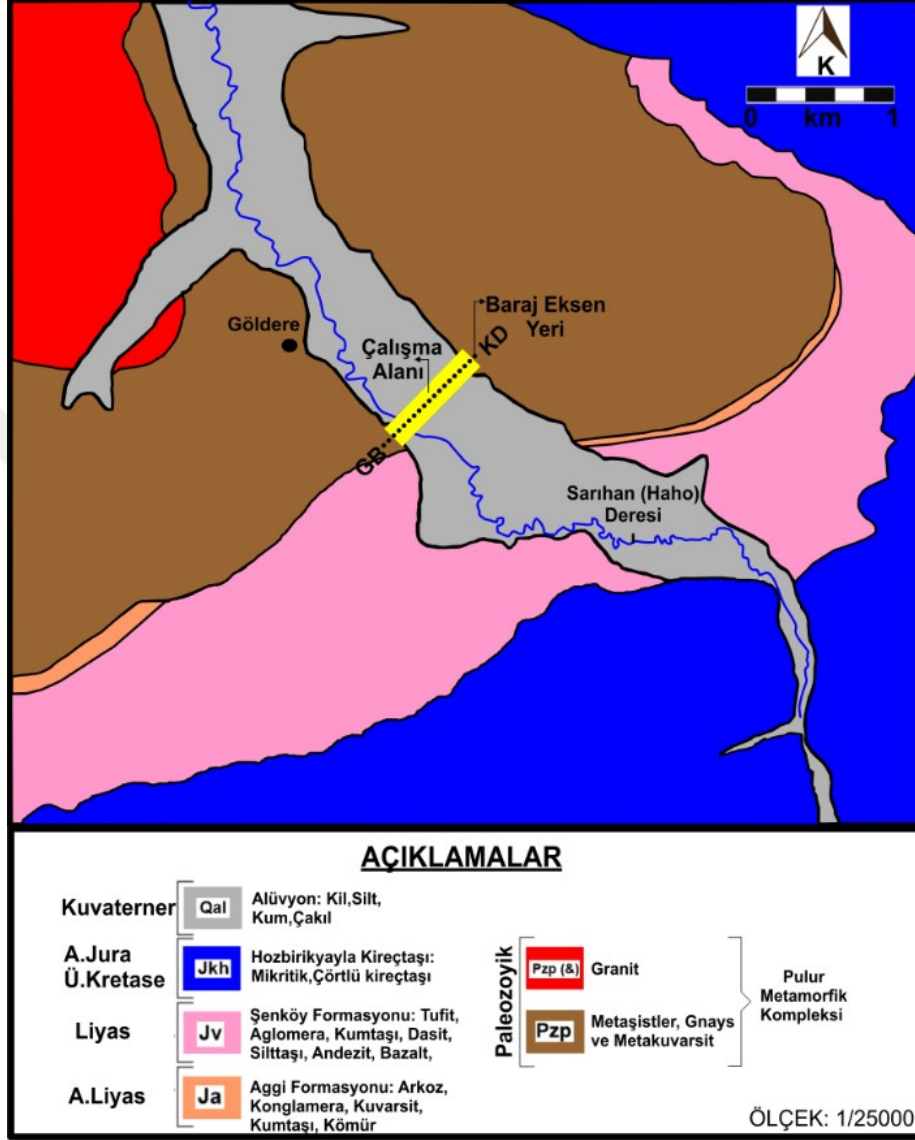
Gedikoğlu vd., (1979) yılında, litolojik farklılıklarını dikkate alarak Doğu Pontidler’i “Kuzey Zon” ve “Güney Zon” olmak üzere iki farklı bölgeye ayırarak incelemiştir. Tez kapsamında incelenen çalışma alanı ise Doğu Pontidler’in Güney Zonu’nda, Göldere (Bayburt, KD Türkiye) köyünün yaklaşık 850 m güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 3.2).

İnceleme alanının tabanında Paleozoyik (≥ 323 My) yaşlı ve yüksek Basınç-Sıcaklık (B-S) koşullarında (≥ 800 °C, 0.7 - 0.8 GPa ve ~15 km derinlik) metamorfize olmuş birçok tektono-metamorfik birimden meydana gelen amfibolit fasiyesli Pulur Metamorfikleri (Pzp) yer almaktadır (Topuz vd., 2004, 2007). Çalışma alanında, baraj eksen yerinde her iki sahilde, talvegde alüvyonun altında ve göl alanında yüzeyleme vermektedir. Metamorfik seri genel olarak kuvars-feldspat-serizit şist, kuvars-klorit-serizit şist, kuvars-serizit-biyotit şist, serizit-biyotit-albit şist ambifol, amfibolit şistler gnays ve meta kuvarsitlerden oluşmaktadır.

Metamorfik kayaçlar Geç Paleozoyik (Geç Karbonifer-Permiyen) yaşlı Gümüşhane graniti tarafından kesilmektedir (Ketin, 1950; Çoğulu, 1970; Yılmaz, 1972; Eren, 1983; Topuz vd., 2010). Genellikle yüksek potasyumlu kalk-alkalin karakterli I-tipi granit/granodiyorit türü kayaçlardan oluşmakta, yer yer ise tamamen ayrışarak arenalaşma göstermektedir. Birim çoğunlukla granit ve daha az olarak da granodiyorit, kuvarslı mikrodiorit, kuvars monzonit, sferülitik dasit ve riyolitlerden oluşmaktadır. Topuz vd., (2010) birimde yapmış oldukları radyometrik yaş tayininde granitlerin yaşını 320 ve 324 My olarak tespit etmişlerdir.

Granitik kayaçlar uyumsuz olarak Liyas yaşlı volkano-klastitlerden oluşan Aggi (Ja) ve Şenköy (Jv) formasyonları tarafından üzerlenmektedir. Aggi formasyonu (Ja) konglomera-kumtaşı-kuvarsit, siltaşı ve arkozdan oluşmakta olup, kendi içerisinde yanal ve düşey yönde geçişlidir. Tanyolu (1988) tarafından adlandırılan birim çalışma alanında baraj göl alanı sağ yamaçta dar bir şerit halinde yüzeyleyir. Birimin metamorfik şistlerle olan alt dokanağı uyumsuz, Liyas yaşlı volkanitlerle olan üst dokanağı ise uyumludur.

Önceki çalışmalarda birimin kalınlığının 120 m, yaşının ise içerdiği fosillere göre Alt Liyas olduğu belirtilmiştir (Tanyolu 1988).



Şekil 3.2. Çalışma alanı baraj eksen yeri ve genel jeolojisi (MTA 1985'den değiştirilerek hazırlanmıştır)

Şenköy Formasyonu (Jv) ise, farklı araştırmacılar tarafından farklı isimler altında tanımlanmış olup, bunlar; Kartepe Formasyonu (Seymen, 1975), Hacıören Formasyonu (Pelin, 1977), Hamurkesen Formasyonu (Ağar, 1977) ve Zimonköy Formasyonu (Eren, 1983)'dur. Son olarak Kandemir (2004) tarafından Şenköy (Kelkit-Gümüşhane) yöresine atfen "Şenköy Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Birçok araştırmacı tarafından tipik rift

çökelleri olarak tanımlanan birimde transgresyonlara bağlı gelişen tortul çökelimine volkanik faaliyetler yer yer eşlik etmiş olup, volkano-tortul bir istif özelliği sunmaktadır. Özellikle üst seviyelere doğru yer yer bazik volkanik düzeyleri (tüf, tüfit, andezit, spilitik bazalt, lav ve piroklastikleri) de içeren volkanijenik çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve marn ardışımı içermektedir. Şenköy Formasyonu çalışma alanında baraj eksen yerinin memba tarafında, kuzeydoğu-güneybatı yönünde yüzeylenir. Kandemir (2004) Gümüşhane-Bayburt dolaylarında yapmış olduğu çalışmalarda, saptadığı makro ve mikro fosillere dayanarak birime Erken-Orta Jura yaşını vermiştir. Çalışma sahasında Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Hozbirikyayla formasyonu (JKh) Liyas yaşlı birimler üzerine uyumlu olarak gelmektedir.

Gri, sarımsı gri, boz renkte oolitik kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ile kumtaşı- silttaşı ara katkılı ve çörtlü istif olan Hozbirikyayla Formasyonu ilk defa Açar (1977) tarafından adlandırmıştır. Çalışma alanında gölalanı kuyruk kısmında kuzeydoğu-güneybatı yayımlı olarak yer almaktadır. Birim içinde yer yer marnlı ve kumlu seviyeler de bulunmaktadır. Daha önceki çalışmalarda birime değişik yaşlar verilmiştir. Kireçtaşlarında saptanan makro ve mikro fosillere dayanarak birimin yaşı Geç Jura-Erken Kretase olarak belirlenmiştir (Baykal, 1952; Yılmaz, 1972; Pelin, 1977; Erdoğan, 1988).

Çalışma alanında yüzeyleme veren birimler, oluşumu devam eden Kuvaterner yaşlı Alüvyon (Qal) ve Yamaç Molozu (Qym) tarafından ise uyumsuz olarak örtülmektedir. Alüvyonlar, baraj eksen yerinde ve göl alanında Haho deresi boyunca derenin menderes yaptığı geniş alanları kaplayan, çakıl, kum, şilt ve kil boyutunda malzemenin değişik oranda karışımı şeklindedir. Genellikle metamorfik, magmatik ve tortul kayaç kökenli, çakıllar ise yuvarlak, yarı yuvarlak ve yarı köşelidir. Baraj eksen yerinde ve göl alanında kalınlığı 12.40-14.70 m arasında değişmektedir. Yamaç molozu ise baraj eksen yerinde her iki yamaçta temel kayanın ayrışıp parçalanmasıyla oluşan blok, çakıl, kum, kil-silt gibi malzemenin değişik oranlarda karışımı şeklinde olup, kalınlığı 0.4-4.0 m arasında değişmektedir.

3.1. Kayaç Özellikleri (Kuvars-Mika-Şist)

Pulur metamorfiklerinden temin edilen ince taneli kayacın ana bileşenlerini görece çoktan aza doğru mika (serizit+muskovit) ve kuvars mineralleri ile kayaçta kalıntı olarak gözlenen feldispat ve ikincil kil mineralleri oluşturmaktadır. Bunlara eşlik eden çok az

miktarda opak mineral oluşumları da gözlenmektedir. Feldispat fenokristalleri (çoğunlukla alkali feldispat, az oranda plajiyoklas) ve/veya feldispat ve kuvars (kısmen yeniden kristalize olmuş) agregatlarının genellikle muskovit, serizit ve kristalize kuvars minerallerinden meydana gelen ince bir matriks içerisinde dağıldığı gözlenmiştir. Yapraksı ve ince taneli muskovit ve serizit mineralleri ile birlikte onlara eşlik eden ince taneli kristalize kuvarlar belirgin yönlenme (şistozite) göstermektedir. Bu minerallere, genellikle çatlaklar boyunca gelişmiş ve şistozite ile uyumlu yönde dizilim gösteren kil mineralleri de eşlik etmektedir. S1 ve S2 deformasyon yapıları belirgin olarak izlenebilmektedir (Şekil 3.3a). Taneli ve uzanmış şekilde gözlenen matriks kuvars makaslama kuvvetlerinin etkisini, muskovit ve serizit mineralleri içeren kıvrımlı doku ise kayaçların uğradığı deformasyonu işaret etmektedir. Kalıntı feldispatlar deformasyonun (metamorfizmanın) etkisi ile büyük oranda ayrılmış ve serizitleşmiştir (Şekil 3.3b ve 3.3c). Bununla birlikte yer yer feldispat fenokristalleri ile birlikte karbonat oluşumları da gözlenmekte olup, bazıları kısmen feldispat minerallerinin yerini almıştır. Minerallerin büyüklük ve tane dağılımlarına göre kayaç yaklaşık eş dağılım sergiler. Ancak deformasyon veya metamorfizma esnasında matrikse göre kısmen daha fazla büyüyen kristalize kuvars ve feldispatlar ve deformasyondan dolayı sünümlü bir yapı kazanan eski dokuya ait daha iri feldispat porfiroklastları kayaca heterojen bir görünüm kazandırır (Şekil 3.3d). Dolayısıyla, incelenen şistler genel olarak granolepidoporfiroklastik doku sergilemektedir.

Kayaçın ana bileşenlerinden kuvarlar öz şekilsiz, ince taneli ve dalgalı sönme gösterir. Genellikle köşeli, yer yer ise yuvarlağımsı ve elipsoidal şekillerde görülür. Bazı alanlarda deformasyondan dolayı uzanmış olarak muskovit ve serizitlerle uyumlu bir şekilde dizilmiş olarak bulunur. Çoğunlukla yapraksı ve yassı minerallerin arasında, porfiroklastların basınç gölgelerinde, az oranda ise granat ve feldispatlarda inklüzyonlar şeklinde gözlenir. Şistlerde kayaçın mikrolithon alanlarını oluşturur.

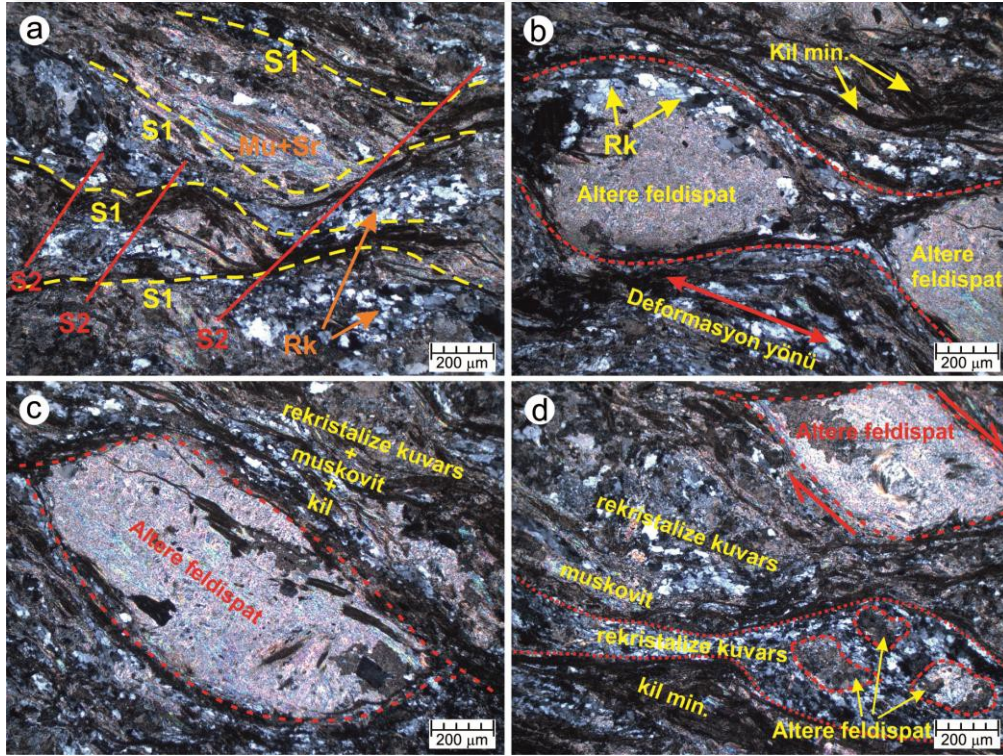
Muskovit ve serizit mineralleri ince ve yaprağımsı, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz gelişmişlerdir. Renksiz, düşük rölyef gösteren ve yüksek çift kırıcılığa sahip olan bu mineraller, paralel sönme gösterir. Kayaçta şistozite alanlarını oluşturur. Bununla birlikte feldispat porfiroklastlarının etrafını sararak göz yapılarını meydana getirir. Bazı örneklerde yer yer gelişen ve sünümlü kayma zonlarında hareket yönünü gösteren mikro-tektonik dokuları izlenir.

Feldispatlar, metamorfizma öncesi eski dokuya ait (pre-tektonik) kristallerin metamorfizmaya uğraması sonucu sünümlü deformasyonlarda hareket yönünü gösterecek

şekilde uzanmış porfiroklastlar şeklinde görülür. Genellikle deformasyon yönüne doğru elipsoidal şekillerde gözlenmekte olup, ayrışma sonucu serizit gibi ikincil mineraller ile yer yer kuvars kapanımları içerir. Yoğun olarak ayrılmış olmakla birlikte genellikle alkali feldispar (ortoklas) ve az oranda plajiyoklas türünde gözlenir. Diğer mineraller ile birlikte porfiroklastik dokuyu oluşturur.

Opak mineraller kayaçta matriks içerisinde dağınık halde ve mikroçatlaklarda ikincil olarak gelişmiştir.

Kayaçta ikincil mineral olarak kil oluşumları yaygın olarak gözlenmektedir. Çoğunlukla muskovit ve serizit mineralleri ile uyumlu olarak şistoziteye paralel oluşum gösterirler.

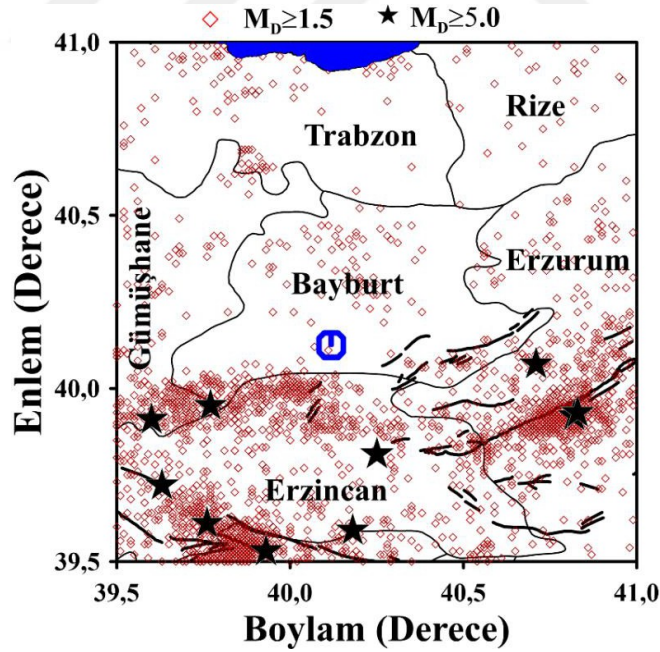


Şekil 3.3. İnceleme alanında alınan MS nolu kuvars-mika şistlerin mineral birliktelikleri ve dokusal özellikleri. (a) Kayaçta gözlenen S1-S2 deformasyon yapıları. (b) Kalıntı feldispat mineralleri ve bu minerallerin kenar zonları boyunca gelişen yeniden kristallenme yapılarının görünümü. (c) Kristalize kuvars+muskovit+kil minerallerinin birlikteliği ve rekristalize mineral inklüzyonları içeren kalıntı alkali feldispat porfiroklastı. (d) Örneklerde gözlenen makaslama deformasyonu ve kalıntı porfiroklastlar ile kalıntı mineral zonları boyunca yeniden kristallenme ile oluşan kuvars mineralleri (Mu: Muskovit, Sr: Serizit, Rk: Rekristalize kuvars, kayaca ait mikro görüntüler çapraz nikol altında alınmıştır)

3.2. Deprem Durumu

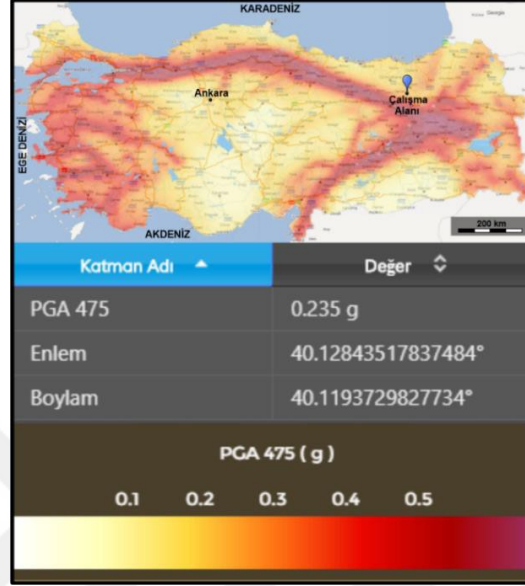
Barajlar, farklı doğal kuvvetlere, geçmişte olmuş veya gelecekte olması beklenen olaylara karşı koyabilecek şekilde tasarlanır. Genellikle 100 yıl veya daha fazla hizmet vermesi beklenen bu önemli yapıların tasarlanmasındaki en önemli kısım, barajın yıkılmasına neden olabilecek depremlerin gelecekte olma olasılığının dikkate alınmasıdır (CSCD, 1985).

Bu çalışmada, Bayburt Kırklartepe baraj alanı merkezli 1970-2019 yılları arasında meydana gelen deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınarak büyüklüklerine (M_D) göre değişimi Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Bu yıllar arasında büyüklüğü $M_D \geq 5$ 'den büyük 10, $5 > M_D \geq 4$ 'den büyük 69, $4 > M_D \geq 3$ 'den büyük 971 deprem kaydına ulaşılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda Erzurum iline yakın bölgelerde depremlerin yoğunlaştığı ve çalışma alanımız için herhangi bir risk faktörü oluşturmadığı ancak, Kuzey Anadolu Fay Zonuna yakınlığı sebebiyle olası büyük depremden etkilenebileceği göz ardı edilmemelidir.



Şekil 3.4. 1970-2019 yılları arasında depremlerin büyüklük değerleri ve oluştuğu alanlar (mavi renk içerisine alınan bölge çalışma alanını göstermektedir)

Çalışma alanının Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre incelenmesinde, Peak Ground Amplitude (PGA) 475 katmanında ortalama ivme değeri 0.235g dir(URL-2, 2019), (Şekil 3.5).



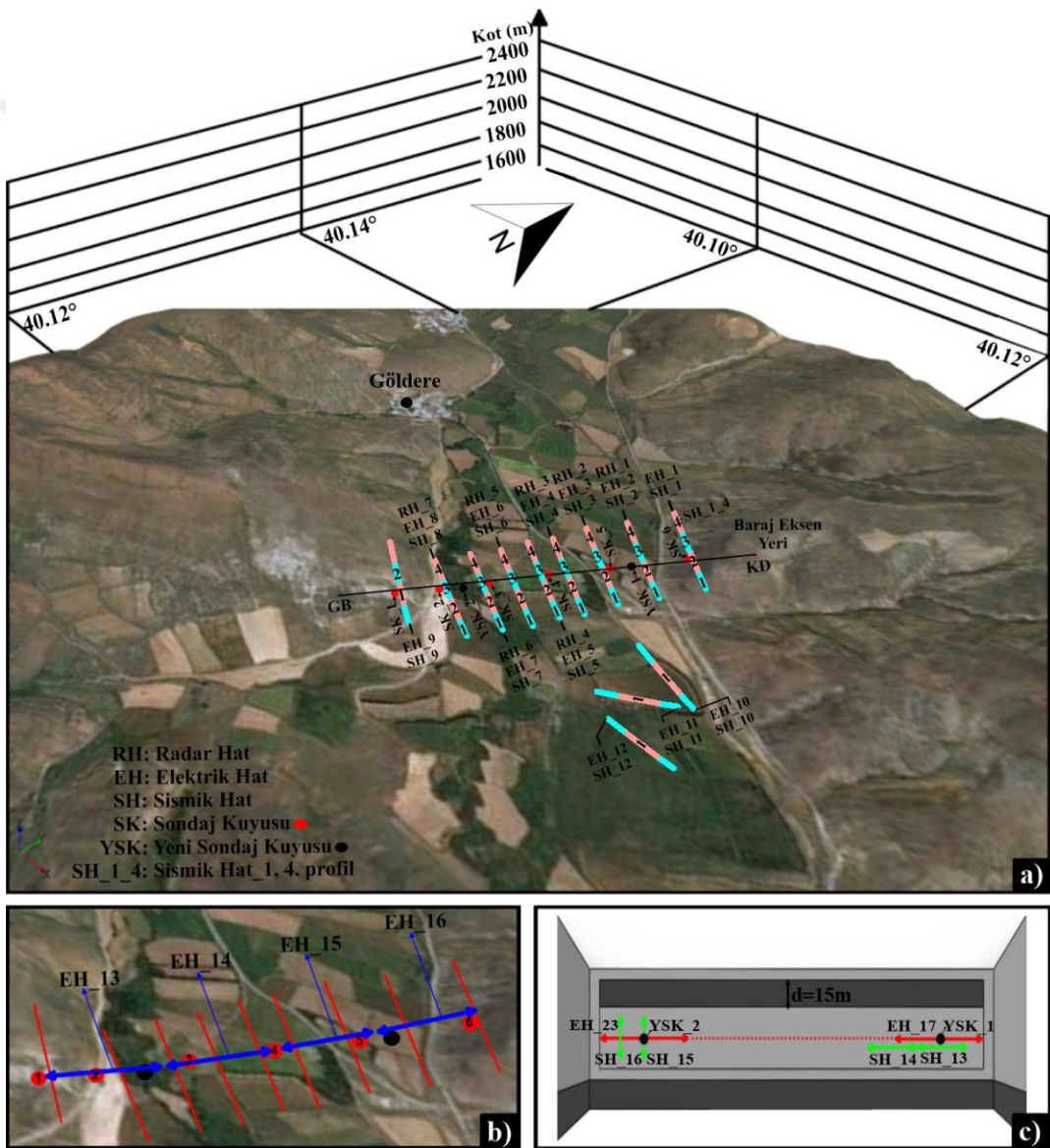
Şekil 3.5. Çalışma alanının Türkiye deprem tehlike haritasındaki değeri

3.3. Hidroloji

Çalışma alanının en önemli yerüstü su kaynağı Çoruh nehrinin memba kollarından olan Sarıhan (Hoha) dersidir. Hoha dere Aksaçlı köyünü geçtikten sonra Oruçbeyli köyü yakınlarında Sakızlıdere ve diğer yan dereleri içine alıp, kuzeye doğru akışını sürdürerek Çoruh nehri ile birleşir. Kırklartepe barajı, yağış alanı 89.82 m² dir. Yıllık toplam yağış ortalaması 484 mm, ortalama sıcaklık 7.11 °C, yıllık ortalama akım 18,64 hm³ dür.

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Bayburt Kırklartepe Barajı eksen yeri ve göl alanında jeofizik yöntemler ve jeoteknik testler kullanılmıştır. Baraj eksen yeri ve göl alanında alınan ölçüm hatları ve sondaj noktaları Şekil 4.1'de verilerek, A3 (210x420 mm) ebatında tez çalışmasının sonuna eklenmiştir.



Şekil 4.1. Baraj eksen yeri ve göl alanında alınan ölçüm hatları ve sondaj noktaları (a) Kazı öncesi göl alanı ve baraj eksen yerinde alınan hatlar (b) Kazı öncesi baraj eksen yerinde alınan paralel hatlar (mavi renkte belirtilen) (c) Kazı sonrası alınan elektrik ve sismik hatlar

Çalışma alanına jeofizik yöntemlerden; Sismik (SKT ve ÇKYD analizi), Elektrik öz direnç ve yer radarı yöntemleri uygulanmıştır. Jeoteknik testlerde, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından planlama aşamasında yapılan ve çalışmamız için gerekli görülen noktalarda yaptığımız sondaj bilgileri kullanılmıştır. Sondaj bilgileri ile baraj eksen yerinde Lugeon, RQD, eklem sıklığı ve Schmidt sertliği değerleri hesaplanmıştır. Baraj eksen yerinde alınan ölçümler kazı öncesi (baraj eksen yerinin kazınmadan önceki hali) ve kazı sonrası (baraj yerinin kazındıktan sonraki hali) olmak üzere iki aşamada değerlendirilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Baraj eksen yerindeki (a) kazı öncesi (b) kazı sonrası çalışma alanı

4.1. Sismik Çalışmalar

4.1.1. Sismik Verilerin Toplaması, Değerlendirilmesi ve Elde Edilen Kesitler

Çalışma alanında yapılan ön etüt çalışmaları ile edinilen bilgiler dikkate alınarak çalışma alanının tamamını kapsayacak şekilde sismik ölçümler alınmıştır. Ölçüm hatları Şekil 4.1’de verilip ‘SH’ ile ifade edilmiştir. Kazı öncesi toplamda 12 hat (SH_1-SH_12) boyunca 37 profilde (bir hat boyunca yapılan ardışık serimler için profil kullanılmıştır) SKT ve ÇKYD verileri toplanmıştır. Baraj eksen yerinde 9 hat (SH_1-SH_9) ve 34 profilde, göl alanında 3 hat (SH_10-SH_12) 3 profilde ölçümler alınmıştır. Baraj eksen

yerindeki ölçümlerin tamamına yakın (SH_2-SH_8, SH_10-SH_12) kısmı tarım arazileri üzerinde alınmış olup, sadece 2 hat (SH_1, SH_9) ölçüm çalışma alanında bulunan vadi yamaçlarından alınmıştır. Kazı sonrası ortam şartlarının (kazı sonrası yeraltı su seviyesinin altına inilerek yeraltı suyunun yüzeylenmesi nedeniyle jeofonların su içerisinde kalabilecek olması) elverişsizliğinden dolayı sadece 4 hatta (SH_13-SH_16) sismik ölçümler alınmıştır. Arazi çalışmalarından görüntüler Şekil 4.3’de verilmiştir.

Veri toplama sırasında 24 kanallı araştırma sismograf cihazı (Geometrics), 4.5 Hz’lik düşey bileşen alıcılar, 8 kg balyoz ve 25 cm yarıçaplı ve 3 cm kalınlığında demir tabla kullanılmıştır. Her atış noktasında sismik sinyalin sinyal/gürültü oranını yükseltmek için 4 düşey yığma yapılmıştır. SKT ve ÇKYD verilerinin kayıt süresi ve örnekleme aralığı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Sismik kırılma verilerinin ilk varış tomografisi ile değerlendirilmesi amacıyla, her profil için hat başından, hat sonundan ve hat ortasından olmak üzere toplamda 3 atış yapılmıştır. Veri toplama sırasında herhangi bir süzgeç kullanılmamıştır.



Şekil 4.3. Arazi çalışmalarından görüntüler

Tablo 4.1. Sismik çalışmalar veri toplama parametreleri

SİSMİK HAT PROFİLLER		SH_1_1	SH_1_2	SH-1_3	SH_1_4	SH_2_1	SH_2_2	SH_2_3	SH_2_4	SH_3_1	SH_3_2	SH_3_3	SH_3_4
ÇKYD	Ofset	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m
	Jeofon Aralığı	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
	Örnekleme Zamanı	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms
	Kayıt Uzunluğu	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s	0.512s
TOMOĞRAFI	Atış Noktaları	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81
	Jeofon Aralığı	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
	Örnekleme Zamanı	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
	Kayıt Uzunluğu	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s
SİSMİK HAT PROFİLLER		SH_4_1	SH_4_2	SH_4_3	SH_4_4	SH_5_1	SH_5_2	SH_5_3	SH_5_4	SH_6_1	SH_6_2	SH_6_3	SH_6_4
ÇKYD	Ofset	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m
	Jeofon Aralığı	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
	Örnekleme Zamanı	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms
	Kayıt Uzunluğu	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s
TOMOĞRAFI	Atış Noktaları	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81
	Jeofon Aralığı	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
	Örnekleme Zamanı	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
	Kayıt Uzunluğu	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s
SİSMİK HAT PROFİLLER		SH_7_1	SH_7_2	SH_7_3	SH_7_4	SH_8_1	SH_8_2	SH_8_3	SH_8_4	SH_9_1	SH_9_2	SH_10	SH_11
ÇKYD	Ofset	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m	6m
	Jeofon Aralığı	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
	Örnekleme Zamanı	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms	0.5ms
	Kayıt Uzunluğu	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s	2s
TOMOĞRAFI	Atış Noktaları	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81	0,40.5,81
	Jeofon Aralığı	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
	Örnekleme Zamanı	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
	Kayıt Uzunluğu	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s	1s
SİSMİK HAT PROFİLLER		SH_12	SH_13	SH_14	SH_15	SH_16	S. PROFİLLER		SH_12	SH_13	SH_14	SH_15	SH_16
TOMOĞRAFI	Atış Noktaları	0,40.5,81	0, 81	0, 81	0, 81	0, 81	ÇKYD	Ofset	6m	6m	6m	6m	6m
	Jeofon Aralığı	3m	3m	3m	3m	3m		J. aralığı	3m	3m	3m	3m	3m
	Örnekleme Zamanı	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125		Ö. zaman	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
	Kayıt Uzunluğu	1s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s		K. uzun.	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s	0.256s

Sismik kırılma tomografi ve ÇKYD verileri SeisImager programı ile Pickwin, Plotfera, Surface Wave Analysis Wizard ve WaveEq (Surface Wave Analysis) modülleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

SKT analizleri, ilk varış zamanları doğru ve güvenilir bir şekilde piklendikten sonra bilgisayar ortamında ters çözüm işlemine tabi tutularak sığ yeraltı yapısının 2-boyutlu sismik hız-derinlik kesiti elde edilmiştir.

ÇKYD analizleri ise, öncelikle frekans-dalga sayısı analizine tabi tutularak faz hızı dispersiyon eğrileri ve daha sonra faz hızı dispersiyon eğrileri ters çözüm teknikleri aracılığıyla değerlendirilerek, profile ait bir boyutlu S dalga hız-derinlik değişimleri belirlenmiştir.

Çalışma alanında yapılan sismik çalışmalarla ölçü hatlarına ait birimlerin V_p ve V_s dalga hızları belirlenmiştir. Elde edilen V_p dalga hızı 300-3500 m/s, ve V_s dalga hızı 175-1300 m/s arasında değiştiği tespit edilmiştir. Baraj eksen yerindeki V_p ve V_s bölgelendirme çalışmaları, SH_1-SH_9 arası hatların aynı derinliklerdeki profillerdeki hız değerlerinin ortalaması baz alınarak oluşturulmuştur.

Baraj eksen yerindeki (SH_1-SH_8) hatlar KB-GD doğrultusunda alınmış olup 4 ardışık profilde ölçüm yapılarak incelenmiştir (Şekil 4.1).

SH_1 hattı, SK_6 nolu sondaj kuyusunun hemen üzerinde alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 600-2658 m/s ve V_s dalga hızı 550-1331 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.4-Şekil 4.11).

SH_2 hattı, SK_5 ve SK_6 nolu sondaj kuyularının arasından alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 600-2658 m/s ve V_s dalga hızı 450-1320 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.12-Şekil 4.19).

SH_3 hattı, SK_5 nolu sondaj kuyusu üzerinde alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 315-2780 m/s ve V_s dalga hızı 320-1000 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.20-Şekil 4.27).

SH_4 hattı, SK_4 ve SK_5 nolu sondaj kuyuları arasında alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 472-2554 m/s ve V_s dalga hızı 420-1350 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.28-Şekil 4.35).

SH_5 hattı, SK_4 nolu sondaj kuyusunun üzerinde alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 472-2286 m/s ve V_s dalga hızı 250-1080 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.36-Şekil 4.43).

SH_6 hattı, SK_3 ve SK_4 nolu sondaj kuyusunu arasında alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 472-2286 m/s ve V_s dalga hızı 190-1010 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.44-Şekil 4.51).

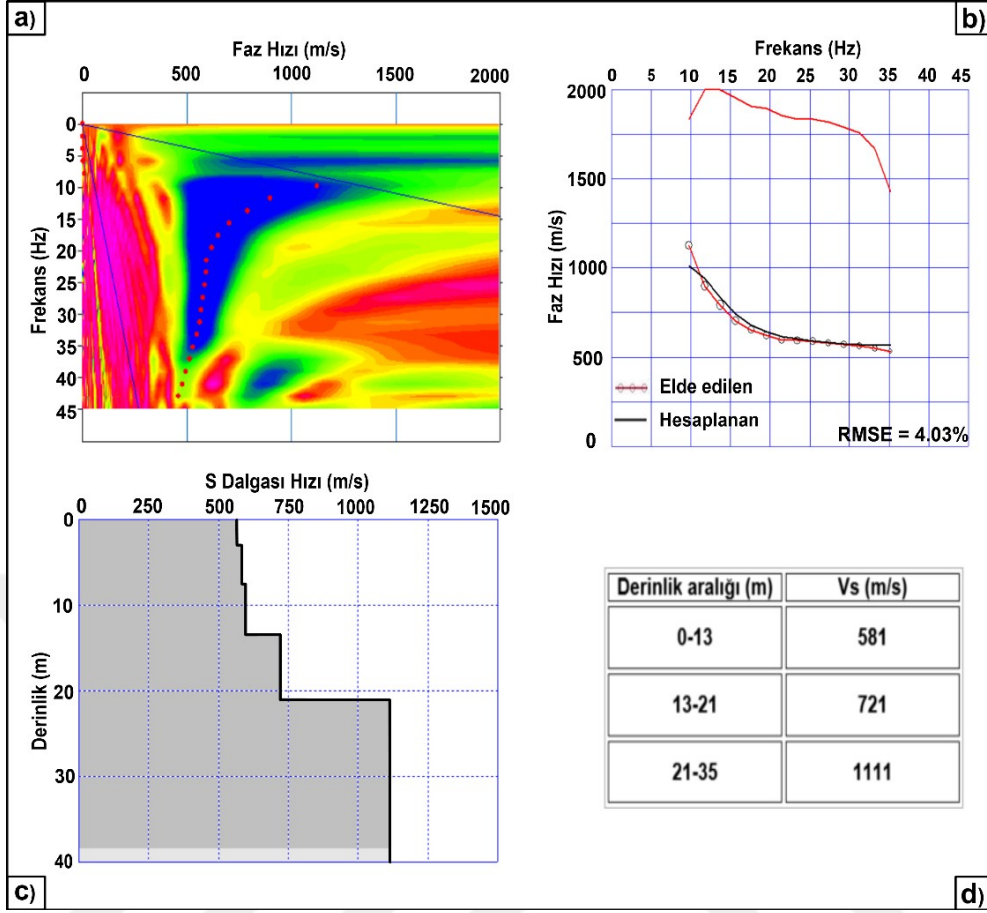
SH_7 hattı, SK_3 nolu sondaj kuyusunu üzerinde alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 485-2973 m/s ve V_s dalga hızı 200-975 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.52-Şekil 4.59).

SH_8 hattı, SK_2 nolu sondaj kuyusunu üzerinde alınmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 372-3658 m/s ve V_s dalga hızı 265-1260 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.60-Şekil 4.67).

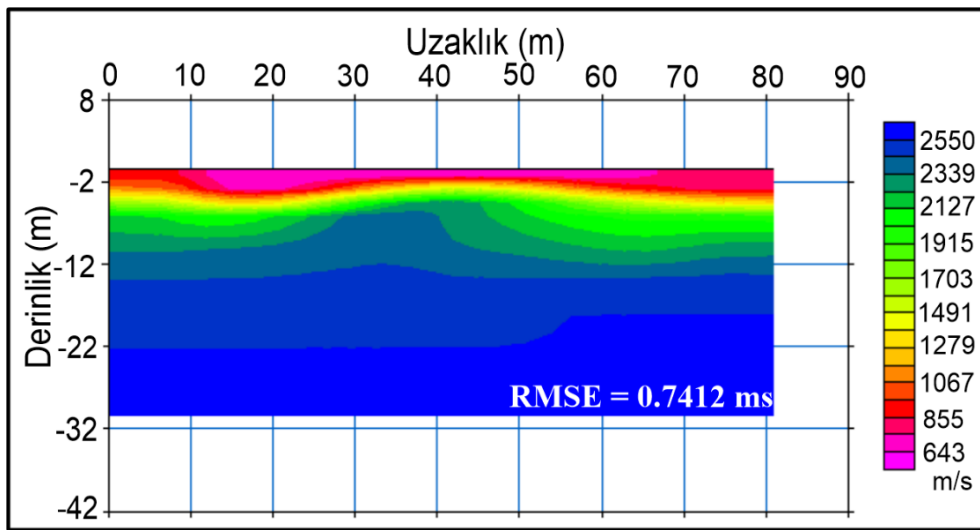
SH_9 hattı, SK_1 nolu sondaj kuyusunu üzerinde alınmış olup 2 profilde ölçüm yapılarak incelenmiştir (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 1042-2399 m/s ve V_s dalga hızı 875-1600 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.68-Şekil 4.71).

SH_10, SH_11 ve SH_12 hatları göl alanında alınmış olup her hatta bir profil serim uygulanmıştır (Şekil 4.1). Bu hatların derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 313-3161 m/s ve V_s dalga hızı 230-1010 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.72-Şekil 4.77).

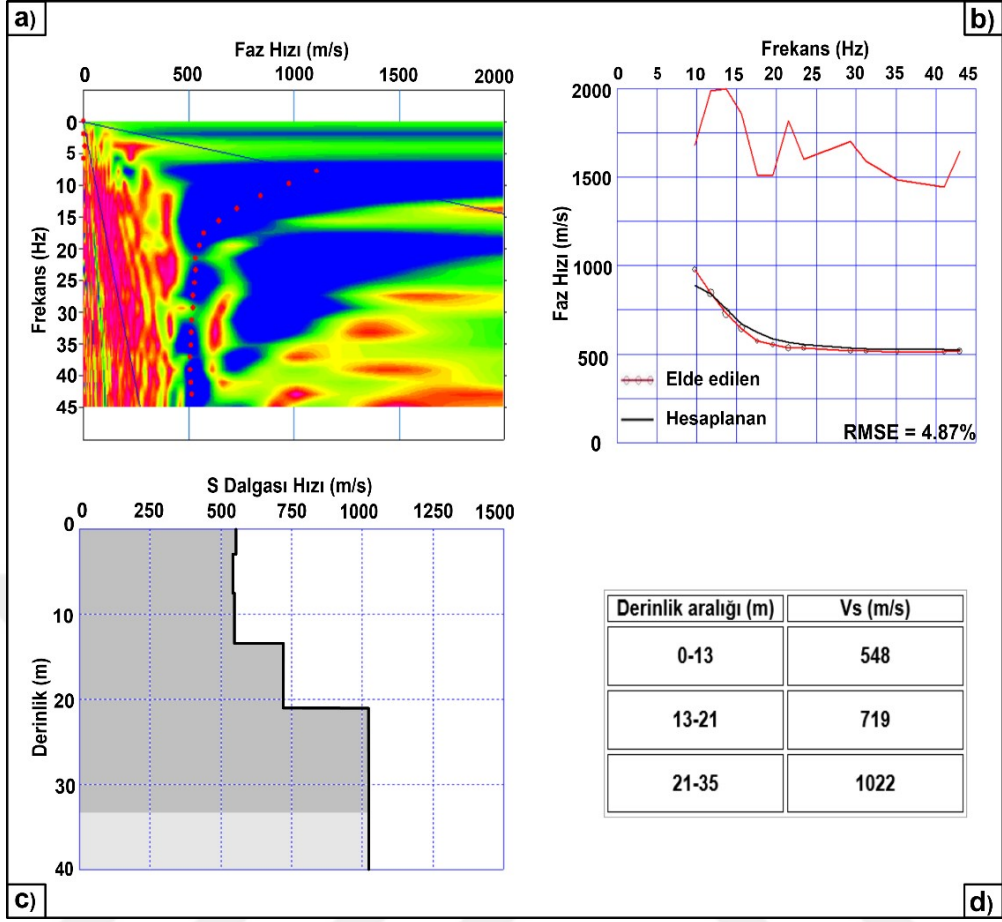
SH_13-SH_16 arası hatlar kazı sonrası alınmış olup her hatta bir profil serim uygulanmıştır (Şekil 4.1). Bu hattın derinlikle değişen hız değerleri incelendiğinde, V_p dalga hızı 1557-4384 m/s ve V_s dalga hızı 920-1800 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.78-Şekil 4.85).



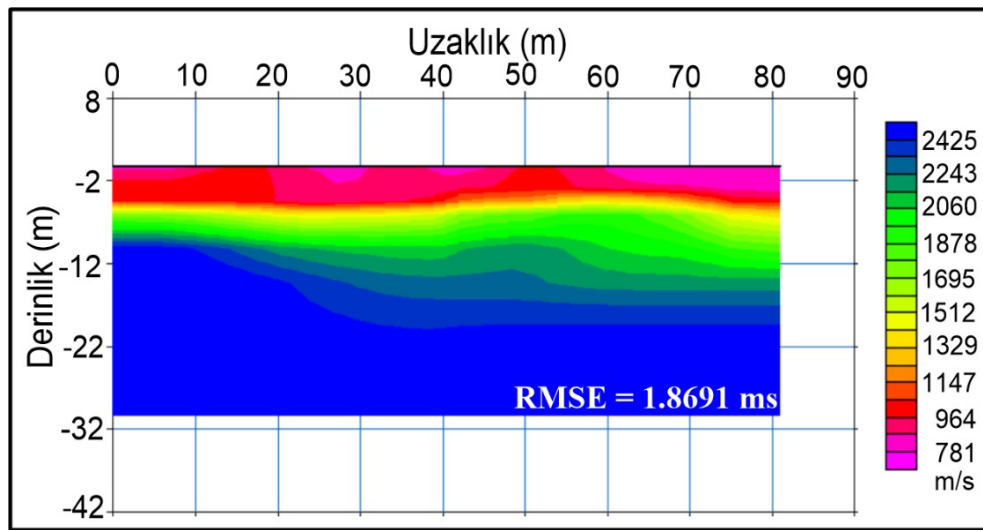
Şekil 4.4. a) SH_1_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



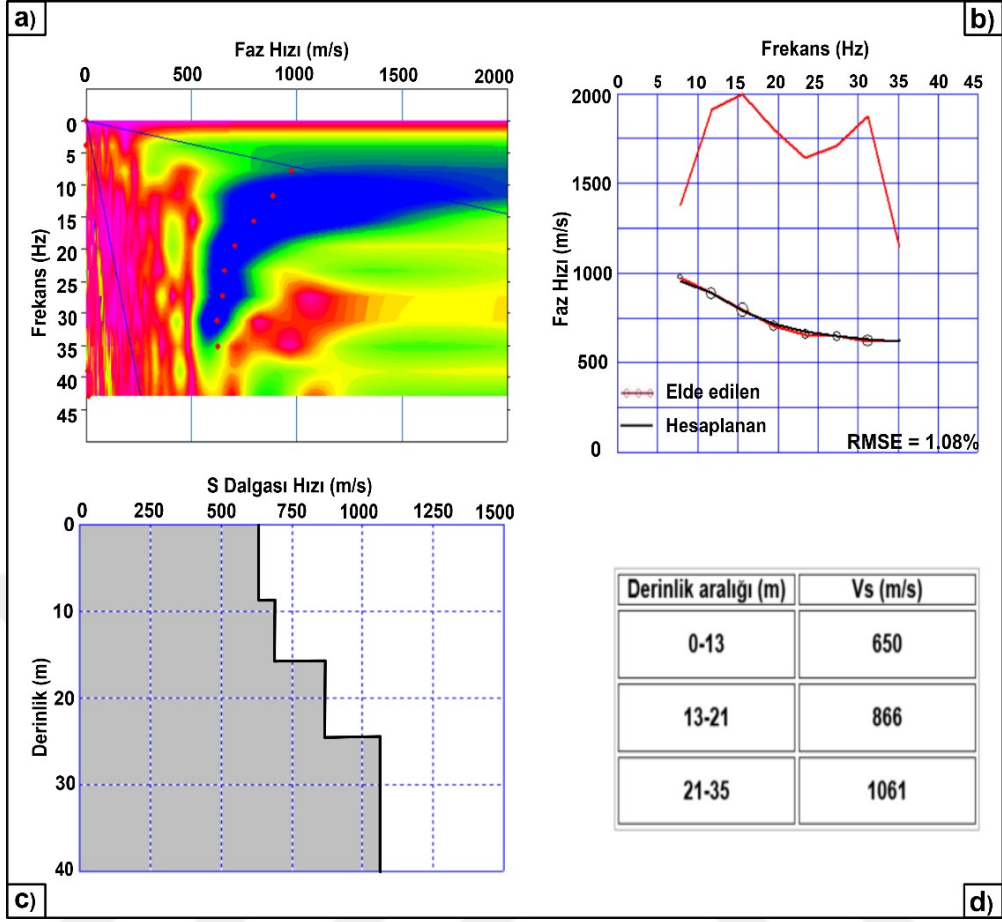
Şekil 4.5. SH_1_1 profiline ait SKT kesiti



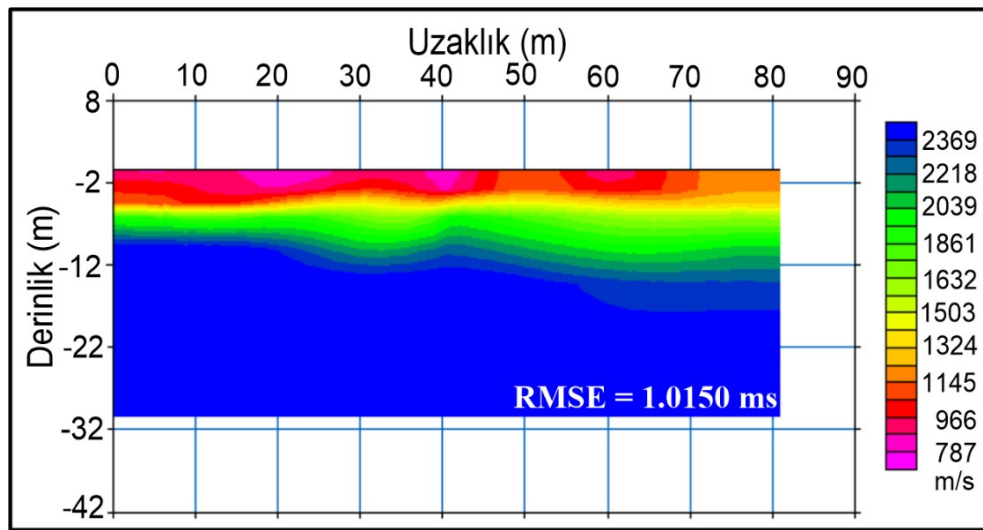
Şekil 4.6. a) SH_1_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



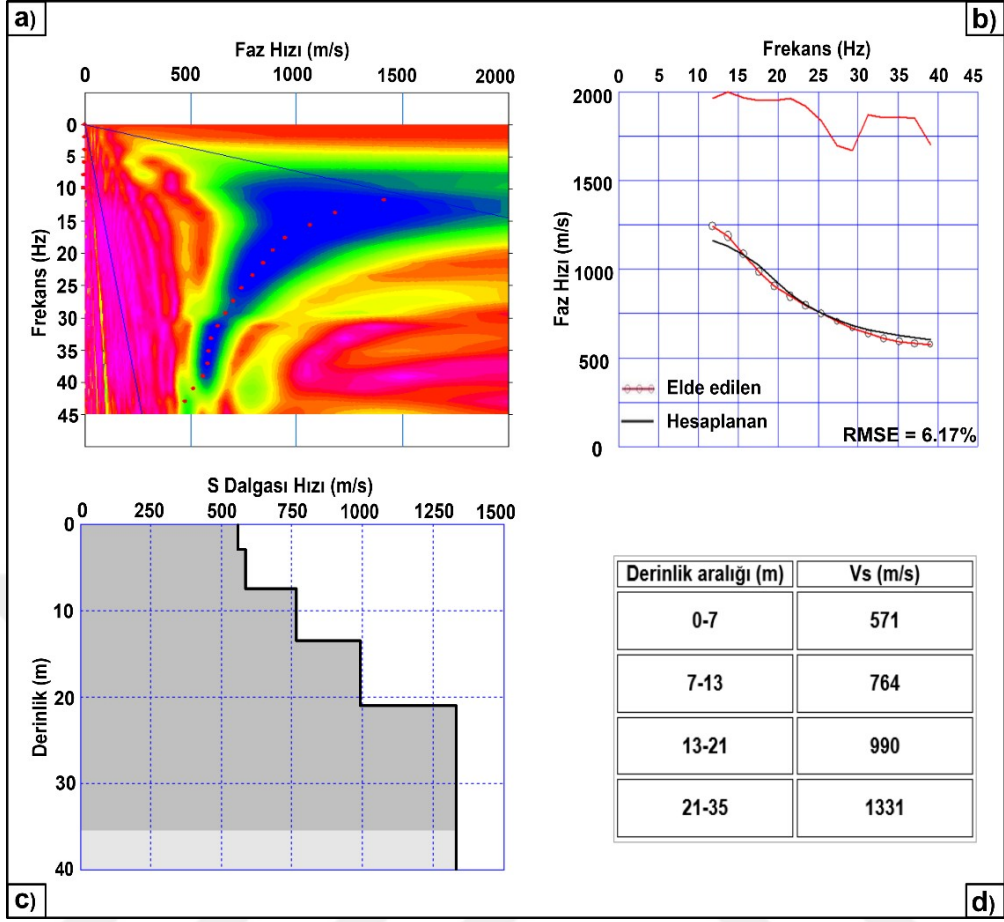
Şekil 4.7. SH_1_2 profiline ait SKT kesiti



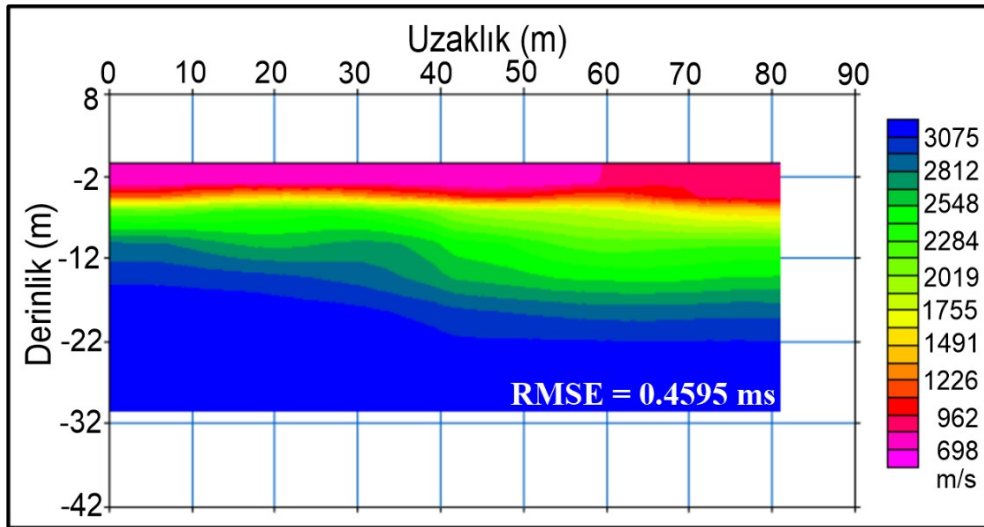
Şekil 4.8. a) SH_1_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



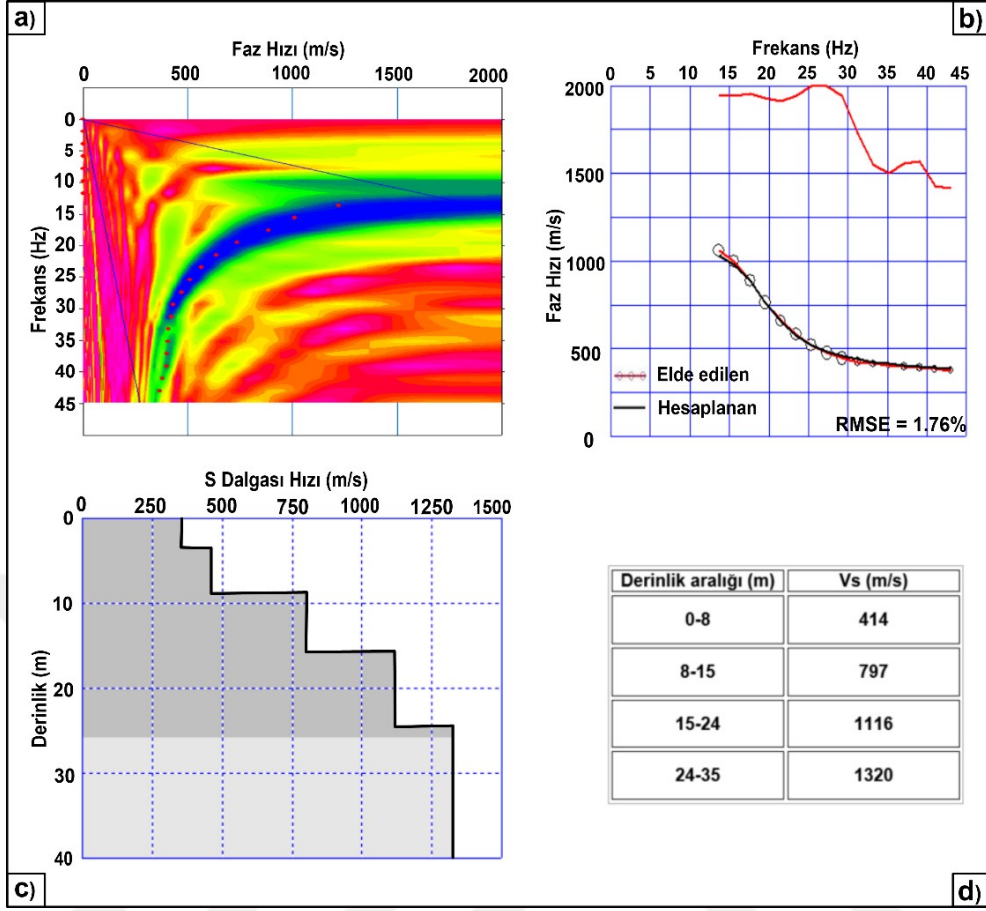
Şekil 4.9. SH_1_3 profiline ait SKT kesiti



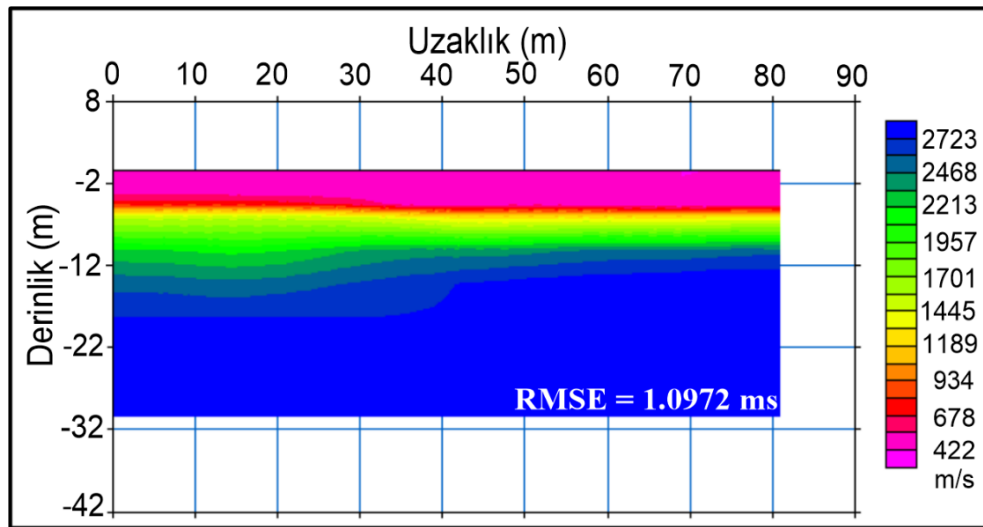
Şekil 4.10. a) SH_1_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



