

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BAYBURT KIRATLI TRAVERTEN SAHASINDA JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
KIRIK-ÇATLAK SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. Zeynep ÖĞRETMEN

**HAZİRAN 2012
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BAYBURT KIRATLI TRAVERTEN SAHASINDA JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
KIRIK-ÇATLAK SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Jeofizik Müh. Zeynep ÖĞRETMEN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.05.2012
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2012

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aysel ŞEREN

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında

Zeynep ÖĞRETMEN tarafından hazırlanan

**BAYBURT KIRATLI TRAVERTEN SAHASINDA JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
KIRIK-ÇATLAK SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 / 05 / 2012 gün ve 1458 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Hakan KARSLI

Üye : Doç. Dr. Aysel ŞEREN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent YALÇINALP

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Bayburt Kıratlı Traverten Sahasında Jeofizik Yöntemlerle Kırık-Çatlak Sistemlerinin Araştırılması” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır. Bu tez çalışması, 2010.112.007.1 numaralı proje kapsamında K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Bundan dolayı K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tez danışmanlığımı üstlenerek bilgi ve birikimi ile bana her aşamada destek olan, yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen, her zaman yanımda olan çok değerli hocam Doç. Dr. Aysel ŞEREN’ e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hiçbir zaman benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve daima yanımda olan çok sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Arazi çalışmalarım sırasında benden hiçbir yardımı esirgemeyen Eminler Mermer firmasının sahibi sayın Şerafettin EMİN’E, yine arazi çalışmalarım ve tez yazımında bana yardım eden Arş. Gör. Recep GÜNEY’e, Arş. Gör. Ali Erden BABACAN’a, Arş. Gör. Hamdi ALKAN’a, Arş. Gör. Mustafa ŞENKAYA’ya, Arş. Gör. Şeyda YILMAZ’a, Kocaeli Üniv. Arş. Gör. Hamdullah LİVAOĞLU’na, Jeofizik Müh. Türkan KAYA’ya, Makine Müh. Orhan AYDIN’a, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği öğrencilerinden Taha Yasin YÜZBAŞIOĞLU’NA, Ayhan ALKAN’a ve Burak OCAKOĞLU’na, ayrıca çalışma alanının jeolojisinin derlenmesindeki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Raif Kandemir’e, çok teşekkür ederim.

Zeynep ÖĞRETMEN
Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bayburt Kıratlı Traverten Sahasında Jeofizik Yöntemlerle Kırık-Çatlak Sistemlerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Aysel ŞEREN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda 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. 25/05/2012

Zeynep ÖĞRETMEN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Uygulanan Yöntemler ve Bunların Matematiksel Temelleri.....	3
1.2.1. Yer Radarı Yöntemi.....	3
1.2.2. Yer radarı yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	7
1.2.3. Yer Radarı Tarihçesi.....	7
1.2.4. Yer Radarının Kullanıldığı Alanlar.....	9
1.2.4.1 Jeoteknik ve Jeolojik Araştırmalar.....	9
1.2.4.2 Maden Araştırmaları, Maden Ocağı Sınırlarının Belirlenmesi.....	13
1.2.4.3 Kablo ve Boru Güzergâhı Belirleme Çalışmaları.....	13
1.2.4.4 Otoyol Asfalt ve Dolgularındaki Deformasyonların İzlenmesi.....	14
1.2.4.5 Arkeolojik Arama Çalışmaları.....	14
1.2.4.6 Güvenlik ve Kriminal Amaçlı Kullanım.....	15
1.2.5. Yer Radarının Dayandığı Temel Elektromanyetik Alan Yayılım Teorisi.....	15
1.2.5.1. Elektromanyetik (EM) Dalganın Oluşumu.....	15
1.2.5.2. Elektromanyetik Alanların Dalga Yapısı ve Elektromanyetik Dalganın Yayılımı.....	17
1.2.5.3. Yer Radarının Temel İlkeleri.....	21
1.2.5.3.1. Maxwell denklemleri.....	21

1.2.5.4. Elektromanyetik Dalgaların Yayınımını Etkileyen Fiziksel Özellikler	24
1.2.5.4.1. Dielektrik Geçirgenlik	25
1.2.5.4.2. Elektrik İletkenlik	27
1.2.5.4.3. Toplam Akım Dolaşımı	30
1.2.5.4.4. Bağıl Manyetik Geçirgenlik	32
1.2.5.5. Katkı eşitlikleri	35
1.2.6. Yer Radarı sinyal ölçümü	36
1.2.6.1. Zaman aralığı ve bant genişliği	37
1.2.6.2. Merkez frekansı	38
1.2.6.3. Antenler	38
1.2.6.4. Anten yönelimi	39
1.2.6.5. Anten Koruması	42
1.2.6.6. Penetrasyon Derinliği	43
1.2.7. Yer Radarı Ölçü Alma Dizayını	46
1.2.7.1. Örnekleme Kriteri	46
1.2.7.2. Genel Ofset (Yansıma Profili) Ölçümü	47
1.2.7.3. Ortak Derinlik Noktası ve Geniş Açılı Yansıma-Kırılma Yöntemleri	48
1.2.8. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi	49
1.2.8.1. Dewow (Düşük Frekansların Giderilmesi)	51
1.2.8.2. Kazanç fonksiyonları	52
1.2.8.3. Background Removal	53
1.2.9. Elektrik Özdirenç Yöntemi	53
1.2.9.1. Ölçü Sistemi	54
1.2.9.2. Yarı Sonsuz Homojen Bir Ortamda Gerilim ve Özdirenç Bağlıntıları	55
1.2.9.3. Görünür Özdirenç Kavramı	57
1.2.9.4. Elektrod Dizilimleri	57
1.2.9.5. Ölçü Alım Teknikleri ve Veri Sunumu	58
1.2.9.5.1. Sondaj Ölçüsü (Yer-elektrik Sondajı) ve Görünür Özdirenç Sondaj Eğrisi	59
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	63
2.1. Coğrafik konum	63
2.2. Genel Jeolojik Özellikler	64
2.3. Traverten (Çökeltme Tipi Mermerler)	66
2.4. Verilerin toplanması	67

2.4.1. Çalışma Sahaları	68
2.4.1.1 Çalışma sahası 1 (Ocaküstü)	68
2.4.1.2. Çalışma sahası 2 (Alarduç).....	71
2.4.1.3. Çalışma Sahası 1 (Ocaküstü 2) Düşey Elektrik Sondajı (DES)	73
2.5. Verilerin Değerlendirilmesi.....	73
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	74
3.1. Ocaküstü 1 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması.....	74
3.2. Ocaküstü 2 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması.....	84
3.3. Alarduç 1 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması	91
3.4. Alarduç 2 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması	96
3.5. Alarduç 1 Sahasından Elde Edilen (250 MHz) GPR Verilerinin Yorumlanması	102
3.6. Tamocaküstü Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması.....	107
3.7. GPR Verilerinin 3 Boyutlu Gösterimi	110
3.8. Elektrik Özdirenç Verilerinin Değerlendirilmesi	120
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	132
5. KAYNAKLAR.....	135
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

BAYBURT KIRATLI TRAVERTEN SAHASINDA JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İLE KIRIK-ÇATLAK SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Zeynep ÖĞRETMEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Aysel ŞEREN
2012, 160 (Tez sayfa)

Bu tez kapsamında, Bayburt ili Kıratlı Traverteninde işletilmesi planlanan kısımların kısa sürede en az maliyetle sağlam, kırıksız ve bozulmamış blokların elde edilmesi amacıyla yer radarı (GPR) ve elektrik yöntemler uygulanmıştır. GPR ile 4 sahada farklı antenlerle toplamda 54 profilde 100 MHz korumasız anten kullanılarak yaklaşık 10-25 m nüfuz derinliği elde edilmiştir. Bu profillerden 10'unda 250 MHz korumalı antenle toplanan verilerden yaklaşık 5-6 m derinliğine kadar görüntüleme yapılmıştır. Bunlara ilaveten inceleme sahalarından birinde 4 profilde 32 noktada Düşey Elektrik sondaj (DES) tekniği ile yaklaşık 20-25 m derinliğine kadar veriler toplanmıştır. Veriler değerlendirildikten sonra 2 ve 3 boyutlu görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntülerden inceleme sahasının yanal ve düşey yöndeki yapısal durumu ayrıntılı bir şekilde belirlenmiştir.

Sonuç olarak, ilk inceleme sahası olan Ocaküstü 'nde tespit edilen kırıklı-çatlaklı ve ayrılmış traverten yapılarının oldukça yaygın olmasından dolayı burada ocak işletilmesi durdurulmuştur. Buradaki DES kat haritalarından yaklaşık 12 m derinlik seviyesi ve alt kısımlarında yüksek öz dirençli oldukça sağlam yapının çok geniş bir alana yayıldığı gözlenmiş ve ocağın düşey yönde genişletilmesi önerilmiştir. Ocak açılması planlanan Alarduç (Alarduç 1, Alarduç 2) sahasından elde edilen GPR veri sonuçlarına göre, Alarduç 1'de 2-6 m derinlikleri arasında gözlenen yüksek genlikli bir yansıtıcı sınırın ana bir kırık olduğu düşünülmektedir. Ocak açıldığında bu kısımlarda parçalanmış yapıyla karşılaşılabilen işletmeciyeye önerilmektedir. Ayrıca profillerde 0-10 m uzaklıkların altında derine doğru sağlamlaşan yapıların varlığı, bu uzaklıktan sonra ise 6 m derinliklerin altında bu yapının devamı niteliğinde kaliteli hammadde üretilebileceği de belirtilmiştir. Ayrıca Alarduç 2'de belirlenen kırıklı-çatlaklı yapı nedeniyle bu kısımların işletilmesinin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yer Radarı, DES, Traverten, kırık-çatlak sistemleri

Master Thesis
SUMMARY

INVESTIGATING FRACTURE-CRACK SYSTEMS WITH GEOPHYSICAL METHODS
IN BAYBURT KIRATLI TRAVERTINE

Zeynep ÖĞRETMEN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Aysel ŞEREN
2012, 160 Pages

In this study, the ground penetrating radar (GPR) and electric resistivity methods have been applied on Bayburt Kıratlı travertine fields in order to obtain massive and unaltered blocks in a short time and at low cost. It was penetrated nearly to 10-25 m on 54 GPR profiles that were acquired on 4 different areas by a 100 MHz unshielded antenna. A 250 MHz shielded antenna was used on ten of the GPR profiles and the subsurface was imaged nearly up to 5-6 m. In addition, in one of the investigation areas, two dimension electrical imaging was performed until 20-25 m with the vertical electric sounding (VES) method on 4 profiles and 32 stations. 2 and 3 dimension sections have been generated by interpretation of data. From these sections, the situation of vertical and horizontal structures was determined in the study area. Consequently, the quarry was stopped in the first investigation area, Ocaküstü, due to the generally fractured-cracked and weathered structure of the travertine. From VES level maps, massive blocks with high resistivity that covered a large area could be seen at a depth of 12 m from the surface and it was suggested that the quarry should be extended vertically. According to the GPR data from Alarduç (Alarduç1 and 2), where a new quarry is planned to be exploited, it was concluded that a reflection boundary with high amplitude present between 2 m and 6 m in depth on Alarduç 1 might indicate a major fracture. It was notified to the quarry manager that they would find fractured blocks when quarrying that area. In addition, structures which are getting more compact with depth are shown below distances from 0 to 10 m on the profiles. After these distances, massive blocks which are high quality raw materials have been seen under 6 m in depth. Furthermore, it can be concluded that the operation of travertine quarry on Alarduc 2 is not suitable due to the presence of fractured structure.

Key Words: Ground Penetrating Radar, VES, Travertine, crack-fracture systems

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Yer radarı yönteminin çalışma prensibi..... 4
Şekil 1.2	Kanada’ da 100 MHz anten ile yapılan bir çalışma..... 10
Şekil 1.3	İsviçre’ de 50 MHz antenle yapılmış bir Tünel çalışması..... 11
Şekil 1.4	İtalya’da kireçtaşı boşluk aramasına örnek bir çalışma..... 12
Şekil 1.5	İtalya’da kireçtaşı boşluk aramasına örnek bir çalışma..... 13
Şekil 1.6	(a) 200 MHz antenle Danimarka’ da yapılan bir arkeolojik çalışma, (b) Kanada’ da 200 MHz anten ile alınan mezar yeri belirleme çalışması..... 14
Şekil 1.7	50 MHz antenle mayın belirleme çalışması..... 15
Şekil 1.8	Elektrik ve manyetik alanın gösterimi 16
Şekil 1.9	Birbirine dik hareket eden elektrik alan ve manyetik alanın homojen ortamdaki yayılımı 17
Şekil 1.10	Elektromanyetik dalga yayılımının gösterimi 18
Şekil 1.11	Elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alanların birleşiminden oluşur..... 20
Şekil 1.12	Bir manyetik alan bir elektrik alanı meydana getirir..... 23
Şekil 1.13	Bir elektrik akımı bir manyetik alan meydana getirir..... 24
Şekil 1.14	Kapalı bir yüzeydeki elektrik alan akışının, bu yüzey etrafından çevrelenmiş olan hacimde bulunan net yük ile orantılıdır..... 24
Şekil 1.15	Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akışının sıfır olduğu ve dolayısıyla manyetik yüklerin var olmadığını belirtir 25
Şekil 1.16	Elektrik alan uygulandığında serbest elektrik yüklerinin hareketi..... 28
Şekil 1.17	Uygulanan elektrik alan doğrultusunda bağlı elektrik yüklerinin yer değiştirme hareketi..... 29
Şekil 1.18	Uygulanan elektrik alan sonucu oluşan elektrik Dipol moment dağılımı 30
Şekil 1.19	Toplam elektrik akımının frekansla değişimi 32
Şekil 1.20	Yer radarı sisteminin ana bileşenlerini tanımlayan blok diyagramı..... 36

Şekil 1.21	Verici kesilmesi, direkt sinyalin vericiden alıcıya giderken yansıma sinyali ile üst üste binerek örtmesi sonucu oluşur. (b) Eğer iki hedef benzer yol uzunlukları gösteriyor ise, varış zamanındaki farklar küçük olabilir buda yansıyan sinyallerin maskelenmesine neden olur. Bu iki olayın çözülmesi için, yol uzunlukları farkı hız ile çarpılmış sinyal genişliğinin yarısını aşmalıdır.....	37
Şekil 1.22	Elektrik dipol anten için geometri ve koordinat sistemi	39
Şekil 1.23	Küçük elektrik dipolun 3 boyutlu gösterimi	39
Şekil 1.24	Üç boyutlu (3D) dipol patern üzerinden dik kesitler	40
Şekil 1.25	Dipol yer yüzeyinde olduğunda yönelim büyük ölçüde bozulur ve yerin permitivitesine bağlıdır.....	40
Şekil 1.26	Yer permitivitesi değiştiğinde patern değişir	41
Şekil 1.27	Anten yüksekliği (h) de ayrıca yönelimi etkiler. Yönelim merkez frekans dalga boyuna karşı normalize olmuş yüksekliğin fonksiyonunu gösterir	41
Şekil 1.28	GPR anten korumasının hava yer durumu	42
Şekil 1.29	Korumasız GPR anteni ve yüzeydeki çevresel gürültü kaynakları	43
Şekil 1.30	Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin penetrasyon derinliği ilişkisi	44
Şekil 1.31	Bir profil boyunca genel ofset ölçümünün şematik gösterimi.....	47
Şekil 1.32	Yansıtıcı yüzeyin haritalanması için olması gereken ölçü profilleri dizilimi.....	48
Şekil 1.33	(a) Ortak derinlik noktası (ODN) yöntemi şematik gösterimi, (b) Geniş açılı yansıma ve kırılma yönteminin (GAYK) şematik gösterimi	49
Şekil 1.34	Alarduç mevkiinden bir profilin ham radargramı.....	50
Şekil 1.35	Yer radarı verisi akış şeması	50
Şekil 1.36	Alarduç mevkiinden bir profilin dewow veri işlem aşaması uygulandıktan sonraki radargramı.....	51
Şekil 1.37	Alarduç mevkiinden bir profilin gain (energy decay) veri işlem aşaması uygulandıktan sonraki radargramı	52
Şekil 1.38	Alarduç mevkiinden bir profilin background removal veri işlem aşaması uygulandıktan sonraki radargramı	53
Şekil 1.39	Elektrik öz direnç yönteminde akım-potansiyel elektrotlarının konumu ve yeraltında meydana gelen akım gerilim çizgileri.....	54

Şekil 1.40	Elektrod dizilimlerinin genel gösterimi.....	56
Şekil 1.41	Kullanılan başlıca elektrod dizilimleri. Burada $n=1,2, \dots$ dir.....	58
Şekil 1.42	Schlumberger elektrod dizilimi için DES eğrisi.....	59
Şekil 1.43	İki-yönlü üç-elektrod dizilimi ve AMNB GÖ profil eğrileri ve GÖ değerlerinin hesaplandığı 2-B model.....	60
Şekil 2.1	Çalışma alanının yer bulduru haritası	63
Şekil 2.2	Çalışma alanının Genel jeoloji haritası	65
Şekil 2.3	Çalışma sahalarının görünümü.....	68
Şekil 2.4	Çalışma sahası 1 ve GPR ölçü profilleri (Ocaküstü 1, Ocaküstü 2).....	69
Şekil 2.5	Ocaküstü 1 sahasının ölçü krokisi.....	70
Şekil 2.6	Ocaküstü 2 sahasının ölçü krokisi.....	70
Şekil 2.7	Çalışma sahası 2 ve ölçü profilleri (Alarduç 1).....	71
Şekil 2.8	Çalışma sahası 2 ve ölçü profilleri (Alarduç 2).....	72
Şekil 2.9	DES çalışma sahası ve DES profilleri.....	73
Şekil 3.1	(a) 1.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	74
Şekil 3.2	(a) 2.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu...	75
Şekil 3.3	(a) 3.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu...	76
Şekil 3.4	(a) 4.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu...	77
Şekil 3.5	(a) 5.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	78
Şekil 3.6	(a) 6.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	79
Şekil 3.7	(a) 7.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	80
Şekil 3.8	(a) 8.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	81
Şekil 3.9	(a) 9.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	82
Şekil 3.10	(a) 10.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu	83
Şekil 3.11	(a) 1.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	84
Şekil 3.12	(a) 2.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	85
Şekil 3.13	(a) 3.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	86

Şekil 3.14	(a) 4.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	87
Şekil 3.15	(a) 5.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	88
Şekil 3.16	(a) 6.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	89
Şekil 3.17	(a) 7.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu..	90
Şekil 3.18	Alarduç1 sahasından alınan 1.profilin Yer Radarı kesiti.....	91
Şekil 3.19	Alarduç1 sahasından alınan 2.profilin Yer Radarı kesiti.....	91
Şekil 3.20	Alarduç1 sahasından alınan 3.profilin Yer Radarı kesiti.....	92
Şekil 3.21	Alarduç1 sahasından alınan 4.profilin Yer Radarı kesiti.....	92
Şekil 3.22	Alarduç1 sahasından alınan 5.profilin Yer Radarı kesiti.....	93
Şekil 3.23	Alarduç1 sahasından alınan 6.profilin Yer Radarı kesiti.....	93
Şekil 3.24	Alarduç1 sahasından alınan 7.profilin Yer Radarı kesiti.....	94
Şekil 3.25	Alarduç1 sahasından alınan 8.profilin Yer Radarı kesiti.....	94
Şekil 3.26	Alarduç1 sahasından alınan 9.profilin Yer Radarı kesiti.....	95
Şekil 3.27	Alarduç1 sahasından alınan 10.profilin Yer Radarı kesiti.....	95
Şekil 3.28	Alarduç2 sahasından alınan 1.profilin Yer Radarı kesiti.....	96
Şekil 3.29	Alarduç2 sahasından alınan 2.profilin Yer Radarı kesiti.....	97
Şekil 3.30	Alarduç2 sahasından alınan 3.profilin Yer Radarı kesiti.....	97
Şekil 3.31	Alarduç2 sahasından alınan 4.profilin Yer Radarı kesiti.....	98
Şekil 3.32	Alarduç2 sahasından alınan 5.profilin Yer Radarı kesiti.....	98
Şekil 3.33	Alarduç2 sahasından alınan 6.profilin Yer Radarı kesiti.....	99
Şekil 3.34	Alarduç2 sahasından alınan 7.profilin Yer Radarı kesiti.....	99
Şekil 3.35	Alarduç2 sahasından alınan 8.profilin Yer Radarı kesiti.....	100
Şekil 3.36	Alarduç2 sahasından alınan 9.profilin Yer Radarı kesiti.....	100
Şekil 3.37	Alarduç2 sahasından alınan 10.profilin Yer Radarı kesiti.....	101
Şekil 3.38	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 1. Profilin Yer Radarı kesiti.....	102
Şekil 3.39	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 2. Profilin Yer Radarı kesiti.....	102

Şekil 3.40	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 3. Profilin Yer Radarı kesiti.....	103
Şekil 3.41	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 4. Profilin Yer Radarı kesiti.....	103
Şekil 3.42	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 5. Profilin Yer Radarı kesiti.....	104
Şekil 3.43	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 6. Profilin Yer Radarı kesiti.....	104
Şekil 3.44	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 7. Profilin Yer Radarı kesiti.....	105
Şekil 3.45	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 8. Profilin Yer Radarı kesiti.....	105
Şekil 3.46	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 9. Profilin Yer Radarı kesiti.....	106
Şekil 3.47	Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 10. Profilin Yer Radarı kesiti.....	106
Şekil 3.48	Tam Ocaküstü sahasından alınan 1.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti.....	107
Şekil 3.49.	Tam Ocaküstü sahasından alınan 2a.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti...	107
Şekil 3.50	Tam Ocaküstü sahasından alınan 2b.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti...	108
Şekil 3.51	Tam Ocaküstü sahasından alınan 3.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti.....	109
Şekil 3.52	250 MHz antenle tam ocak üstünde alınan ölçümle aynı yerden çekilen bir fotoğrafın karşılaştırılması.....	109
Şekil 3.53	Ocaküstü 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 4-20 m deki derinlik haritaları a) 2 m'deki derinlik haritası (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası (d) 4 m'deki derinlik haritası.....	110
Şekil 3.54	Ocaküstü 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 21-36 m deki derinlik haritaları, (a) 2 m'deki derinlik haritası (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası (d) 4 m'deki derinlik haritası.....	111
Şekil 3.55	Ocaküstü 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 40-55 m deki derinlik haritaları, (a) 2 m'deki derinlik haritası (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası (d) 4 m'deki derinlik haritası.....	112
Şekil 3.56	Ocaküstü 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 5-20 m deki derinlik haritaları, (a) 2 m'deki derinlik haritası (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası (d) 4 m'deki derinlik haritası.....	113
Şekil 3.57	Ocaküstü 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 20-36 m deki derinlik haritaları, (a) 2 m'deki derinlik haritası (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası (d) 4 m'deki derinlik haritası.....	114
Şekil 3.58	Alarduç 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 0-18 m deki derinlik haritaları, (a) 2 m'deki derinlik haritası (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası (d) 4 m'deki derinlik haritası.....	115

Şekil 3.59	Alarduç 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 18-36 m deki derinlik haritaları, (a) 2 m'deki derinlik haritası (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası (d) 4 m'deki derinlik haritası.....	116
Şekil 3.60	Alarduç 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 0-10 m deki derinlik haritaları, (a) 5 m'deki derinlik haritası (b) 10 m'deki derinlik haritası, (c) 15 m'deki derinlik haritası (d) 20 m'deki derinlik haritası....	117
Şekil 3.61	Alarduç 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 10-20 m deki derinlik haritaları, (a) 5 m'deki derinlik haritası (b) 10m'deki derinlik haritası, (c) 15 m'deki derinlik haritası (d) 20 m'deki derinlik haritası....	118
Şekil 3.62	Alarduç 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 0-18 m deki derinlik haritaları, (a) 5 m'deki derinlik haritası (b) 10m'deki derinlik haritası, (c) 15 m'deki derinlik haritası (d) 20 m'deki derinlik haritası....	119
Şekil 3.63	DES noktaları krokisi	120
Şekil 3.64	2.profil'e ait düşey elektrik sondajı eğrisi örneği.....	121
Şekil 3.65	1.profil 'e' ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-derinlik kesiti.....	122
Şekil 3.66	2.profil 'e' ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-derinlik kesiti.....	123
Şekil 3.67	3.profil 'e' ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-derinlik kesiti.....	123
Şekil 3.68	4.profil 'e' ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-derinlik kesiti.....	124
Şekil 3.69	(a) Profil 1 için elde edilen tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür özdirenç kesiti. (b) Görünür özdirenç kesitinin ters çözümüyle elde edilen derinlik kesiti.....	125
Şekil 3.70	(a) Profil 2 için elde edilen tüm DES verilerinin çözümlerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür özdirenç kesiti. (b) Görünür özdirenç kesitinin ters çözümüyle elde edilen derinlik kesiti.....	126
Şekil 3.71	(a) Profil 3 için elde edilen tüm DES verilerinin çözümlerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür özdirenç kesiti. (b) Görünür özdirenç kesitinin ters çözümüyle elde edilen derinlik kesiti.....	127
Şekil 3.72	(a) Profil 4 için elde edilen tüm DES verilerinin çözümlerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür özdirenç kesiti. (b) Görünür özdirenç kesitinin ters çözümüyle elde edilen derinlik kesiti	128
Şekil 3.73	AB/2 ye karşılık kat haritaları.....	130
Şekil 3.74	Kıratlı travertenlerinin jeofizik verilere göre güncel konumu.....	131

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Genel jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri.....	6
Tablo 1.2. Frekansa göre penetrasyon derinliği.....	46
Tablo 1.3. Bilinen bazı kayaların, toprak materyalleri ve kimyasalların özdirenç değerleri.....	61
Tablo 1.4. Bazı Kayaların Elektrik Özdirenç Değerleri.....	62

SEMBOLLER DİZİNİ

A	Akımın geçtiği telin kuşattığı kapalı döngü alan
B	Manyetik akı yoğunluğu
C	İntegrasyon sabiti
D	Elektrik yer değiştirme
DAÖ	Doğru akim öz direnç yöntemi
DES	Düşey Elektrik Sondajı
Dx	İz aralıkları
E	Elektrik alan şiddeti
H	Manyetik alan şiddeti
GAYK	Geniş açılı kırılma yansıma
GÖ	Görünür Öz direnç
GPR	Ground Penetrating Radar – Yer Radarı
Hz	Hertz
I	Elektrik akımı
J	Akım yoğunluğu
J _c	İletim akımları
J _D	Yerdeğiştirme akımları
K ₀	Elektromanyetik dalgaların genel yayılım sabiti
K*	Karmaşık dielektrik katsayısı
K'	Dielektrik katsayısı
K''	Kayıp faktörü
K	Geometrik faktör
M	Manyetik dipol moment
MHz	Mega Hertz
ODN	Ortak derinlik noktası

R	Sönüm
TE	Enine elektrik modu
TM	Enine manyetik modu
V	Hız
α	Soğrulma Sabiti
c	Işık hızı
f	Sinüzoidal frekans
f_c	Merkez frekansını
k	Dalga sayısı
\hat{n}	Normal vektörü
ns	Nanosaniye
$i\omega K''$	Dielektrik kayıp faktörü
$i\sigma_{DC}$	DC iletkenlik kayıp faktörü
ω	Açısal hız
ω_t	Geçiş frekansı
$\omega K'$	Dielektrik katsayısı faktörü
ϵ_0	Boşluğun elektrik geçirgenliğini
μ	Manyetik geçirgenlik
μ_r	Bağıl manyetik geçirgenlik
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliğini
ϵ	Permitivite (Dielektrik sabit)
ϵ_r	Bağıl dielektrik geçirgenliği
σ	İletkenlik
σ_{DC}	Doğru akım elektrik iletkenliği
q	Yük yoğunluğu
Δr	Çözünürlük boyutu
$\Delta\phi$	Gerilim farkı

∇	Nabla operatörü
2B	İki boyutlu
3B	Üç boyutlu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde, inşaat ve süslemecilikte kullanılan travertenin sağlanması için açılan ocak işletmelerindeki temel amaç; kırıksız, sağlam, istenen boyutlarda blokların elde edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmada; kaliteli traverten elde etmek için ocak açılması düşünülen bir sahada; bloklar arasındaki bağlantıların ve kırıkların dağılımının haritalanması için, yüksek frekanslı elektromanyetik dalga ile çalışan Yer Radarı (GPR) yöntemi ve kırık-çatlak sistemlerini başarılı şekilde ortaya çıkaran elektrik özdirenç yöntemi kullanılmıştır. İşletilmesi düşünülen ocağın nereden başlaması gerektiği, ilerleyişi ve en uygun yatırımın planlanmasına yönelik olarak ön çalışmaların yapılması, işletmeci için oldukça fazla önem taşımaktadır. Son yıllarda açılması planlanan ya da işletilmekte olan mermer, traverten, granit vb ocaklarda; sığ yeraltını yüksek çözünürlükte hızlı ve tahribatsız bir şekilde görüntüleyebilen GPR ve elektrik özdirenç yöntemleri etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tür çalışmalara başarılı örneklerden bazıları ise aşağıda sıralanmıştır:

Grandjean ve Gourry (1996) tarafından Yunanistan'daki mermer ocaklarında kırıkların haritalanması ve belirlenmesi için GPR uygulaması yapılmıştır. Yapılan uygulamada, mermer ocağının yönetiminde verimliliği arttırmak için kırıklı olan kısımlarından, bozulmamış mermer alanlarının hızlı bir şekilde ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik yapılan çalışmada bozulmamış mermer alanları başarılı bir şekilde ayırt edilmiştir.

Carlos Ce'sar Nascimento da Silvaa vd., (2004) "Brezilyada Çaiçara çiftliğinde kristalin akiferlerin özdirenç ve GPR ile görüntülenmesi" başlıklı çalışmada kuyu verileri ve elektirik özdirenç ile GPR yöntemlerini kullanarak çalışma alanındaki kırık-çatlak sistemini başarılı bir şekilde görüntülemişlerdir.

"Endüstriyel mineral madenciliğinde GPR" başlıklı bir çalışma, Amerika Jeoloji Topluluğu (GSA)'nun yıllık toplantısında Shaffer ve Wenning, (2002) tarafından sunulmuştur. Bu sunuda; endüstriyel hammadde çıkarılan ocaklardaki doğal süreksizliklerin ve karstik özelliklerin, rezervlerin ekonomik kullanımında problemlere yol

açabildiği vurgulanmıştır. Ayrıca bu problemlerin, boşluklu ve kırıklı taş ocaklarında güvenlik, hidrolojik ve çevresel problemlere de neden olabildiği belirtilmiştir. Bu durumlara sebep olabilecek özelliklerin yerlerinin ve oluşabilirliklerinin ortaya çıkartılması için kullanılan GPR tekniğinin, taş ocağı işletmeleri için çok yararlı olduğu ifade edilmiştir (Shaffer ve Wenning, 2002).

Alp vd., (2003) yer radarı yöntemini Baybut ili Madenli yöresindeki bir mermer işletmesinde kullanmışlar, bu yöntemin mermer işletmeciliğinde hızlı ve hasarsız bir yöntem olarak; ocak planlamasını iyileştirerek, çatlaksız blokların üretilmesini kolaylaştırabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca bu çalışmada GPR yönteminin farklı iletkenliğe sahip ortamların sınırlarını, dalımlarını ve derinliklerini belirlemede de olumlu sonuçlar verdiğini bildirmiştir.

Kadioğlu ve Kadioğlu (2005), mermer işletmeciliğini geliştirmek amacıyla Ankara'nın Polatlı ilçesi Ilıca köyündeki mermer ocağındaki süreksizlikleri ve kalınlıkları yer radarı yöntemi ile belirlemeyi amaçlayarak; yöntemin, mermer tabakasındaki kırıkları ve boşlukları derinliğe göre belirleme ve haritalamada başarı ile uygulandığını kaydetmişlerdir.

Kadioğlu (2008), Ankara'nın Polatlı ilçesinde, mermer ocağı olarak çalıştırılacak bir sahadaki kireçtaşının tabaka kalınlığını, devamsızlıklarını ve boşluklarını GPR yöntemi ile görüntüleme çalışması yapmıştır. 2B radar profillerinin 3B görüntülenmesi ile yapıdaki devamsızlıklar ve tabaka kalınlıkları belirlenmiştir.

Porsani vd., (2006) Güney Brezilya' da bir granit ocağının kırıklı yapısının araştırılması için GPR yöntemi uygulayarak bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, yapısal süreksizlikler ve kırıkların dağılımı ve yüksek kaliteli (bozuşmamış, masif) granitin olduğu yerlerin belirlenmesi için elde edilecek olan bilgilerin maden mühendisleri için oldukça önemli olduğu ortaya konulmuştur. Bu bilgi, taş ocağının işletilmesi için yapılacak planlamaya rehber (kırıklılık, çatlaklılık durumu) olmasıyla maden çıkarma maliyetini en aza indirerek maden işleten şirket için önemli ölçüde ekonomik tasarruf sağlamaktadır.

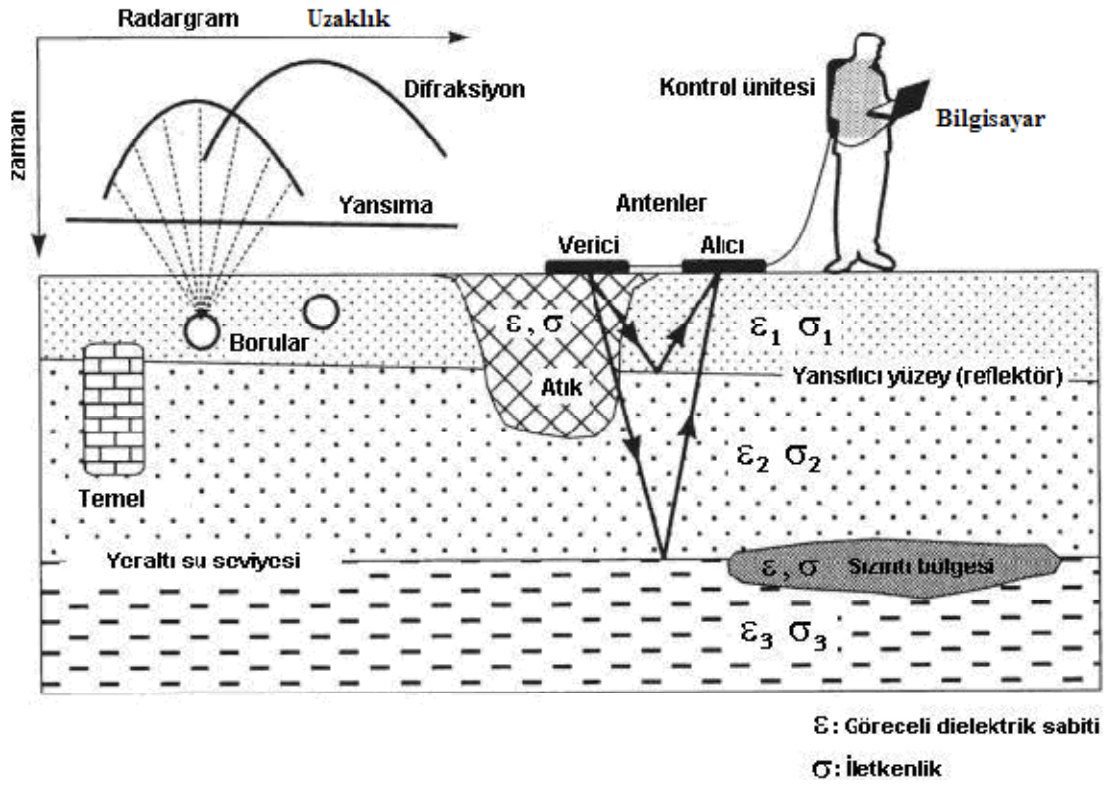
1.2. Uygulanan Yöntemler Ve Bunların Matematiksel Temelleri

1.2.1. Yer Radarı Yöntemi

Yer radarı (GPR), araştırılan ortamın sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyebilen elektromanyetik bir yöntemdir (Davis ve Annan, 1986). GPR genel olarak yer altındaki gömülü yapıları ve bunların özelliklerini haritalamak için 10 MHz ile 6000 MHz frekans aralığında radyo dalgalarını kullanmaktadır.

İncelenen ortamın yapısına yönelik araştırmalarda radyo dalgalarının uygulanması yeni değildir. Bu yöntemin ilk başarılı uygulaması, kutuplarda ve Antartika' da yansıyan radyo dalgalarını kullanarak buz tabakalarının kalınlıklarını haritalamak ve eriyen buzulların kalınlıklarını tespit etmek olmuştur (Jol,2009). 'Buzul' olmayan GPR çalışmaları 1970'lerde başlamıştır. İlk çalışmalar donmuş toprak yapısı üzerine olmuştur (Annan ve Davis 1976). Yöntemin üstünlükleri ve zayıflıkları anlaşılmaya başladıkça, uygulamaları Davis ve Annan (1989) tarafından genişletilerek tanımlanmıştır. Diğer alanlardaki uygulamalar Morey (1974) ve Ulriksen (1982) tarafından tanımlanmıştır.

Yer radarı yöntemi, yeraltına gönderilen yüksek merkez-frekanslı (10-6000 MHz arası) elektromanyetik radar sinyallerinin yer içinde yayınımlı sırasında farklı dielektrik özelliklere sahip süreksizliklerle karşılaştıklarında, enerjilerinin bir kısmının geriye yansıyıp yüzeydeki alıcı antende dalganın çift yol seyahat zamanı nanosaniye cinsinden kaydedilmesi esasına dayanmaktadır (Van der Kruck, 1999). Burada sözü geçen toplam seyahat zamanı, radar dalgasının yüzeydeki verici antenden çıkıp yeraltında süreksizlikle/süreksizliklerle karşılaştığı ve bu yüzeyden yansıyarak yeryüzündeki alıcı antende kaydedildiği ana kadar geçen süredir (Şekil 1.1)



Şekil 1.1. Yer radarı yönteminin çalışma prensibi (Kesemen, 2007).

Bir radar dalgası genellikle yeraltında çökellerdeki ya da diğer jeolojik ortamlardaki litolojik değişimlerin (mermer veya traverten tipi formasyonların kırık-çatlak sistemleri), stratigrafik ara yüzeylerin, arkeolojik ve mühendislik yapıların, boşlukların, gömülü yapıların ve benzeri yeraltı özelliklerinin ortam içinde oluşan fiziksel değişimlere bağlı olarak, ortamda oluşan elektriksel özelliklerdeki değişimin bir ifadesi olarak düşünülmektedir. Bu değişimdeki ana etmenlerden biri, ortamın su ve nem içeriğindeki farklılıklardır. Ayrıca ortamların ve ortamlar arasındaki ara yüzeylerin hacim yoğunluklarındaki değişimler de radar dalgasının değişiminde önemli bir etmendir (Conyers,1997).

Yer altının yüksek çözünürlükle görüntülenmesini sağlayan Yer Radarı, yeraltındaki farklı iletkenlik ve hızlardaki nesnelere nedeniyle sağlıklı bilgi toplanmasına ve değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Eğer ortam koşulları yer radarı ölçüleri için uygunsa, örneğin ortam yüksek oranda kil ve su içermiyorsa, uygun anten seçimleriyle yüzeye yakın santimetre boyutlarındaki hedef yapıların yerleri ve gömülü oldukları derinlikler belirlenebilir. Yer radarı yöntemiyle bot, kızak ve tekerlekli araçlar ve

helikopter gibi çeşitli tasarımlar sayesinde çok geniş alanlar hızlı bir şekilde taranabilmektedir (URL-1).

Penetrasyon derinliği ve radar sinyalinin ayrımlılık gücü iletilen dalganın frekansına ve araştırılan ortamdaki malzemenin dielektrik özelliklerine bağlıdır (Tablo 1.1). Kullanılan farklı frekanslar hem penetrasyon derinliğini hem de çözünürlüğü etkiler. Düşük frekanslarda araştırma derinliği artarken, düşey ayrımlılık azalmakta ve düşük frekanslar madde içindeki yüklerin polarize olması yerine yüklerin hareket etmesine neden olmaktadır. Bu durumda elektromanyetik enerji iletkenliğe dönüşmekte ve soğrulmaya neden olmaktadır. Yüksek frekanslarda ise düşey ayrımlılık artarken, penetrasyon derinliği azalmaktadır.

Genellikle çalışılan ortamın düşük iletkenlikli ortam olması istenir. Bu tip bir ortamın matematiksel ifadesi $\sigma/\omega\epsilon \ll 1$ olarak verilir. Kum ve granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda Yer Radarı dalgaları derinlere ulaşabilirken; kil, şeyl gibi iletken ortamlar iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğrulmasına neden olmaktadır (Annan vd., 1988). Düşük iletkenlikli ortamda 5-20 metre derinlere kadar penetrasyon sağlanabilirken, iletken ortamlarda bu derinlik birkaç metre olmaktadır (Davis ve Annan, 1986).