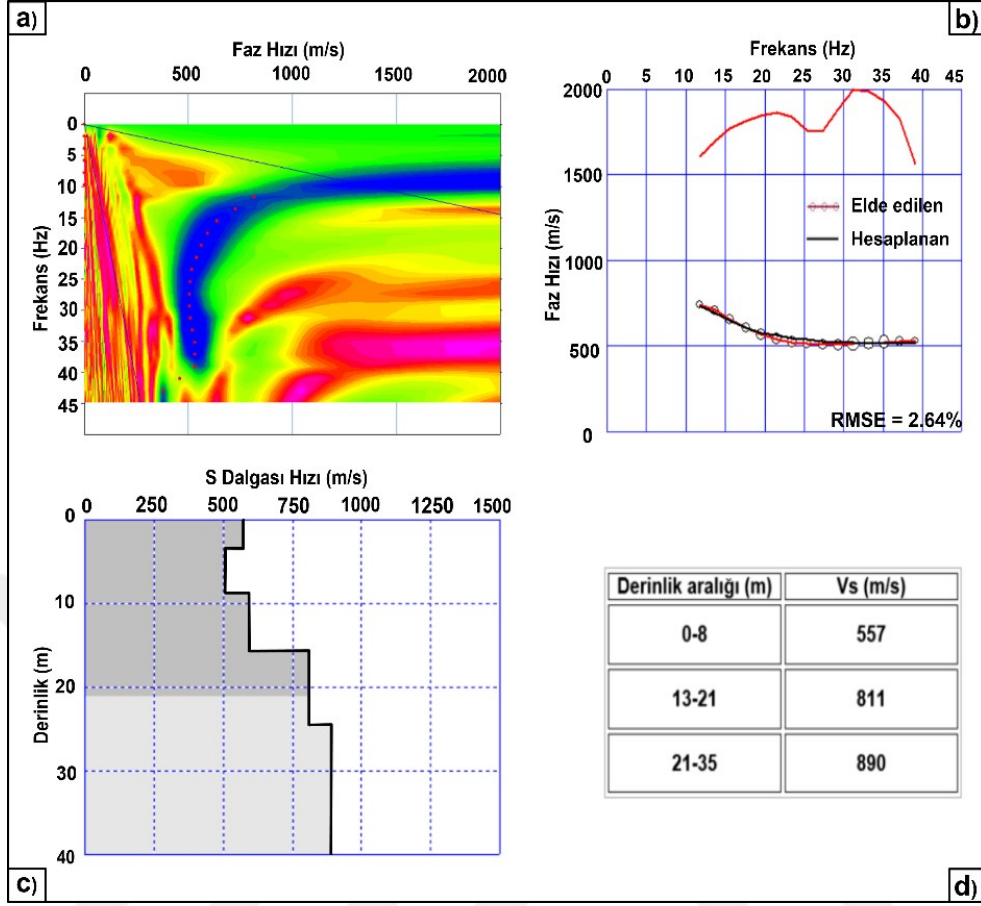
Şekil 4.11. SH_1_4 profiline ait SKT kesiti



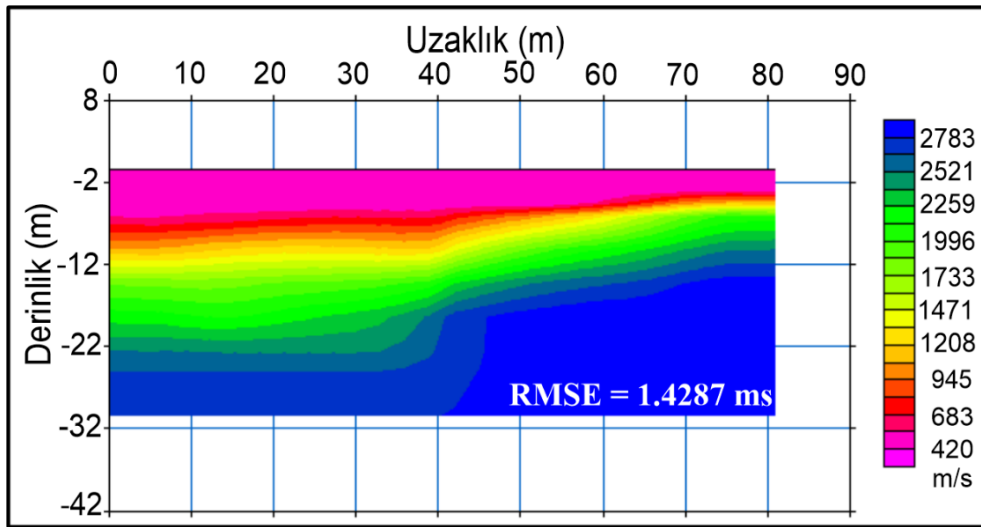
Şekil 4.12. a) SH_2_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



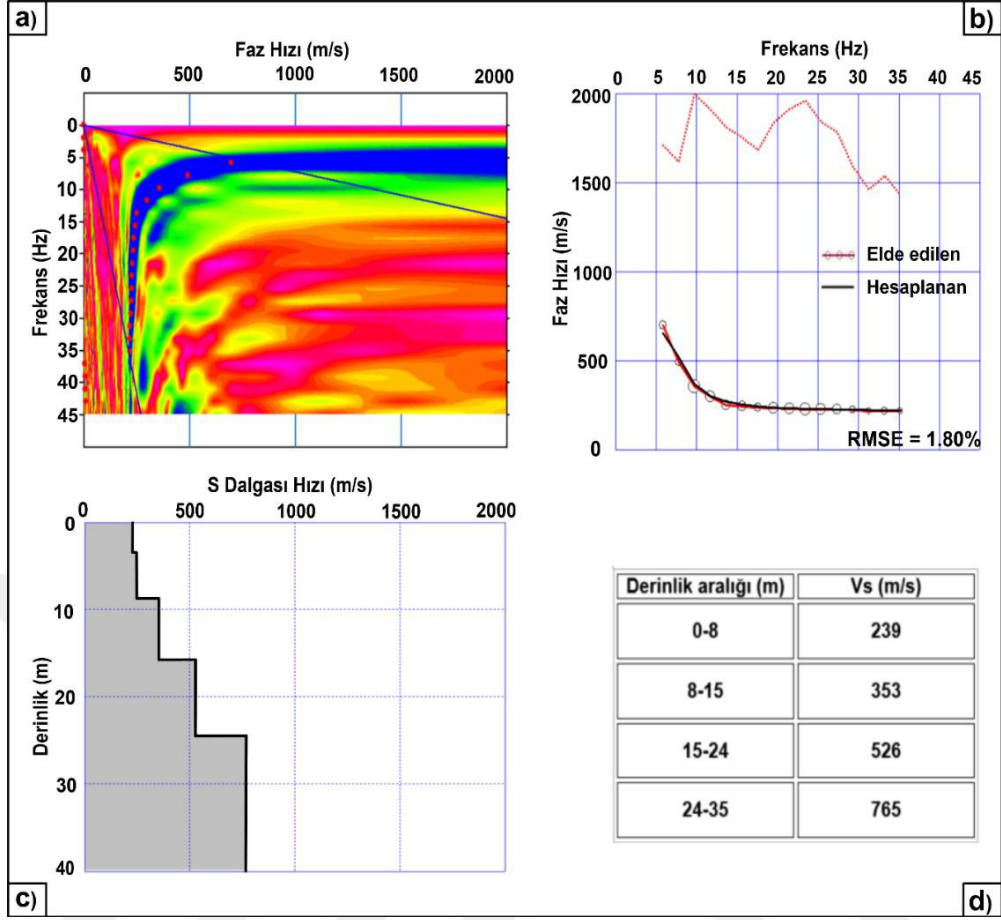
Şekil 4.13. SH_2_1 profiline ait SKT kesiti



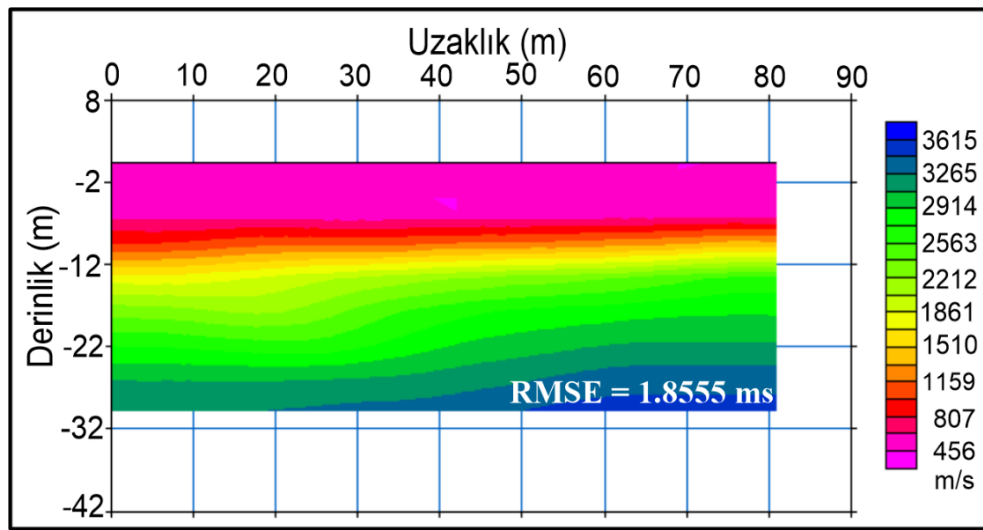
Şekil 4.14. a) SH_2_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



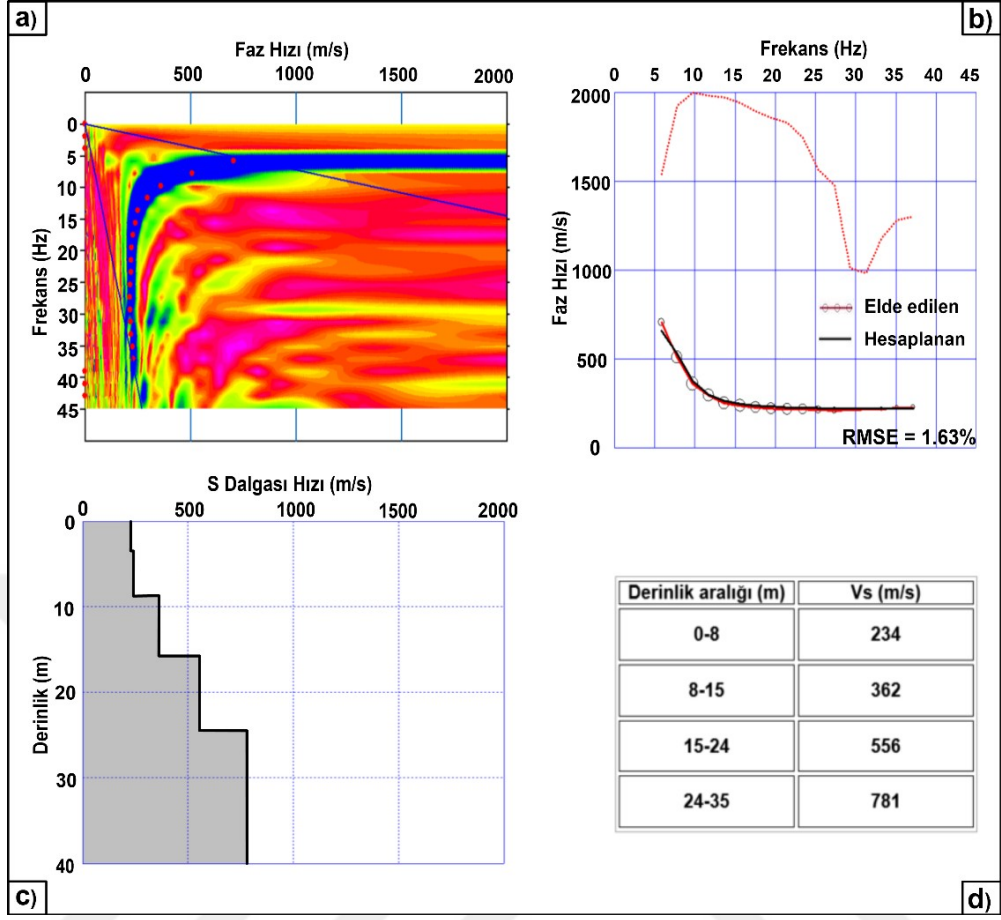
Şekil 4.15. SH_2_2 profiline ait SKT kesiti



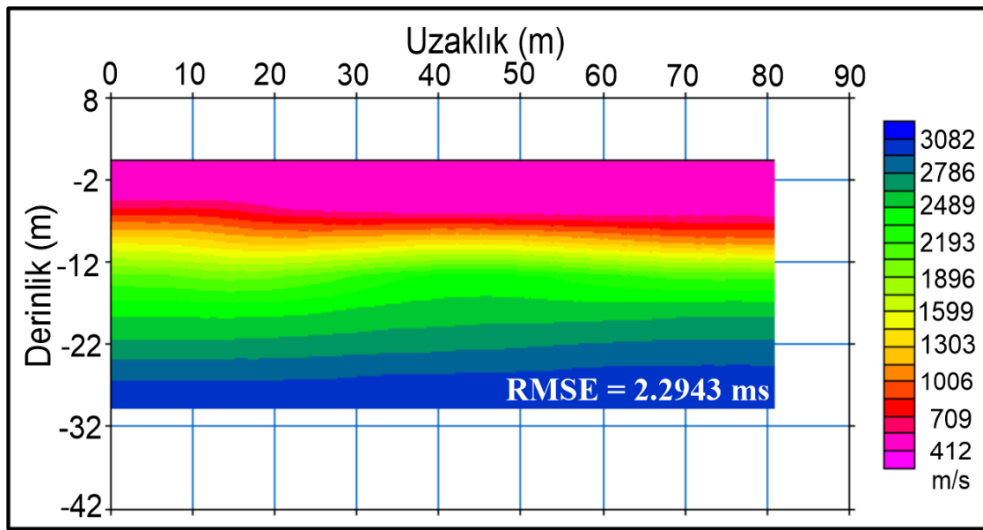
Şekil 4.16. a) SH_2_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



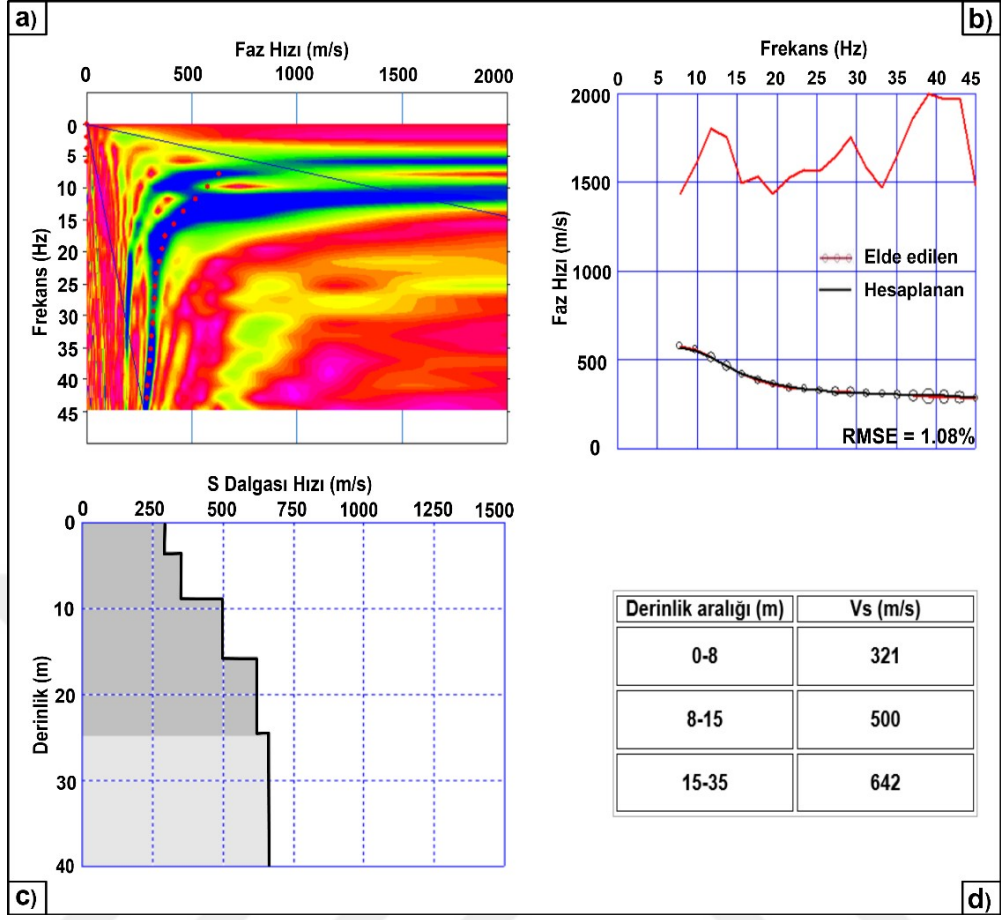
Şekil 4.17. SH_2_3 profiline ait SKT kesiti



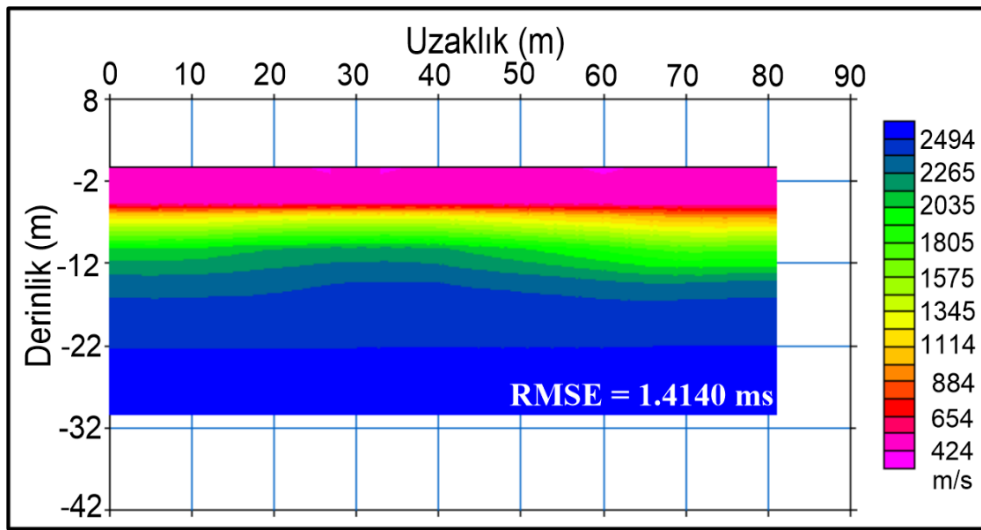
Şekil 4.18. a) SH_2_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



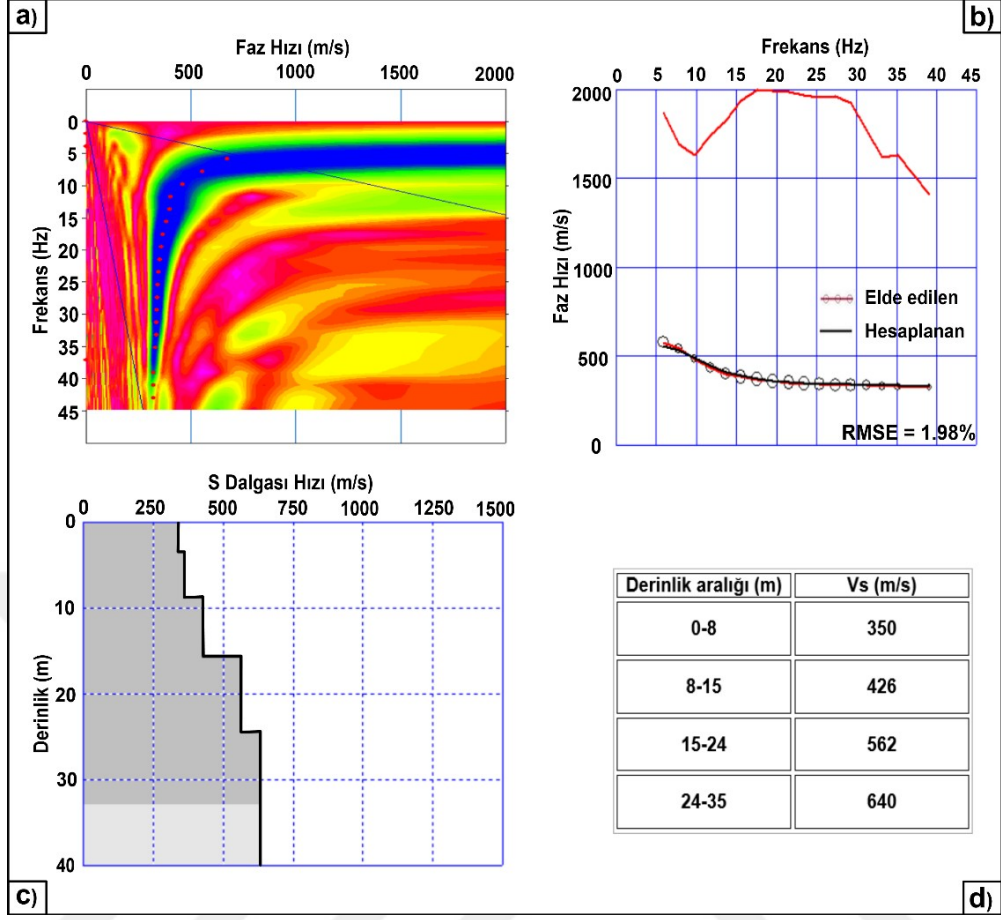
Şekil 4.19. SH_2_4 profiline ait SKT kesiti



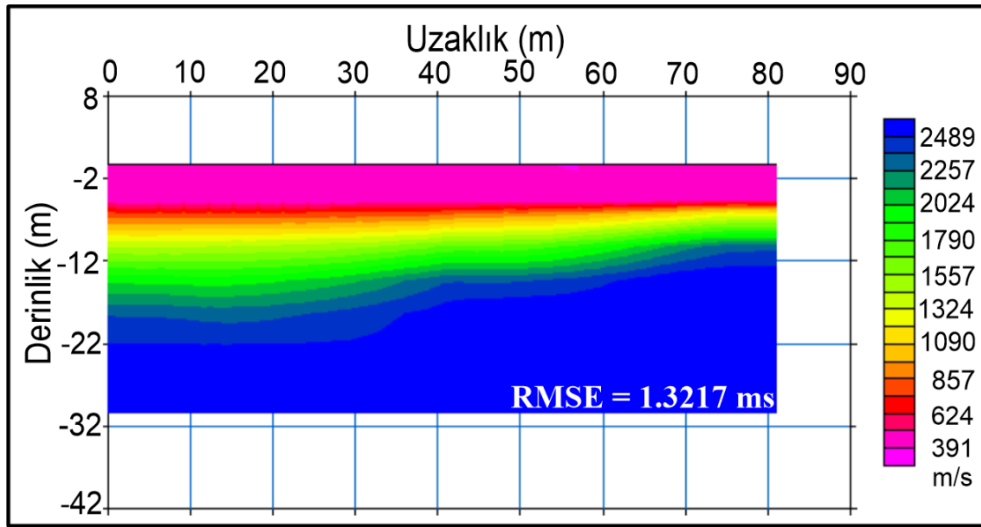
Şekil 4.20. a) SH_3_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



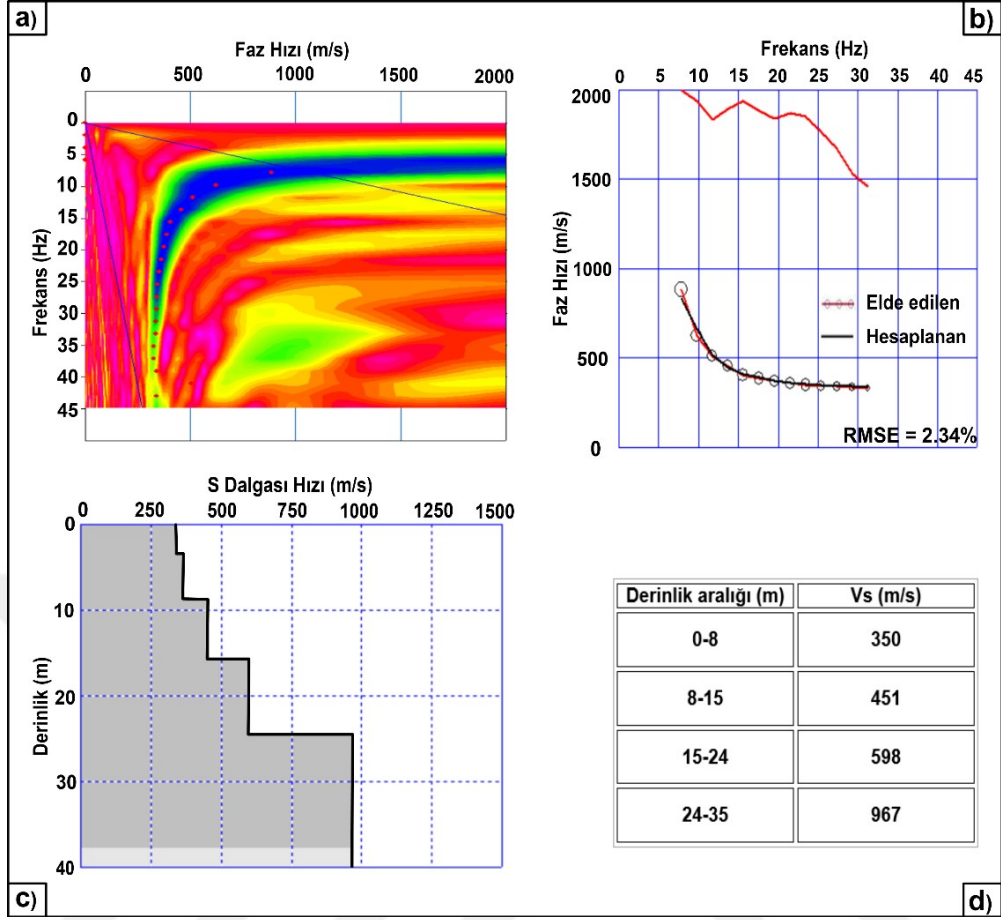
Şekil 4.21. SH_3_1 profiline ait SKT kesiti



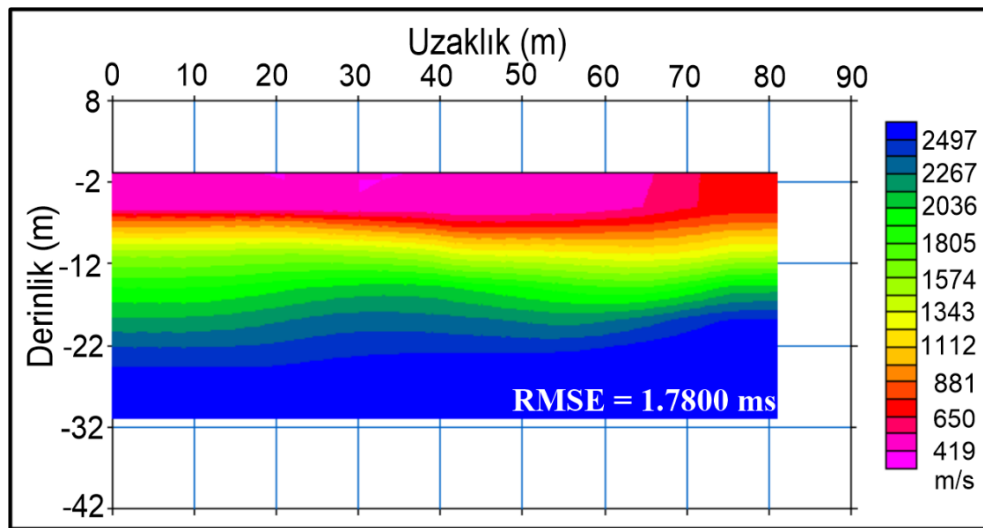
Şekil 4.22. a) SH_3_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



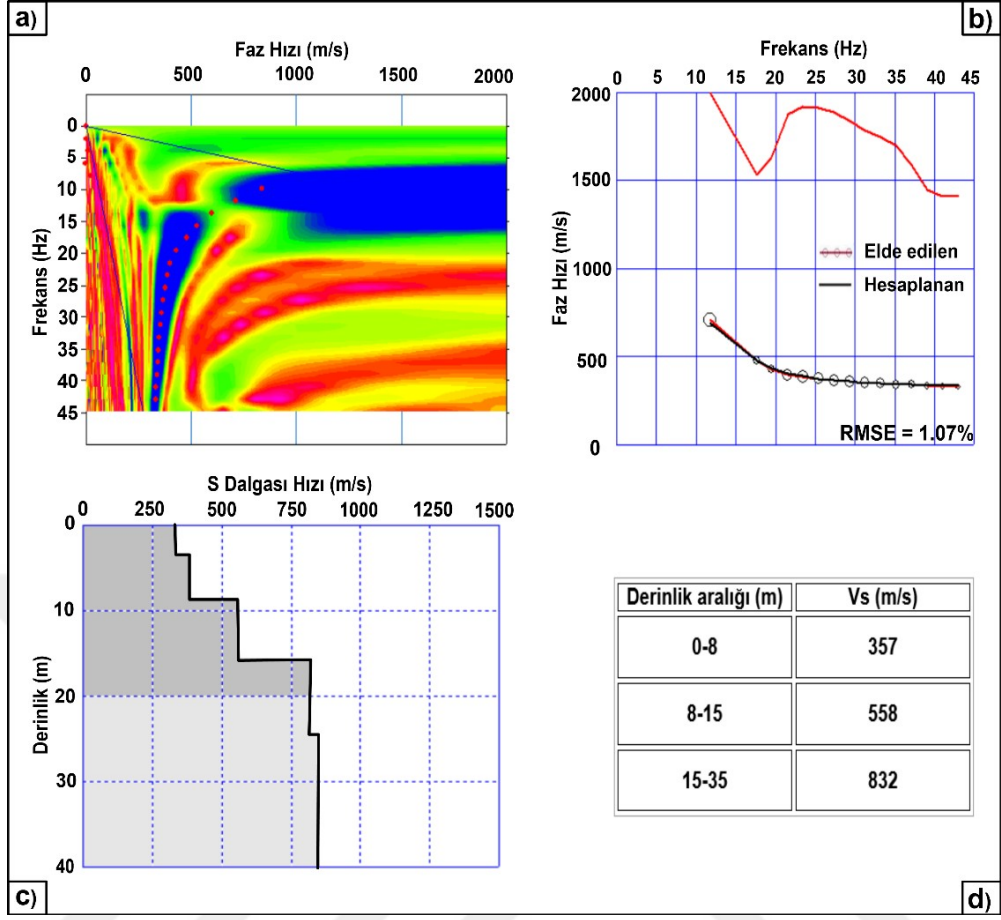
Şekil 4.23. SH_3_2 profiline ait SKT kesiti



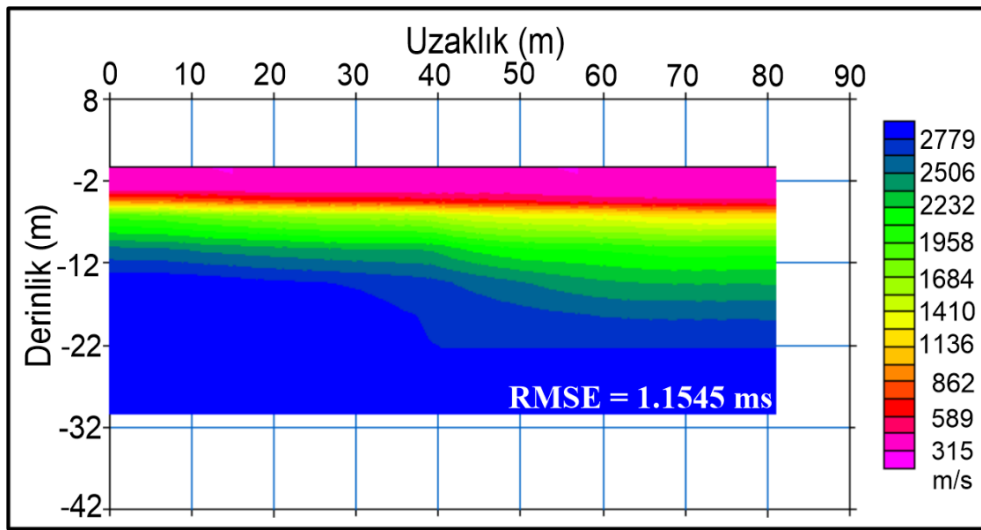
Şekil 4.24. a) SH_3_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



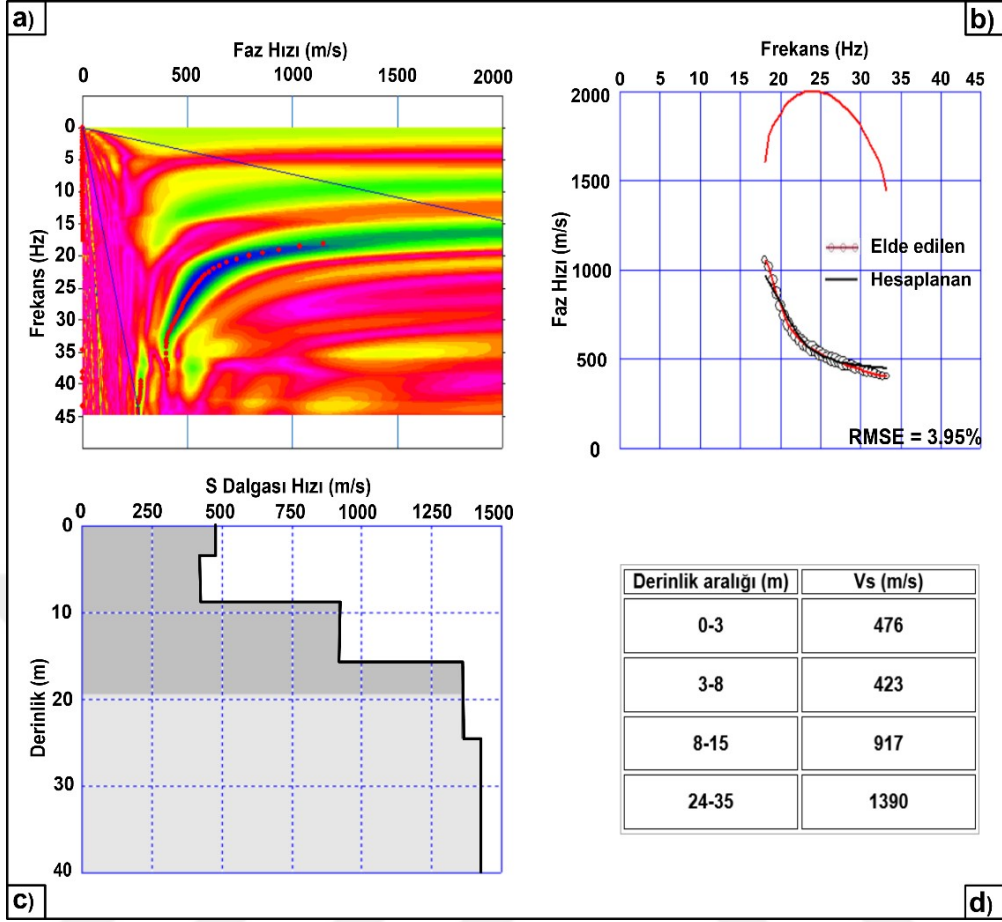
Şekil 4.25. SH_3_3 profiline ait SKT kesiti



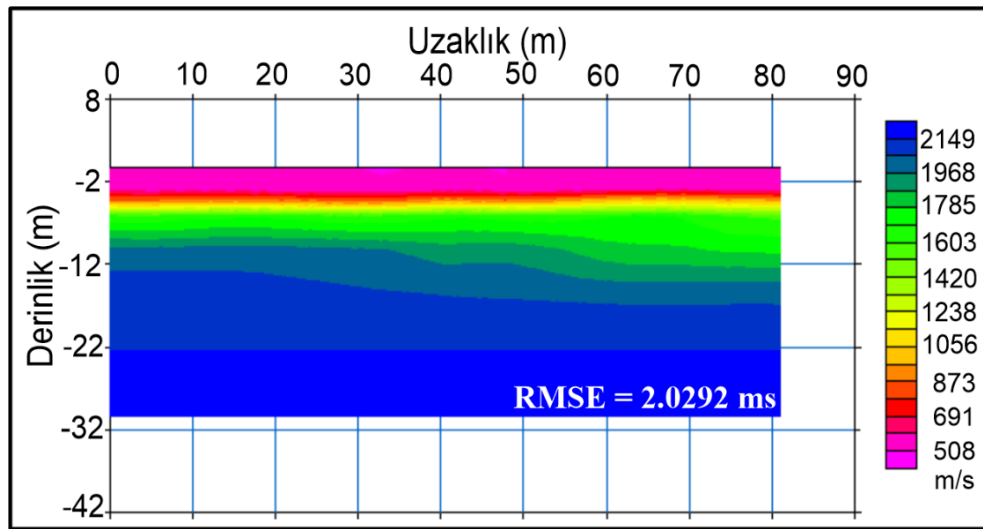
Şekil 4.26. a) SH_3_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



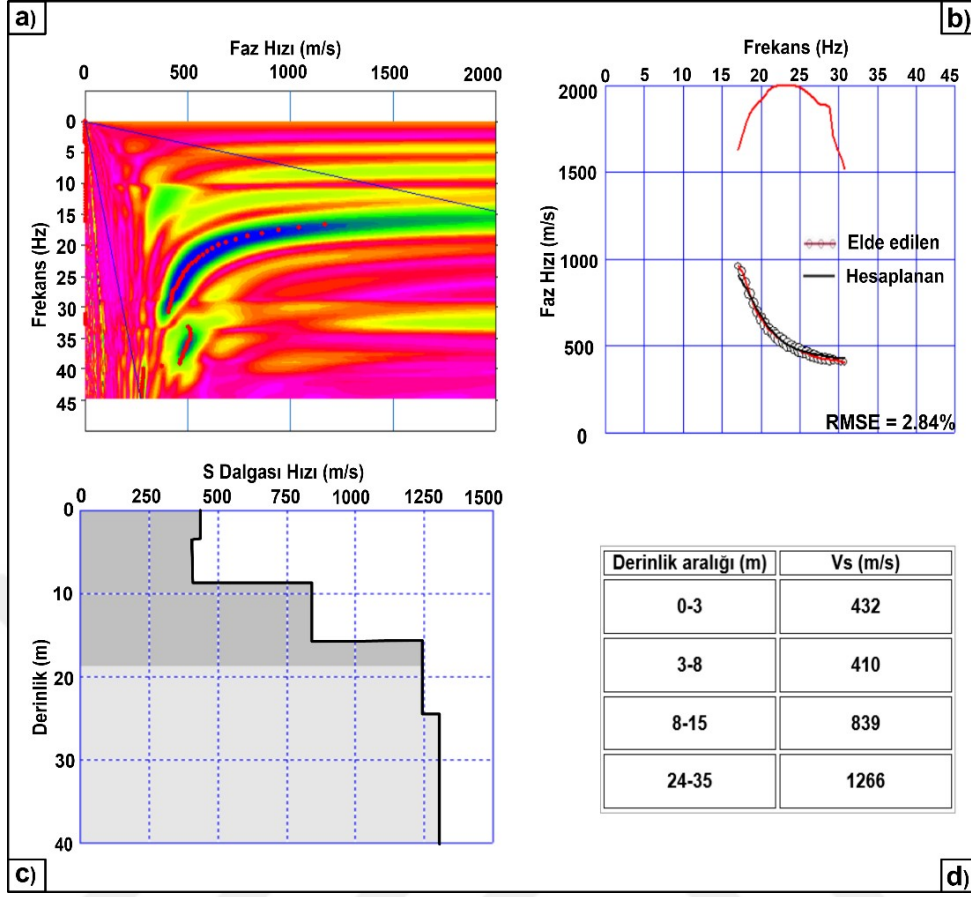
Şekil 4.27. SH_3_4 profiline ait SKT kesiti



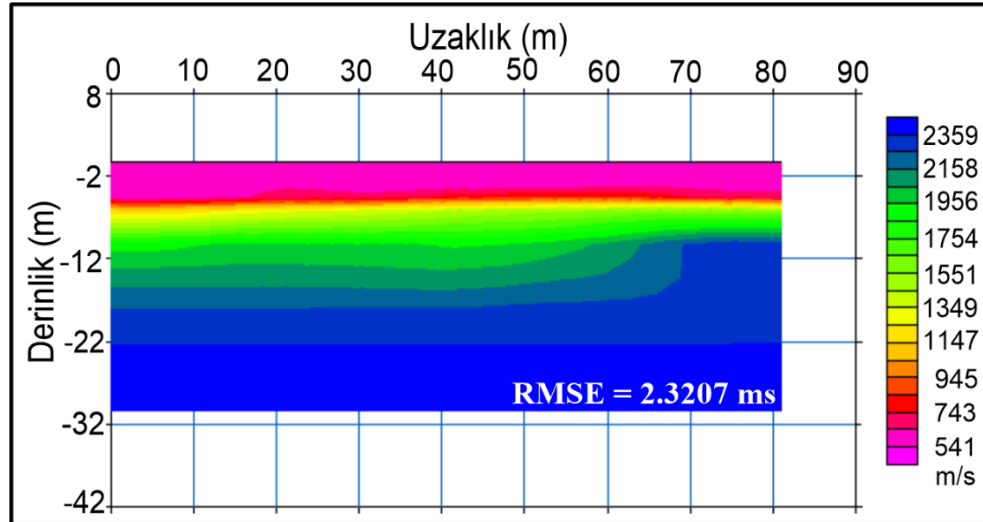
Şekil 4.28. a) SH_4_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



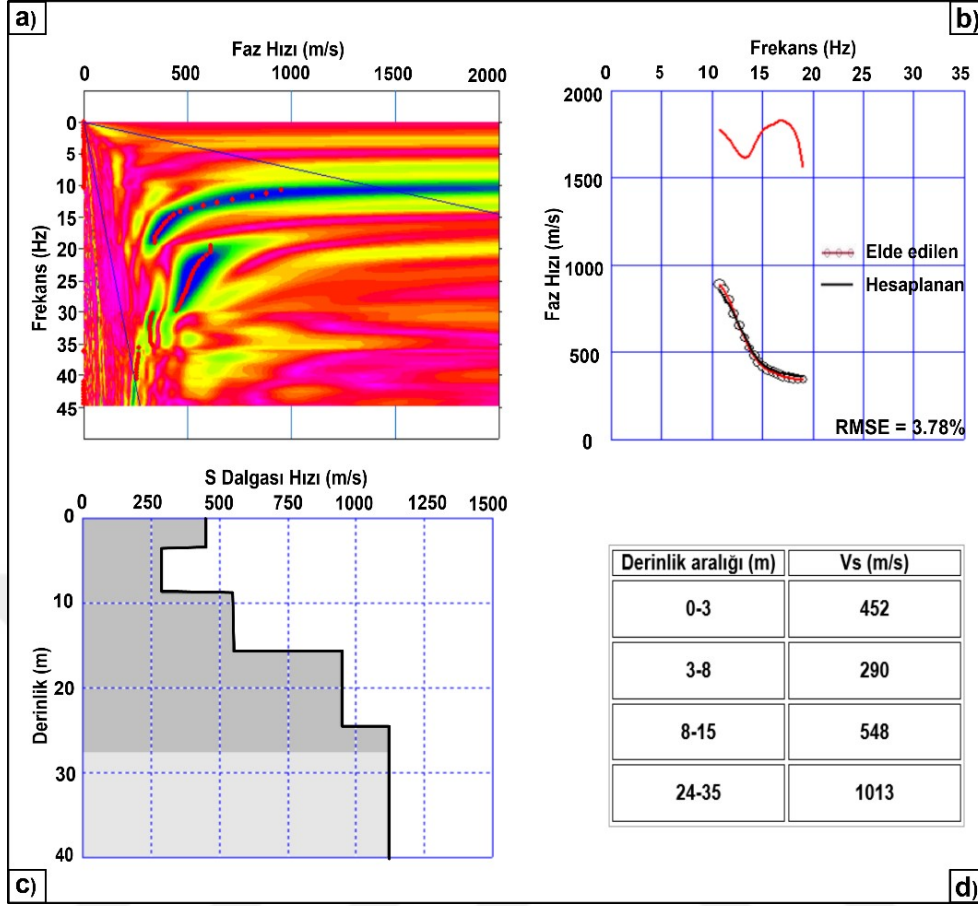
Şekil 4.29. SH_4_1 profiline ait SKT kesiti



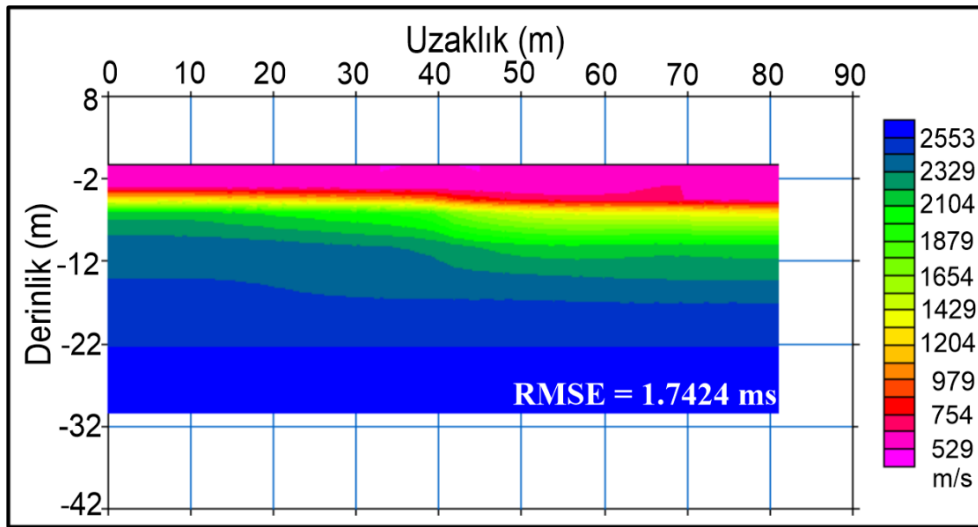
Şekil 4.30. a) SH_4_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



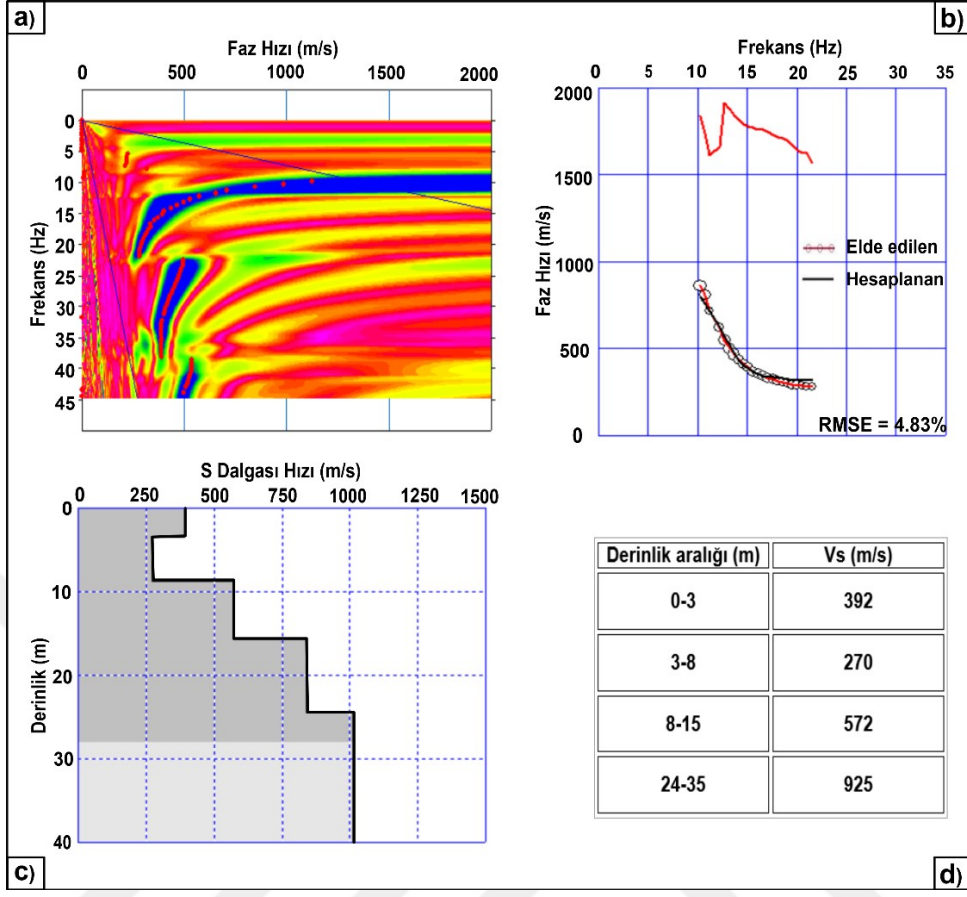
Şekil 4.31. SH_4_2 profiline ait SKT kesiti



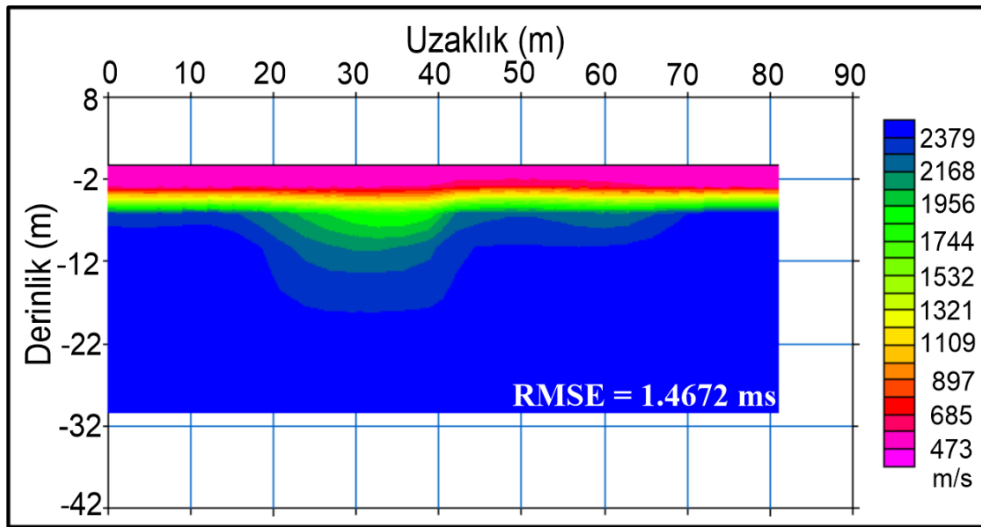
Şekil 4.32. a) SH_4_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



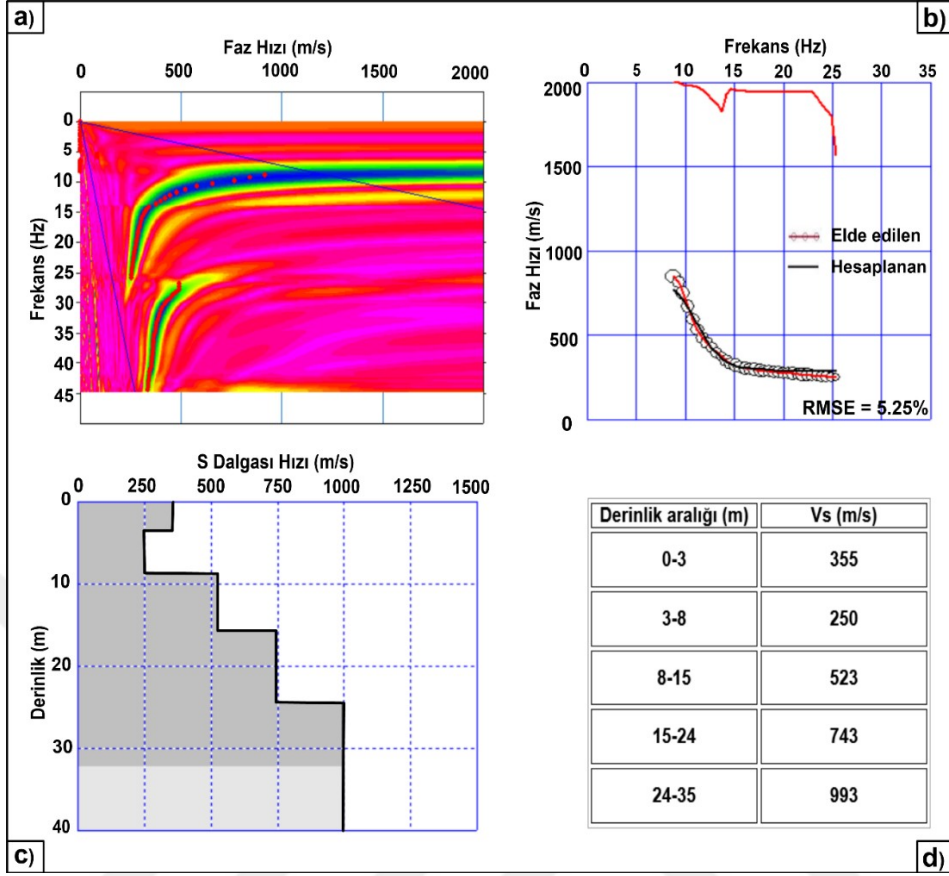
Şekil 4.33. SH_4_3 profiline SKT kesiti



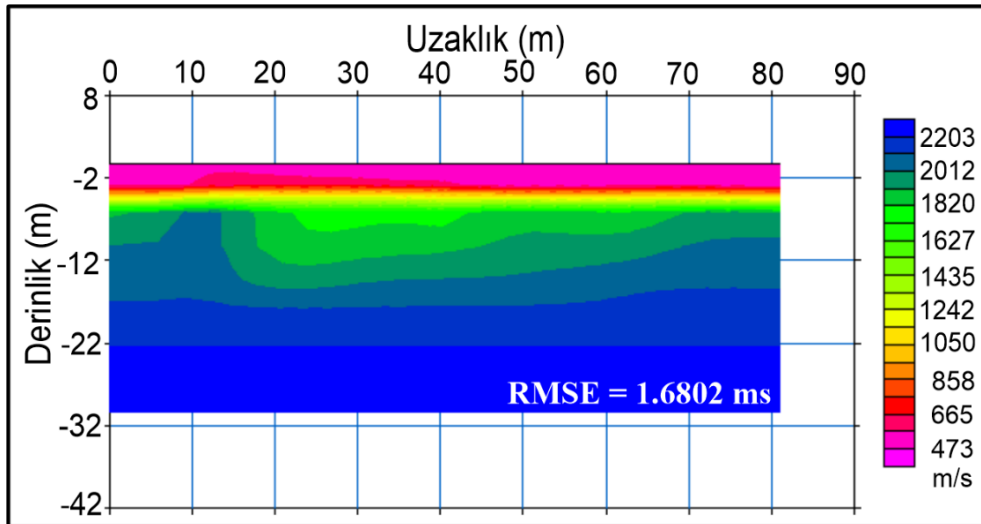
Şekil 4.34. a) SH_4_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



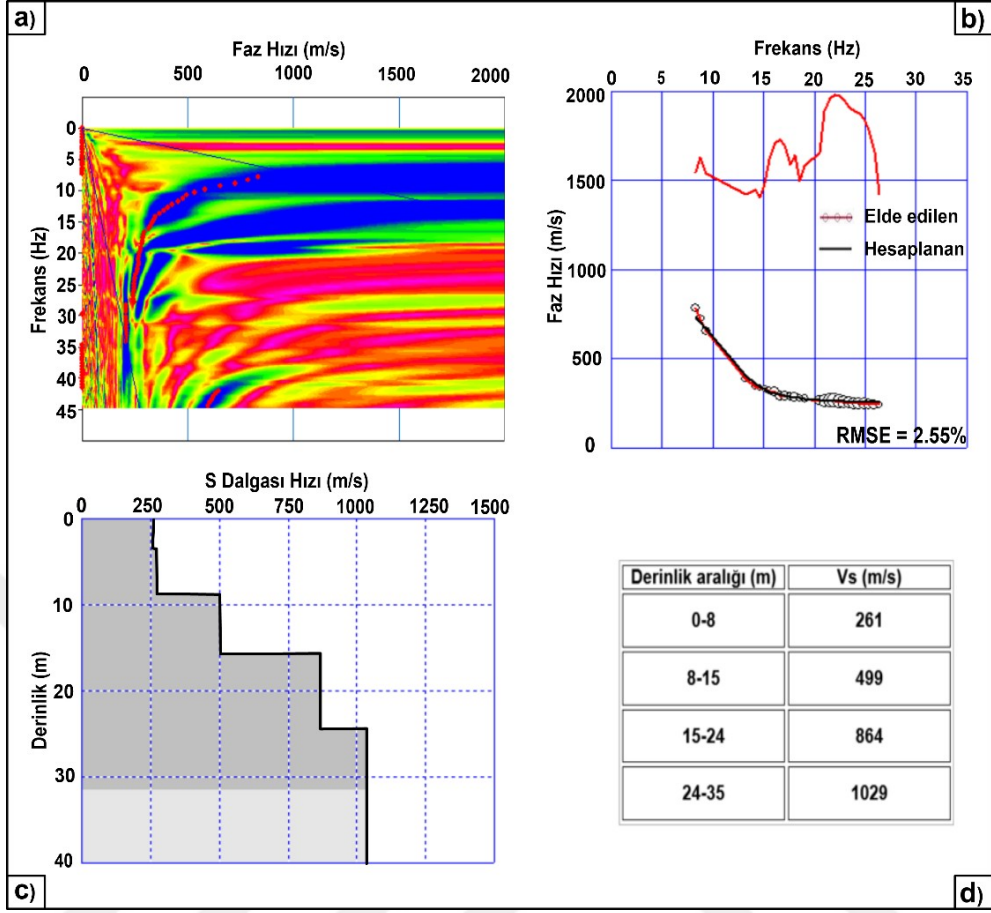
Şekil 4.35. SH_4_4 profiline ait SKT kesiti



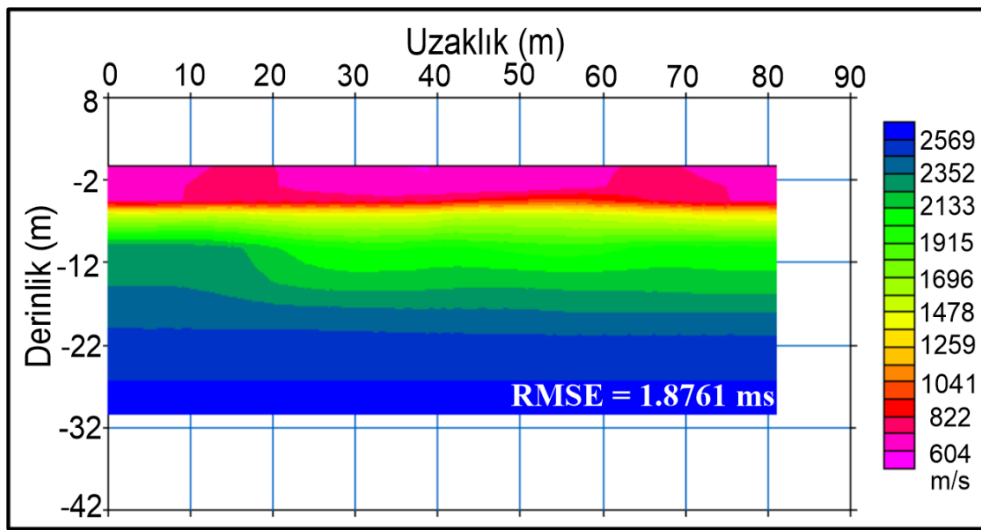
Şekil 4.36. a) SH_5_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



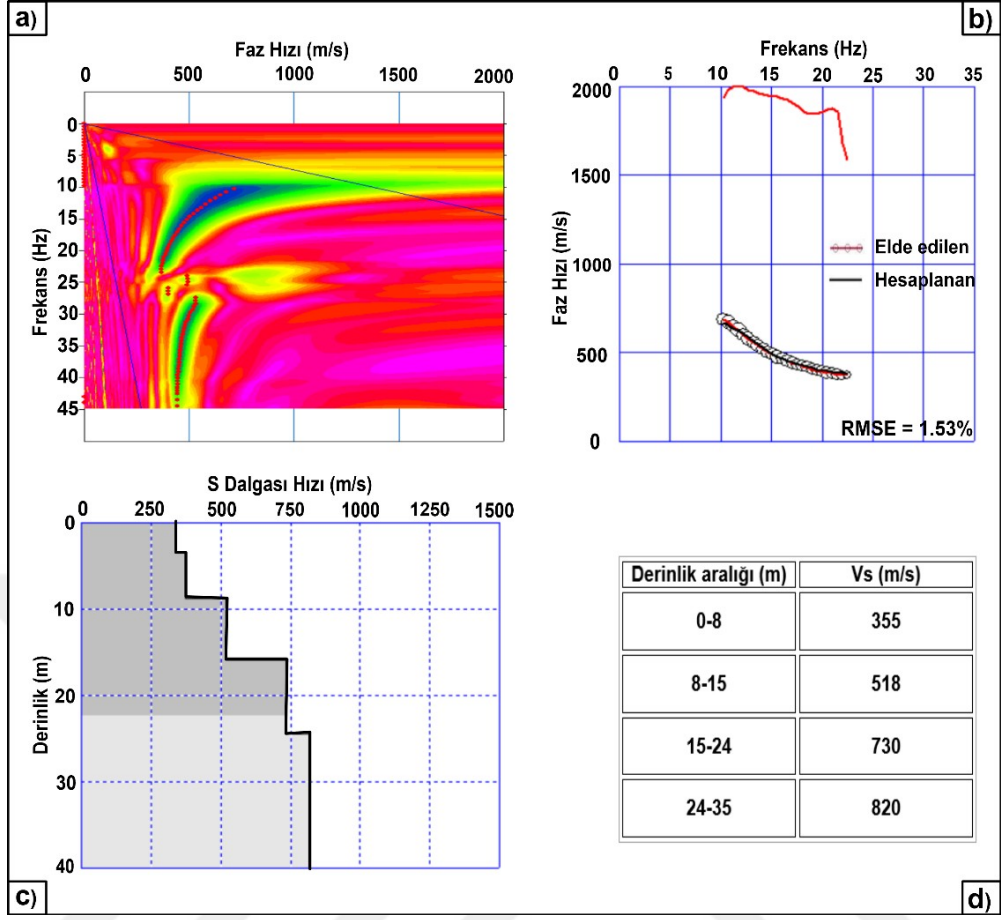
Şekil 4.37. SH_5_1 profiline ait SKT kesiti



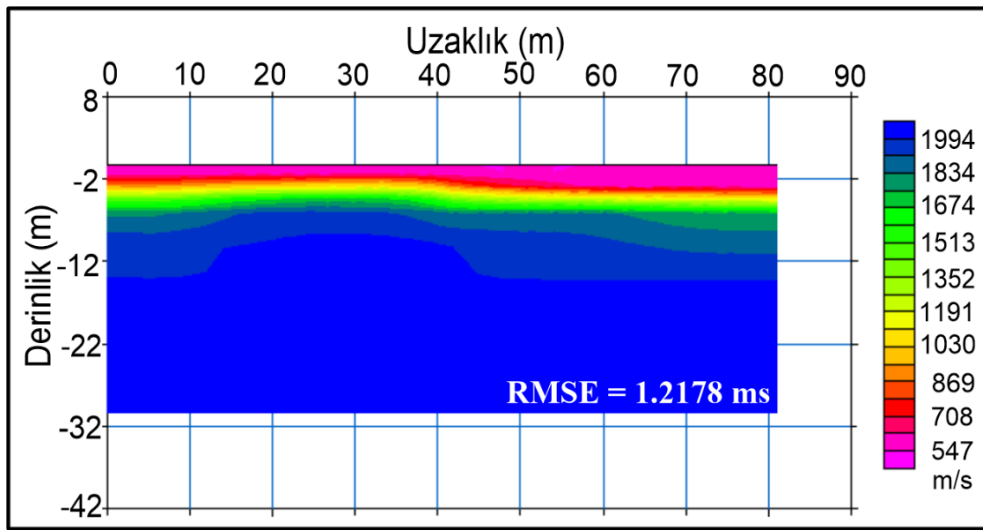
Şekil 4.38. a) SH_5_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



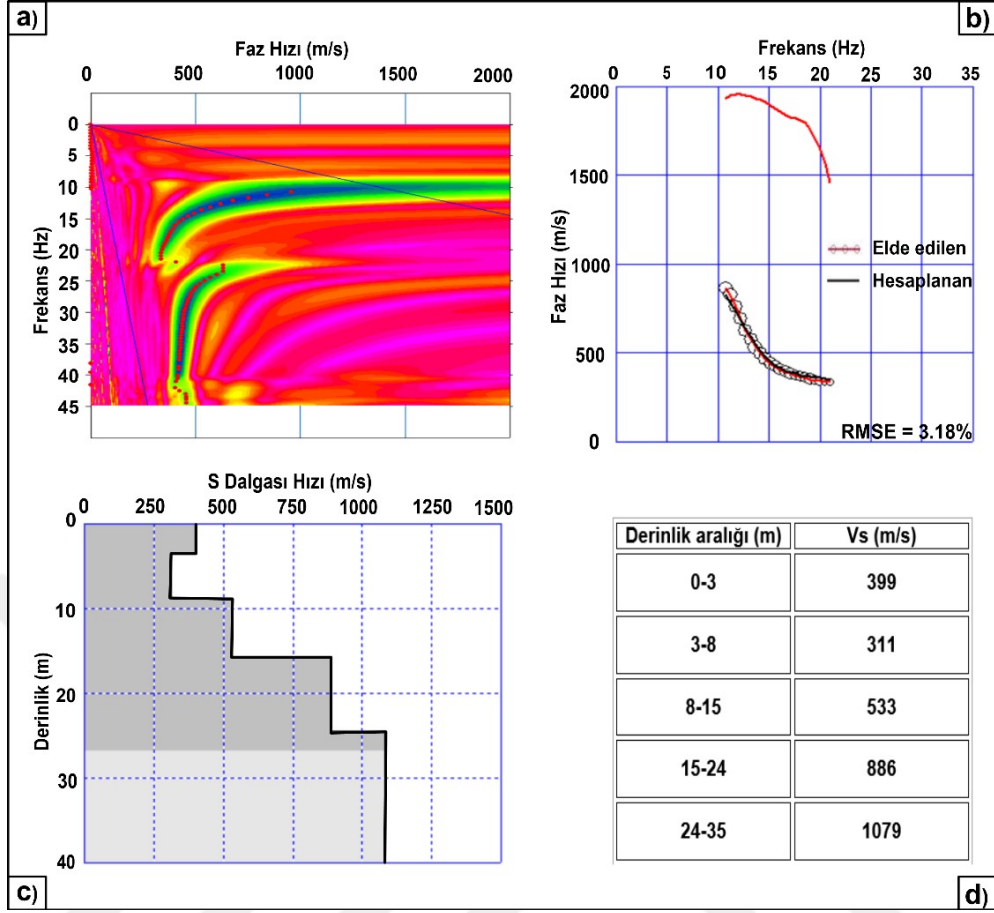
Şekil 4.39. SH_5_2 profiline ait SKT kesiti



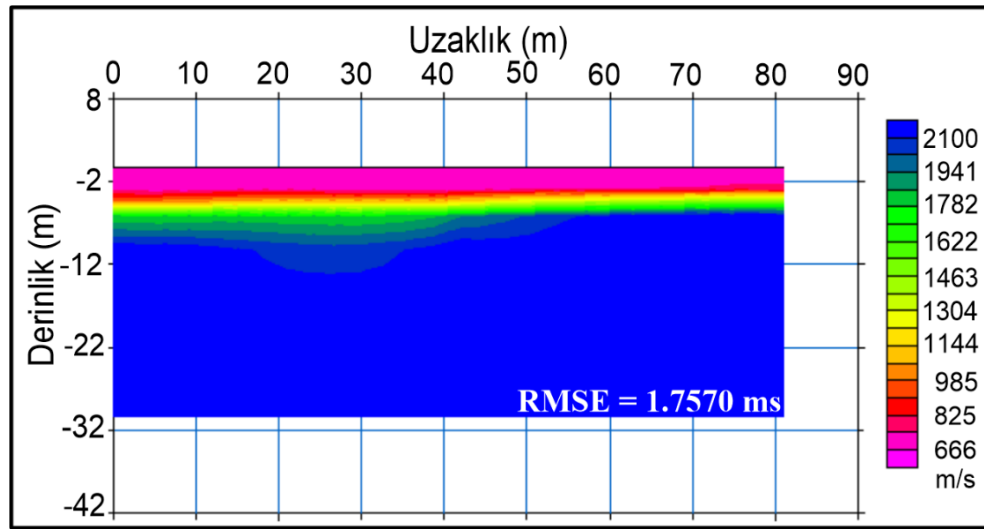
Şekil 4.40. a) SH_5_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



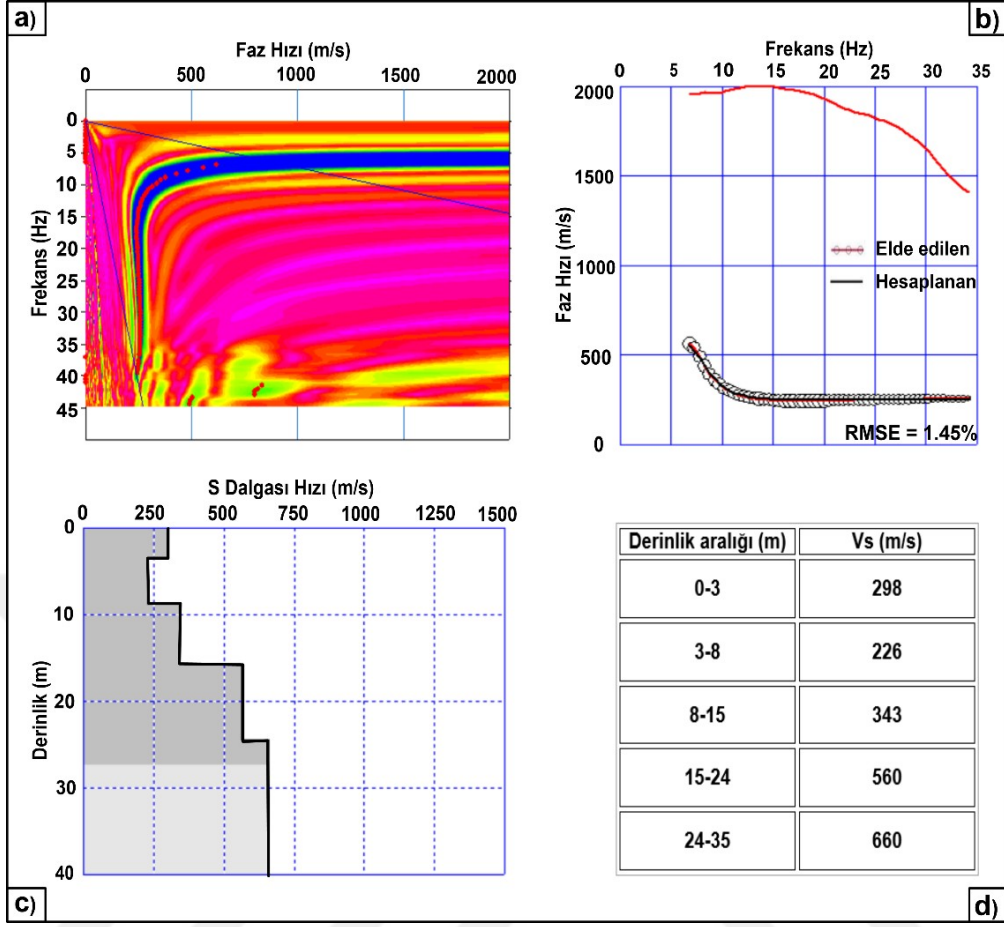
Şekil 4.41. SH_5_3 profiline ait SKT kesiti



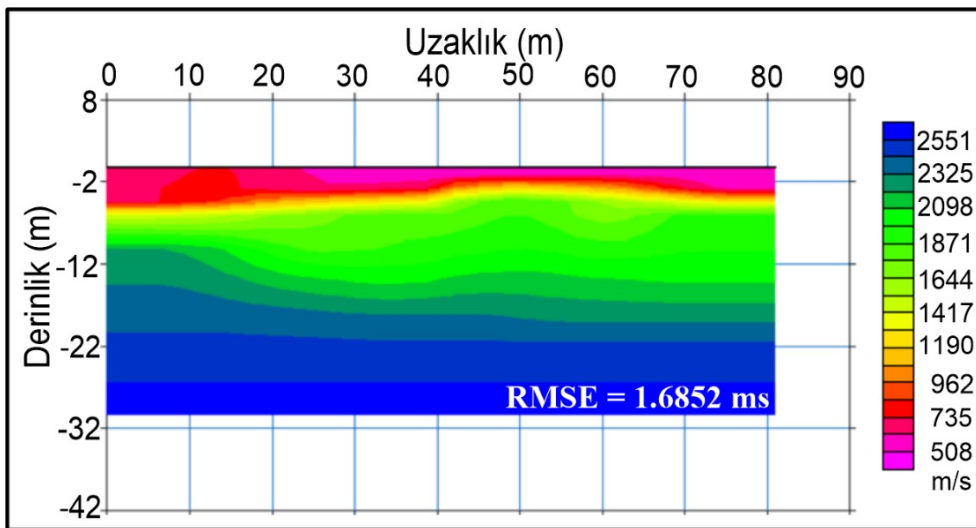
Şekil 4.42. a) SH_5_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



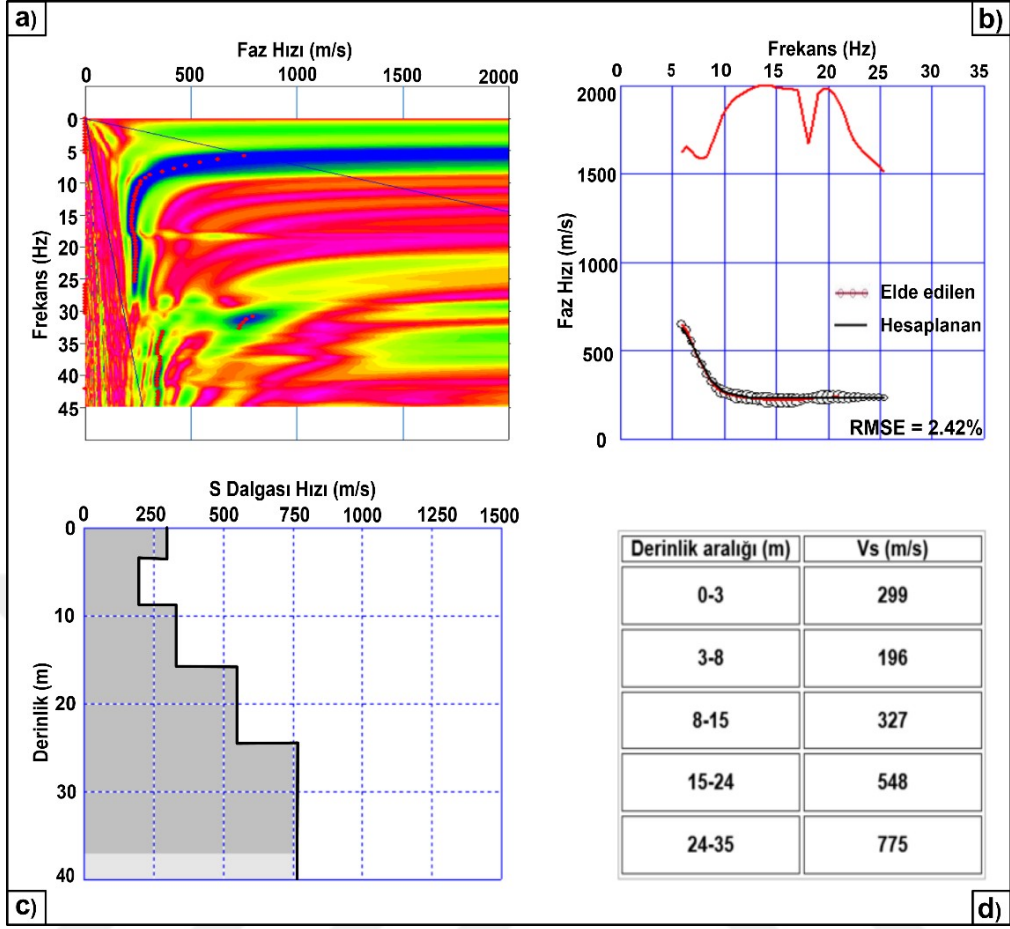
Şekil 4.43. SH_5_4 profiline ait SKT kesiti



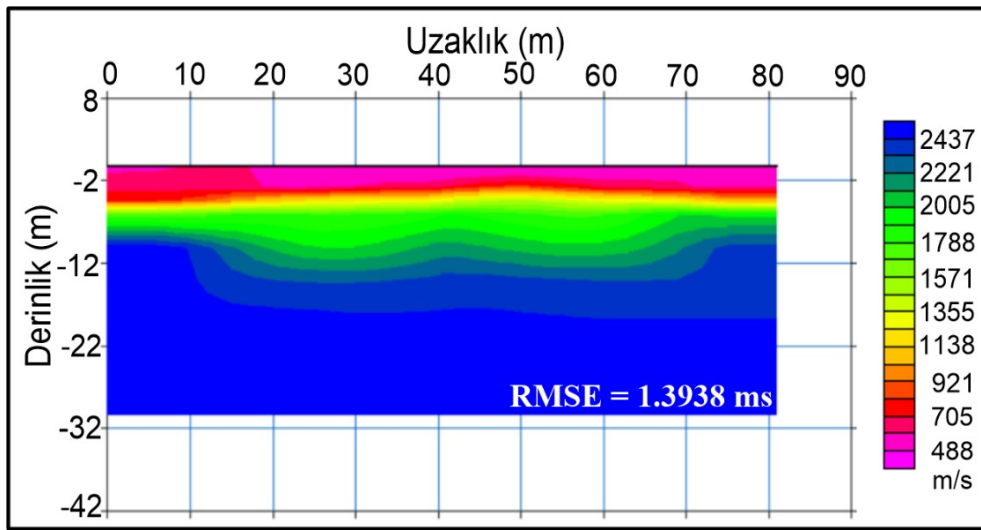
Şekil 4.44. a) SH_6_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



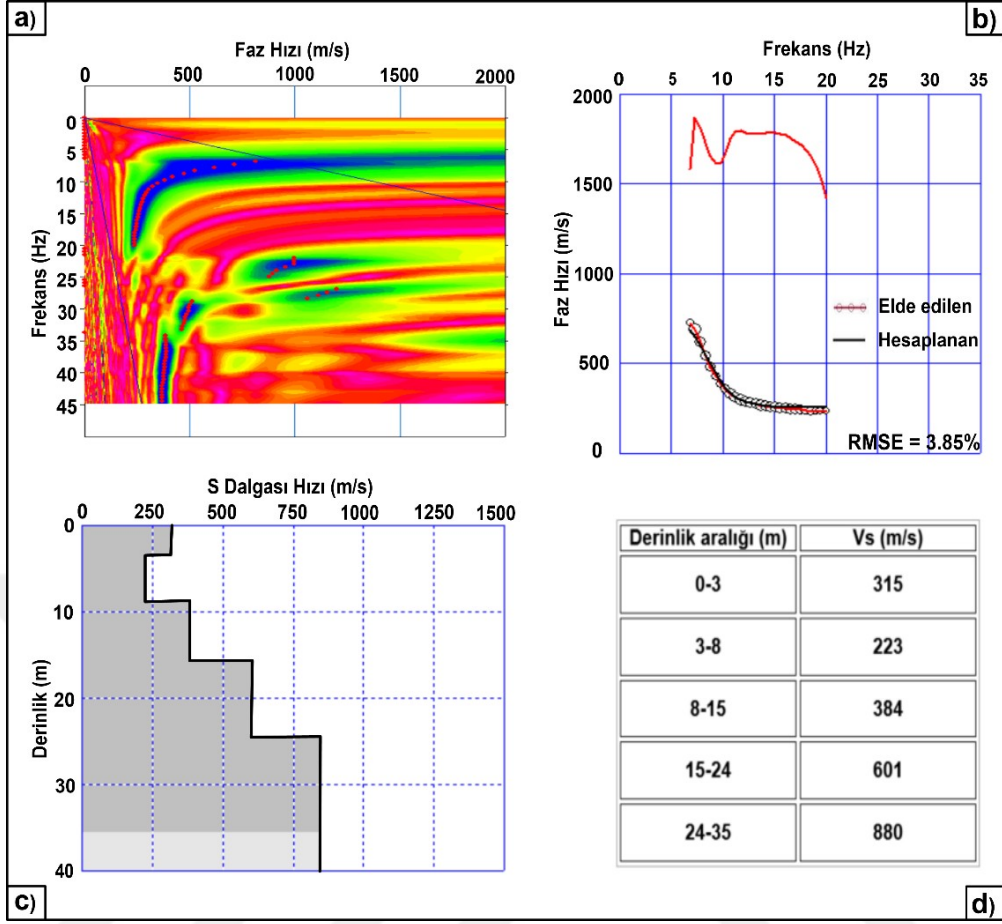
Şekil 4.45. SH_6_1 profiline ait SKT kesiti



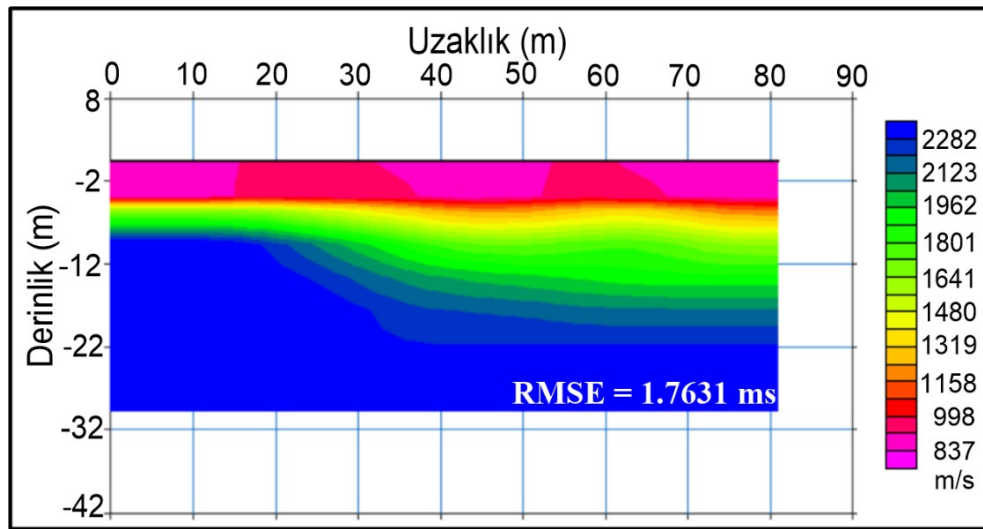
Şekil 4.46. a) SH_6_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



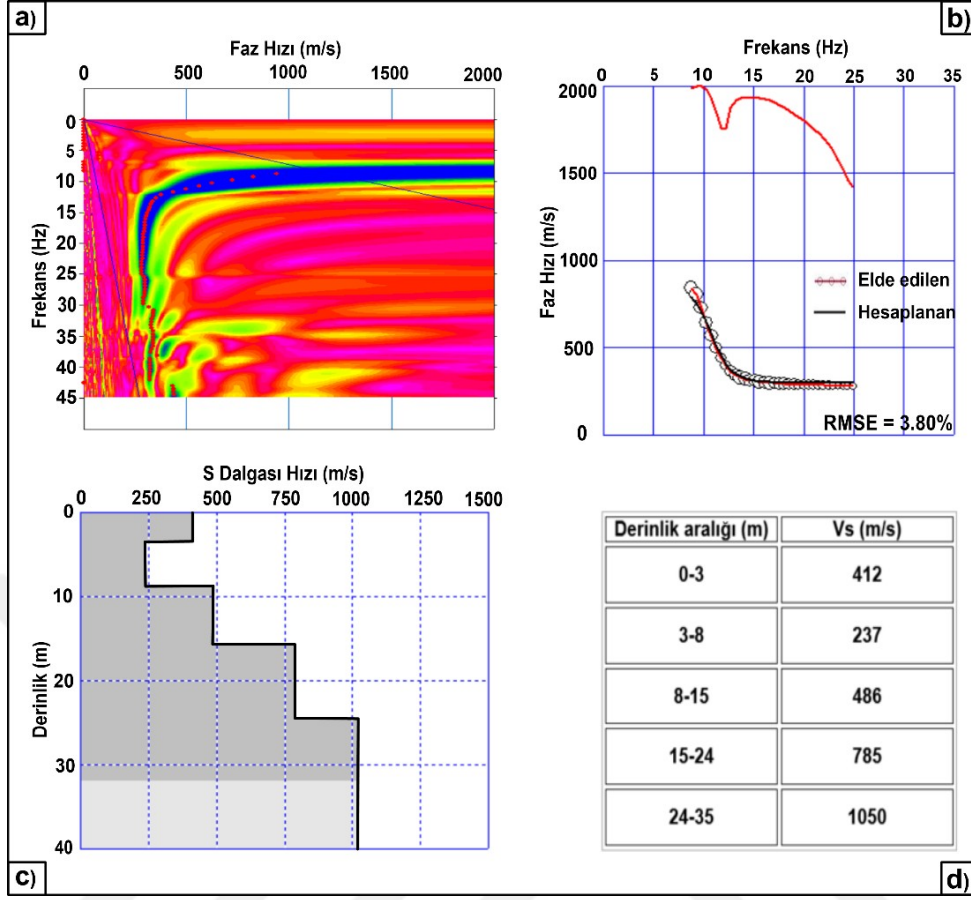
Şekil 4.47. SH_6_2 profiline ait SKT kesiti



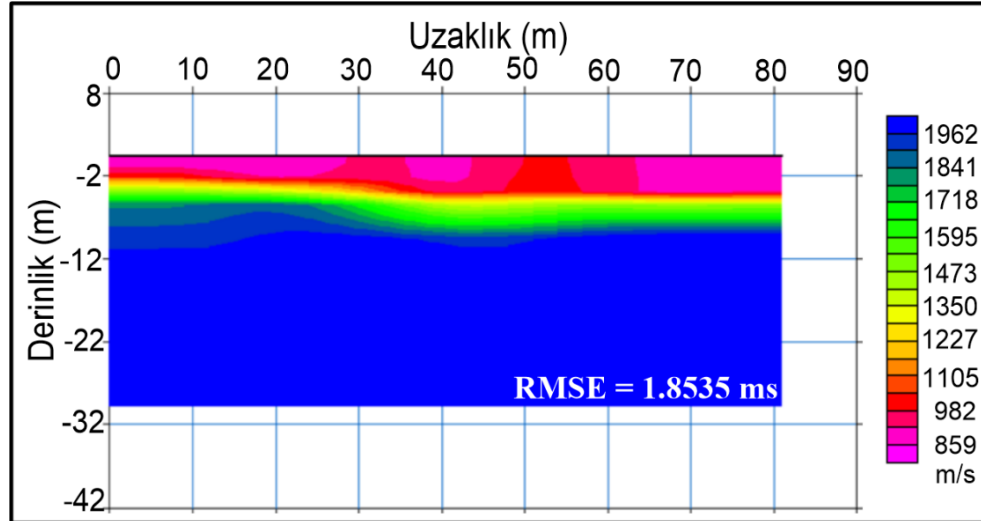
Şekil 4.48. a) SH_6_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



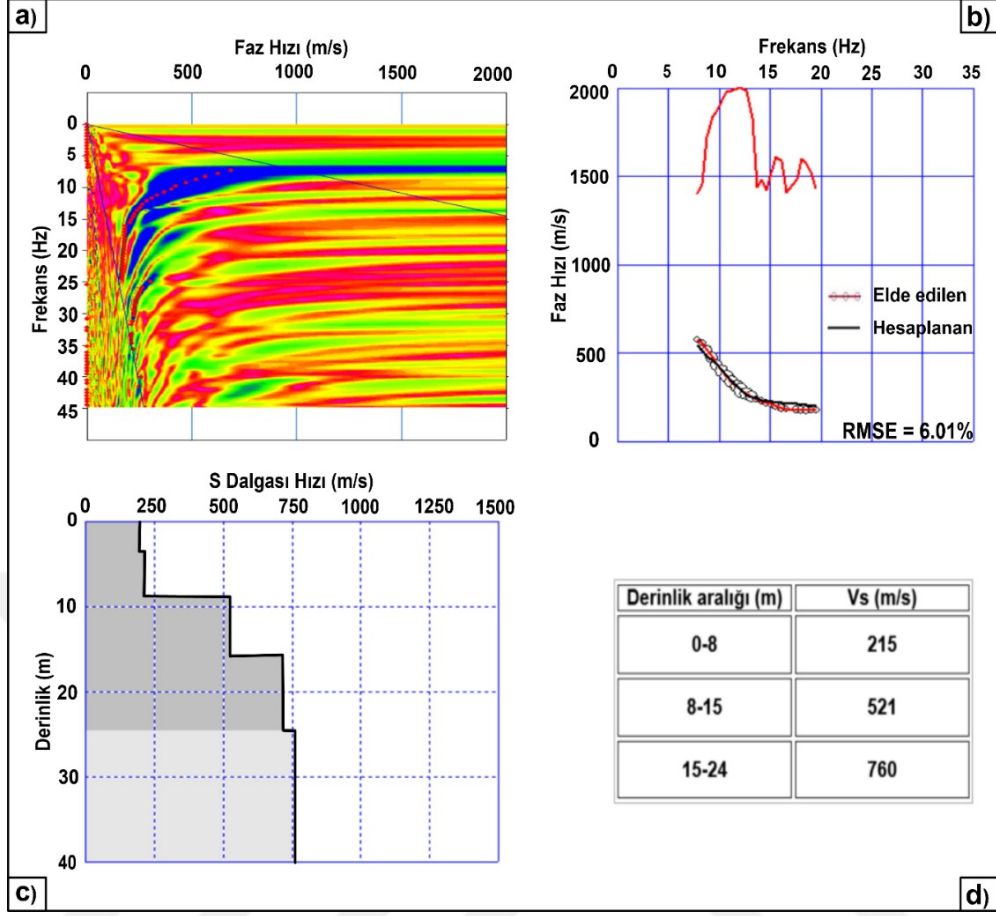
Şekil 4.49. SH_6_3 profiline ait SKT kesiti



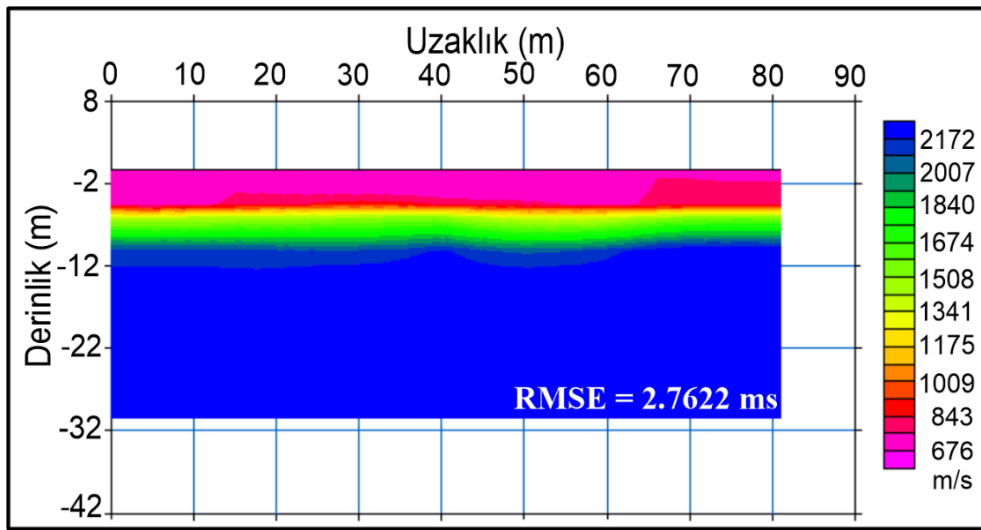
Şekil 4.50. a) SH_6_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



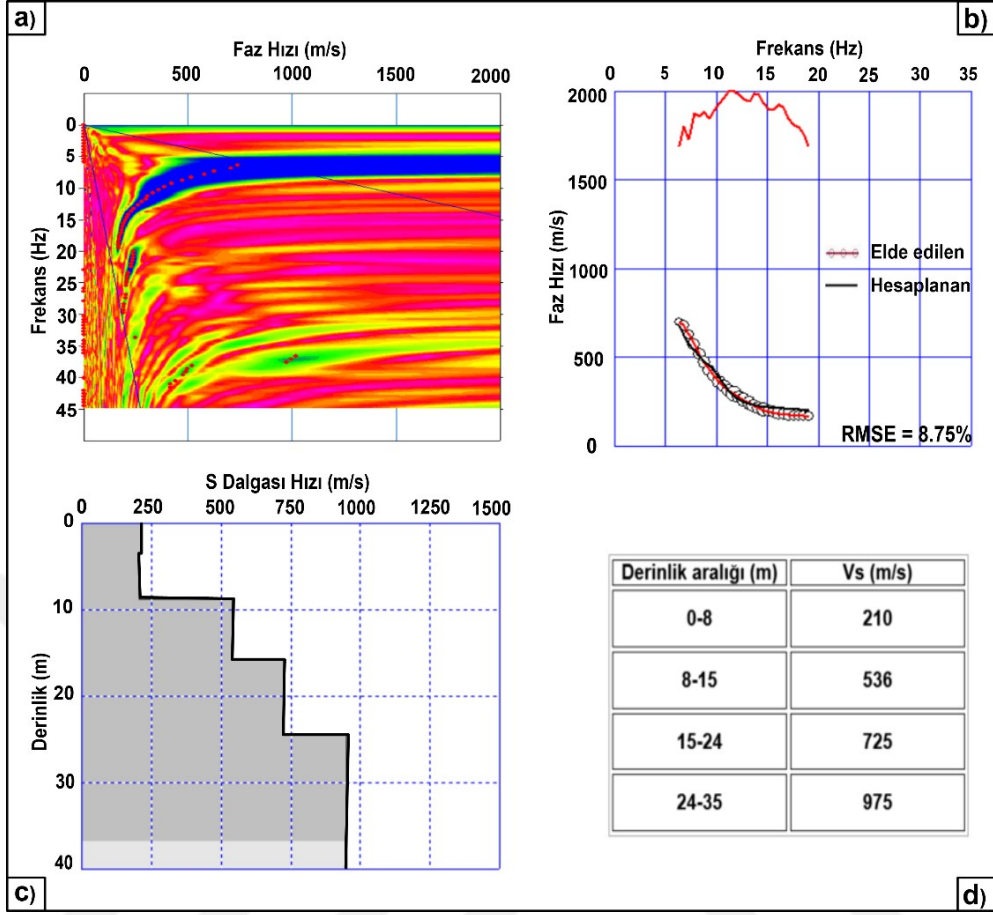
Şekil 4.51. SH_6_4 profiline ait SKT kesiti



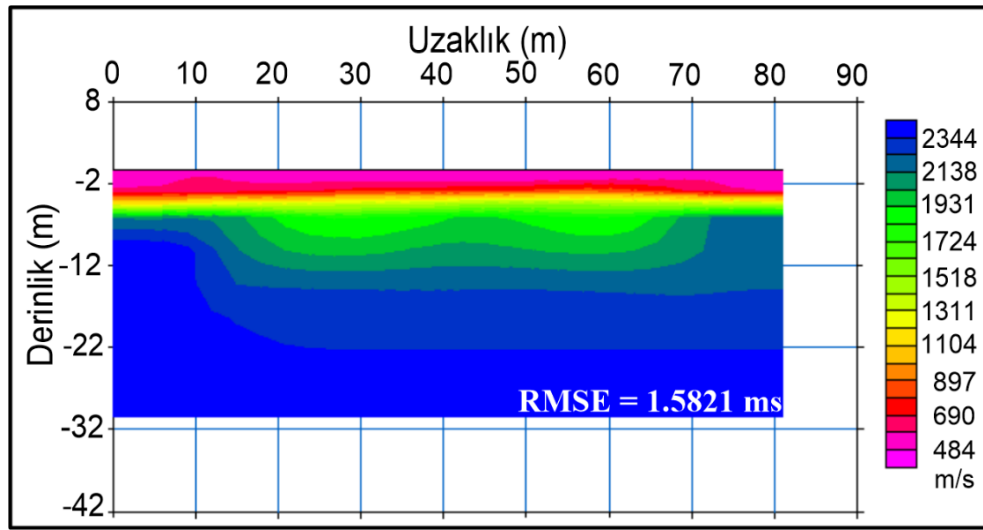
Şekil 4.52. a) SH_7_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



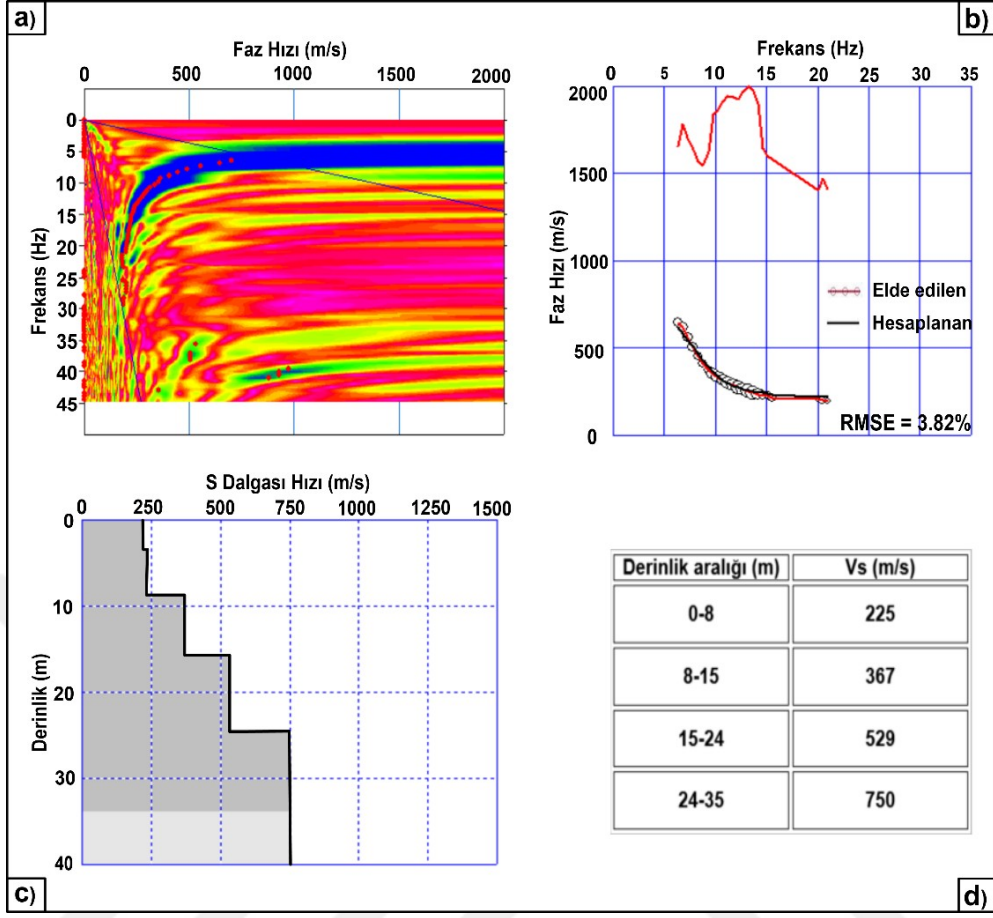
Şekil 4.53. SH_7_1 profiline ait SKT kesiti



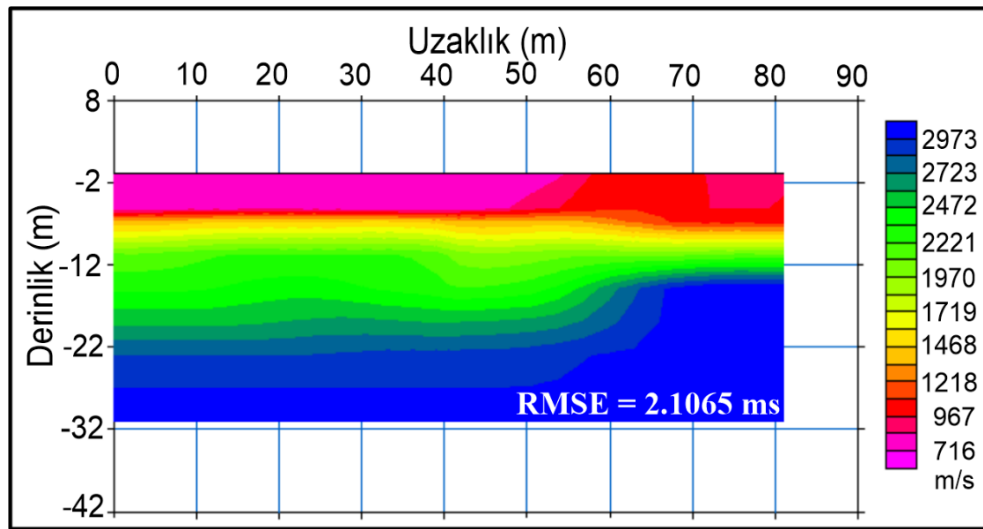
Şekil 4.54. a) SH_7_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



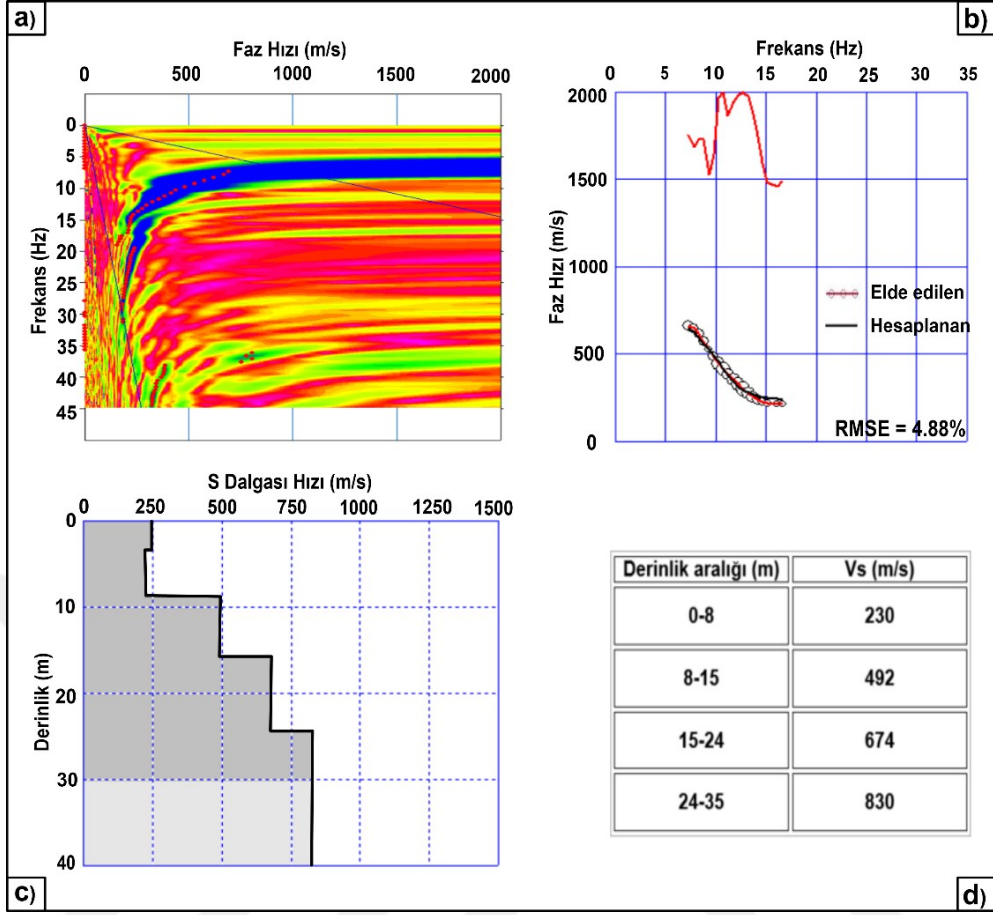
Şekil 4.55. SH_7_2 profiline ait SKT kesiti



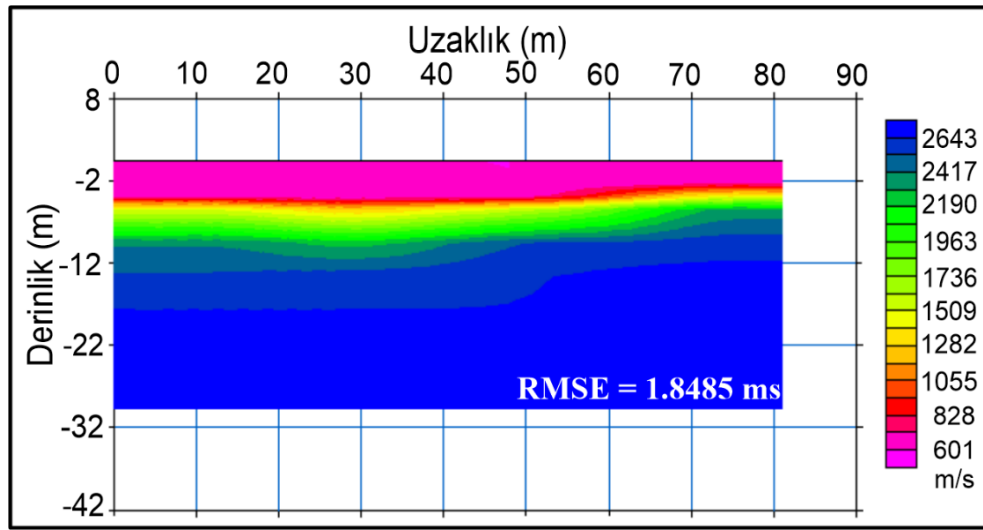
Şekil 4.56. a) SH_7_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



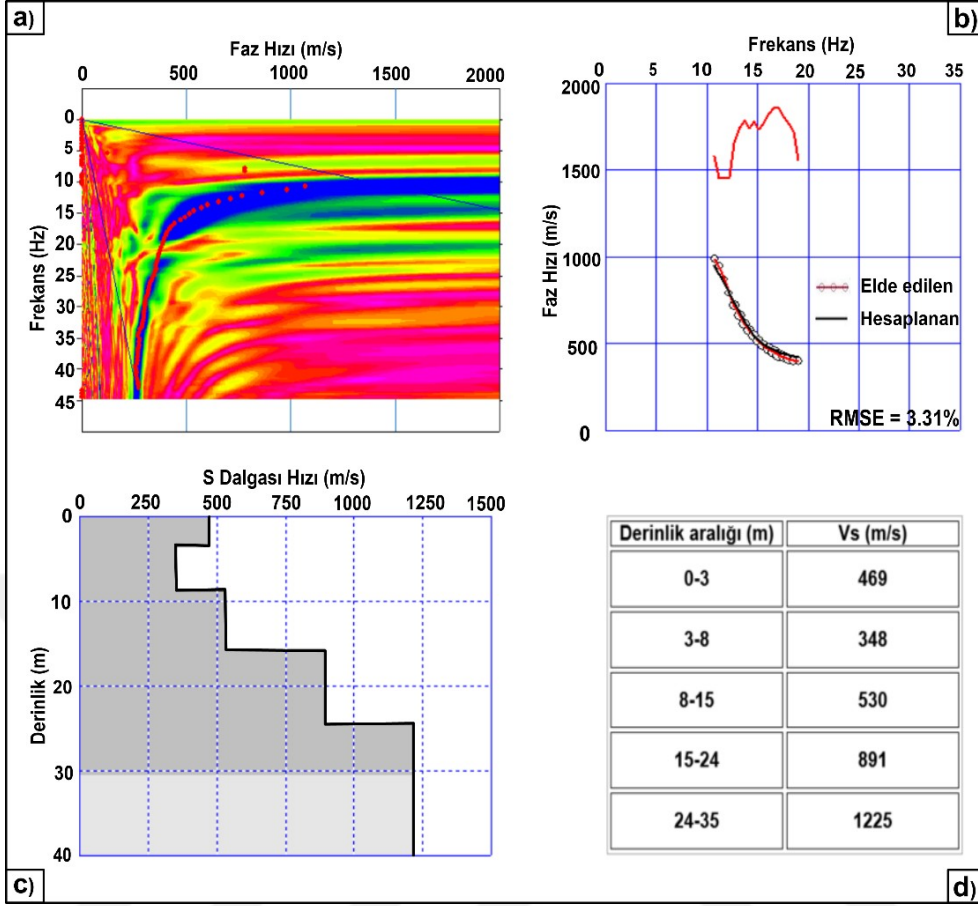
Şekil 4.57. SH_7_3 profiline ait SKT kesiti



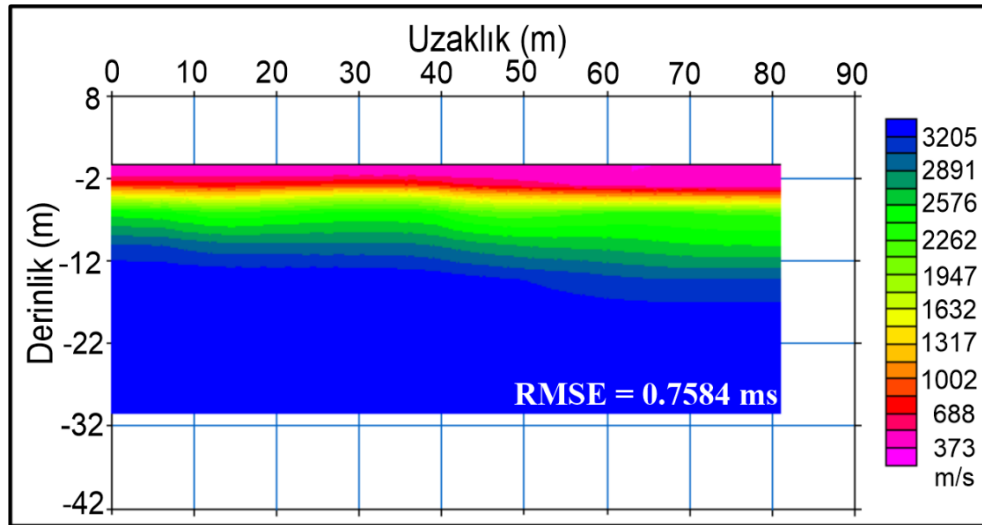
Şekil 4.58. a) SH_7_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



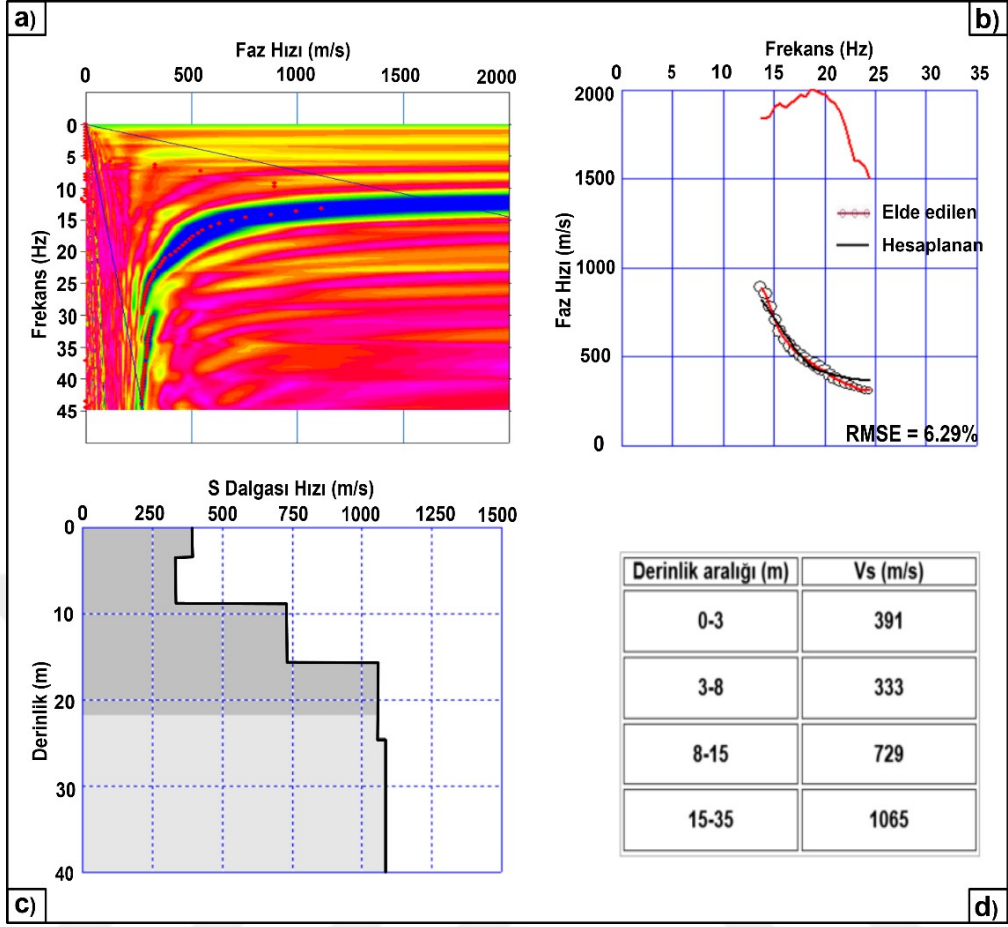
Şekil 4.59. SH_7_4 profiline ait SKT kesiti



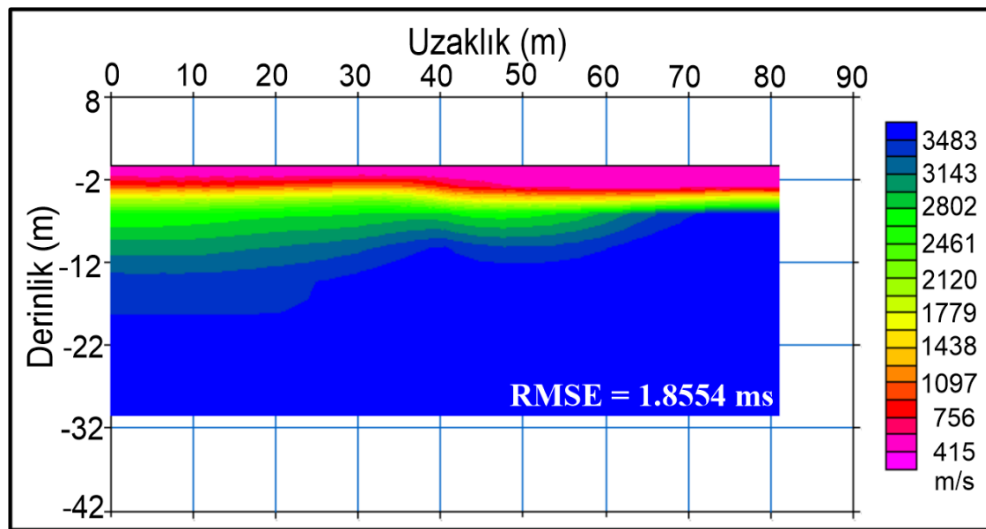
Şekil 4.60. a) SH_8_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



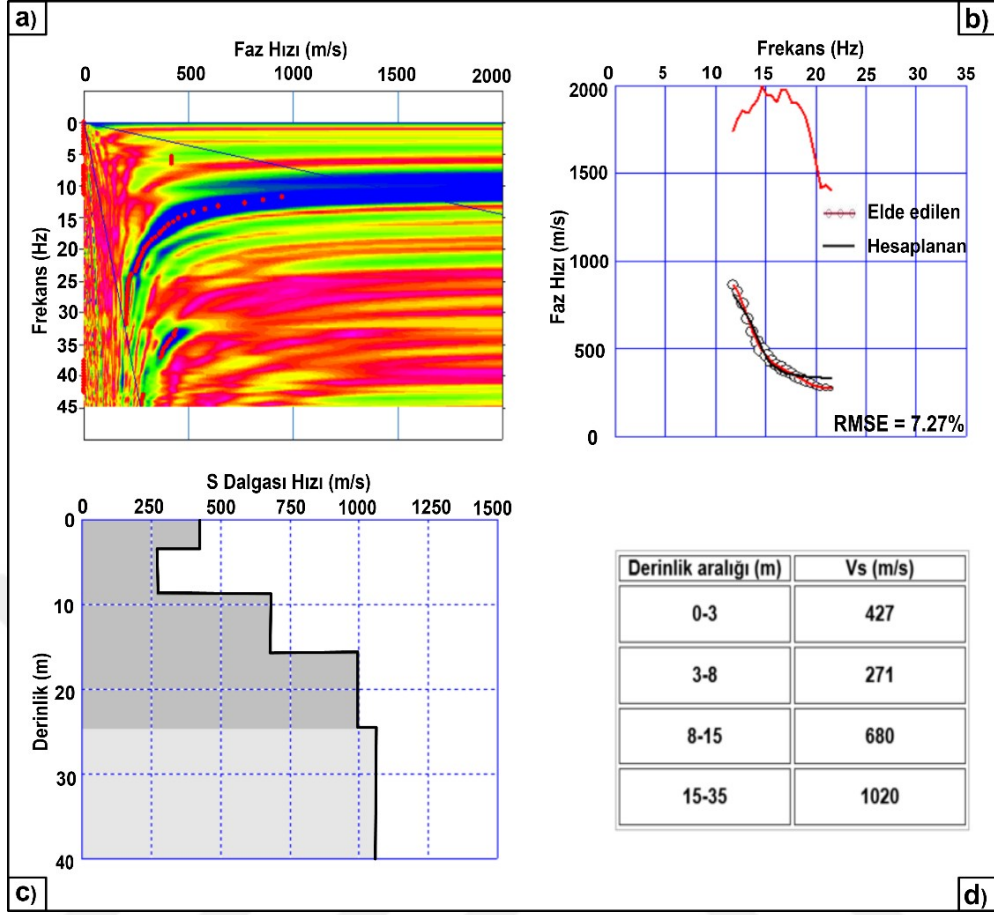
Şekil 4.61. SH_8_1 profiline ait SKT kesiti