Tablo 1.1. Genel jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri n/a bu malzemeler için bir değer olmadığını ifade etmektedir (Wilchek, 2000).

Malzeme	Bağlı 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 (doymun)	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	$5 \cdot 10^{-10}$	0.11	$3 \cdot 10^{-10}$
Kuvars	4.2-5	$3 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-12}$	0.13-0.15	$2 \cdot 10^{-8}$ - $4 \cdot 10^{-12}$
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	$1 \cdot 10^{-5}$ -0.7	0.09-0.14	$5 \cdot 10^{-8}$ -0.6
Şeyl	5-15	1-100	0.09	1-100
Magmatik kayalar				
Bazalt	12	$8 \cdot 10^{-6}$ -0.025	0.09	$4 \cdot 10^{-6}$ -0.01
Dasit	6.8-8.2	0.05	0.12	0.03
Diyabaz	10.5-34.5	$2 \cdot 10^{-5}$ -50	0.05-0.09	$1 \cdot 10^{-2}$ -26
Diorit	6	0.0002-0.002	0.12	0.0001-0.001
Gabro	8.5-40	0.001-1	0.05-0.10	$3 \cdot 10^{-4}$ -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	$5 \cdot 10^{-6}$ -100	n/a	n/a

1.2.2. Yer radarı yönteminin avantaj ve dezavantajları

Yer radarı yönteminin günümüzde birçok probleme karşı tercih edilen bir yöntem haline gelmesinde etkili olan birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar;

- Yüksek frekanslı kaynak kullanılması ve yığma yapılabilmesi nedeni ile elde edilen çözünürlük yüksektir.
- Hedef yapı veya objenin yeri ve derinliği duyarlı bir şekilde belirlenebilmektedir.
- Arazide uygulanış bakımından kullanılan aygıta ve çalışma ortamına bağlı olmakla birlikte genelde kolaydır.
- İnsan kaynaklı gürültüler veri işlem teknikleri ile atılabilir.
- Diğer jeofizik yöntemlerin aksine kullanıldığı araştırma sahasına herhangi bir hasar vermeden uygulanmaktadır.

Yöntemin dezavantajları ise;

- Çalışma alanındaki jeolojik unsurların etkisi sinyallerin yeraltına nüfuz etmesini engelleyebilmektedir. Eğer yer iletkenliği çok yüksek ise yer-hava ara yüzeylerinde enerji yayılımında keskin yansıma sinyali yaratabilir ve iletken birimler üzerinde bilgi alınması zor olmaktadır.
- Çevredeki radyo vericileri, önemli bir gürültü kaynağıdır ve ölçülen sinyaller kayıt aygıtının dışına taşabilirler.
- Kayıtlara çevredeki yapılardan gelen yansımalar karışabilmektedir. Yansımalar sismik yöntemde olduğu gibi yanlardan gelebilir ve yansıtıcı metalik nesne ise çok keskin olabilmektedirler.

1.2.3. Yer Radarı Tarihçesi

Yer radarı yöntemi, araştırılan yüzeyin sığ tabaka ve katmanlarında yapılan araştırmalarda kullanılan jeofizik yöntemdir. Son otuz yıl içerisinde elektronik endüstrisinde yaşanan gelişmeler, zahmetli ve pahalı bir iş olan ışık hızı ölçümlerinin daha ucuz, kolay ve daha duyarlı yapılmasını sağlamıştır. Işık hızının duyarlı ölçümlerinin sonucunda yeraltında ışık hızına yakın hareket eden elektromanyetik dalgaların daha hassas ve nanosaniye mertebesinde ölçülmesine ve sığ jeofizik araştırmalarda doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. Bu çalışmalar ve gelişmeler yer radarı uygulamalarını doğurmuştur.

İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell tarafından 1865 yılında bulunan elektromanyetik dalga ve bunların yayılmasını açıklayan elektromanyetik ışık kuramı, 1886 yılında Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz tarafından da kanıtlanmış ve radar uygulamalarının başlangıç tarihi olmuştur.

1904 yılında Alman Radyo Algılama ve Mesafe Tayini mühendisi Christian Hülsmeier su üzerindeki trafiği denetlemek için “telemobiloskopu” icat etmiştir. Bu alet ile metal bir nesneden çarparak dönen elektromanyetik dalgaların süresi ölçülmekte ve böylece menzil hesaplanabilmektedir. Christian Hülsmeier elektromanyetik dalgalar ile gemilerin yerini belirlemekte kullanılabilen icadını tescil ettirmek için 1904 yılında Almanya ve İngiltere’de patent başvurusunda bulunmuş, 30 Nisan 1904 tarihinde Kraliyet Patent Dairesi, Christian Hülsmeier tarafından geliştirilen, “uzaktaki metal nesnelerin yerini bir gözlemciye bildiren” cihazı 165 546 Nolu belge ile tescil etmiştir. Patent belgesinde bir yansıma sayesinde, gelmekte olan bir gemiyi tespit eden bir buharlı geminin resmi yer almıştır. Ren nehrinde yapılan bu deneme ile cihazın kullanılabilirliği kanıtlanmıştır.

1921 yılında Albert Wallace Hull tarafından güçlü gönderici tüpü magnetron icat edilmiş, 1922 yılında ise ABD Donanma Araştırma Laboratuvarından A. H. Taylor ve L.C.Young ilk kez bir tahtadan gemiyi algılamayı başarmışlardır.

1930 yılında yine ABD Donanma Laboratuvarından L. A. Hyland bir uçağı algılamayı başarmıştır.

1939 yılında İngiltere Birmingham Üniversitesi’nden John Randall ve Henry Boot adlı iki fizikçi hafif fakat güçlü mikrodalga radarını geliştirerek, radarın denizaltı savaşlarında da bir dönüm noktası olmasına sebep olmuştur.

1940 yılında ilk olarak yeraltındaki nesnelerin bu uygulama ile belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı esnasında Alman, Fransız, İngiliz ve Amerikan fizikçilerinin çalışmaları iyice artmış ve bu çalışmaların neticesinde 180 km mesafedeki hedefi hassas bir şekilde tespit edebilecek radarlar yapılmıştır.

1940 senesinde İngiliz fizikçiler çok oyuklu magnetronu keşfedince, radar gücü birkaç bin misli arttırılmıştır. İkinci Dünya Savaşından sonra “barışçıl kullanım” olarak adlandırılan bir yönde kullanılmaya başlanan radar yöntemi, günümüzde günlük hayatta çok sık kullanılmaya başlanmıştır. Yer radarı ilk önce buz kalınlığının ölçülebilmesi için geliştirilmiştir. Normal yer ortamında yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin sismik yöntemlerde kullanılan veri işlem teknikleri ile işlenmesi sonucunda 10 – 20 m gibi araştırma derinliğine ulaşıldığı görülmüştür. Günümüzde ise yer radarı yöntemi sığ yer araştırmaları ile

arkeometri çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Madencilik ve jeolojik çalışmalarda

1970'li yıllarda kullanılmaya başlanan yer radarı, 1980'li yıllarda iyi ayrımlılık veren 500 MHz -1GHz antenlerle doğal soğurmanın daha az olduğu sığ incelemeler için kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar içerisinde arkeolojik çalışmaları da bulmak mümkündür. 1990'larda ise düşük (10, 20 ve 50 MHz) ve yüksek (2,5-3 GHz) merkez frekanslı antenler kullanılmıştır. Daha sonra yer radarı, maden arama, stratigrafi, yol kaplama denetlemesi, yapı, inşaat, su arama vs. gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır.

1989'lı yıllara gelindiğinde uygulama alanlarının 1989'da Annan ve Davis tarafından genişletilmesi ile yöntemin zayıf noktaları ve güçlü yanları anlaşılmıştır (Annan 1992).

Daha sonraki 10 yıl içerisinde, Yer radarı yöntemini uygulayanlar; teknolojiye yaşanan gelişmelerle veri toplama, veri işleme ve veri analizinde çok daha başarılı sonuçlar ortaya koymuşlardır. Ayrıca yer radarı verilerinin 3 boyutlu görüntülenmesine tarafından imkan verilmektedir. (Smemoe, 2000).

1.2.4. Yer Radarının Kullanıldığı Alanlar

Yer radarı ilk uygulaması 1929 yılında Avusturya'da buz kalınlığının ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilmiş (Stern, 1930) ve sonraki yıllarda çok çeşitli sığ araştırmalarda geniş kullanım alanları kazanmıştır. Başlıca uygulama alanları aşağıda kısaca sunulmaktadır.

1.2.4.1. Jeoteknik ve Jeolojik Araştırmalar

Jeoteknik araştırmalar genelde yüzeyden itibaren 1 – 20 metre derinliklere kadar olan bölüm ile ilgilenmekte, nadiren büyük yapılar için bu derinlik 20 – 60 metreye kadar ulaşmaktadır. Yer radarı ile jeoteknik araştırmalar da bazı alt başlıklarda değerlendirilmektedir (Daniels, 2004).

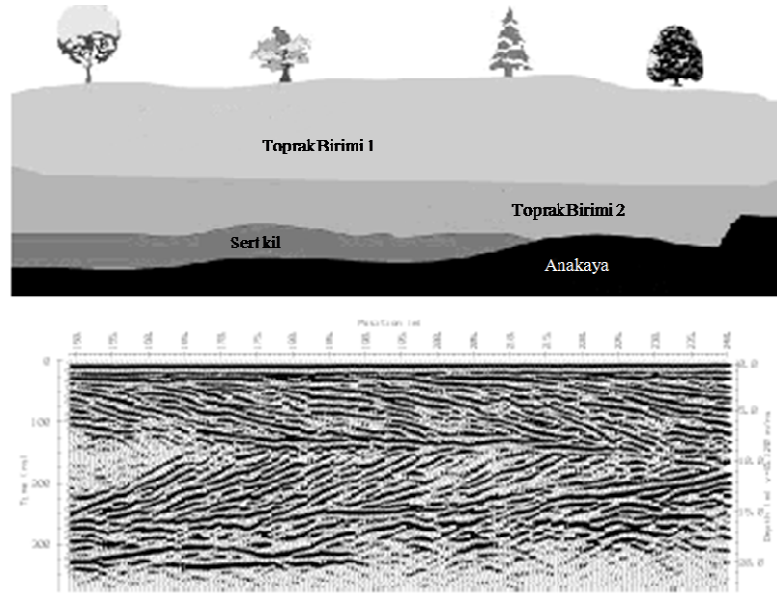
a) Yüzeydeki Gevşek Zonun Tespiti

Zeminin en üst tabakası olarak adlandırılan ve her türlü yapılaşma için mutlaka alttaki sert zemin bulununcaya kadar kazılması gereken bu tabakanın kalınlığı her yerde farklıdır. Malzemenin cinsine de bağlı olarak bazen onlarca metreyi bulmaktadır. Yapılaşmanın programlandığı sahalarda bu birimin saptanması amacı ile elektrik ya da sismik yöntemlerle

jeofizik etütler yapılmakta veya sondajlarla saha test edilmektedir. Yer radarı uygulamaları, aynı çalışmaların bu yöntem ile çok daha kısa sürede ve daha az maliyet ve insan gücü ile yapılabileceğini kanıtlamıştır. Genelde yüzeydeki gevsek zon alttaki nispeten pekişmiş zon ile iyi bir dielektrik sabit farkı oluşturmaktadır. Yer radarı uygulamalarında kullanılan elektromanyetik dalgalar için iyi bir kontrast oluşturan bu sınır kayıtlarda kolaylıkla gözlenebilmektedir (Daniels, 1989).

b) Ana Kaya (Temel Kaya) Derinliğinin Saptanması

Ana kaya yüzeyi elektromanyetik dalgalar için iyi bir yansımaya yüzeyi olup derinliği 40 –50 metreyi geçmeyen toprak, ayrılmış kayaç, vb gibi yapıların temel kaya derinlikleri yer radarı yöntemi ile kolaylıkla bulunabilmektedir. Köprü ayakları, viyadükler, bazı yapıların temeline irtibatlandırılan fore kazıkları bazı mühendislik uygulamaları için temel kaya derinliğinin saptanmasında gerekli olmakta, yer radarı yöntemi ile bu çalışmalar başarı ile yapılmaktadır (Romero, 1992).). Buna başarılı bir örnek Kanada’da gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.2).



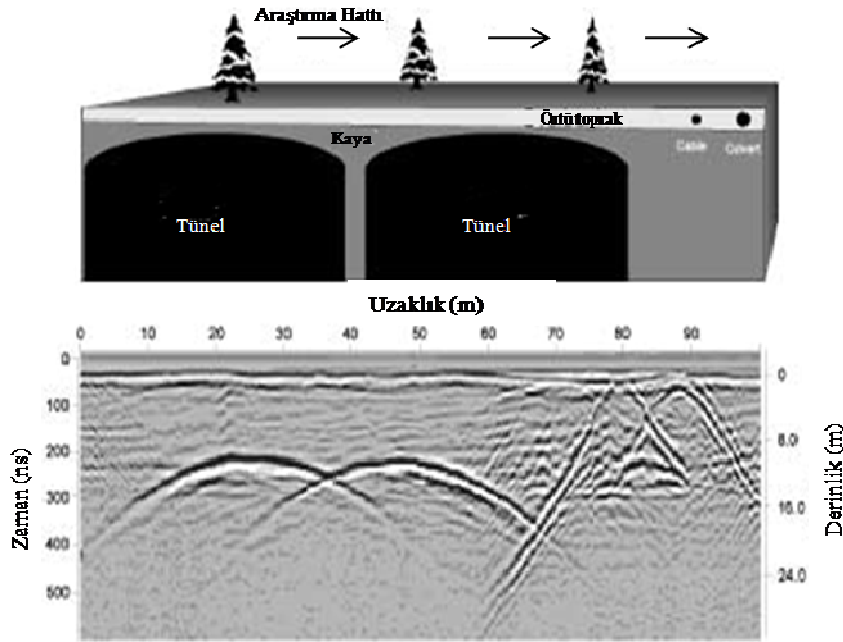
Şekil 1.2. Kanada’ da 100 MHz anten ile yapılan bir çalışma (Annan, 2001)

c) Zemindeki Yanal ve Düşey Süreksizliklerin Saptanması

Zemin içerisinde bulunan gevsek birimler, yanal ve düşey formasyon değişimleri homojen zemin özelliğini bozabilmektedir. Bu zeminlerin araştırılması yapılmadan üzerine inşa edilecek her türlü yapıda bir süre sonra deformasyon başlayacaktır. Bunun önüne geçmek için sahada önceden yapılacak olan bir yer radarı etüdü, bu tür gevsek birimleri bütün detayları ile ortaya çıkaracaktır (Koçaslan, 2008).

d) Otoyol, Tünel ve Demiryolu Güzergâh Çalışmaları

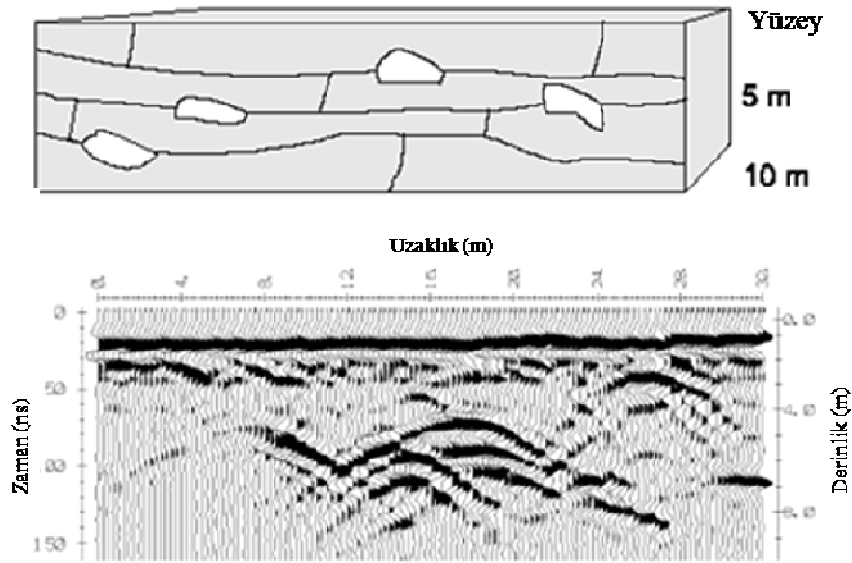
Yapılması planlanan otoyol ve tren yolu zeminlerinin araştırılması ile tünel açılması planlanan kaya ortamlarındaki tünel güzergâhı boyunca kayalık zemindeki mevcut süreksizlik veya çatlakların araştırılması, yer radarı ile başarıyla yapılmaktadır. Kayalık ortamlar düşük dielektrik sabiti ve elektrik iletkenlik nedeniyle elektromanyetik dalgaların kaya ortamı içerisindeki kolay yayılımı ve süreksizliklerden yansıma elde edilmesi bu yöntemin uygulamasını yaygınlaştırmıştır (Koçaslan, 2008). İsviçrede tünel yerlerini belirlemek amacıyla 50 MHz anten kullanılarak bir çalışma yapılmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. İsviçre' de 50 MHz antenle yapılmış bir Tünel çalışması (Annan,2001).

e) Boşlukların Saptanması

Özellikle karstik sahalarda büyük çaplı hava boşlukları zeminde ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Bu boşlukların belirlenmesinde elektrik ve sismik yöntemler bazen yetersiz kalabilmektedirler. Yer radarı yöntemi ise bu konuda büyük avantajlar sağlamaktadır. Hava, elektromanyetik dalganın yayılması için ideal bir ortamdır. Kayaçlar ise, dielektrik sabitlerine, manyetik geçirgenliklerine, manyetik süseptibilitelerine, içerdikleri su miktarına ve buna bağlı olarak artan elektrik iletkenliklerine bağlı olarak elektromanyetik dalga yayılımına direnç göstermektedir. Ancak bir hava boşluğu ile karşılaşılan elektromanyetik dalgalar aniden hızlanmakta ve bu yeni ortamın ara yüzeyinden kuvvetli yansımalar göndermektedir. Bu nedenle hava boşluklarının yer radarı yöntemi ile saptanması mümkündür (Şeren, vd., 2008). Boşluk aramalarında başarılı bir sonuç şekil 1.4'te gösterilmiştir.

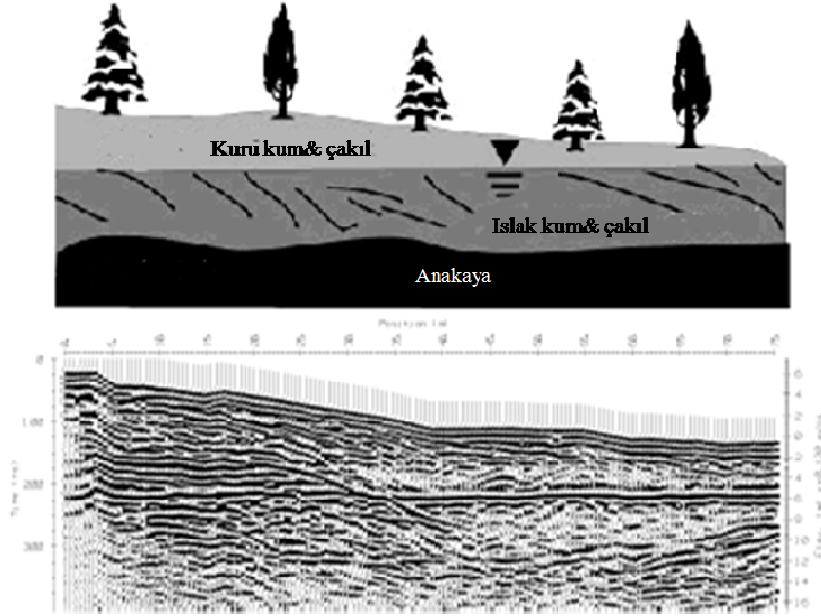


Şekil 1.4. İtalya'da kireçtaşı boşluk aramasına örnek bir çalışma. 100 MHz anten kullanılmıştır (Annan, 2001).

f) Su Tablasının Belirlenmesi

Zeminde bulunan su tablasının seviyesi ve mevsimsel hareketleri üzerine inşaa edilecek yapılar için çok önemlidir. Elektromanyetik dalgaların, su içeren formasyon içerisinde, yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle yayılımı güçtür. Dolayısıyla su tablası sınırı elektromanyetik dalgalar için çok kuvvetli bir yansıma yüzeyidir. Bu yöntem kullanılarak

zemindeki su tablası seviyesinin dağılımı büyük bir duyarlılıkla çıkarılabilmektedir (Koçaslan, 2008). Su tablasının belirlenmesine ait örnek şekil 1.5’te verilmiştir.



Şekil 1.5. Kanada’da su tablası haritalamaya örnek bir çalışma. 100 MHz anten kullanılmıştır (Annan, 2001).

1.2.4.2. Maden Araştırmaları, Maden Ocağı Sınırlarının Belirlenmesi

Madenlerin saptanması ve işletmeye alınacak madenlerin ocak sınırlarının tespiti, yer radarı uygulama derinlikleri içerisinde yer aldığından bu yöntem ile saptanabilmektedir. Yüzeye sokulum yapan volkanik ve metamorfik kayalardaki elektromanyetik dalga yayılımı, civarındaki ayrılmış yüzey çökellerinden farklı olduğundan dokunaklarda iyi yansıma yüzeyleri oluşmaktadır. Mermer işletmeciliğinde kalınlık ve süreksizliklerin değişiminin ortaya konulmasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

1.2.4.3. Kablo ve Boru Güzergâhı Belirleme Çalışmaları

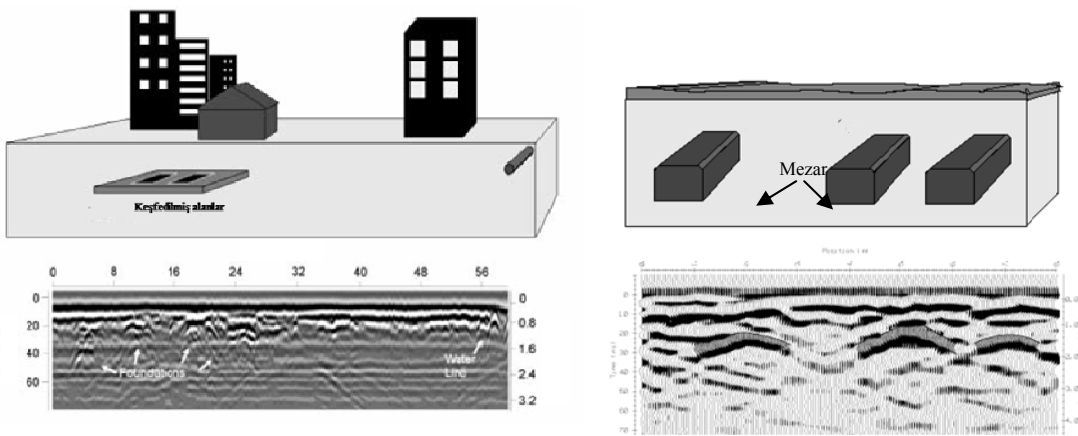
Su, kanalizasyon, akaryakıt ve doğal gaz boru hatları ile elektrik ve haberleşme kabloları bir lokasyondan diğerine ulaştırılırken yeraltına gömülmektedir. Gömme operasyonu öncesi ise uygun zeminin belirlenmesi amacıyla araştırma yapılmaktadır. Yer radarı yöntemi ile yapılan zemin incelemeleri boru hattı ve kablo döşenmesine en uygun zemini süratli bir şekilde belirlemektedir (Koçaslan, 2008).

1.2.4.4. Otoyol Asfalt ve Dolgularındaki Deformasyonların İzlenmesi

Otoyollar yapıldıktan sonra bazı kesimlerde gözle görülen deformasyonlar ortaya çıkabilmektedir. Gerek doğal afetler gerekse beklenenin üzerindeki yükler otoyollarda kısmi bozukluklara neden olmakta, önlemi alınmazsa daha büyük deformasyonları beraberinde getirmektedir. Deformasyon belirtilerinin ortaya çıkmasından sonra bölgede yapılan yer radarı ölçümleri bu sahada deformasyona neden olan kaynağı ortaya çıkarmakta büyük yarar sağlamaktadır. Asfalt üzerinde yapılan yer radarı çalışmaları uygun zemin nedeniyle son derece hızlıdır. Elde edilen kayıtlardan deformasyonun asfalt kaplama veya altındaki dolgu malzemesindeki miktarı da belirlenmektedir (Daniels, 1989).

1.2.4.5. Arkeolojik Arama Çalışmaları

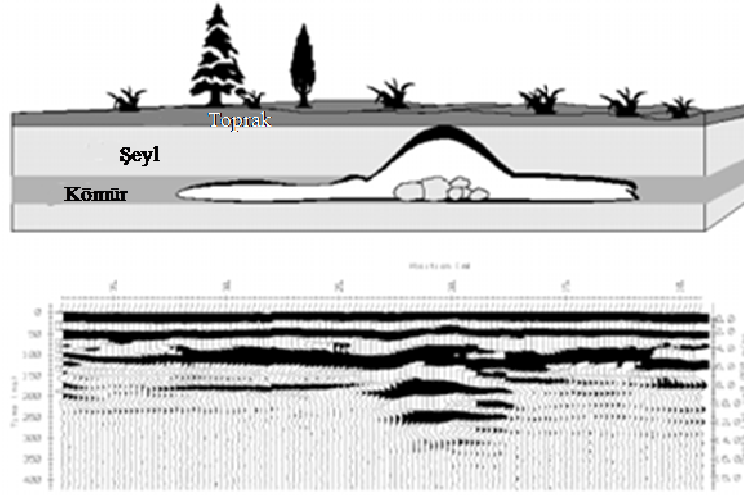
Günümüzde birçok eski medeniyete ait tarihi kalıntılar yerin altında keşfedilmeyi beklemektedir. Toprak altında bulunan eski yapıların jeofizik yöntemlerle saptanarak tahrip edilmeden kazılması için arkeologlar ile jeofizikçiler arasında uzun yıllardır ortak çalışmalar yürütülmektedir. Yer radarı tekniğinin uygulanmaya başlamasından sonra jeofizikçiler arkeologlara en kesin ve en tahribatsız sonuçları vermeye başlamışlar, arkeologlar da yer radarı sonuçlarını kullanarak kazılarını tahribatsız yapmaya başlamışlardır. Yer radarı ile özellikle toprak altında kalan eski yapılar ve mezar boşlukları başarılı bir şekilde görüntülenebilmektedir (Daniels, 1989).



Şekil 1.6. (a) 200 MHz antenle Danimarka’ da yapılan bir arkeolojik çalışma, (b) Kanada’ da 200 MHz anten ile alınan mezar yeri belirleme çalışması (Annan, 2001).

1.2.4.6. Güvenlik ve Kriminal Amaçlı Kullanım

Güvenlik açısından, cezaevi çevresinde periyodik yer radarı ölçümleri ile cezaevi dışına doğru kazılacak tüneller tespit edilebilmektedir. Ayrıca hücre evi olarak ele geçirilen yasadışı örgüt barınaklarında ve çevresindeki gizli bölmelerde gizlenen silah, cephane ve erzak tespitinde de yer radarı uygulamalarından yararlanılmaktadır. Ayrıca arazide gömülü olan ceset veya toplu mezarların aranmasında da yer radarı kesin sonuçlar vermektedir.



Şekil 1.7. 50 MHz antenle mayın belirleme çalışması (Annan, 2001).

1.2.5. Yer Radarının Dayandığı Temel Elektromanyetik Alan Yayılım Teorisi

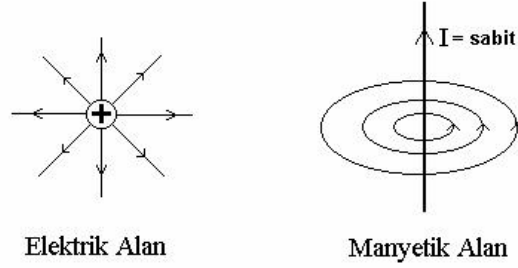
1.2.5.1. Elektromanyetik (EM) Dalganın Oluşumu

Elektrik ve manyetik alan etkisiyle, enerjinin dalgalar halinde taşınmasına elektromanyetik dalgalar denir. Işık, ısı dalgaları, X ışınları, radyo dalgaları, gamma ışınları, ultraviyole ışınların hepsi birer elektromanyetik dalgadan ibarettir. Elektromanyetik dalgaların karakteristikleri normal harmonik dalgalarda olduğu gibidir. Bu dalgalar; frekans, periyot ve dalga boyu ile tanımlanmaktadır. Frekans, bir saniyedeki titreşim sayısıdır. Birimi Hertz (Hz) dir. Periyot, tam bir titreşim süresi, dalga boyu ise iki dalga tepe noktası arasındaki mesafedir. Dalga boyu ile frekansın çarpımı dalganın yayılma hızını verir.

Elektromanyetik dalga oluşması için yükün ivmelenmesi gerekir. Hareketsiz elektrik yükü, eğer hareket ederse etrafında manyetik alan meydana gelir ki, bu alan civardaki bir

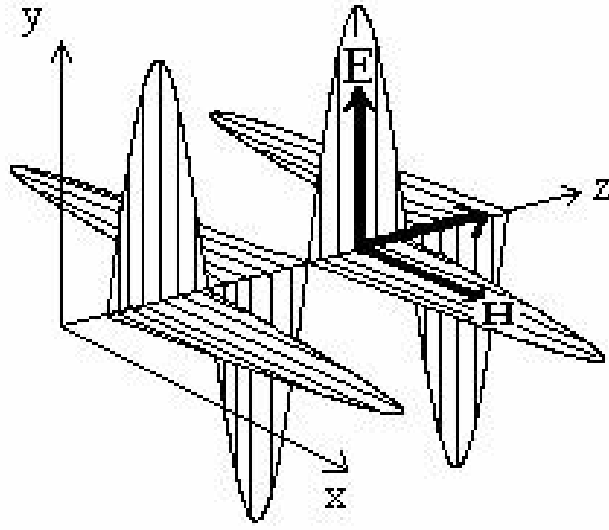
mıknatis veya manyetik metal parçasına manyetik itme veya çekme kuvveti uygulamaktadır. Zamanla değişim gösteren durumlarda, elektrik alan ve manyetik alan birbirine tamamen bağlıdır. Yani elektrik alan değişimi, manyetik alan oluşturur; manyetik alan değişimi de elektrik alan oluşturur. Şöyle ki; durgun bir yük sadece E elektrik alanı oluştururken, hareketli bir yük elektrik alana ek olarak bir de manyetik alan oluşturur. Bu alan civarındaki başka herhangi bir elektrik yüküne itme veya çekme şeklinde bir kuvvet uygulamaktadır. Eğer zamanla değişim yoksa elektrik alan ve manyetik alan birbirlerinden bağımsız olarak bulunabilirler. Yani durgun bir yük veya düzgün doğrusal hareket yapan bir yük, elektromanyetik dalga yayamaz.

Değişken bir manyetik alan oluşturmak için, iletkenen alternatif akım geçmesi yeterlidir. Yani alternatif akım geçen bir iletkenin çevresinde hem elektrik alan hem de manyetik alan oluşur (Şekil, 1.8). Bu da çevreye elektromanyetik dalga yayıldığını gösterir.



Şekil 1.8. Elektrik ve manyetik alanın gösterimi

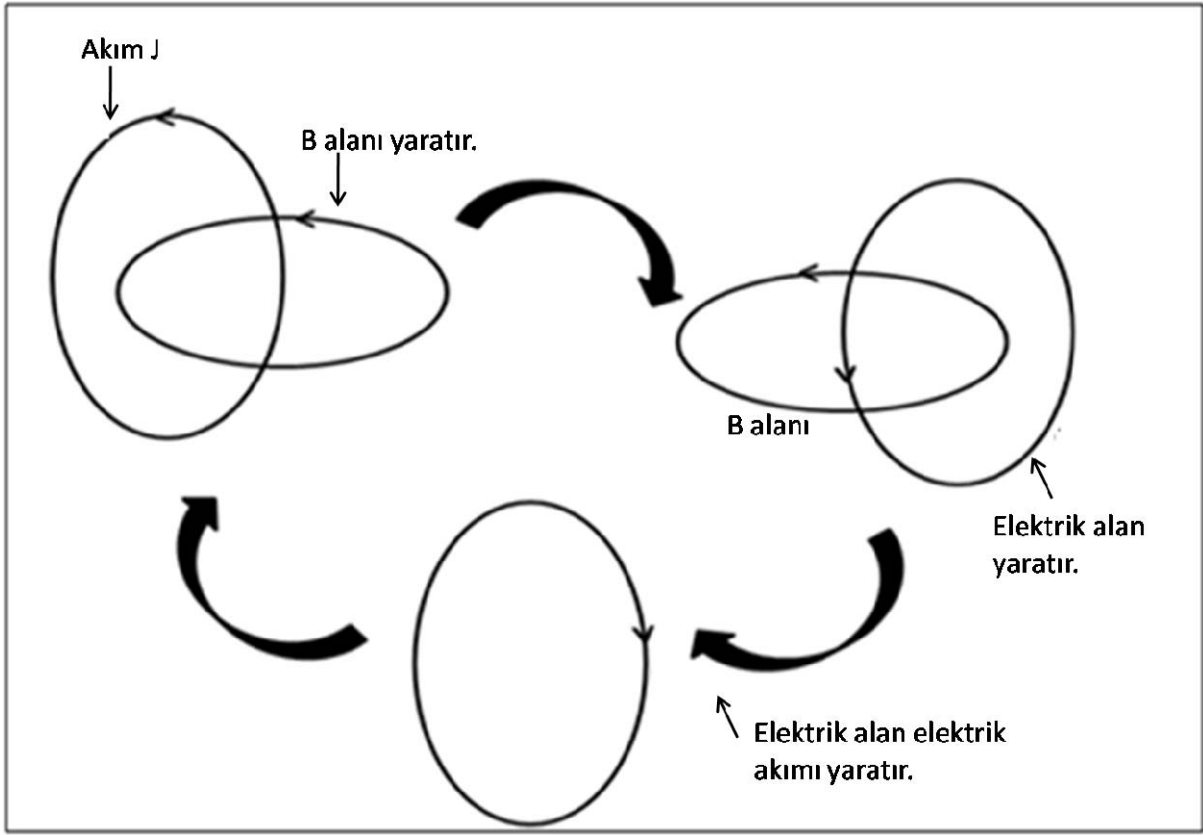
Elektromanyetik dalgalar, elektromanyetik alanın uzayda yayılmasından ibarettir. Elektromanyetik alanın kaynağı, elektrik alan ve manyetik alan olduğundan, elektromanyetik dalgaların yönü bunlar yardımıyla bulunabilir. Elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) birbirine diktir. Elektromanyetik alan (P) ise, bu ikisinin meydana getirdiği düzleme diktir. Neticede üç alan birbirine dik üç vektörle gösterilebilir (Şekil, 1.9). Elektromanyetik dalgaların uzaydaki hızı 3.108 m/s 'ye çok yakındır (Işık da bir elektromanyetik dalga olduğundan ışık hızı bu değere eşittir).



Şekil 1.9. Birbirine dik hareket eden elektrik alan ve manyetik alanın homojen ortamdaki yayılımı (Annan,2001).

1.2.5.2. Elektromanyetik Alanların Dalga Yapısı ve Elektromanyetik Dalganın Yayılımı

EM alanların dalga yapısı burada basit homojen ortam için dikkate alınmıştır. Malzeme özellikleri izotropik, frekans bağımsız ve lineer ifade edilmiştir. Elektrik alan indüklenerek, şekil 1.10 daki gibi elektrik alanın değişimiyle manyetik alan oluşturur. Bu devamlılık bir alanın diğer alanı indüklemesiyle ortamda hareket ederek devam etmektedir. Kayıplara bağlı olarak, alanlar dalga şeklinde yayılabilir.



Şekil 1.10. Elektromanyetik dalga yayılımının gösterimi (Annan, 2001).

Matematiksel olarak dalga karakteri, Maxwell denklemlerini yeniden yazarak diğer elektrik ve manyetik alanları yok ederek görülmektedir. Bu ise, manyetik alanın yakın dolaşım özelliği dikkate alınarak başarılı olur ve elektrik alan şeklinde ifade edilir. Faraday yasasından dalga denklemi şu şekilde yazılır.

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = \nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = 0 \quad (1.1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \quad (\text{E'nin diverjansı sıfıra eşittir}) \quad (1.2)$$

Amper yasasını kullanarak temel ilişkiler eklenerek şu elde edilir:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\mu(\nabla \times \vec{H}) = -\mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = -\mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \quad (1.3)$$

şekline dönülür. Bu da enine vektörel dalga denklemini ifadesidir:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} + \mu\sigma \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\sigma \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.4)$$

\uparrow **A** \uparrow **B** \uparrow **C**

B ve C ifadeleri akımın manyetik alan oluşturduğunu ve zamanla değişen dolaşım A'daki gibi elektrik alanın oluşumunu ifade etmektedir. Eşitlik bütün alanların dengede olması gerektiğini göstermektedir. Bu formülde manyetik alanın yok edildiğine dikkat edilebilir. Alan yalnız manyetik alan ile açıklansaydı, kesinlikle H için olan denklem şekli elde edilecektir.

(1.1) bağıntısından elde edilen sonuç (1.3) ile eşitlenirse;

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.5)$$

elde edilir.

v, dalga hızını ifade etmekte olup, $v=1/\sqrt{\mu\epsilon}$ dir. μ ; manyetik geçirgenliği ϵ ; dielektrik sabiti göstermektedir (Boşluğun dielektrik sabiti $\epsilon_0=8.854*10^{-2}C^{-1}N^{-1}/m^2$, (F/m), manyetik geçirgenliği ise $\mu_0=4\pi*10^{-7}$ Wb A⁻¹/m, (H/m)). Hız ifadesi (1.5) ifadesinde yerine yerleştirilecek olursa,

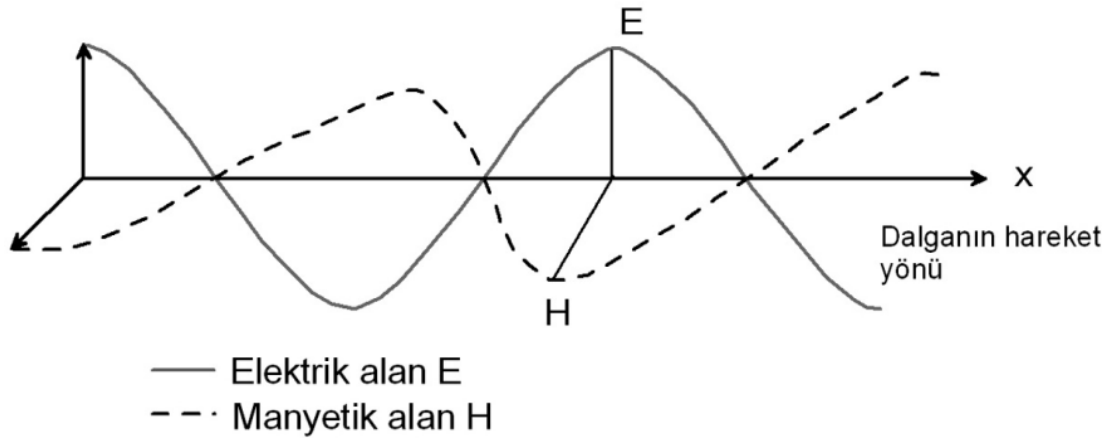
$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.6)$$

bağıntısı elde edilir. Aynı şekilde manyetik alanın da rotasyonu alınır;

$$\nabla^2 \vec{H} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.7)$$

şeklini alır.

Elektromanyetik dalga, elektrik ve manyetik alanların bileşkesinden oluşur. Elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) birbirlerine dik sinüs dalgaları şeklindedir ve dışarıdan gelen herhangi bir etki olmadığı müddetçe aynı fazdadırlar. Bu nedenle birisi maksimum olduğunda diğeri de maksimum, biri minimum olduğunda diğeri de minimumdur. Elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızında hareket ederler. İlerleme yönü $E \times H$ vektörü yönünde ve z eksenini doğrultusundadır (Şekil 11).