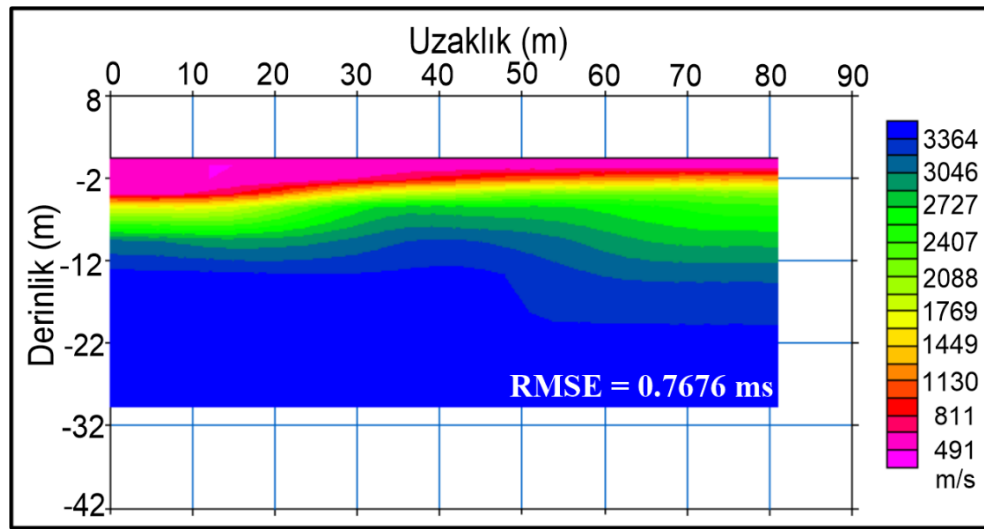
Şekil 4.62. a) SH_8_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



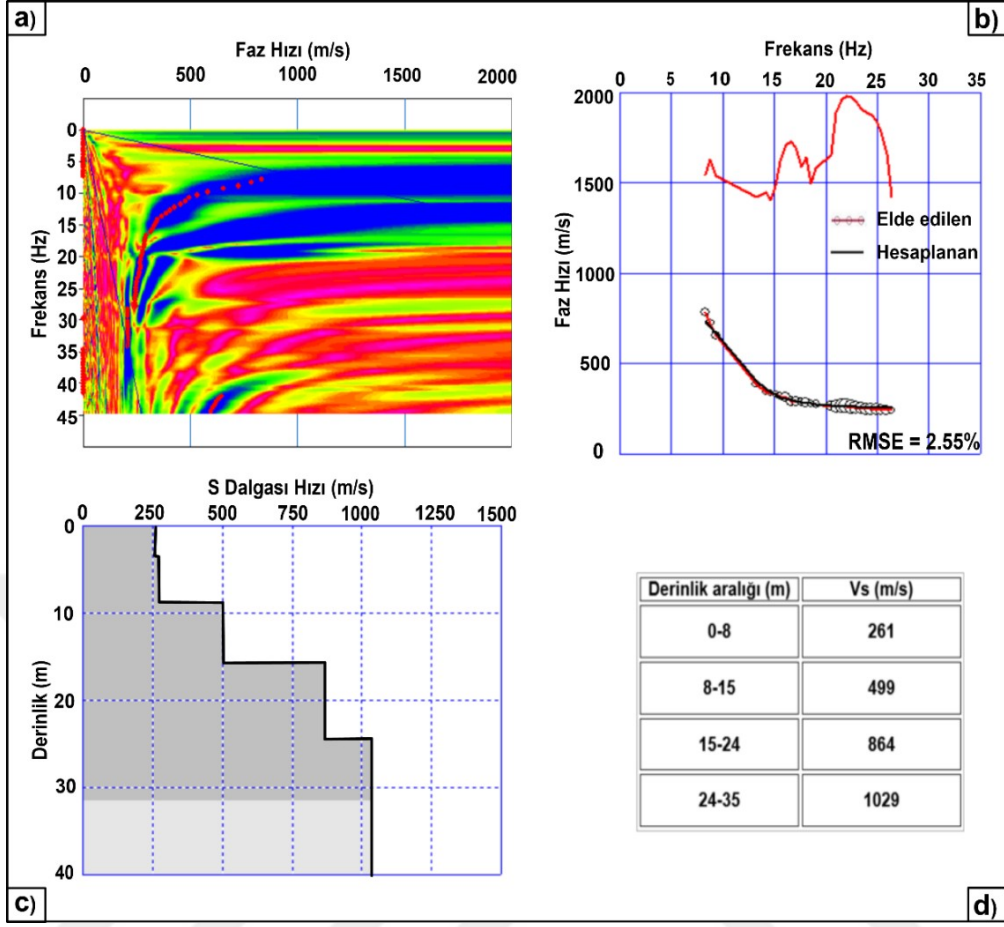
Şekil 4.63. SH_8_2 profiline ait SKT kesiti



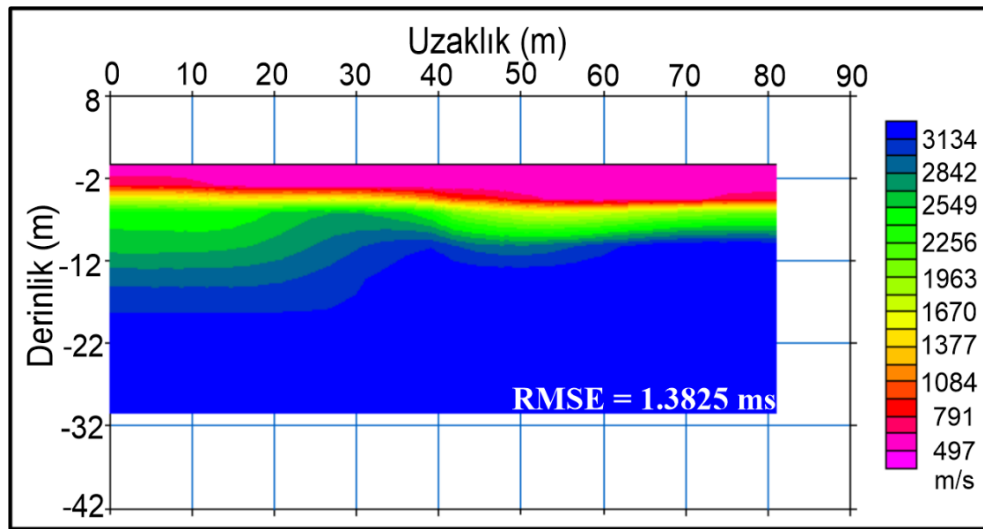
Şekil 4.64. a) SH_8_3 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



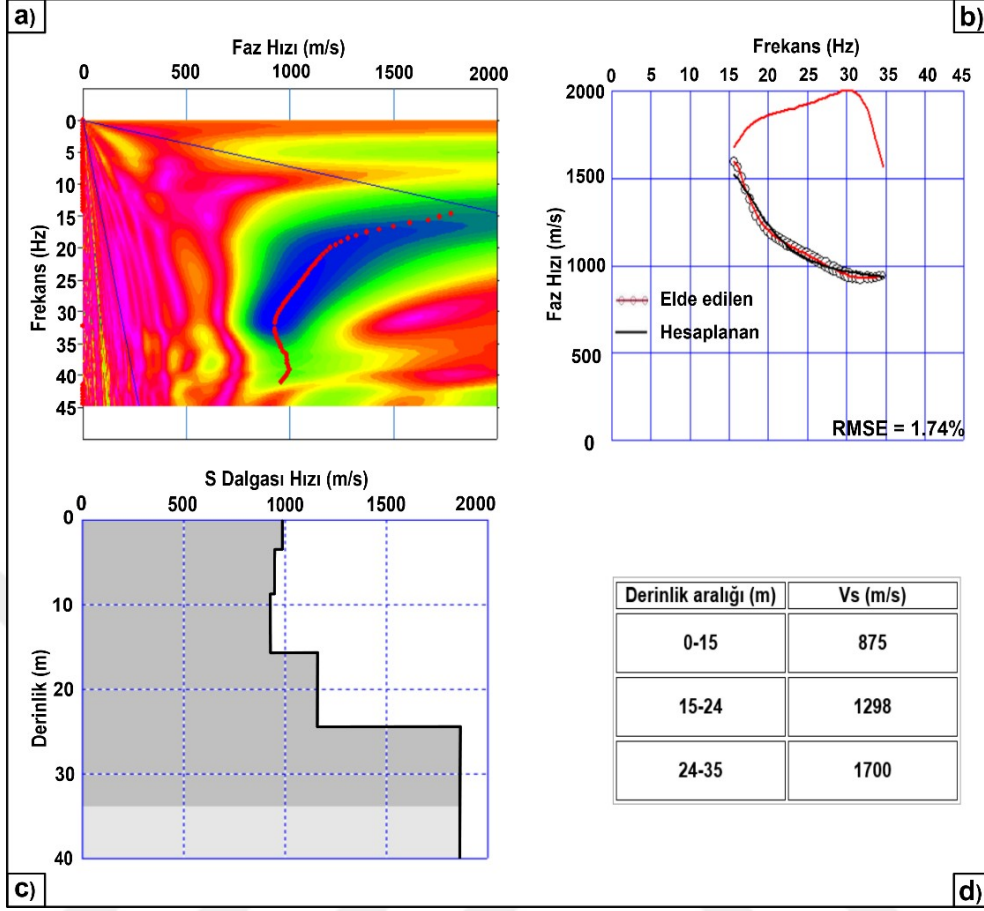
Şekil 4.65. SH_8_3 profiline ait SKT kesiti



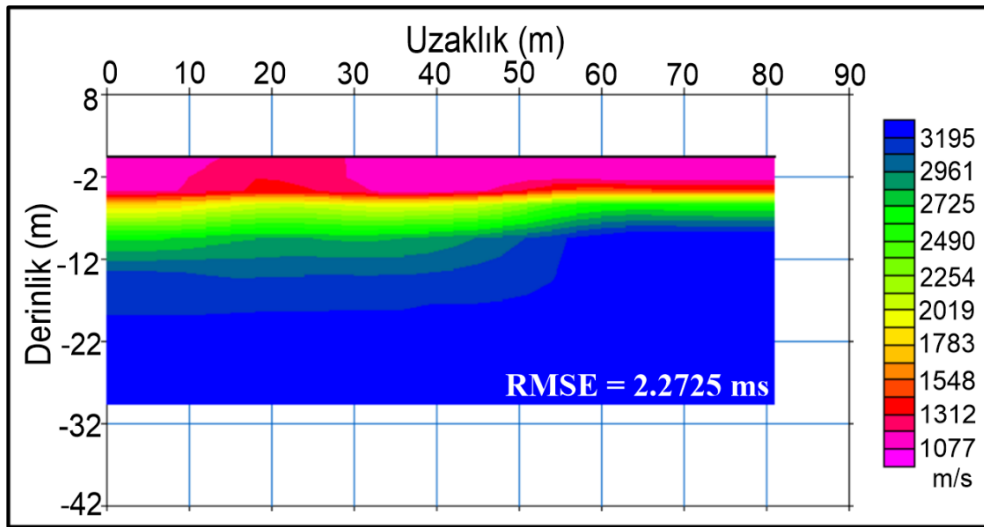
Şekil 4.66. a) SH_8_4 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



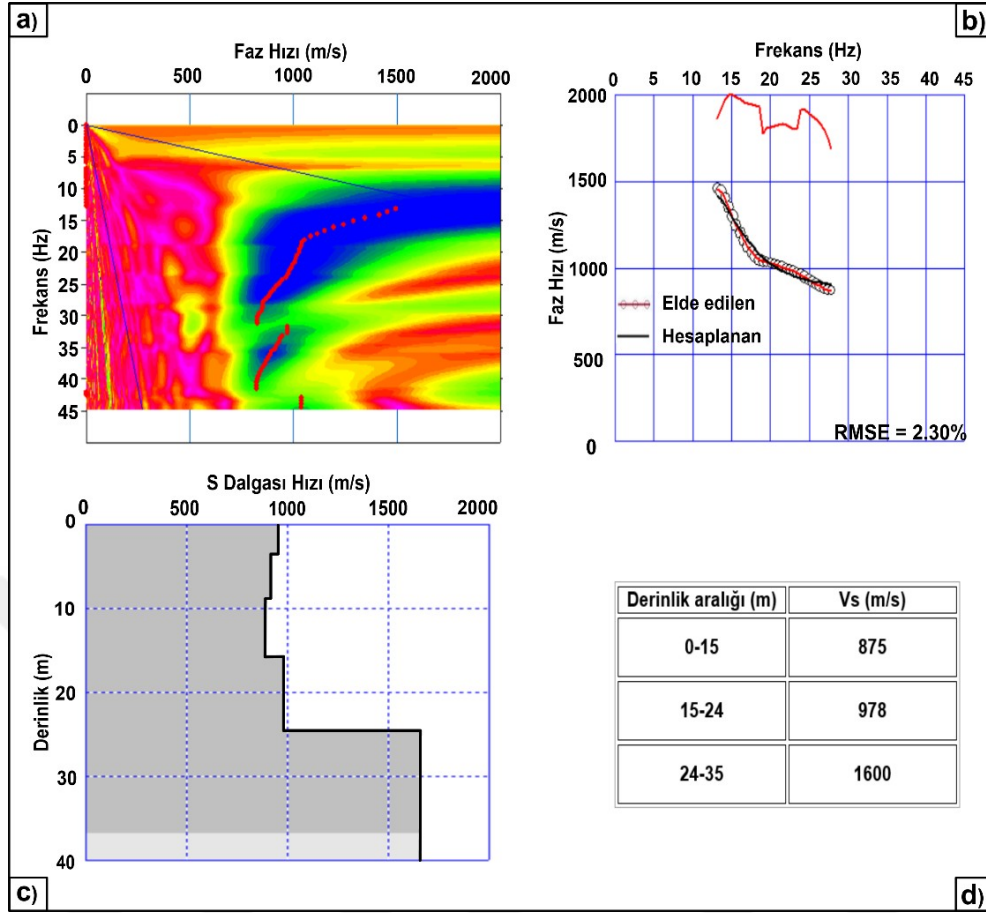
Şekil 4.67. SH_8_4 profiline ait SKT kesiti



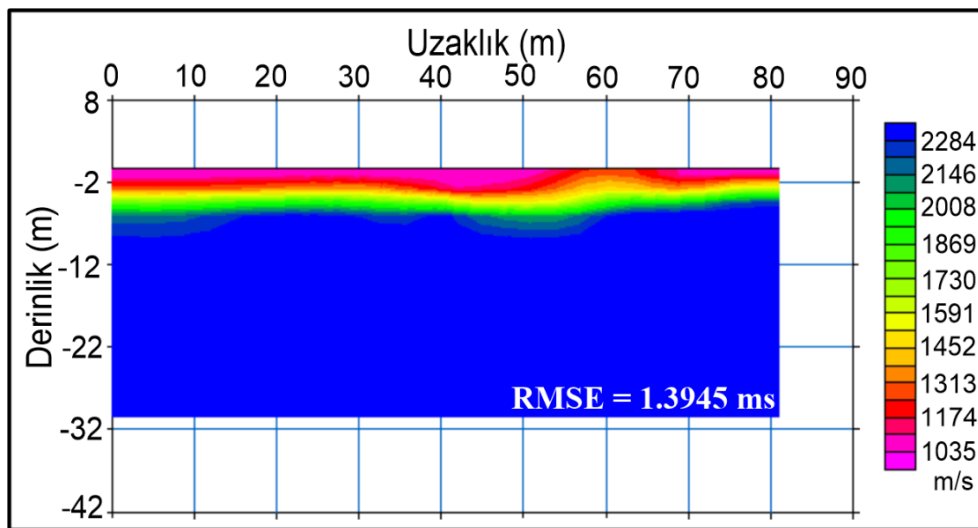
Şekil 4.68. a) SH_9_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



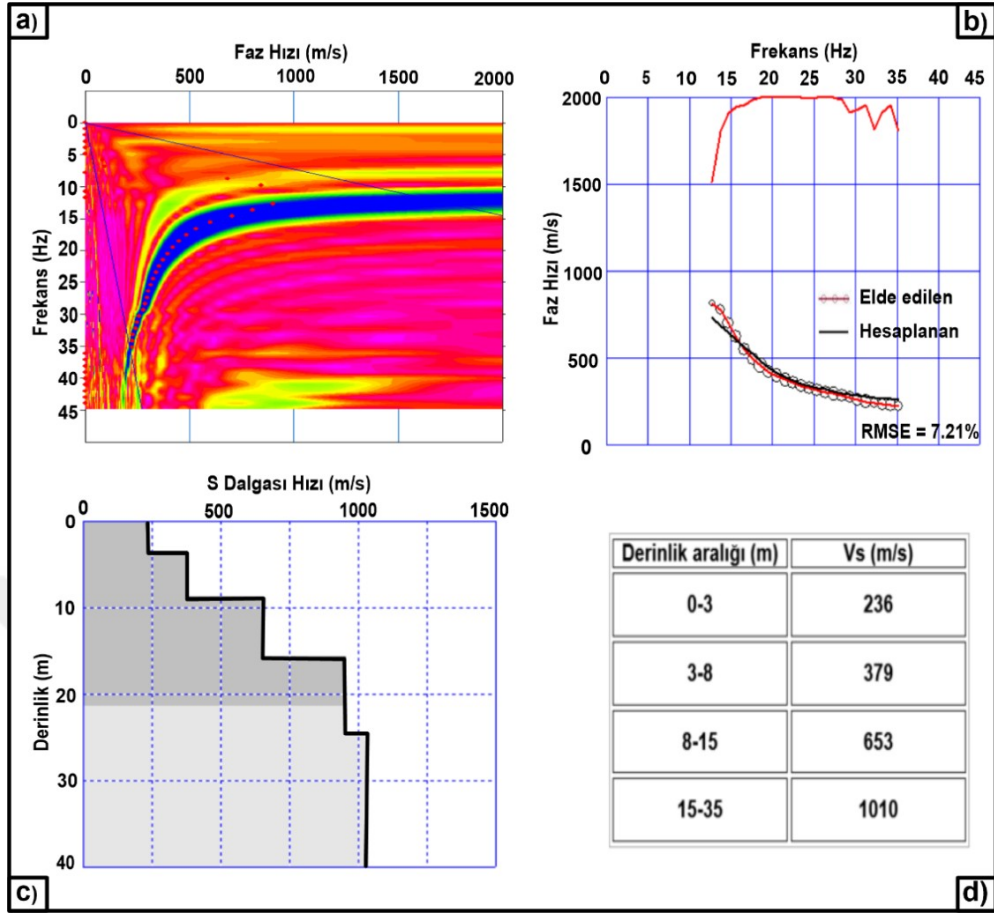
Şekil 4.69. SH_9_1 profiline ait SKT kesiti



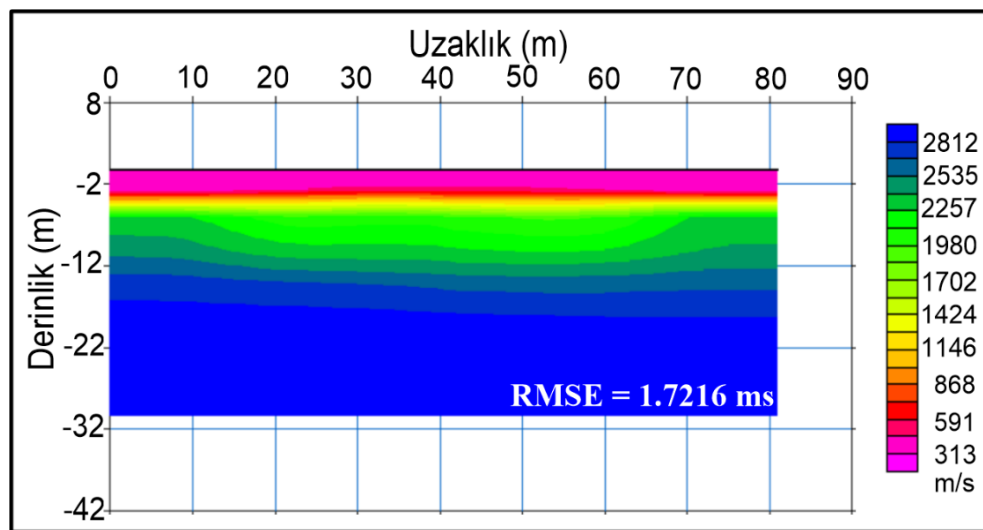
Şekil 4.70. a) SH_9_2 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



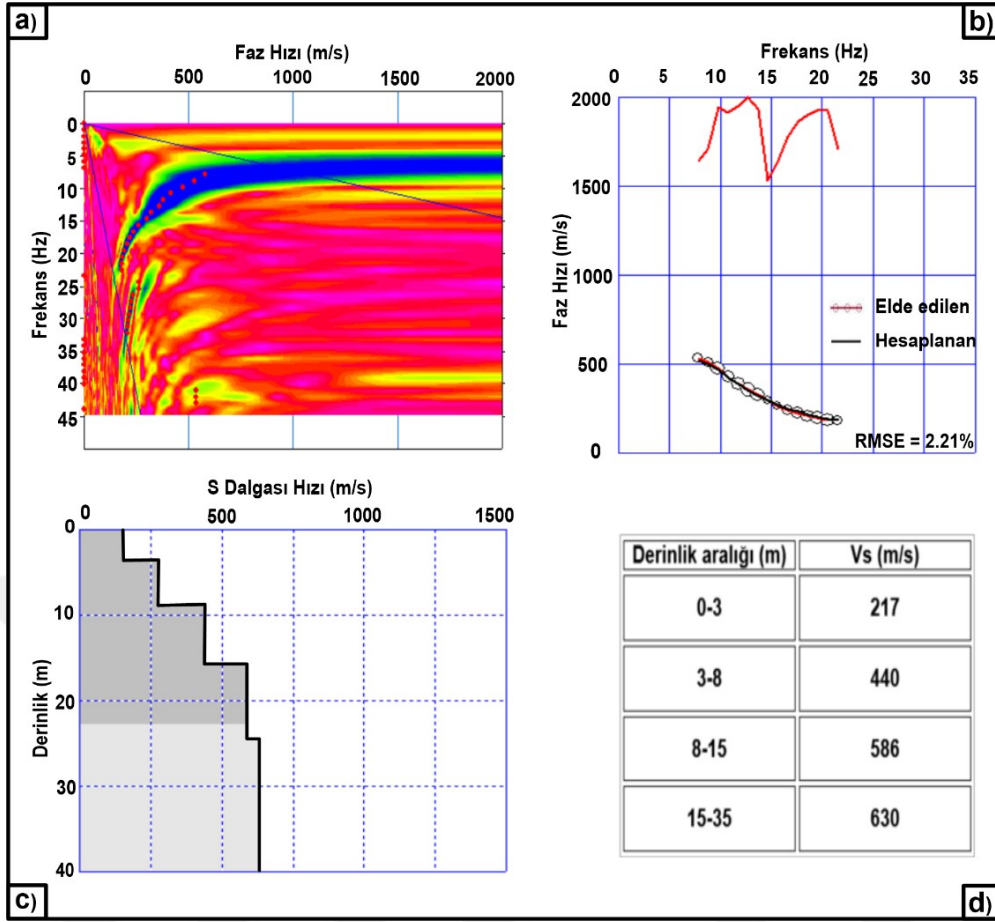
Şekil 4.71. SH_9_2 profiline ait SKT kesiti



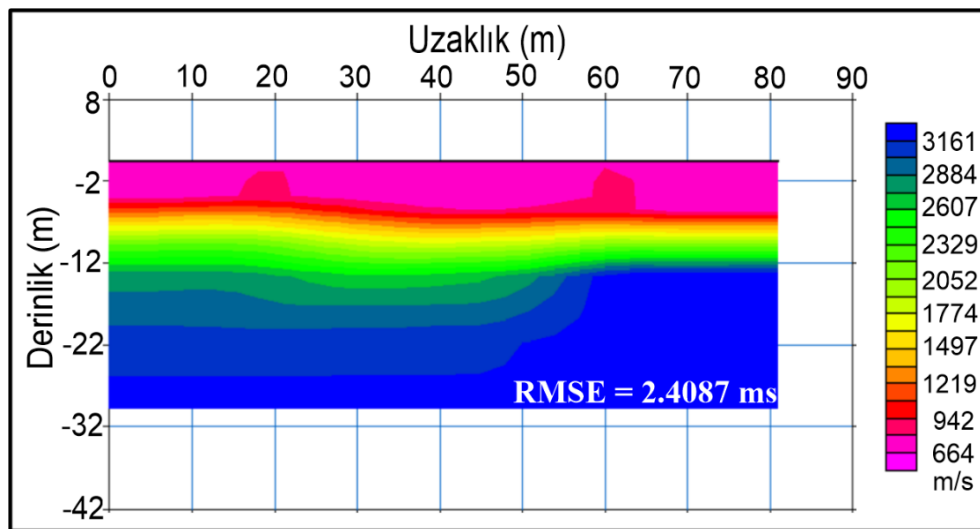
Şekil 4.72. a) SH_10_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



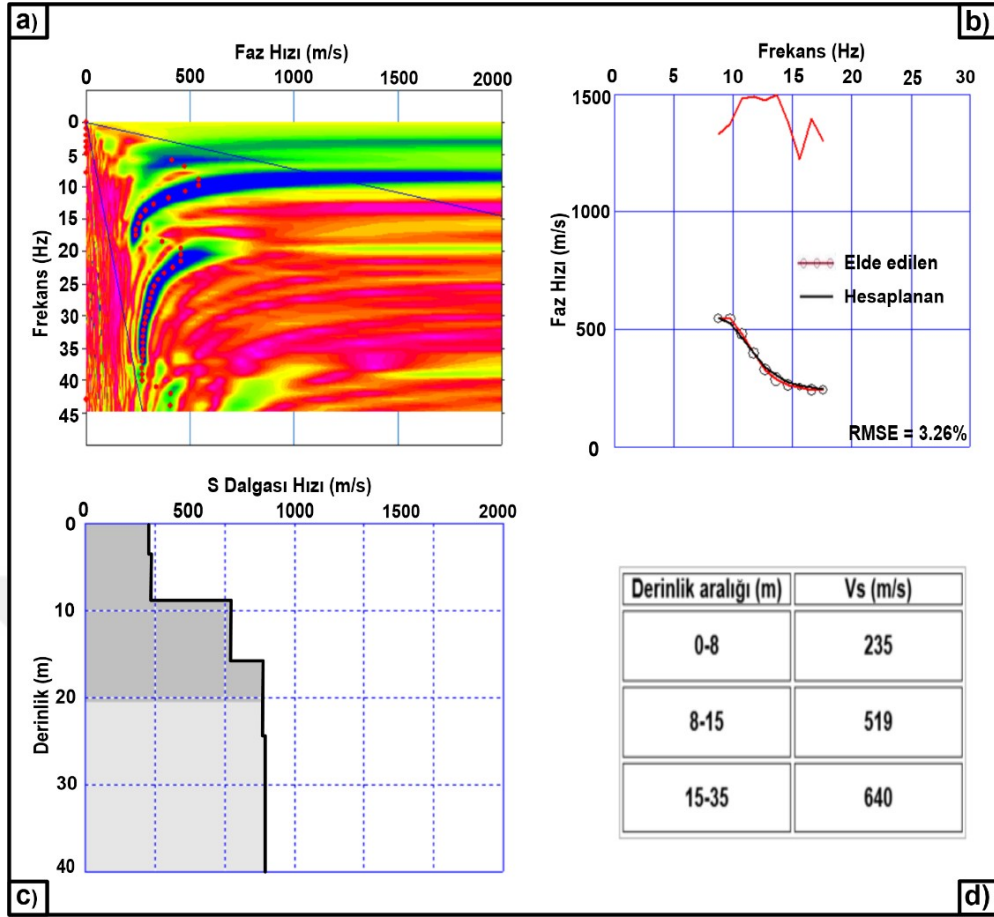
Şekil 4.73. SH_10_1 profiline ait SKT kesiti



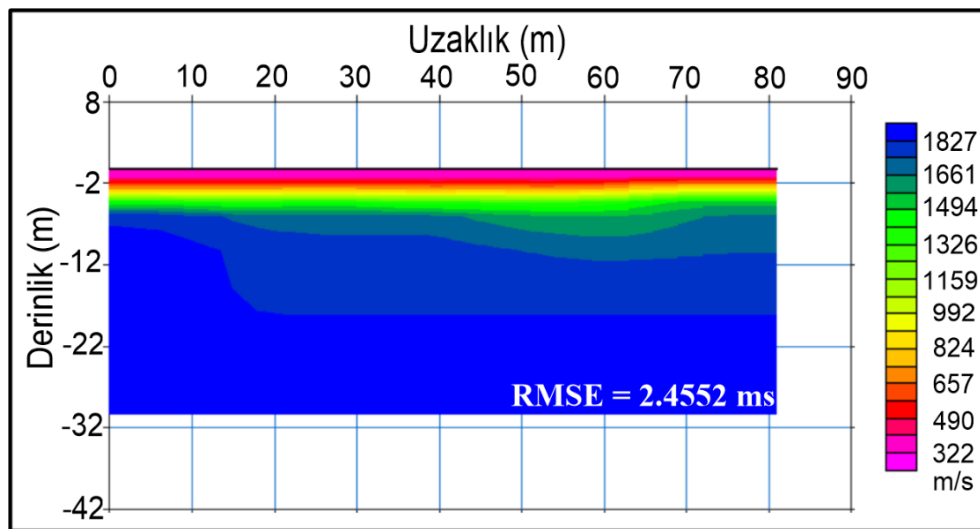
Şekil 4.74. a) SH_11_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



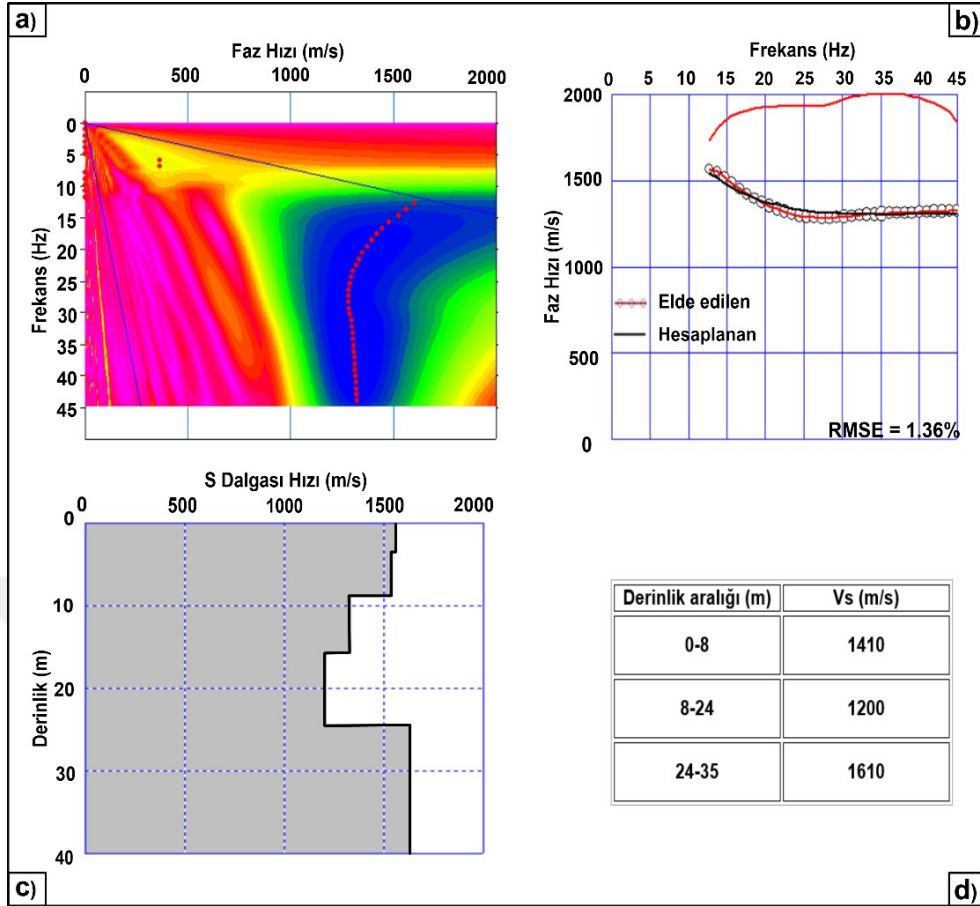
Şekil 4.75. SH_11_1 profiline ait SKT kesiti



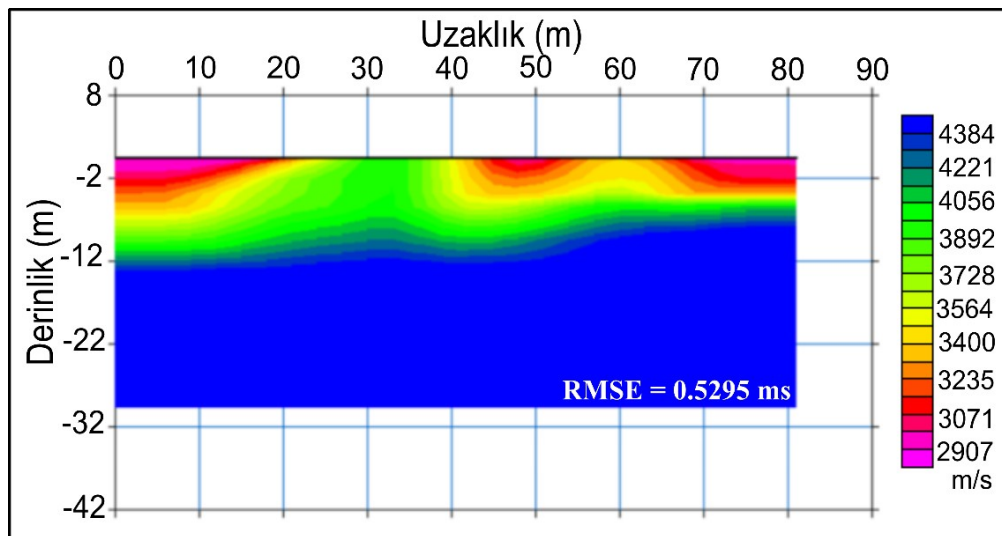
Şekil 4.76. a) SH_12_1 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



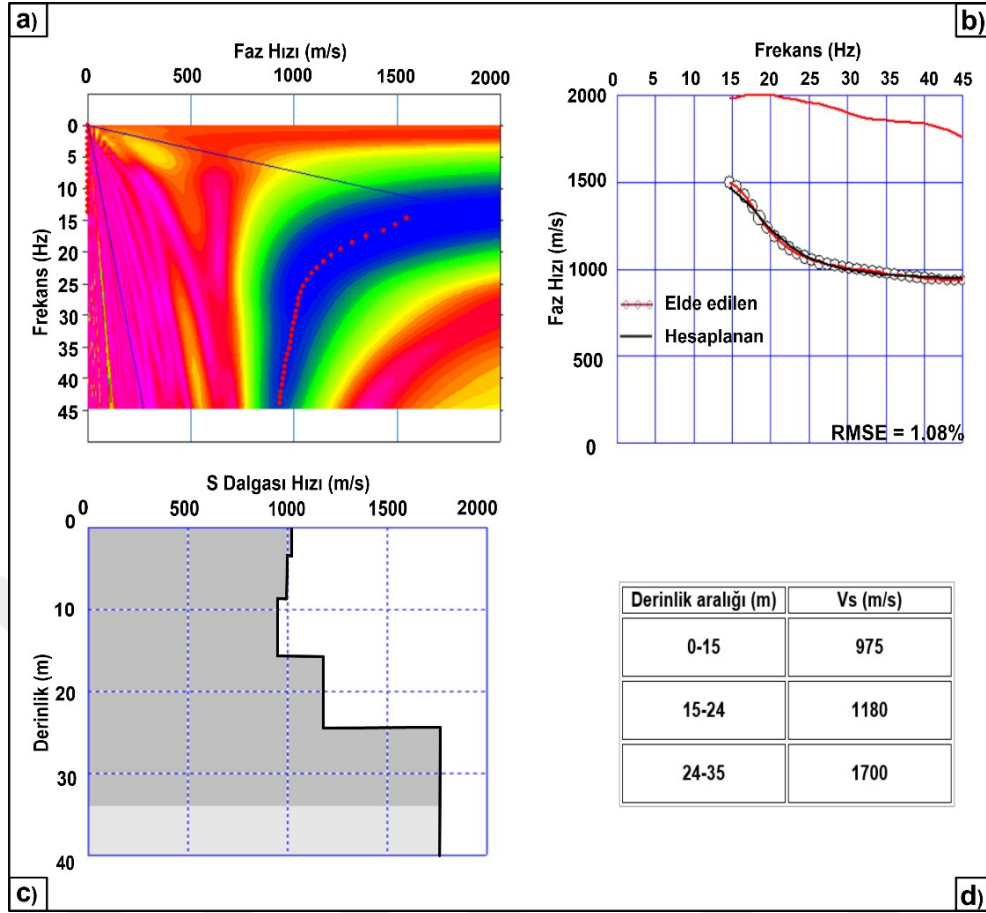
Şekil 4.77. SH_12_1 profiline ait SKT kesiti



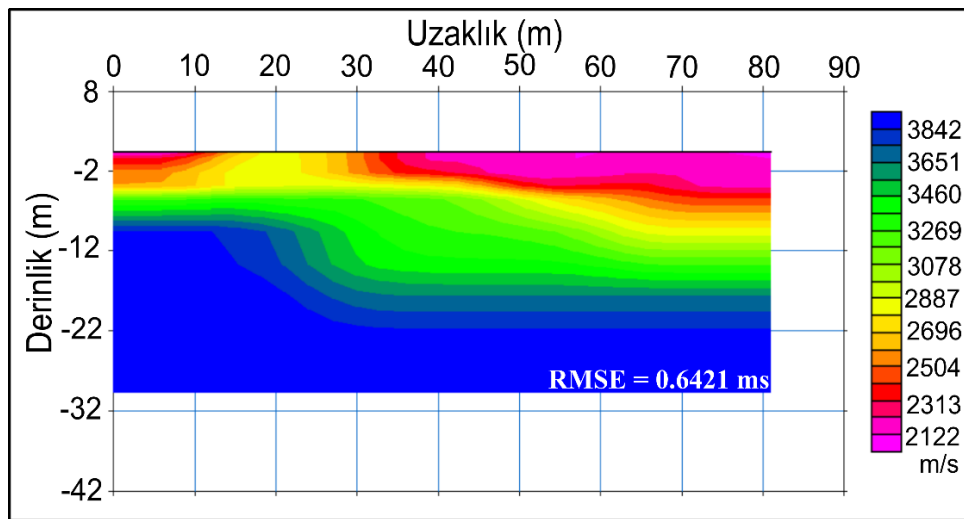
Şekil 4.78. a) SH_13 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



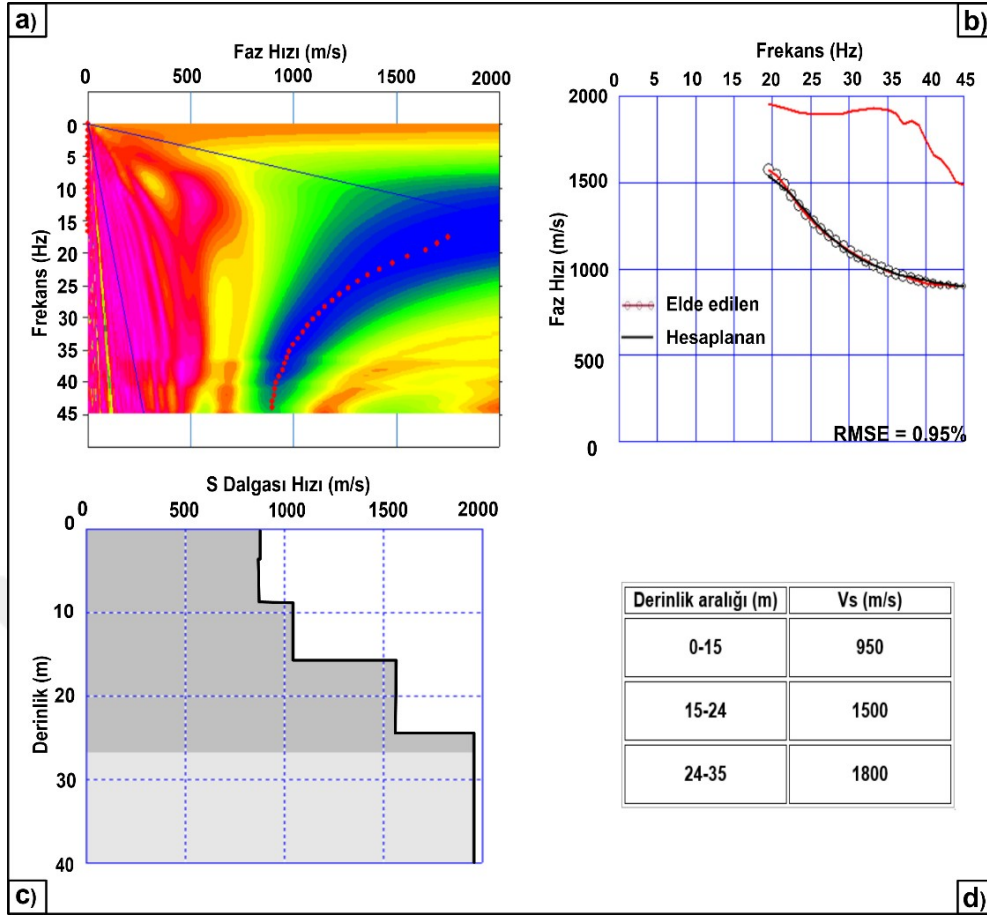
Şekil 4.79. SH_13 profiline ait SKT kesiti



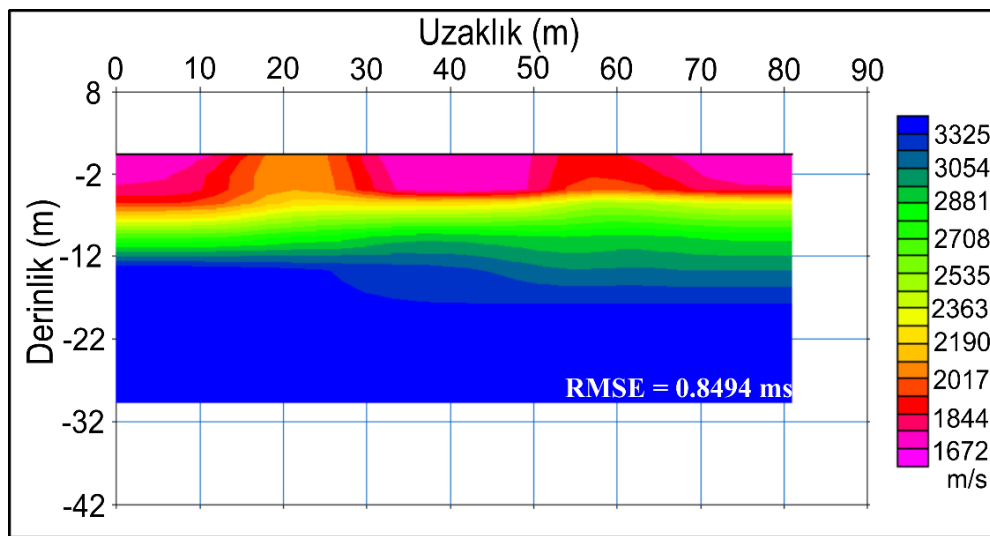
Şekil 4.80. a) SH_14 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



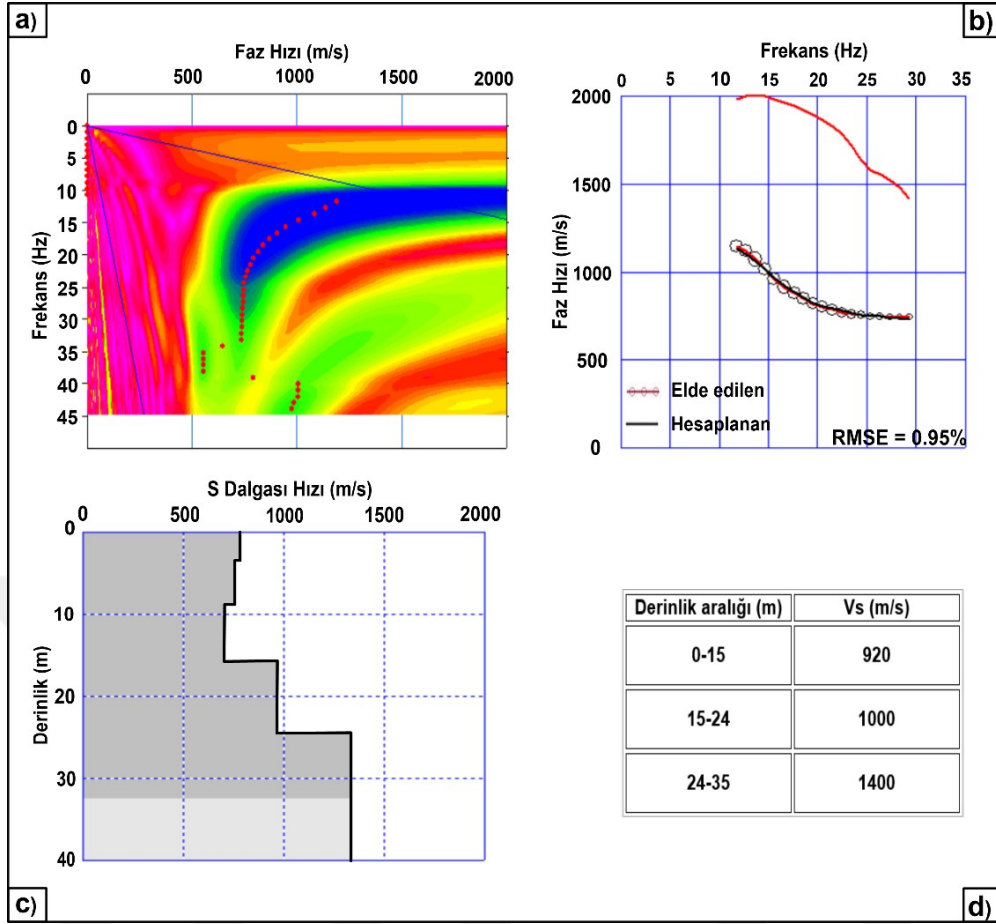
Şekil 4.81. SH_14 profiline ait SKT kesiti



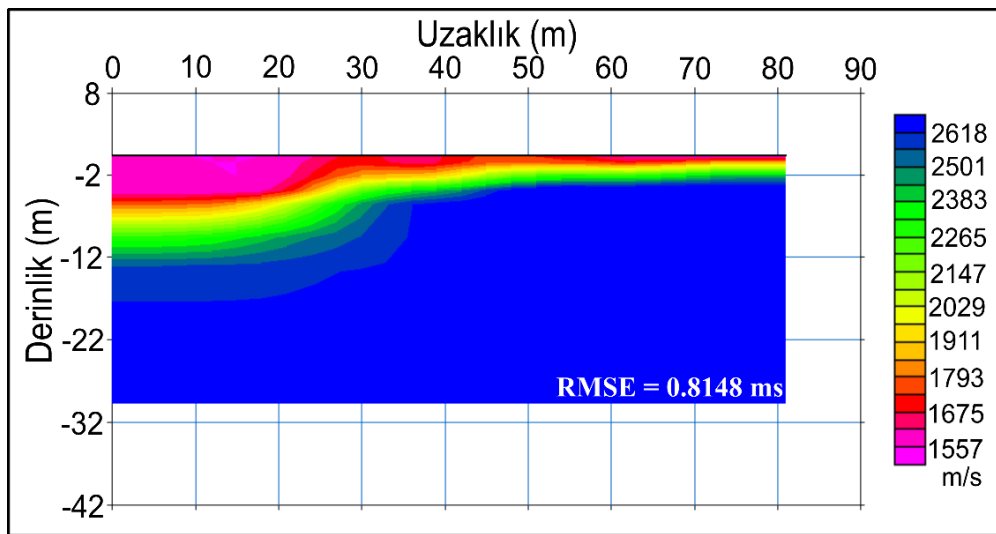
Şekil 4.82. a) SH_15 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalgası hızı ve derinlik bilgisi



Şekil 4.83. SH_15 profiline ait SKT kesiti



Şekil 4.84. a) SH_16 profiline ait ÇKYD verisinin frekans-faz hızı spektrumu b) Ters çözüm işlemi c) 1B-V_s hızının derinlikle değişimi d) S dalga hızı ve derinlik bilgisi



Şekil 4.85. SH_16 profiline ait SKT kesiti

4.2. Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) Çalışmaları

4.2.1. EÖT Verilerin Toplanması, Değerlendirilmesi ve Elde Edilen Kesitler

Çalışma alanında yapılan ön etüt çalışmaları ile edinilen bilgiler dikkate alınarak çalışma alanının tamamını kapsayacak şekilde sismik hatlar ile aynı güzergahta EÖT ölçümleri alınmıştır. Ölçüm hatları Şekil 4.1’de verilip ‘EH’ ile ifade edilmiştir.

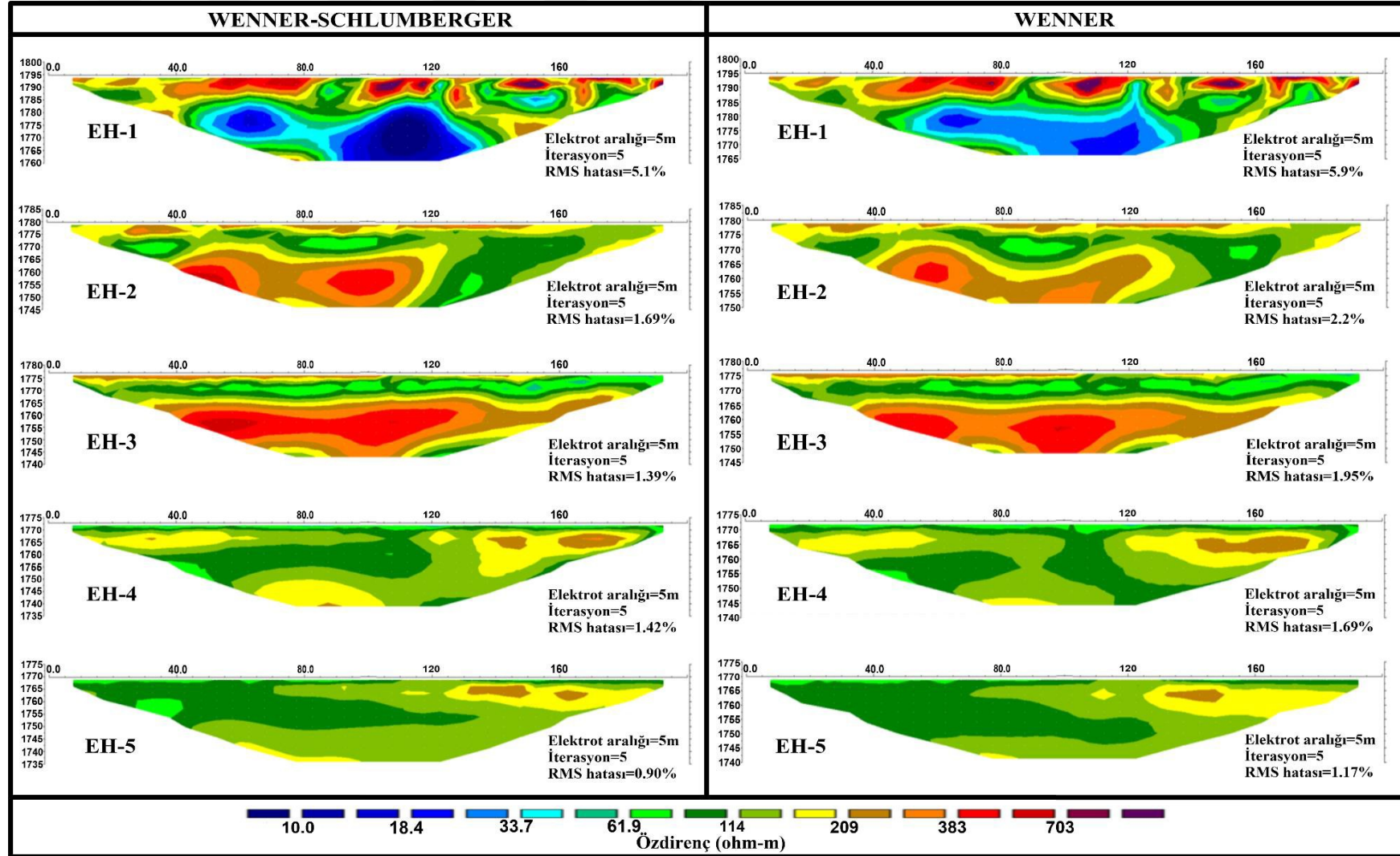
Çalışma kapsamında kazı öncesi toplam 16 hatta (EH_1-EH_16) EÖT ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerin 9 hattı (EH_1-EH_9) baraj eksen yerine dik, 4 hattı (EH_13-EH_16) baraj eksen yerine paralel ve 3 hattı da (EH_10-EH_12) göl alanında alınmıştır. Ölçümlerde KTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü uygulamalı jeofizik laboratuvarına ait ABEM firması tarafından üretilmiş olan çok kanallı Terrameter-LS model cihaz kullanılmıştır. Çok elektrotlu sistemin avantajlarından yararlanılarak bu çalışmada, hem yanal hemde düşey ayrımlılığı daha iyi görebilmemizi sağlayacak Wenner ve Wenner-Schlumberger dizilimleri tercih edilmiştir. Bu ölçümlerde elektrot aralığı 5 m ve hat uzunluğu 200 m dir. Kazı sonrası ise Wenner, Wenner-Schlumberger dizilimleri kullanılarak 7 ardışık hatta (EH_17-EH_23) elektrik özdirenç ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerde elektrot aralığı 3m ve hat uzunluğu 120 m dir. Her ölçüm 3 yığılmalı şekilde elde edilmiş olup güç kaynağı olarak 12V’luk akü kullanılmıştır (Şekil 4.86).



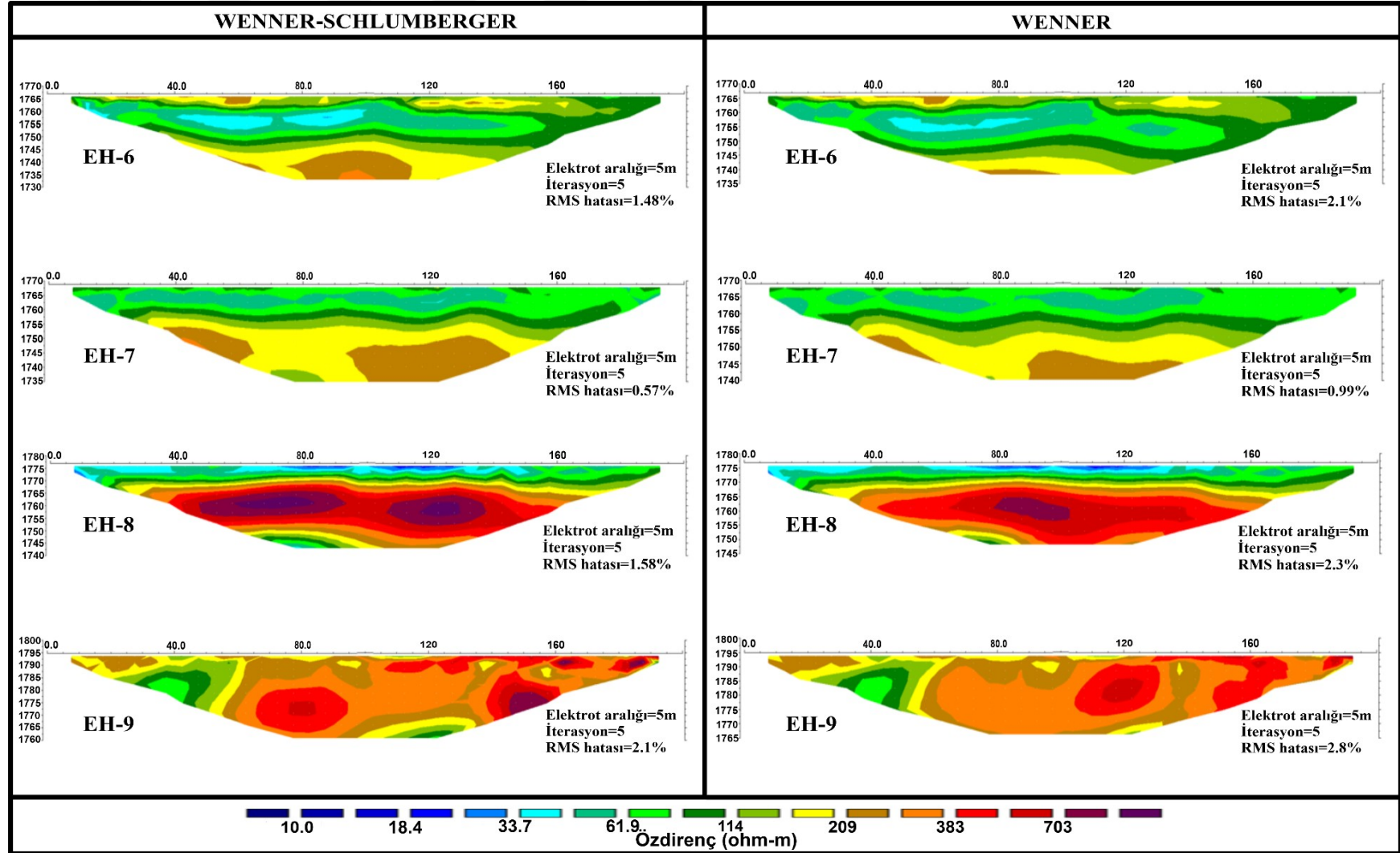
Şekil 4.86. Elektrik Özdirenç yöntemi arazi çalışmaları

Elektrik  zdiren verileri, kullanımı serbest olan Res2dinv (Loke, 2010) programıyla değerlendirilerek 2 boyutlu özdirenç kesitleri elde edilmiştir (şekil 4.87-şekil 4.92). Bu verilerin değerlendirilmesinde,  lu hattı boyunca var olan topografik değişimin hesaplamalara katılabilmesi için, profilin belirli noktalarında (ani kot değişimlerinin gözlendiği) kot ölçümleri yapılarak, her bir elektrot için yükseklikler hesaplanıp dikkate alınmıştır. Elde edilen kesitlerindeki hata oranı (RMS) genellikle %5 altında elde edilmiştir.