Şekil 1.11. Elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alanların birleşiminden oluşur

Yeraltındaki elektromanyetik enerjinin hareketi, içinden geçtiği maddenin/ortamın yayınım sabiti tarafından yönlendirilir. Boşlukta elektromanyetik dalgaların genel yayınım sabiti (K_0), (1.8) bağıntısıyla verilir. Denklemden ω radyan cinsinden frekansı, μ yayınım sabiti boşluğun manyetik geçirgenliğini ve boşluğun elektrik geçirgenliğini ifade etmektedir.

$$K_0 = (\omega^2 \mu_0 \epsilon_0)^{(0.5)} \quad (1.8)$$

Yer içinde, elektromanyetik dalganın ilerleyişi, seyahat ettiği ortamın elektrik iletkenliğine bağlıdır ve yüksek elektrik iletkenlikli ortamlarda elektromanyetik dalgalar çok çabuk sönümlenir. Bu nedenle yayınım katsayısının hesabı (1.9) denklemi ile verilir. Burada μ ortamın manyetik geçirgenliği, ϵ ortamın elektrik geçirgenliği ve σ_{DC} doğru akım elektrik iletkenliği ve $i = (-1)^{0.5}$ dir.

$$K_0 = (\omega^2 \mu \epsilon + i \omega \sigma_{DC})^{(0.5)} \quad (1.9)$$

Elektrik geçirgenlik radar uygulamalarında çok büyük önem taşımaktadır ve genellikle bağıl geçirgenlik ya da bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısı şeklinde açıklanır ve (1.10) bağıntısında gösterildiği gibi verilir. Denklemdaki K^* karmaşık dielektrik katsayısı, K' dielektrik katsayısı ve K'' kayıp faktörü olarak adlandırılır. Buradan yeraltındaki elektromanyetik dalganın yayılım faktörü, (1.11) bağıntısıyla verilen şekilde tanımlanabilir. $\omega K'$ dielektrik katsayısı faktörünü, $i\omega K''$ dielektrik kayıp faktörünü ve $i\sigma_{DC}$ DC iletkenlik kayıp faktörünü ifade etmektedir.

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = K^* = K' \varepsilon_0 + i K'' \varepsilon_0 \quad (1.10)$$

$$K = [\omega \mu_0 \varepsilon_0 (\omega K' + i\omega K'' + i\omega \sigma_{DC})]^{0.5} \quad (1.11)$$

(1.11) bağıntısı, söz konusu madde içerisinde yayılan enerji miktarını, hem doğru akım iletkenlik değerinin hem de karmaşık dielektrik geçirgenlik katsayılarının belirlediğini göstermektedir.

1.2.5.3. Yer Radarının Temel İlkeleri

Yer radarı'nın esası elektromanyetik (EM) teoriye dayanmaktadır. Bu alanın geçmişi iki yüzyıldan daha uzun bir zamandan gelmekte ve Jackson (1962) ve Smythe (1989) gibi birçok araştırmancının konusudur.

Maxwell eşitlikleri; malzemenin fiziksel özellikleriyle EM alanları ilişkilendirir ve bu alanların fiziğini matematiksel olarak tanımlar. EM alanlar ve malzemenin fiziksel özelliklerinin ilişkilendirilmesi, GPR sinyallerinin tanımlanması için olması gereken temelleri sağlamaktadır.

1.2.5.3.1. Maxwell Denklemleri

James Clerk Maxwell (1831 – 1879); değişken elektrik ve manyetik alanların birbirlerinden ayrı olarak var olamayacağını göstermiş, elektromanyetik alan ve dalga kavramlarını geliştirmiştir ve ışığında bir elektromanyetik dalga olduğunu belirleyerek elektrik, manyetizma ve optiği tek bir temele oturtmuştur.

Tüm elektrik ve manyetik olayları ve bunlar arasındaki ilişkiyi Maxwell Denklemleri olarak bilinen 4 yalın denklem ile açıkladı. Bu 4 denklem elektromanyetik dalgaların tüm özelliklerini eksiksiz olarak açıklar.

Maxwell denklemleri şu iki temel kurala dayanmaktadır:

1. Zamana göre değişen elektrik alanı bir manyetik alan yaratmaktadır.
2. Zamana göre değişen manyetik alan bir elektrik alanı yaratmaktadır.

Matematiksel terimlerde, EM alanlar ve bunlar arasındaki ilişkileri şu şekildedir:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.12)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (1.13)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = q \quad (1.14)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (1.15)$$

Burada;

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

q: Elektrik alan yükü yoğunluğu (c/m³)

\vec{B} : Manyetik akı yoğunluğu (T)

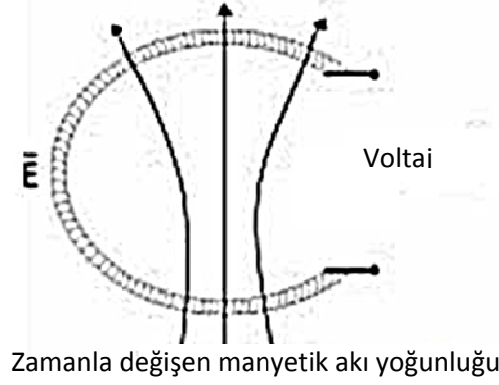
\vec{J} : Elektrik akım yoğunluğu vektörü (A/m²)

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

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

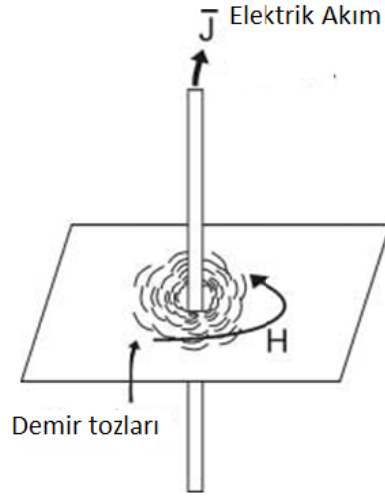
olarak tanımlanmaktadır.

Maxwell'in 1. eşitliği (1.12) Faraday yasasını tanımlar. Zamanla değişen bir manyetik alan ortamdaki elektrik yüklerin hareket etmesine neden olur ve bu yük hareketi, kapalı döngüsel bir elektrik alanı meydana getirmektedir (Şekil, 1.12).



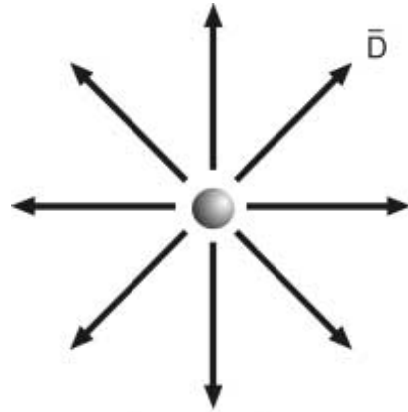
Şekil 1.12. Bir manyetik alan bir elektrik alanı meydana getirir (Annan, 1992).

Maxwell'in 2. eşitliği (1.13) Amper yasasını tanımlar. Bir elektrik akımının uzayda bir manyetik alanın vektörel kaynağını oluşturduğunu ve 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. Bunun fiziksel olarak en basit örneği, iletken bir çubuktan geçen elektrik akımının etrafında oluşan manyetik alan ve bu manyetik alanın varlığını ispat eden telin etrafındaki kağıt düzleminde manyetik alanın şeklini alan demir tozlarıdır (Şekil, 1.13).



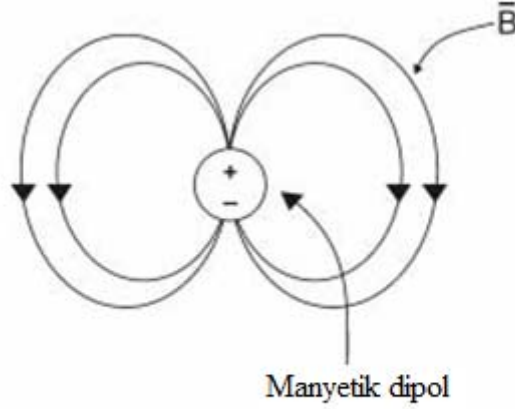
Şekil 1.13. Bir elektrik akımı bir manyetik alan meydana getirir (Annan,1992).

Maxwell'in 3. Eşitliği (1.14) Gauss Yasasını ifade etmektedir. Doğada elektrik alanın iki kaynağı bulunmaktadır. Elektrik alanın skaler kaynağı, ya maddeler içerisindeki serbest elektrik yük yoğunluğu ya da elektrik alanın noktasal yüklerde sonlanması ile oluşur ki, bu Gauss Yasası olarak bilinir. Bir diğer elektrik alan kaynağı olan indükleme olgusu meydana geldiğinde, elektrik yükleri salınım yaparak zamanla değişim gösteren elektrik alanları (yani yüklerin hareketlenmesi) ile kapalı döngü şeklinde oluşturur. Genelde zamanla değişen sinyaller bu iki farklı kaynaktan ortaya çıkan elektrik alanının toplamından oluşur (Şekil, 1.14).



Şekil 1.14. Kapalı bir yüzeydeki elektrik alan akışının, bu yüzey etrafından çevrelenmiş olan hacimde bulunan net yük ile orantılıdır (Annan,1992).

Maxwell'in 4. Eşitliği (1.15); doğada manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketlenmesiyle oluşan akım akışı sayesinde oluşur. Bu nedenle, manyetik alanlar sadece bu eşitlikte ifade edilen kapalı döngüde oluşacaktır ve manyetik alanın skaler kaynağı yoktur. Bu durumda herhangi bir kapalı yüzeyde oluşan manyetik alanın akısı sıfırdır (Şekil, 1.15).



Şekil 1.15. Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akısının sıfır olduğu ve dolayısıyla manyetik yüklerin var olmadığını belirtir (Annan,1992).

1.2.5.4. Elektromanyetik Dalgaların Yayınımını Etkileyen Fiziksel Özellikler

Daha önce bahsedildiği gibi elektromanyetik alanlar zamanla değişen elektrik (E) ve manyetik (H) alan bileşenlerinden oluşmaktadır ve bu bileşenler içinden geçtikleri ortamların farklı fiziksel özelliklerinden etkilenirler. Bu değişim, bu alanların ortamda yayılım ve sönümlenmelerini etkilemenin yanı sıra, farklı karakterlerde yansımalar elde edilmesine de neden olur.

Birçok radar uygulamasında, yerin elektrik özellikleri yer radarı yanıtlarını etkileyen birinci faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrik özelliklerdeki farklılaşmayla kıyaslandığında, manyetik değişim çok zayıf kalmaktadır. Ancak yer radarı yanıtlarını etkileyebilecek manyetik özelliklere sahip ortamların bulunduğu da göz ardı edilmemelidir.

1.2.5.4.1. Dielektrik Geçirgenlik

Dielektrik (ϵ) ifadesi elektriksel yalıtkanlıkla eş anlamlıdır ve dielektrik bir madde, elektrik akımına yüksek derecede direnç gösteren madde olarak tanımlanmaktadır. Dielektrik ortamlar, elektromanyetik enerjinin büyük bir kısmının saçılmadan geçişine izin verir. Dielektrik bir ortamda bir elektromanyetik alan söz konusu olduğunda, elektrik alan tarafından zorlanan yükler bu zorlamaya bir yer değiştirme hareketiyle cevap verirler. Birim elektrik alan başına düşen elektriksel yer değiştirme miktarının ölçüsü dielektrik geçirgenlik olarak tanımlanır. Birimi farad/metre ya da coulomb/volt.metredir.

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E} \quad (1.16)$$

Dielektrik bir ortamda elektrik alan şiddeti arttığında, elektrik yer değiştirme hareketi bu ortamda birikmektedir. Daha sonra elektrik alan azaldığında, ortamda biriken enerji salınır ve yer değiştirme akımları meydana gelmektedir. Bir maddenin bağıl dielektrik geçirgenliği (ϵ_r), o madde elektromanyetik enerjiyle yüklendiğinde, enerjiyi depolama ve daha sonra elektromanyetik enerjinin geçişine izin verme kapasitesi olarak tanımlanır (von Hippel, 1954).

Olhoeft (1981) ise aynı parametreyi bir maddede mevcut elektromanyetik alan etkisiyle oluşan kutuplanma ve bu sebeple, yayılan elektromanyetik dalgalara yanıt verme yeteneğinin bir ölçüsü olarak tanımlamıştır. Bu kutuplanma elektronik, iyonik ya da moleküler olabilir. Moleküler kutuplanma tüm yalıtkanların genel özelliğidir. İyonik yer değiştirme doğada kayaçları şekillendiren minerallerde oluşurken; su ve hidrokarbonlar moleküler kutuplanma gösteren nadir yapılar olmalarının yanı sıra, elektromanyetik alanla kutuplanmanın en büyük etkisine sahip olanlardır (Telford ve diğer., 1976).

Bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısı, bir maddenin elektrik geçirgenliğinin boşluğun elektrik geçirgenliğine oranı ile hesaplanabilir. Ortamların dielektrik geçirgenlikleri; onların bileşimleri, nem içeriği, hacim yoğunluğu, gözeneklilik, sıcaklık ve fiziksel yapılarına bağlıdır (Olhoeft, 1981).

Bir ortam içerisinde belirli bir V hızında ilerleyen radar dalgaları için o ortamın bağıl dielektrik geçirgenlik değeri (1.11) bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada C ışık hızını göstermektedir ve yaklaşık değeri 0,2998 m/ns'dir.

$$\sqrt{\epsilon_r} = \frac{c}{v} \quad (1.17)$$

Bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısını arazide hesaplamak oldukça zordur. Bunun kestirimi arazide kullanılan bazı hız analizi teknikleri yardımıyla yapılabilir. Bunun yanı sıra, toprak ve çökel örnekleri üzerinde laboratuvar ölçümleri yapılarak da dielektrik geçirgenlik ölçülebilir.

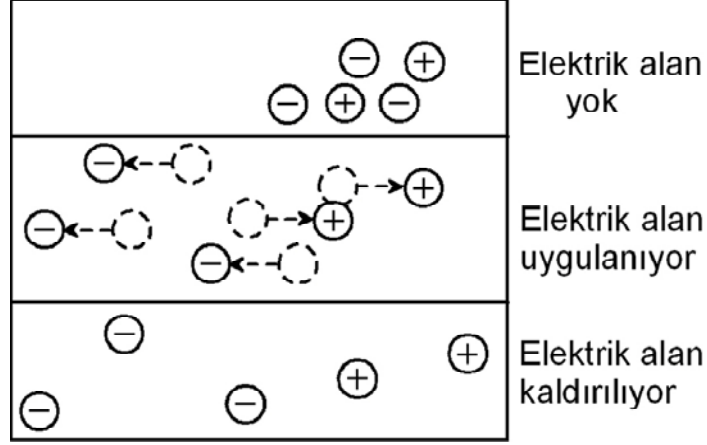
1.2.5.4.2. Elektrik İletkenlik

Bir ortamda bulunan elektrik yükleri o ortamda bir elektrik alan (E) ortaya çıkmasına neden olur. Elektrik alan vektörel bir büyüklüktür ve ortamın doğasına bağlı olarak iki farklı şekilde oluşabilir. Yükler, bir maddede bağlı ve serbest olmak üzere iki türde bulunabilir. Bunlar sırasıyla yer değiştirme akımları iletim akımları olarak adlandırılan akım dolaşımına neden olurlar.

a) İletim Akımları

Bilindiği gibi elektrik iletkenliğe sahip ortamlarda, serbest (bağımsız) elektrik yükler bulunmaktadır. Bu yüklerin bulunduğu ortamlara bir elektrik alan uygulandığında, bu alanın etkisiyle yükler ani bir şekilde hızlanmaya başlar ve bir uç hıza ulaşırlar ve yüklerin doğası gereği ortamda bir elektrik akımı oluşur. Bu elektrik alan uygulanmaya devam ettiği sürece yüklerin hareketi devam eder ve bu esnada yükler buldukları ortama, elektrik alan etkisiyle aldıkları enerjiyi ısı enerjisi olarak transfer ederler. Bu hareketli yükler, ortamda bulunan hareketsiz nesnelere karşılaştıklarında, ısı enerjisi olarak ortaya çıkan enerji, hareketsiz yükleri hareketlendirecek biçimde mekanik enerjiye dönüşür. Elektrik alan uygulandığı sürece bu yükler hareketlerine ve dolayısıyla, elektrik enerjisi önce ısı ve daha sonra da mekanik enerjiye dönüşmeye devam eder. Elektrik alan kalktığında, bu hareketlenen yükler yavaşlar ve anlık bir sürede dururlar. Burada unutulmaması gereken, bu enerji dönüşümünün tek taraflı olduğu yani elektrik enerjisinin önce ısıya ardından mekanik enerjiye bir daha geri dönülmez şekilde dönüştüğüdür. Metal bir telde dolaşan elektronlar iletim akımlarına örnek olarak verilebilir. Metallerde, elektronlar yüklerini bir noktadan diğerine aktarmak için yapının metalik bağları içinde hareket ederler. Sulu çözeltilerde oluşan iyon hareketleri de yaygın bir iletim mekanizmasıdır ve birçok yer radarı uygulamasında en önemli iletim şeklidir (Annan, 2001). Şekil 1.16 iletim akımları için elektrik yüklerinin hareketini göstermektedir.

İletim akımları



Şekil 1.16. Elektrik alan uygulandığında serbest elektrik yüklerinin hareketi (Annan,2001).

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1.18)$$

(1.18) bağıntısı, iletim akımı ile uygulanan elektrik alan arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir ve bir elektrik alan var olduğunda, serbest yüklerin elektrik akımı oluşturabilmeleri için hareketlerini tanımlar. Burada σ , elektrik iletkenliktir.

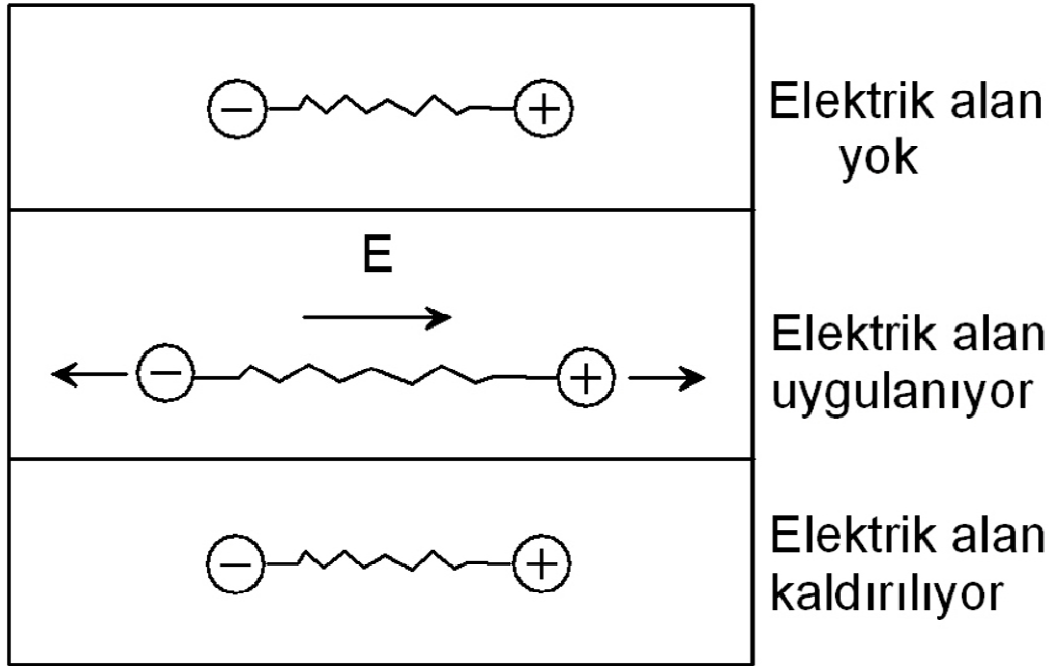
Matematiksel olarak çözümü basite indirmek için, ortamın elektrik iletkenlik açısından homojen, izotrop (yönden bağımsız) ve frekanstan bağımsız olduğu düşünülür. Bu durumda, ortamdaki elektrik akımı ile elektrik alan arasındaki ilişki doğrusaldır ve aralarındaki oransallık katsayısı elektrik iletkenlik değerini verir. Gerçekte iletkenlik, elektrik alandaki değişim oranı kadar sıcaklık, basınç ve diğer faktörlerin de bir fonksiyonu olabilir. Ancak bunlar yer radarından elde edilen yanıtlarda çoğunlukla ikinci derecede önem taşır.

Elektrik iletkenliğe sahip ortamların içerisine giren elektromanyetik enerji, elektromanyetik alanın elektrik alan bileşeninin bu ortam içerisinde manyetik alan bileşeninden ayrılıp enerji dönüşümüne uğraması nedeniyle, saçılıp çok çabuk şekilde sönümlenir. Yani diğer bir deyişle, bir enerji yitimi söz konusudur ve bu ortamlarda radar dalgalarının ilerleyemeyeceği anlamına gelmektedir. Bu yüzden, maksimum elektromanyetik enerji erimi (penetrasyonu) için ortam düşük elektrik iletkenliğe ve yüksek derecede dielektrik özelliklere sahip olmalıdır.

b) Yer değiştirme (Kutuplanma) Akımları

Yer değiştirme akımları maddenin yapısında bulunan bağlı y¼klerin dışarıdan uygulanan elektrik alan etkisiyle harekete zorlanması sonucu oluşur. Bağlı y¼klere atomun çekirdeği çevresindeki elektron bulutu örnek verilebilir. Başlangıçta durağan olan bağlı y¼kler elektrik alan uygulandığında, bağlarının müsaade ettiği miktarda diğer bir durağan konuma hareket ederler. Yer değiştirme hareketinin tamamlanmasının hemen ardından, elektromanyetik enerji elektrik alandan ortama aktarılır ve ortamda depolanır. Uygulanan elektrik alan kaldırıldığında, y¼k başlangıçtaki denge konumuna geri döner ve bu esnada depolanan enerji geri bırakılır (şekil 1.17). Bu davranışa en temel örnek, kapalı bir elektrik devresindeki kondansatör verilebilir. Devrede enerji, 15 y¼klerin kondansatörde toplanması ile biriktirilir ve sonrasında y¼klerin boşalmasıyla tekrar devreye aktarılır.

Yerdeğiştirme akımları



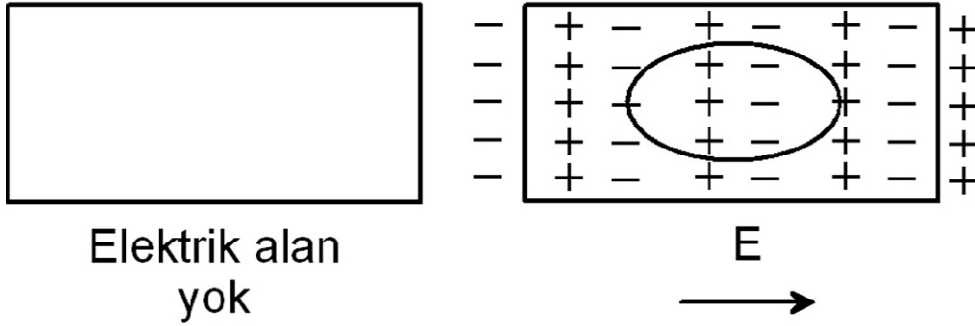
şekil 1.17. Uygulanan elektrik alan doğrultusunda bağlı elektrik y¼klerinin yer değiştirme hareketi (Annan, 2001).

Bir elektrik alan uygulandığında, hacimsel bir maddede y¼k hareketi o maddede dipol moment dağılımı şeklinde bir y¼k dağılımına neden olur (şekil 1.18). Bu dipol moment

dağılımının oluşumu, bağlı yük hareketleri (diğer bir deyişle yer değıştirme akımları) ile ilgilidir. Bu yük dağılımı dipol moment yoğunluğu (D) ile tanımlanır. Dipol moment dağılımı literatürde elektrik yer değıştirme olarak da adlandırılır. Dipol moment yoğunluğunun zamanla değışimi yer değıştirme akımını (J_D) matematiksel olarak tanımlar.

$$J_D = \frac{\partial D}{\partial t} = \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1.19)$$

Dipol moment yoğunluğu



Şekil 1.18. Uygulanan elektrik alan sonucu oluşan elektrik Dipol moment dağılımı (Annan, 2001).

(1.19) bağıntısı yer değıştirme akımı ile uygulanan elektrik alan arasındaki ilişkiyi tanımlar. Tıpkı iletim akımlarında olduğı gibi, çözümünü basite indirgemek için, ortamın yer değıştirme akımları açısından homojen, izotrop (yönden bağımsız) ve frekanstan bağımsız olduğı düşünölmektedir. Bu durumda ortamdaki indüklemiş dipol moment yoğunluğu, uygulanan elektrik alan ve oransallık sabiti olarak adlandırılan dielektrik geçirgenlik ile doğru orantılıdır.

1.2.5.4.3. Toplam Akım Dolaşımı

Herhangi bir maddede, bir elektrik alan uygulanması sonucu ortaya çıkan elektrik akımı, iletim ve yer değıştirme akımlarının toplamından oluşur. Elektrik alandaki değışime bağılı olarak, bu iki farklı türdeki akımdan biri diğere baskın olabilir. Toplam akım, ortamın elektriksel özellikleriyle birlikte, elektrik alanın kendisinden ve elektrik alanın zamanla

değişiminden oluşur. Bu kavram, sinuzoidal şekilde zamanla değişen alanlar için matematiksel olarak (1.20) ve (1.21) bağıntılarında gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$J = J_c + J_D \quad (1.20)$$

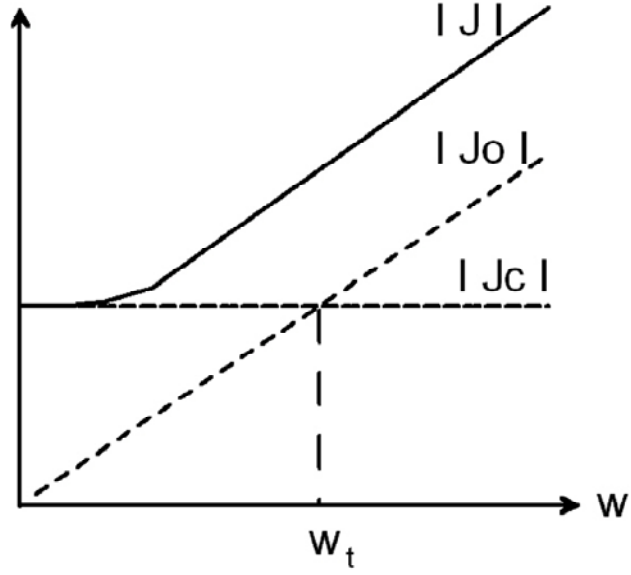
$$J = \sigma E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1.21)$$

Bu bağıntılardan, ω açısal frekansın yer değiştirme akımlarının açısal frekansı ile orantılı olduğu bulunur.

$$J = (\sigma + i\omega\varepsilon)E \quad (1.22)$$

Yer değiştirme akımları ile iletim akımları arasında 90° faz farkı vardır ve yer değiştirme akımı sanal bileşeni oluşturur. Akımlar arasındaki bu faz farkı, yer değiştirme akımının elektromanyetik alanlar için enerji toplayıcı bir mekanizma olduğunu gösterirken, iletim akımının ise enerji dağıtıcı bir mekanizma olduğunu göstermektedir (Annan, 2001).

Sekil 1.19'da toplam elektrik akımının frekansa göre değişimini gösteren basitleştirilmiş bir grafik verilmiştir. Yer radarı için tanımlanan basit ortamlarda, elektrik iletkenlik ve dielektrik geçirgenliğinin sabit, yer değiştirme ve iletim akımlarının eşit olduğu bir geçiş frekansı (ω_t) vardır. Genelde ortamlarda, yer değiştirme akımları iletim akımlarının bir miktar üzerinde olma eğilimdedir. Geçiş frekansı değerinin üzerinde yer değiştirme akımları baskın iken, bu frekans değerinin altında iletim akımları baskındır Bu durum, elektromanyetik dalga yayılımı konusunda dikkate alınması gereken bir konudur (Annan, 2001).



Şekil 1.19. Toplam elektrik akımının frekansla değişimi (Annan, 2001).

Geçiş frekansı açısal frekans olarak ifade edilirse, (1.23) bağıntısı elde edilir.

$$\omega_t = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1.23)$$

Geçiş frekansı yer radarında düşük-kayıplı ortamların tanımlanmasında önem taşır. Denklem (1.24), kayıp tanjantı olarak adlandırılır ve bir maddedeki iletim akımlarının yer değiştirme akımlarına oranını verir.

$$\tan \delta = \frac{|J_c|}{|J_D|} = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \quad (1.24)$$

1.2.5.4.4. Bağlı Manyetik Geçirgenlik

Manyetik özellikler esasen kapalı bir yol etrafında hareketli olan bir elektrik yükten kaynaklanır (von Hippel, 1954). Atomların yapı tasları spin denilen yörüngesel bir dönüşü sahiptir ve bu hareket, maddenin atomlarında ve moleküllerinde oluştuğunda, yükün dönüşü sonucunda dairesel bir akım döngüsü ortaya çıkar ve bu manyetik dipol momentine neden olur. Örneğin bir elektron atomik bir çekirdek etrafında hareket ettiğinde, bu yük hareketi bir manyetik moment yaratabilir (Annan, 2001). İlgili parçacıkların dönme eksenlerinin belirli

yönlenimi, rastgele ya da belirli bir düzende sıralanabilir ve parçacıkları kuşatan bir manyetik alan tarafından değiştirilebilir. Eğer molekül yapısı rastgele dönme yönelimine izin vermez ve yapısal kristal mimarisine gereksinim duyarsa, madde sürekli mıknatıslanmaya sahip olabilir. Eğer bilesen parçaları uygulanan bir elektrik alana paralel ya da paralel olmayan biçimde dizilmek için hareket edebilirse, bir indüklenmiş mıknatıslanma (manyetizasyon) ortaya çıkacaktır. Maddelerin manyetik özellikleri manyetik dipol moment yoğunluğu ile ölçülür. Atom ve moleküllerin manyetik Dipol momentlerinin dizilebilme ya da dışarıdan uygulanan bir manyetik alanın yönleniminden farklı şekilde hareket etme seviyesinin ölçüsü manyetik geçirgenlik olarak tanımlanmaktadır. Dizilim içerisine girebilecek ilgili momentlerin artışı, maddenin manyetik olarak daha fazla kutuplanması anlamına gelir. Ortamda bulunan bir manyetik alan, manyetik dipol momentini dizilimi değiştirmek ve uygulanan manyetik alanın yönünde sıralamak için indükler. Genelde manyetik alana verilen bu cevaplar zayıftır ve manyetik geçirgenlikte çok önemli değişikliklere yol açmazlar. Bu yüzden radar uygulamalarında elektriksel özelliklere göre daha az etkiye sahiptirler. Manyetik geçirgenlik (μ) atom ve moleküllerin manyetik dipol momentlerinin dizilebilme ya da dışarıdan uygulanan bir manyetik alanın yönleniminden farklı şekilde hareket etme seviyesinin ölçüsüdür. Dizilim içerisine girebilecek ilgili momentlerin artışı, maddenin manyetik olarak daha fazla kutuplanması anlamına gelir.

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (1.25)$$

Maddelerin manyetik özellikleri manyetik dipol moment yoğunluğu ile ölçülür. Bir elektrik akım kapalı bir döngüde dolaştığında manyetik moment (1.26) bağıntısıyla verilmektedir.

$$M = IA\hat{n} \quad (1.26)$$

Burada M manyetik dipol momentini, I elektrik akımını, A akımın geçtiği telin kuşattığı kapalı döngü alanı ve \hat{n} normal vektörünü göstermektedir. Hacimsel ortamlar için, ortamın moment yoğunluğu (1.27)'de verildiği şekilde tanımlanır ve birimi

$$\vec{m} = \frac{\vec{M}}{V} \quad (1.27)$$

k , boyutsuz bir nicelik olan manyetik duyarlılığı gösterirken, (H) manyetik alanı tarafından indüklenen manyetik moment miktarı ise (1.28)'deki bağıntıda tanımlanmıştır.

$$\bar{m} = k\bar{H} \quad (1.28)$$

Yer değiştirme akımı bölümünde tartışılan indüklenmiş elektrik dipol momenti ile indüklenmiş manyetik moment arasında önemli bir benzerlik vardır. Maddedeki manyetik akı;

$$\bar{B} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M}) \quad (1.29)$$

olarak tanımlanır. Manyetik geçirgenlik ise (1.30) bağıntısıyla verilmektedir. Burada boşluğun manyetik geçirgenliğini gösterir ve $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ ' dir.

$$\mu = \mu_0(1 + k) \quad (1.30)$$

Maddenin manyetik geçirgenliğinin boşluğun manyetik geçirgenliğine oranı bağıl manyetik geçirgenlik (K_m) kavramını vermektedir ve (1.31) bağıntısıyla tanımlanmıştır.

$$K_m = \frac{\mu}{\mu_0} = (1 + k) \quad (1.31)$$

Ortamda bulunan bir manyetik alan manyetik dipol momenti, dizilimi değiştirmek ve uygulanan manyetik alanın yönünde sıralamak için indükler. Bazı maddelerde dizilim uygulanan alanla aynı yönde olmasına rağmen, diğer maddelerde dizilim uygulanan manyetik alana paralel olmayan şekilde gerçekleşebilir. Bu iki davranışa sırasıyla, *paramanyetizma* ve *diamanyetizma* denir. Genelde manyetik alana verilen bu cevaplar zayıftır ve manyetik geçirgenlikte çok önemli değişikliklere yol açmazlar. Manyetik duyarlık ortalama değerleri 10^{-5} 'den küçüktür (Annan, 2001).

1.2.5.5. Katkı Eşitlikleri

Katkı eşitlikleri homojen, izotropik bir ortamdaki alan miktarları arasındaki ilişkileri tanımlamaktadır. Bu eşitlikler (1.32, 1.33, 1.34) EM alanındaki uygulamalarda elektronun, atomun ve moleküler tepkinin nasıl tanımlandığını gözle görülebilir şekilde sağlamaktadır.

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (1.32)$$

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} \quad (1.33)$$

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (1.34)$$

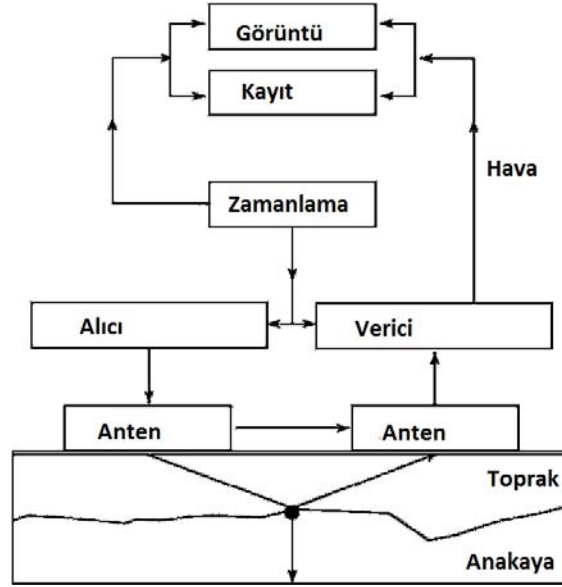
ϵ : Geçirgenlik (permitivite)

Bir elektrik alan varlığında, elektrik iletkenliği (σ) serbest yük hareketini (elektrik alan oluşturduğunda) karakterize etmektedir. Yük akışına karşı olan direnç enerji saçılmasına yol açmaktadır. Dielektrik permitivite, bir elektrik alan varlığında materyal içinde yoğunlaşmış yük yer değiştirmesini karakterize etmektedir. Yük yer değiştirmesi materyal içindeki enerji depolanmasına yol açmaktadır. Manyetik geçirgenlik (μ), atomik ve moleküler manyetik momentlerin manyetik alana olan tepkisini tanımlar. Basit materyaller için malzemede depolanan enerji esas manyetik momentleri bozmaktadır.

σ , ϵ , μ tensör nicelikleridir ve doğrusal olmayabilir. Aslında bütün uygulanabilir GPR konuları için, bu nicelikler bağımsız alan skaler nicelikleri gibi davranmaktadır.

1.2.6. Yer Radarı Sinyal Ölçümü

Yer radarı sistemleri kavramsal olarak basit olup, amaç çıkış sonrası zamana karşı olan alanın genliğini ölçmektir. GPR sistemlerinin ana bileşeni sinyallerin üretilmesi ve belirlenmesini kontrol eden zamanlama ünitesidir (Şekil 1.20).



Şekil 1.20. Yer radarı sisteminin ana bileşenlerini tanımlayan blok diyagramı

Bir radar sisteminin karakterizasyonu, sistemin kullanımı ve sistemin etkisi gibi birçok konu olduğundan çok karmaşık bir iştir. GPR karakterizasyonu düzenleyen elektronik alet faktörleri sinyal üretimi, sinyal yakalama yöntemi, sinyal işleme, performans faktörü, dinamik aralık, merkez frekansı ve bant genişliği, dayanıklılık ve taşınabilirliktir (Jol, 2009).

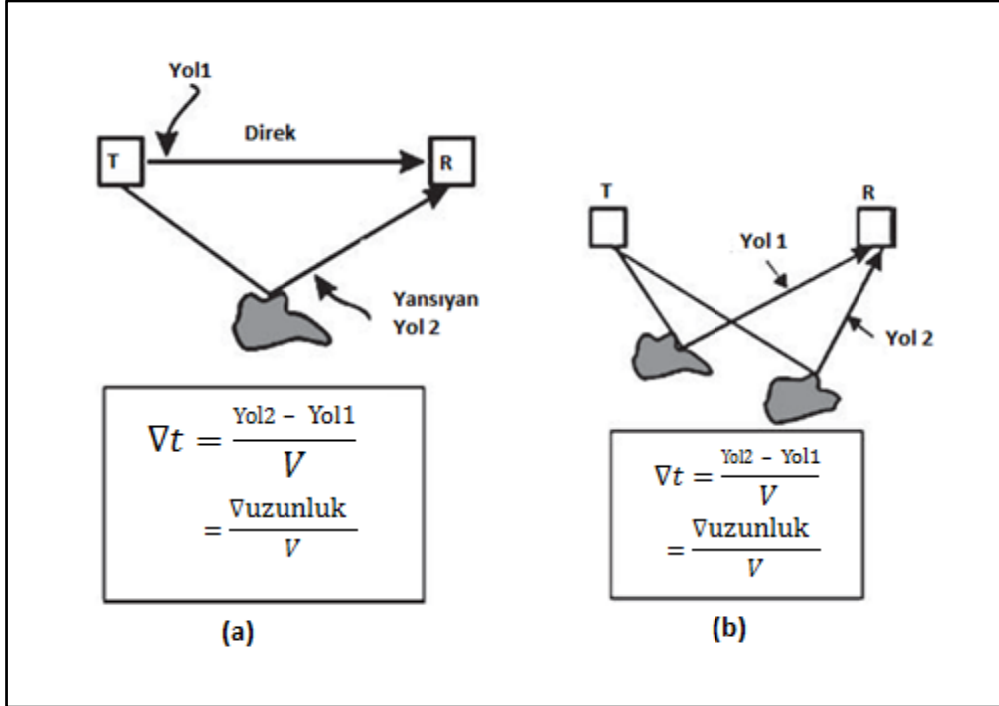
1.2.6.1. Zaman Aralığı ve Bant Genişliği

GPR sistemleri genel olarak 10 ps den az ve 10.000 ns ye süresine kadar zamanlama hassasiyeti ile verileri kaydetmesi gerekmektedir. Ölçüm bant genişliği uygulama bağımlıdır ve direk olarak çözünürlükle ilişkilidir. Çözünürlük Şekil 1.21’ de gösterildiği gibi ‘verici kesilmesi’ ve ‘hedef ayrılığı’ ile ilişkilidir. Verici kesilmesi, direkt sinyalin vericiden alıcıya giderken yansıma sinyali ile üstüste binerek örtmesi sonucu oluşur. Eğer iki hedef benzer yol uzunlukları gösteriyor ise, varış zamanındaki farklar küçük olabilir buda yansıyan sinyallerin maskelenmesine neden olur. Bu iki olayın çözülmesi için, yol uzunlukları farkı hız ile çarpılmış sinyal genişliğinin yarısını aşmalıdır . Yani sinyal yeterince büyükse, alıcı antenler aşırı yüklenmiş olacak ve yansıyan sinyali tespit edemeyecektir. Verici sinyalin zaman süreci bant genişliği ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bant genişliğinin çözünürlük boyutu ile ilişkisi;

$$B \geq V/4\Delta r$$

(1.35)

Burada B; Bant genişliği, V; Hız ve Çözünürlük boyutunu tanımlamaktadır.



Şekil 1.21. Verici kesilmesi, direkt sinyalin vericiden alıcıya giderken yansıma sinyali ile üst üste binerek örtmesi sonucu oluşur. (b) Eğer iki hedef benzer yol uzunlukları gösteriyor ise, varış zamanındaki farklar küçük olabilir buda yansıyan sinyallerin maskelenmesine neden olur. Bu iki olayın çözülmesi için, yol uzunlukları farkı hız ile çarpılmış sinyal genişliğinin yarısını aşmalıdır

1.2.6.2. Merkez Frekansı

Bant genişliği GPR'ın merkez frekansını tanımlamamaktadır. Spektrumun herhangi bir yerinde, bir frekans bandı gerekli çözünürlüğü sağlamaktadır. GPR'ın daha etkin olması için sönüm; frekansı, geçiş frekansının üzerinde olabildiğince düşük olmasını sağlamaktadır. Doğal materyallerde sönüm, elektrik kaybı ve saçılma kayıpları ile birlikte yükselen frekans ile artmaktadır. Ne kadar alçak frekans kullanılırsa o kadar çok derine sinyal nüfuzu elde edilir. GPR sinyallerinin sönümü bant genişliğinin merkez frekansa oranıdır.

$$R = \frac{B}{f_c} \quad (1.36)$$

Burada R; sönüm, B;Bant genişliği , f_c ; merkez frekansını ifade etmektedir.