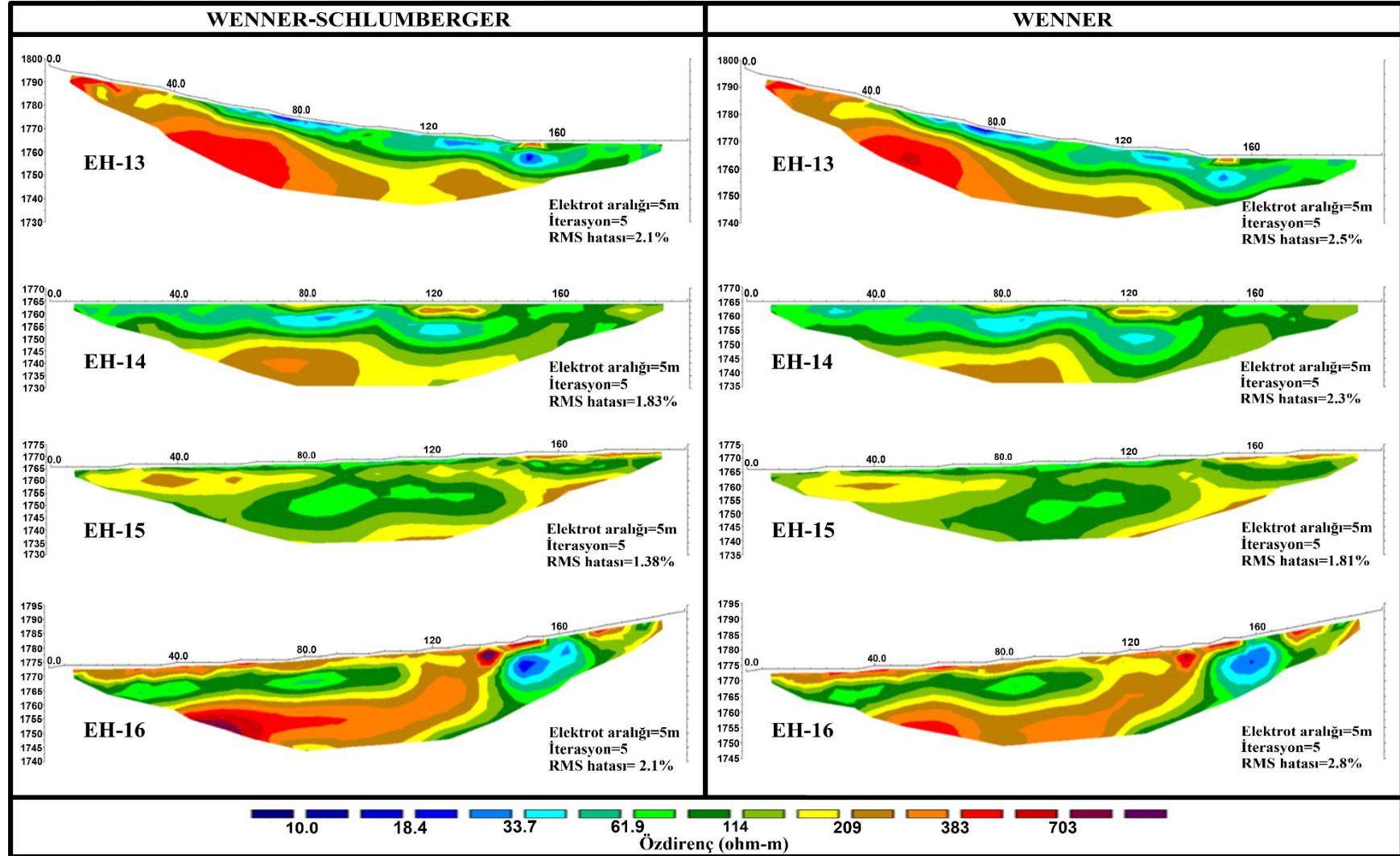
Çalışma alanı baraj eksen yeri ve g l alanında elde edilen yer elektrik kesitlerindeki özdirenç değerlerinin 10-950 Ohm.m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Baraj eksen yerindeki özdirenç bölgelendirme çalışmaları belirlenen hatların (EH_13 – EH_16 ve EH_1, EH_3, EH_5, EH_7, EH_9) aynı derinliklerdeki özdirenç değerleri baz alınarak oluşturulmuştur.



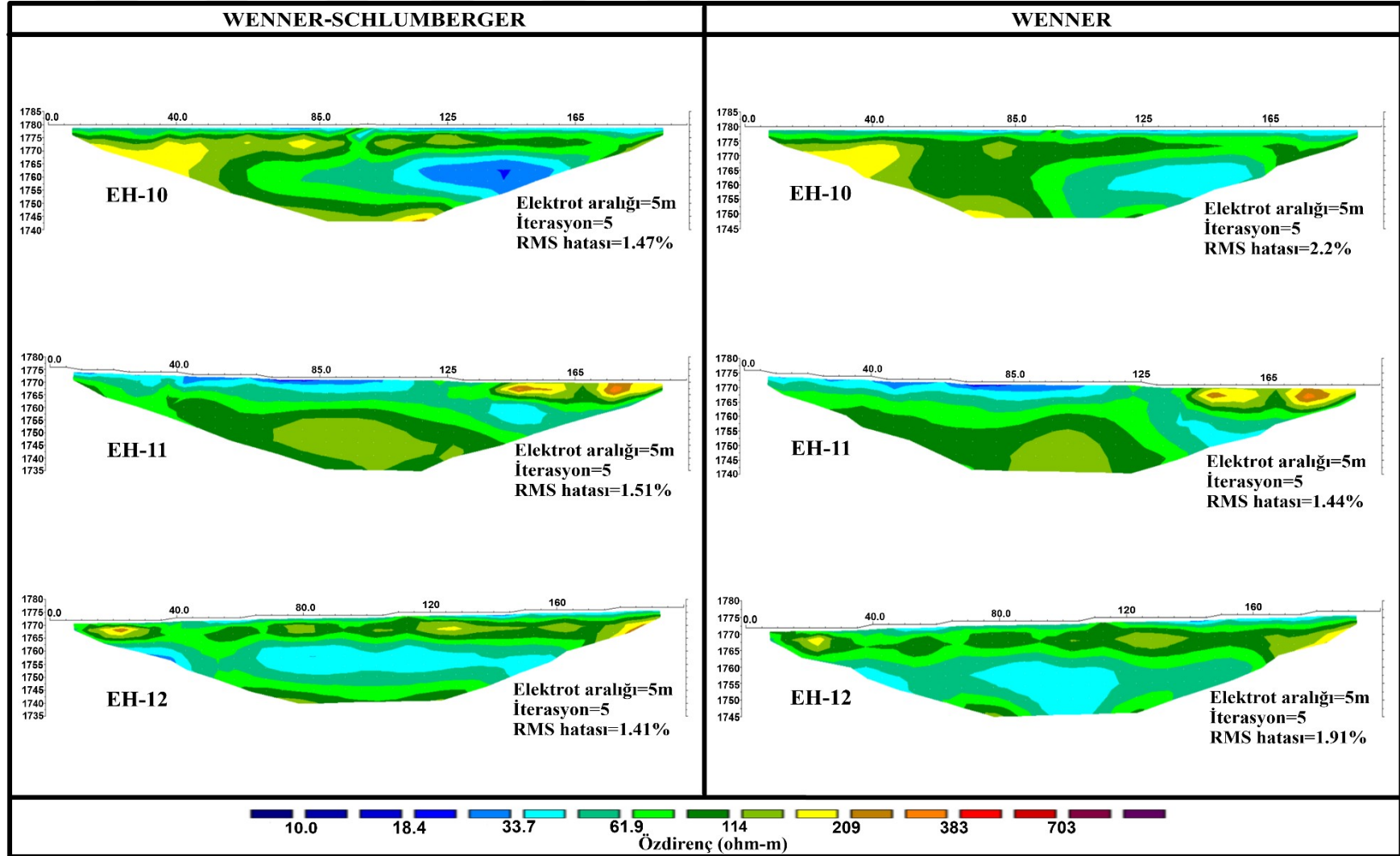
Şekil 4.87. Baraj eksen yerine dik alınan EH_1-EH_5 arasındaki EÖT kesitleri



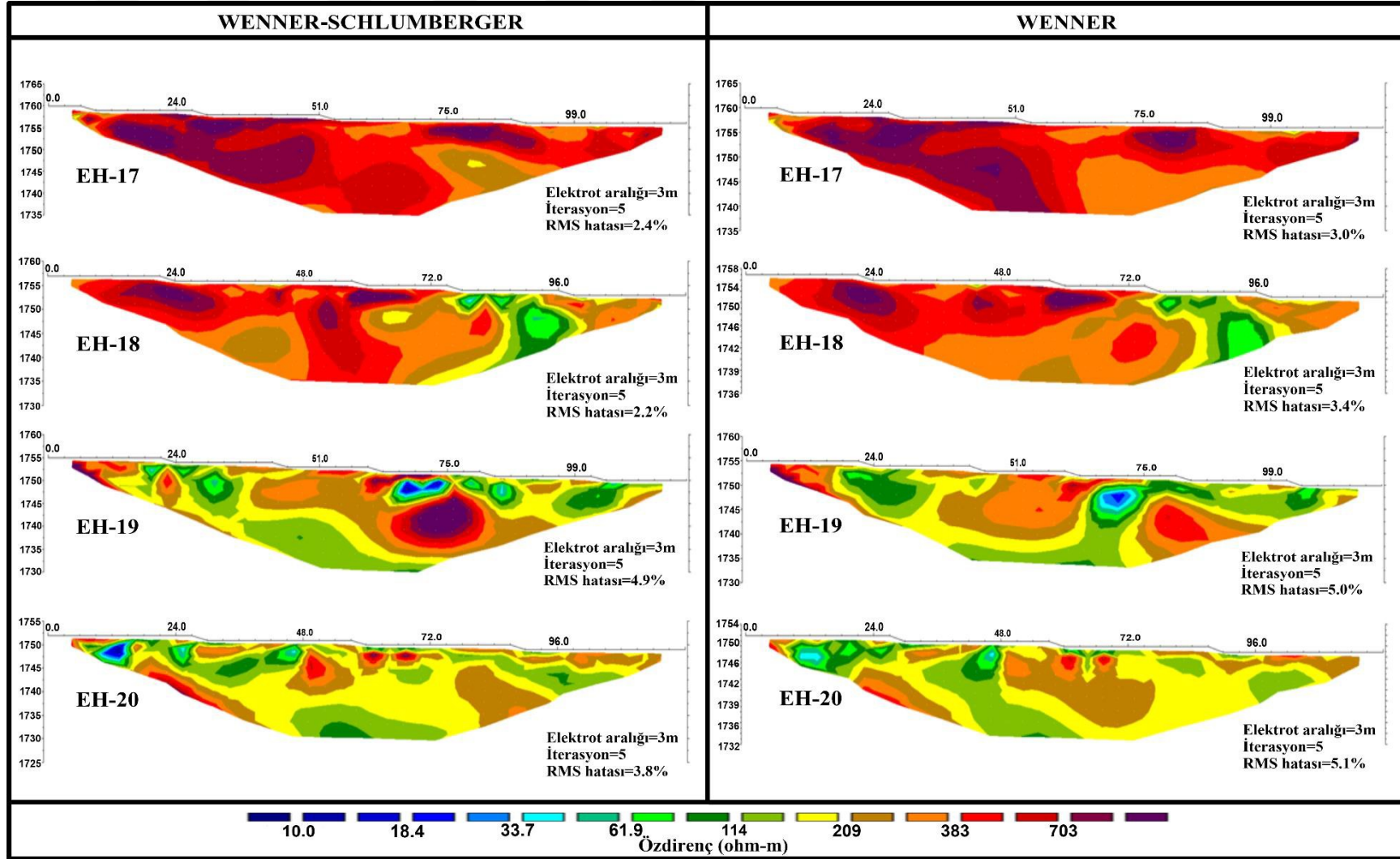
Şekil 4.88. Baraj eksen yerine dik alınan EH_6-EH_9 arasındaki EÖT kesitleri



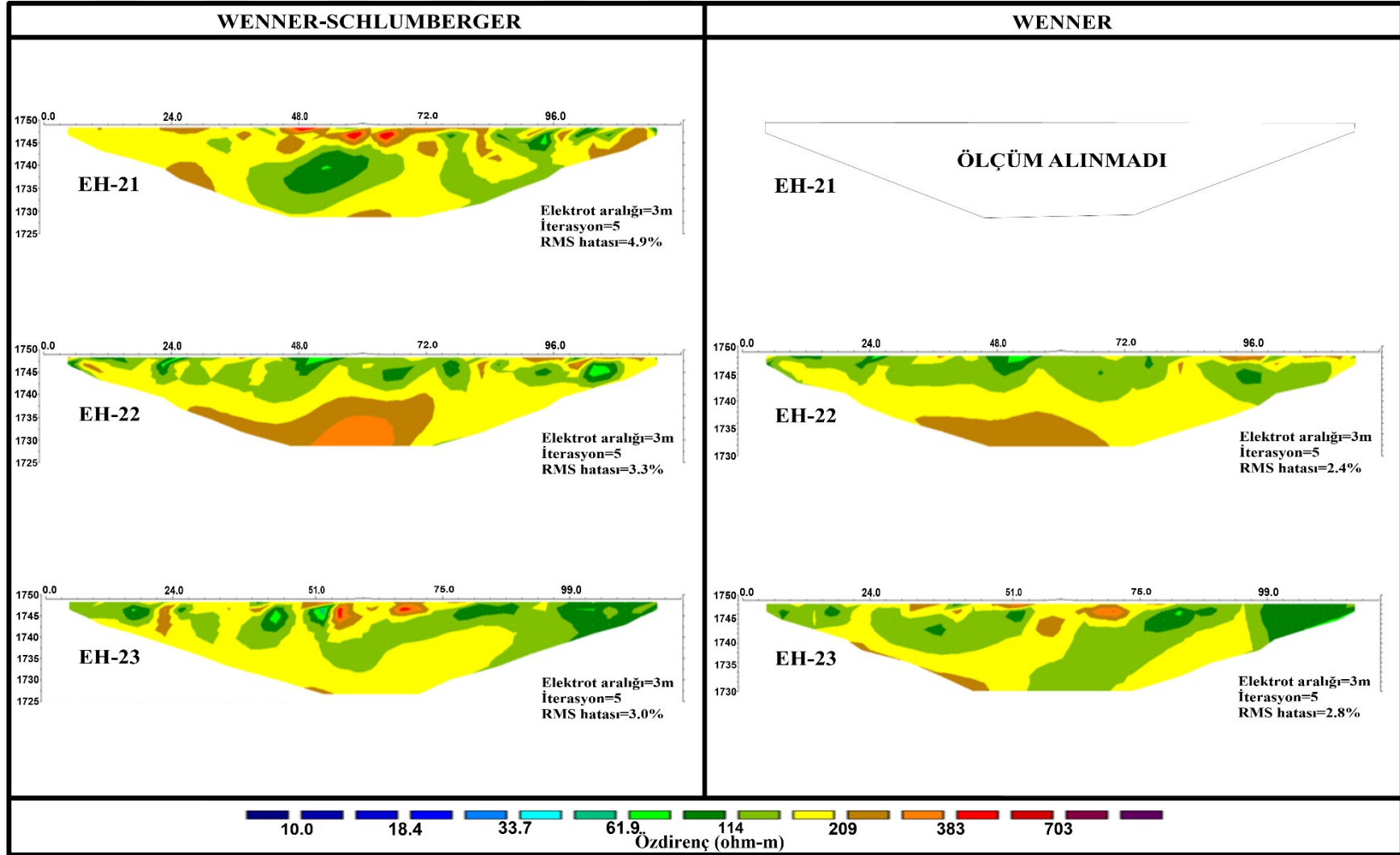
Şekil 4.89. Baraj eksen yerine paralel alınan EH_13-EH_16 arasındaki EÖT kesitleri



Şekil 4.90. Baraj göl alanında alınan EH_10-EH_12 arasındaki EÖT kesitleri



Şekil 4.91. Kazı sonrası baraj eksen yerinde alınan EH_17-EH_20 arasındaki EÖT kesitleri



Şekil 4.92. Kazı sonrası baraj eksen yerinde alınan EH_21-EH_23 arasındaki EÖT kesitleri

4.3. Yer Radarı (GPR) Çalışmaları

4.3.1. GPR Verilerinin Toplanması, Değerlendirilme ve Elde Edilen Kesitler

Çalışma alanında yapılan ön etüt çalışmalarıyla edinilen bilgiler dikkate alınarak baraj eksen yerinin yamaç bölgeleri hariç (arazinin yüzey koşulları yer radarı veri toplamasına uygun olmadığı için), 7 hatta (RH_1-RH_7) GPR ölçümleri toplanmıştır. Ölçüm hatları Şekil 4.1’de verilip ‘RH’ ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada Mala GPR ProEx kontrol birimi ile 25 ve 100 MHz merkez frekanslı korumasız antenler kullanılmıştır (Şekil 4.93). Sabit aralıklı anten ile ölçü doğrultusuna paralel olarak veri toplanmıştır (Şekil 2.13). GPR ölçümleri alınırken seçilen parametreler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Elde edilen GPR verileri ReflexW (Sandmeier, 2018) programıyla değerlendirilerek, radar kesitleri elde edilmiştir. Bu kesitlere, yöntem gereği ve veri içeriğine bağlı olarak bazı veri işlem adımları uygulanmıştır.

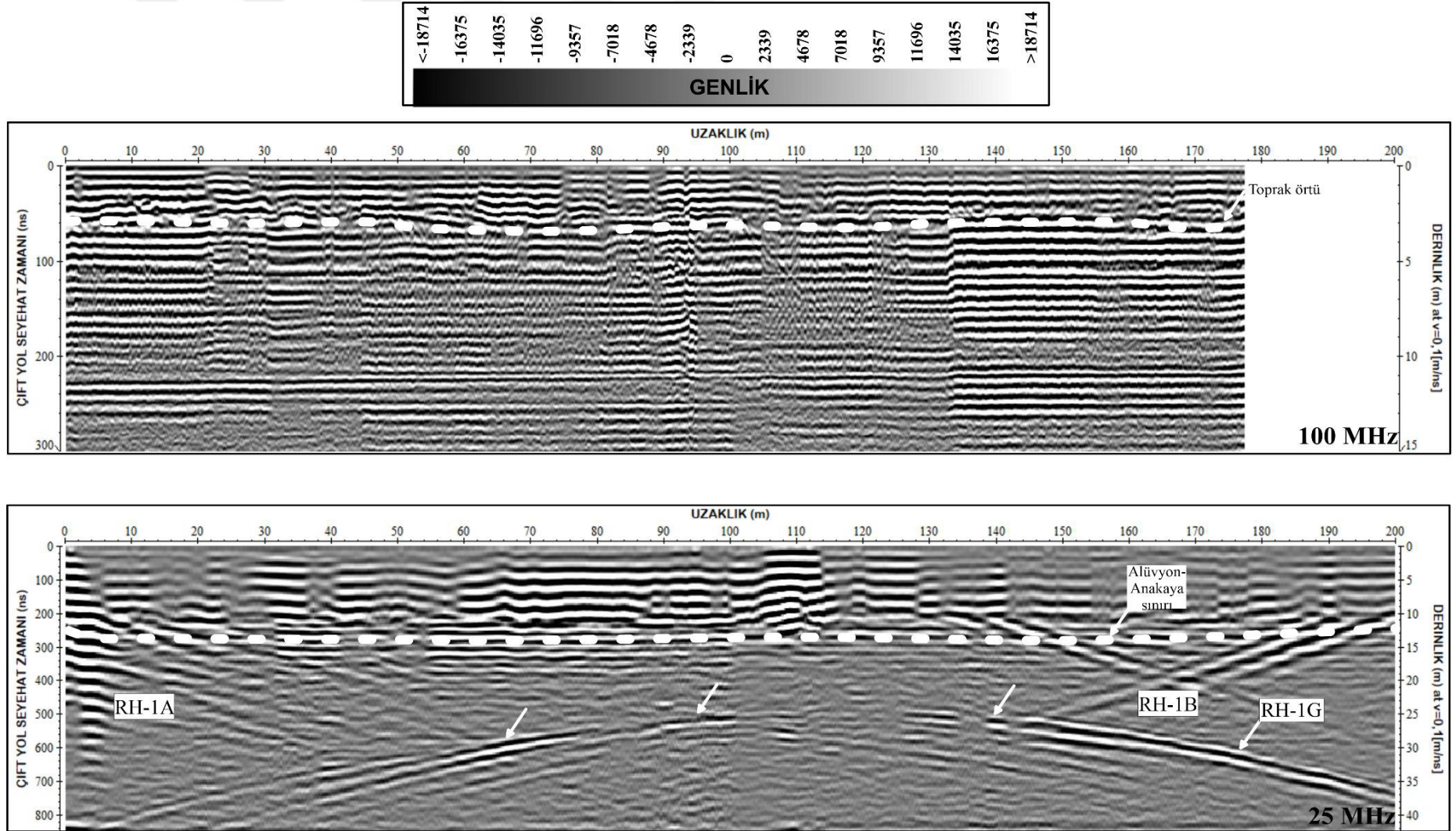


Şekil 4.93. GPR arazi çalışmaları ve 100 MHz korumasız anten düzeneği

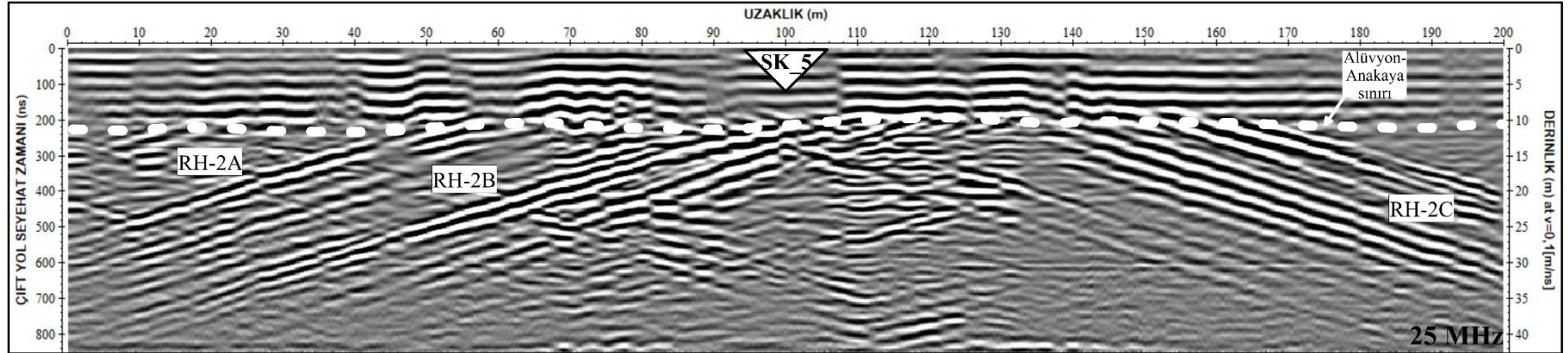
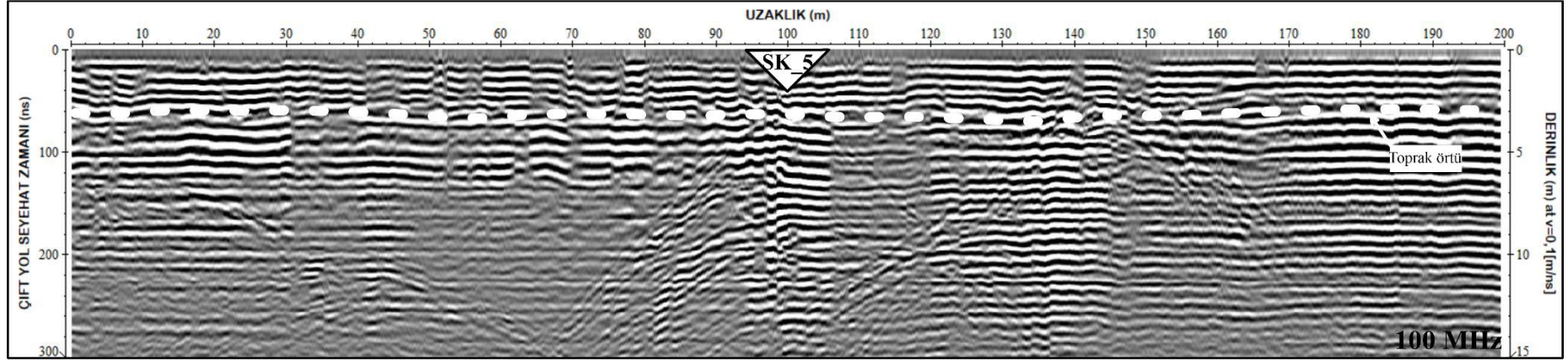
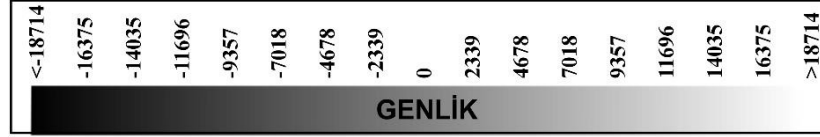
Bu adımlar; sıfır zaman düzeltmesi, sıfır zaman harmoniklerinin kaldırılması (dewow), genlik kazanç, ringing etkisinin kaldırılması, band geçişli süzgeçleme ve göç (diffraction stack) şeklinde GPR verilerine uygulanmıştır. İşlenmiş GPR kesitleri Şekil 4.94-Şekil 4.100 verilmektedir. GPR kesitleri üzerine tabaka sınırları, süreksizlik oluşumları, gürültü kaynaklı yansımalar ve bazı GPR kesitlerin üzerinden alınan sondaj noktaları belirtilmiştir.

Tablo 4.2. GPR ölçüleri alınırken seçilen ölçü parametreleri

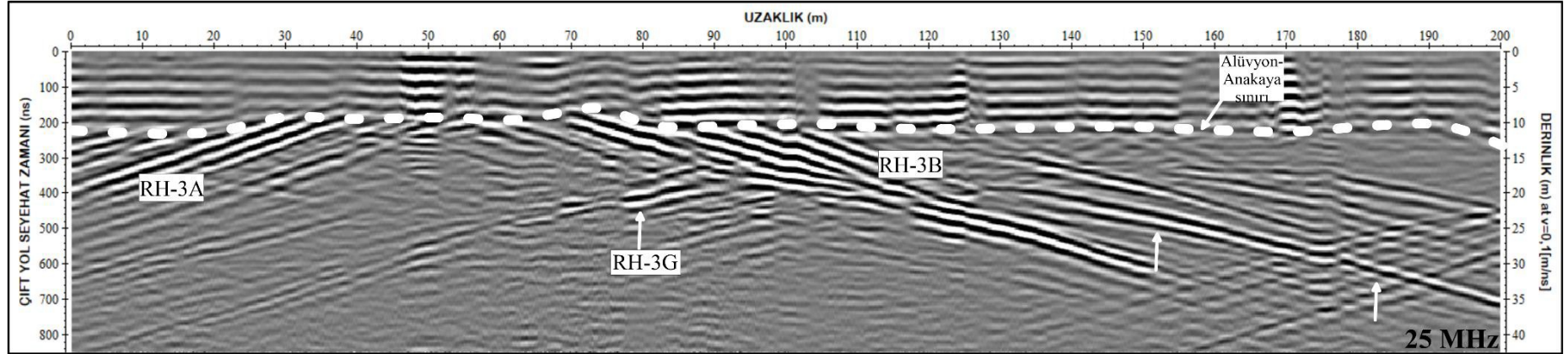
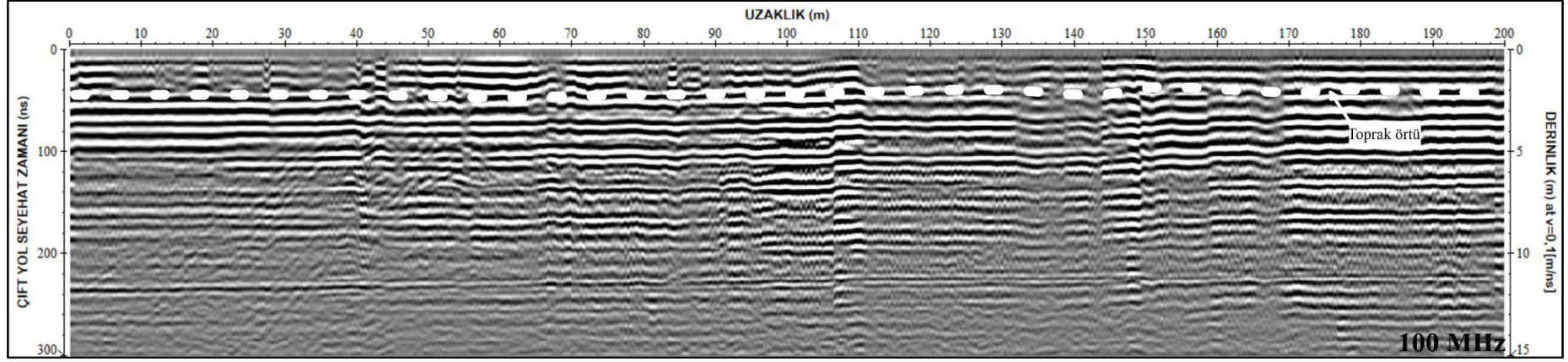
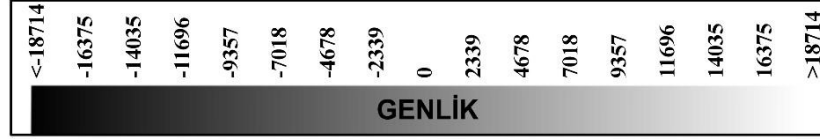
GPR Ölçü Parametreleri		
Anten Frekansı (MHz)	100	25
İz aralığı (m)	0.05	0.05
Örnek sayısı	504	500
Örnekleme frekansı (MHz)	961.8	266.7
Zaman penceresi (ns)	524	1874.7
Anten aralığı (m)	1	4
Hat uzunluğu (m)	200	200



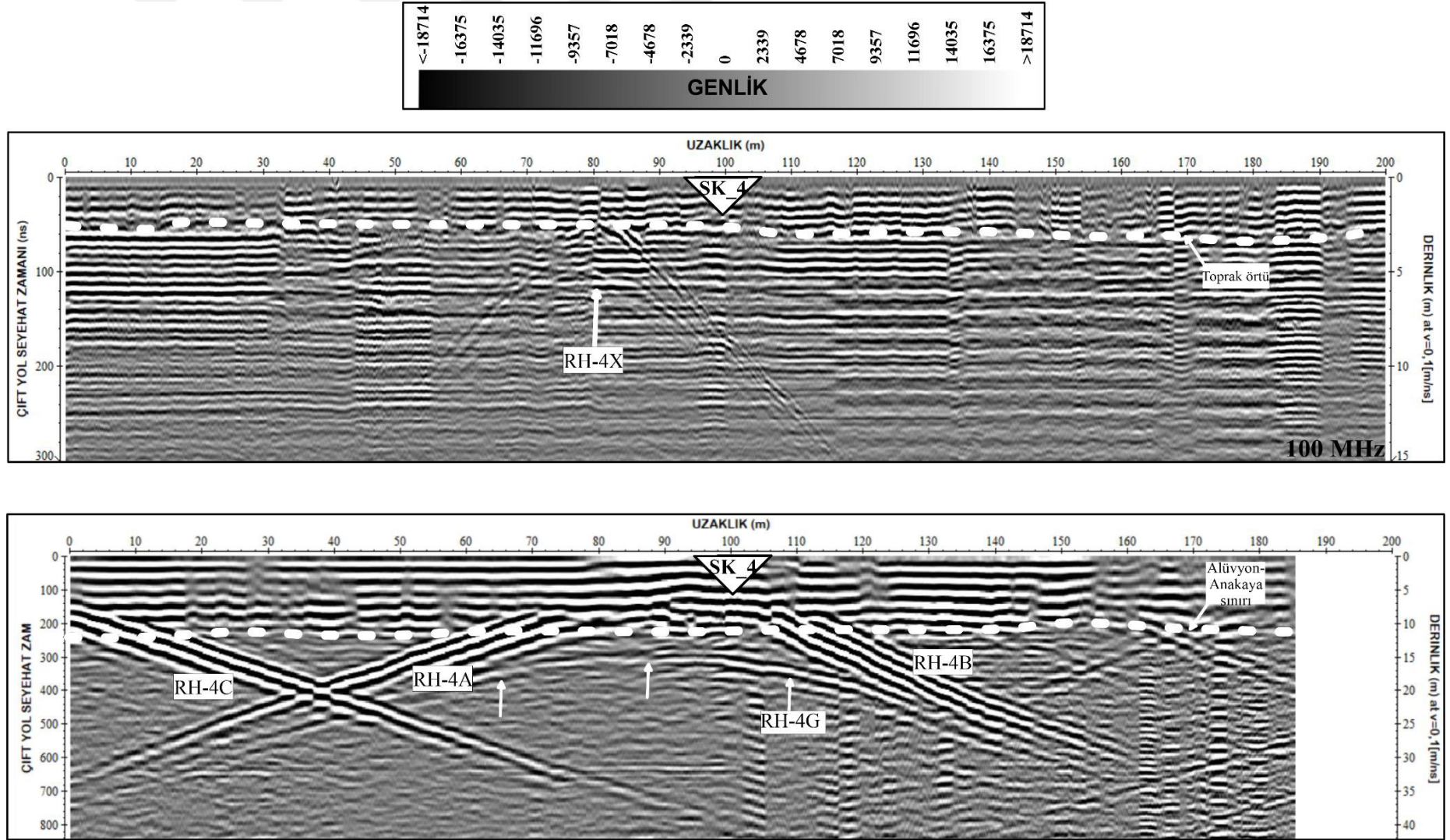
Şekil 4.94. RH_1 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri



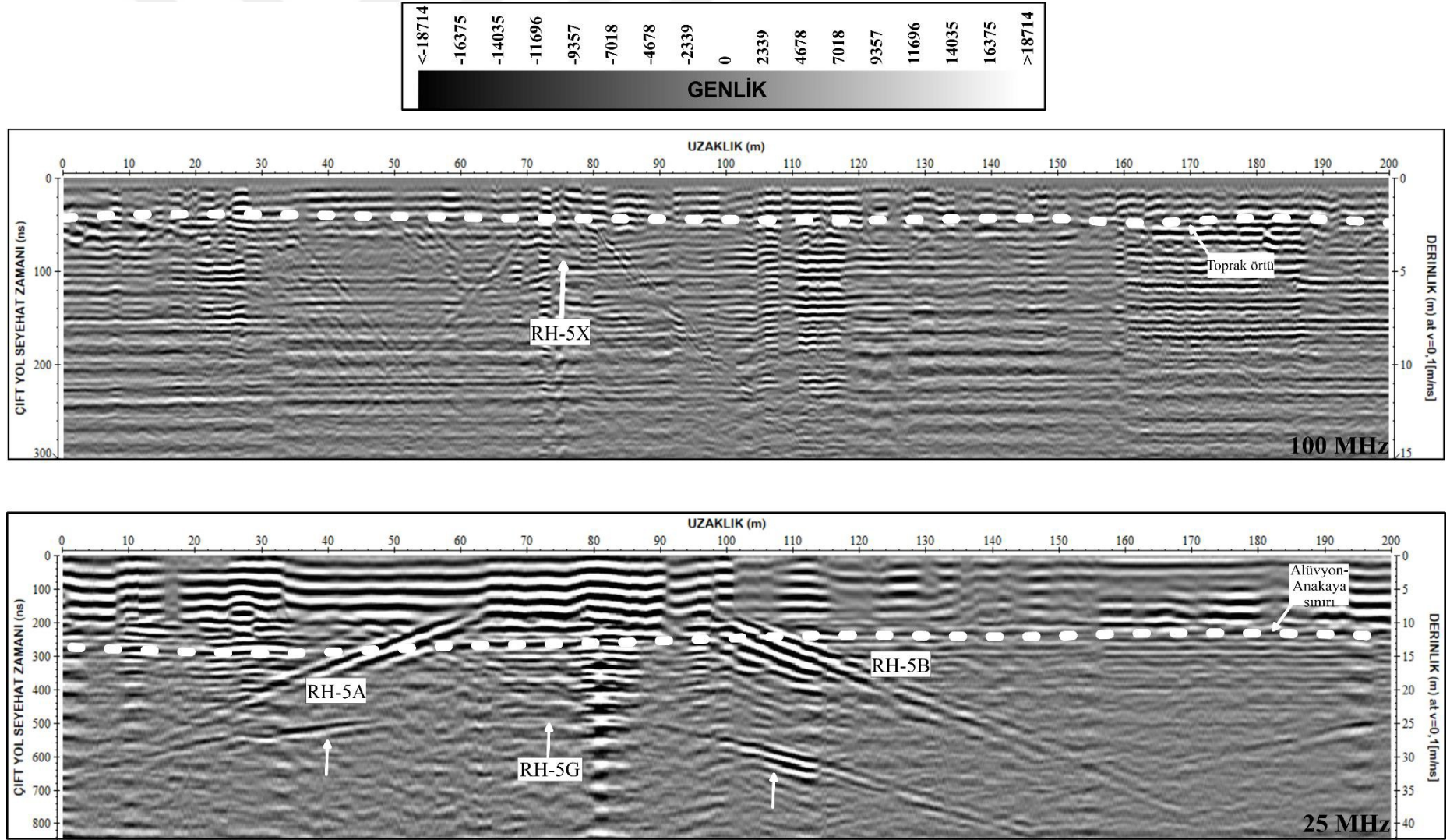
Şekil 4.95. RH_2 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri



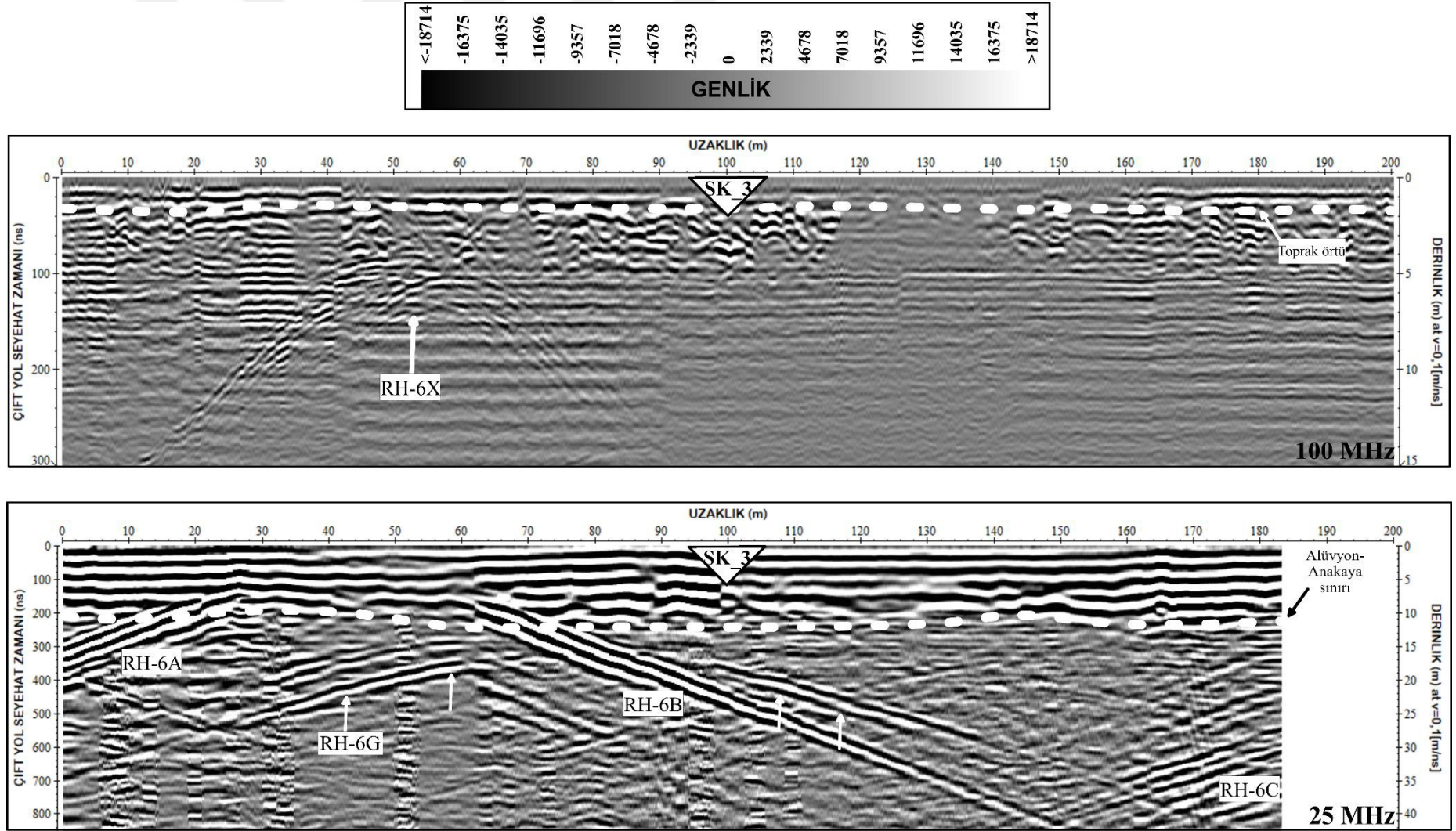
Şekil 4.96. RH_3 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri



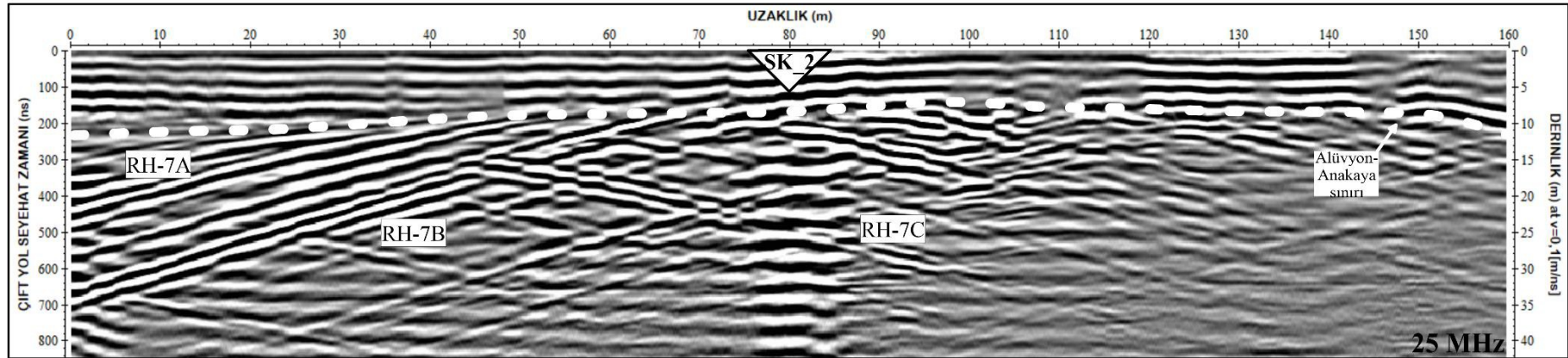
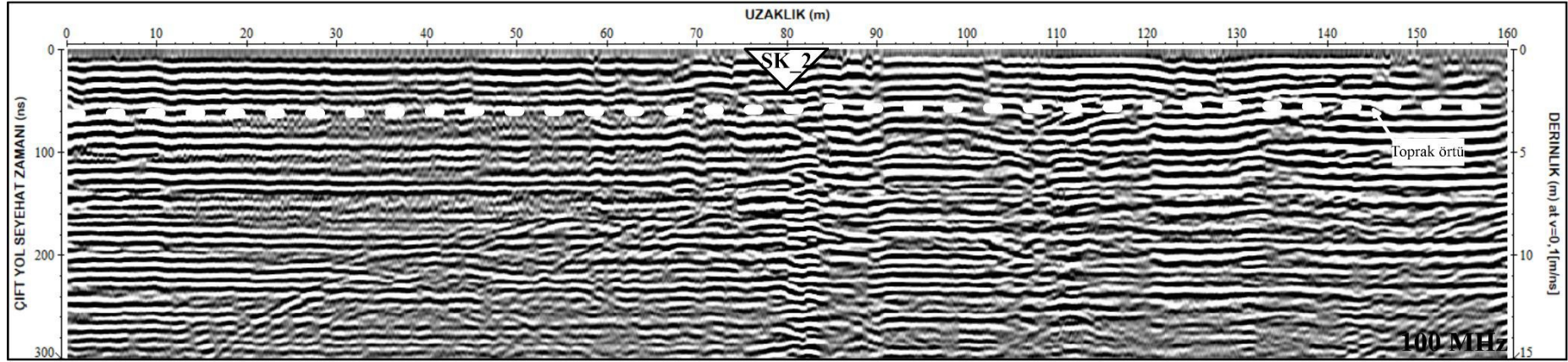
Şekil 4.97. RH_4 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri



Şekil 4.98. RH_5 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri



Şekil 4.99. RH_6 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri

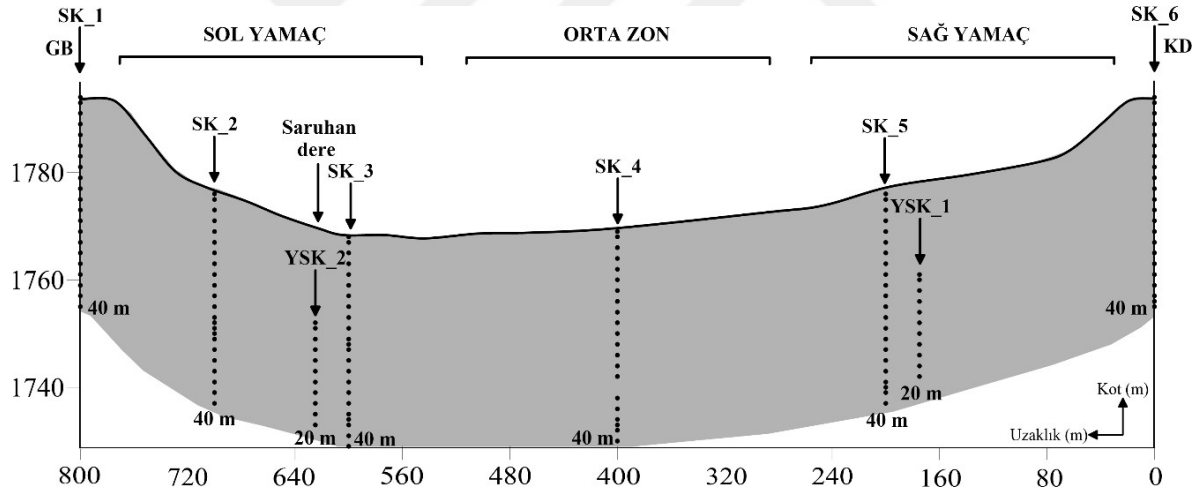


Şekil 4.100. RH_7 hattına ait 100 MHz ve 25 MHz anten frekanslı işlenmiş GPR kesitleri

4.4. Sondaj Çalışmaları

DSİ tarafından baraj eksen yerinde 6 adet (SK_1-SK_6), toplam 240 m uzunluğunda temel araştırma sondajı açılmıştır. Bu çalışma kapsamında baraj eksen yerinin sağ ve sol yamacından olmak üzere 2 adet (YSK_1, YSK_2) ve toplam 40 m uzunluğunda sondaj kuyuları açılmıştır. SK_1-SK_6 ve YSK_1, YSK_2 sondaj kuyularından elde edilen karot resimleri ve belirlenen ilgili parametrelerin derinlikle değişimleri EK-2 ve EK-3'de verilmiştir.

Açılan tüm sondaj kuyularında yapılan yerinde deneyler sonucunda temel kayanın jeolojik-jeoteknik özellikleri ve mühendislik parametreleri Tablo 2.7-2.10'daki sınıflandırmalar esas alınarak değerlendirilmiştir. Baraj yerinde temel kayanın jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla açılan sondajların; sondaj numarası, lokasyonu, kotu ve derinliği Şekil 4.101'de verilmiştir.



Şekil 4.101. Baraj eksen yeri sondaj bilgileri

4.4.1. SK_1 Nolu Sondaj Kuyusu

Bu sondaj kuyusunda; 0.00-21.50 m arasında sarımsı kahverengi, yer yer ince-orta kalınlıkta, kuvars-kalsit damarlı, süreksizlikler buyunca kahverengi alterasyonlu, limonitleşme killeşme belirgin, genelde şistoziteli, mikaşist ve gnaysın etkin olduğu metamorfik seri geçilmiştir. 21.50-40.00 m arasında gri, yeşilimsi gri renkli, az ayrışmış-taze, genellikle sıkı, sert ve sağlam yapılı, yer yer parçalı kırıklı, süreksizlikler yer yer

kuvars-kalsit dolgulu metamorfik seri geçilmiştir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 21.40 m dir.

4.4.2. SK_2 Nolu Sondaj Kuyusu

1777 m kotundaki bu sondaj kuyusunda; 0.00-0.70 m. arasında, yol dolgusu; 0.70-3.50 m arasında, kumlu çakıllı siltli kil niteliğinde yamaç molozu; 3,50-7,00 m arasında, kumlu çakıllı kil niteliğinde alüvyon geçilmiştir. 7,00-40,00 m arasında, grimsi yeşil renkli yer yer yapraklanmalı, kuvars-kalsit damarlı, yer yer çok parçalı kırıklı, zayıf dayanımlı, yer yer sert, dayanımlı kuvarsit-gnays-mikaşist ardalanmalı metamorfik seri geçilmiştir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 4,20 m dir.

4.4.3. SK_3 Nolu Sondaj Kuyusu

Baraj eksen yerinde sol yamaç sondaj kuyusunda; 0,00-12,50 m. arasında kumlu çakıllı kil niteliğinde alüvyon geçilmiştir. 12,50-40,00 m arasında, gri, açık yeşilimsi gri renkli, yer yer çok parçalı kırıklı, dağılgan, yer yer killeşmiş, ezilme zonlu, zayıf dayanımlı, yer yer sert, sağlam dayanımlı, genel olarak şistoziteli, kuvars-kalsit damarlı, kuvars-klorit-serizit şist, mikaşist, gnays ardalanmalı metamorfik seri geçilmiştir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 2,80 m dir.

4.4.4. SK_4 Nolu Sondaj Kuyusu

Baraj eksen yeri orta zondaki sondaj kuyusunda 0,00-12,40 m. arasında kumlu çakıllı kil niteliğinde alüvyon geçilmiştir. 12,40-25,50 m arasında sarımsı kahverengi, breşik görümlü, parçalı kırıklı, kuvars-kalsit damarlı, altere olmuş metamorfik seri, 25,50-31,00 m arasında çok parçalı kırıklı, eklem yüzeyleri boyunca ayrışmalı, orta-zayıf dayanımlı metamorfik seri. 25,50-40,00 m arasında gri-siyahımsı gri renkli, yer yer parçalı kırıklı, yapraklanmalı, yer yer dağılgan, zayıf dayanımlı, kuvars-kalsit damarlı, şistoziteli kuvarsklorit-serizit şist, mikaşist, gnays ardalanmalı metamorfik seri geçilmiştir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 5,15 m dir.

4.4.5. SK_5 Nolu Sondaj Kuyusu

Baraj eksen yeri, sağ yamaç, 1777 m. kotunda, düşey ve 40.00 m. derinliğinde açılmıştır. Sondaj kuyusunda 0,00-14,70 m. arasında kumlu çakıllı kil niteliğinde alüvyon geçilmiştir. 14,70-40,00 m arasında açık yeşilimsi gri renkli yer yer parçalı kırıklı, şistoziteli, kuvars-kalsit damarlı, sert dayanımlı klorit-serizit şist, mikaşist, gnays ardalanmalı metamorfik seri geçilmiştir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 10,60 m dir.

4.4.6. SK_6 Nolu Sondaj Kuyusu

Baraj eksen yeri, sağ yamaç, 1790 m. kotunda, düşey ve 40.00 m. derinliğinde açılmıştır. Sondaj kuyusunda; 0,00-14,00 m. gri-sarımsı kahverengi, yer yer parçalı kırıklı, şistoziteli, süreksizlikler boyunca killeşme, kuvars-kalsit damarlı, orta-zayıf dayanımlı metamorfik seri geçilmiştir. 14,00-40,00 m arasında gri-açık gri renkli, mikaşist, grafit şist geçilmiştir. Yer yer ayrılmış orta-zayıf dayanımlı, grafit şistler bol kuvars damarlı, yapraklanmalı, metamorfik seri geçilmiştir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 13,20 m dir.

4.4.7. YSK_1 Nolu Sondaj Kuyusu

Baraj eksen yeri kazı sonrasında sağ yamaçta açılmış olup (baraj eksen yeri yaklaşık 15 m kazıldıktan sonra), 1763 m. kotunda, düşey ve 20.00 m. derinliğinde açılmıştır. Sondaj kuyusunda.0,00-20,00 m arasında açık yeşilimsi gri renkli yer yer parçalı kırıklı, yer yer sert, sağlam dayanımlı, şistoziteli, kuvars-kalsit damarlı, sert dayanımlı klorit-serizit şist, mikaşist, gnays ardalanmalı metamorfik seri geçilmiştir.

4.4.8. YSK_2 Nolu Sondaj Kuyusu

Baraj eksen yerinde kazı sonrasında sol yamaçta açılmış olup, 1753 m. kotunda, düşey ve 20,00 m. derinliğinde açılmıştır. Sondaj kuyusunda; 0,00-20 m. arasında, gri, açık yeşilimsi gri renkli, yer yer çok parçalı kırıklı, dağılgan, yer yer killeşmiş, ezilme zonlu, zayıf dayanımlı, genel olarak şistoziteli, kuvars-kalsit damarlı, kuvars-klorit-serizit şist, mikaşist, gnays ardalanmalı metamorfik seri geçilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kaya kütlelerinin geçirimsizliğinin belirlenmesinde yerinde deneylerin haricinde geçirimsizliği denetleyen jeoteknik ve jeofizik özelliklerin çok karmaşık olması sebebiyle günümüzde bu parametrenin belirlenmesine yönelik çok az deneysel ilişki kurulabilmiştir. Bu çalışmada, geçirimsizliği etkileyen mühendislik parametreleri (RQD, Eklem sıklığı, Schmidt sertliği (ayırışma derecesine göre), P dalga hızı, S dalga hızı, Özdirenç) ile Lugeon (LU) değerleri karşılaştırılarak basit regresyon analizleri yapılmış ve kaya kütlelerinin geçirimsizliği için deneysel eşitlikler elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen sınır değerler yardımı ile inceleme alanının derinlikle değişen bölgelendirme kesitleri oluşturulup, kaya kütlelerinin geçirimsizliği değerlendirilmiştir.

5.1. Basit Regresyon Analizleri

Pulur metamorfikleri kaya kütle geçirimsizliğini dolaylı olarak belirlemek amacıyla, yerinde yapılan BST deneylerinden elde edilen Lugeon değerleri (bağımlı değişken, LU) ile mevcut kaya kütle için belirlenen RQD, Schmidt Sertliği, V_p ve V_s dalga hızı ve Özdirenç değerleri (bağımsız değişkenler) basit regresyon analizleriyle karşılaştırılmıştır. Basit regresyon analizi gerçekleştirilirken bağımlı ve bağımsız değişkenler doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutularak, en yüksek korelasyon katsayısını veren eşitlik tercih edilmiştir. Korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadığı Pearson'ın belirlediği EK-1'de verilen kritik r ($r=0.207$) değerleriyle karşılaştırılarak hesaplanan tüm korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, korelasyon analizleri %95 güvenirlilik düzeyinde değerlendirilerek güven aralığı sınır çizgileriyle birlikte verilmiştir.

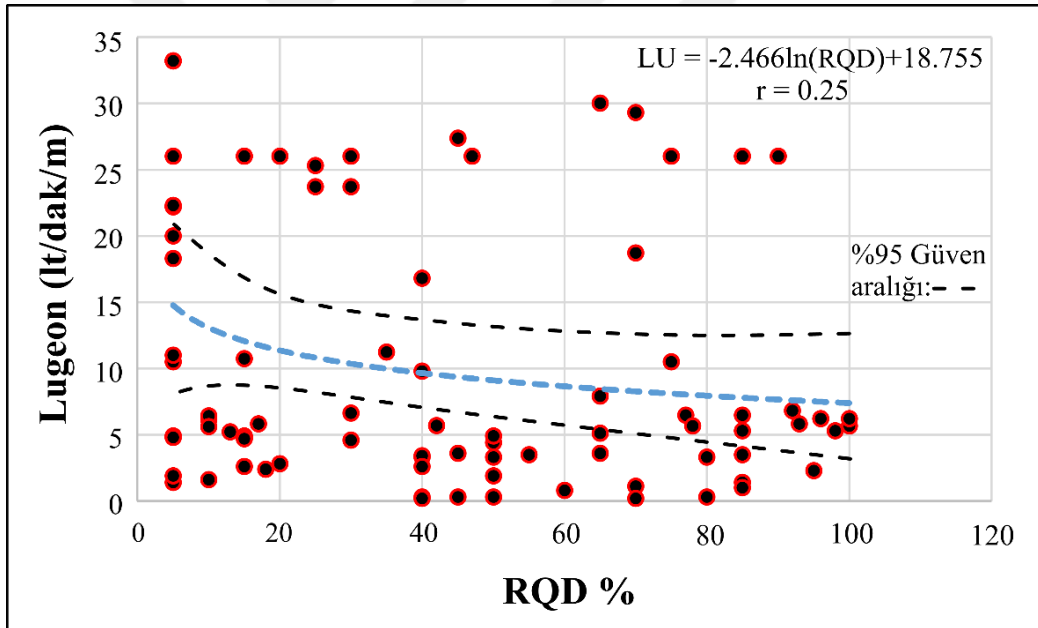
5.1.1. Lugeon ile RQD Arasındaki İlişki

Basit regresyon analizi gerçekleştirilen LU ile RQD değerleri arasında en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.25$) logaritmik eşitlikte elde edilmiş olup, değişkenler arasındaki ilişki çok zayıf ve negatif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.1).

İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda LU ile RQD arasında azalan bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur Metamorfik kaya kütlelerinde belirlenen RQD değerlerinin artması ile Lugeon (geçirimsizlik) değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak Tablo 5.1’de verilmiş olan eşitliğin korelasyon katsayısı çok düşük olduğu için, kaya kütlelerinin RQD’ye bağlı hesaplanması istatistiksel olarak çok anlamlı değildir.