1.2.6.3. Antenler

GPR antenleri elektromanyetik alanları (EM) oluşturur ve tespit eder. Verici anten, çıkış voltajını kestirilebilmeli, zamanda ve uzayda yayılmış alana dönüştürmelidir. Alıcı anten, EM alanın vektörel bileşeninin zamansal değişimlerini tespit etmeli ve onu kaydedilebilir bir sinyale dönüştürmelidir. Antenlerde istenen bazı özellikler;

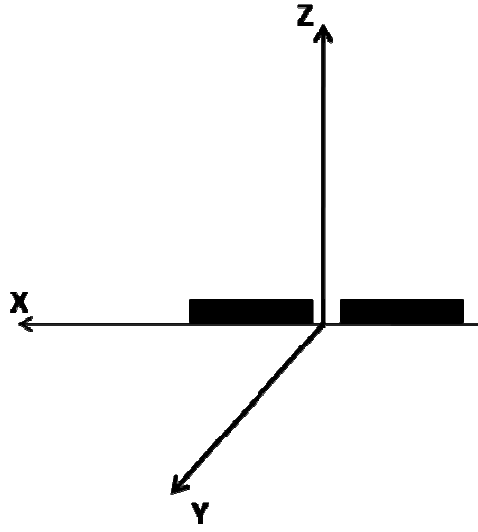
- Kesin kaynak ve tespit edilebilir yerler tanımlanabilir olmalı.
- Verici ve alıcı tepkileri zaman ve mekan bağımsız olmalı.
- Kaynak voltajı ile ilişkili alanın vektörel karakteri ve alıcı voltajı ölçülebilir olmalı.
- Anten bant genişliği sistem uygulamalarının gereksinimleri ile uyumlu olmalı.

Bu gereksinimlerin sağlanması zordur. Etkili alan oluşturulması ve saptanması sonsuz boyutlarda antenler gerektirir. Anten boyunca akım seyahat zamanı, uyarılan voltajın veya alanın zamansal değişim oranları ile karşılaştırılabilir olmalıdır.

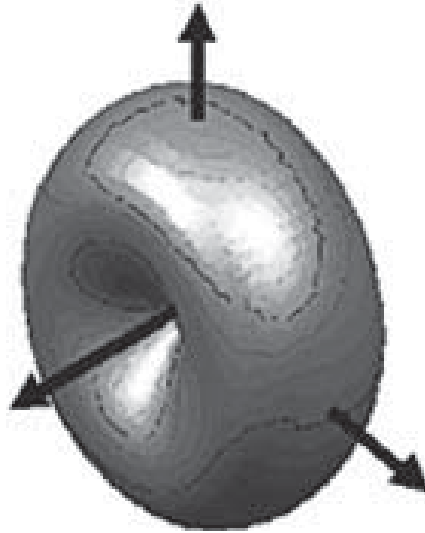
1.2.6.4. Anten Yönelimi

Kısa elektrik dipol antenin yönelim özellikleri yer tarafından kontrol edilir. Sorunun analizi karmaşık olmasına rağmen, temel özellikler açıklanabilir. Bu konuda geçmiş deneyimler, Annan (1973), Annan, vd., (1975), Engheta, vd., (1982), and Smith (1984) da ayrıntılı bir şekilde verilmektedir. Kısa, merkeze yerleştirilmiş elektrik dipol Şekil 1.22' de gösterilmektedir. Uzak alanlarda bağıl elektrik alan genlikleri Şekil 1.23'de halka biçiminde resmedilmiştir. Enerji, düzlemde, dipol eksene dik, homojen olarak yayılırken anten sonlarından enerji yayılımı yoktur. Şekil 1.24 halka içinden dikey kesit, genelde TE ve TM modları olarak tercih edildiğini göstermektedir. Dipol anten çiftleri yeryüzüne yerleştirildiğinde, modlar Şekil 1.25 de gösterildiği gibi değişmektedir. Yönelimdeki bu değişim hava-yer arayüzeyi ile ilişkili kırılmalardan kaynaklanmaktadır. Bu mod uzak alan yayılım bileşenlerini temsil etmektedir. Anten yakınında alanlar daha karmaşıktır ve sayısal modeller gerektirmektedir. Anten yönelimi yer-bağımlıdır. Yer özellikleri değiştiğinde anten yönelimi de değişir. Şekil 1.26 mod dizilerini permitivite (K_g) olarak 3.2 den 80 e

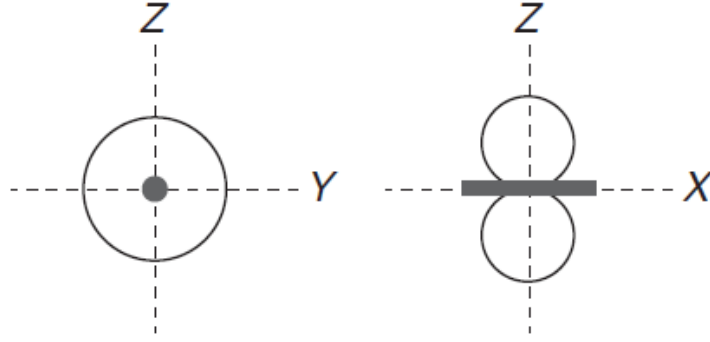
taşındığını göstermektedir. Antenin yeryüzünden olan yükseklik etkisi de önemlidir. Gerçek arazi durumlarında, yüzey pürüzlülüğü ve antenlerin yüzey üstünde taşınması gerekliliği yakın yer bağlantısını sınırlandırabilir. Anten yüksekliği anten yönelimini Şekil 1.27’de gösterildiği gibi değiştirmektedir. Daha çok sinyal havaya doğru verilir ve anten etkinliği azalır. Bundan başka yerden olan yakın yansımalar anten üzerinde zaman gecikmeli tekrarlılar oluşturmaktadır.



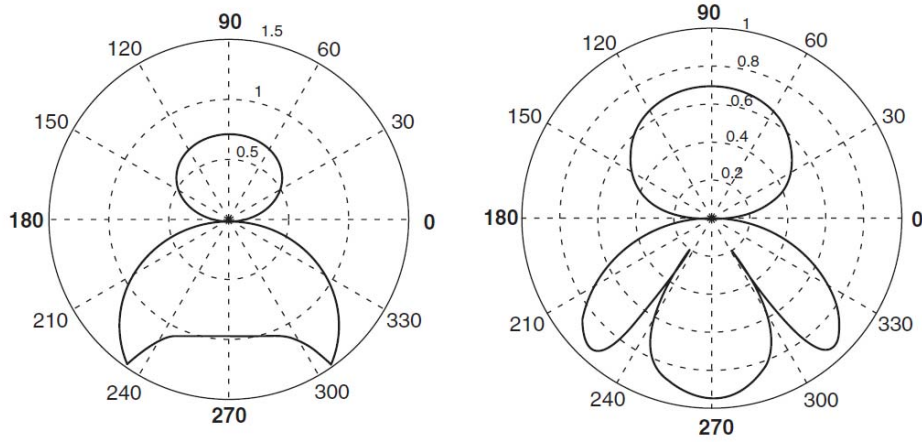
Şekil 1.22. Elektrik dipol anten için geometri ve koordinat sistemi



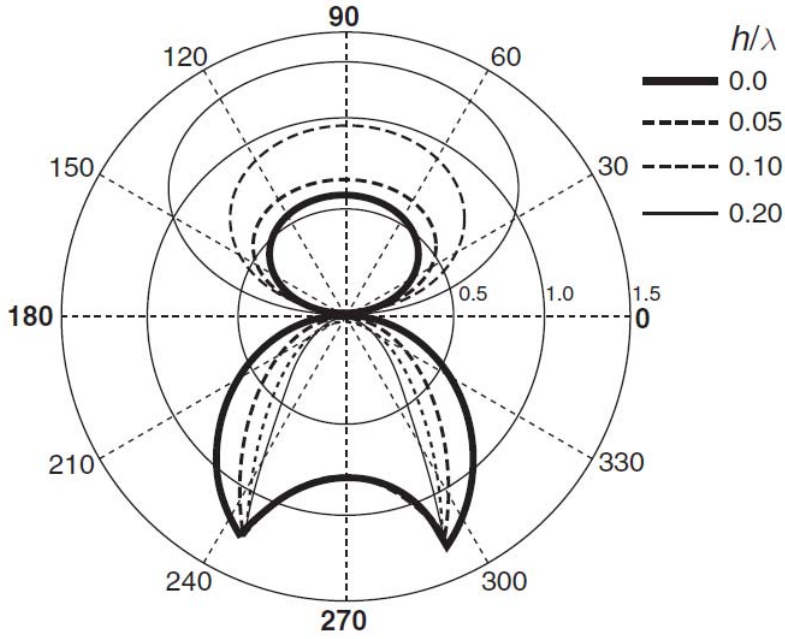
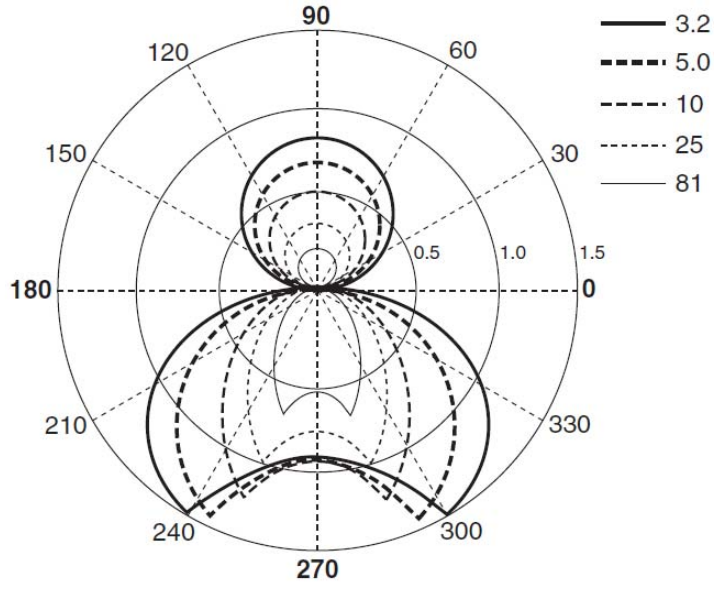
Şekil 1.23. Küçük elektrik dipolun 3 boyutlu gösterimi



Şekil 1.24. Üç boyutlu (3D) dipol patern üzerinden dik kesitler



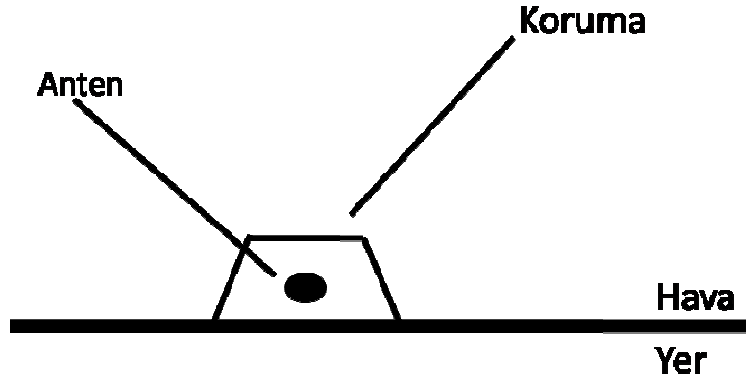
Şekil 1.25. Dipol yer yüzeyinde olduğunda yönelim büyük ölçüde bozulur ve yerin permitivitesine bağlıdır



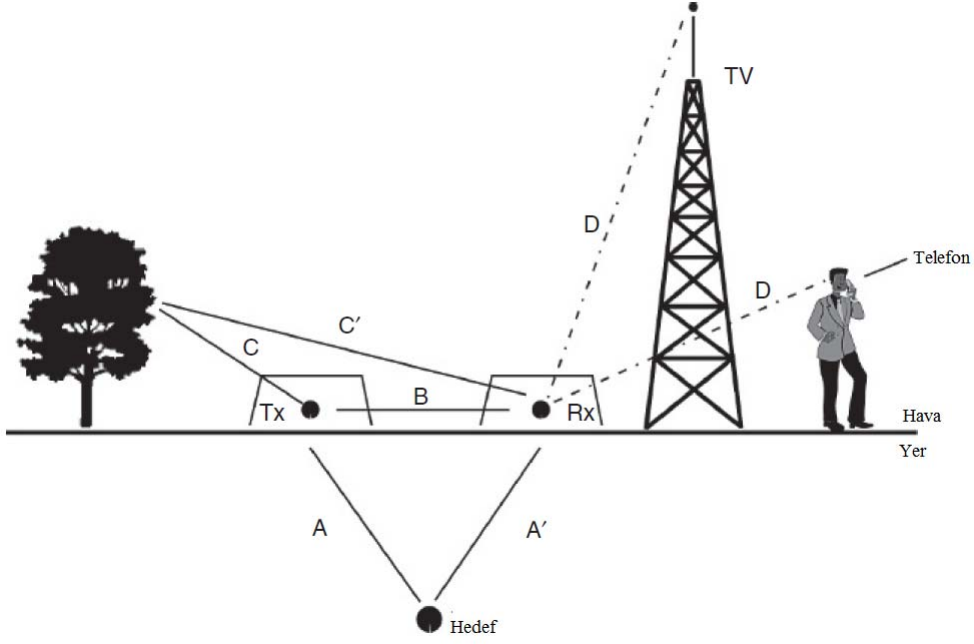
1.2.6.5. Anten Koruma

GPR antenleri normal olarak hava-yer ara yüzüne yakın yerleştirilmektedirler. Korumalı anten olduğunda, anteni muhafaza ederek şekil 1.28 deki gibi resmedilmiştir. Şekil 1.29 da gösterildiği gibi sinyaller vericiden alıcıya birçok yol boyunca seyahat edebilir. Korumanın amacı, seçici olarak bazı sinyalleri kuvvetlendirir ve bazılarını da bastırmaktadır. Koruma ile hedeflenen;

- Yer altından ve yeraltı hedefine enerjiyi AA' yolunda yükseltmek,
- Direkt vericiden alıcıya, B yolu üzerindeki enerjiyi azaltmak,
- CC' yolunda olduğu gibi enerjinin havaya kaçmasını azaltmak ve
- Sinyal D ile gösterilen dışarıdan gelen EM gürültüsünü azaltmaktır.



Şekil 1.28. GPR anten korumasının hava yer durumu



Şekil 1.29. Korumasız GPR anteni ve yüzeydeki çevresel gürültü kaynakları

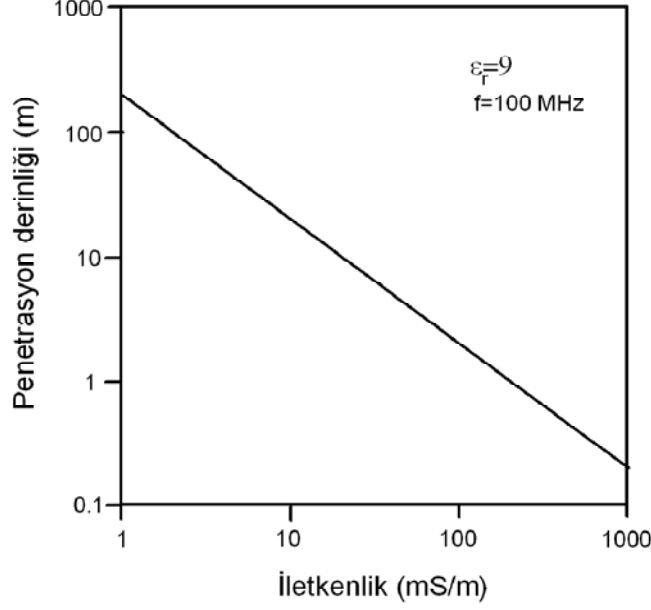
Şekil 1.29’ da GPR anten koruması, havadaki sinyallerle ilişkili olan gürültüyü azaltmak için kapatılmaktadır. Bu sinyaller GPR sistemleri tarafından üretilebilir veya dış kaynaklı olabilir.

1.2.6.6. Penetrasyon Derinliği

Radar yansımalarını oluşturan ara yüzeylerin sayısı ve her ara yüzeydeki dielektrik farklılık; yer içinde seyahat eden sinyalin sönümlenme oranı ve kullanılan antenin merkez frekansı ile yer radarının yeraltını görüntüleyebilme yeteneğinin yanı sıra, yer içinde ilerleyen radar dalgalarının penetrasyon derinliğini de etkiler. Radar dalgaları her bir arayüzeye ulaştığında, dalgaların bir kısmı yüzeye geri dönerken, geri kalan kısım daha derindeki katman ya da katmanların içlerine doğru ilerlemeye devam edebilir. Ara yüzeylerin sayısı arttıkça, derinlere doğru yayılım gösteren enerji miktarında azalma meydana gelir. Özellikle çökel tabakalardaki dielektrik farklılıklar, karmaşık yansımalar oluşturulabilir. İlgilenilen yansımalar bu karmaşık yapı nedeniyle maskelenebilir ve bunun sonucunda araştırma derinliği azalabilir (Moorman, 2001).

Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği arttığında, enerji çok hızlı şekilde sönümlenir ve bu nedenle elektromanyetik enerjinin penetrasyon derinliği azalır.

Bu yüzden, yer radarı sinyalinin içerisinde geçtiği maddenin iletkenliği sinyalin nüfuz edeceği derinlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Moorman, 2001). Enerjinin penetrasyonu ile elektrik iletkenlik arasındaki ilişki Şekil 1.30'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, ortamın iletkenliğinin artması radar dalgalarının penetrasyon derinliğini çok hızlı bir biçimde azaltmaktadır.



Şekil 1.30. Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin penetrasyon derinliği ilişkisi (Moorman, 2001).

Kullanılan antenin frekansı, penetrasyon derinliğini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Daha düşük merkez-frekanslı antenler daha uzun dalga boylu sinyaller üretir (Tablo 1.2). Bunun sonucu olarak iletkenlik kayıpları ve ortamda bulunan küçük boyutlu yapılardan kaynaklanan saçılmanın azalması nedeniyle, daha az sönümlenme gerçekleşir ve dolayısıyla, radar dalgaları yerin daha derin kısımlarına ulaşabilir. Ancak düşük frekanslı dalga boyları kullanmanın en büyük dezavantajları, yeraltındaki küçük nesnelere belirlenememesi ve ince tabaka kalınlıklarının ölçülememesinin yanı sıra, çalışılan anten boyutlarının artmasıdır. Bu durum, yeraltının çözünürlüğünü azaltır ve alanda pratik şekilde çalışmayı zorlaştırır (Conyers ve Goodman, 1997).

Eğer d derinlik çözünürlüğü alınırsa uygun frekans;

$$f = 150/d\sqrt{\varepsilon} \text{ MHz} \quad (1.37)$$

ile bulunur. Burada derinlik çözünürlüğü hedeflenen derinliğin %25 i olarak alınır. Çözünürlük ölçütü ve nüfuz derinliği koşulları genelde karmaşa yaratır. Uygulamada buna dikkat edilmelidir. Çözünürlük iz aralığından da etkilenir. Eğer sabit aralıklı profillerde iki iz arası uzaklık (D_x), dalga boyunun $\frac{1}{4}$ ünden daha büyük ise kuramsal olarak tanımlanabilir hedefler belirlenemez. Bu koşul yaklaşık olarak;

$$D_x = 75/f\sqrt{\varepsilon} \text{ (m)} \quad (1.38)$$

ile verilebilir. Diğer bir yaklaşımla her iki işlemde D_x in en fazla araştırma derinliğinin $1/8$ i kadar veya daha az olması gerektiği görülebilir. Anten dizilimleri genelde yanyana olarak yapılmasına rağmen uygulamada uçuca konularak da kullanılmaktadır. Jeolojik uzanımın bilinmesi durumlarında antenler yapıya paralel olarak tutulmalıdır. Uygulamalarda anten aralığı (D_{anten}) araştırma derinliğinin $1/5$ veya daha azı alındığında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Derinliğe bağlı olarak amprik bağıntı ise

$$D_{\text{anten}} = (2 \text{ derinlik})/\sqrt{(\varepsilon - 1)} \text{ (m)} \quad (1.39)$$

ile verilir. Örnekleme frekansının seçiminde örnekleme kuramı göz önünde tutulmalıdır. GPR da kullanılan en yüksek frekans merkezi frekansın 1.5 katı olduğuna göre örnekleme aralığı merkezi frekansın en az 3 katı olmalıdır. Sağlıklı ölçüm için 2 katsayısının da kullanımı önerilir.

Tablo1.2. Frekansa göre penetrasyon derinliği (URL-2).

Frekans	Çözünürlük	Toprak (m)	Kaya ortamı (m)
25	1.000	35-40 arası	50-60 arası
50	0.500	20-25 arası	30-40 arası
75	0.375	12-20 arası	25-30 arası
100	0.250	10-12 arası	20-25 arası
150	0.200	6-10 arası	15-20 arası
250	0.100	4-6 arası	12-15 arası
500	0.050	3.5-4 arası	5-7 arası
750	0.040	1.5-3 arası	3-4 arası
800	0.030	1-2 arası	3
1200	0.020	1	2

1.2.7. Yer Radarı Ölçü Alma Dizaynı

1.2.7.1. Örnekleme Kriteri

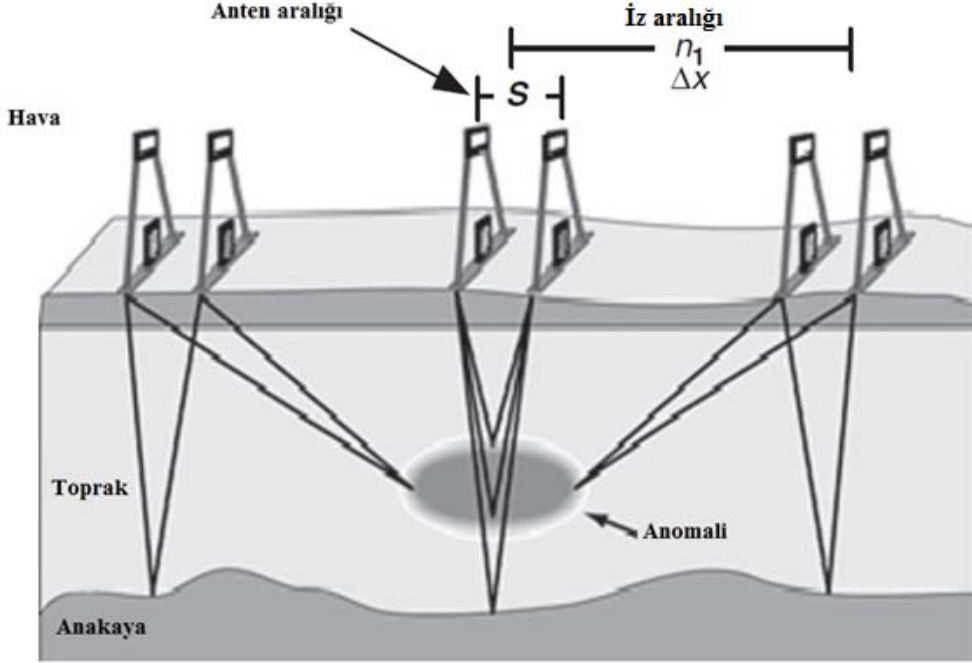
GPR araştırmalarının amacı, radyo dalgalarını kullanarak, dolaylı olarak yeraltı yapılarına ilişkin bilgiler edinmektir. Uzaklığın ve zamanın bir fonksiyonu olarak EM alan örneklenmeli, kayıt edilmeli ve araştırma dizaynı temel örnekleme prensipleriyle bağlantılı olmalıdır. Zaman ve uzaklık örnekleme aralıkları Δt ve Δx ve V hızıyla yayılan belirli bir sinüzoidal frekans için f , aşağıda gösterildiği gibi olmalıdır:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f} \quad (1.40)$$

$$\Delta x \leq \frac{V}{2f} \quad (1.41)$$

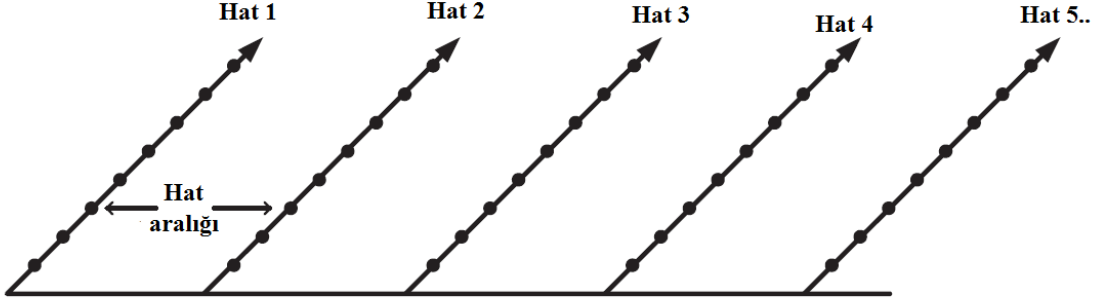
1.2.7.2. Genel Ofset (Yansıma Profili) Ölçümü

Genel ofset ölçümü, sahada bir alıcı ve sabit bir ofset veya aralıklı bir verici ile antenler arasında her ölçü noktasına yerleştirilmektedir. Bu ölçüm düzeneğinde verici ve alıcı antenler, EM alan oluşturmada ve saptamada özel polarizasyon özelliklerine sahiptirler. Antenler sabit bir geometride yerleştirilirler ve ölçümler, şekil 1.31 de gösterildiği gibi düzenli iz aralıklarında (Δx) toplanmaktadır. GPR yansıma ölçümleri geleneksel olarak düz bir profil boyunca sıralanır ve sistemler bu yönde yerleştirilir. Genel ofset ölçümünü tanımlayan parametreler; GPR merkez frekansı, kayıt zaman penceresi, zaman örnekleme aralığı, iz aralığı, anten aralığı, profil aralığı ve anten yönelimidir.



Şekil 1.31. Bir profil boyunca genel ofset ölçümünün şematik gösterimi

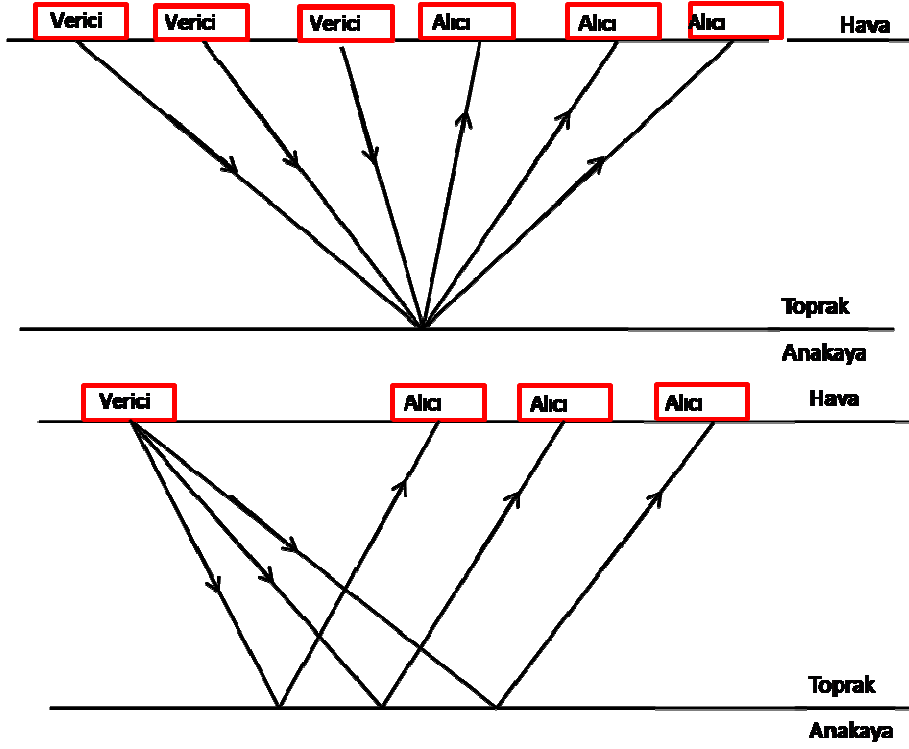
Yansıma profilleme ölçümlerinin genel amacı, uzaklığa karşı yansıtıcı yüzeyin haritalanmasıdır. Buna yönelik olarak, şekil 1.32 de gösterildiği gibi; çoğunlukla düz bir profilde grid çizgileri şeklinde araziye kapsayacak biçimde veri toplaması gerekmektedir.



Şekil 1.32. Yansıtıcı yüzeyin haritalanması için olması gereken ölçü profilleri dizilimi

1.2.7.3. Ortak Derinlik Noktası ve Geniş Açılı Yansım-Kırılma Yöntemleri

Yer radarı yönteminde kullanılan Ortak derinlik noktası (ODN) veya geniş-açılı yansım ve kırılma (GAYK) ölçümü, sismik yansım ve kırılma yöntemindeki ölçüm alım düzeneklerindeki gibidir. Ancak yer radarındaki ODN ölçümleri, yer içinde radar sinyali hızını derinliğe karşı, Şekil 1.33 de gösterildiği gibi anten aralıklarını değiştirerek ve çift-yol seyahat profil zamanını ölçerek elde etmede kullanılmaktadır. ODN izleri toplamı sinyal gürültü oranını artırabilir (Fisher vd., 1992) ve tüm hız kesiti elde edilebilir (Greaves vd., 1996). Çok kanallı GPR aramaları seyrek kullanılır çünkü çok zaman alıcıdır, analiz edilmesi daha karmaşıktır ve en etkili şekli iyi-tasarlanmış tek-kanallı ölçüm düzeneği ile sağlanmaktadır. Bu yöntemler özellikle derinliğe karşı sinyalin hızını elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.

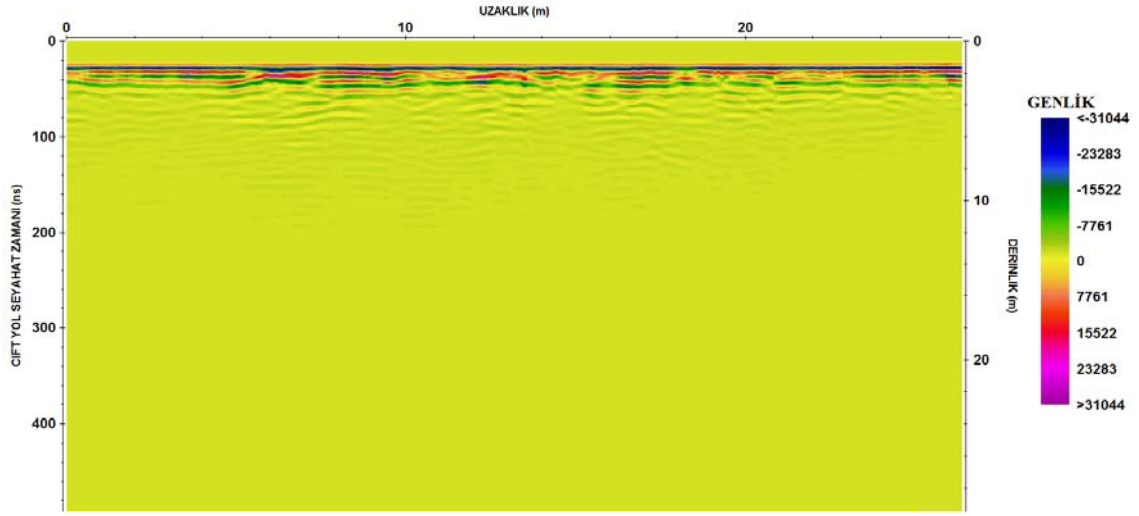


Şekil 1.33. (a) Ortak derinlik noktası (ODN) yöntemi şematik gösterimi, (b) Geniş açılı yansıma ve kırılma yönteminin (GAYK) şematik gösterimi

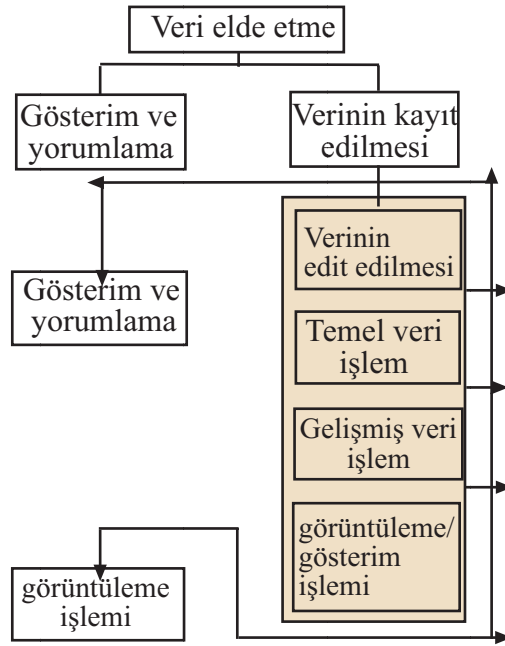
1.2.8. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi

Ham GPR kesitlerinden yeraltındaki yapısal durumu izlemek ve yorum yapmak zordur (Şekil 1.34). Bundan ötürü ham veriler; yoruma hazır hale getirilinceye kadar amaca yönelik olarak bazı veri işlem aşamalarından geçirilmektedirler. Bir verinin akış şeması Annan (2001) tarafından verilmiştir (Şekil 1.35).

Temel veri işlem adımları; Dewow (düşük frekansların giderilmesi), Genlik Kazancı ve Background Removal (hemen hemen yatay ve periyodik olayların giderilmesi)'ı içermektedir.



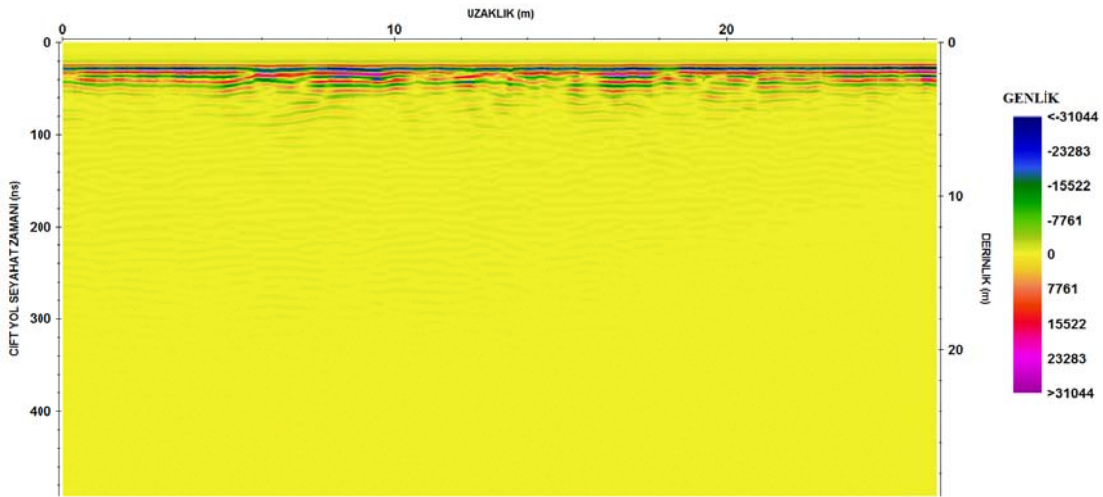
Şekil 1.34. Alarduç mevkiinden bir profilin ham radargramı



Şekil 1.35. Yer radarı verisi akış şeması (Annan, 2001).

1.2.8.1. Dewow (Düşük Frekansların Giderilmesi)

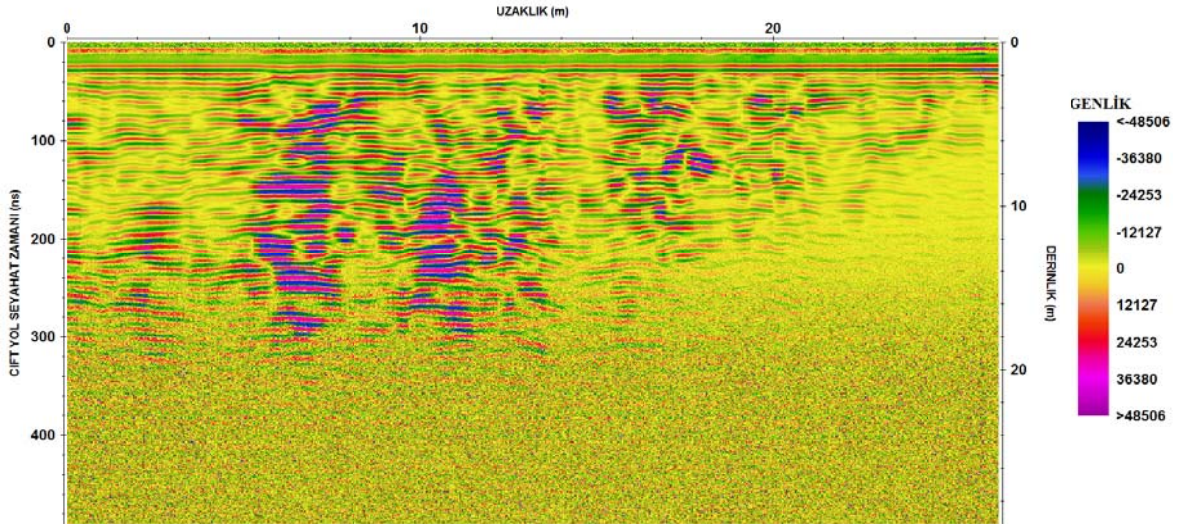
Bu, ilk DC sinyali bileşeninin kaldırılmasıdır veya DC etkisinin ve sonraki 'wow' etkisinin veya verideki düşük-frekanslı sinyal etkisinin giderilmesidir (Doughert, vd., 1994). 'Wow' etkisine, kaydedilen sinyalde ilk gelenlerin neden olduğu aşırılaşma veya doygunluk etkileri neden olmaktadır ve sinyalden DC etkisinin atılmasını gerektirir. Ayrıca daha etkin düzeltme için alçak-geçişli veya medyan süzgeçlemesi de kullanılabilir (Gerlitz vd., 1993; Fisher vd., 1994). Dewow veriyi ortalama-sıfır seviyesine indirgemede önemli bir adımdır ve bu yüzden, kayıt edilmiş izlerde kullanılmak üzere pozitif-negatif renk dolgusuna izin vermektedir. Bu işlem yanlış uygulandığında veri, tüm izin spektrumunu bozan azalan alçak-frekans bileşenine sahip olacaktır. Bu da sonraki spektral veri-işleme süreçlerini örneğin kesitin doğal görünümünü etkileyebilir (Gerlitz vd., 1993). Neyse ki çoğu modern GPR sistemleri şimdilerde her ize otomatik olarak Dewow en uygun durumlara ayarlı filtre parametreleriyle uygulamaktadır. Otomatik olmadan dewow düzeltmesi gerekli ise, ilk olarak 'DC çıkarma' uygulanabilir sonrasında ise kısa bir filtreleme penceresi ile ortalama filtre (uygulanır ve/veya kaydın bant genişliğinin altında bir kesme frekansı ile alçak geçişli bir filtre uygulanır. Dewow işleminden geçirilmiş bir veri şekil 1.36'da gösterilmiştir.



Şekil 1.36. Alarduç mevkiinden bir profilin dewow veri işlem aşaması uygulandıktan sonraki radargramı

1.2.8.2. Kazanç Fonksiyonları

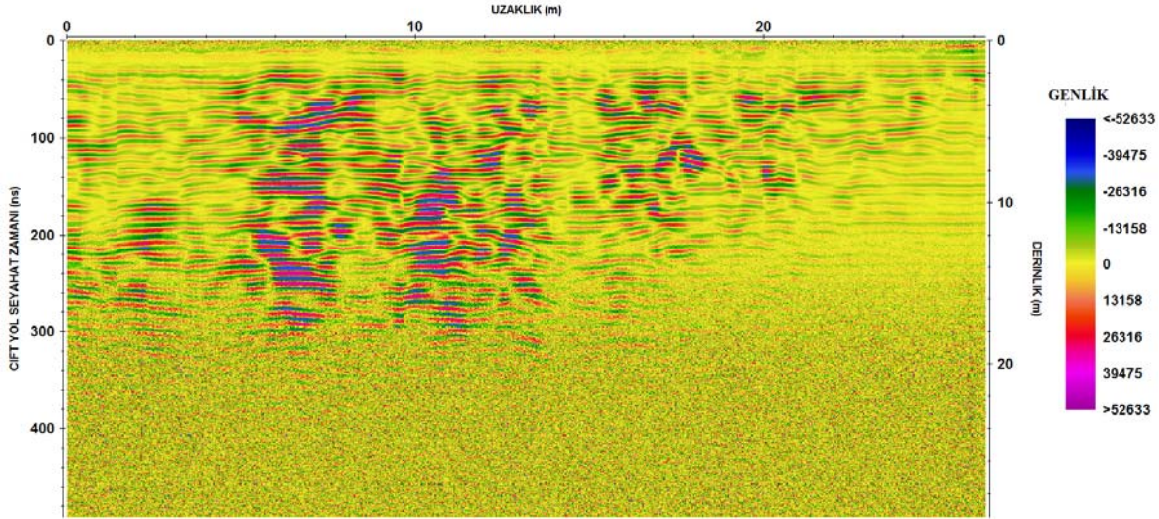
Veri şimdi işlenmiş biçimdedir ve analiz ve yorum için kazanç fonksiyonları uygulamalarına uygundur. Kazanç, GPR kesitlerinin görünürlüğünü geliştirmektedir ve çoğu teknik veri yapısını bir şekilde değiştirmektedir (örneğin, bağıl genlikler ve/veya faz ilişkileri değişir). Bu yüzden, kazanç fonksiyonlarının etkilerinin önemi uygulanmasından önce anlaşılmalı ve veri yorumlanırken dikkat edilmeli (Annan, 1999). Geometrik açılım ve sinyal soğrulmasının etkisine bağlı olarak sonraki varışların görünümünü kuvvetlendirmede geçici kazançlar gereklidir. Farklı tipleri vardır örneğin, sabit kazanç, üstel kazanç SEC, AGC ve hepsi farklı özelliklere sahiptir. Bütün kazanç fonksiyonları, benzer tarzda, zaman ortamında izin ardısıra izleyen bölümlerine bazı çarpım faktörleri uygulanarak yapılır. SEC veya 'Energy decay' otomatik olarak sinyal genliğini, yayılan dalga cephesinin geometrik açılımın etkisine($1/r^2$) bağlı olarak düzeltir. Daha gelişmiş modlarda, malzeme soğrulma kayıpları fonksiyonda artı bir faktör olarak içerebilir (db/m) fakat bunlar etkili olabilmeleri için düzgün soğrulma bilgisi gerektirir. Bu durum ODN ve GAYK yöntemleriyle elde edilmede bile zor olabilir ve uygun bir öncü bilgi veya 'en iyi tahmin' kullanılır. Energy Decay işleminden geçirilmiş bir veri şekil 1.37'de gösterilmiştir.



Şekil 1.37. Alarduç mevkiinden bir profilin gain (energy decay) veri işlem aşaması uygulandıktan sonraki radargramı

1.2.8.3. Background Removal

Ringin etkisi, GPR verilerinde uyumlu gürültünün genel tiplerindedir. Bu tarz bir uyumlu gürültü kuvvetli ise ve uygunca atılmamış ise, derin yapılar tamamen örtülebilir. Ringin, hemen hemen yanal ve periyodik olaylar olarak görülür ki buda veri işlem ile gürültünün atılmasına olanak sağlayan en önemli özelliklerdir. GPR verisi şiddetli ringin gürültüsüne maruz kaldığında, araştırma derinliği daha da sığlaşır çünkü kuvvetli ringin derinden gelen zayıf yansımaları maskeleymektedir. Bu işlem yüksek geçişli süzgeçler kullanılarak yapılmaktadır (Wilchek, 2000). Bu izlerin uzaklaştırılması ile yeraltından gelen yansımaların daha görünür hale gelmesi sağlanmaktadır. Background Removal işleminden geçirilmiş bir veri şekil 1.38’de gösterilmiştir.



Şekil 1.38. Alarduç mevkiinden bir profilin background removal veri işlem aşaması uygulandıktan sonraki radargramı

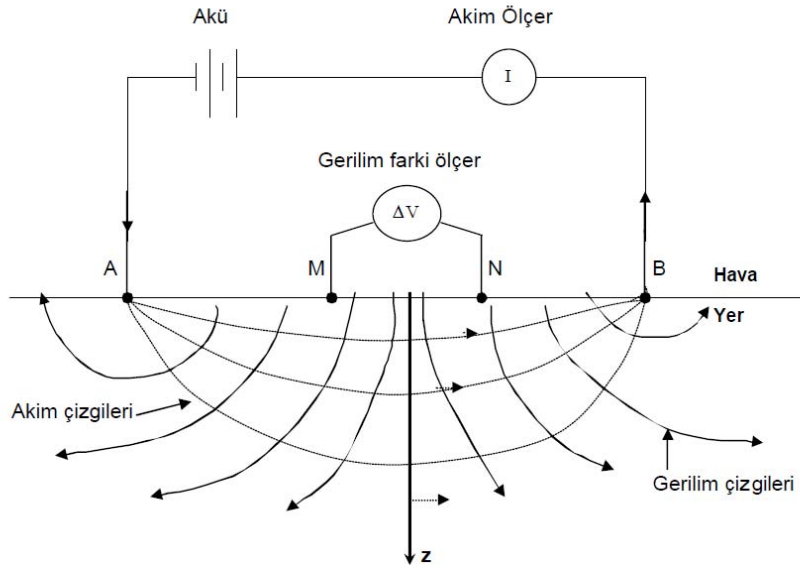
1.2.9. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Özdirenç (Resistivity) yöntemi olarakta bilinen doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi, Arama Jeofiziği'nde kullanılan başlıca jeofizik yöntemlerdendir. Bu yöntemde amaç, yer içinin jeolojik yapısını, elektrik özelliğine (özdirenç) göre haritalamaktır. Yöntem, maden, mineral, jeotermal enerji kaynağı ve petrol aramaları ile hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır. Özellikle 1980'lerden itibaren, arkeolojik yapıların

aranmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. DAÖ yöntemi; kuramı ve uygulandığının kolay olması, ölçü aletinin basit olması ve etkili sonuçlar vermesinden dolayı günümüze kadar yaygın olarak kullanılmıştır. Yöntem hakkında İngilizce' nin yanı sıra, dilimizde de birçok kaynak bulunmaktadır. Fakat gelişen bilgisayar ve elektronik teknolojisine bağlı olarak, yöntemde de birçok gelişme olmuştur. Örneğin çok-elektrotlu (multi-elektrode) ölçü düzenekleri sayesinde, artık veriler çok daha hızlı toplanmakta ve ölçülen bu veriler iki-boyutlu (2-B) ve üçboyutlu (3-B) yorumlanmaktadır.

1.2.9.1. Ölçü Sistemi

DAÖ ölçü düzenegi Şekil 1.38' deki gibi gösterilebilir. Bu düzenekte, bir güç kaynağı (akü), bir akım ölçer ve bir gerilim farkı ölçer gereklidir. Burada, iki noktada yere çakılmış elektrodlar yardımı ile akım uygulanır (A ve B akım elektrodları) ve diğer iki noktada çakılmış elektrodlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (M ve N gerilim elektrodları). Kullanılan elektrodlar genelde paslanmaz çelik' ten yapılmıştır. Eskiden, gerilim elektrodları için bakır-sülfat çözeltili fincanlar (potlar) kullanılırdı. Fakat günümüzde imal edilen ölçü aletleri, doğal kutuplaşma etkisini giderecek şekilde ihmal edildiğinden gerilim elektrodu için de çelik' ten yapılmış elektrodlar kullanılır (Şekil 1.39).



Şekil 1.39. Elektrik özdirenç yönteminde akım-potansiyel elektrotlarının konumu ve yeraltında meydana gelen akım gerilim çizgileri (Nostran ve Cook, 1966).

Burada A' dan yere verilen akim, yer içinden geçer ve B' ye ulaşır. Bu akımdan dolayı, M ve N elektrodlarının arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Ölçülen bu gerilim farkı, tüm elektrodlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlıdır. Ayrıca elektrodların çakıldığı yer' de ölçülen gerilim farkını etkiler. Örneğin, akim elektrodları, iki taş arasına sıkıştırılırsa, akim geçmez ve M ve N arasında gerilim farkı oluşmaz.

1.2.9.2. Yarı Sonsuz Homojen Bir Ortamda Gerilim ve Özdirenç Bağlıları

Ohm kanunu ve statik elektrik alanın konservatif olması özelliklerinden yararlanarak homojen ve sonsuz izotrop ortamın herhangi bir noktasından nokta akim kaynağı uygulandığında kaynaktan R kadar uzaklıktaki akim yoğunluğu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$J = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial R} \quad (1.42)$$

Akim yoğunluğu; akimin, geçtiği alana oranı olarak,

$$J = \frac{I}{A} \quad (1.43)$$

şeklinde tanımlanır. Burada A nokta kaynağının etki alanıdır (metrekare). Kaynaktan R uzaklıktaki noktaların bir küre yüzeyi oluşturduğu düşünülürse ve (1.42) ile (1.43) eşitlenirse;

$$\frac{I}{A} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial R} \quad (1.44)$$

elde edilir. φ gerilimi (1.44) denkleminin integrali alınarak,

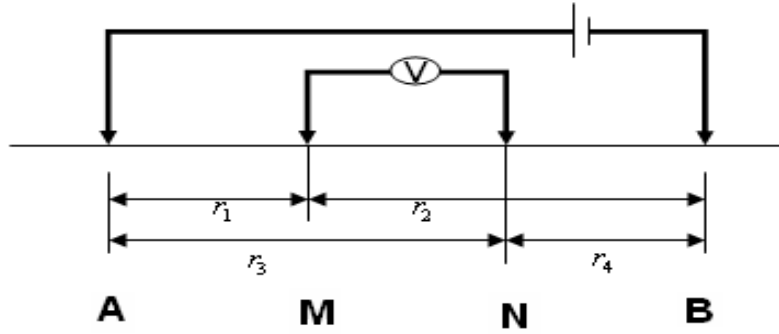
$$\varphi = \frac{\rho I}{4\pi R} + C \quad (1.45)$$

şeklinde çözülebilir. Kaynaktan çok uzak noktalarda gerilim sıfır olması gerektiğinden (1.45) denklemindeki C integrasyon sabitinin değeri sıfır olmalıdır. Yeryuvarı hava ile sınırları verildiğinden, ortamın yarısız olması gerekir (Başokur, 1984). Denklem (1.46), yarısız ortam için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\varphi = \frac{\rho I}{2\pi R} \quad (1.46)$$

Pratikte, akım yeryüzünden I (source) ve $-I$ (sink) olmak üzere iki elektrodla uygulanır ve gerilim bütün noktalarda bu iki kutuplu (bipolar) düzenekle ölçülür. I akımı homojen ve izotrop yarısonsuz bir ortama, yeryüzünden A ve B noktalarındaki elektrodlar ile verilsin. Bu durumda M ve N noktalarındaki gerilim elektrodları arasındaki gerilim farkı aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 1.40);

$$\Delta\varphi = \varphi_M - \varphi_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (1.47)$$



Şekil 1.40. Elektrod dizilimlerinin genel gösterimi

Denklem (1.47) dan homojen ortamın öz direnci;

$$\rho = K \frac{\Delta\varphi}{I} \quad (1.48)$$

şeklinde çözülebilir. Burada;

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (1.49)$$

olduğu görülmektedir. K geometrik faktör olarak isimlendirilir ve uzaklık boyutundadır.

1.2.9.3. Görünür Özdirenç Kavramı

Denklem (1.47) da hesaplanan gerilim farkı elektrodlar arasındaki uzaklığa, yere uygulanan akıma ve homojen ortamın özdirencine bağlıdır. Fakat gerçekte yer homojen değildir ve arazide ölçülen gerilim farkı ($\Delta\varphi$) kullanılarak (1.48) denkleminde hesaplanan özdirenç; Görünür Özdirenç (GÖ) olarak adlandırılır. GÖ, jeolojik yapının sekline, özdirencine ve kullanılan elektrod dizilimine bağlıdır. GÖ tanımlamasına göre; ortam homojen ve izotrop ise ölçülen GÖ ortamın özdirencine eşit olmalıdır. Tabakalı bir ortamda GÖ ergisi AB/2' nin küçük değerleri için birinci tabakanın özdirencine, AB/2' nin büyük değerleri için son tabakanın özdirencine asimptot olmalıdır. Ayrıca GÖ, AB/2 nin ara değerlerinde de ara tabakaların özdirencine yakın olmalıdır (Başokur 1994). Arazide ölçülen gerilim farkları, homojen ve izotrop ortama ait olmadığından bundan sonraki bölümlerde GÖ kavramı ($\rho_a = \rho$) kullanılacaktır.

1.2.9.4. Elektrod Dizilimleri

A, B akım ve M, N gerilim elektrodlarının farklı konumlarına göre farklı elektrod dizilimleri önerilmiştir. Aynı yer için farklı elektrod dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile GÖ değerleri de farklı olmaktadır. Geleneksel elektrod dizilimleri, elektrodların bir bakışım (simetri) merkezine göre çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner, dipol-dipol ve pole-dipol dizilimleridir (Şekil 1.41). Bu dizilimlerin yani sıra, kullanılan çok-elektronlu ölçü sistemlerine uygun ve uygulamada etkili olan dizilimler önerilmektedir. Bu dizilimler amaca yönelik seçilmektedir. Schlumberger ve Wenner dizilimi derin amaçlı araştırmalarda kullanılmaktadır. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde ise "pole dipole" dizilimi iyi sonuç vermektedir. Maden aramacılığında ise daha çok dipol-dipol ve "Gradient" dizilimleri kullanılmaktadır. Arkeolojik amaçlı çalışmalarda ise yarım-Wenner, yarım-Schlumberger, twin probe (Aspinall ve Lynam, 1970), Gradient (Schlutz, 1985), odaklanmış (focused) dizilimler (Gradinetti, 1967), üç gerilim elektrod (Wenner α , Wenner β ve Wenner γ), iki-yönlü üç-elektrod (Candansayar vd. 1999; Candansayar ve Basokur, 2001) dizilimleri kullanılmaktadır. Bu dizilimlerin birçoğu, araştırmacılar tarafından incelenmiş ve arkeolojik araştırmalarda geleneksel dizilimlerden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir (Brizzollari ve Bernabini 1979, Orlando vd. 1987).

Elektrod Dizilimi	Geometrisi	K	Ölçülen
(a) Schlumberger		Genel olarak $K = \frac{\pi}{4} \frac{MN}{\left[\frac{AB^2}{MN^2} - 1 \right]}$ dir. Eger, $MN=a$ ve $AM=NB=na$ alınırsa $\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMNB)$
(b) Wenner		$2\pi a$	$\rho_s(AMNB)$
(c) Dipol-dipol		$\pi n(n+1)(n+2)a$	$\rho_s(ABMN)$
(d) "Pole-dipol" sol (AMN)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMN)$
(e) "Pole-dipol" sağ (MNB)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(MNB)$
(f) İki-Yönlü Üç-Elektrod (İYÜE) dizilimi		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMN)$ ve $\rho_s(\Delta MNB)$

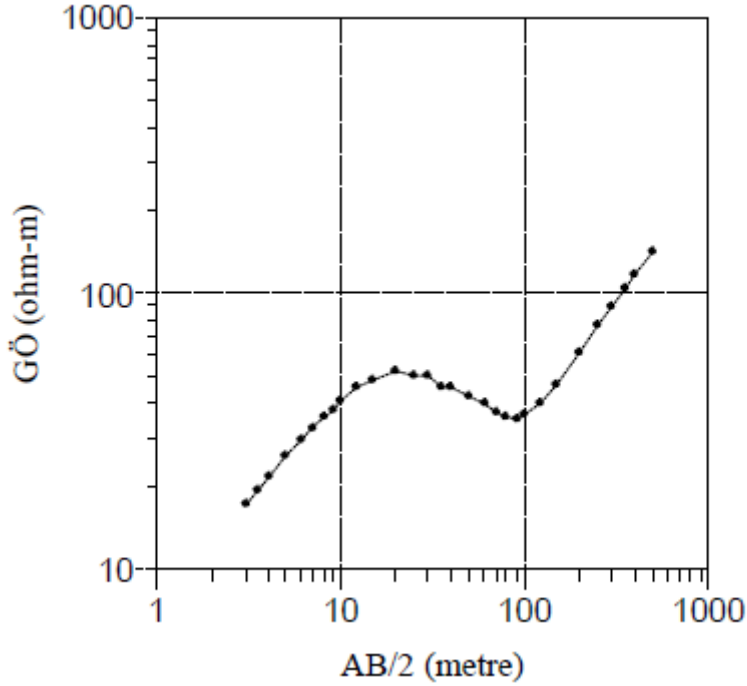
Şekil 1.41. Kullanılan başlıca elektrod dizilimleri. Burada $n=1,2, \dots$ dir

1.2.9.5. Ölçü Alım Teknikleri ve Veri Sunumu

Doğru Akım Özdirenç yönteminde genel olarak Sondaj Ölçüsü, Profil Ölçüsü ve Sondaj-Profil Ölçüsü olmak üzere üç farklı ölçü toplama tekniği vardır. Ölçülen veriler GÖ sondaj eğrileri, profil eğrileri ve yapma-kesitleri şeklinde sunulur. Ayrıca birbirine paralel profiller boyunca ölçülmüş profil ölçüsü verileri birlikte kullanılarak GÖ seviye haritaları elde edilir. Bu çalışmada Yer-elektrik sondajı (DES) uygulanmıştır.

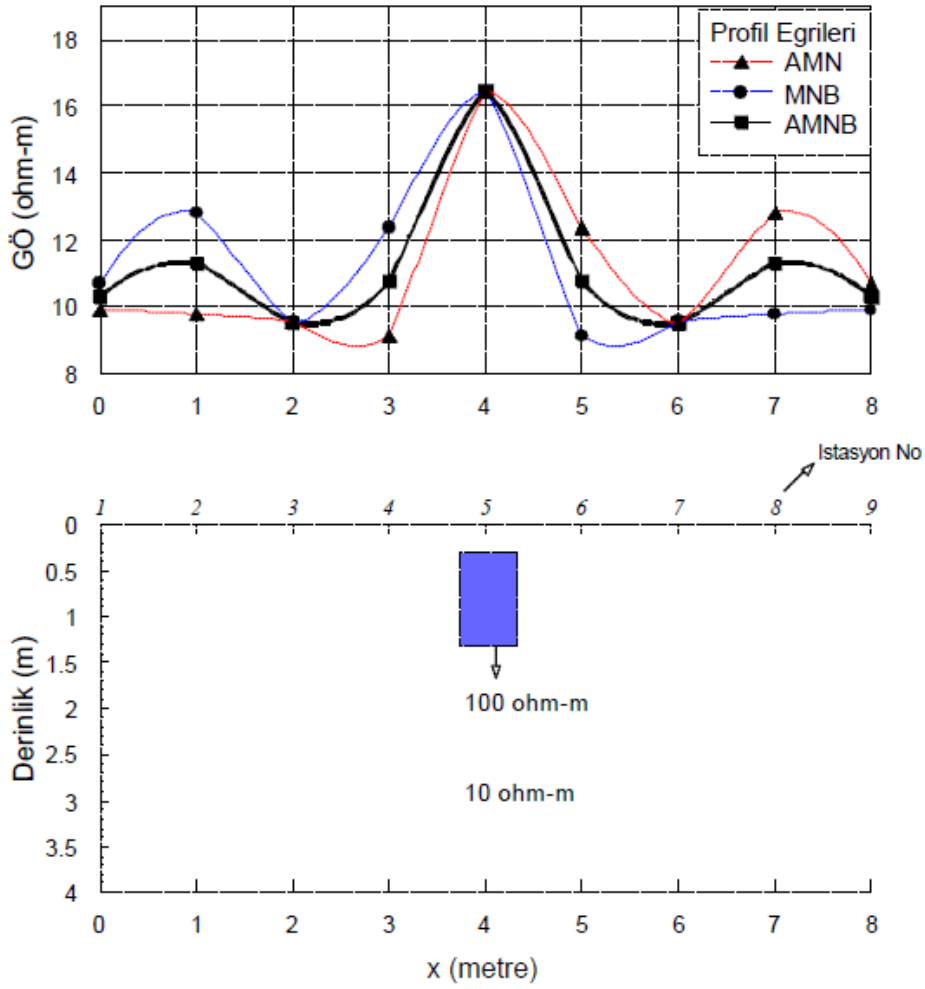
1.2.9.5.1. Sondaj Ölçüsü (Yer-elektrik Sondajı) ve Görünür Özdirenç Sondaj Eğrisi

Yer elektrik sondajında sabit bir nokta bakışım merkezi olacak şekilde, her ölçüm sonucunda bu noktanın iki tarafında elektrodların bir çizgi boyunca açılmasıyla uygulanır. Böylece yericinde düşey yöndeki özdirenç değişimi incelenmeye çalışılır. Bu nedenle yöntem, "Düşey Elektrik Sondajı" (DES) olarak da isimlendirilmektedir (Bhattacharya ve Patra, 1968).



Şekil 1.42. Schlumberger elektrod dizilimi için DES eğrisi

Bu şekilde ölçülen veri, x-ekseni AB/2 ve y-ekseni ölçülen GÖ değerleri olacak şekilde çizilir (Şekil 1.42). Elde edilen eğri, "DES eğrisi" olarak adlandırılır. AB/2 ve ölçülen GÖ değerlerinin çok geniş aralıkta değişmesinden dolayı, genel olarak DES eğrisinde her iki eksen' de logaritmiktir. DES ölçüleri, yeraltı suyu, ana kaya üstündeki örtü kalınlığının bulunması vb. amaçlar için kullanılır. DES verilerinin nicel yorumunu yapmak için bu verilere ters çözüm uygulanmalıdır. DES verileri, yericinin 1-B olduğu kabul edilerek, 1-B ters çözüm yapılır. Ters çözüm sonunda, tabakalı ortama ait özdirenç ve kalınlıklar hesaplanır.



Şekil 1.43. İki-yönlü üç-elektrod dizilimi ve AMNB GÖ profil eğrileri ve GÖ değerlerinin hesaplandığı 2-B model

Profil ölçüsü verileri, x-ekseni ölçü noktalarının koordinatı (veya istasyon noktalarının numarası) ve y-ekseni ölçülen GÖ değerleri olacak şekilde bir eğri olarak sunulur. Bu eğri, "profil eğrisi" olarak adlandırılır (Şekil 1.43). Klasik elektrod dizimlerinde, akım ve potansiyel elektrodları bir doğru boyunca bakışım merkezine göre dizilmekte idi. Bu bakışım merkezleri "İstasyon noktaları" olarak isimlendirilmektedir. Ölçülen GÖ değerleri bu noktanın altına yazılmaktadır.

Profil ölçüsü verilerine çeşitli süzgeçler (Brizollari vd., 1989) ve dönüşümler (Candansayar vd., 1997) uygulanarak, yanal süreksizliklerin daha net görülmesi sağlanmaya çalışılabilir. Ayrıca, eğer araştırılan yapı biliniyorsa, bu yapıya benzer ikiboyutlu modeller oluşturularak düz çözüm yapılır. Düz çözüm sonucu hesaplanan profil eğrileri ve arazide ölçülen profil eğrileri karşılaştırılarak, yanal süreksizliği oluşturan yapı belirlenmeye çalışılır.

Bu ölçü tekniği daha çok baraj yeri seçimlerinde, ana kaya' da kırık ve çatlakların belirlenmesi, arkeolojik yapıların bulunması, fay yapılarının uzanım ve doğrultularının bulunması amacı ile kullanılır.

Elektrik özdirenç aramalar jeotermal, maden, kömür, yeraltı suyu ve mühendislik uygulamalarında düzenli olarak kullanılmaktadır. Daha az düzeyde petrol ve gaz aramalarında kullanılmaktadır. Çevre ile ilgili uygulamalarda özdirenç aramalarla, örtü tabakasının derinliği, stratigrafi, faylar, kırık-çatlak sistemleri, kayaç birimleri, tuzlu su girişimleri, kirlenme bölgeleri, atıkların atılabileceği yerler ve boşluklar haritalanabilir. Geoteknik uygulamalarda özdirenç aramalar; baraj stabilize çalışmaları, temel kayaç göçü, örtü tabakasının haritalanması, faylar ve kırıkların haritalanmasında kullanılmaktadır (Ward,1992).

Elektrik Özdirenç çalışmaları sağlam kaya ve doygun kırıklı zonlar arasında yüksek özdirenç farklılığı olduğu (Tablo 1.3 ve 1.4) için bu tür ortamlarda kırıklı zonların haritalanmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Silva, vd.,2004; Barker, vd., 1992; Carruthersn ve Smith,1992; Medeiros ve Lima,1990; Medeiros,1987).

Tablo 1.3. Bilinen bazı kayaçların, toprak materyalleri ve kimyasalların özdirenç değerleri

Malzeme	Özdirenç(Ohm.m)
VOLKANİK VE METAMORFİK KAYAÇLAR	$5 \times 10^3 - 10^5$
Granit	$10^3 - 10^5$
Bazalt	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Mermer	$10^2 - 2 \times 10^8$
Kuarsit	$10^2 - 2 \times 10^8$
SEDİMANTER KAYAÇLAR	
Kumtaşı	$8 - 4 \times 10^3$
Şeyl	$20 - 2 \times 10^3$
Kireçtaşı	$50 - 4 \times 10^2$
Kil	1-100
Alüvyon	10-800
Yeraltısuyu (tatlı)	10-100
Deniz suyu	0,2
KİMYASALLAR	
Demir	9.074×10^{-8}
0,01 M Potasyum Klorid	0,708
0,01 M Sodyum Klorid	0,843
0,01 M Asetik Asit	6.13
Ksilen	6.998×10^{16}

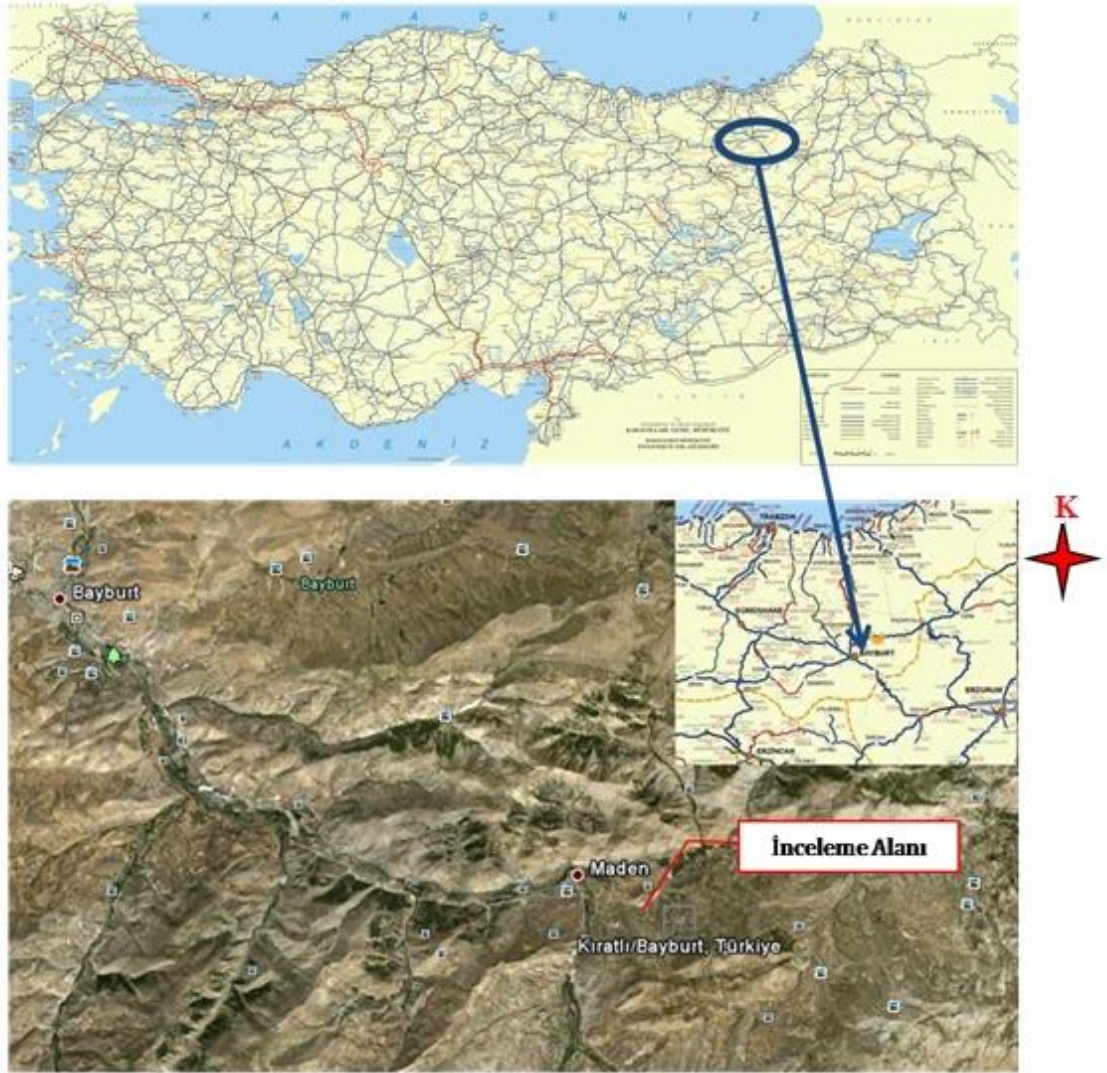
Tablo 1.4. Bazı Kayaçların Elektrik Özdirenç Değerleri

Jeolojik malzeme	Elektrik özdirenç Ω-m
Nemli killi toprak ve nemli kil	1-10
Nemli siltli toprak ve siltli kil	<10
Nemli siltli ve kumlu toprak	10-100
Silt ardalı kum ve çakıl	<1000
Kaba kuru kum ve çakıl depozitleri	>1000
Çatlakları nemli toprakla dolmuş çok kırıklı kayaç	100
Çatlakları kuru kumla dolmuş az çatlaklı kayaç	<1000
Masif ve sağlam olarak oluşmuş kayaç	>1000

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Coğrafi Konum

Çalışma sahası Bayburt ilinden 20 km uzaklıkta bulunan Kıratlı ilçesi Traverten sahasında işletilmesi planlanan, birçok yerde mostra vermiş bir sahadır (Şekil 3.1).



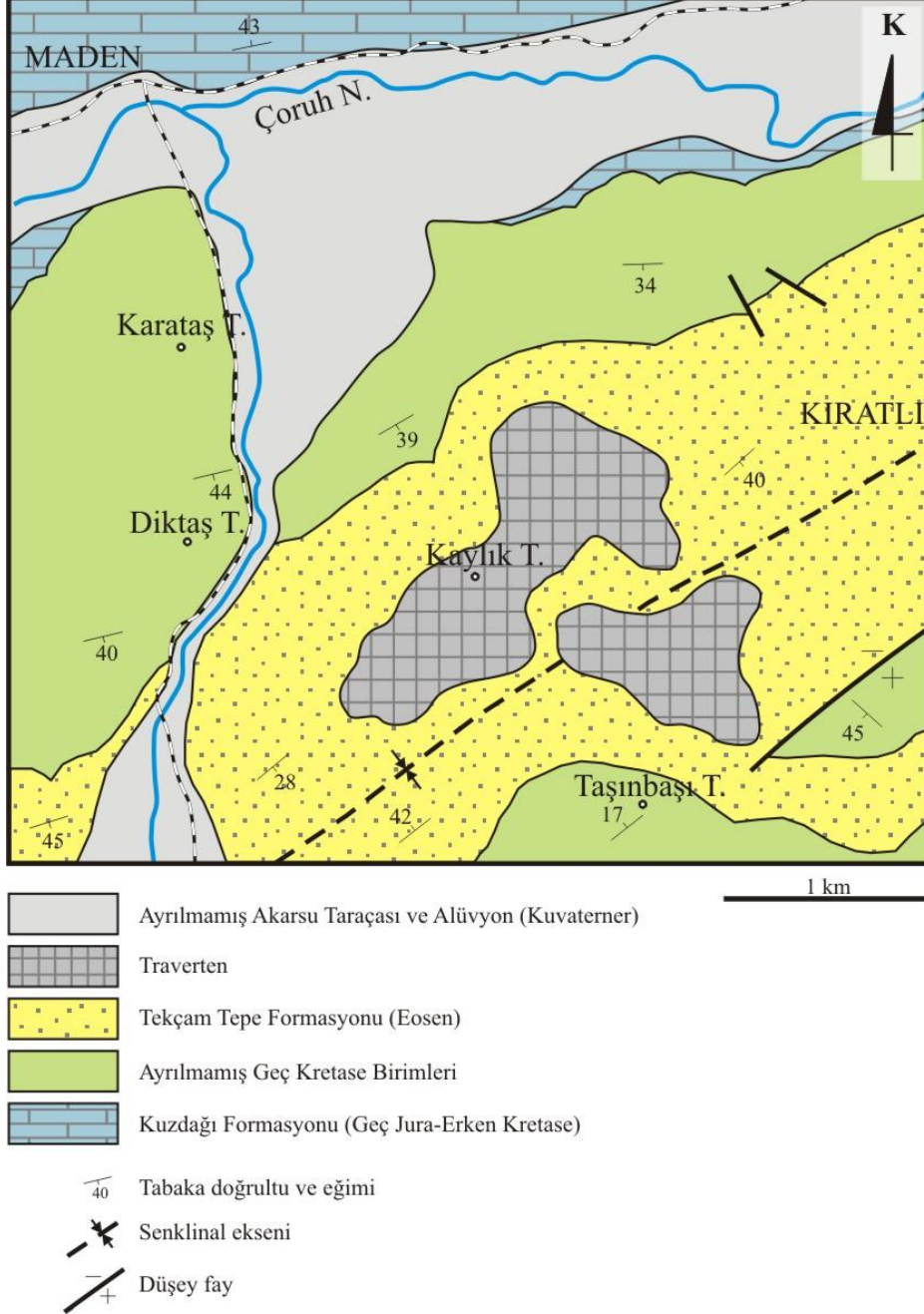
Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

2.2. Genel Jeolojik Özellikler

Çalışma alanı içerisindeki birimler litostratigrafik olarak tabandan tavana, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Kuzdağ Formasyonu, Ayrılmamış Geç Kretase Birimleri, Eosen yaşlı Tekçam Tepe Formasyonu, Travertenler ve Alüvyonlardan oluşmaktadır. İnceleme alanında yapılan daha önceki çalışmalardan da faydalanılarak birimlerin litostratigrafik özellikleri belirlenmiştir (Şekil 2.2).

İnceleme alanının tabanını Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Kuzdağ Formasyonu oluşturmaktadır. Kuzdağ Formasyonu çalışma sahasının kuzeyinde yaygın olarak yüzeylenmektedir. Birim Bayburt yöresinde ilke kez Özer (1984) tarafından tanımlanmıştır. Kuzdağ Formasyonu, ince-orta tabakalı, sarımsı gri-bej renkli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim içerisinde ayrıca çört yumrulu seviyeler de yer almaktadır. Birim bol çatlaklı olup çatlaklar çoğunlukla ikincil kalsit tarafından doldurulmuştur. Kuzdağı Formasyonu üzerine uyumlu olarak Geç Kretase yaşlı birimler gelmektedir. Bu birimler inceleme alanında üç farklı litolojik birlikten oluşmaktadırlar. Geç Kretase yaşlı bu birimler, içerisinde kumtaşı, marn, çört, radyolarit, serpantinit, gabro, bazalt ve kireçtaşı blokları içeren melanj ile başlamaktadır. Melanj alacalı renk tonlarıyla inceleme alanında çok kolay ayırt edilmektedir. Birimin içerdiği bloklar santimetrik ölçekten onlarca metreye değişen boyutlardadır. Melanj üzerine uyumlu olarak gri, bordo ve koyu kahverengi tonlarında gözlenen andezitler, andezitik tüfler gelmektedir. Bu birim, arazide bordo ve kahverengi renkli ve tabakalı bir yapıdadır. Tüfler üzerine uyumlu olarak, orta-kalın ve masif tabakalanmalı, gri bej renkli resifal kireçtaşlarından oluşan çökeller gelmektedir. Kireçtaşlarında bazı seviyelerde çok bol fosil topluluklarına rastlanmaktadır. Bu birim çalışma sahasında kornişler şeklinde gözlenmektedir. Kendi içerisinde ayırmadığımız bu Geç Kretase yaşlı birimlerin üzerine uyumsuz olarak Eosen yaşlı Tekçam Tepe Formasyonu (Özer, 1984) gelmektedir. Formasyon taban konglomerasıyla başlayıp üste doğru tuf ara seviyeli kumtaşı-marn-kiltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birim çalışma sahasında türbiditik bir yapı sunmaktadır. Birimin taban seviyelerinde Nummulit ve Discocyclina' lar bol olarak izlenmektedir (Kılıç, 2002). Bütün bu birimler üzerine uyumsuzlukla birlikte, bu çalışmanın ana materyalini oluşturan travertenler gelmektedir. Travertenler çalışma sahasında Geç Kretase yaşlı resifal kireçtaşlarına çok benzemektedirler. Makroskobik olarak, genellikle gözenekli bir yapıya ve yatay bir

tabakalanmaya sahiptirler. Bütün bu birimler uyumsuz olarak Çoruh Nehri boyunca gelişen alüvyonlarca uyumsuz olarak örtülmektedir.



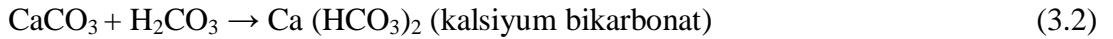
Şekil 2.2. Çalışma alanının Genel jeoloji haritası (Kılıç 2002' den düzenlenmiştir)

2.3. Traverten (Çökeltme Tipi Mermerler)

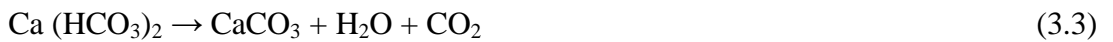
Travertenler, kireçtaşı ve mermer gibi, suda kolay çözünebilen karbonatlı kayaların kırıklı çatlaklı zayıf zonlarında çözme aşındırma (korozyon) yapan yer altı sularının, yeryüzüne çıktığı kaynak ağzları ve çevresinde çökelttiği tortul kayadır. Gevrek ve gözenekli yapılı, olitik veya pizolitik dokular bulundurabilen, genellikle büyük bitki kalıntıları içeren su kaynaklarının çevresinde oluşmuş karbonatlı kayalara traverten denir. Travertenleri oluşturan sular; jeotermal suların yer kabuğundaki kırıklı, çatlaklı ve faylı zonlarını izleyerek derinlere inip, magma yakınlarındaki uygun rezervuarlarda ısınmasıyla oluşmaktadır. Geçirgen kayalardan oluşan bu rezervuarlarda sürekli olarak, ısınır ve basınç kazanmaktadır. Bu basınç nedeni ile karbondioksit su içinde çözülmüş halde bulunmakta ve su içinde karbonik asit (H₂CO₃) oluşmaktadır.



Tektonik yönden genellikle hareketli olan bu zayıf zonlarda yükselerek ilerleyen sıcak sular, öncelikle depoladıkları rezervuar kayacı yada çıkış boyunca kat ettiği karbonatlı kayacın içerisinden geçerken karbonik asit karbonatlı kayalardaki kalsiyum karbonatla tepkimeye girmekte ve kalsiyum bikarbonatı (Ca(HCO₃)₂) oluşturmaktadırlar.



Kalsiyum karbonatça zengin sular yüzeye ulaştıklarında basınç azalması nedeniyle karbondioksit sudan ayrılarak atmosfere karışmaktadır. Su normal akmakta ve CaCO₃ çökelmektedir.