Tablo 5.1. Lugeon (LU) ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson’a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Logaritmik	$LU = -2.466\ln(RQD) + 8.755$	0.25	0.207	5.1

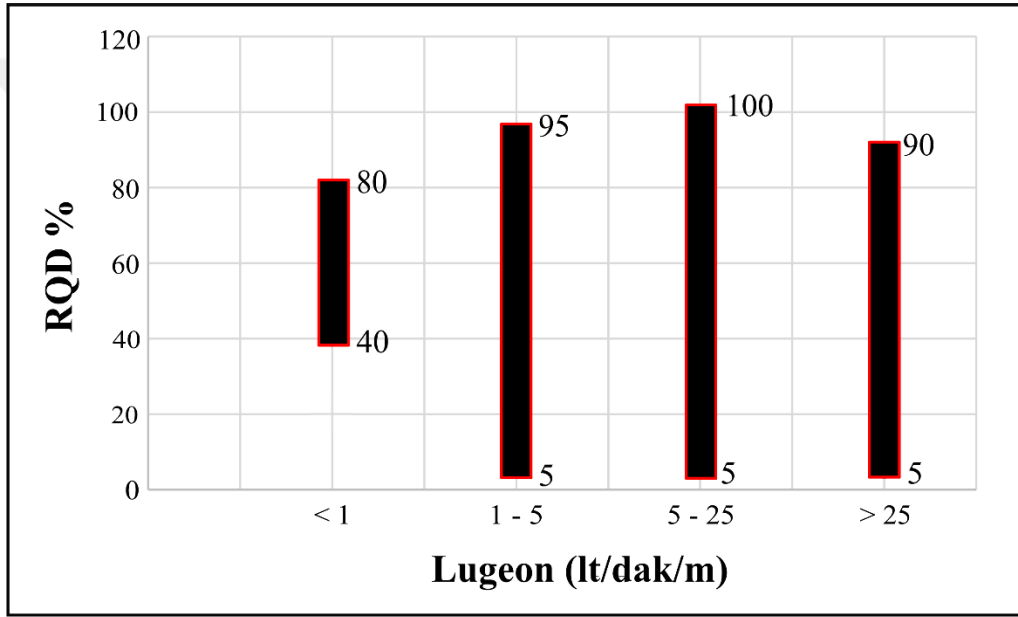


Şekil 5.1. Lugeon ile RQD arasındaki basit regresyon ilişkisi

İnceleme alanında baraj eksen yerinde yapılan temel sondajlarından belirlenen RQD değerleri ile yerinde yapılan BST deneyleri sonucu hesaplanan Lugeon değerleri arasında anlamlı korelasyon kurulamamasının sebebi, anizotrop ve heterojen ortam şartlarıdır. Pulur metamorfiklerinden oluşan kaya kütlelerindeki süreksizlik yapıları ve ayrışma derecesi sondaj karotlarından belirlenebilirken, süreksizliklerdeki dolgu özellikleri ve süreksizlik açıklıklarının derinlikle litolojik yük altında kapanması gibi belirsizlikler, sondaj

verilerinden tespit edilememektedir. Bu sebeple Lugeon sınıf aralıklarına bağlı RQD değerleri Şekil 5.2’de de görüldüğü gibi dağılım göstermektedir.

Bu dağılıma göre, geçirimsiz kaya kütlelerinin %RQD değeri 40-80, az geçirimli 5-95, geçirimli 5-100 ve çok geçirimli 5-90 arasında değişmekte olup, geçirimsizlik sınıfları arası RQD değerlerinin çakışması sebebi ile kaya kütle geçirimsizliği RQD’ye bağlı sınırlandırılmamıştır. Ancak elde edilen aralıklardan yola çıkarak RQD değerinin %5-40 aralığının geçirimli, %40-100 aralığının ise geçirimsiz-g geçirimli olarak geçiş gösterdiği incelenen sahadaki Pulur metamorfiklerine ait kaya kütleleri için söylemek mümkündür.



Şekil 5.2. Lugeon sınıflama değerlerine göre RQD değer aralıkları

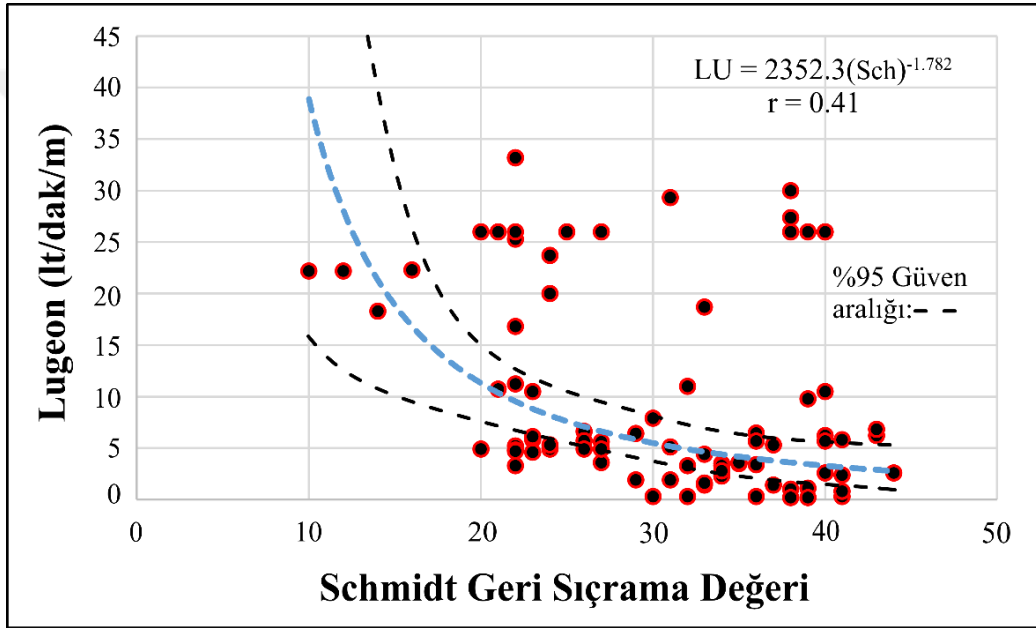
5.1.2. Lugeon ile Schmidt Sertliği Arasındaki İlişki

LU ile Schmidt sertliği arasındaki ilişkinin incelenmesinde en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.41$) üssel eşitlikte elde edilmiş olup, değişkenler arasındaki ilişki zayıf ve negatif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.2). İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda LU ile Schmidt sertliği arasında azalan üssel bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.3’de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur Metamorfik kaya kütlelerinde belirlenen Schmidt sertliği değerlerinin artması ile Lugeon (geçirimsizlik) değerlerinin azaldığı görülmektedir. Schmidt sertliği değerleri kaya

kütlesinde ayrışmayı karakterize ettiğinden dolayı, düşük değerlerin ayrışmış kayayı, yüksek değerlerin ise taze kaya kütlelerini ifade ettiği bilinmektedir.

Tablo 5.2. Lugeon (LU) ile Schmidt sertliği arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

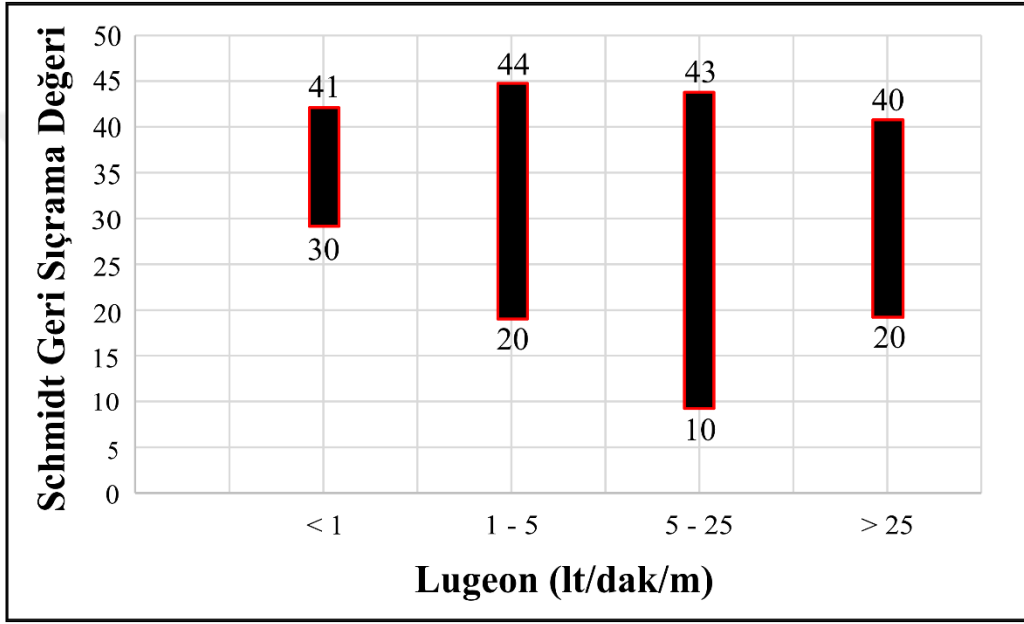
Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Üssel	$LU = 2352.3(\text{Sch})^{-1.782}$	0.41	0.207	5.2



Şekil 5.3. Lugeon ile Schmidt sertliği arasındaki basit regresyon ilişkisi

İnceleme alanında baraj eksen yerinde yapılan temel sondajlarından belirlenen Schmidt sertliği değerleri ile yerinde yapılan BST deneyleri sonucu hesaplanan Lugeon değerleri arasında düşük seviyede anlamlı korelasyon kurulmasının sebebi, Pulur metamorfiklerinden oluşan kaya kütlelerindeki süreksizlikler ve kaya kütlelerinin Schmidt sertliği değerlerine göre farklı ayrışma derecelerinde olması nedeniyle Lugeon-Schmidt sertliği değerleri arasında $r=0.41$ gibi düşük seviyede anlamlılığı ifade etmektedir. Bu sebeple Lugeon sınıf aralıklarına bağlı Schmidt sertliği değerleri Şekil 5.4'de görüldüğü gibi dağılım göstermektedir. Bu dağılıma göre, geçirimsiz kaya kütlelerinin Schmidt sertliği değeri 30-41, az geçirimli 20-44, geçirimli 10-43 ve çok geçirimli 20-40 arasında değişmekte olup, geçirimsizlik sınıfları arası Schmidt sertliği değerlerinin geçişli olması

sebebi ile LU-Schmidt sertliği arasında kesin sınırlar ile ifade edilecek sınıflama söz konusu değildir. Ancak, Schmidt değerlerinin 30-41 arasında değişmesi Karpuz ve Paşamehmetoğlu (1997) tarafından yapılan sınıflamaya göre orta-az bozunma göstermesi kaya kütlesinin geçirimsiz davranmasına, 10-30 değerleri arasında Schmidt değerlerine sahip olması ise orta-ileri derecede bozunmaya ve kaya kütlesinin geçirimli özellik göstermesini ifade etmektedir. Burada kaya kütlesi parçalı özellik göstermekte olup, süreksizlikler genellikle dolgu içermemektedir.



şekil 5.4. Lugeon sınıflama değerlerine göre Schmidt sertliği değer aralıkları

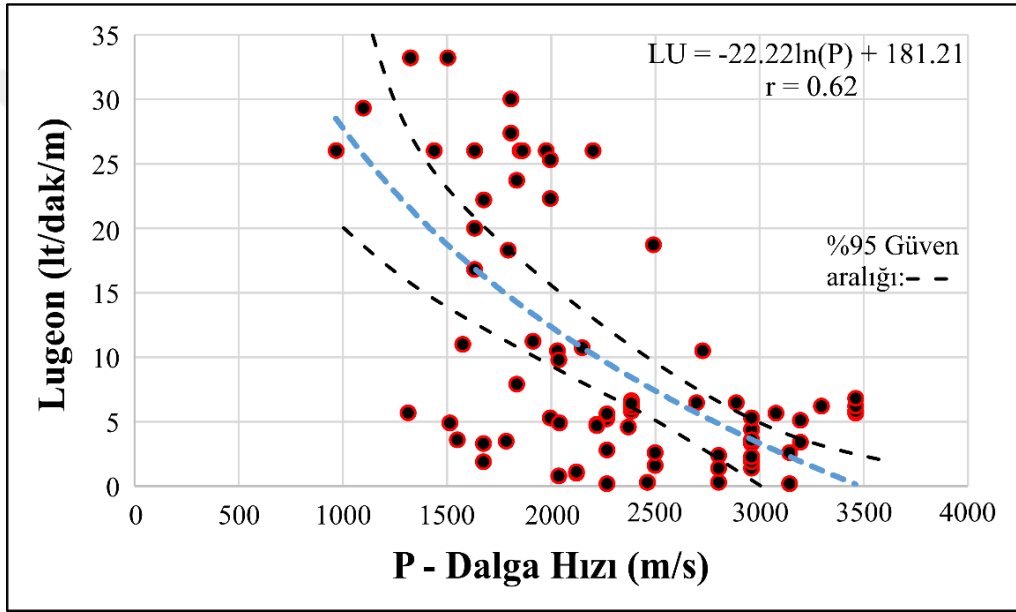
5.1.3. Lugeon ile P-Dalga Hızı Arasındaki İlişki

LU ile P dalga hızı arasındaki ilişkide en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.62$) logaritmik eşitlikte elde edilmiş olup, değerkenler arasındaki ilişki iyi ve negatif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.3). İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda LU ile P dalga hızı arasında azalan logaritmik bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği şekil 5.5'de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlesinde belirlenen P dalga hızı değerlerinin artması ile Lugeon (geçirimlilik) değerlerinin azaldığı görülmektedir. P dalga hızının artması kaya kütlesinin

masif özellik göstermesini ifade ederken, azalması kaya kütlelerinin ayrılmış, parçalanmış ve daha düşük dayanım özelliği göstereceğini ifade eder.

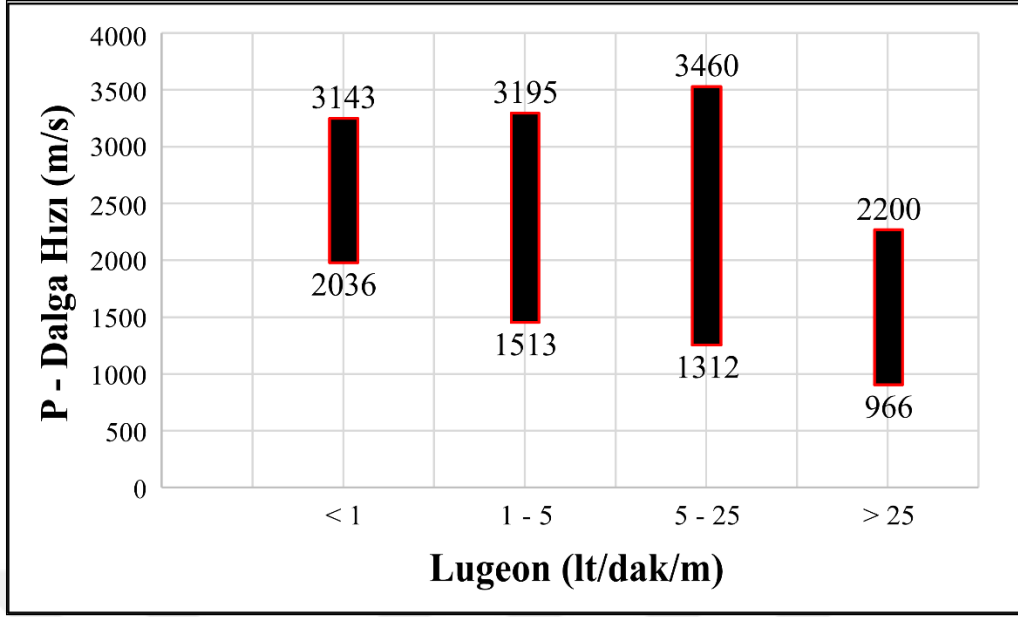
Tablo 5.3. Lugeon (LU) ile P-Dalga Hızı arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Logaritmik	$LU = -22.22\ln(V_p) + 181.21$	0.62	0.207	5.3



Şekil 5.5. Lugeon ile P-Dalga Hızı arasındaki basit regresyon ilişkisi

İnceleme alanında baraj eksen yerinde yapılan sismik kırılma tomografi ölçümleriyle belirlenen P dalga hızı değerleri ile, yerinde yapılan BST deneyleri sonucu hesaplanan Lugeon değerleri arasında anizotrop ve heterojen ortam şartlarına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki mevcuttur. Lugeon sınıf aralıklarına bağlı P dalga hızı değerleri Şekil 5.6'da ki gibi dağılım göstermektedir.



Şekil 5.6. Lugeon sınıflama değerlerine göre P-Dalga hızı değer aralıkları değer aralıkları

Bu dağılıma göre, geçirimsiz kaya kütlelerinin P dalga hızı değeri 2036-3143 m/s, az geçirimli 1513-3195 m/s, geçirimli 1312-3460 m/s ve çok geçirimli 966-2200 m/s arasında değişmekte olup, geçirimsizlik sınıfları arası P dalga hızı değerlerinin çakışması sebebi ile kaya kütle geçirimsizliği P dalga hızına bağlı sadece geçirimsiz ve çok geçirimli bölgede sınırlandırılabilir. Bu dağılıma göre 2200-3150 m/s arasındaki hız değerlerine sahip metamorfik kaya kütleleri geçirimsiz özellik gösterirken, 950-2200 m/s arası değişim gösteren kaya kütleleri ise geçirimli özellik göstermektedir.

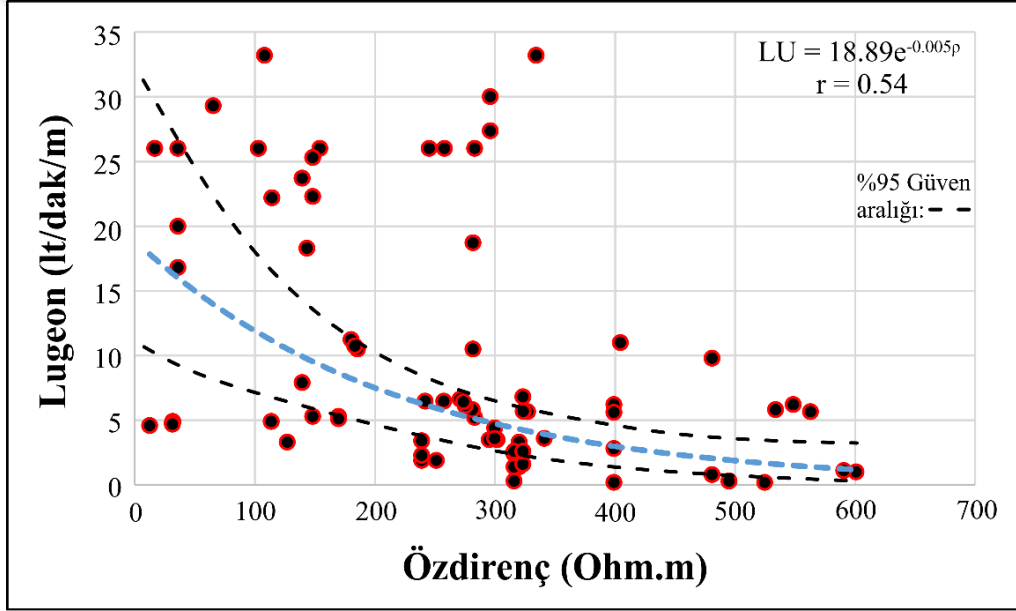
5.1.4. Lugeon ile Özdirenç Arasındaki İlişki

LU ile özdirenç arasındaki ilişkide en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.54$) üssel eşitlikte elde edilmiş olup, değişkenler arasındaki ilişki orta ve negatif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.4). İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda LU ile özdirenç arasında azalan bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.7'de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlelerinde belirlenen özdirenç değerlerinin artması ile Lugeon (geçirimsizlik) değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 5.4. Lugeon (LU) ile Özdirenç arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Üssel	$LU = 18.89e^{-0.005p}$	0.54	0.207	5.4

İnceleme alanında baraj eksen yerinde yapılan elektrik ölçümlerle belirlenen özdirenç değerleri ile yerinde yapılan BST deneyleri sonucu hesaplanan Lugeon değerleri arasında anizotrop ve heterojen ortam şartlarına rağmen anlamlı bir korelasyon kurulabilmiştir.

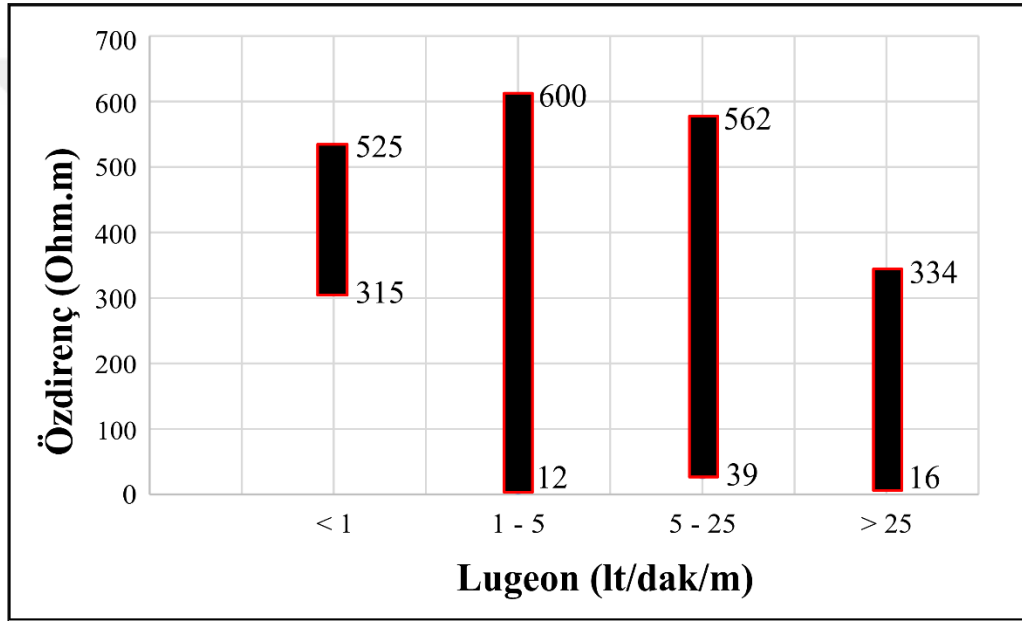


Şekil 5.7. Lugeon ile Özdirenç arasındaki basit regresyon ilişkisi

Lugeon sınıf aralıklarına bağlı özdirenç değerleri Şekil 5.8'de verilmiş olup, bu dağılıma göre, geçirimsiz kaya kütlelerinin özdirenç değeri 315-525 Ohm.m, az geçirimli 12-600 Ohm.m, geçirimli 39-512 Ohm.m ve çok geçirimli 16-334 Ohm.m arasında değişmektedir.

İnceleme alanında yayılım gösteren metamorfik kaya kütlelerinde geçirimsizlik sınıfları arası özdirenç değerlerinin çakışması sebebi ile kaya kütle geçirimsizliği özdirençle bağlı sadece geçirimsiz ve çok geçirimli bölgede sınırlandırılabilir. Buna göre baraj eksen yerindeki metamorfiklerin özdirenç değerleri incelendiğinde, 335-525 Ohm.m

arasında değişen değerlerde kaya kütlesi geçirimsiz özellik gösterirken, 16-334 Ohm.m arası özdirenç değişimi gösteren kütle çok geçirimli özelliktedir. Az geçirimli ve geçirimli özelliğe sahip yüksek özdirenç değerleri ise kaya kütlesindeki süreksizliklerin dolgu içermediğini ifade etmektedir. Aynı zamanda yüksek özdirenç gösteren masif kaya kütlesinin geçirimsiz davranması ise, düşük özdirenç değerlerine sahip parçalanmış veya ayrılmış kaya kütlesi de yine geçirimsiz özellik göstermektedir. Bu nedenle Lugeon değerleri ile özdirenç değerleri arasında yüksek performans gösteren istatistiksel değişim görülmemektedir.



Şekil 5.8. Lugeon sınıflama değerlerine göre Özdirenç değer aralıkları

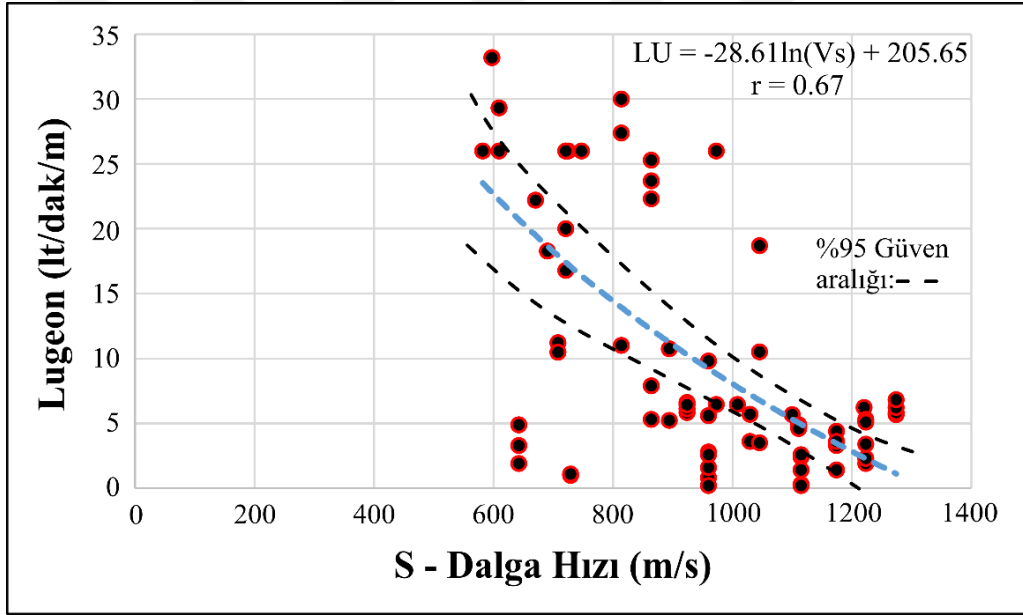
5.1.5. Lugeon ile S-Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Basit regresyon analizi gerçekleştirilirken LU ile S dalga hızı arasında elde edilen eşitlikte en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.67$) logaritmik eşitlikte elde edilmiş olup değişkenler arasındaki ilişki iyi ve negatif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.5). İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda LU ile S dalga hızı arasında azalan bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.9'da verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlesinde belirlenen S-dalga hızı değerlerinin artması ile Lugeon (geçirimsizlik) değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 5.5. Lugeon (LU) ile S dalga hızı arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Logaritmik	$LU = -28.61 \ln(V_s) + 205.65$	0.67	0.207	5.5

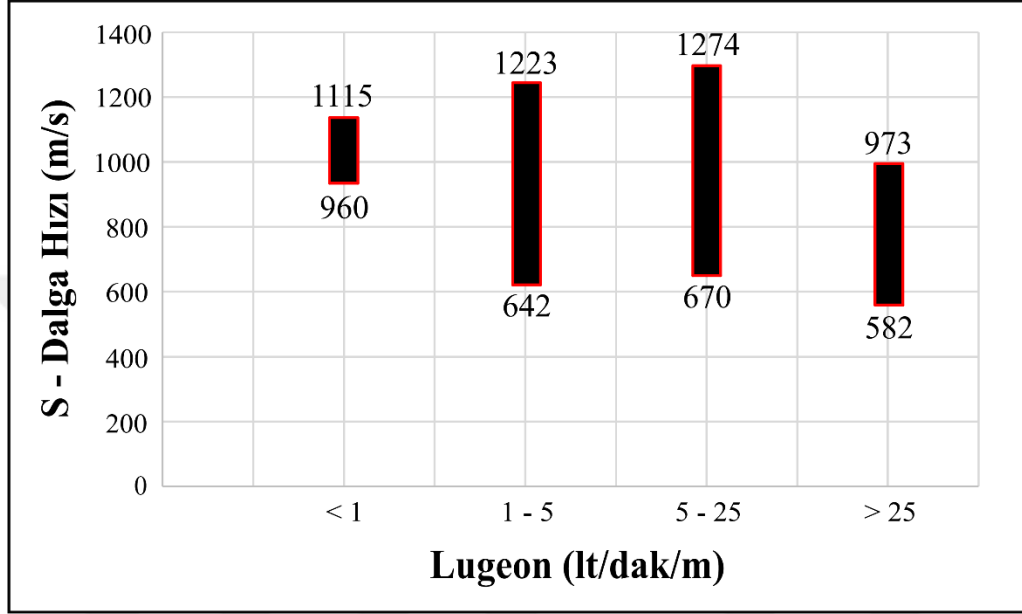
İnceleme alanında baraj eksen yerinde yapılan ÇKYD ölçümleriyle belirlenen S dalga hızı ile yerinde yapılan BST deneyleri sonucu hesaplanan Lugeon değerleri arasında anizotrop ve heterojen ortam şartlarına rağmen anlamlı bir korelasyon mevcuttur.



Şekil 5.9. Lugeon ile S-dalga hızı arasındaki basit regresyon ilişkisi

Lugeon sınıf aralıklarına bağlı S dalga hızı değerleri Şekil 5.10'da verilmiş olup, bu dağılıma göre, geçirimsiz kaya kütlelerinin S dalga hızı değeri 960-1115 m/s, az geçirimli 642-1223 m/s, geçirimli 670-1274 m/s ve çok geçirimli 582-973 m/s arasında değişmektedir. Geçirimsizlik sınıfları arası S dalga hızı değerlerinin çakışması sebebi ile kaya kütle geçirimsizliği S dalga hızına bağlı sadece geçirimsiz ve çok geçirimli bölgede sınırlandırılmaktadır. Geçirimli ve az geçirimli bölgelerde ise geçişli özellik göstermektedir. Buna göre baraj eksen yerindeki metamorfiklerin S dalga hızı değerleri

incelendiğinde, 975-1115 m/s arasında değişen değerlerde kaya kütlesi geçirimsiz özellik gösterirken, 582-973 m/s arası S dalga hızı değişimi gösteren kütle çok geçirimli özelliktedir. Az geçirimli ve geçirimli özelliğe sahip yüksek S dalga hızı değerleri ise bize kaya kütlesindeki süreksizliklerin dolgu içermediğini ifade etmektedir.



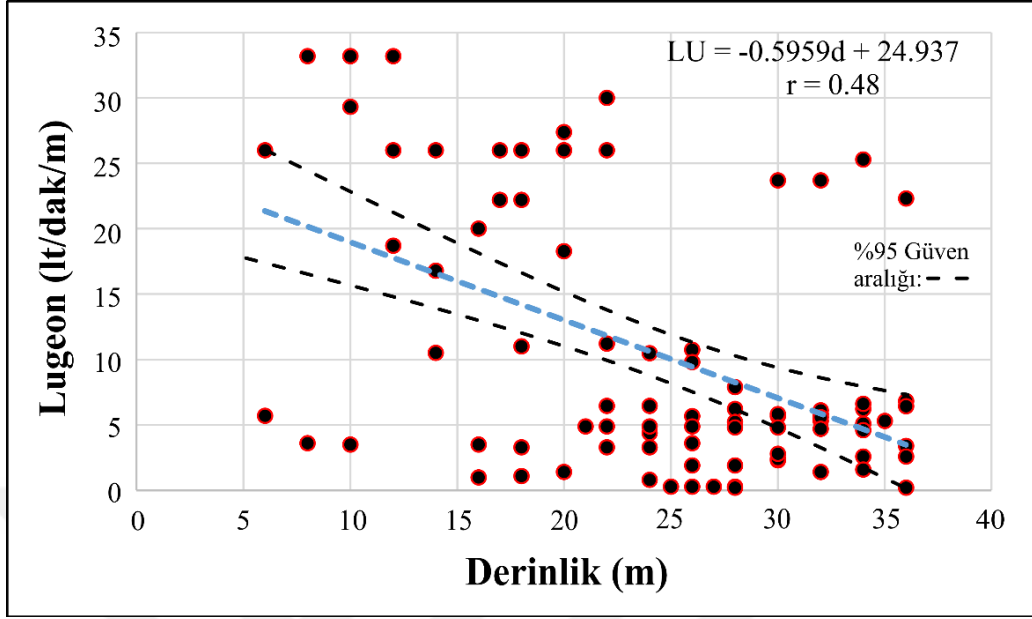
Şekil 5.10. Lugeon sınıflama değerlerine göre S dalga hızı değer aralıkları

5.1.6. Lugeon ile Derinlik Arasındaki İlişki

LU ile derinlik arasında en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.48$) doğrusal eşitlikte elde edilmiş olup, değişkenler arasındaki ilişki orta ve negatif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.6). İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda LU ile derinlik arasında azalan bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.11’de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlesinde derinlik değerlerinin artması ile Lugeon (geçirimsizlik) değerlerinin azaldığı görülmektedir.

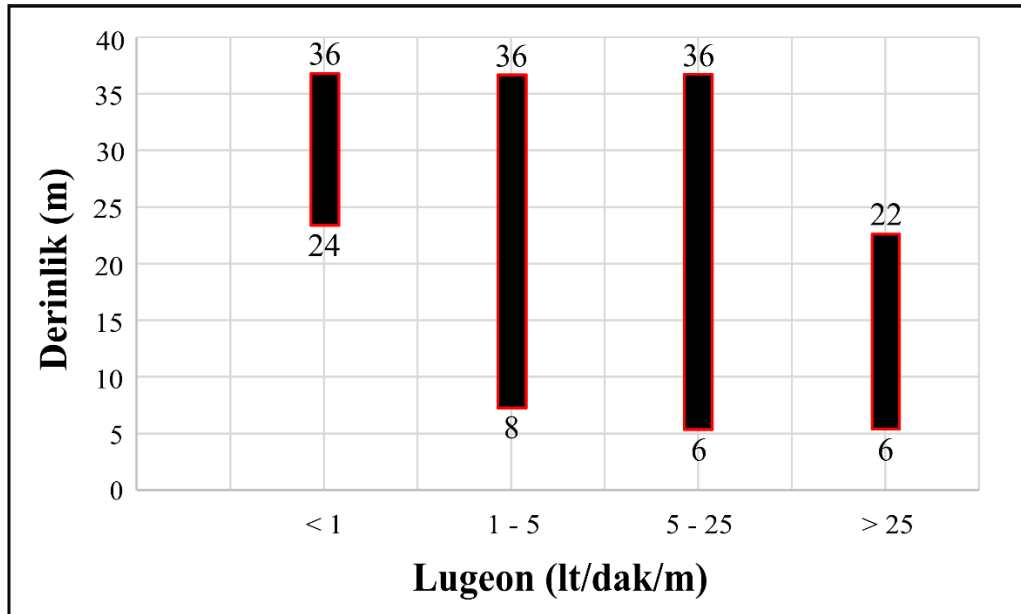
Tablo 5.6. Lugeon (LU) ile Derinlik (d) arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson’a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$LU = -0.5559d + 24.937$	0.48	0.207	5.6



Şekil 5.11. Lugeon ile Derinlik arasındaki basit regresyon ilişkisi

İnceleme alanında baraj eksen yerinde yapılan BST deneyleri sonucu hesaplanan Lugeon değerlerinin derinlik ile değişimi sınıf aralıklarına bağlı olarak Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Lugeon sınıflama değerlerinin derinlikle değişim aralığı

Bu dağılıma göre, geçirimsiz kaya kütlelerinin derinlikle değişimi 24-36 m, az geçirimli 8-36 m, geçirimli 6-36 m ve çok geçirimli 6-22 m arasında değişmektedir. Geçirimsizliğin derinlikle değişimi geçirimsiz ve çok geçirimli bölgede sınırlandırılabilir. Geçirimli ve az geçirimli bölgelerde ise geçişli özellik göstermektedir. Buna göre kaya kütlelerindeki süreksizlik açıklıklarının litolojik yük altında yaklaşık 24 m derinlikten sonra kapalı özellik gösterip, geçirimsiz davrandığı belirlenmiştir. Oysa yüzeyden yaklaşık 22 m derinliğe kadar sondajlardan edinilen bilgiye göre kaya kütlelerinin çok geçirimli özellikte olduğu belirlenmiştir. Ancak eksen yerinde açılmış olan sondaj kuyularındaki karot örneklerinde yapılan incelemeler ve jeofizik yöntemler ile belirlenen faylar sebebi ile kaya kütleleri yer yer oldukça parçalanmış olup, geçirimsizliğin derinlikle değişimi bu zonlarda farklılık sunmaktadır. Bu durum az geçirimli ve geçirimli zonların yüksek derinliklerde de oluşmasına sebep olmaktadır.

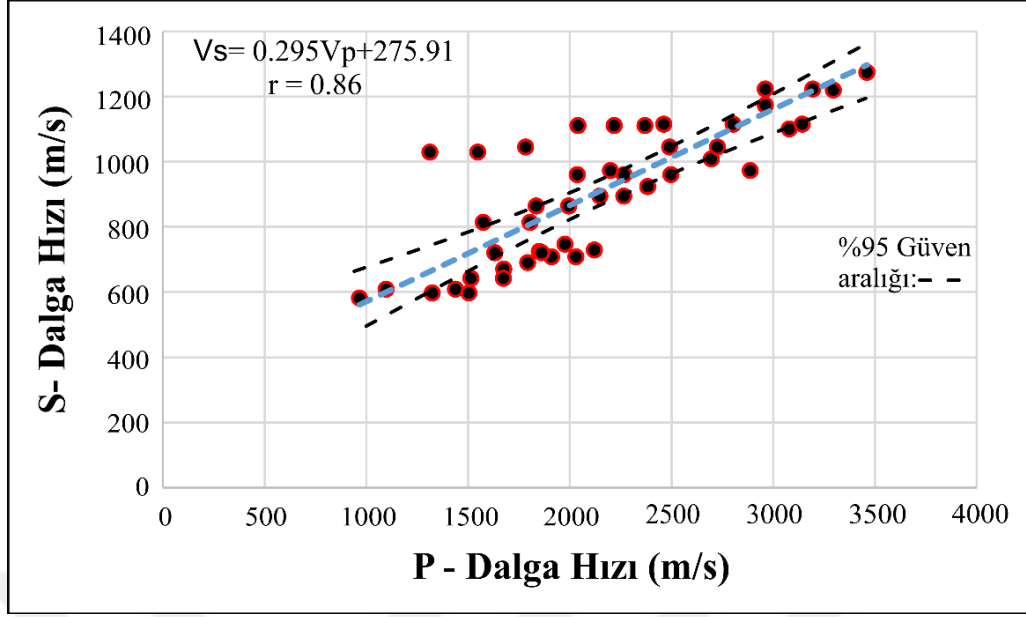
5.1.7. S-Dalga Hızı ile P-Dalga Hızı Arasındaki İlişki

S ve P dalga hızı arasındaki ilişkide en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.86$) doğrusal eşitlikte elde edilmiş olup, değişkenler arasındaki ilişki, çok iyi ve pozitif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.7).

Tablo 5.7. S-Dalga Hızı ile P-Dalga Hızı arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$V_s = 0.295V_p + 275.91$	0.86	0.207	5.7

İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda S dalga hızı ile P dalga hızı arasında yüksek korelasyonda artan bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.13'de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlelerinde belirlenen S dalga hızının artması ile P dalga hızı değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Böylece parametreler arasında yüksek pozitif korelasyon veren doğrusal eşitlik sayesinde Lugeona bağlı üretilen diğer eşitlikler yardımıyla kaya kütlelerinin geçirimsizlik değerlendirmesi yapılabilir.



Şekil 5.13. S dalga hızı ile P dalga hızı arasındaki basit regresyon ilişkisi

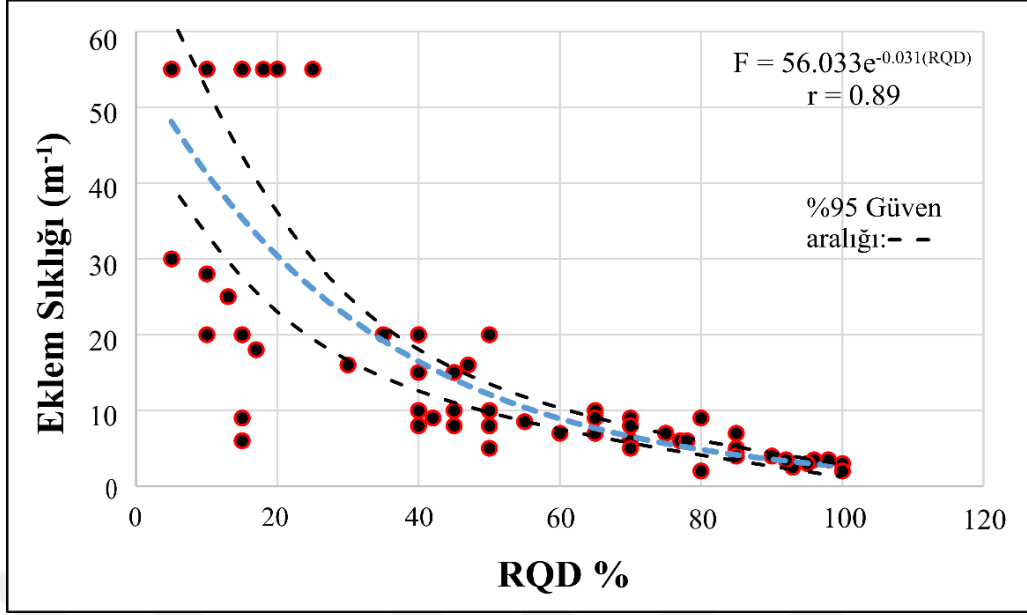
5.1.8. Eklem Sıklığı ile RQD Arasındaki İlişki

RQD ile Eklem sıklığı arasındaki ilişkide en yüksek korelasyon katsayısı ($r=0.89$) üssel eşitlikte elde edilmiş olup, değişkenler arasındaki ilişki çok iyi ve negatif bir korelasyon göstermektedir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8. Eklem Sıklığı (F) ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlik ve kritik r değeri

Eşitlik Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$F = 56.033e^{-0.031(RQD)}$	0.89	0.207	5.8

İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda Eklem sıklığı ile RQD arasında yüksek korelasyonda azalan bir ilişki olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.14'de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında baraj eksen yerinde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlelerinde belirlenen RQD'nin artması ile Eklem sıklığı değerlerinin azaldığı ve birbirlerini yüksek oranda denetlediği belirlenmiştir.



Şekil 5.14. RQD ile eklem sıklığı arasındaki basit regresyon ilişkisi

Yukarıda yapılan basit regresyon analizine göre üretilen eşitlik yardımıyla, inceleme alanında eksen yeri veya göl alanında yapılacak sondaj çalışmalarından elde edilen karot örneklerinin incelenmesi ile belirlenen eklem sıklığı verileri kullanılarak, kaya kütlelerinin RQD değeri belirlenebilmekte ve kaya kütlelerinin geçirimsizliği hakkında fikir vermektedir.

5.2. Eşitliklerin Performanslarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada basit regresyon analizleri ile oluşturulan istatistiksel modellerde, doğrusal ($y=ax+b$), geometrik ($y=ax^b$), logaritmik, ($y=a\ln x+b$), ve üssel ($y=ae^{bx}$) fonksiyonlar kullanılmıştır. Oluşturulan eşitliklerin performansını değerlendirmek için, ölçülen değerin hesaplanan değerden farkları ile ölçülen değerin varyans değerlerini esas alan ölçüt values account for (VAF) ve hataların standart sapmasını ifade eden ölçüt karekök ortalama hata payı (RMSE) dikkate alınmıştır.

Kaya kütlelerinin geçirimsizliği (LU) ile RQD, derinlik (d), Schmidt sertliği (ayırışma derecesi), P dalga hızı, S dalga hızı, öz direnç arasında basit regresyon analizleri yapılarak elde edilen eşitliklerin performans değerleri VAF, RMSE indeksleri (Tablo 5.9) ve çapraz kontrol grafikleri ile değerlendirilmiştir (Şekil 5.15). Basit regresyon analizlerinden elde edilen eşitliklerin performans indeksleriyle değerlendirilmeleri sonucunda elde edilen tüm eşitlikler incelendiğinde;

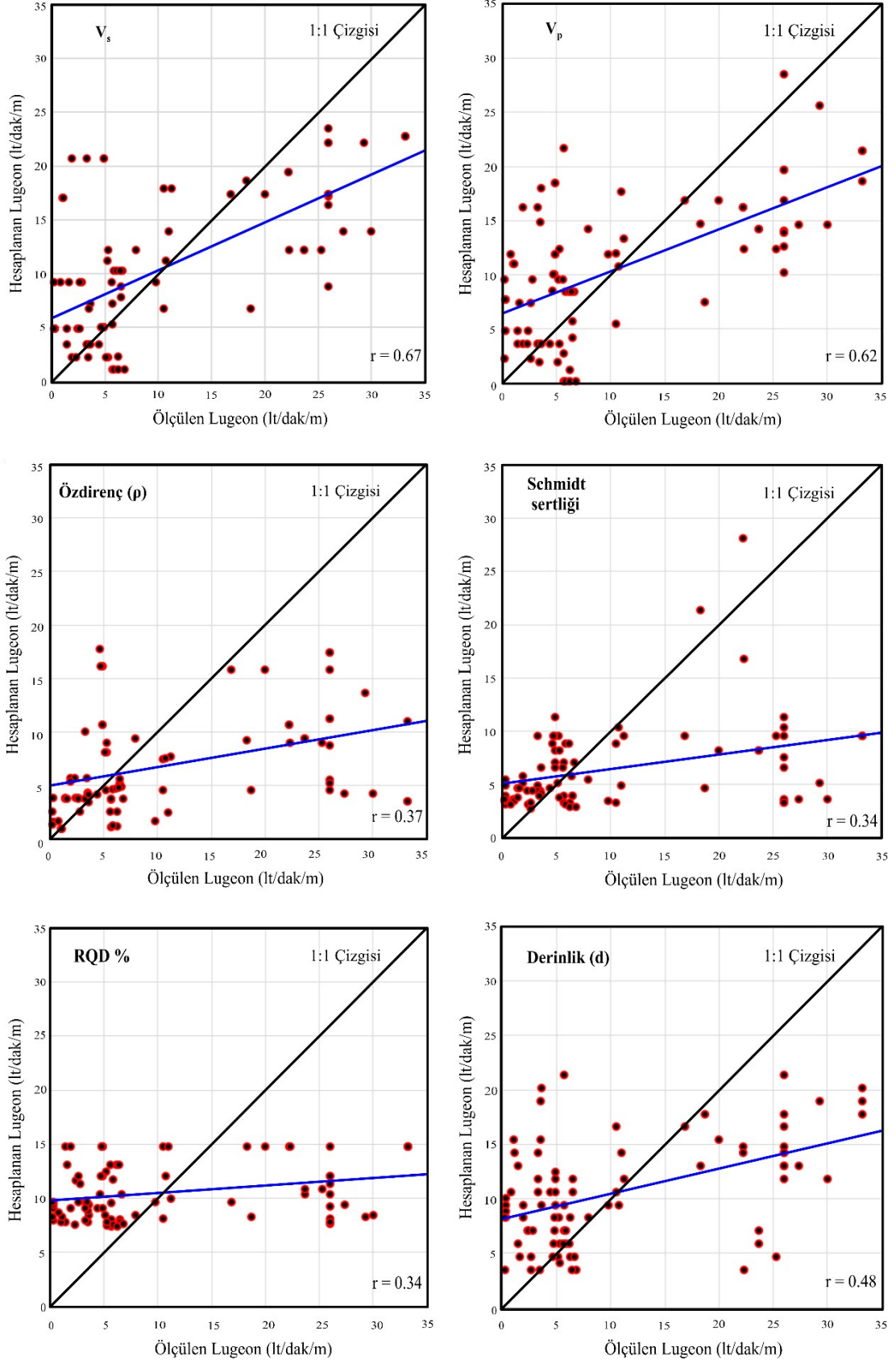
LU ile S dalga hızının karşılaştırılmasında VAF= %44.43 ve RMSE= 7.48 olduğu durumda 5.5 nolu eşitlik en iyi performansı göstermektedir. LU ile P dalga hızının karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.3 nolu eşitlik göstermekte olup, VAF= %38.97 ve RMSE= 7.83 dir. LU ile öz direnç'in karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.4 nolu eşitlik göstermektedir ve VAF %12.76 ve RMSE ise 10.09 dur. LU ile RQD'nin karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.1 nolu eşitlik göstermekte olup, VAF değeri %06.66 ve RMSE değeri ise 9.69 dur. LU ile Schmidt sertliği'nin karşılaştırılmasında 5.2 nolu eşitlik en iyi performansı göstermekte olup, bu eşitliğin VAF değeri %08.25, RMSE değeri ise 10.29'dur.

Tablo 5.9. Geçirimsizlik (Lugeon) değerlerinin dolaylı olarak belirlenmesi için önerilen eşitliklere ait performans indeksleri

Eşitlik	RMSE	VAF (%)	Veri Sayısı (n)	Eşitlik No
$LU = -2.466\ln(RQD) + 18.755$	9.69	06.66	86	5.1
$LU = 2352.3(Sch)^{-1.782}$	10.29	08.25	86	5.2
$LU = -22.22\ln(V_p)+181.21$	7.83	38.97	86	5.3
$LU = 18.89e^{-0.005p}$	10.09	12.76	86	5.4
$LU = -28.61\ln(V_s) + 205.65$	7.48	44.43	86	5.5
$LU = -0.5559d + 24.937$	8.79	23.09	86	5.6

Basit regresyon analizleri ile değerlendirilen parametrelerden üretilen eşitliklerin performans değerlendirmeleri VAF ve RMSE analizleri ile değerlendirilmiş olup, parametreler arasında en iyi performans gösteren eşitliklerin LU-V_s ve LU-V_p arasında olduğu görülmektedir. Diğer parametrelerden üretilen eşitlikler kendi içinde anlamlı olmasına rağmen, istatistiksel olarak ve üretilen eşitliklerin performans değerlendirmelerinde kötü-düşük anlamlılık ifade etmektedir.

Şekil 5.15'de verilen ilişkilerde tahmin edilen Lugeon değerleri sırasıyla 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6 nolu eşitlikler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen Lugeon değerlerine ait veri çiftlerinin sırasıyla 0.34, 0.34, 0.62, 0.37, 0.67 ve 0.48 korelasyon katsayıları ile 1:1 çizgisi üzerinde dağıldıkları gözlenmektedir. Bu dağılım grafikleri içerisinde yüksek korelasyon katsayısı veren deneysel eşitliklerden S (5.5 nolu eşitlik) ve P (5.3 nolu eşitlik) arasındaki ilişkilerin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.15. Ölçülen ve tahmin edilen Lugeon (LU) ilişkisi (mavi çizgi ile gösterilen)

5.3. Baraj Eksen Yeri Bölgeleendirme Çalışmaları

DSİ XXII. Bölge Müdürlüğü'nün 2015 yılında ve Gümüşhane Üniversitesi 18.F5114.02.01 kodlu Bilimsel Araştırma Projesi (GÜBAP) kapsamında 2018 yılında yapılan karotlu temel sondajları ve yerinde deney verileri esas alınarak, Kırklartepe Barajı eksen yerindeki temel sondaj karotlarının incelenmesi ve karot numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda litoloji, Lugeon, RQD, eklem sıklığı, Schmidt sertliği, öz direnç, V_p ve V_s dalga hızı parametreleri dikkate alınarak baraj eksen yerinde bölgeleendirmeler yapılmıştır (Şekil 5.15-5.22). Yapılan bölgeleendirme çalışmaları, Surfer® 13 programı kullanılarak çizilmiştir.

Baraj eksen yerinde yapılmış olan karotlu temel sondajlarının derinlikle değişimi incelenerek eksen yerindeki jeolojik birimler ortaya konulmuştur. Buna göre sol yamaçta SK_2 nolu sondaj verileri incelendiğinde, 0-3.5 m arası yamaç molozu, 3.5-7.0 m arasının alüvyon olduğu ve 7.0-40 m arasının ise metamorfik kaya kütesinden oluştuğu belirlenmiştir. Orta zonda SK_4 nolu sondaj verileri incelendiğinde, 0-12.50 m arası alüvyon, 12.5-40 m arası ise metamorfik kaya kütesinden oluşmaktadır. Sağ yamaçta yapılmış olan SK_5 nolu sondaj verileri incelendiğinde, 0-15 m arası alüvyon, 15-40 m arası ise metamorfik kaya kütesinden oluşmaktadır. Yapılan karotlu temel sondaj çalışmalarının incelenmesi sonucunda, eksen yerindeki yeraltı suyu derinliği ve litolojik birimlerin derinlikle değişimi bölgeleendirilerek Şekil 5.16'da verilmiştir.

Baraj eksen yerindeki sondaj verilerinden yapılan RQD sınıflaması dikkate alınarak eksen yerinin derinlikle değişen bölgeleendirmesi yapılmıştır (Şekil 5.17). Buna göre baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan YSK_1 ve SK_5 nolu sondajlar incelendiğinde, YSK_1 nolu sondajda RQD sınıflamasına göre çok iyi-iyi kaya kalitesi özelliği gösterirken, orta zon yönünde yaklaşık 20 m mesafede yapılmış olan SK_5 nolu sondajda ise kaya kalitesi çok kötü-kötü özellik göstermektedir. Bu durum incelenen iki sondaj kuyusu arasının faylı olduğunu ifade etmektedir. Orta zonda yapılmış olan SK_4 nolu sondaj verileri incelendiğinde, RQD'ye göre çok kötü kaya kalitesinde olduğu görülmektedir. Sol yamaçta ise yapılmış olan SK_2 ve YSK_2 nolu sondajlar incelendiğinde, sırasıyla orta-kötü kaya kalitesinden, kötü-çok kötü kaya kalitesine geçiş olup, bu iki sondaj arasında da fay olasılığı oldukça yüksektir. Baraj ekseninde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütesinin tamamı RQD sınıflamasına göre %49.6'sı çok zayıf, %13.3'ü zayıf, %19.6'sı

orta, %13.3'ü iyi ve %3.9'u çok iyi kaya özelliğindedir. Bu değerlere göre eksen yerini oluşturan kaya kütesinin %63'ü zayıf-çok zayıf kaya kalitesindedir.

Baraj eksen yerinde açılmış karotlu temel sondaj verileri incelenerek yapılan eklem sıklığı sınıflaması dikkate alınarak eksen yerinin derinlikle değişimini göstermek amacıyla bölgelendirme yapılmıştır (Şekil 5.18). Buna göre baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan YSK_1 ve SK_5 nolu sondajlar incelenmiştir. Böylece, YSK_1 nolu sondajda eklem sıklığı sınıflamasına göre az çatlaklı kırıklı-kırıklı özellik gösterirken, orta zon yönünde yaklaşık 20 m mesafede yapılmış olan SK_5 nolu sondajda ise eklem sıklığı çok çatlaklı kırıklı-parçalanmış özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum incelenen iki sondaj kuyusu arasının faylı olduğunu ifade etmektedir. Orta zonda yapılmış olan SK_4 nolu sondaj verileri incelendiğinde, eklem sıklığına göre parçalanmış kaya özelliğinde olduğu görülmektedir. Sol yamaçta ise yapılmış olan SK_2 ve YSK_2 nolu sondajlar incelendiğinde, geçilen metamorfik kaya kütesinin çok çatlaklı kırıklı-parçalanmış kaya özelliğinde olduğu belirlenmiştir. Bu iki sondaj arasında da fay olasılığı oldukça yüksektir. Baraj ekseninde yayılım gösteren Pulus metamorfik kaya kütesinin tamamı eklem sıklığı sınıflamasına göre %50'si parçalanmış, %9.4'ü çok çatlaklı kırıklı, %4'ü az çatlaklı kırıklı ve %36'sı kırıklı kaya özelliğindedir. Bu değerlere göre baraj eksen yerindeki orta zon ve sağ yamacı oluşturan metamorfik kaya kütesinin %59.4'ü çok çatlaklı kırıklı-parçalanmış kaya özelliğindedir.

Baraj eksen yerinde yapılmış her bir sondaj kuyusuna ait karot sandıklarında Lugeon deneyleri ile ilişkili olabilmesi için kaya malzemedeki her 2 m de bir süreksizlik yüzeylerinden Schmidt sertliği ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler Karpuz ve Paşamehmetoğlu (1997) tarafından önerilen ayrışma sınıflaması dikkate alınarak, eksen yerinde ayrışma derecesinin derinlikle değişimini göstermek amacıyla bölgelendirme yapılmıştır (Şekil 5.19). Buna göre baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan YSK_1 ve SK_5 nolu sondajlar incelendiğinde, YSK_1 nolu sondajda Schmidt sertliği sınıflamasına göre metamorfik kayalar genellikle az bozunmuş özellikte iken, SK_5 nolu sondajda ise orta derecede bozunma göstermektedir. Orta zonda yapılmış olan SK_4 nolu sondaj verilerinde yapılan Schmidt sertliği değerlerine göre metamorfik kayaların ileri derecede bozunma gösterdiği belirlenmiştir. Sol yamaçta ise yapılmış olan SK_2 ve YSK_2 nolu sondajlardan alınan karot örneklerinde yapılan Schmidt sertliği deney sonuçları değerlendirildiğinde, SK_2 nolu sondaj ve civarındaki kayalar orta derecede bozunma gösterirken, YSK_2 nolu sondaj ve civarı ileri-aşırı derece bozunma göstermektedir.

Bozunma derecesinin aynı derinliklerde bu şekilde değişim göstermesi bu iki sondaj arasında fay olasılığının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Baraj ekseninde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlelerinin tamamı Schmidt sertliği sınıflamasına göre değerlendirildiğinde, %40'ı ileri derecede bozunmuş, %36'sı orta derecede bozunmuş, %14'ü az bozunmuş ve %10'u aşırı derecede bozunmuş kaya özelliğindedir. Bu değerlere göre baraj eksen yerindeki metamorfik kaya kütlelerinin %76'sı orta-ileri derecede ayrılmış kaya özelliğindedir.

Baraj eksen yerinde açılmış olan temel sondaj kuyularında yapılan basınçlı su deneylerine ait veriler kullanılarak hesaplanan Lugeon değerleri, Lugeon sınıflaması dikkate alınarak eksen yerinin derinlikle değişen bölgelendirilmesi yapılmıştır (Şekil 5.20). Buna göre baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan YSK_1 nolu sondajda metamorfik kaya kütlesi çok geçirimli-geçirimli özellik gösterirken, SK_5 nolu sondajda yüzeye yakın geçirimli, derinde ise az geçirimli özellik göstermektedir. Orta zonda yapılmış olan SK_4 nolu sondaj verileri incelendiğinde, kaya kütlesi parçalanmış özellikte olduğu için Lugeon sınıflamasına göre yüzeyden derine doğru çok geçirimli-geçirimli ve az geçirimli olmak üzere üç farklı geçirimsizlik sınıfı sunmaktadır. Bunun sebebi kaya kütlelerinin parçalanmış özellik göstermesi ve bununla birlikte ayrışma ve dolgu parametreleride etken rol oynadığından dolayı kaya kütlesi farklı derecelerde geçirimsizlik göstermektedir. Sol yamaçta ise yapılmış olan SK_2 nolu sondaj incelendiğinde, yüzeyden derine doğru çok geçirimli-geçirimli-az geçirimli-geçirimsiz özellik gösterdiği belirlenmiştir. Baraj ekseninde yayılım gösteren Pulur metamorfik kaya kütlelerinin tamamına yakını Lugeon sınıflamasına göre geçirimli kaya özelliğindedir.

Baraj eksen yerinde yapılmış olan SKT ölçümlerinden elde edilen V_p (m/s) hız değerleri dikkate alınarak eksen yerinin derinlikle değişen bölgelendirilmesi yapılmıştır (Şekil 5.21). Buna göre baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan SH_2 nolu SKT ölçümünde yaklaşık 0-15 m aralığında hız değerleri 200-950 m/s arasında değişmekte olup, çalışma sahasındaki bu zon alüvyon zemine öze karşılık gelmektedir. Metamorfik kaya kütlelerine ait hız değişimleri ise yüzeyden derine doğru artmakta olup, 1000-3200 m/s arasında değişmektedir. Bu durum kaya kütlelerinin derinlere inildikçe çok çatlaklı kırıklıdan, az çatlaklı kırıklı yapıya geçiş gösterdiğini ifade etmektedir. Orta zonda yapılmış olan SH_4-SH_6 nolu sismik hat verileri incelendiğinde, kaya kütlesi parçalanmış özellikte olduğu için 1000-2400 m/s hız aralığında değişmekte olup, SH_2 nolu sismik kırılma hattı ile aynı derinlikteki masif kaya kütlelerine ait hız değişimi gözlenememiştir. Sismik hatlardaki ani

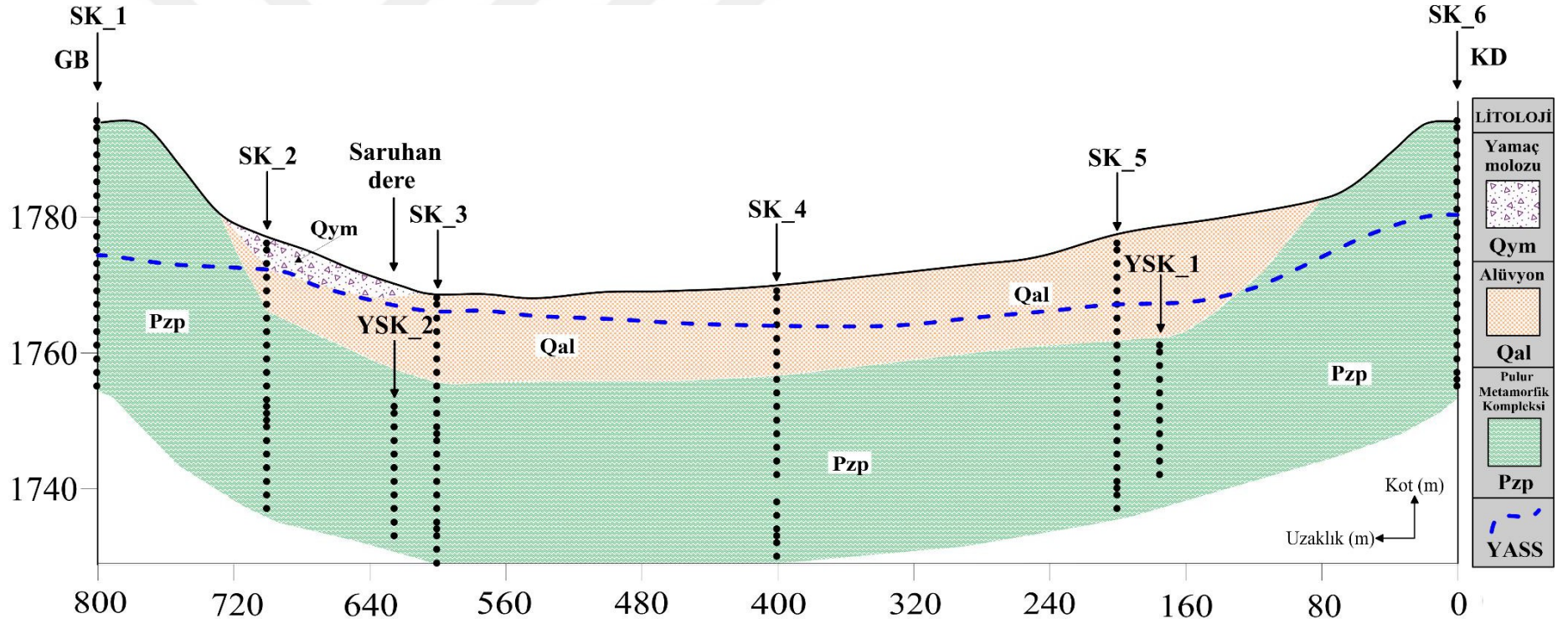
hız değişimleri, inceleme alanındaki kaya kütlesinin parçalanmış, ayrıışmış olduğunu, dolayısıyla bu tür alanlarda fay olasılığının yüksek olduğunu belirtmektedir. Sol yamaçta yapılmış olan SH_8, SH_7 nolu sismik hat ölçümlerinde, eklem sıklığına göre çok çatlaklı kırıklı kaya yapısından parçalanmış kaya özelliğine geçiş göstermesi ve hız değerlerinin 3200 m/s'den 2200 m/s'ye geçişı, bu aralıkta hem hız değerlerindeki ani değişim, hem de eklem sıklığına göre kaya kütlesinin parçalanmış özellik göstermesi burada bir fayın olasılığını arttırmaktadır.

Baraj eksen yerinde yapılmış olan ÇKYD ölçümlerinde elde edilen V_s (m/s) hız değerleri dikkate alınarak eksen yerinin derinlikle değişen bölgelendirilmesi yapılmıştır (Şekil 5.22). Buna göre baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan SH_2 nolu ÇKYD ölçümünde yaklaşık 0-15 m derinlik aralığında hız değerleri 100-500 m/s arasında değişmekte olup, bu zon alüvyon zemine karşılık gelmektedir. Metamorfik kaya kütlesine ait hız değişimleri ise yüzeyden derine doğru artmakta olup, 400-1200 m/s arasında değişmektedir. Bu durum, kaya kütlesinin derinlere inildikçe çok çatlaklı kırıklıdan, az çatlaklı kırıklı yapıya geçiş gösterdiğini ifade etmektedir. Orta zonda yapılmış olan SH_4-SH_6 nolu sismik hat verileri incelendiğinde, kaya kütlesi parçalanmış özellikte olduğu için 400-900 m/s hız aralığında değişmektedir. Sol yamaçta yapılmış olan SH_8, SH_7 nolu sismik hat ölçümlerinde eklem sıklığına göre çok çatlaklı kırıklı kaya yapısından parçalanmış kaya özelliğine geçiş göstermesi ve hız değerlerinin 1000 m/s'den 600 m/s'ye geçişı bu aralıkta hem hız değerlerindeki ani değişim, hem de eklem sıklığına göre kaya kütlesinin parçalanmış özellik göstermesi burada bir fayın olasılığını arttırmaktadır.

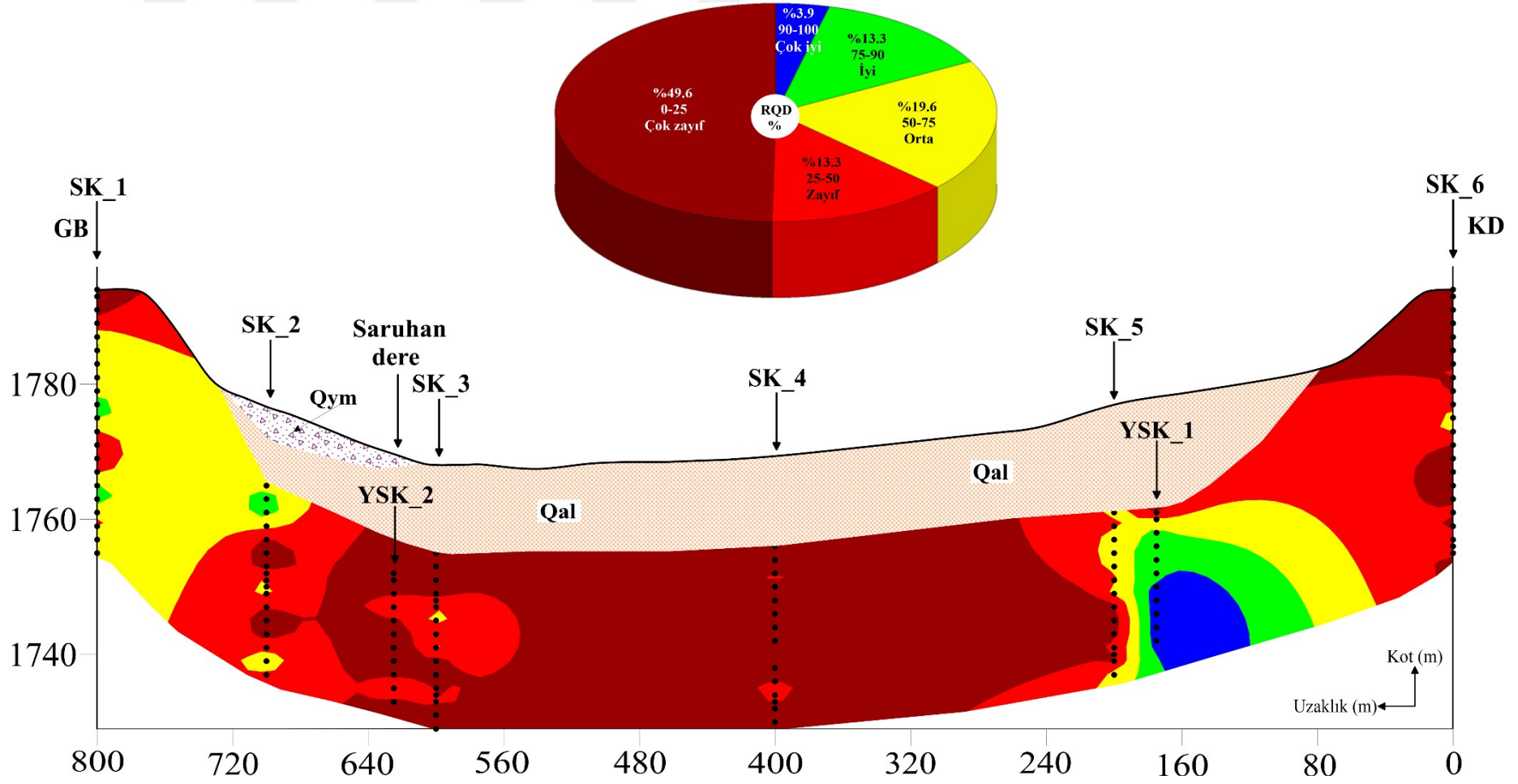
Baraj eksen yerinde yapılmış olan elektrik özdirenç ölçümlerde elde edilen özdirenç değerleri dikkate alınarak, eksen yerinin derinlikle değişen bölgelendirilmesi iki farklı dizilim türü (Wenner, Wenner-Schlumberger) kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.23 ve 5.24). Buna göre baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan EH_3 nolu elektrik özdirenç ölçümünde yaklaşık 0-15 m derinlik aralığında özdirenç değerleri 20-150 Ohm.m arasında değişmekte olup, bu zon alüvyon zemine karşılık gelmektedir. Metamorfik kaya kütlesine ait özdirenç değişimleri ise yüzeyden derine doğru genellikle artmakta olup, 150-950 Ohm.m arasında değişmektedir. Bu durum kaya kütlesinin derinlere inildikçe çok çatlaklı kırıklıdan, az çatlaklı kırıklı yapıya geçiş göstermektedir. Sağ yamaç EH_3 ile orta zon EH_5 arasında yapılmış olan elektrik özdirenç ölçümlerinde özdirenç değerlerinin 550 Ohm.m'den 150 Ohm.m'ye düşmesi ve kaya kütlesinin az çatlaklı kırıklı özellikten parçalanmış kaya özelliğine geçiş göstermesi bu hatlar arasında fay olasılığını arttırmaktadır. Sol yamaçta

yapılmış olan EH_9 ile EH_7 arasındaki kaya kütlelerinde düşük özdirenç değerleri ölçülmesi Saruhan Dereye ve az çatlaklı kırıklı kaya kütlelerinden parçalanmış kaya kütlelerine geçiş göstermesine bağlı olup, ortam tamamen doygun özellikte olduğu için düşük özdirenç değerleri vermektedir. Bu durum olası fay yapısını ifade etmektedir. EH_7 ile EH_5 arasındaki özdirenç değerleri irdelendiğinde, 250 Ohm.m özdirenç değerinin 80 Ohm.m değerine ani bir düşüş göstermesi ve kaya kütlelerinin parçalanmış özellik göstermesi bu bölgede fay olasılığını belirtmektedir. Ayrıca iki farklı dizilim (Wenner, Wenner-Schlumberger) türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Kazı öncesi ve kazı sonrası alınan elektrik özdirenç bölgelendirmelerinin belirlenen hedef derinliklerde birbirlerini denetledikleri görülmektedir.

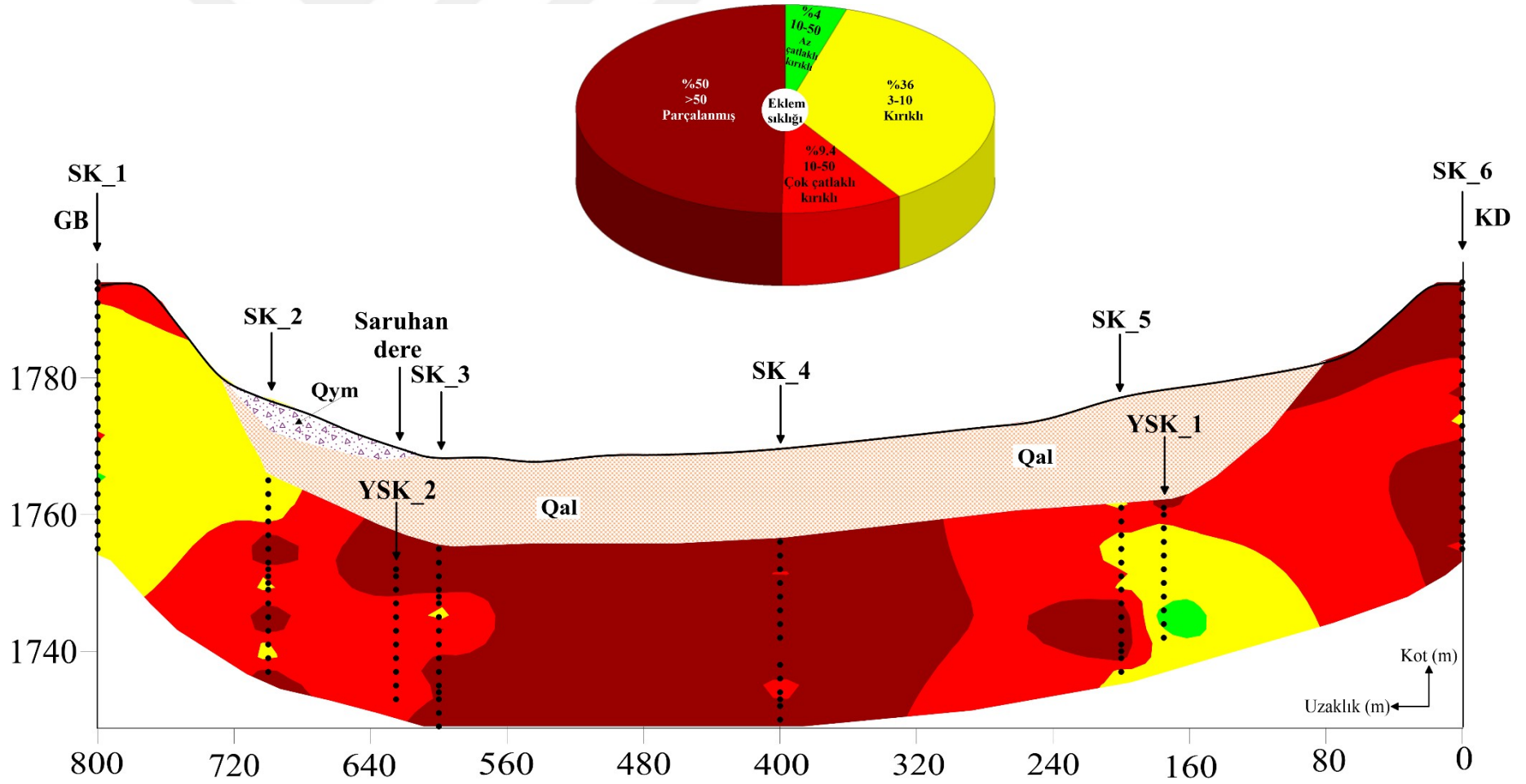
Baraj eksen yerinde yapılan GPR ölçümlerinde 100 ve 25 MHz merkez frekanslı korumasız antenler kullanılarak GPR kesitleri elde edilmiştir (Şekil 5.25 ve 5.26). Bu kesitlere göre, toprak örtü kalınlığı yaklaşık 0-3 m ve alüvyon-anakaya sınırı 0-14 m aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. 25 MHz anten ile alınan GPR kesitlerinde güçlü hiperbolik yansımalar (RH-1G, RH-3G ve RH-6G arası) gösteren hız analizinde yaklaşık 0.3 mns^{-1} hıza sahip olan yeraltıyla ilişkisiz (yüksek gerilim hattından kaynaklandığı düşünülen) yansımalar gözlemlenmiştir. Baraj eksen yeri sağ yamaçta yapılan RH_2 nolu radar ölçümünde yaklaşık 0-14 m derinlik aralığı bu zon alüvyon zemin özelliğini göstermekte olup güçlü yansımalar gösteren süreksizlik sınırlarına (RH-1A, RH-1B, RH-1C) sahiptir. Sağ yamaç RH_2 ile orta zon EH_4 arasında yapılmış olan GPR ölçümlerinde yüksek genlik değerine sahip süreksizliklerin o bölgedeki sondajlar (SK_4, SK_5) ile ilişkilendirildiğinde kaya kütlelerinin bu süreksizlik düzlemlerinde az çatlaklı kırıklı ve parçalanmış kaya özelliğinde olduğu görülmektedir. Sol yamaçta yapılmış olan RH_8 ile RH_6 arasındaki GPR ölçümleri yakın sondajlar (SK_2, SK_3) ile ilişkilendirildiğinde yüksek genlikli eğimli yansımaların çatlaklı kırıklı kaya kütlelerini karakterize etmektedir. Ayrıca 25 MHz merkez frekanslı anten ile alınan GPR kesitleri bütün olarak değerlendirildiğinde RH_3-RH_6 arası hatlarda yüksek genliğe sahip yansımaların (RH-1A_RH-6A ve RH-1B_RH-6B) baraj eksen yeri boyunca devamlılık gösterdiği belirlenmiştir. Aynı şekilde 100 MHz merkez frekanslı anten ile alınan GPR kesitlerinde (RH_4-RH_6) ise yüksek genliğe sahip yansımalarında (RH-4X, RH-5X, RH-6X) benzer devamlılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bu benzer devamlılık gösteren GPR yansımaların jeolojik olarak aynı birimi karakterize ettiği söylenebilir.



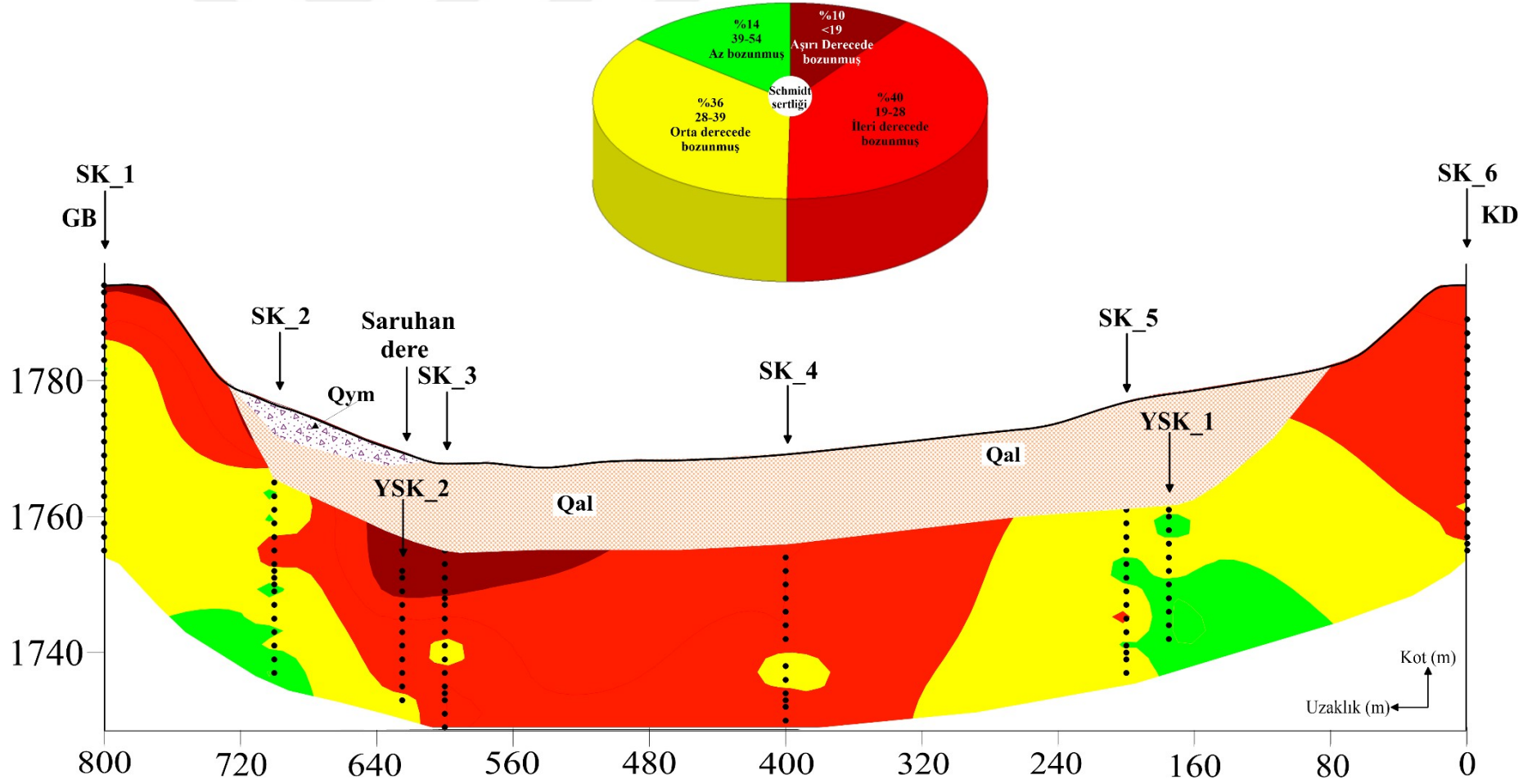
Şekil 5.16. Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre litoloji bölgelendirmesi



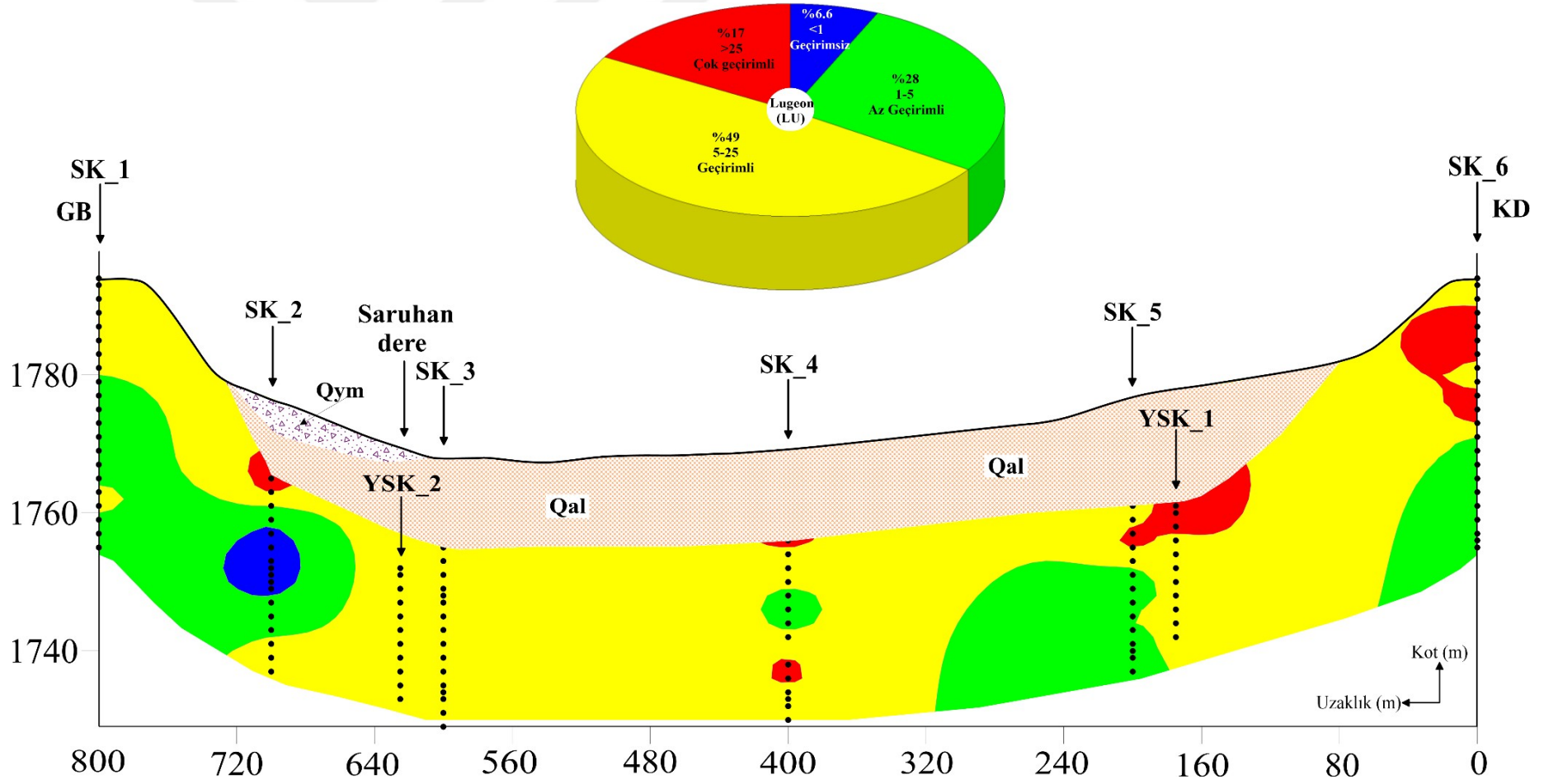
Şekil 5.17. Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre RQD % bölgelelendirmesi



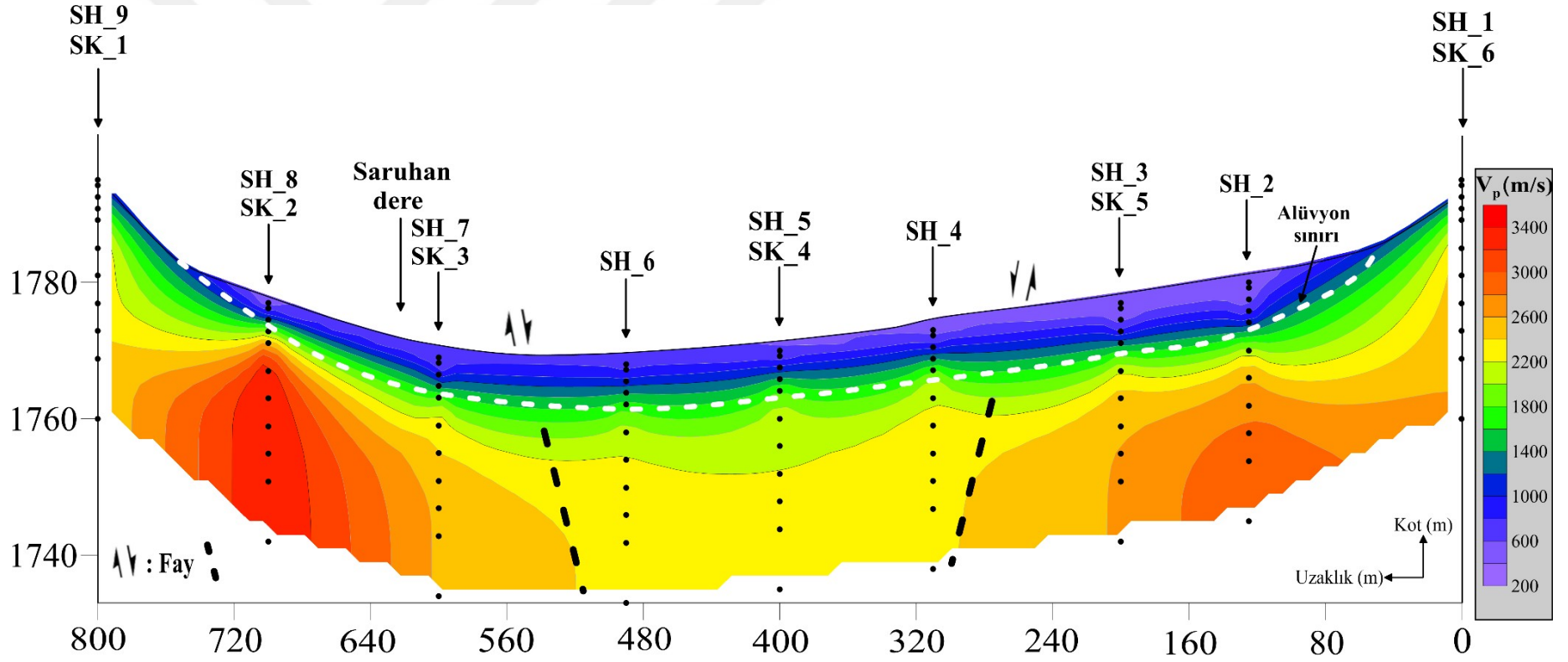
Şekil 5.18. Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre eklem sıklığı bölgelendirmesi



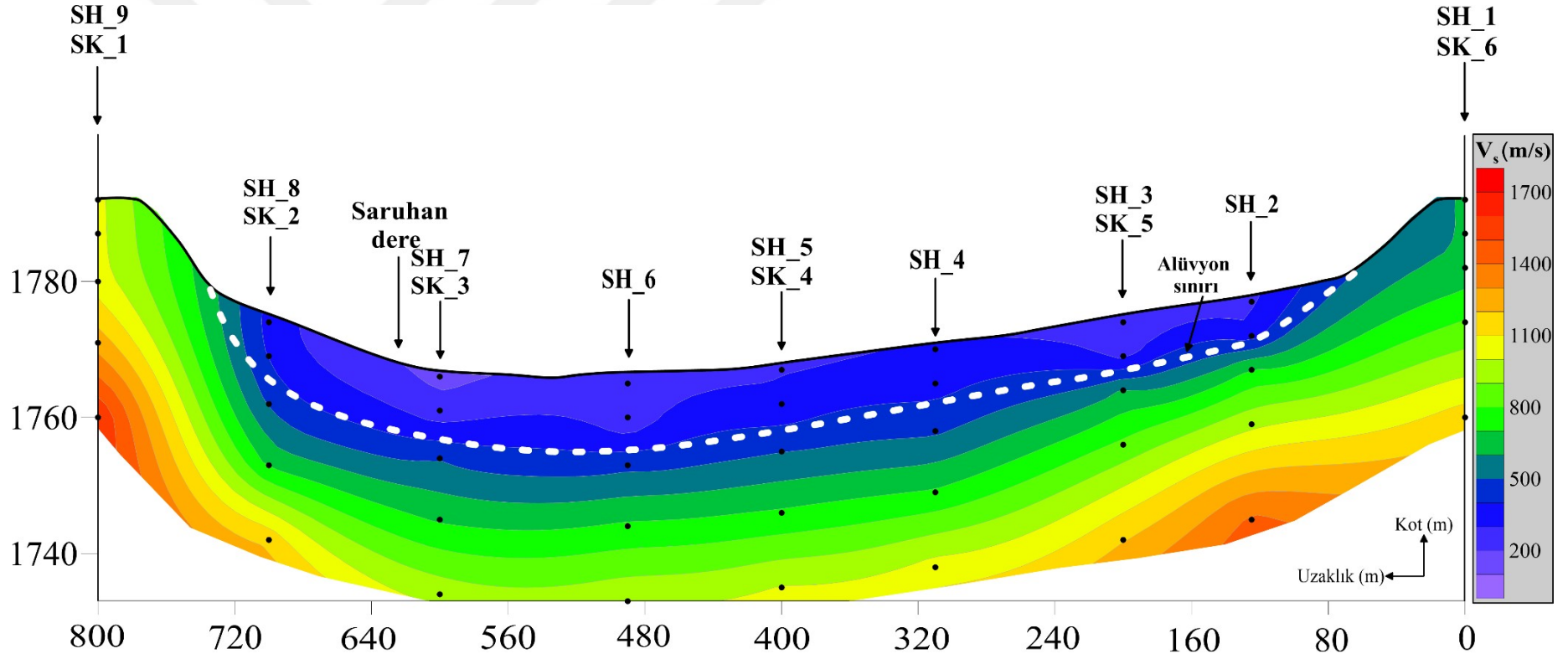
Şekil 5.19. Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre Schmidt sertliği bölgelendirmesi



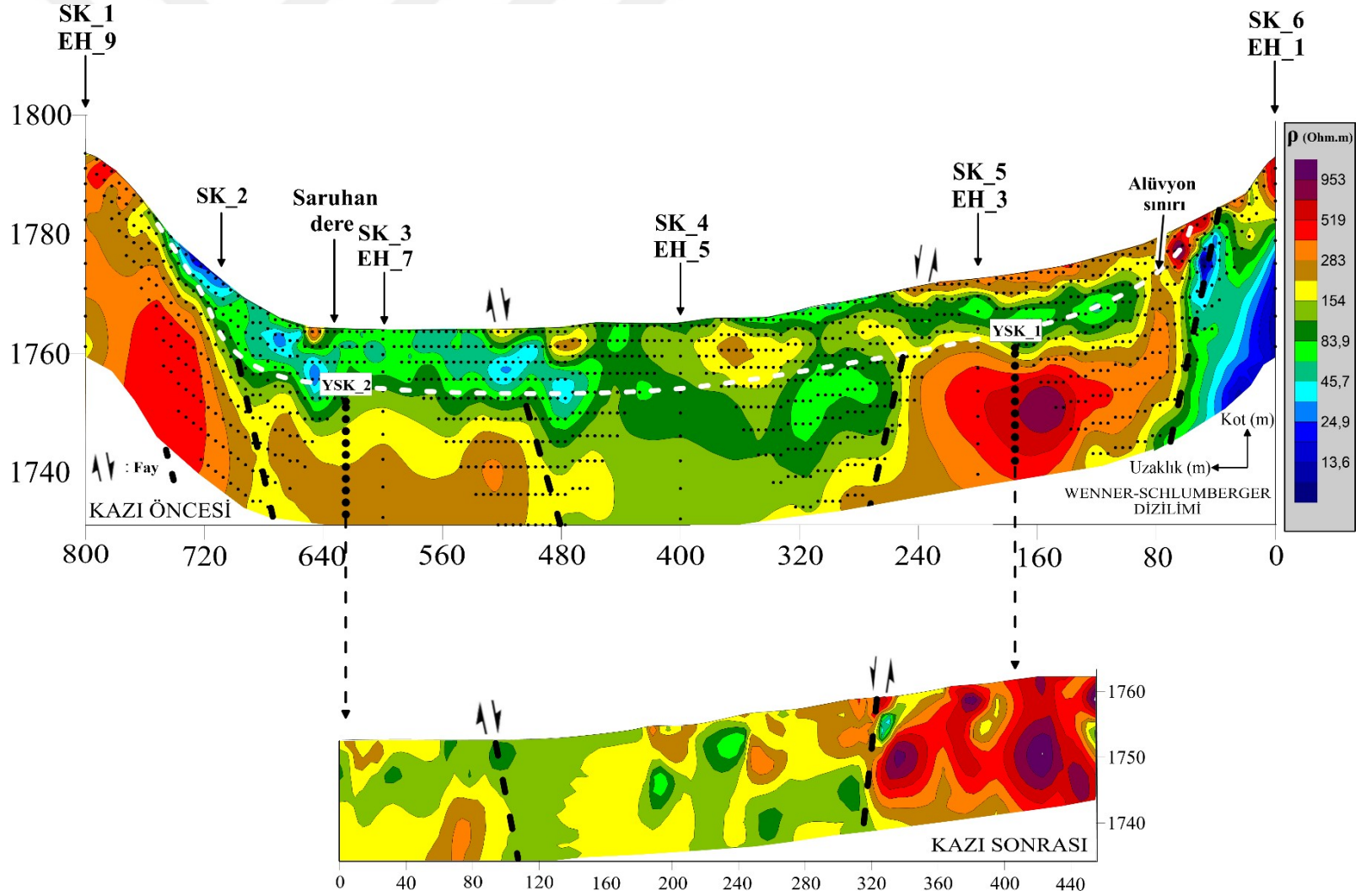
Şekil 5.20. Baraj eksen yerinde sondaj verilerine göre Lugeon bölgelendirmesi



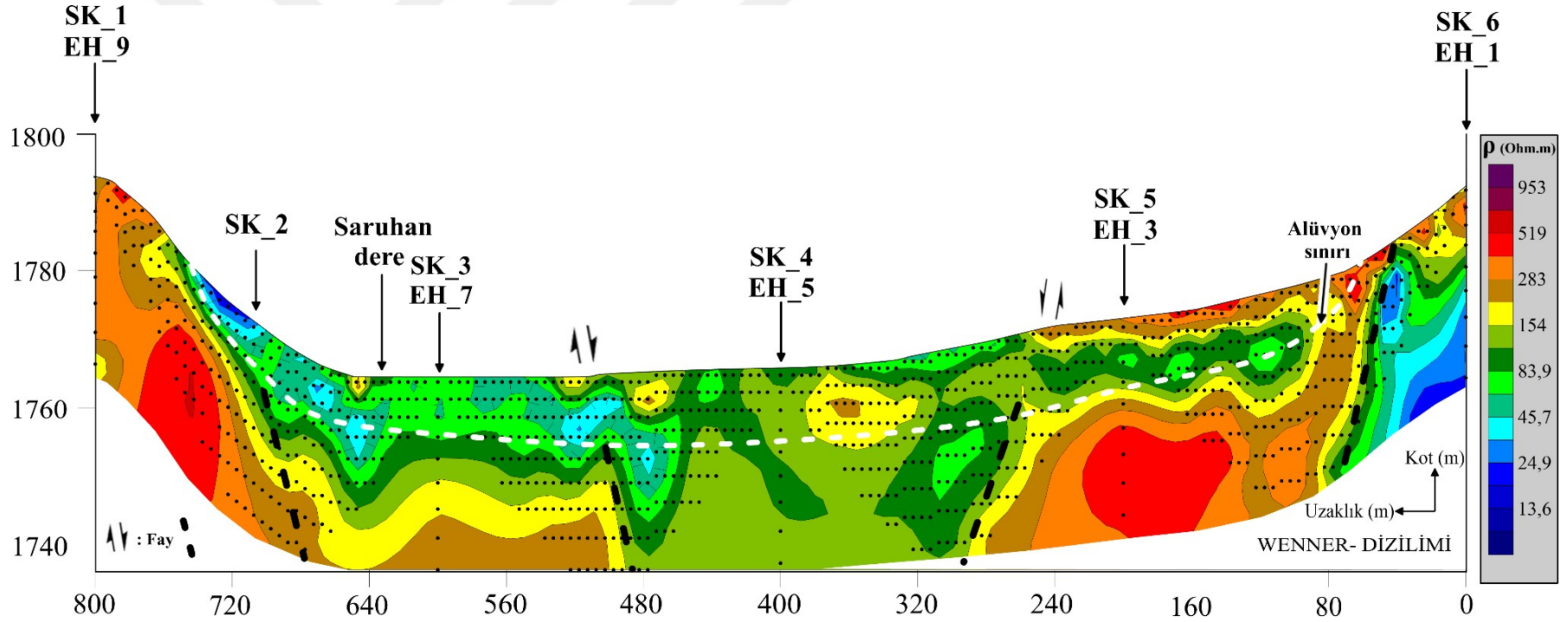
Şekil 5.21. Baraj eksen yerinde sismik kırılma ölçümlerine göre V_p hızı bölgelendirmesi



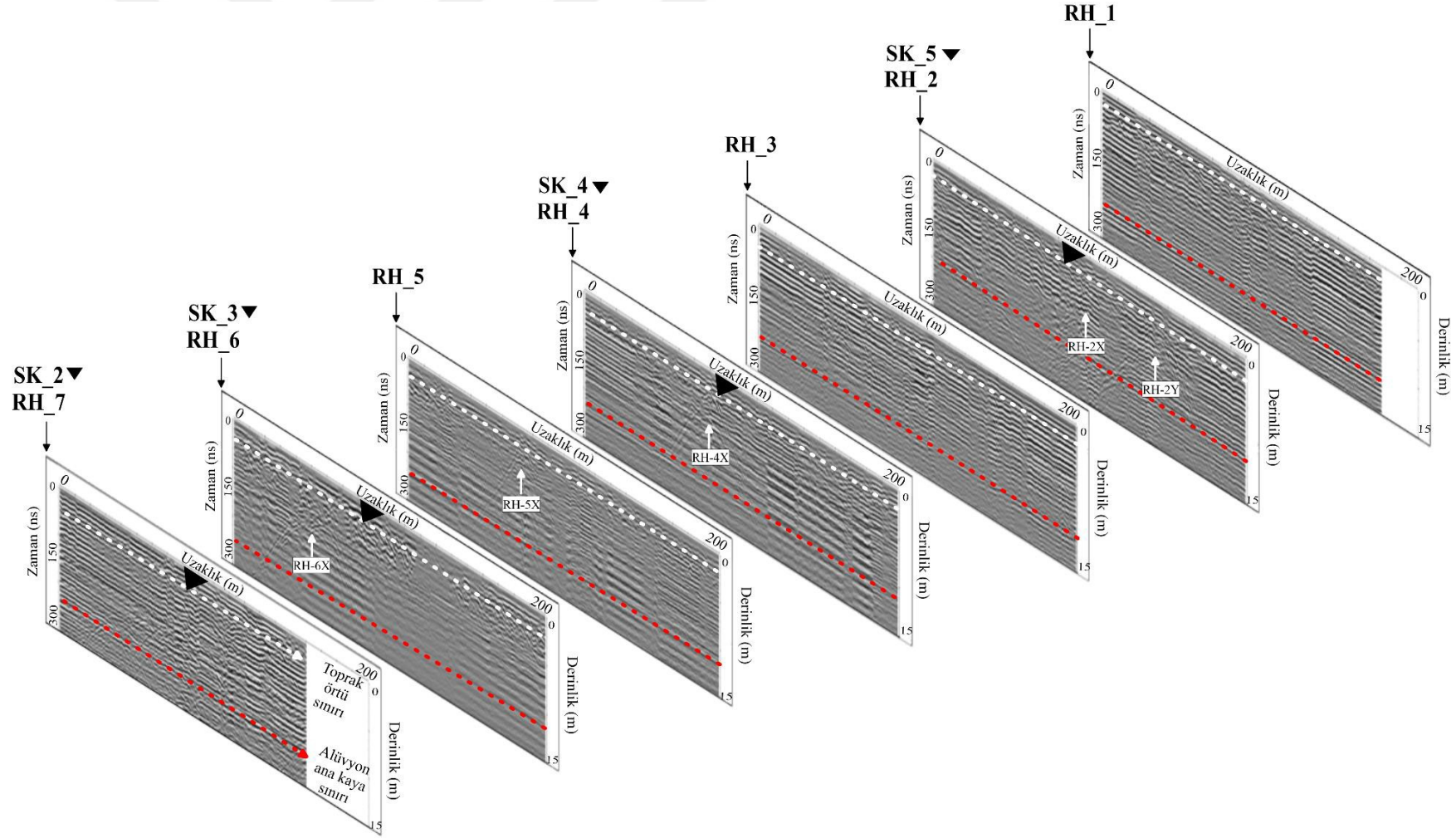
Şekil 5.22. Baraj eksen yerinde ÇKYD ölçümlerine göre V_s hızı bölgelendirmesi



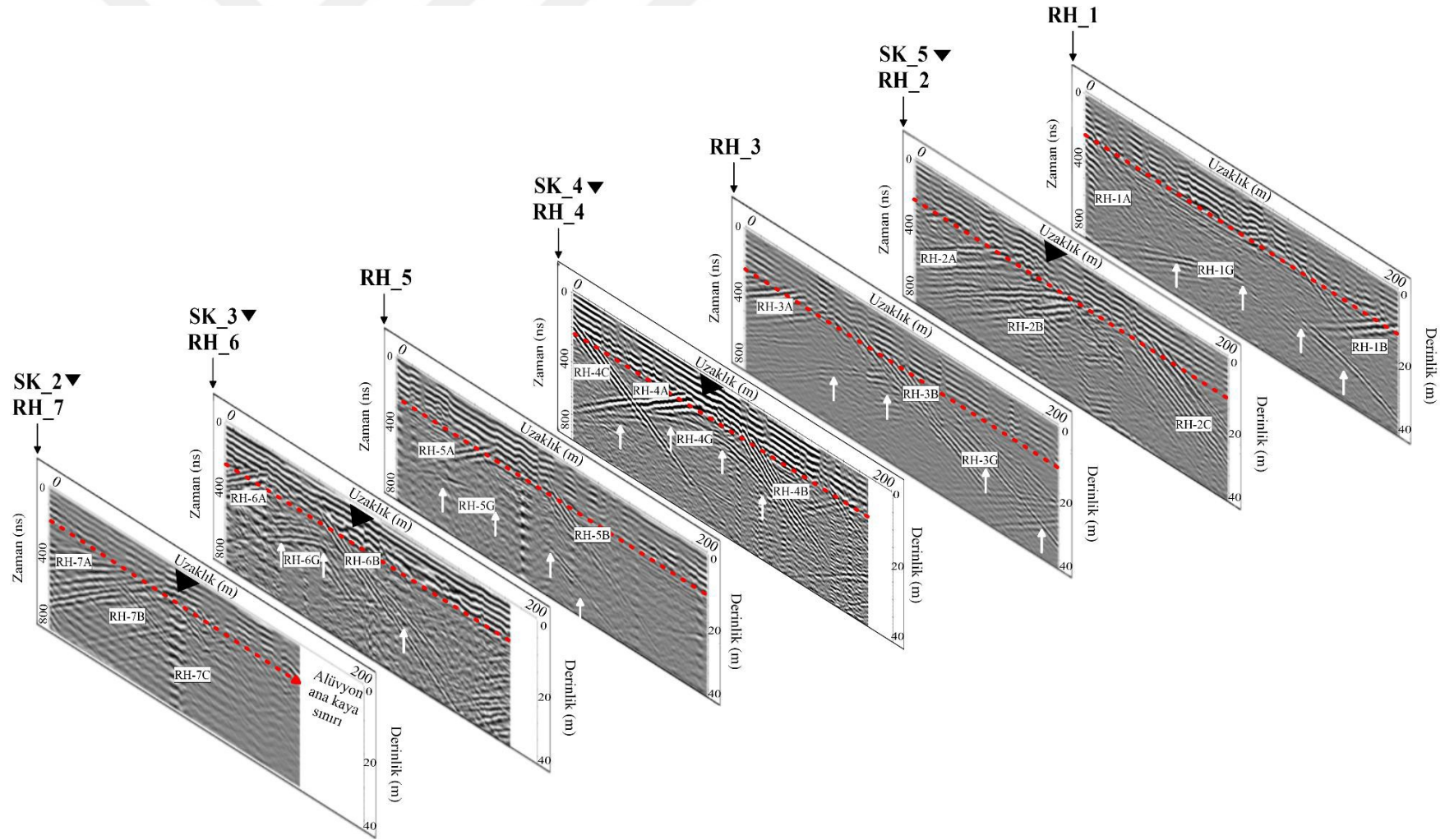
Şekil 5.23. Baraj eksen yerinde elektrik öz direnç ölçümlerine göre Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen öz direnç bölgeselendirilmesi



Şekil 5.24. Baraj eksen yerinde elektrik öz direnç ölçümlerine göre Wenner dizilimi ile elde edilen öz direnç bölgelendirmesi



Şekil 5.25. Çalışma alanında belirlenen hatlardan elde edilen GPR kesitlerinin (100 MHz lik) ölçü konumlarına göre yerleştirilmesi sonucu elde edilen görünüm



Şekil 5.26. Çalışma alanında belirlenen hatlardan elde edilen GPR kesitlerinin (25 MHz lik) ölçü konumlarına göre yerleştirilmesi sonucu elde edilen görünüm

Yapılan bölgelendirme kesitlerinde kullanılan parametreler; RQD, eklem sıklığı, Schmidt sertliği, V_p dalga hızı, V_s dalga hızı, elektrik özdirenç ve Lugeon olup, bu parametrelerin birbirlerini ilişkili olduğu görülmektedir. RQD, Schmidt sertliği, V_p dalga hızı, V_s dalga hızı ve elektrik özdirenç değerlerinin yüksek olması kaya kütlelerinin çatlaklı özellikten masif özelliğe doğru değiştiğini, bu değerlerin düşük olması ise kaya kütlelerinin masif özellikten eklemli veya ayrılmış özelliğe geçiş gösterdiğini belirtmektedir. RQD değerinin yüksek olması, eklem sıklığını değerinin düşük olduğunu belirtmektedir. Metamorfik kaya kütleleri için ifade edilen parametrelerin birbirlerini denetledikleri yapılan bölgelendirme kesitlerinde görülmektedir. Ancak Lugeon parametresi ile diğer parametreler değerlendirildiğinde, Lugeon değerlerinin azalması ile RQD, Schmidt sertliği, P dalga hızı, S dalga hızı ve elektrik özdirenç değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bu durum kaya kütlelerinin eklemli özellikten masif yapıya geçiş gösterdiğini belirtmektedir. Kaya kütlelerine ait Lugeon değeri geçirimsizliği etkileyen yukarıda belirtilen parametreler ile birebir değerlendirildiğinde istatistiksel olarak çok yüksek anlamlılıklar vermemektedir. Bu sebeple değerlendirmelerde geçirimsiz, az geçirimli, geçirimli ve çok geçirimli sınıf aralıkları arasında parametre değerlerinin geçişli özellik gösterdiği görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda, inceleme alanındaki metamorfik kaya kütlelerine ait geçirimsizlik değerlendirmesi açısından Lugeon değerleri ile anlamlı ilişkiler sunan parametreler değerlendirilerek bir geçirimsizlik sınıflaması üretilmiştir (Tablo 5.10).

Tablo 5.10. Metamorfik kaya kütleleri ve alüvyon zona ait geçirimsizlik sınıflaması

Lugeon	Tanımlama	Litoloji	Derinlik (m)	Schmidt Sertliği	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Özdirenç (Ohm.m)
<1	Geçirimsiz	Metamorfik Kaya Kütleleri (Kuvars-Mika-Şist)	24-36	30-45	2000-3500	950-1300	300-950
1-5	Az geçirimli		8-36	20-45	1500-3200	640-1230	10-600
5-25	Geçirimli		6-36	10-45	1300-3500	670-1280	40-560
>25	Çok geçirimli		6-22	20-40	950-2000	550-950	10-300

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda Lugeon geçirimsizlik sınıflama aralıkları dikkate alınarak, oluşturulan geçirimsizlik sınıflamasında litolojik derinlik, Schmidt sertliği, P dalga hızı, S dalga hızı ve özdirenç değerleri kullanılmıştır. Buna göre inceleme alanında yayılım gösteren metamorfik kaya kütlelerinde yapılan Lugeon sınıflamasının derinlikle değişimi incelendiğinde, 0-24 m arası az geçirimli-geçirimli ve

çok geçirimli (geçirimli zon) özellikte olup, 24-36 m arası geçirimsiz özellik göstermesinin yanı sıra, diğer Lugeon sınıf aralıklarını da içeren geçişli bir özellik sunmaktadır.

Lugeon sınıf aralıkları ile Schmidt sertliği değerleri karşılaştırıldığında, 10-30 arası değişen Schmidt sertliği değerli geçirimli zonu karakterize ederken, 30-45 arası değer alan metamorfik kaya kütlesi geçirimsiz özellik göstermenin yanı sıra geçirimli zonu da ifade etmektedir. Lugeon değerleri ile P dalga hızı karşılaştırıldığında, 950 m/s-2000 m/s arası değişen hız değerleri geçirimli zonu karakterize ederken, 2000 m/s-3500m/s arası değer alan kaya kütlesi geçirimsiz özellik göstermenin yanı sıra geçirimli zonu da ifade etmektedir. Lugeon değerleri ile S dalga hızı karşılaştırıldığında, 550 m/s-950 m/s arası değişen hız değerleri geçirimli zonu karakterize ederken, 950 m/s-1300 m/s arası değer alan metamorfik kaya kütlesi geçirimsiz özellik göstermenin yanı sıra geçirimli zonu da belirtmektedir. Aynı değer aralıklarının hem geçirimli hemde geçirimsiz davranması, süreksizliklerdeki dolgu özellikleri ve süreksizlik açıklıklarının derinlikle litolojik yük altında kapanması gibi belirsizliklerden kaynaklanmaktadır.

ÇKYD verilerinin ters çözüm sonuçlarının hemen hemen hepsi artan hız modelleri verdiği için V_s bölgelendirmesi yanal yönde homejen bir yapı göstermektedir. Ayrıca, ÇKYD verilerinden elde edilen dispersiyon eğrisinin düşük frekanslarında yüksek hızdan düşük hıza ani düşüş ya kalın bir yüzey tabakasını ya da düşük hızlı bir ara tabakadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnceleme alanında yapılan jeofizik yöntemlerden SKT, ÇKYD ve EÖT ölçümleri sonucunda elde edilen P-S dalga hızları ve özdirenç değerleri dikkate alınarak yapılan bölgelendirmelerde alüvyon zonu karakterize eden hız değerleri sınırlandırılmıştır. Buna göre P dalga hızı 300-950 m/s, S dalga hızı 175-500 m/s ve özdirenç değerleri 20-150 Ohm.m arasında değişmektedir. Bu değişim inceleme alanında yapılan litoloji bölgelendirmesi ile de karşılaştırılarak yaklaşık 0-15 m derinlikte alüvyon zonun değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Baraj eksen yeri GPR kesitleri, ölçü konumlarına göre yerleştirildiğinde yüksek genlikli süreksizliklere sahip olup süreksizlik uzanımlarının yeraltındaki farklı oluşumlarla (fay gibi) farklı yönlerde devamlılık göstermesinden dolayı geneli itibariyle geçirimli özellikte olduğu söylenebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bayburt Kırklartepe Barajı eksen yeri ve göl alanının kaya kütle geçirimsizlik özellikleri yerinde yapılan jeofizik ölçümler ve deneyler ile incelenerek elde edilen sonuçlar:

- 1) İnceleme alanında uygulanan jeofizik yöntemlerden SKT, ÇKYD ve EÖT ile yapılan ölçüm sonuçlarından elde edilen P dalga hızı 300-950 m/s ve S dalga hızı 175-500 m/s ve öz direnç değerleri 20-150 Ohm.m arasında değişmekte olup, bu değişimler dikkate alınarak yapılan bölgelendirmelerde, alüvyon zonu karakterize eden hız ve öz direnç değerleri sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu değişimler; inceleme alanında yapılan litoloji bölgelendirmesi ile de karşılaştırıldığında, örtü alüvyon zon kalınlığının yaklaşık 0-15 m derinlik aralığında değiştiği belirlenmiştir.
- 2) Yapılan EÖT ve SKT ölçümlerinden elde edilen kesitler (Şekil 5.21, Şekil 5.23) incelendiğinde KB-GD doğrultusunda muhtemel iki fay belirlenmiştir. Bu faylar; SK_3- SK_5 nolu sondajlar arasındaki metamorfik kaya kütesinden alınan karot örneklerinin incelenmesi sonucunda yanal ve düşey yöndeki değişimlerinden de tespit edilmiştir. Ayrıca EÖT çalışmalarında Schlumberger ve Wenner-Schlumberger dizilimleri ile elde edilen kesitler (Şekil 5.23, Şekil 5.24) incelendiğinde, belirlenmiş iki fayın haricinde 2 olası fay daha tespit edilmiştir. Bu faylar; SK_2 nolu sondaj kuyusunun hemen altına ve SK_6 nolu sondaj kuyusunun yaklaşık 60 m GB' sına denk gelmektedir.
- 3) İnceleme alanından elde edilen GPR kesitleri ölçü konumlarına göre yerleştirildiğinde, kesitlerdeki yüksek genlikli süreksizliklerin baraj eksenini boyunca farklı yönlerde devamlılık gösterdiğinden baraj eksen yeri genel itibariyle geçirimsiz özellikte olduğu söylenebilir.
- 4) Baraj eksen yerindeki RH_3-RH_6 nolu hatlara ait GPR kesitlerindeki yüksek genlikli eğik duran yansımalar (RH-3A ve RH-6A arası, RH-3B ve RH-6B arası) ölçü hatları boyunca devamlılık göstermektedir. Ayrıca orta zonda bulunan RH_4 ve RH_5 nolu GPR kesitlerindeki RH-4A, RH-4B, RH-5A ve RH-5B yansımalarının diğer kesitlerdeki yansımalarla karşılaştırıldığında, yerlerinin otelenmiş olması,

aynı hatlarda elde edilen özdirenç ve P dalga hızı bölgelendirmelerinden tespit edilen fayların hareketliliği sonucunda oluşmuş olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

- 5) İnceleme alanındaki GPR hatlarında, 25 MHz merkez frekanslı antenlerle ölçülen RH_1, RH_3-RH_6 daki kesitlerde gözlenen yüksek genlikli hiperbolik yansımalar (RH-1G, RH-3G, RH-4G, RH-5G ve RH-6G); hız analizi sonucunda yaklaşık 0.3 mns^{-1} lik elektromanyetik dalga hız bilgisi sunmuştur. Bu değer; ölçü hatlarına yaklaşık 80-100 m uzaklıktaki yüksek gerilim hattından kaynaklanan yansıma ait hız değerini temsil etmektedir.
- 6) İncelenen barajın eksen ve göl alan yerinde, kazı öncesi ve kazı sonrası alınan SKT ve EÖT sonuçlarında elde edilen yeraltı kesitlerinin, birbirleriyle uyumlu yeraltı geometrisini ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.
- 7) Baraj eksen yerindeki anakayayı oluşturan Pulur metamorfiklerine ait kaya kütlelerinin geçirimsizliğini dolaylı yöntemlerle belirlemek için, LU ile Schmidt sertliği (ayırışma derecesi) parametreleri arasında zayıf ve negatif korelasyon sunan eşitlik üssel olup,

$$\text{LU} = 2352.3(\text{Sch})^{-1.782} \quad (r=0.41)$$

şekilde hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan belirlenen VAF= %8.25 ve RMSE= 10.29 değerleri çok kötü performans göstergesidir. Ayrıca yapılan çapraz korelasyon hesaplamaları sonucunda, korelasyon katsayısı 0.34 olup, belirlenen deneysel eşitliğin, düşük tahmin kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

LU ile V_p değerleri arasında iyi ve negatif korelasyon sunan eşitlik;

$$\text{LU} = -22.22 \ln(V_p) + 181.21 \quad (r=0.62)$$

şeklinde logaritmik olup, bunun için hesaplanan VAF= %38.97 ve RMSE= 7.83 değerleri, hesaplamanın orta performans gösterdiğinin kanıtıdır. Burada yapılan çapraz korelasyon hesaplaması sonucundaki korelasyon katsayısı 0.62 olarak belirlenmiştir. Böylece belirlenen eşitliğin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğu ortaya konulmuştur.

LU ile özdirenç değerleri arasında orta ve negatif korelasyon sunan eşitlik logaritmik olup,

$$\text{LU} = 18.89e^{-0.005\rho} \quad (r=0.54)$$

bu eşitliğe ait VAF= %12.76 ve RMSE= 10.09 değerlerine göre kötü performans göstermektedir. Burada yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon

katsayısı 0.37 olarak belirlenmiştir. Böylece belirlenen eşitlik düşük tahmin kapasitesine sahiptir.