Böylece traverten oluşumu başlar. Hem sıcak su kaynakları hem de soğuk su kaynakları traverten oluşturabilir. Soğuk su kaynaklarının oluşturduğu travertenlerle, sıcak su kaynaklarının oluşturduğu travertenler arasında farklılıklar vardır. Soğuk su travertenlerinin oluşumunda su sıcaklığı 200C'nin altındadır. Sıcak su kaynaklarına oranla soğuk su kaynakları CO₂'ini daha yavaş kaybeder. Çökeltme kaynaktan kısa bir mesafe

sonra başlar. Düşük sıcaklık ve az miktardaki çözünmüş madde oranı, ot, bitki, yosun ve çalılarının gelişmesine neden olur. Karbonat çökelişi ot, yosun, çalı, kamış gibi bitkilerin üzerinde veya etrafını sarar şekilde meydana gelir. Daha sonra bu bitkilerin çürümesi veya bozularak yok olması ile geriye yüksek oranda poroz traverten oluşur. Devam eden çökeltme ile suyun akış ağzı kapanır ve su sürekli yer değiştirir. Çıkıştan uzaklaştıkça depolanma hızı düşer. Soğuk su travertenleri boşluklu, organik madde içeriği fazla ve koyu renklidir. Sıcak su kaynaklarında ise sıcaklık 200C'nin üzerindedir. Su sıcaklığı genellikle 36-370C'dir. Sıcak sular kaynaktan çıktıktan sonra soğumaya başlar ve belli bir akıştan sonra traverten çökelişi başlar. Sıcak su kaynaklarında çökeltme daha fazladır. Çünkü bitki, organik madde büyümesine engel teşkil eder. Üretim, işlenmesi ve kesilmesinin kolaylığı ve beyaz, krem, açık-koyu sarı gibi çeşitli renklerde bol olarak bulunması, bu taşların mermer olarak yaygın kullanımını sağlamaktadır. Traverten mermerin en görünür özelliği, çok yüksek derecede gözenekli olmasıdır. Profilde bazıları gözenekli olmaktan çok, büyük delikli ve yarıklıdır. Bu şekilde oluşan mermerler bir yüzeye kaplanırken, boşlukları çimento ile doldurulmaktadır. Görünümleri zayıf olmasına karşın, son yıllarda, mezar çerçevesi yapımında mermerlerden çok daha güçlü ve dayanıklı oldukları anlaşılmıştır. Nedeni ise, traverten yüzeyinin çimento ile çok iyi bağdaşması ve bir daha ayrılmamasıdır. Türkiye'deki traverten yataklarının büyük bir kısmı kuveterner yaşlıdır. Yani yeni oluşumlardır.

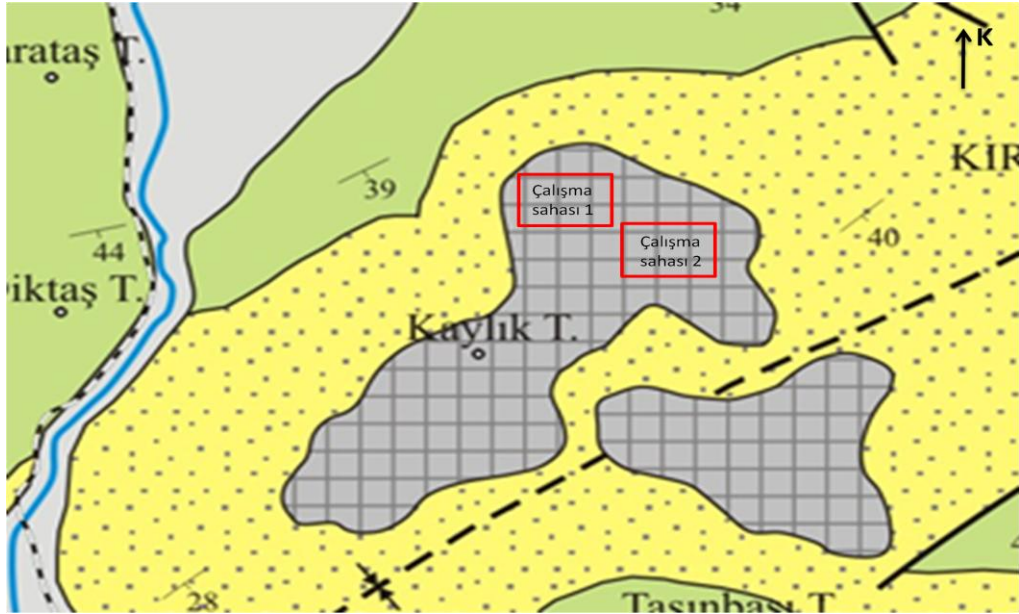
2.4. Verilerin Toplanması

Bayburt ili Kıratlı Traverten sahasının işletilmesine yönelik en uygun (masif, sağlam) kısımların belirlenmesi amacıyla, Jeofizik yöntemlerden bu konuda başarılı sonuçlar veren yer radarı yöntemi iki farklı alanda uygulanmıştır. İlk olarak işletilmekte olan ocağın üst kısmında Ocaküstü (Ocaküstü 1, Ocaküstü 2) olarak adlandırılan sahada 31 Mayıs 2011 tarihinde çıkarılacak olan traverten hammaddesinin verimliliğinin belirlenmesi için 17 profilde 34 ölçüm alınmıştır. Daha sonra yöresel adıyla Alarduç (Alarduç 1, Alarduç 2) mevkinde (yeni açılması planlanan traverten sahası) 15-16 Ekim 2011 tarihlerinde 20 profilde 20 ölçüm olmak üzere farklı antenler kullanılarak toplam 40 profilde 40 ölçüm alınarak GPR verileri elde edilmiştir. Bu çalışmalarda Ramac GPR CU II ve 100 MHz korumasız, 250 MHz korumalı antenler kullanılmıştır.

Bu çalışmada GPR yöntemi ile veri toplanırken elektromanyetik dalganın yönelime bağlı farklı yayılış özelliğini kullanmak amacı ile antenler farklı doğrultularda taşınarak ölçüler alınmıştır. Şöyle ki; korumasız verici-alıcı antenler birbirine paralel ve ölçü doğrultusuna paralel (XX modu); bu antenler birbirine paralel ölçü doğrultusuna dik (YY modu) taşınarak iki farklı modda ölçüler toplanmıştır. Ayrıca Ocaküstü 2 olarak adlandırılan sahada 5-6 Mayıs 2012 tarihlerinde her bir profilde 8 Düşey Elektrik sondajı (DES) yapılarak toplamda 4 profilde 32 DES yapılmıştır. DES ölçülerinde ABEM Terrameter SAS 1000 öz direnç sistemi kullanılmıştır.

2.4.1. Çalışma Sahaları

Çalışma sahaları Bayburt ilinden 20 m uzaklıkta bulunan Kıratlı mevki Traverten sahalarıdır.

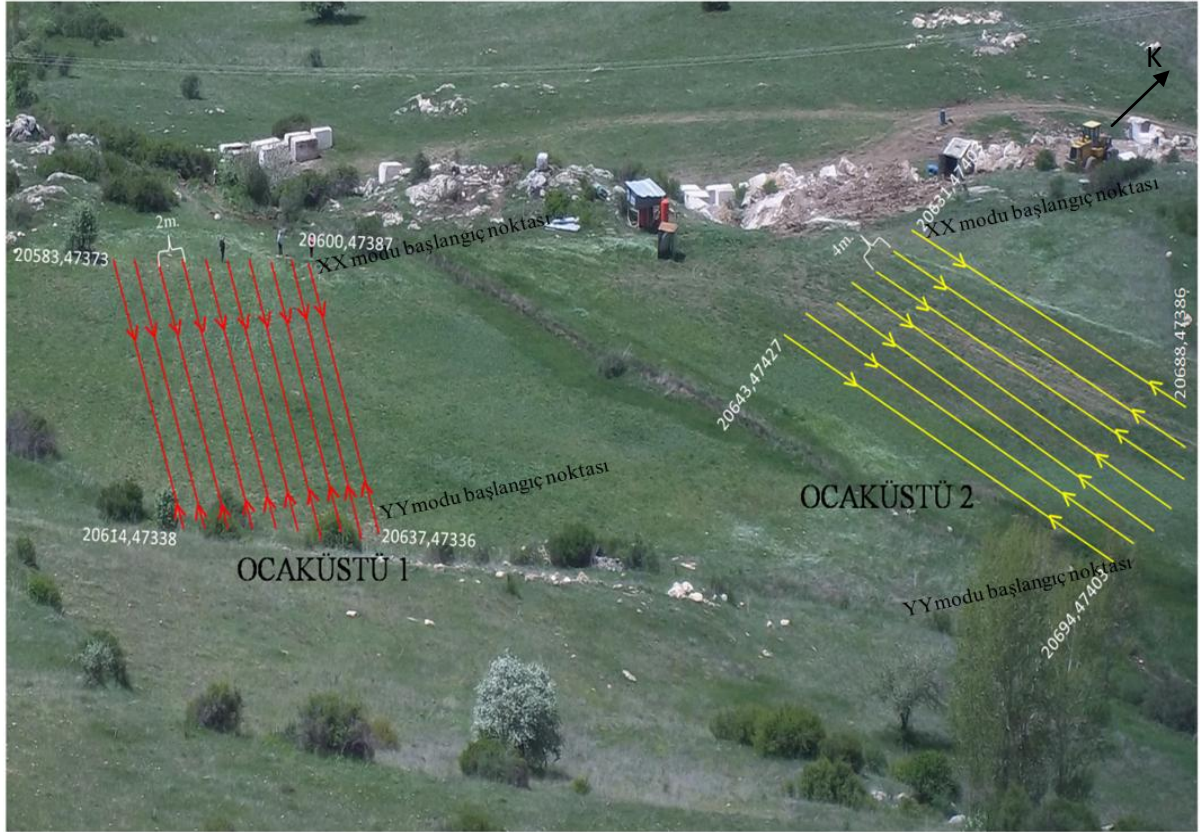


Şekil 2.3. Çalışma sahalarının görünümü

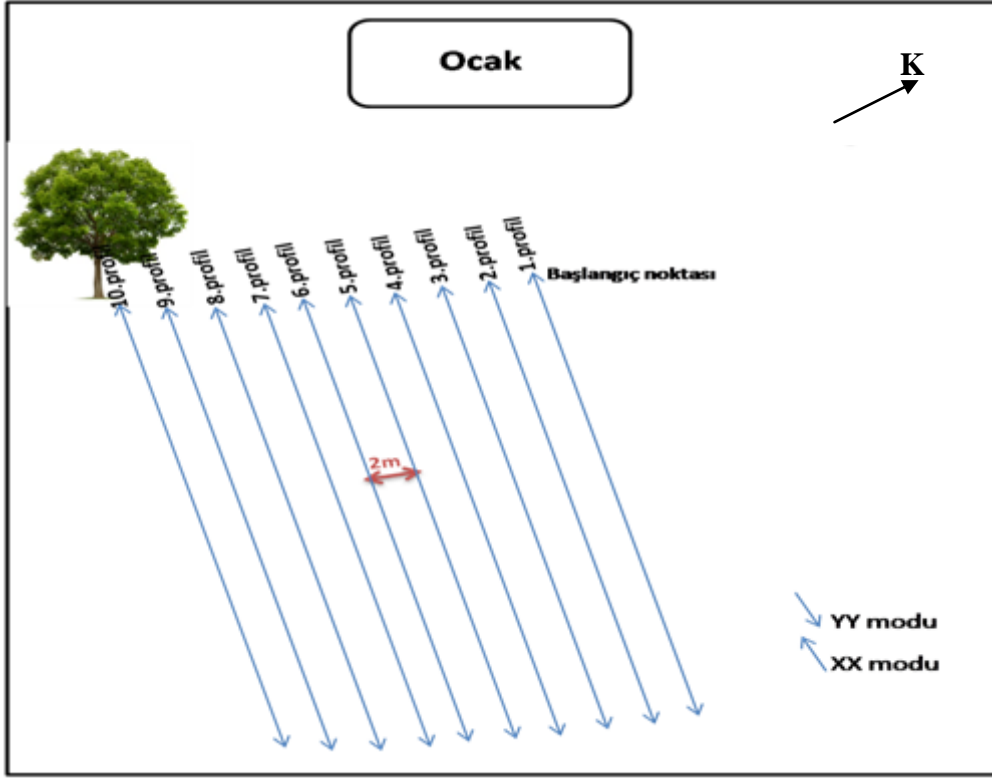
2.4.1.1. Çalışma Sahası 1 (Ocaküstü)

1. çalışma sahasında, farklı iki alan (Ocaküstü 1, Ocaküstü 2) olmak üzere 17 profilde toplam 34 ölçüm alınmıştır. Ocaküstü 1, ocağın tam üst kısmında, Ocaküstü 2 ise hemen yanındaki sahadır (Şekil 2.3). Ocaküstü 1’de yaklaşık K-G doğrultulu 2 m profil aralıkları

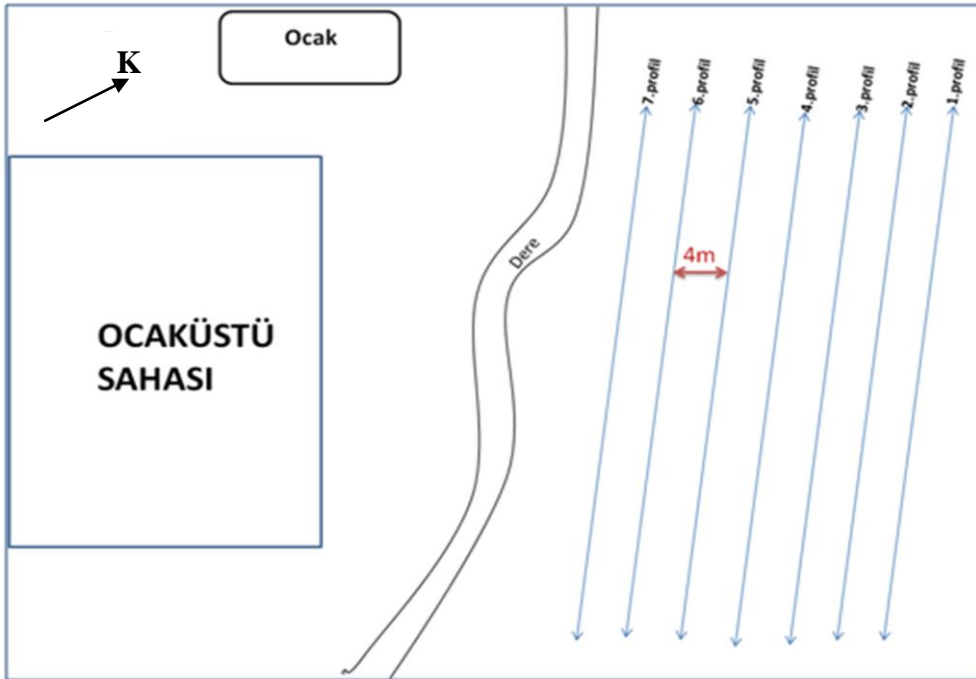
ile farklı ölçü modlarında (XX, YY) toplamda 10 profilde 20 ölçüm alınmıştır. Profillerin yaklaşık uzunluğu 50-60 m arasında değişmektedir. İz aralıkları 0.1 m'dir. 2. alanda aynı modlarda (XX, YY) toplam 7 profilde 14 ölçüm alınmıştır. Bu sahadaki profil aralıkları 4 m olarak alınmıştır.



Şekil 2.4. Çalışma sahası 1 ve GPR ölçü profilleri (Ocaküstü 1, Ocaküstü 2)



Şekil 2.5. Ocaküstü 1 sahasının ölçü krokisi



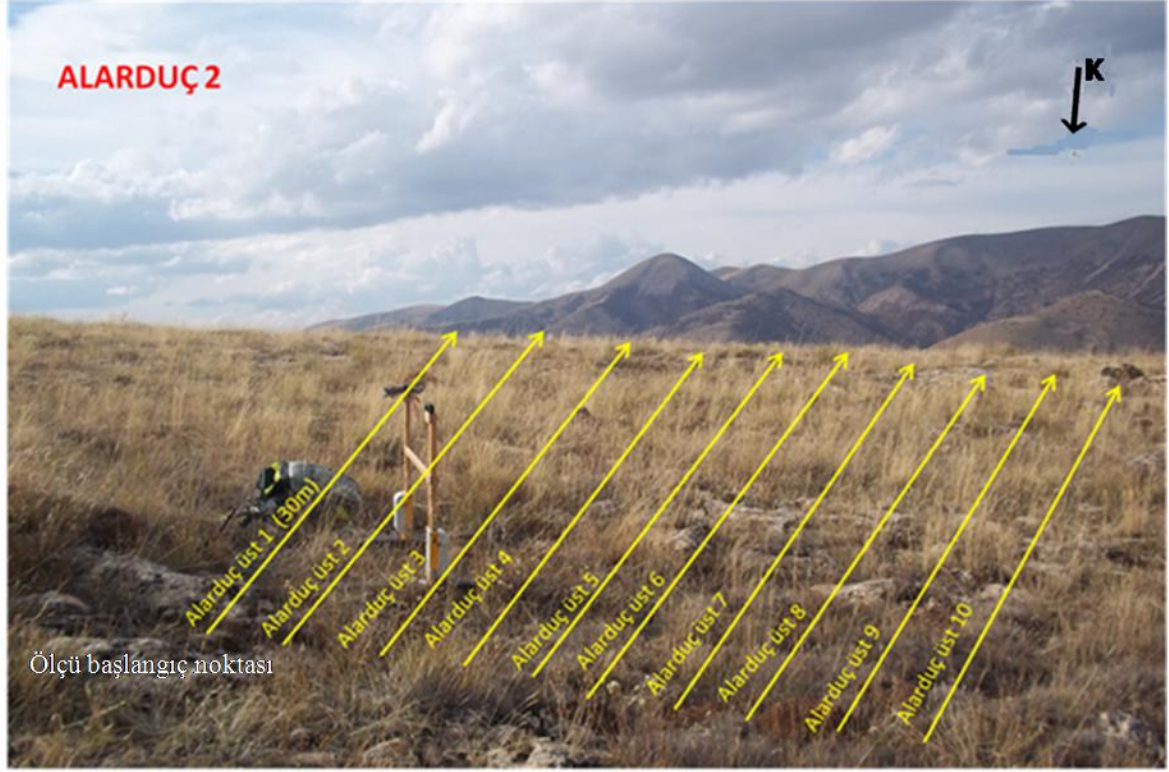
Şekil 2.6. Ocaküstü 2 sahasının ölçü krokisi

2.4.1.2.Çalışma Sahası 2 (Alarduç)

2. çalışma sahası Bayburt ili Kıratlı traverten sahasında yöresel adıyla Alarduç mevkidir. Burada, birbirine bitişik iki alanda (Alarduç 1, Alarduç 2) 100 MHz korumasız antenle 10 profilde toplam 20 ölçüm ve 250 MHz korumalı antenle 10 profilde toplam 10 ölçüm alınmıştır. Alarduç 1, açılması planlanan ilk saha, Alarduç 2 ise hemen üst kısmındaki sahadır (Şekil 2.6, 2.7). Alarduç 1 sahasında 4 m profil aralıkları ile profiller yaklaşık 40 m uzunluğundadır. Alarduç 2 sahasında ise yine 4 m profil aralıkları ile yaklaşık 30 m uzunluklarında profiller alınmıştır.



Şekil 2.7. Çalışma sahası 2 ve GPR ölçü profilleri (Alarduç 1)

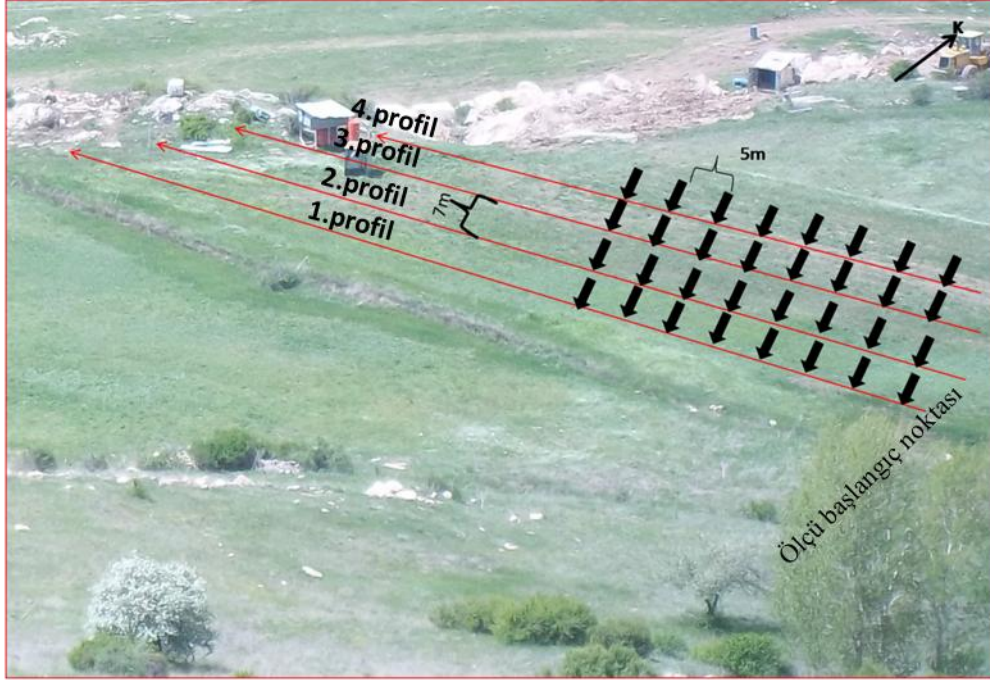


Şekil 2.8. Çalışma sahası 2 ve GPR ölçü profilleri (Alarduç 2)

2.4.1.3. Çalışma Sahası 1 (Ocaküstü 2) Düşey Elektrik Sondajı (DES)

Jeofizik yöntemlerin tek başına kullanımı sonucu elde edilen bilgilerin doğru bir şekilde tanımlanması zordur. Fakat birden fazla jeofizik yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilen sonuçların birlikte yorumlanması, incelenen ortamın daha doğru tanımlanmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı bu tez çalışmasında GPR yöntemine ilaveten kırık-çatlak sistemlerinde başarılı sonuçlar veren elektrik özdirenç yönteminin DES tekniği uygulanmıştır.

Ocaküstü 2 sahasında her bir profilde 8 Düşey Elektrik sondajı (DES) yapılarak toplamda 4 profilde 32 DES yapılmıştır. Profiller arası mesafe 7 m, her bir profildeki DES noktaları arası 5 m dir. (Şekil 2.7). Her bir profilde AB/2 'ler 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 alınarak ölçümler toplanmıştır.



Şekil 2.9. DES çalışma sahası ve DES profilleri

2.5. Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada GPR verilerine uygulanan temel veri işlem aşamaları; dewow, energy decay, background removal' dır. Ayrıca bazı verilere ileri veri işlem aşamalarından f-k migration (stolt) uygulanmıştır.

Çalışma sahalarının düzgün olması nedeniyle verilere yükseklik düzeltmesi uygulanmamıştır bu sahaların etrafında yüzeysel gürültü kaynaklarının etkilerinin olmayışından dolayı sinyal/ gürültü oranı yüksek bir şekilde veriler elde edilmiştir.

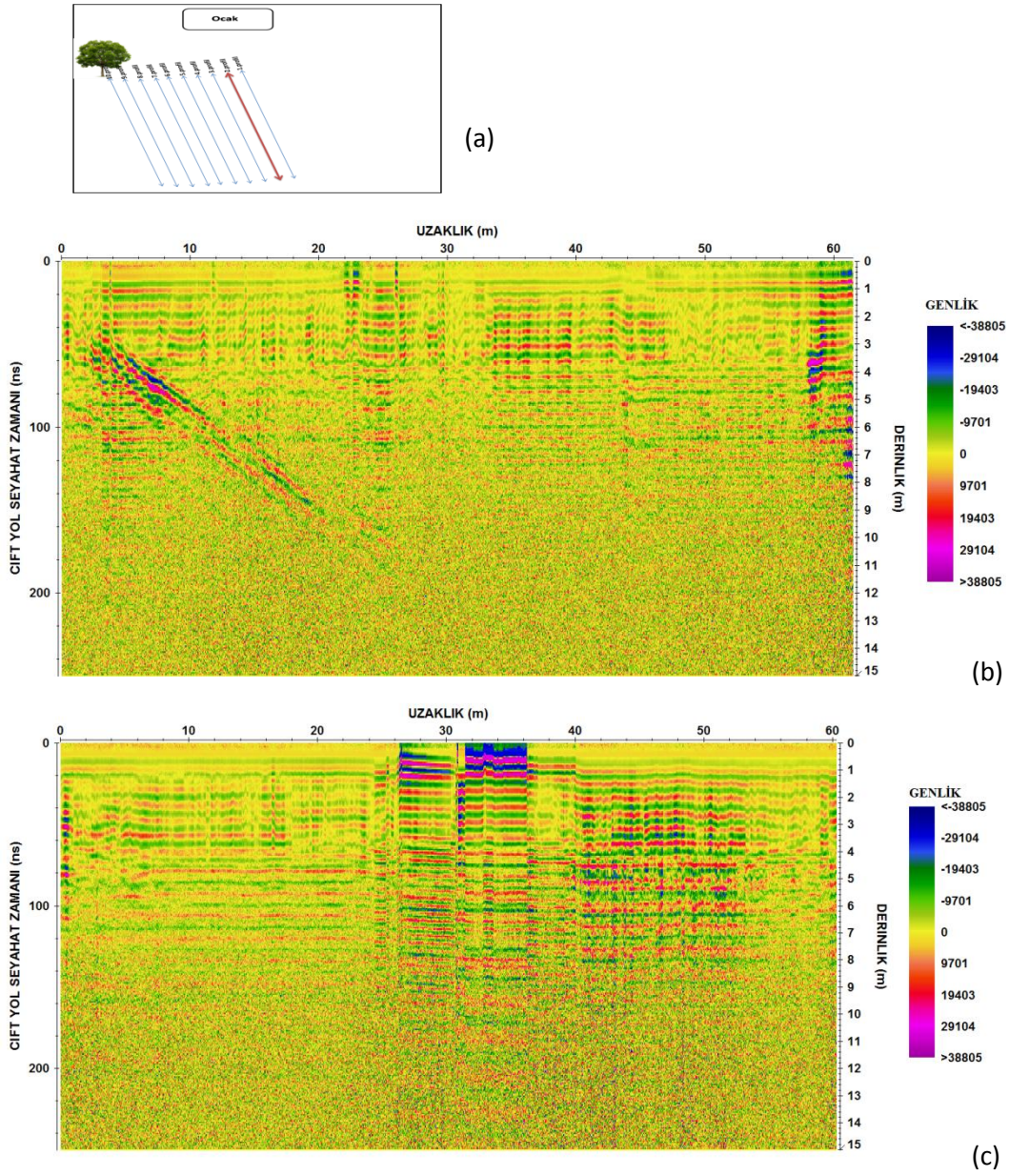
Bir sahada yapılan düşey elektrik sondajı verileri gerekli programlarda işlenerek yoruma hazır hale getirilmiştir.

Toplanan verilerden elde edilen radargramlarda ve elektrik kesitlerinde krokilerde verilen ok yönünde hareket edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

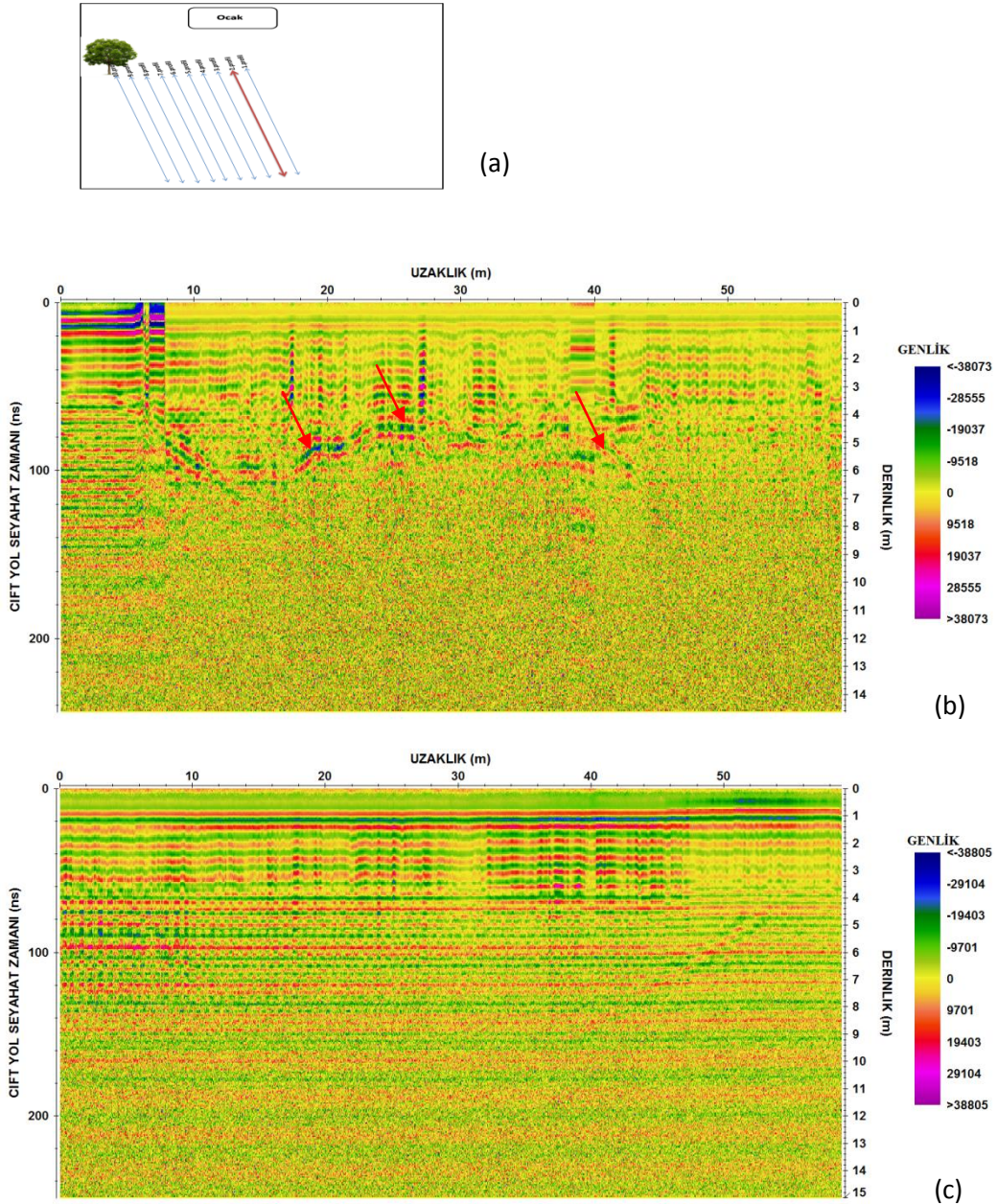
3.1. Ocaküstü 1 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması

Bu çalışmada toplanan GPR verileri veri işlem adımları uygulanarak yorumlamaya hazır hale gelmiştir. Radargramlar genel olarak incelendiğinde çalışma sahası 1’de 100 MHz korumasız anten kullanılarak yaklaşık 10-12 m derinlikten yansımalar alınmıştır.



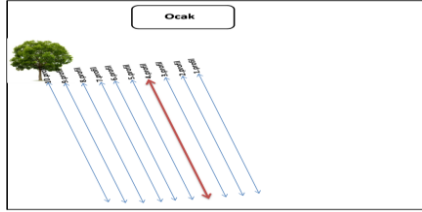
Şekil 3.1. (a) 1.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

Çalışma sahası 1'de Ocaküstü 1 sahasında alınan ölçülerden 1. Profile bakıldığında (Şekil 3.1) XX modunda yaklaşık 2-18 m uzaklıklarda 3-9 m arasında derinlikte yüksek genlikli eğimli bir yansıtıcı sınır göze çarpmaktadır. Ayrıca 60. metrelerde yaklaşık 3-5 m derinliğinde yüksek genlikli bir anomali görülmektedir. Ayrıca yaklaşık 4 m derinliğe kadar bir örtü tabakası görülmektedir.

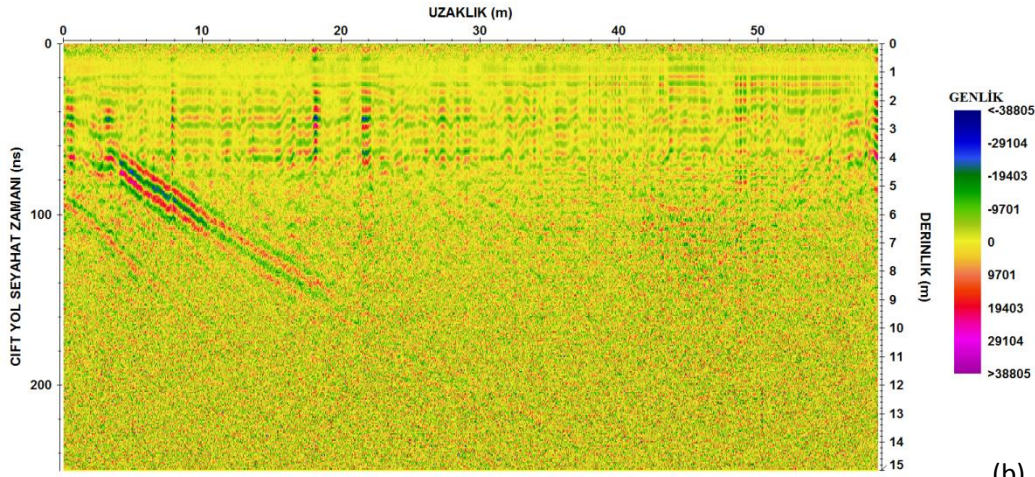


Şekil 3.2. (a) 2.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

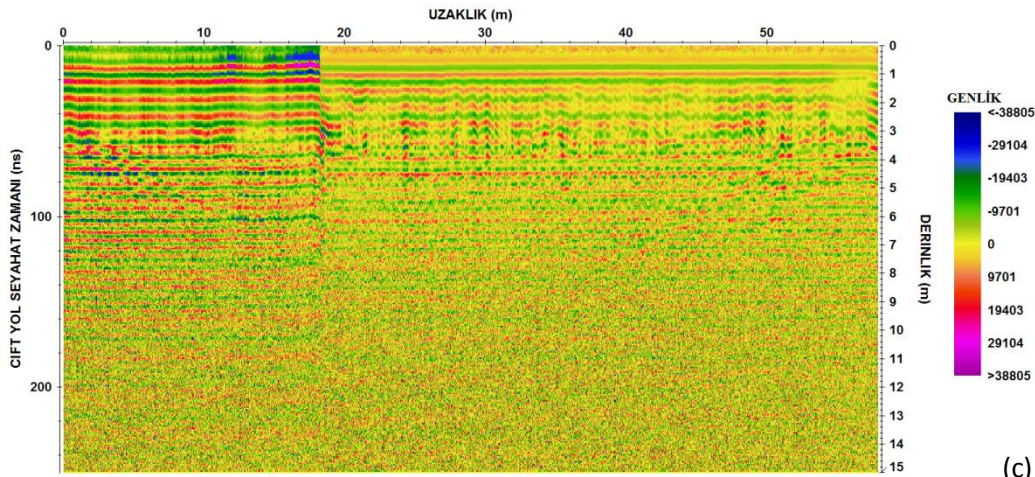
Şekil 3.2'e bakıldığında 2.profil üzerinden XX ve YY modlarında alınan radargramlar görülmektedir. XX modunda yaklaşık 18 m'ler den başlayıp 40 metrelere uzanan yüksek genlikli bir yansıtıcı sınırlar göze çarpmaktadır. Bu yansıtıcı sınırlar oklarla gösterilmiştir. Ayrıca yaklaşık 4 m derinliğe kadar bir örtü tabakası görülmektedir.



(a)



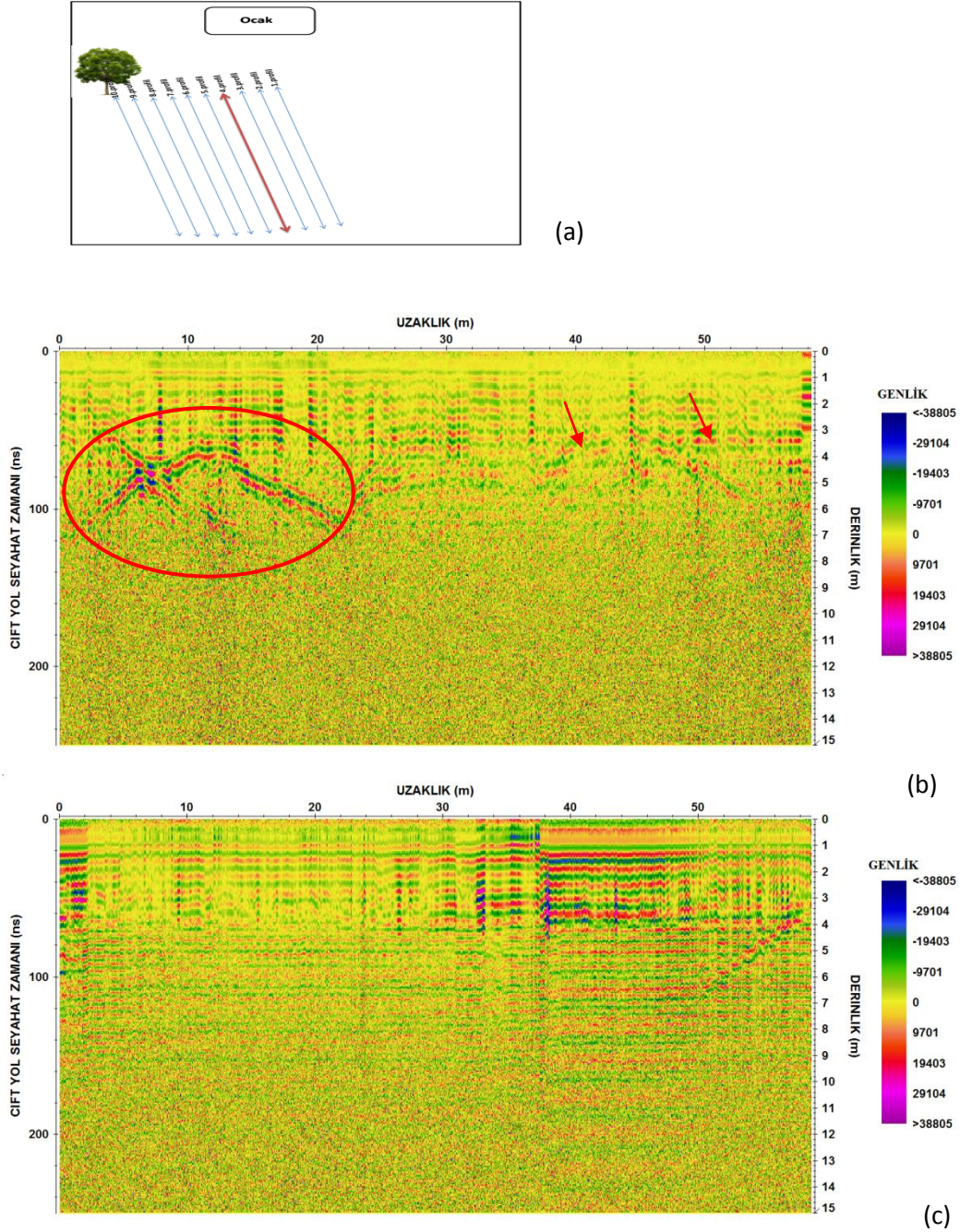
(b)



(c)

Şekil 3.3. (a) 3.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

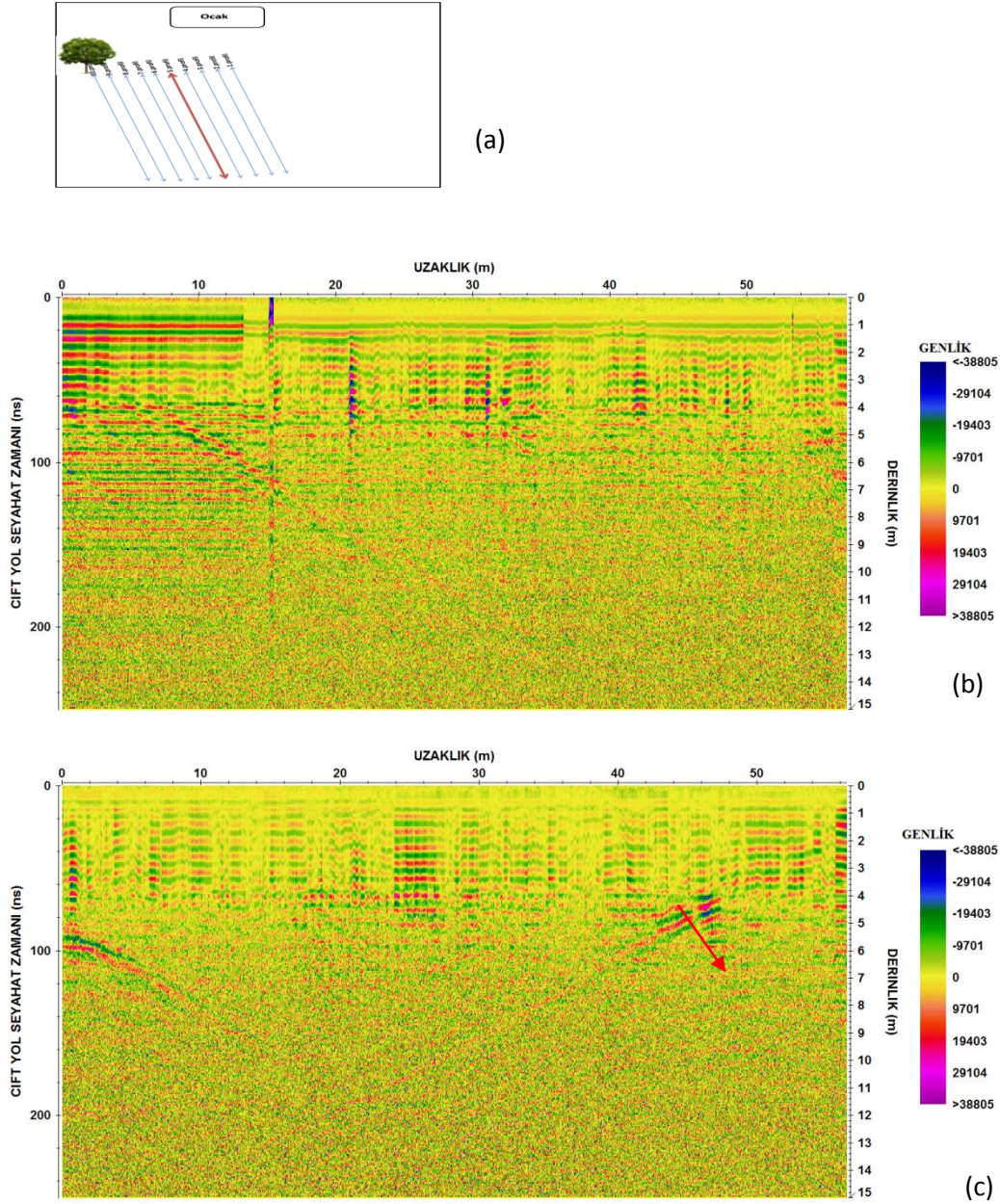
3.profile bakıldığında diğer profillerdeki gibi 4 m ye kadar bir örtü tabakasının varlığı ve 1.profildekine benzer 4-18 m uzaklıklarda 4-9 m derinliklerde bir yüksek genlikli eğimli bir yansıtıcı yüzey dikkat çekmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.4. (a) 4.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

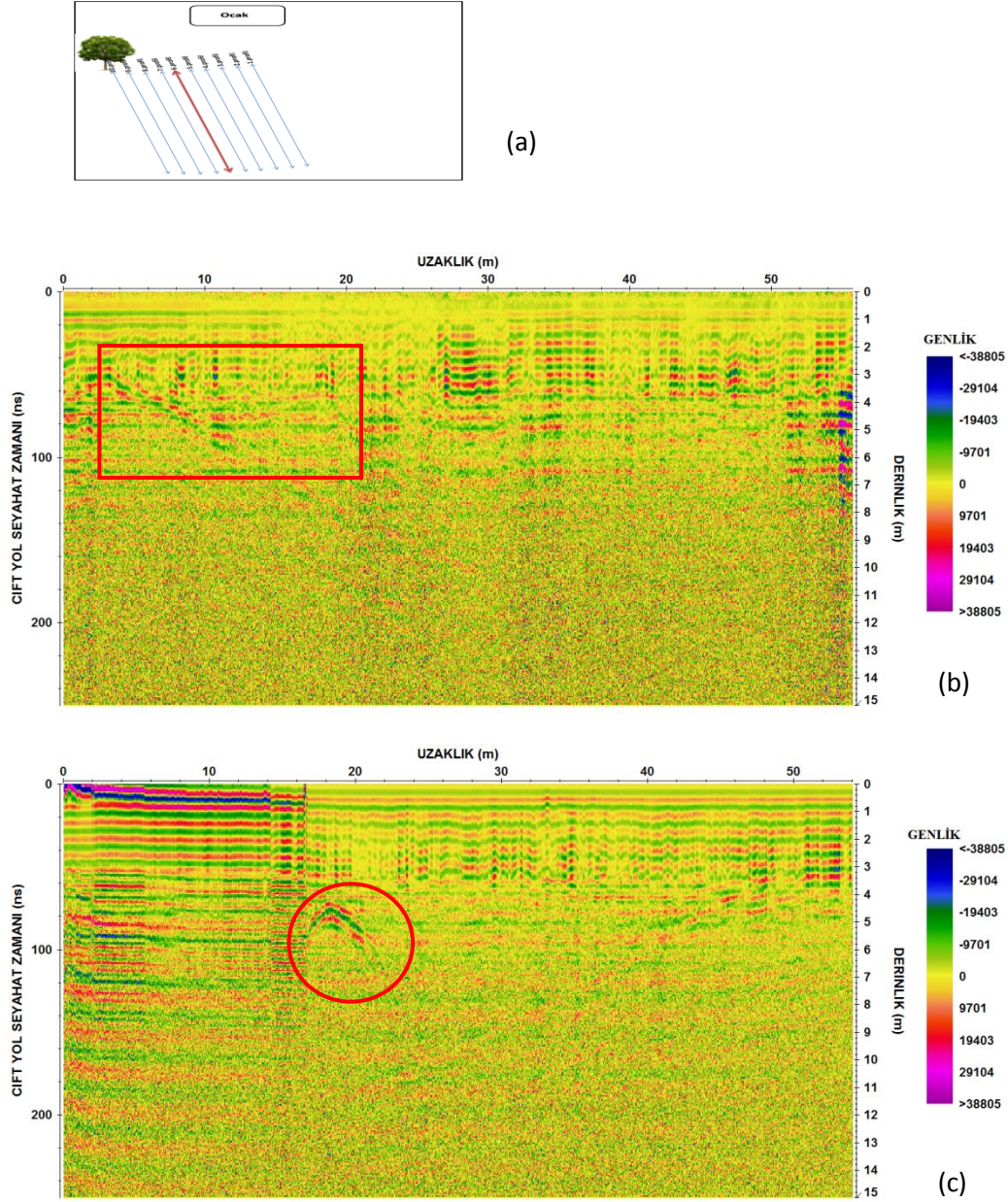
4.profil üzerinde alınan radargrama bakıldığında XX modunda farklı yerlerdeki çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bunlar 4-8 m uzaklıkta ve 4-6 m derinlikte, 8-20 m uzaklıkta ve 3-7 m derinlikleri arasında değişmektedir (Şekil 3.3).