LU ile V_s değerleri arasında iyi ve negatif korelasyon sunan eşitlik logaritmik olup,

$$LU = -28.61 \ln(V_s) + 205.65 \quad (r=0.67)$$

bu eşitliğe ait VAF= %44.43 ve RMSE= 7.48 değerine göre orta performans göstermektedir. Yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.67 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, eşitliğin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

LU ile derinlik değerleri arasında orta ve negatif korelasyon sunan eşitlik logaritmik olup,

$$LU = -0.5559d + 24.937 \quad (r=0.48)$$

bu eşitliğe ait VAF= %23.09 ve RMSE= 8.79 değerine göre kötü performans göstermektedir. Yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.48 olarak belirlenmiştir. Böylece belirlenen eşitliğin yetersiz tahmin kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

- 8) Bu tez çalışmasında yapılan regresyon analizlerinden en iyi performans gösteren eşitliklerin LU- V_p ve LU- V_s arasında olduğu tespit edilmiştir. Diğer parametrelerden elde edilen eşitliklerin kendi içerisinde anlamlı olmasına rağmen, istatistiksel olarak ve üretilen performans değerlendirmelerinde kötü-düşük anlamlılık ifade etmektedir.
- 9) İnceleme alanındaki ana kaya kütesine ait Lugeon değerleri ile geçirimsizliği etkileyen parametreler (RQD, Schmidt sertliği, özdirenç, derinlik) birebir değerlendirildiğinde, istatistiksel olarak çok yüksek anlamlılıklar vermemesinin sebebi; yapılan değerlendirmelerde geçirimsiz, az geçirimli, geçirimli ve çok geçirimli sınıf aralıkları arasında, parametre değerlerinin geçişli özellik göstermesindedir.
- 10) Baraj eksen yerinde metamorfik kaya kütesinde yapılan bölgelendirme kesitlerinde kullanılan parametreler; RQD, eklem sıklığı, Schmidt sertliği, P-dalga hızı, S-dalga hızı, elektrik özdirenç ve Lugeon olup, kaya kütle geçirimsizliği açısından bu parametrelerin birbirlerini denetledikleri istatistiksel olarak da belirlenmiştir. RQD, Schmidt sertliği, V_p dalga hızı, V_s dalga hızı ve elektrik özdirenç değerlerinin yüksek olması kaya kütesinin çatlaklı özellikten

masif özelliğe doğru değiştiğini, bu değerlerin düşük olması ise kaya kütlelerinin masif özellikten eklemli veya ayrıışmış özelliğe geçiş gösterdiğini belirtmektedir. Lugeon parametresi ile diğer parametreler karşılaştırıldığında; Lugeon değerlerinin azalması ile RQD, Schmidt sertliği, P dalga hızı, S dalga hızı ve elektrik özdirenç değerlerinin yükseldiği, artması ile bu parametrelerin değerlerinin azaldığı görülmektedir.

- 11) Baraj eksen yeri için yapılan istatistiksel değerlendirmeler ve bölgelendirmeler sonucunda, Lugeon geçirimsizlik sınıf aralıkları dikkate alınarak, oluşturulan geçirimsizlik sınıflamasında litolojik derinlik, Schmidt sertliği, P dalga hızı, S dalga hızı ve özdirenç değerleri karşılaştırılarak inceleme alanında yayılım gösteren metamorfik kaya kütleleri geçirimsiz özelliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır.
- 12) İnceleme alanındaki metamorfik kaya kütlelerine ait geçirimsizlik değerlendirmesi açısından Lugeon değerleri ile anlamlı ilişkiler sunan parametreler değerlendirilerek bir geçirimsizlik sınıflaması üretilmiştir.

Bu tezde edinilen sonuçlar ve arazi şartları dikkate alınarak yapılan öneriler:

- 1) Bu tez çalışmasında incelenen Bayburt Kırklartepe Baraj alanının, Kuzey Anadolu Fay Zonuna oldukça yakın olması nedeniyle, yüksek maliyet gerektiren yapılardan biri olan bu baraj inşasında, olası depremlerden barajın olumsuz etkilenmemesi için, bu tezde belirlenen yeraltı özelliklerinin dikkate alınması önerilmektedir.
- 2) Kırklartepe Barajı eksen yerinde yapılan jeofizik ve jeoteknik çalışmalarla elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, 40 m geçilen Pulur metamorfik kaya kütleleri geçirimsiz özellikte olup maksimum su seviyesi ve temel araştırma sondajları ile yapılan BST sonucunda elde edilen Lugeon değerleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda baraj eksen yerinde geçirimsizliğin sağlanması için enjeksiyon perde derinliğinin 45 m alınması önerilmiştir.
- 3) İnceleme alanlarında GPR yöntemi ile düşük merkez frekanslı korumasız antenler kullanılarak ölçüm alınırken, kayıt edilen GPR sinyallerinin çevresel gürültülerden (yüksek gerilim hatları vb) etkilenme durumu gözden kaçırılmamalıdır.

- 4) Baraj eksen yeri ve göl alanı incelemelerinde sondaj çalışmaları ve temel zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan yerinde deneylerin pahalı ve zaman alıcı olmasından dolayı, jeofizik yöntemler kullanılarak düşük maliyeli ve pratik ölçü alınabilen yöntemler ile bu gibi araştırmaların yaygınlaştırılarak gerekli görölen noktalarda sondaj yerleri belirlenmelidir.
- 5) Su tutma amaçlı yapılan tüm yapıların yeraltı koşullarındaki kaya kütle geçirimsizliğinin belirlenmesi için, bu yapıların inşasından önce, mutlaka jeofizik ve jeoteknik çalışmaları birlikte gerçekleştirilmelidir.



7. KAYNAKLAR

- Abu-Zeid, N., 1994. "Investigation of Channel Seepage Areas at the Existing Kaffrein Dam Site (Jordan) using Electrical Resistivity Measurements," Journal of Applied Geophysics 32, 2-3, 75-163.
- Abu-Zeid, N., Bianchini G., Santarato G. ve Vaccaro C., 2004. Geochemical Characterisation and Geophysical Mapping of Landfill Leachates: the Marozzo Canal Case Study (NE Italy): Environmental Geology, 45, 439-447.
- Abidin M.H.Z., Saad R., Ahmad F., Wijeyesekera D.C. ve Baharuddin M.F.T., 2011. Application of Geophysical Methods in Civil Engineering, Malaysian Technical Universities International Conference on Engineering & Technology (MUiCET 2011).
- Adedokun, T.A. ve Abubakar, A., 2016. Relationship between Hydraulic Conductivity of Rock and Rock Quality Designation of Itisi Multi-Purpose Dam, International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, ISSN: 2321-8169, 4, 4, 126 – 135
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesi'nin Jeolojisi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Albayrak, Z., 1975. Temel Sondajlarında Yapılan Permeabilite Testleri Hakkında Genel Bilgiler, DSG yayını, Ankara.
- Alemdağ S., 2015. "Assessment of bearing capacity and permeability of foundation rocks at the Gumustas Waste Dam Site NE Turkey using empirical and numerical analysis," Arabian Journal of Geosciences, 8, 2, 1099–1110.
- Aldaş, G.U., Kadioğlu, S. ve Ulugergerli, E.U., 2004. The Effects of Concealed Discontinuities in Blast Design Pattern, 4th Int. Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists, St. Petersburg-RUSSIA, Abstracts, 6-7.
- Aldaş, G.U., Kadioğlu, S. ve Ulugergerli, E.U., 2005. The Usage of Ground Penetrating Radar (GPR) in Designing Blast Pattern, Rock Mechanics and Rock Engineering, (online yayımlandı).
- Algül, E., 2011. Haydarlı Baraj Alanının Jeoteknik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Al-Fares W. and Asfahani J., 2018. Evaluation of the leakage origin in Abu Baara earthen dam using electrical resistivity tomography, northwestern Syria, Geofisica internacional, 54, 4, 223-237.

- Allen, R.M., California Geology and Society. <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching>. 12.09.2007.
- AlSaigh, N.H., Mohammed, Z.S. and Dahham, M.S. 1994. Detection of Water Leakage from Dams by Self-Potential Method, Engineering Geology, 37, 2, 115-121.
- Al-Zoubi, A.S., 2007. Use of 2D Multi Electrodes Resistivity Imagining for Sinkholes Hazard Assessment along the Eastern Part of the Dead Sea, American Journal of Environmental Sciences 3, 4, 229-233.
- Akgün, Y., 2012. Kütahya Fayı'nın Batı Kesiminin Aktif Tektoniğinin GPR ve Elektrik Özdirenç Yöntemleriyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ç.O.M.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale
- Akinrinmade, A.O., Ogunsanwo, O. ve Ige, O.O., 2013. Geophysical ve Geotechnical Investigation of River Ero, Ajuba, Southwestern Nigeria for Dam Development, International Journal of Science and Technology, 2, 7, 518-528
- Aki, K. and Richards, P.G., 2002. Quantitative Seismology, University Science Boks, Sausalito, California, 685s.
- Akyüz, S., 2010. Kargı Baraj Yeri (Çorum) Litolojik Birimlerin Geçirgenlik Özellikleri Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Annan, A. P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Mississauga, Ontario: Sensors and Software Inc.
- Annan, A. P., 2003. Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Sensors Software Inc., Mississauga, Ontario, Canada.
- Annan, A.P., 2009. "Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar", In Ground Penetrating Radar: Theory and Applications", Jol, H.M.(Ed.), Elsevier.
- Aristodemou, E., and Thomas-Betts, A., 2000. DC Resistivity and Induced Polarisation Investigations at a Waste Disposal Site and its Environments, Journal of Applied Geophysics, 44, 275-302.
- Arslan, A.T., 1999. Kanak Barajı (Sivas- Şarkışla) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi İncelemesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Arslan, M., Şen, C., Aliyazıcıoğlu, İ., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z., 2000. Comparative Geology, Mineralogy and Petrology of Eocene Volcanics in Trabzon and Gümüşhane Areas (NE, Turkey). Earth Science and Mining Conference, Journal of Conference Book, 1, 39-53.

- Asfahani, J., 2010. Geophysical Case Study of Shallow and Deep Structures Based on Traditional and Modified Interpretation Methods, Application to Tectonic Studies and Mineral Exploration, Exploration and Mining Geology, 19, 3-4, 117-134.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ. ve Kaygusuz, A., 2014. K-Ar dating, Whole-Rock and Sr-Nd Isotope Geochemistry of Calc-Alkaline Volcanic Rocks around the Gümüşhane Area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey, Mineralogy and Petrology, 108, 245-267.
- Ateş, B., 2017. Kartaldere Köyü (Elazığ) Jeotermal Sahasının Jeofizik (Elektrik Özdirenç ve Sismik) Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Atıcı, S., 2010. Lugeon Deney Sonuçlarının Kaya Ortamların Hidrojeolojik Karakterizasyonu Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aydınçakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early Eocene Non-Adakitic Volcanism in NE Turkey, Constraints on the Geodynamic Implications. Lithos, 208-209, 361-377.
- Bano, M., Marquis, G., Niviere, B., Maurin, J.C. ve Cushing, M., 2000. Investigating Alluvial and Tectonic Features with Ground Penetrating Radar and Analyzing Differactions Paterns, Journal of Applied Geophysics, 43, 3-41.
- Bano, M., Pivot, F. ve Methelot, J.M., 1999. Modelling and Filtering of Surface Scattering in Ground-Penetrating Radar Waves. First Break, 17, 215–222.
- Barker, R.D., 1981. Offset System of Electrical Resistivity Sounding and its use With a Multicore Cable, Geophysical Prospecting 29, 1, 128-143.
- Barton, N., 2004. The Theory Behind High Pressure Grouting-Part 1. Tunnels & Tunnelling International, September, 28-30.
- Baykal, F., 1952. Kelkit-Şiran Bölgesinde Jeolojik Araştırmalar, MTA raporu 2205, Ankara.
- Bedrosian, P.A., Burton, B.L., Powers, M.H., Minsley, B.J., Phillips, J.D. ve Hunter, L.E., 2012. Geophysical Investigations of Geology and Structure at the Martis Creek Dam, Truckee, California. Journal of Applied Geophysics, 77, 7-20.
- Benedetto, A., Tosti, F., Bianchini Ciampoli, L. ve D'Amico, F., 2017. An Overview of Ground-Penetrating Radar Signal Processing Techniques for Road Inspections. Signal Process. 132, 201–209.
- Beng T. S., Seng Y. K. ve Choo L. W., 1982. A Seismic Refraction Survey for an Expressway Project in Singapore. Bulletin of the International Association of

Engineering Geology – Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, **26**,1, 321–326.

- Benson, A.K., 1995. Applications of Ground Penetrating Radar in Assessing Some Geological Hazards, Examples of Groundwater Contaminants, Faults, Cavities, Journal of Applied Geophysics, 33, 177- 193.
- Brixova, B., Mosn A., Putiska R.E., 2018. Applications of Shallow Seismic Refraction Measurements in the Western Carpathians (Slovakia): Case Studies, Contributions to Geophysics and Geodesy, 48, 1, 1-21
- Binley, A., Cassiani, G., Middleton R., and Winship P., 2002. Vadose Zone Flow Model Parameterisation using Cross-Borehole Radar and Resistivity Imaging: Journal of Hydrology, 267, 147-159.
- Birkelo, B.A., Steeples D.W., Miller R.D. and Sophocleous M., 1987. Seismic Reflection Study of a Shallow Aquifer during a Pumping Test. Ground Water, 25, 703-709.
- Boleve, A., Janod, F., Revil, A., Lafon, A. and Fry J., 2011. Localization and Quantification of Leakages in Dams using Time-Lapse Selfpotential Measurements Associated with Salt Tracer Injection. Journal of Hydrology, 403, 242-252.
- Bruno, P.P.G. and Godio A., 1997. Environmental Risk Assessment of a Shallow Aquifer in “Piana Campana” (Italy): a field comparison between seismic refraction and reflection methods. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2, 61-76.
- Butler, D. K. and Llopis, J. L., 1990. “Assessment of Anomalous Seepage Conditions.” Geotechnical and Environmental Geophysics, 2, Environmental and Groundwater. S. H. Ward, ed., Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Cardarelli, E., Cercato M. ve De Donno G., 2014. Characterization of an Earth-Filled Dam through the Combined use of Electrical Resistivity Tomography, P and SH wave Seismic Tomography and Surface Wave Data. Journal of Applied Geophysics, 106, 87–95.
- Ceylan, Ç., 2015. Battalgazi (Malatya) Kampüs Alanının Sedimantolojik ve Jeoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Coli, N., Pranzini, G., Alfi, A. ve Boerio, V., 2008. Evaluation of Rock-Mass Permeability Tensor and Prediction of Tunnel Inflows by Means of Geostructural Surveys and Finite Element Seepage Analysis, Engineering Geology, 101, 174-184.
- Conyers, L. B. and Goodman, D., 1997. Ground-Penetrating Radar An Introduction for Archaeologists, California Altamira Press.

- Coulouma, G., Samyn K., Grandjean G., Follain S. ve Lagacherie P., 2012. Combining Seismic and Electric Methods for Predicting Bedrock Depth along a Mediterranean Soil Toposequence, Geoderma, Elsevier, 170, 39–47.
- CSCD, 1985. Committee on Safety Criteria for Dams, Water Science and Technology Board, Safety of Dams: Flood and Earthquake Criteria. National Research Council, 294.
- Çakmak, O., 2008. Baraj Alanlarındaki Problemlerin Jeofizik Çalışmalarla (Sismik Elektrik) Belirlenmesi Eşen –I HES ve Lamas-III Örneği, Yüksek Lisans, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çaylak, Ç., 2009. Çok Kanallı Yüzey Dalgası Verisinin Ters-Çözüm Teknikleri ile Çok Sığ Yapıların Araştırılması, Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çoğulu, E., 1970. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronolojik Etüdü, Doçentlik Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Daniels, D.J., 2004. Ground Penetrating Radar, 2nd ed., The Institution of Electrical Engineers: London, UK.
- Dannowski, G. ve Yaramancı, U., 1999. Estimation of Water Content and Porosity using Combined Radar and Geoelectric Measurements, European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 4, 71-85.
- Davis, J.L ve Annan, A.P., 1986. High Resolution Sounding using Ground Probing Radar. Geoscience of Canada 13, 3, 205-208.
- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989. Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37, 531-551.
- De Groot-Hedlin, C.D. and S.C. Constable, 1990. Occam's Inversion to Generate Smooth, Two Dimensional Models from Magnetotelluric Data, Geophysics, 55, 1613-1624.
- Deere, D.U., 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposed, Rock Mech. Rock Eng, 1, 17-22.
- Draper, N.R., and Smith H., 1981. Applied Regresyon Analysis, 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, 709 p.
- Durdağ, D., 2018. Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Analizi (MASW) ve Jeoteknik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Dougherty, E.R., 1994. Optimal Mean-Absolute-Error Filtering of Gray-Scale Signals by the Morphological Hit-or-Miss Transform. J. Math. Imaging Vis., 4, 255–271.

- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikro fasiyes incelemesi Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erdoğan, 1988. İzmir Ankara Zonu ile Karaburun Karbonat istifinin tektonik ilişkisi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimlerinin 20. yılı Sempozyumu, Ankara, Bildiri Özetleri, 16.
- Ewert, F.K., 1997. Permeability, Groutability and Grouting of Rocks Related to Dam Sites, Part 2. Dam Engineering 8, 2, 123-176.
- Farid, A. T. ve Rizwan, M., 2017. Prediction of in situ Permeability for Limestone Rock using Rock Quality Designation Index, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Geotechnical and Geological Engineering 11, 10, 2017.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon. D. ve Bell, G. 2005. Geotechnical Engineering of Dams. Taylor and Francis. London. UK
- Foyo, A., Sanchez, M.A. ve Tomillo, C., 2005. A Proposal for a Secondary Permeability Index Obtained from Water Pressure Tests in Dam Foundations. Engineering Geology, 77, 69-82.
- Gaba `s, A., Macau, B., Benjumea, F., Bellmunt, S. ve Figueras, M.V., 2014. Combination of Geophysical Methods to Support Urban Geological Mapping, Surv Geophys 35:983–1002 DOI 10.1007/s10712-013-9248-9.
- Gabr, A., Murad, A., Baker, H., Bloushi, K., Arman, H. ve Mahmoud, S., 2012. The Use of Seismic Refraction and Electrical Techniques to Investigate Groundwater Aquifer, Wadi Al-Ain, United Arab emirates (UAE). Conference Proceedings, September, Tulcea-Romania.
- Gan, F., Yixiang C., Wei Z., Yuling C. ve Wei L., 2013. Integrated Geophysical Methods For Groundwater Exploration In A Karst Area With Or Without Thin Cover A Case Study From Tai'an City, Shandong Province, China, 13th Sinkhole Conference Nckri Symposium, 2, 255-262.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar T., 1979. The Main Lines of Geotectonic Developmentin the East Pontids in the Mesozoic Areas, Geocom-1, 555-580.
- Gerlitz, K., Knoll, M.D., Cross, G.M., Luzitano, R.D. ve Knight, R., 1993. Processing Ground Penetrating Radar Data to Improve Resolution of Near-Surface Targets. In Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, San Diego, CA, USA, 18–22 April.
- Geissler, P.E., 1989. Seismic Profiling for Groundwater Studies in Victoria, Australia, Geophysics, 54, 31-37.

- Goodman, R., Moye, D., Shalkwyk, A. ve Javandel, I., 1965. Groundwater Inflow during Tunnel Driving. Eng. Geol. 2.
- Gourry, J. C., and Moldoveanu, T., 1997. "Evaluation of earth-fill embankments in Romania using electrical methods and ground penetrating radar," Proceedings, SAGEEP, 311-20.
- Gouet, D. H., Meying, A., Assembe, S. P. ve Ndougsa-Barga, T., 2015. Clay Minerals Channels Identification in the Tindikala-Boutou Area (Eastern-ameroon) along the Kadey River Using Direct Current (DC) Method, Journal of Geoscience and Environment Protection, 3, 123-133.
- Göncüoğlu, M.C., 2010. Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi, MTA Gen. Müd. Monografi Serisi No: 5, 69, Ankara.
- Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H. ve Baldwin, J., 2003. Results of 3-D Georadar Surveying and Trenching the San Andreas Fault Near its Northern Landward limit, Tectonophysics, 368, 7-23.
- Griffiths, D.H., Turnbull, J. ve Olayinka, A.I. 1990. Two-Dimensional Resistivity Mapping with a Computer-Controlled Array. First Break, 8, 4, 121-129.
- Griffiths, D.H. ve Turnbull, J., 1985. A Multi-electrode Array for Resistivity Surveying. First Break, 3, 16-20.
- Gürocak, Z. ve Alemdağ, S., 2012. Assessment of Permeability and Injection Depth at the Atasu Dam Site (Turkey) Based on Experimental and Numerical Analyses, Bull Eng Geol Environ, 71, 221–229.
- Gücer, M.A., Aydınçakır, E., Yücel, C. ve Akaryalı, E., 2017. Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7, 2, 236-267.
- Gürocak, Z., Solanki, P. and Zaman M.M., 2007. Empirical and Numerical Analyses of Support Requirements for a Diversion Tunnel at the Boztepe Dam Site, Eastern Turkey, Engineering Geology, 91, 194-208.
- Hack, R., Geophysics for slope stability, Surveys in Geophysics 21: 423–448 [on line]. 2001 Kluwer Academic Publishers, Netherlands, Available on <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006797126800>. 01-04-2018.
- Haeni, F.P., 1986. Application of Seismic Refraction Methods in Groundwater Modeling Studies in New England. Geophysics, 51, 2, 236–249.
- Hamdan, H., Kritikakis, G., Andronikidis, N., Economou, N., Manoutsoglou, E. and Vafidis, A., 2010. Integrated Geophysical Methods for Imaging Saline Karst

Aquifers. A Case Study of Stylos, Chania, Greece, *JOURNAL OF THE BALKAN GEOPHYSICAL SOCIETY*, 13, 1, February 2010, 1-8,

- Harrari, Z., 1996. Ground Penetrating Radar (GPR) for Imaging Stratigraphic Features and Groundwater in Sand Dunes, *Journal of Applied Geophysics*, 36, 43-52.
- Helbig, K., and Mesdag, C.S., 1982. The Potential of Shear Wave Observations, *Geophysical Prospecting* 30, 413-431.
- Heuer, R., 1995. Approche Quantitative, Théorique et Empirique, Del Ronald E.Heuer, Sur le Venues d'eau en Tunnel (A quantitative, empirical and theoretical approach on water flow into tunnels). Rapid Excavation and Tunneling Conference, San Francisco, Cal., June 18-21.
- Horstmeyer, H., Gurtner, M., Buker, F. ve Green, A., 1996. Processing 2-D and 3-D Georadar Data: Some special requirements. In Proceedings of the Second Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society, European section, Nantes, France, September
- Hubbard, J.L., 2009. Use of Electrical Resistivity and Multichannel Analysis of Surface Wave Geophysical Tomography in Geotechnical Site Characterization of Dam, Master of Science in Civil Engineering, The University of Texas at Arlington.
- Hunter, L.E., Asch, T., Powers, M., Burton, B.L., and Haines, S.S., 2007. Geophysical Investigations of the Success Dam foundation: an overview. Denver, Colorado, Proceedings of SAGEEP, 21-30.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211.
- Ivanov, J., Miller R. D. and Tsoflias G., 2009. Practical Aspects of MASW Inversion using Varying Density: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, 22, 171-177.
- Jeng, Y., 1995. Shallow Seismic Investigation of a Site with Poor Reflection Quality. *Geophysics*, 60, 1715-1726.
- Johansson, B., Jones, S., Dahlin, T., Flyhammar, F., 2007. Comparisons of 2D- and 3D-Inverted Resistivity Data As Well As of Resistivity and IP Surveys on a Landfill: Near Surface. 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul, Turkey, September 42.
- Johansson, S. and Dahlin, T., 1996. Seepage Monitoring in an Earth Dam by Repeated Resistivity Measurements. *European Journal of Engineering and Geophysics*, 1, 229-247.

- Johansson, S. ve Dahlin, T., 1996. Seepage Monitoring in an Earth Embankment Dam by Repeated Resistivity Measurements. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 1, 3, 229-247.
- John, R. J., 2011. Geophysical Methods To Map Brackish And Saline Water In Aquifers, Proceedings of the 2011 Georgia Water Resources Conference, held April 11-13, at the University of Georgia.
- Kadioğlu, S., 2003. 3D Ground Penetrating Radar- data acquisition, Processing, and Interpretation, 14th International Petroleum Congress and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, Ankara-TURKEY, Proceedings, 485-486.
- Kadioğlu, S. ve Ulugergerli, E.U., 2004. Determination of Cavities using Ground Penetrating Radar in Dalaman-Akköprü Dam Construction area, The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, 7-10 December, MTA Cultural Center-Ankara, Abstract Book, 372-375.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yöresindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şemköy Formasyonunun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kargaranbafghi, F. and Ghalamzan, F., 2018. Application of Seismic Refraction and Tomography Methods to the Assesment of the Sivaki Dam Site, International Journal of Engineering and Technology, 7, 3, 1337-1345.
- Karagüzel, R. and Kilic, R., 2000. The Effect of the Alteration Degree of Ophiolitic Melange on Permeability and Grouting. Eng. Geol., 57, 1 - 13.
- Karahan, M., 2015. Bulak (Kelkit, Gümüşhane) Göleti Aks Yeri ve Göl Alanındaki Kayaçların Geçirimsizlik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karlı H., Şenkaya G., Şenkaya M., and Güney R., 2017. "Investigation of soil structure in Uzungöl settlement area by Shallow Seismic Methods," Eurasian Journal Of Soil Science (EJSS), 6, 2, 134-134.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, J.R., 2010. Generation of the Early Cenozoic Adakitic Volcanism by Partial Melting of Mafic Lower Crust, Eastern Turkey: Implication for Crustal Thickening to Delamination, Lithos, 114, 109-120.
- Karpuz, C. and Paşamehmetoğlu, A.G., 1997, Field Characterization of Weathered Ankara Andesites, Engineering Geology, 46, 1-17.
- Kayacı, S., Silahtar Ali. ve Dolmaz M. N., 2018. Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile Zemin Özellikleri ve Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi: Arifiye-SAKARYA Örneği. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, 2, 450-458.

- Kayabasi, A., Yesiloglu-Gultekin, N. ve Gokceoglu., 2015. Use of Non-Linear Prediction Tools to Assess Rock Mass Permeability using Various Discontinuity Parameters, Engineering Geology 185, 1–9.
- Kayen, RE, Barnhardt, WA., Ashford, S. A, Rollins, K., Minasian, DL. ve Carkin BA., 2002. High-Resolution Crosshole Radar Tomography, Geol. Surv. Prof., 1658.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen. Bil. Enstitüsü, Trabzon.
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan, Z., 2006. Petrographic and Petro- logical Features of Torul (Gümüşhane) Volcanites (NE Turkey); Evidences for Fractional Crystallisation and Magma Mixing/Mingling, Geological Bulletin of Turkey, 49, 49–82.
- Keçeli D. A., 2011. Uygulamalı Jeofizik, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, JFMO Eğitim Yayınları No:18, 2. Baskı.
- Ketin, İ., 1950. Bayburt Bölgesinin Jeolojisi, İÜ, Fen Fakültesi Mecmuası, 16 İstanbul.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34.
- Kiraly, L., 1969. Anisotropie et Hétérogénéité de la Perméabilité Dans les Calcaires Fissurés (Anisotropy and Heterogeneity of Permeability in Fractured Limestones). Eclogae Geol. Helv., 62, 2, 613-619.
- Kiraly, L., 1978. La Notion d'unité Hydrogéologique. Essai de Definition (Definition of the Hydrogeological Unit). Bull. Cent. Hydrogéol., 2, 83-216.
- Kiraly, L., 2002. Karstification and Groundwater flow. In: Gabrovšek, F. (Ed.), Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation. Založba ZRC, Postojna-Ljubljana, 155-190.
- Korkmaz, S, ve Baki, Z., 1984. Demirözü güneyinin stratigrafisi: JMO bildiriler kitabı.
- Kourkafas, P. and Goultly N.R., 1996. Seismic Reflection Imaging of Gypsum Mine Working at Sherburn-in-Elmet, Yorkshire, England. European J. of Environmental and Engineering Geophys., 1, 53-63.
- Leckebusch, J., 2003. Ground Penetrating Radar: A Modern Three-Dimensional Prospection Method. Archaeological Prospection, 10, 213-240.
- Leucci G. ve Negri S.. 2006. "Use of Ground Penetrating Radar to Map Subsurface Archaeological Features in an Urban Area." Journal of Archaeological Science, 33, 502-512.
- Loke M.H. and Barker R.D., 1995. Least-Squares Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudosections, Geophysics, 60, 6, 1682-1690.

- Look, M.H., 2004. Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys. Geotomo Software, Res2dinv 3.5 Software.
- Lugeon, M., 1933. Barrages et géologie. Dunod, Paris.
- Martí D., Escuder J., Viruete, Carbonell R., Flecha I. ve Pérez-Estaún1A., 2006. Fault Architecture and Related Distribution of Physical Properties in Granitic Massifs: Geological and Geophysical Methodologies, Journal of Iberian Geology, 32, 1, 95-112.
- Mejias, M., Renard, P. And Glenz, D., 2009. Hydraulic Testing of Low-Permeability Formations: A Case Study in the Granite of Cadalso de los Vidrios, Spain, Engineering Geology , 107, 3-4, 88-97.
- McClymont, A., Bauman, P., Johnson, E. ve Pankratow, L., 2016. Geophysical Applications to Construction Engineering Projects. CSEG Recorder, 41, 4.
- Morisson, D.F., 1983. Applied linear Statistical methods, 2nd ed, McGraw-Hill, Inc., New York, 415.
- Naudet, V., Revil A., Rizzo E., Bottero J.Y. and Begassat P., 2004. Groundwater Redox Conditions and Conductivity in a Contaminant Plume from Geoelectrical Investigations: Hydrology and Earth System Sciences, 8, 8-22.
- Nazarian, S., Stokoe, K.H. and Hudson, W.R., 1983. Use of Spectral Analysis of Surface Waves Method for Determination of Moduli and Thicknesses of Pavement Systems, Transportation Research Record, 930, 38-45.
- Nuzzo, L., 2003. Coherent Noise Attenuation in GPR Data Linear and Parabolic Radon Transform Techniques. Ann. Geophys., 46, 533–547.
- Noble, M., Gesret, A. and Belayouni, N., 2014. Accurate 3-d Finite Difference Computation of Traveltimes in Strongly Heterogeneous Media, Geophys. J. Int., 199, 1572-1585.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geol. Soc. London Spec. Publ., 156, 475-515.
- Okay, A.I., 2008. Geology of Turkey: A Synopsis. Anschnitt, 21, 19-42.
- O'Rourke, J.E., 1989. Rock Index Properties for Geoeengineering in Underground development Min Eng , 106- 110.
- Osumnje, J. O. ve Kudamnya, E. A., 2014. Hydro-Geophysical Investigation Using Seismic Refraction Tomography to Study the Groundwater Potential of Ahmadu Bello University Main Campus, Within Basement Complex of Northern Nigeria. Journal of environment and Earth Science, 4, 2, 16–22.

- Oursingbé, M., Tang Z., Balogun W. O. and Zakari M., 2012. Groundwater Exploration in the Basement of Lake-Iro District-Chad, using Electrical Resistivity Imaging Approach, African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 7, 19, 2720-2729.
- Overmeeren, R.A. ve Ritsema, I.L. 1988. Continuous Vertical Electrical Sounding. First Break, 6, 10, 313-324.
- Öge, İ.F. and Çırak M., 2019. Relating Rock Mass Properties with Lugeon Value using Multiple Regression and Nonlinear Tools in an Underground Mine Site, Bull Eng Geol Environ., 78,1113–1126.
- Öğretmen Aydın, Z. and Şeren A., 2014. “Investigating fracture cracked systems with geophysical methods in Bayburt Kıratlı travertine,” Journal of Geophysics and Engineering, 11, 6.
- Özdağ, Ö.C., Akgün M., Pamuk E., Kırnıç E., 2016. Zeminlerin Deprem-Zemin-Yapı Ortak Davranışı Kapsamında Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi: Balçova / İzmir Örneği, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 18, 54, 652-668.
- Palacky, G.J., 1987. Resistivity Characteristics of Geologic Targets, In: M.N. Nabighian, Editor, Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Investigations in Geop.
- Pandula, B., 2000. Determination of Degree of Breakage and Quality of Airport Ways by Seismic Methods (Určovanie stupňa porušenia a kvality letiskových dráh seizmickými metódami). Acta Montanistica Slovaca, 5, 2, 157–162 (in Slovak).
- Panthulu, T.V., Krishnaiah, C. ve Shirke, J.M., 2001. Detection of Seepage Paths in Earth Dams using Self-Potential and Electrical Resistivity Methods. Engineering Geology, 59, 281-295.
- Park, C.B., Miller, R.D. and Xia, J. 1999. Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW). Geophysics, 64, 800–808.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., Hunter, J.A. and Harris, J.B., 1999b. Higher Mode Observation by the MASW Method. The Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts, 524–527.
- Park, C.B., Miller, R.D., Laflen, D., Neb, C., Ivanov, J., Bennett, B., and Huggins, R., 2004. Imaging Dispersion Curves of Passive Surface Waves: in Expanded Abstracts: 79th Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysics, 1357–1360.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından İncelenmesi. KTÜ yayını, 87, Trabzon.

- Prekopov, M., Jano, J., Budinsk, V., Friedmanov, M., 2016. Integration of Seismic and Sedimentological Methods for Analysis of Quaternary Alluvial Depositional Systems. *Environ. Earth Sci.*, 76, 25.
- Priest, S.D. ve Hudson, J.A., 1976. Discontinuity Spacing in Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*. 13, 135-148.
- Qureshi, M.U., Khan, K.M., Bessaih, N., Al-Mawali, K., A-Sadrani, K., 2014. An Empirical Relationship between In-situ Permeability and RQD of Discontinuous Sedimentary Rocks, *EJGE*, 19.
- Rehman F., Abuelnaga S.O.H., Harbi H. ve Cheema T., 2016. Using a Combined Electrical Resistivity Imaging and Induced Polarization Techniques with the Chemical Analysis in Determining of Groundwater Pollution at Al Misk Lake, Eastern Jeddah, Saudi Arabia.
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Roberts, R. L. and Daniels, J. J., 1996. Analysis of GPR Polarization Phenomena, *JEEG*, 1, 2, 139-157.
- Robinson, E.S., Coruh C., 1988. *Basic Exploration Geophysics*, Wiley, New York, p. 562.
- Rozycki, A., Fonticiella, J.M.R. and Cuadra, A., 2006. Detection and Evaluation of Horizontal Fractures in Earth Dams using Self-Potential Method. *Engineering Geology*, 82, 145-153.
- Rubin, Y. ve Hubbard. S.S., 1995. *Hydrogeophysics*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 523.
- Said M.J.M., Zainorabidin A. ve Madun A., 2015. Soil Veolocity Profile on Soft Soil using Seismic Refraction, *Applied Mechanics and Materials Vols.* 773-774, 1549-1554.
- Sandberg, S. K., Slater L. D. and Versteeg R., 2002. An Integrated Geophysical Investigation of the Hydrogeology of an Anisotropic Unconfined Aquifer: *Journal of Hydrology*, 267, 227-243.
- Sandmeier K. J., 2018. *Reflexw 4.2 Manuel Book*. Sandmeier Software, Zipser Strabe 1, D-76227 Karlsruhe, Germany. 598 p.
- Sarı, M., 2012. Jipslerin Jeofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi (Sivas Örneği), Yüksek Lisans Tezi, C. Ü., Fen Bilimleri Üniversitesi, Sivas.

- Sarı, M. and Şeren A., 2016. "Detection of Permeability in Irrigation Dams with the Electrical Resistivity Methods," presented at the 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics Barcelona/Spain.
- Sarı, M., Şeren A. and Alemdağ S., 2017. "Kırklartepe Barajı Eksen Yerindeki Kaya Kütlesinin RQD ve Eklem Sıklığı Özelliklerinin Yer Radarı ile İlişkilendirilmesi," presented at the 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), Bayburt/Turkey.
- Savvaidis, A.S., Tsokas, G.N., Vargemezis, G. ve Dimopoulos, G., 1999b. Geophysical Prospecting in the Akropotamos Dam (N. Greece) by GPR and VLF methods. Journal of the Balkan Geophysical Society, 2, 4, 120-127.
- Savvaidis, A.S., Tsokas, G.N., Soupios, P. ve Vargemezis, G., 1999a. Geophysical prospecting in the Krousovitis dam (N. Greece) by seismic and resistivity methods. Journal of The Balkan Geophysical Society 2, 4, 128-138.
- Saydam Eker, Ç., Sipahi, F. ve Kaygusuz, A., 2012. Trace and Rare Earth Elements as Indicators of Provenance and Depositional Environments of Lias Cherts in Gumushane NE Turkey. Chemie der Erde, 72, 167-177.
- Schmidt, E., 1951. A non-destructive concrete tester, Concrete, 59, 34–35.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Sheehan, J.R., Doll, W.E., and Mandell, W.A., 2005, An evaluation of methods and available software for seismic refraction tomography, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 10, 21-34.
- Sheriff, R.E., 1991. Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics. Third edition, Society of Exploration Geophysicists.
- Shtivelman V., Frieslander U., Zilberman E. and Amit R.; 1998a. Mapping Shallow Faults at the Evrona Playa Site using High Resolution Reflection Method. Geophysics, 63, 1257-1264.
- Shtivelman, V., Ron H. and Israeli A.; 1998b. Construction Site Investigation using Shallow Seismic Reflection Survey at the Margalioth site in the Upper Galilee, Israel. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 3, 63-74.
- Shtivelman, V. ve Goldman M., 2000. Integration of Shallow Reflection Seismics and Time Domain Electromagnetics for Detailed Study of the Coastal Aquifer in the Nitzanim Area of Israel. J. of Appl. Geophys., 44, 197-215.
- Shtivelman, V., 2003. Application of Shallow Seismic Methods to Engineering, Environmental and Groundwater Investigations. Bolletino di Geofisica Teorica

e Applicata. An international journal of Earth Science. Trieste, Italy, **44**, 3-4, 209–222.

Singhal, B.B.S. and Gupta, R.P., 1999. Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Kluwer Academic Publishers, London, 400.

Sipahi, F., Sadıklar, M.B. ve Şen, C., 2014. The Geochemical and Sr Nd Isotopic Characteristics of Murgul Artvin Volcanics in the Eastern Black Sea Region NE Turkey, Chemie der Erde/Geochemistry, 74, 3, 331-342.

Sjödahl, P., Dahlin, T. ve Johansson, P., 2005. Using Resistivity Measurements for Dam Safety Evaluation at Enemossen Tailings Dam in Southern Sweden, Environmental Geology, 49, 267-273.

Slater L. ve Niemi T.M. 2003. Ground Penetrating Radar Investigation of Active Faults along the Dead Sea Transform and Implications for Seismic Hazards within the City of Aqaba, Jordan, Tectonophysics, 368, 33-50.

Snow, D.T., 1968. Rock Fracture Spacings, Openings and Porosities. J. Soil Mech. Found. Div. 94 na. SM1.

Song, S., Song, Y. ve Kwon, Y., 2005. Application of Hydrogeological and Geophysical Methods to Delineate Leakage Pathways in an Earth Fill Dam. Exploration Geophysics 36, 92-96.

Stokoe, K.H., Wright, G.W., James, A.B. and Jose, M.R. 1994. Characterization of Geotechnical Sites by SASW Method in Geophysical Characterization of Sites, Edited R. D. Woods, New Hampshire: International Science Publisher, 785–816.

Şekercioğlu, E., 2002. Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 28, 208. Ankara.

Şekerçioğlu, E., 2007. Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, JMO Yayınları, No:28, Ankara, 82-118.

Şeren A., Babacan A. E., Gelişli K., Aydın Z. Ö., and Kandemir R., 2012. “An Investigation for Potential Extensions of the Karaca Cavern using Geophysical Methods,” Carbonates and Evaporites, 27, 3–4, 321–329.

Tanyolu, E., 1988. Pulur Masifi (Bayburt) Doğu Kesiminin Jeolojisi, MTA Dergisi, 108, 1-17.

Temizel İ., Arslan M., Yücel C., Abdioglu Yazar E. ve Ruffet G., 2016. Geochronology and Geochemistry of Eocene-Aged Volcanic Rocks Around the Bafra (Samsun, N Turkey) Area, Constraints for the Interaction of Lithospheric Mantle and Crustal Melts. Lithos, 258-259, 92-114.

- Titov, K., Loukhmanov, V. ve Potapov, A., 2000. Monitoring of Water Seepage from a Reservoir using Resistivity and Self Polarization Methods: Case History of The Petergoph Foundation Water Supply System. Frist Break Technical Article, 431-435.
- Topçu M.İ., 2015. Kargı (Çorum) Hidroelektrik Santrali İnşaatından Kaynaklanan Sıvılaşma Riskinin Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Topuz G, Altherr R, Schwarz W-H, Dokuz A, Meyer H-P., 2007. Variscan Amphibolite-Facies Metamorphic Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey) International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Werner, O. ve Schwarz, W.H., 2004. Aluminous Granulites from the Pulur Complex, NE Turkey: A Case of Partial Melting, Efficient Melt Extraction and Crystallisation. Lithos, 72, 183-207.
- Topuz G., Altherr, R., Siebel W. ve Schwarz, W.H., 2010. Carboniferous High-Potassium I-Type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides, The Gümüşhane Pluton, NE Turkey, Lithos, 116, 92-110.
- Tüysüz, N. ve Yaylalı, G., 2005. Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi, yayın no:220, fakülte no:61, 382s.
- URL-1, <http://www.ormansu.gov.tr/haber/prof.-dr.-veysel-ero%C4%9Flu-727-olan-baraj-say%C4%B1m%C4%B1z%C4%B1-5-y%C4%B1lda-1.454-e-y%C3%BCkseltece%C4%9Fiz> 16.04.2018
- URL-2, <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> 16.04.2019
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A. 2001. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, 1. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, 161 s.
- USBR, 1980. "Earth Manual" Second Edition, United States Bureau of Reclamation, Reprint, 810 p.
- Van Der Hilst, R., 2004. "Chapter 4: Seismology." MIT Open Course Ware.
- Van der Kruk, J., Slob, E.C., and Fokkema, J.T., 1999. Background of Ground Penetrating Radar Measurements. Geologie en Mijnbouw, 77, 177-188.
- Wan, C.F. and Fell, R., 2004. Investigation of Rate of Erosion of Soils in Embankment Dams. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130, 4, 373-380.

- Ward, S.H., 1990. Resistivity and Induced Polarization Methods. Investigations in Geophysics no. 5: Geotechnical and Environmental Geophysics, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 147-189.
- Watanabe, T. and Sassa, K., 1996., Seismic Attenuation Tomography and its Application to Rock Mass Evaluation. Int. J. Rock Mech. Miner. Sci., 33, 5, 467 – 477.
- Weeds, R. D. (Ed.), 1994. Geophysical Characterization of Sites. Rotterdam: AA. Balkema, 69-79.
- Wilchek, L., 2000. Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Structure. M.S. Thesis, Alberta University, Canada.
- Xia, J., Miller, R.D. and Park, C.B., 1999. Estimation of Near-Surface Shearwave Velocity by Inversion of Rayleigh Wave, Geophysics, 64, 691-700.
- Yelf, R., 2004. Where is True Time Zero? In Proceedings of the Tenth International Conference on Grounds Penetrating Radar GPR 2004, Delft, The Netherlands, June.
- Yılmaz, Y., 1972. Gümüşhane Plütonunun ayrıntılı incelenmesi, M.T.A raporu, Yayın No: 2326, Ankara, 24.
- Yılmaz S., ve Köksoy M., 2017. Bir Toprak Dolgu Barajındaki Sızıntı Yollarının Belirlenmesinde Elektrik Özdirenç Görüntüleme ve Doğal Potansiyel Yöntemlerin Uygulaması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 23(6), 799-803.
- Yoon, J. R., K. Lee, B. D. Kwon, and W. S. Han., 2003. Geoelectrical Surveys of the Nanjido Waste Landfill in Seoul, Korea: Environmental Geology, 43, 654-666.
- Yücel, C., 2017. Akçaabat (Trabzon) Güneyi ve Çevresindeki Kampaniyen Yaşlı Volkanik Kayaçların Petrografisi, Jeokimyası, Jeokronolojisi ve Petrojenezi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7, 1, 79-101.

8. EKLER

Ek 1. Pearson'a ait Korelasyon Tablosu

EK-1	Pearson korelasyon katsayısına (r) ait kritik değerler	
	$\alpha = .05$	$\alpha = .01$
n		
4	.950	.999
5	.878	.959
6	.811	.917
7	.754	.875
8	.707	.834
9	.666	.798
10	.632	.765
11	.602	.735
12	.576	.708
13	.533	.684
14	.532	.661
15	.514	.641
16	.497	.623
17	.482	.606
18	.468	.590
19	.456	.575
20	.444	.561
25	.396	.505
30	.361	.463
35	.335	.430
40	.312	.402
45	.294	.378
50	.279	.361
60	.254	.330
70	.236	.305
80	.220	.286
90	.207	.269
100	.196	.256

Not: r'nin gerçek değeri tablodaki kritik değerden büyükse ilişkinin anlamlı olduğu söylenbilir.

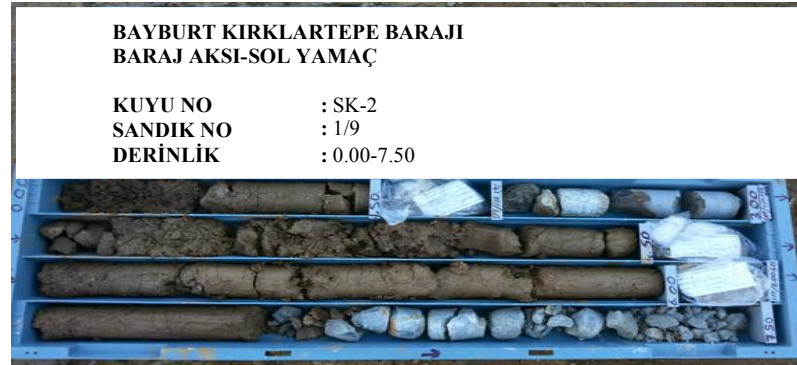
Ek 2. Çalışma Alanı Karot Sandık Resimleri



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



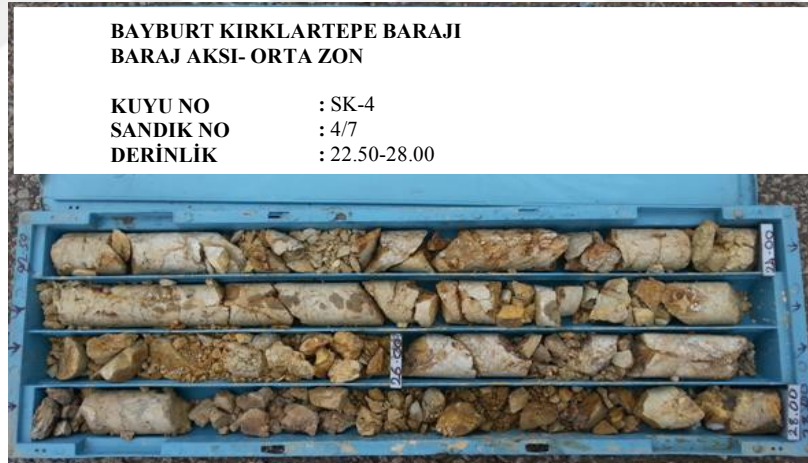
Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı



Ek 2'nin devamı

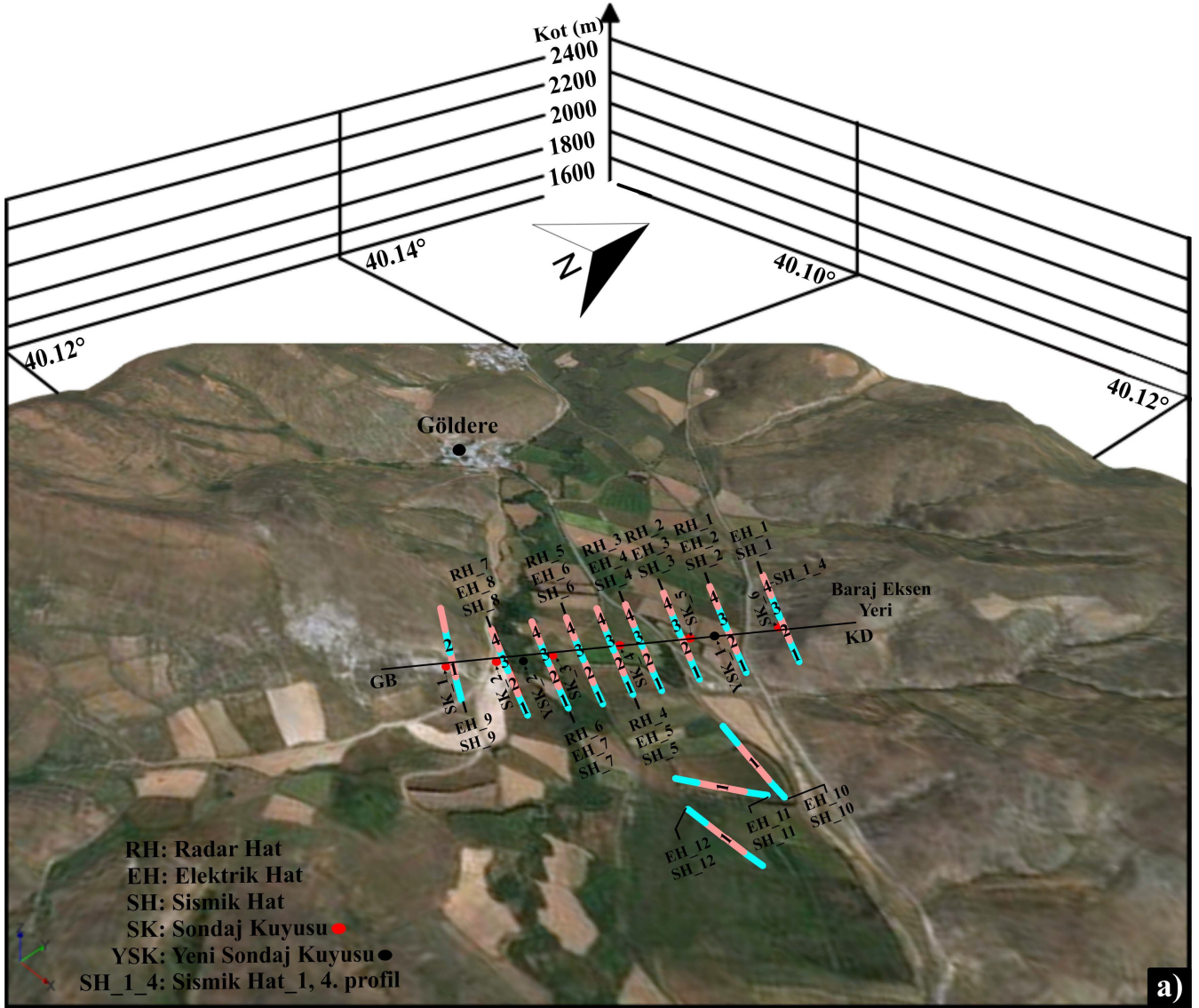


Ek 3. Kırklartepeler Barajı Eksen Yeri Jeofizik ve Jeoteknik Parametrelerin Derinlikle Değişimi

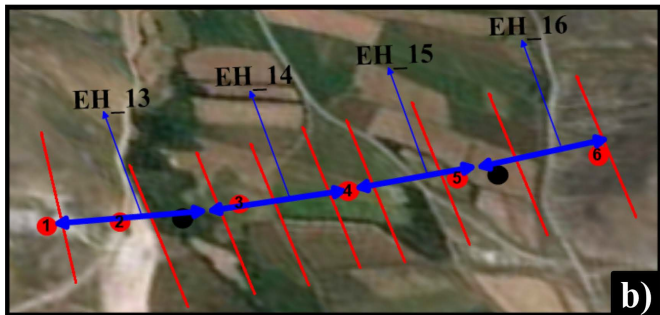
Sondaj No	Derinlik (m)	Lugeon (lt/dak/m)	RQD	Eklem sıklığı	Schmidt (ort)	V _p (m/s)	Özdirenç (Ohm.m)	V _s (m/s)
YSK-1	17	26	20	55	27	1850	154	725
YSK-1	18	26	47	16	39	1975	245	747
YSK-1	20	26	90	4	40	2200	283	973
YSK-1	22	6,47	77	6	36	2696	257,35	1008
YSK-1	24	6,47	85	4,5	36	2887	241,74	973
YSK-1	26	5,67	78	6	36	3078	327,26	1100
YSK-1	28	6,22	96	3,5	40	3296	548,21	1220
YSK-1	30	5,67	100	3	40	3460	562,64	1274
YSK-1	32	5,82	93	2,5	41	3460	533,64	1274
YSK-1	34	6,22	100	2	43	3460	398,98	1274
YSK-1	36	6,82	92	3,5	43	3460	323,24	1274
YSK-2	17	22,2	5	55	10	1675	114,27	670
YSK-2	18	22,2	5	55	12	1675	114,27	670
YSK-2	20	18,29	5	55	14	1793	143,27	690
YSK-2	22	11,23	35	20	22	1911	180,01	708
YSK-2	24	10,49	5	30	23	2029	185,34	708
YSK-2	26	10,74	15	20	21	2147	183,29	894
YSK-2	28	5,22	13	25	22	2265	283,03	894
YSK-2	30	5,82	17	18	23	2383	280,97	924
YSK-2	32	6,12	10	28	23	2383	275,15	924
YSK-2	34	6,62	30	16	26	2383	270,71	924
YSK-2	36	6,42	10	20	29	2383	273,71	924
SK-1	6	5,7	42	9	26	1312	323,43	1029
SK-1	8	3,6	65	7	27	1548	341,06	1029
SK-1	10	3,5	85	5	35	1783	295,07	1045
SK-1	12	18,7	70	6	33	2490	281,51	1045
SK-1	14	10,5	75	7	40	2725	281,51	1045
SK-1	16	3,5	55	8,5	34	2961	301,61	1174
SK-1	18	3,3	80	9	32	2961	320,02	1174
SK-1	20	1,4	85	7	33	2961	320,02	1174
SK-1	22	3,3	40	8	34	2961	320,02	1174
SK-1	24	4,4	50	20	33	2961	299,79	1174
SK-1	26	3,6	45	10	35	2961	299,79	1174
SK-1	28	1,9	50	10	31	2961	238,89	1223
SK-1	30	2,3	95	3	34	2961	238,89	1223
SK-1	32	5,3	98	3,5	37	2961	169,62	1223
SK-1	34	5,1	65	10	31	3195	169,62	1223
SK-1	36	3,4	40	10	36	3195	238,89	1223
SK-2	10	29,31	70	9	31	1097	65,18	609
SK-2	12	26	75	7	38	1438	102,95	609
SK-2	14	26	85	4	40	1438	102,95	609
SK-2	16	1	85	4	38	2120	600,57	729
SK-2	18	1,1	70	5	39	2120	590,57	729

Ek 3'ün devamı

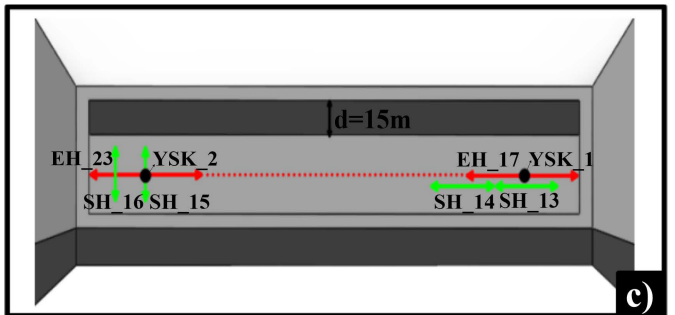
Sondaj No	Derinlik (m)	Lugeon (lt/dak/m)	RQD	Eklem sıklığı	Schmidt (ort)	Vp (m/s)	Özdirenç (Ohm.m)	Vs (m/s)
SK-2	25	0,3	40	20	30	2461	494,79	1115
SK-2	26	0,3	50	5	41	2461	494,79	1115
SK-2	27	0,3	45	15	36	2461	494,79	1115
SK-2	28	0,3	80	2	32	2802	315,77	1115
SK-2	30	2,4	18	55	41	2802	315,77	1115
SK-2	32	1,4	5	55	37	2802	315,77	1115
SK-2	34	2,6	15	55	44	3143	315,77	1115
SK-2	36	0,2	40	10	39	3143	524,55	1115
SK-4	21	4,9	15	55	24	1513	113,44	642
SK-4	22	4,9	50	10	26	1513	113,44	642
SK-4	24	3,3	50	8	22	1674	126,93	642
SK-4	26	1,9	5	55	29	1674	250,93	642
SK-4	28	7,9	65	9	30	1834	139,43	864
SK-4	30	23,7	30	55	24	1834	139,43	864
SK-4	32	23,7	25	55	24	1834	139,43	864
SK-4	34	25,3	25	55	22	1994	148,07	864
SK-4	35	5,3	85	4	24	1994	148,07	864
SK-4	36	22,3	5	55	16	1994	148,07	864
SK-5	18	11	5	55	32	1574	404,34	814
SK-5	20	27,37	45	8	38	1805	296,11	814
SK-5	22	30	65	7	38	1805	296,11	814
SK-5	24	0,8	60	7	41	2036	480,76	960
SK-5	26	9,8	40	15	39	2036	480,76	960
SK-5	28	0,2	70	8	38	2267	398,98	960
SK-5	30	2,8	20	55	34	2267	398,98	960
SK-5	32	5,6	10	55	27	2267	398,98	960
SK-5	34	1,6	10	55	33	2497	323,24	960
SK-5	36	2,6	20	55	40	2497	323,24	960
SK-6	6	26	5	55	21	966	257,89	582
SK-6	8	33,19	5	55	22	1324	334,12	597
SK-6	10	33,19	5	55	22	1324	334,12	597
SK-6	12	33,19	5	55	22	1503	107,81	597
SK-6	14	16,8	40	8	22	1632	35,69	721
SK-6	16	20	5	55	24	1632	35,69	721
SK-6	18	26	30	55	20	1632	35,69	721
SK-6	20	26	15	9	22	1861	16,42	721
SK-6	22	26	15	6	25	1861	16,42	721
SK-6	24	4,9	5	55	27	2039	31,49	1111
SK-6	26	4,9	5	55	20	2039	31,49	1111
SK-6	28	4,8	5	55	22	2218	31,20	1111
SK-6	30	4,8	5	55	22	2218	31,20	1111
SK-6	32	4,7	15	55	22	2218	31,20	1111
SK-6	34	4,6	30	55	23	2369	12,42	1111



a)



b)



c)

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut SARI, 1987 yılında Trabzon'da doğdu. İlkokulu 1992-1997 yılları arasında Trabzon Cumhuriyet İlkokulu'nda, ortaokulu 1997-2000 yılları arasında Trabzon Yunus Emre İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini ise 2000-2003 yılları arasında Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2004 yılında girdiği Öğrenci Seçme Sınavı'nda gösterdiği başarı sonucu Atatürk Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü'nde "Lisans" eğitimi almaya hak kazandı. Lisans eğitimini 10.06.2008 tarihinde tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans" eğitimine başladı ve 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2011 yılında Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans" eğitimine yeniden başladı. 2012 yılında "Yüksek Lisans" eğitimi başarıyla tamamlayarak mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Doktora" eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk sahibi olup İngilizce bilmektedir.