Ayrıca yaklaşık 38 ve 46 m uzaklıklardaki yüksek genlikli anomaliler göze çarpmaktadır. Burada da yine 4 m ye kadar bir örtü tabakası görülmektedir.



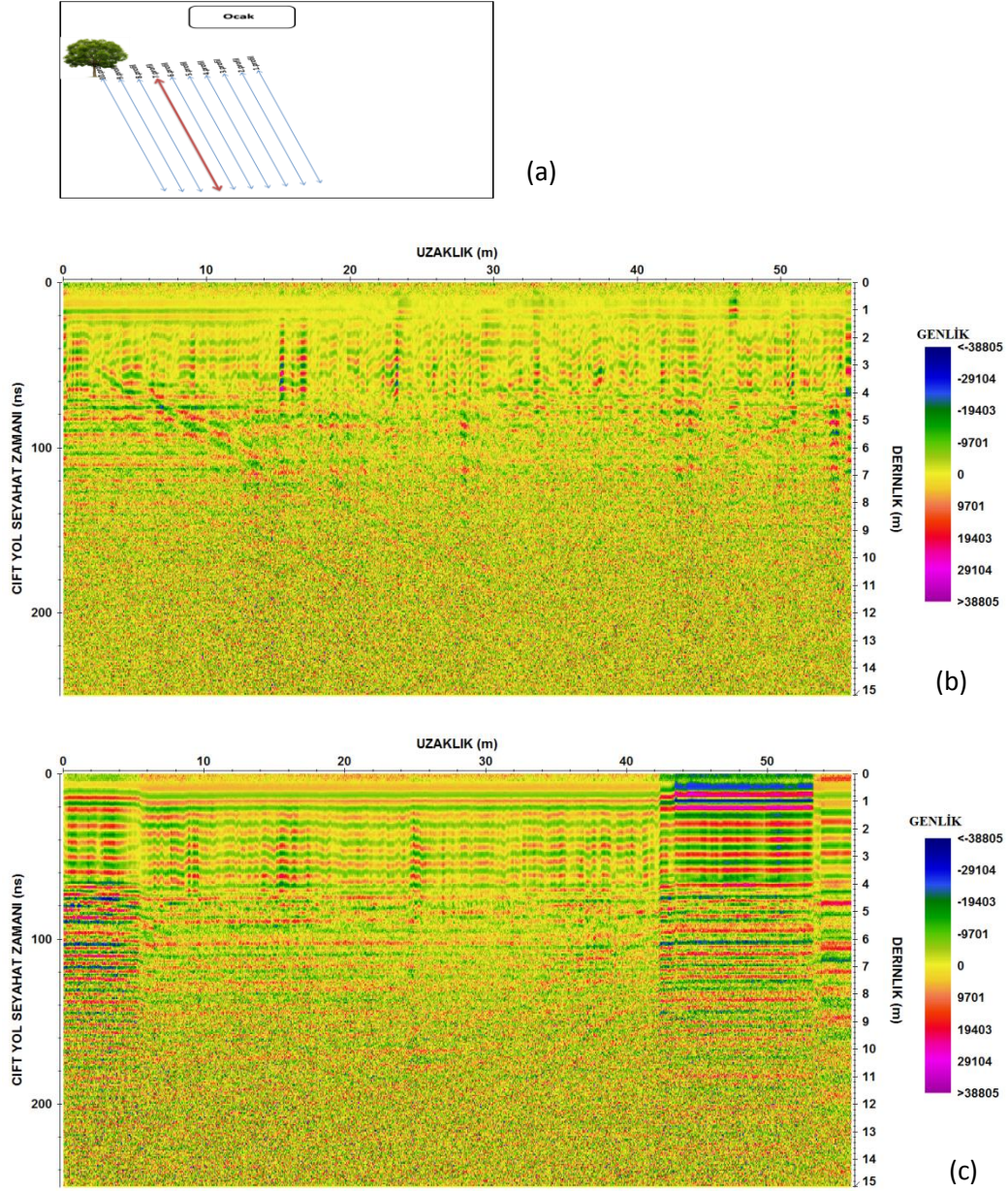
Şekil 3.5. (a) 5.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

4.profilinden 2 m uzakta alınan 5.profilde 4 m ye kadar bir örtü tabakasını göstermektedir. XX modunda 6-10 m derinlik mesafesinde eğimli bir yansıtıcı yüzey görülmektedir. YY modunda da 42-46 m uzaklık mesafesi ve 4-6 m derinlik mesafesinde yüksek genlikli bir anomali göze çarpmaktadır (Şekil 3.5).



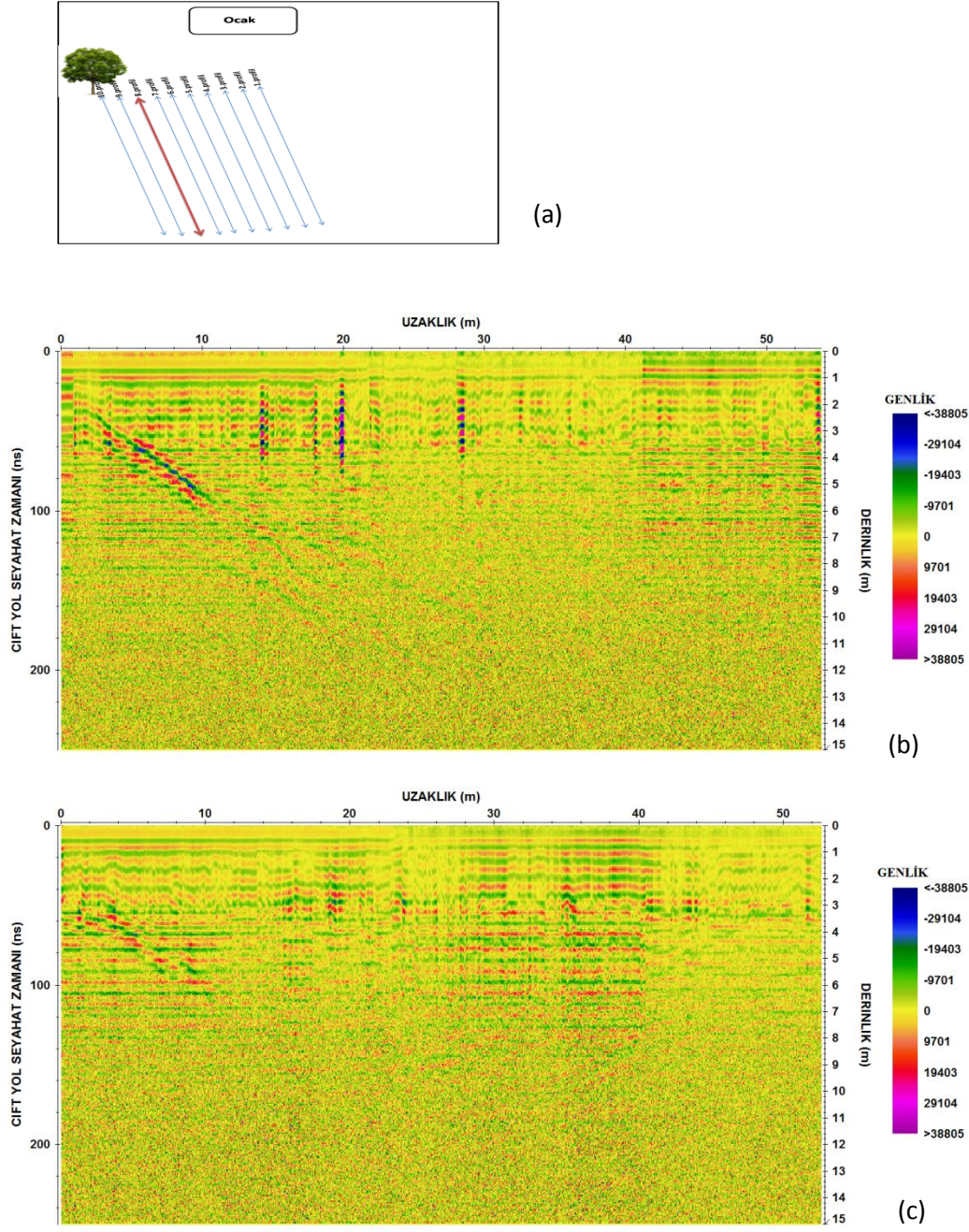
Şekil 3.6. (a) 6.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

6.profilde XX modunda dikdörtgen içine alınmış alanda yüksek genlikli yansıtıcılar görünürken, YY modunda 16-20 m uzaklıkta ve 4-6 m derinlikte daire içine alınmış anomali göze çarpmaktadır(Şekil 3.6).



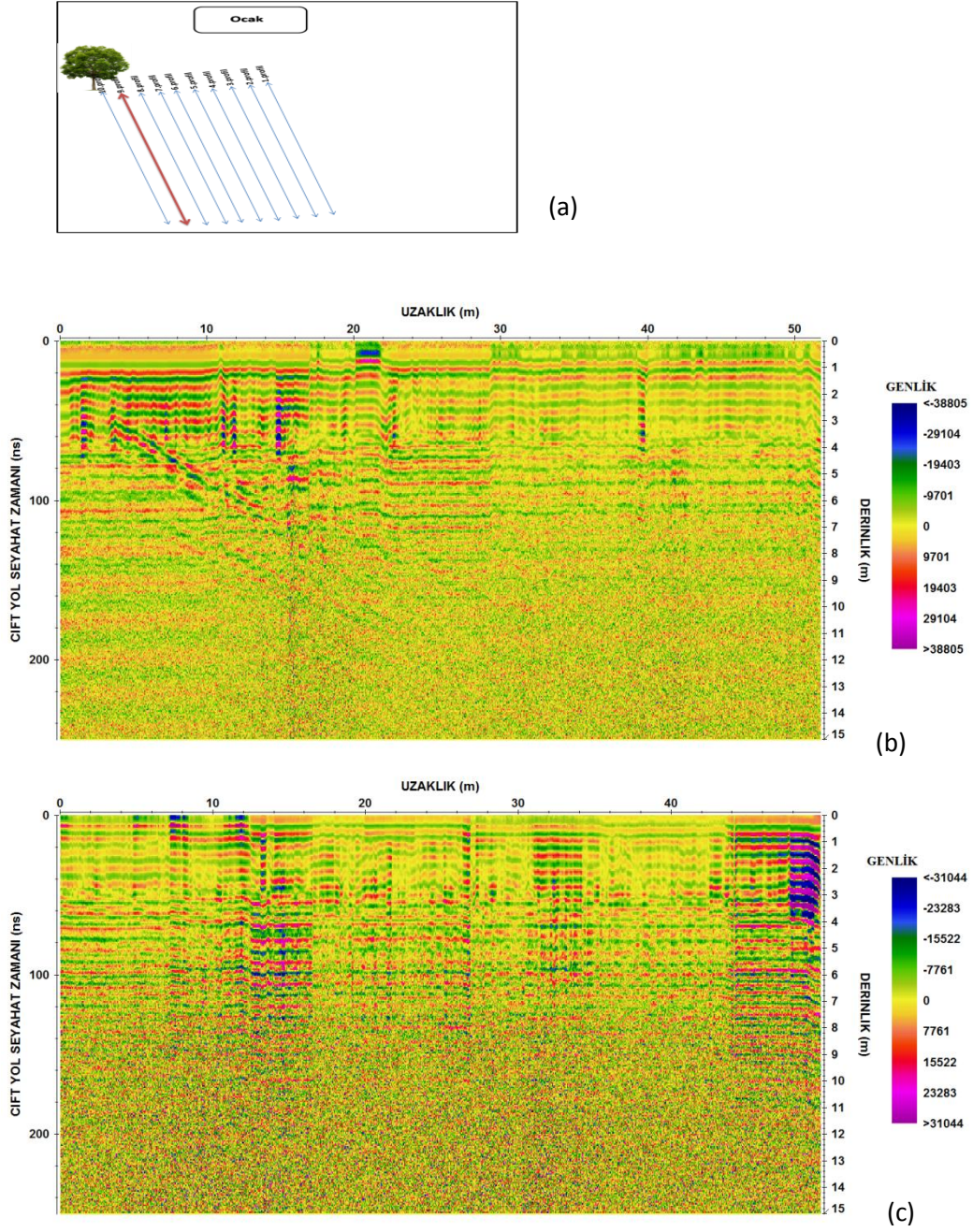
Şekil 3.7. (a) 7.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

7. profilde bazı profillerde görünen eğimli yansıma sınırı görünmektedir. Ayrıca 4 m' lik örtü tabakası burada da kendini göstermiştir (Şekil 3.7).



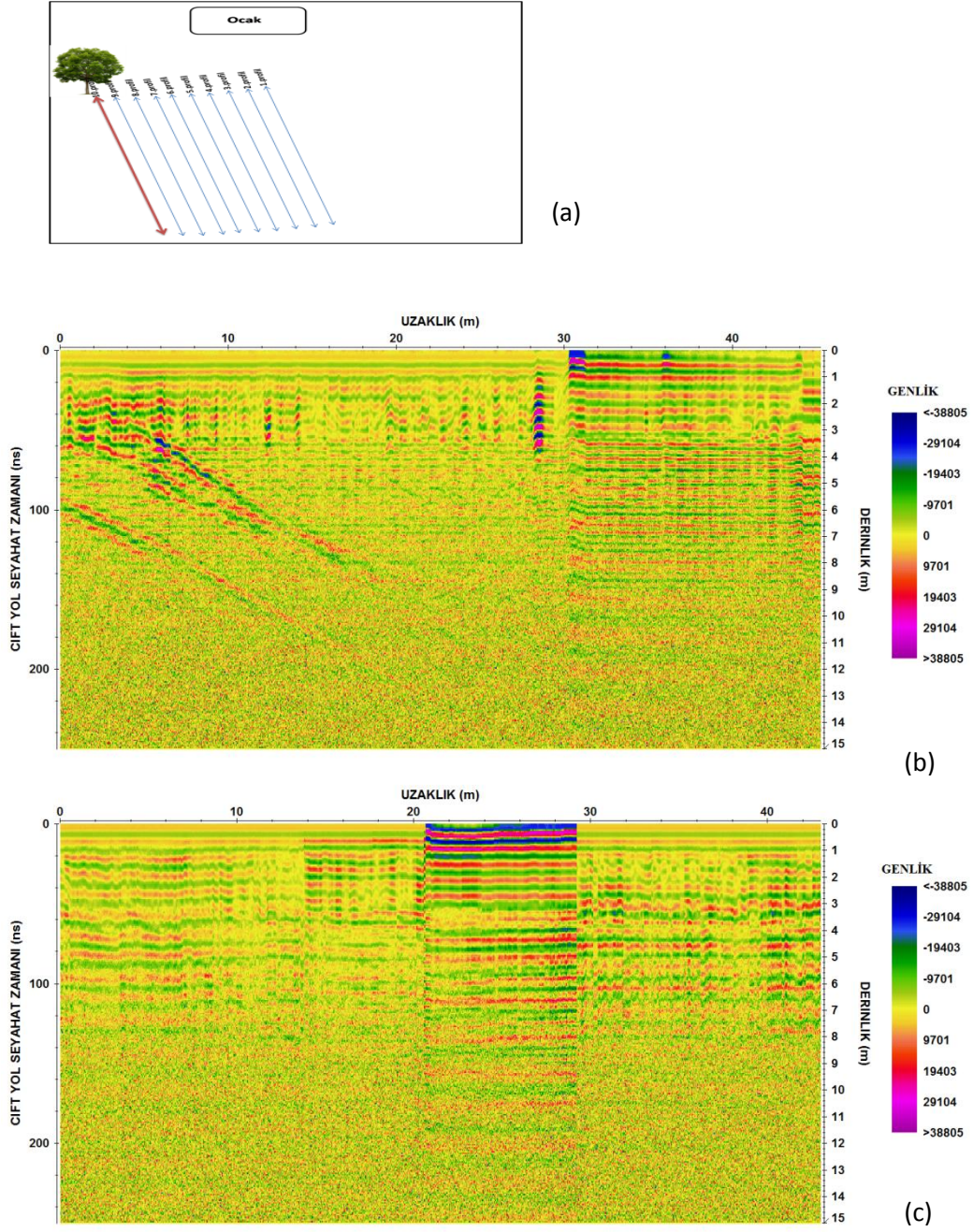
Şekil 3.8. (a) 8.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

8. profile bakıldığında 7.profilde gözlenen eğimli sınır burada 4 m derinliklerinden başlamaktadır. Ayrıca YY modunda da bu eğimli yansıtıcı sınır gözlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.9. (a) 9.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

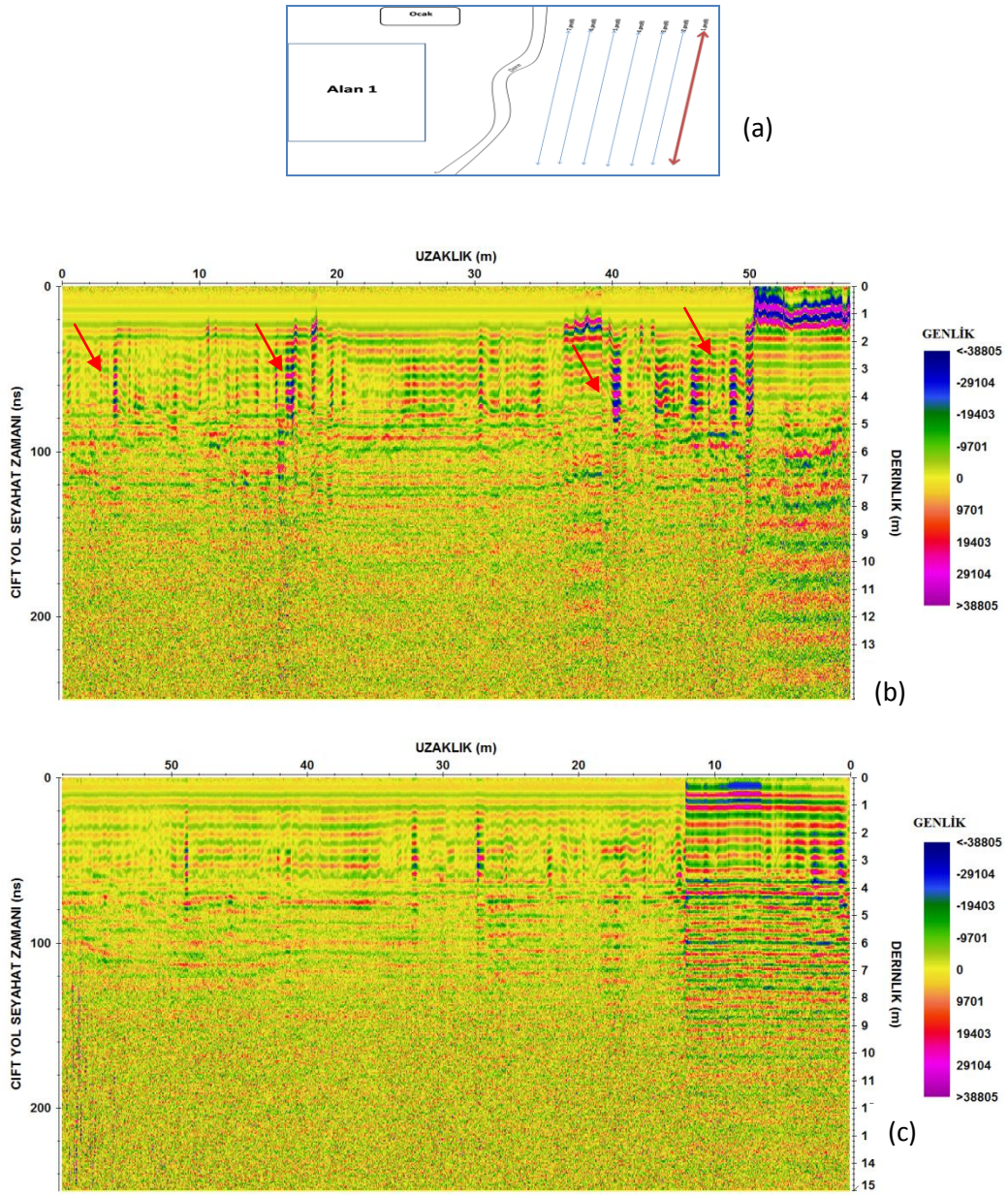
Bu profilde 4 m ye kadar olan örtü tabakası çok daha net bir şekilde gözlenmektedir. XX modunda, yaklaşık 7 m derinliğe kadar olan yüksek genlikli eğimli yansıtıcı yüzey burada da dikkat çekmektedir (şekil 3.9).



Şekil 3.10. (a) 10.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

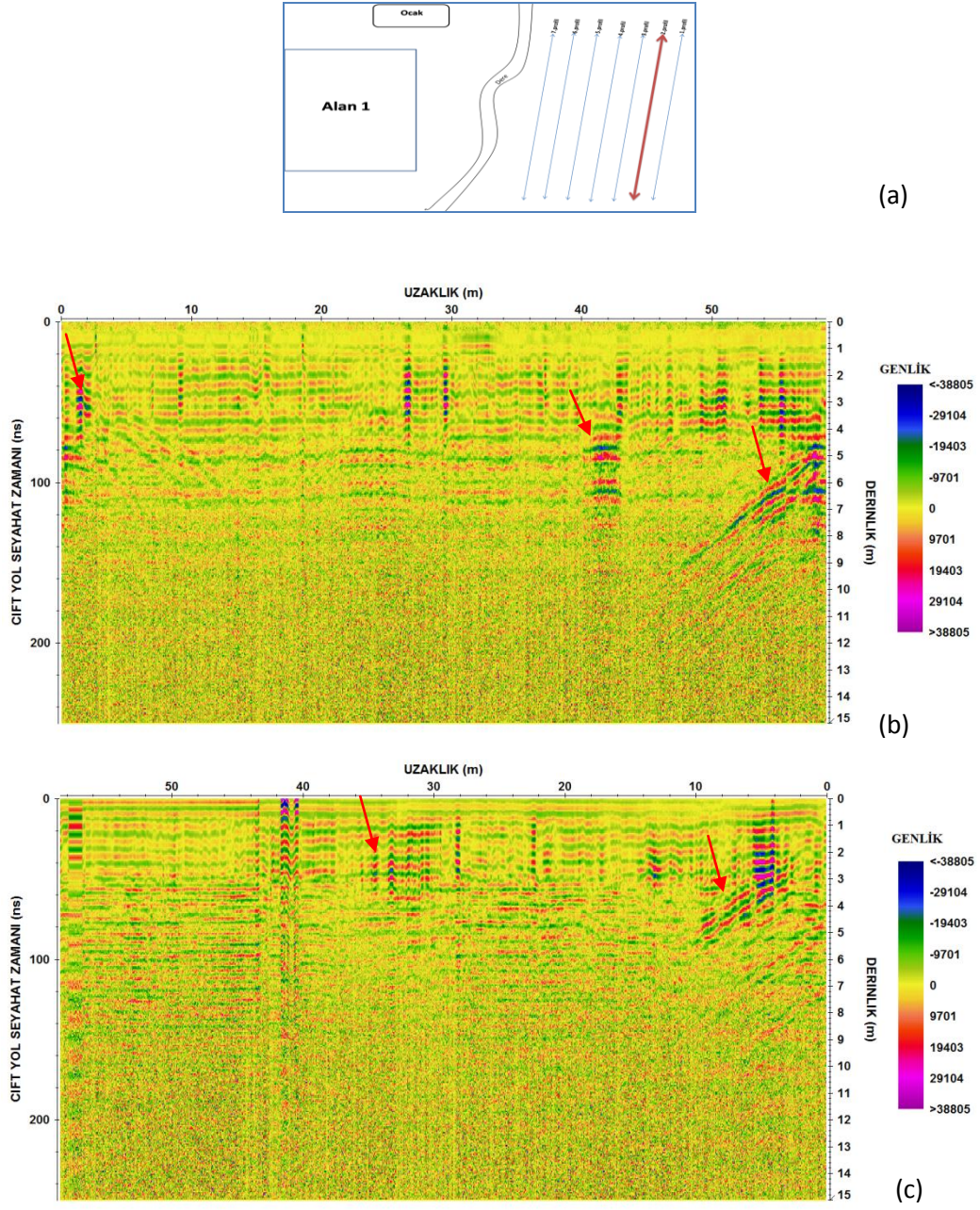
10.profilde de diğer tüm profillerde görülen örtü tabakası görülmektedir. 2 m den 18 m uzaklığa kadar ve 4 m den 9 m derinliğe kadar yüksek genlikli eğimli bir yansıtıcı yüzey burada da kendini göstermektedir. Ayrıca bu eğimli sınırın hemen altında 0-20 m uzaklık ve 7-12 m derinliklerde tekrarlı bir yansıması göze çarpmaktadır.

3.2. Ocaküstü 2 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması



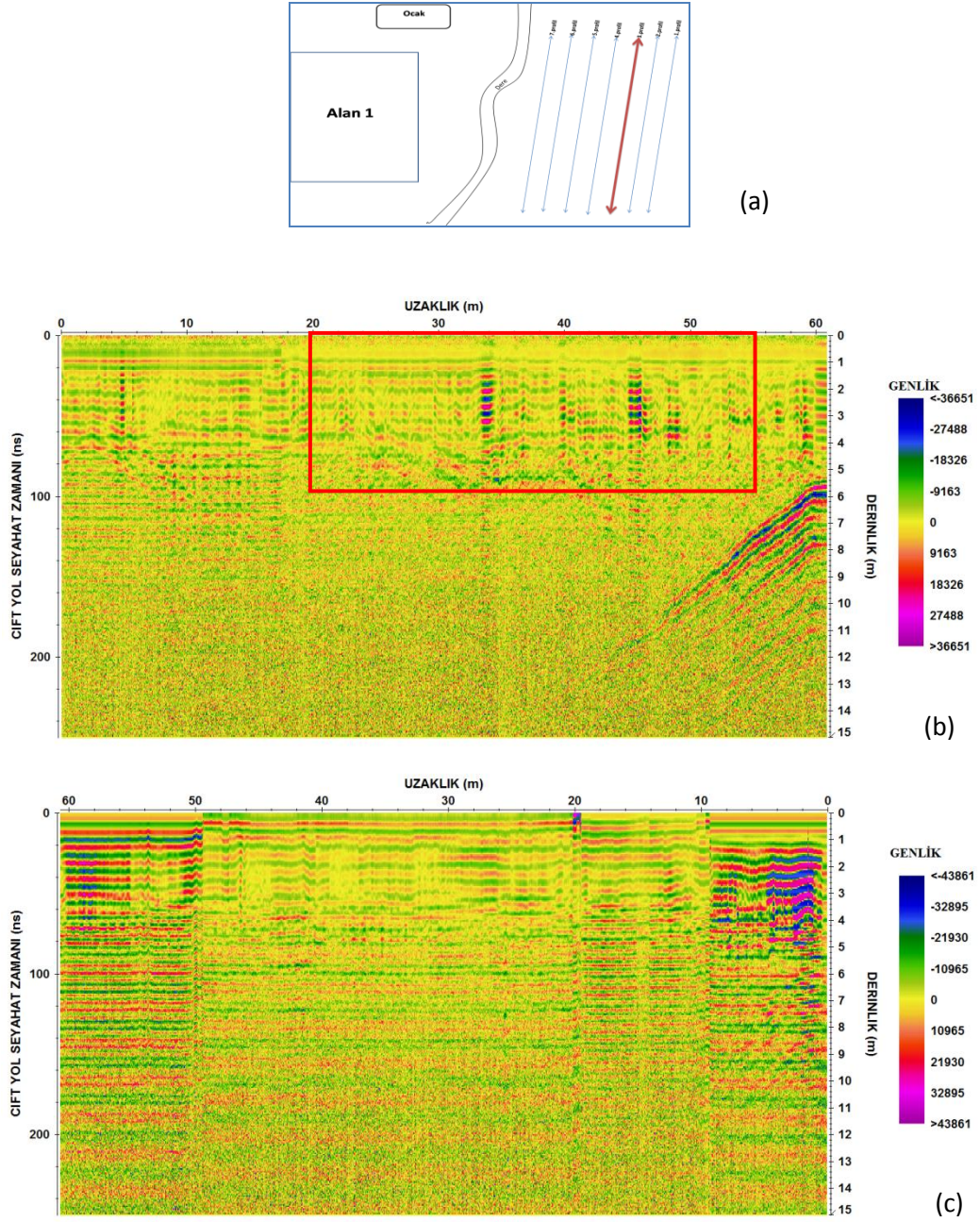
Şekil 3.11. (a) 1.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

1.Çalışma alanının 2. Sahasındaki ilk GPR profilindeki radargrama bakıldığında ilk çalışma sahasında olduğu gibi burada yaklaşık 4 m' lere kadar bir örtü tabakasının varlığı görülmektedir. 4 m' nin altında oldukça karmaşık yapıda farklı yüksek genlikli yansımalar oklarla gösterilmiştir.



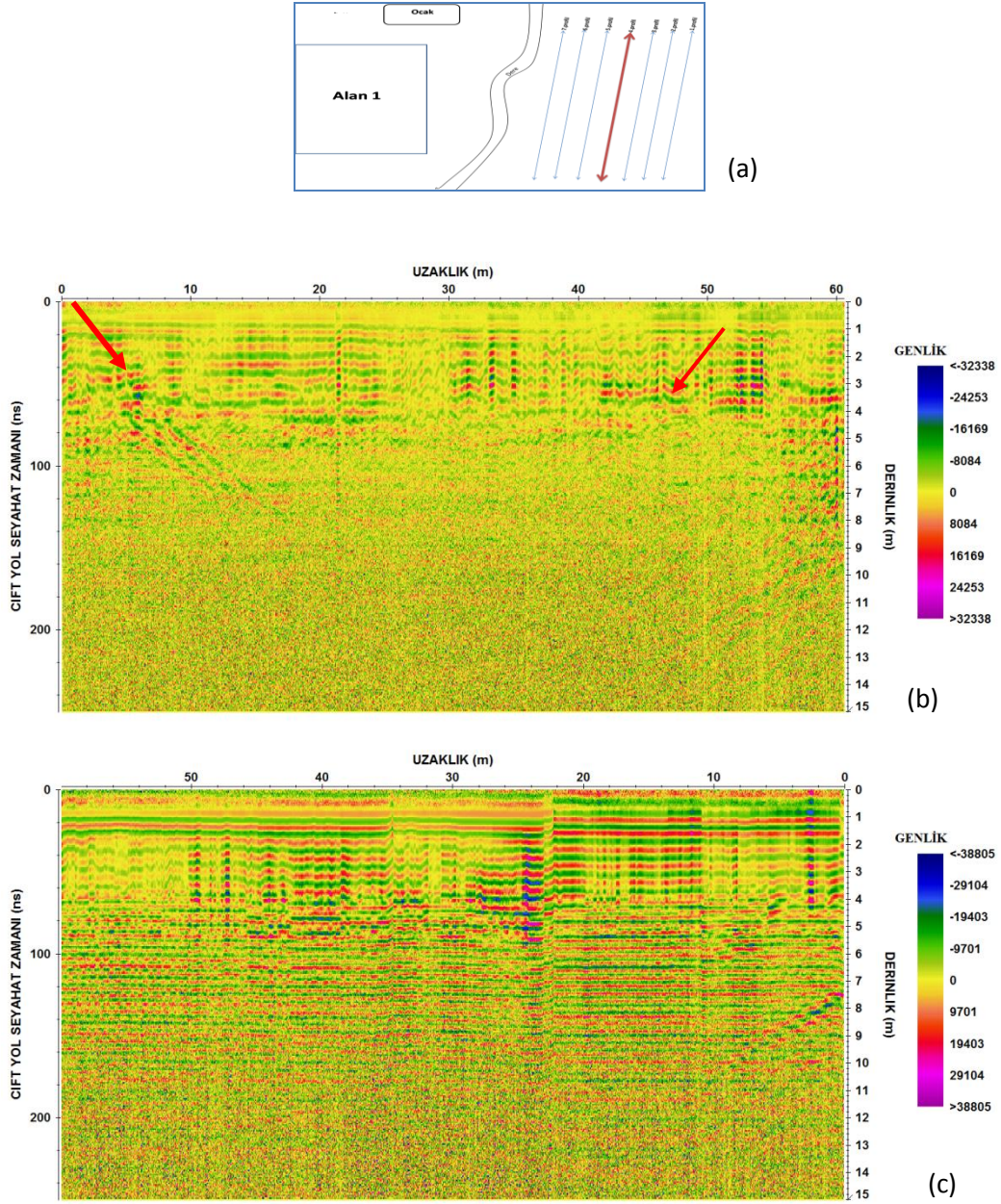
Şekil 3.12. (a) 2.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

2.profile bakıldığında 4-12 m uzaklık ve 4-6 m derinliklerde, 40-43 m uzaklık ve 4-8 m derinliklerde farklı genlikteki yansımalar görülmektedir. Ayrıca 50-58 m uzaklık ve yaklaşık 5-10 m derinliklerde yaklaşık 45° eğimli yüksek genlikli yansıtıcı sınır dikkat çekmektedir. Bu profile de 4 m ye kadar bir örtü tabakası gözlenmiştir (Şekil 3.12).



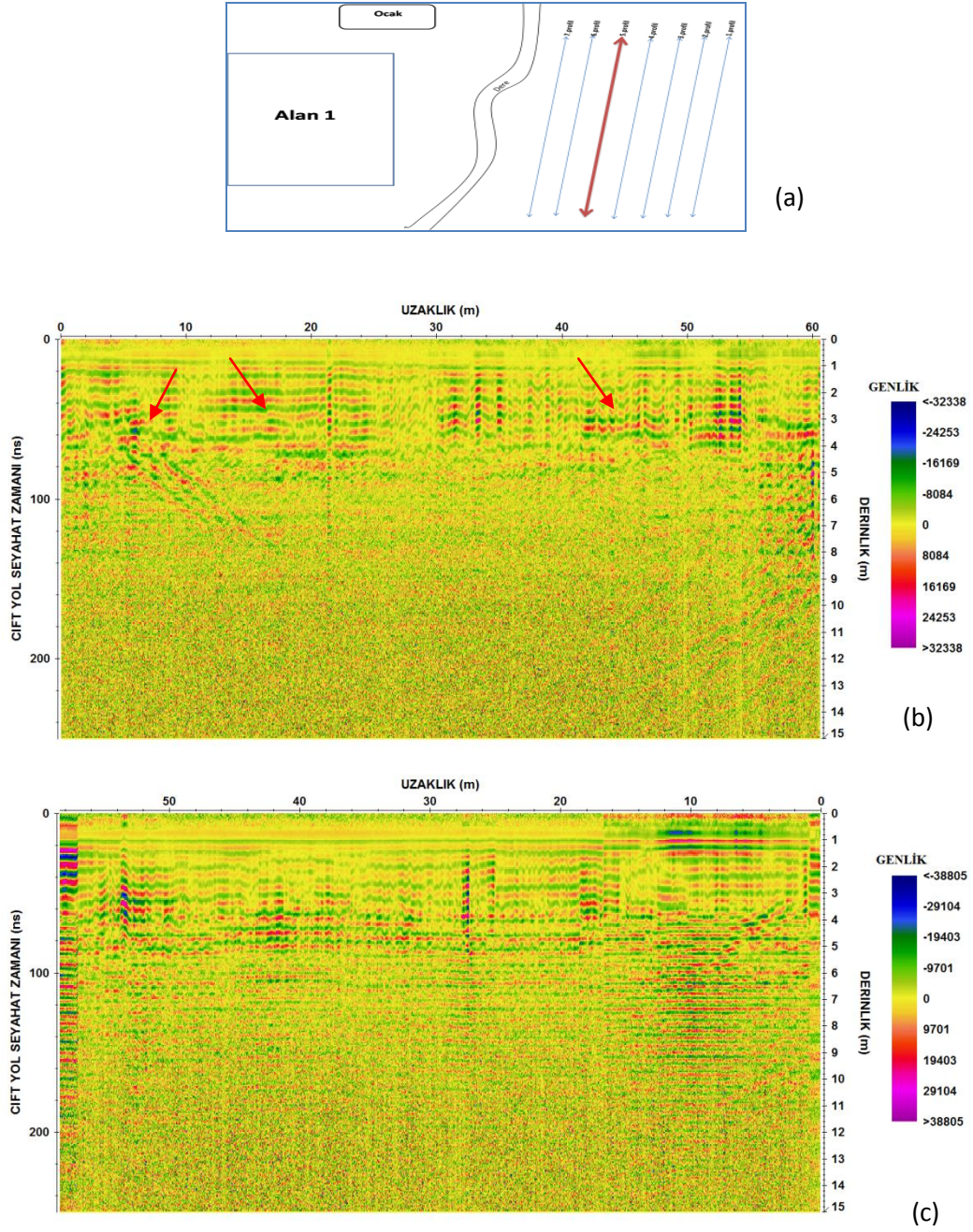
Şekil 3.13. (a) 3.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

3.profilde XX modunda 34. m lerde ve 46. m lerde yüksek genlikli iki anomali görülmektedir. Bu anomaliler 2-4 m arası derinliklerde değişmektedirler. Ayrıca 20-50 m uzaklıklarda 3-8 m derinliklerde yüksek genlikli yansıtıcı sınırlar dikkat çekmektedir (Şekil 3.13).



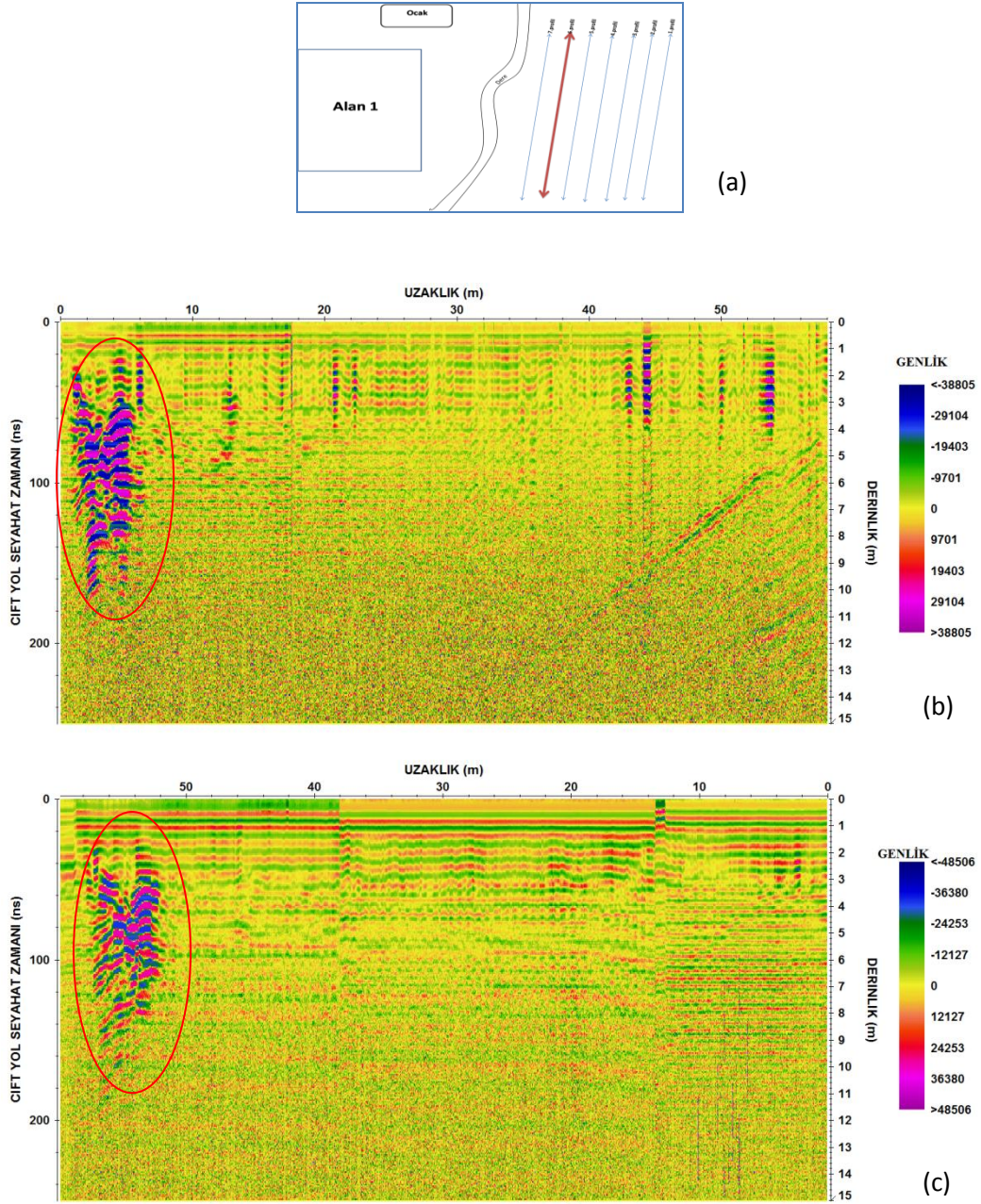
Şekil 3.14. (a) 4.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

4.profilde 2-10 m uzaklıkları arasında ve 2-5 m derinlikleri arasında yüksek genlikli eğimli bir yansıtıcı yüzey görülmektedir. 10-18 m derinlik ve 3-6 m derinliklerde yüksek genlikli yansıtıcı bir sınır, ayrıca 34-44 m uzaklıklarda 3-8 m derinliklerde yine yüksek genlikli yansıtıcı bir sınır dikkat çekmektedir. Bunlar oklarla gösterilmiştir. Bu profilde örtü tabakası yaklaşık 3 m kalınlıktadır ve 50-60 m uzaklık ile 6-10 m derinliklerde eğimli bir yansıtıcı yüzey mevcuttur (Şekil 3.14).



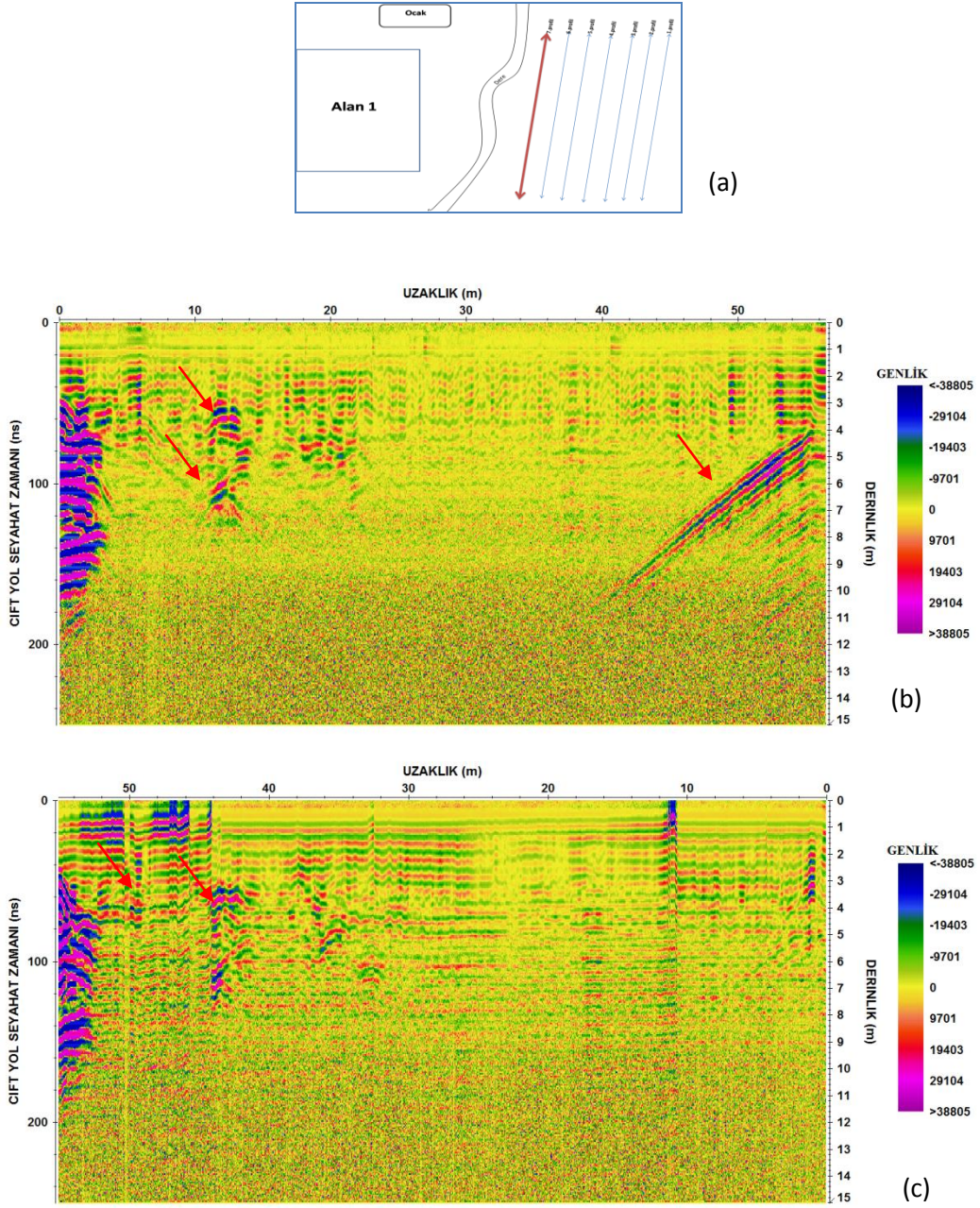
Şekil 3.15. (a) 5.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

5.profile bakıldığında yine 3-4 m derinliklere kadar bir örtü tabakası görünmektedir. 10 m uzaklıklarda 6 m derinliklerde yüksek genlikli yansıtıcı sınırlar görülmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.16. (a) 6.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

6.profilde hem XX modunda hem YY modunda 0-6 m uzaklıklarında ve 3-10 m derinliklerinde çok yüksek genlikli bir yansıma göze çarpmaktadır. Yine burdada 4-11 m derinliklerinde eğimli bir yansıtıcı sınır görülmektedir (Şekil 3.16).

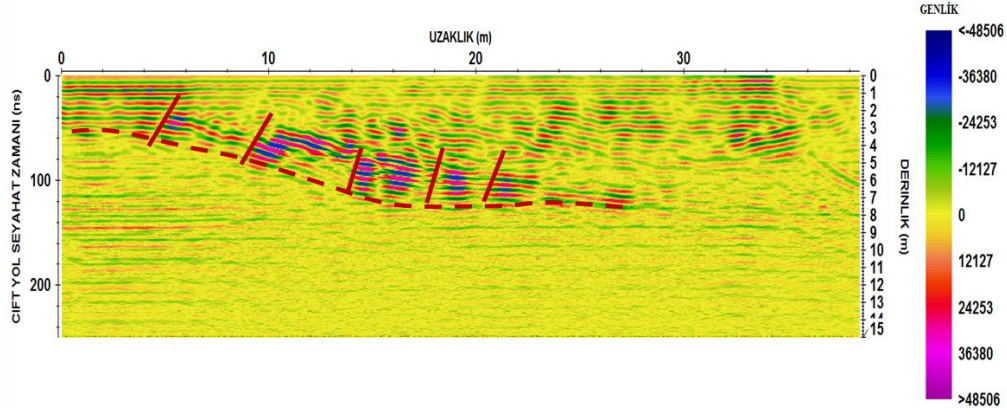


Şekil 3.17. (a) 7.profil krokisi ve Yer Radarı kesitleri; (b) XX modu, (c) YY modu

7. profilde de 6. Profilde olduğu gibi 3-11 m derinliklerinde çok yüksek genlikli bir yansıma göze çarpmaktadır. Eğimli olaylar bu profilde de devam etmektedir. Ayrıca 10-20 m uzaklıklarda 3-7 m derinliklerinde her iki moda farklı uzunluk ve derinlikte yansımalar görülmektedir (Şekil 3.17).

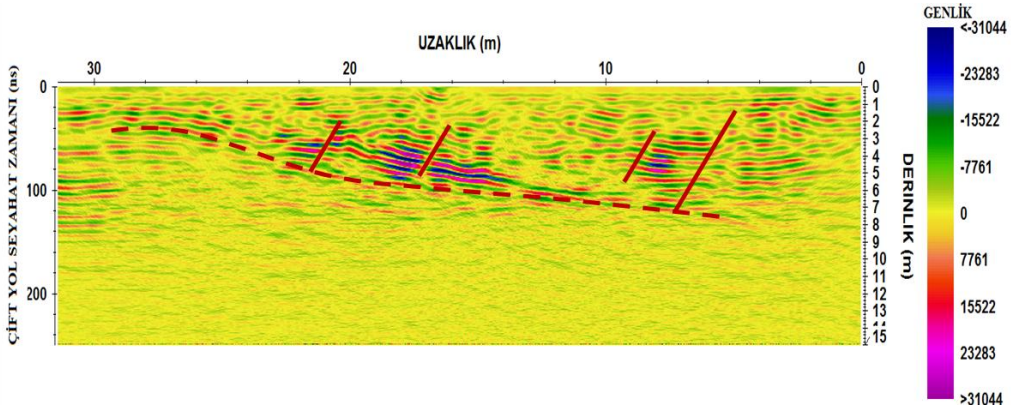
3.3. Alarduç 1 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması

Alarduç 1 'de 100 MHz'lik korumasız anten kullanılarak 10 profilde toplam 10 ölçüm alınmıştır. Alarduç 2'de yine 100 MHz'lik korumasız antenle 10 profilde 10 ölçüm alınmıştır. Ayrıca Alarduç 1'de 250 MHz korumalı antenle 10 ölçüm daha alınmıştır. Alarduç 1 sahasında 100 MHz antenle yaklaşık 10 m derinliğe kadar yansıtıcı sınırlar belirlenirken, Alarduç 2 sahasında yaklaşık 20 m derinliklere kadar inilerek yoğun bir şekilde kırık-çatlak sistemi görülmektedir. Bu sahada kırmızı kesikli çizgi ile sağlam ve parçalanmış bloklar arasındaki sınır, düz kırmızı çizgilerle ise parçalanmış bloklar gösterilmektedir.



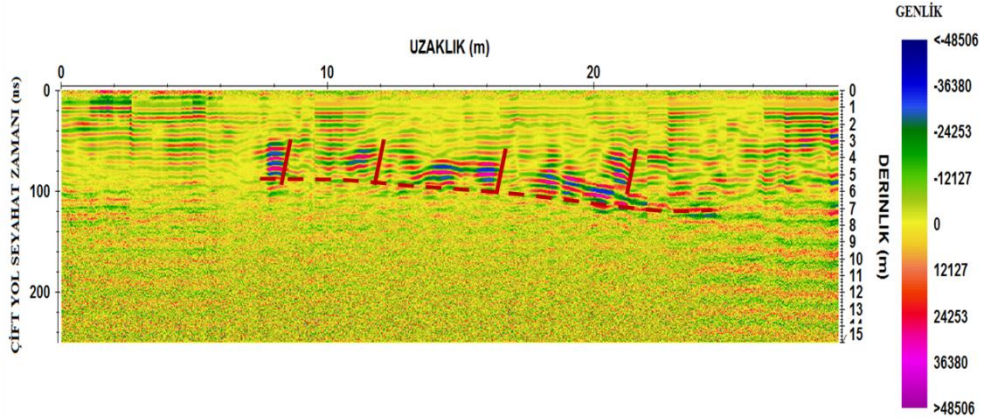
Şekil 3.18. Alarduç 1 sahasından alınan 1.profilin Yer Radarı kesiti

Alarduç 1 sahasının ilk profiline bakıldığında 6 m uzaklığından başlayarak yaklaşık 28 m lere kadar uzanan 4-8 m derinliklerinde yüksek genlikli yansıtıcı bir sınır çok dikkat çekmektedir. Ayrıca 32-26 m uzaklıkları arasına ve 4 m derinliğine kadar başka bir yüksek genlikli yapı göze çarpmaktadır (Şekil 3.18).



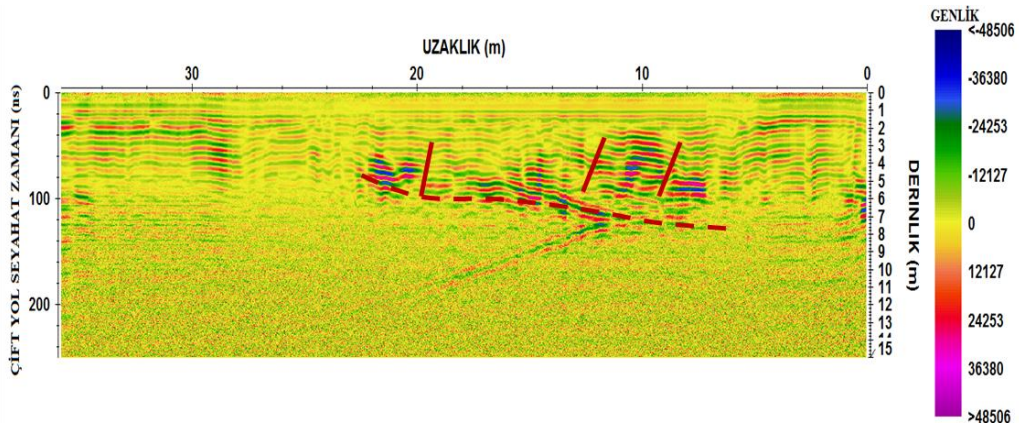
Şekil 3.19. Alarduç 1 sahasından alınan 2.profilin Yer Radarı kesiti

2. profile bakıldığında çok yüksek genlikli yansıtıcı sınır 8 mlerden 28 m uzaklıklara ve 3-7 m derinliklere kadar değişmektedir. Ayrıca 0-10 m lerde yine yüksek genlikli yansıtıcı sınırlar göze çarpmaktadır (Şekil 3.19).



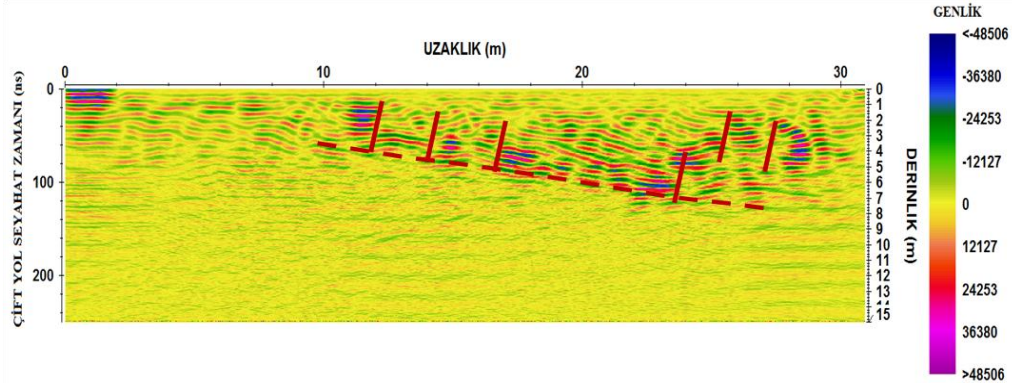
Şekil 3.20. Alarduç 1 sahasından alınan 3.profilin Yer Radarı kesiti

3. profilde de çok yüksek genliklere sahip yansıtıcı sınırlar bulunmaktadır. Bu sınırlar 8-24 m uzaklıklara kadar ilerlerken, 3-8 m derinliklerde sınırlı kalmıştır. 20-10 m uzaklıklarda 2-7 m derinliklerde de daha zayıf genlikli yansıtıcılar görülmektedir (Şekil 3.20).



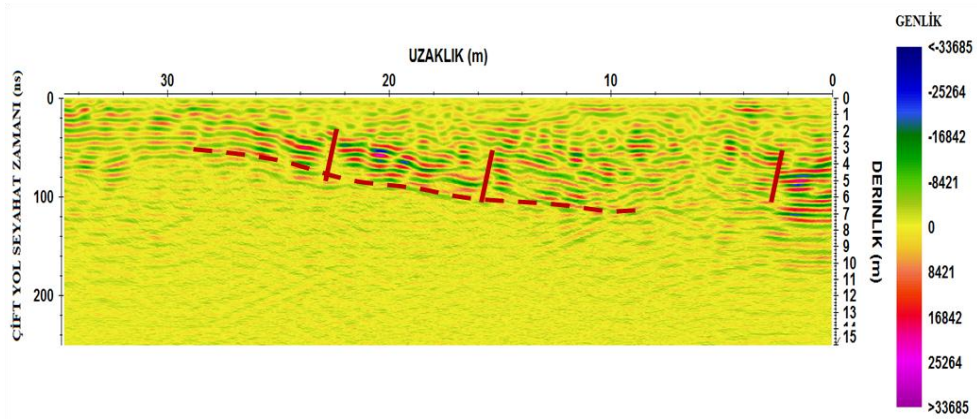
Şekil 3.21. Alarduç 1 sahasından alınan 4.profilin Yer Radarı kesiti

4. profilde diğer profillerde olduğu gibi çok yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. Bu yansıtıcı sınır 7-22 m uzaklıkları arasında değişmektedir. Bunun dışında bu profilde 0-10 m uzaklıklarda ve 28-30 m uzaklıklarda daha zayıf genlikli yansıtıcı yüzeyler de görülmektedir (Şekil 3.21).



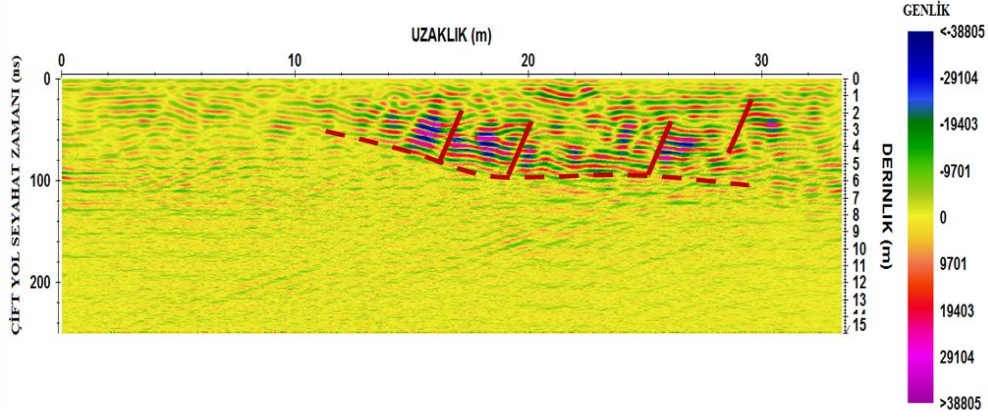
Şekil 3.22. Alarduç 1 sahasından alınan 5.profilin Yer Radarı kesiti

5. profilde çok yüksek genlikli yansıtıcı sınır kendini 10-30 m uzaklık aralığında ve 2-8 m derinliği aralığında göstermiştir (Şekil 3.22).



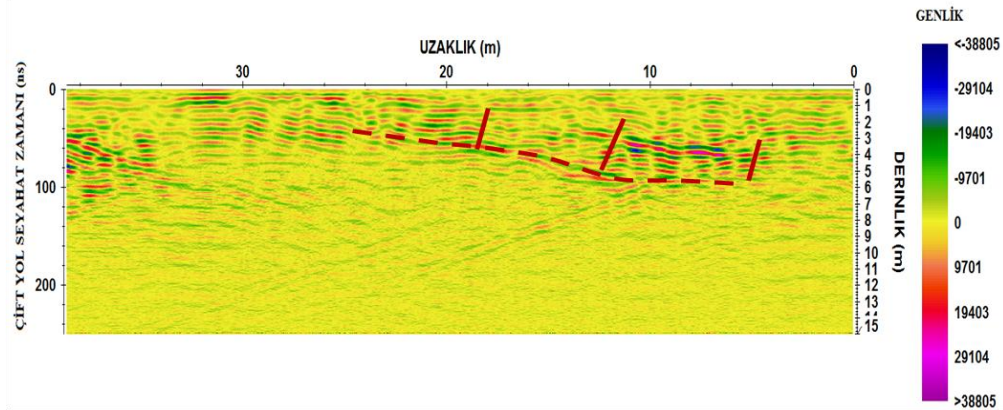
Şekil 3.23. Alarduç 1 sahasından alınan 6.profilin Yer Radarı kesiti

6. profilde 14 ile 26 m uzaklıklarında ve 2 ile 6 m uzaklıklarında çok yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır, 0-4 m uzaklık ve 3-7 m derinliklerinde yine çok yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır gözlenmektedir (Şekil 3.23).



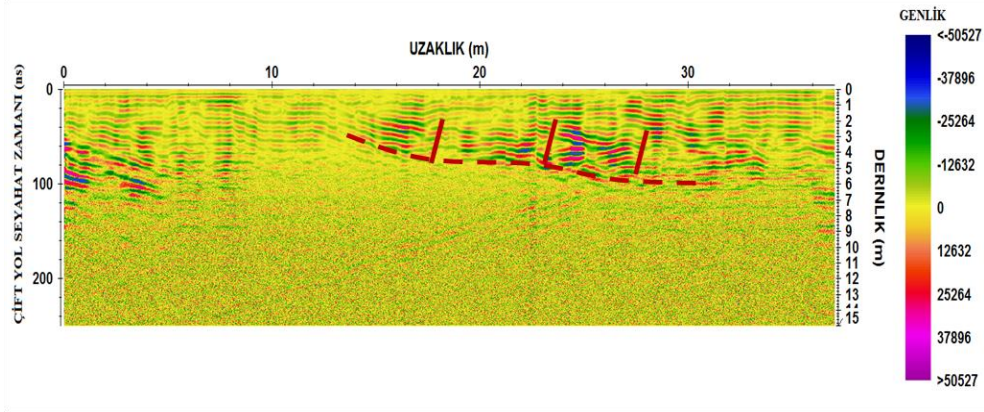
Şekil 3.24. Alarduç 1 sahasından alınan 7.profilin Yer Radarı kesiti

7. profile bakıldığında ise yansıtıcı sınır çok yüksek genlikte olup 14 m den 30 m ye kadar ve 3 m den 6 m ye kadar derinliklere kadar uzanmaktadır. Ayrıca 20-30 m uzaklıklarında ve 0-3 m derinliklerinde yine yüksek genlikli yansımalar görülmektedir (Şekil 3.24).



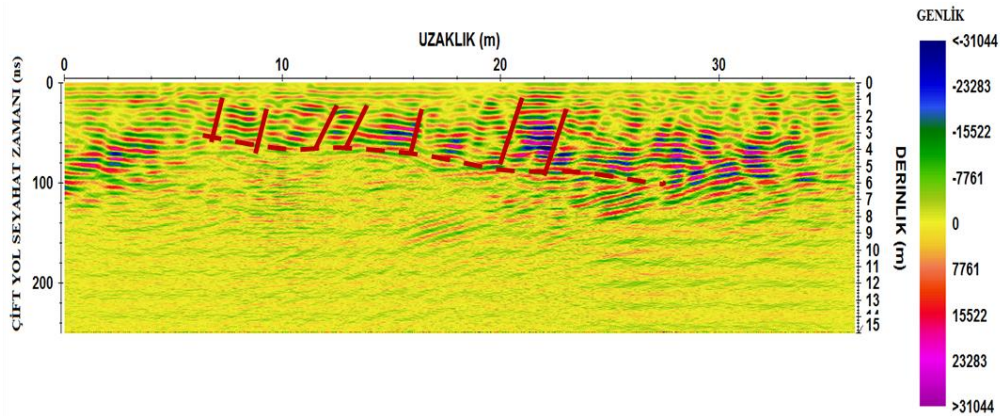
Şekil 3.25. Alarduç 1 sahasından alınan 8.profilin Yer Radarı kesiti

8. profilde diğer profillerde gözlenen çok yüksek genlikli sınırın biraz zayıflamış olduğu görülmektedir. Sınır burada 8 m den başlayıp 12 m ye kadar uzanmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.26. Alarduç 1 sahasından alınan 9.profilin Yer Radarı kesiti

9. profil incelendiğinde 14-30 m uzaklıklarda ve 2-6 m derinliklerde yüksek genlikli yansıtıcı sınır yeniden kendini göstermiştir. Ayrıca bu profilde 0-4 m uzaklık ve 4-6 m derinlikleri arasında çok yüksek genlikli eğimli bir yansıtıcı sınır göze çarpmıştır (Şekil 3.26).

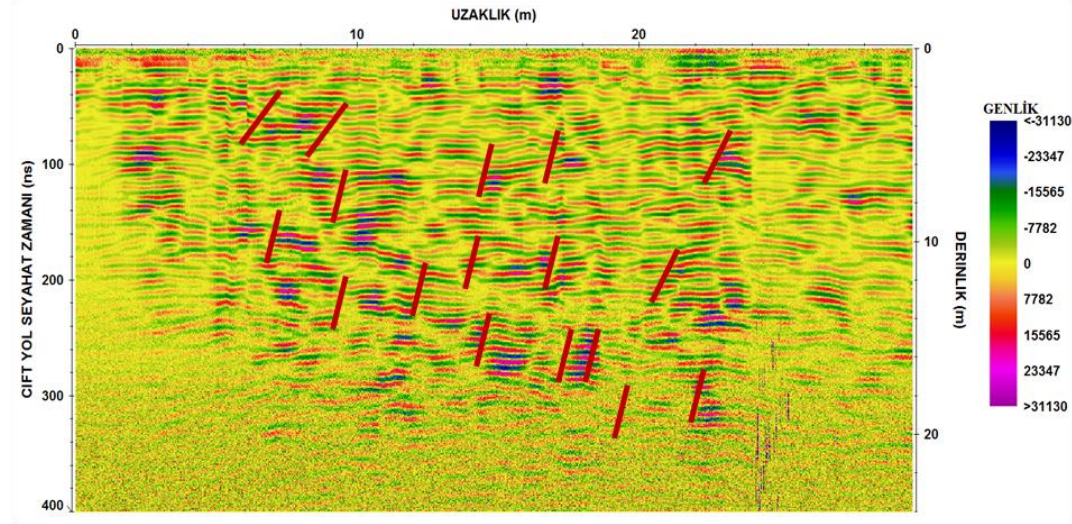


Şekil 3.27. Alarduç 1 sahasından alınan 10.profilin Yer Radarı kesiti

Bu sahadaki son profilde de 8 m den başlayıp 30 m uzaklığa kadar giden ve 2-6 m derinliklerine ulaşan çok yüksek genlikli yansımaya sınırları görülmüştür (Şekil 3.27).

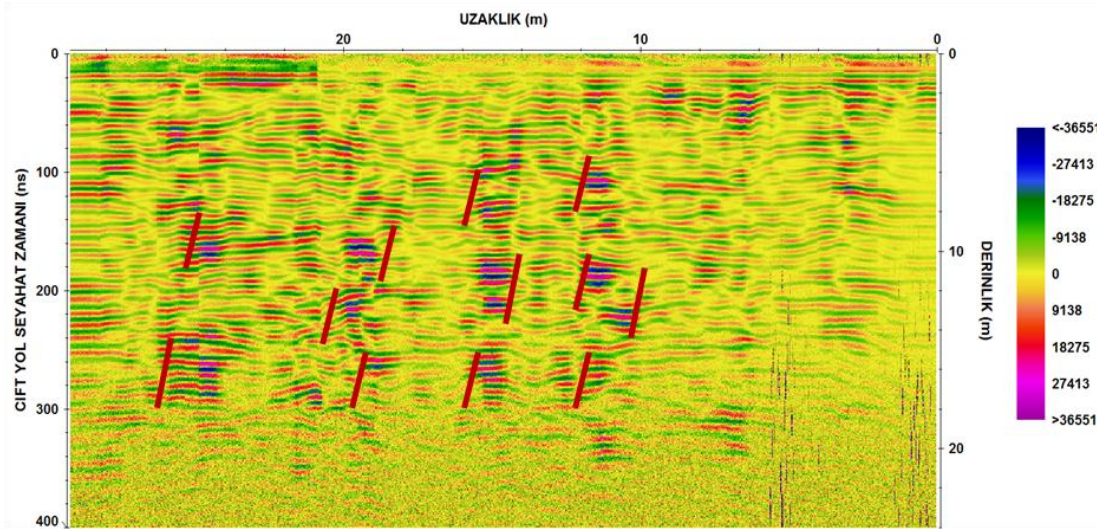
3.4. Alarduç 2 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması

1.alanın hemen üst kısmındaki alandır. Bu çalışma sahasında 100 MHz korumasız anten kullanılarak yaklaşık 20 ± 5 m nüfuz derinliğine kadar inilmiştir. Bu çalışma sahasındaki tüm profillerde düz kırmızı çizgilerle parçalanmış bloklar gösterilmektedir.



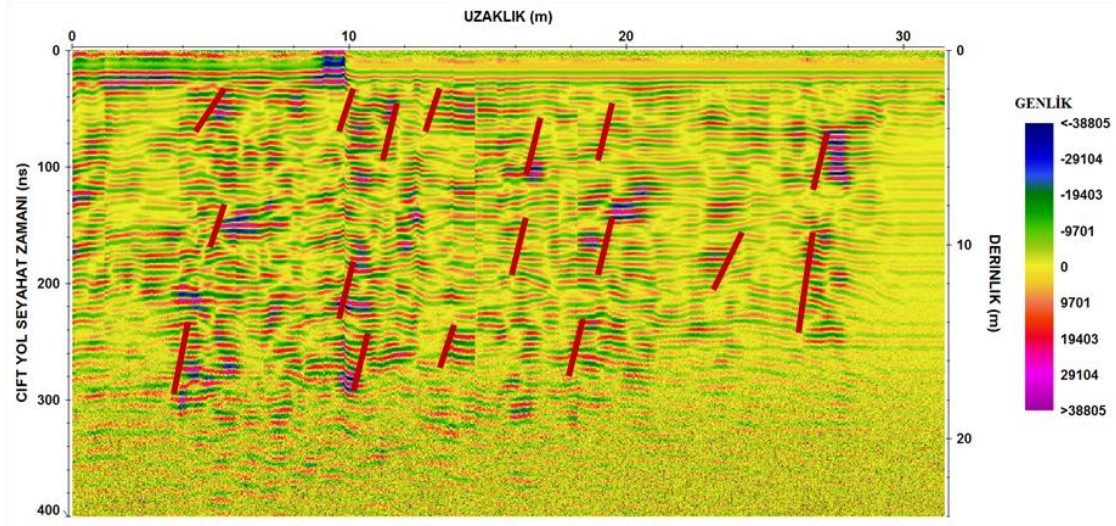
Şekil 3.28. Alarduç 2 sahasından alınan 1.profilin Yer Radarı kesiti

Alarduç 1 sahasından alınan ilk profile bakıldığında farklı uzaklıklarda ve farklı derinliklerde çok yüksek genliklere sahip yansıma sınırları göze çarpmaktadır. 2-20 m derinlikler arasında yer yer kırıklı malzemenin çok yoğun bir şekilde gözleendiği görülmektedir. Ayrıca 2-29 m uzaklıkları arasında bölge bölge ayrıışmış bir yapıyı gösteren süreksizlikler bulunmaktadır (Şekil 3.28).



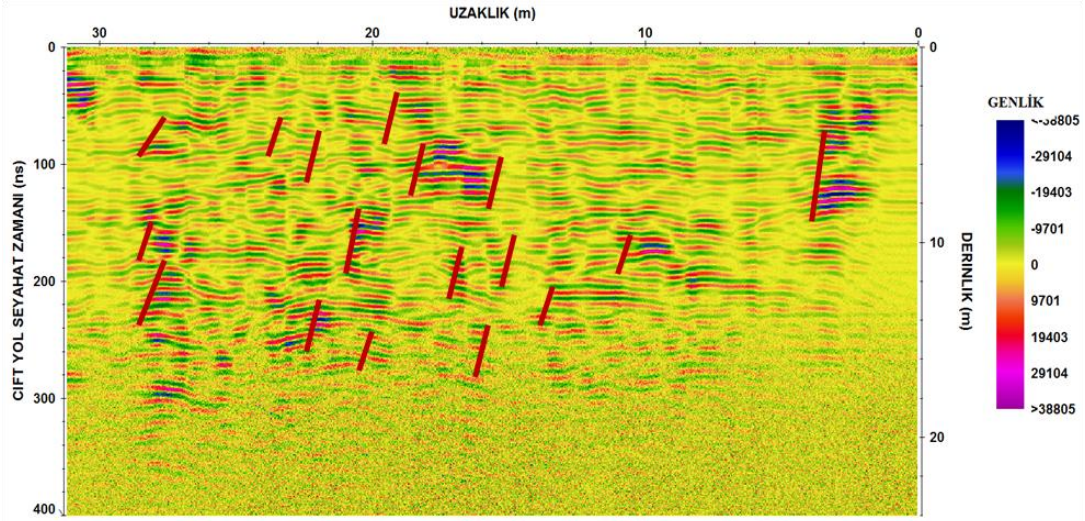
Şekil 3.29. Alarduç 2 sahasından alınan 2.profilin Yer Radarı kesiti

2. profile bakıldığında da 1. Profildeki gibi farklı uzaklıklarda ve farklı derinliklerde çok yüksek genliklere sahip yansıma sınırları göze çarpmaktadır. Yaklaşık 2-20 m derinlikler arasında kırıklı-çatlaklı yapıları gösteren yüksek genlikli yansımalar görülmektedir (Şekil 3.29).



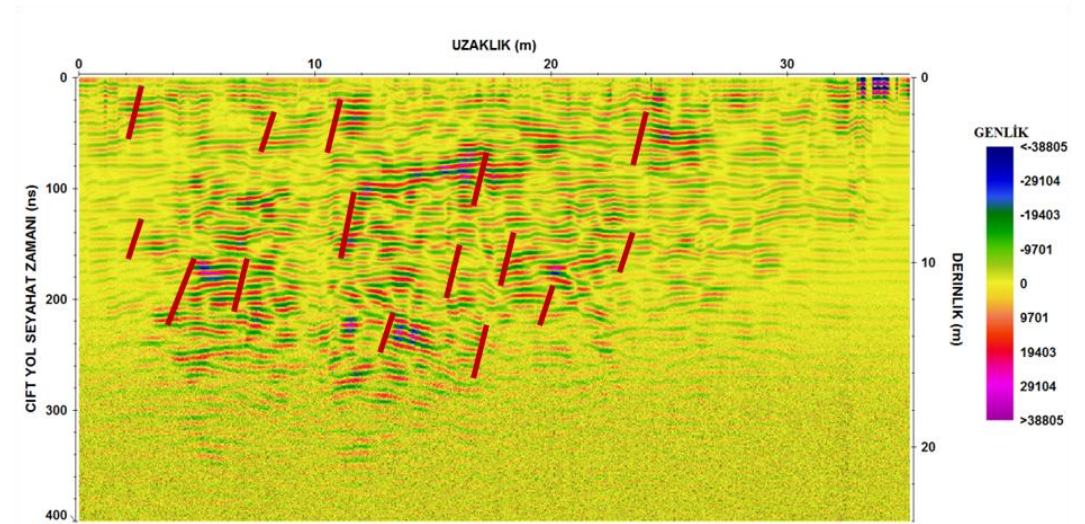
Şekil 3.30. Alarduç 2 sahasından alınan 3. profilin Yer Radarı kesiti

3. profile bakıldığında yaklaşık 10. ve 15. m lerede antenden kaynaklanan bir kesilme görülmektedir. Burada da diğer profillerdeki gibi farklı uzaklıklarda ve farklı derinliklerde çok yüksek genliklere sahip yansıma sınırları göze çarpmaktadır. Yaklaşık 2-20 m derinlikler arasında kırıklı-çatlaklı yapıları gösteren yüksek genlikli yansımalar görülmektedir. 10- 20 m lerede gözlenen kuvvetli yansımalar 20-30 m ler arasında biraz daha zayıflamıştır (Şekil 3.30).



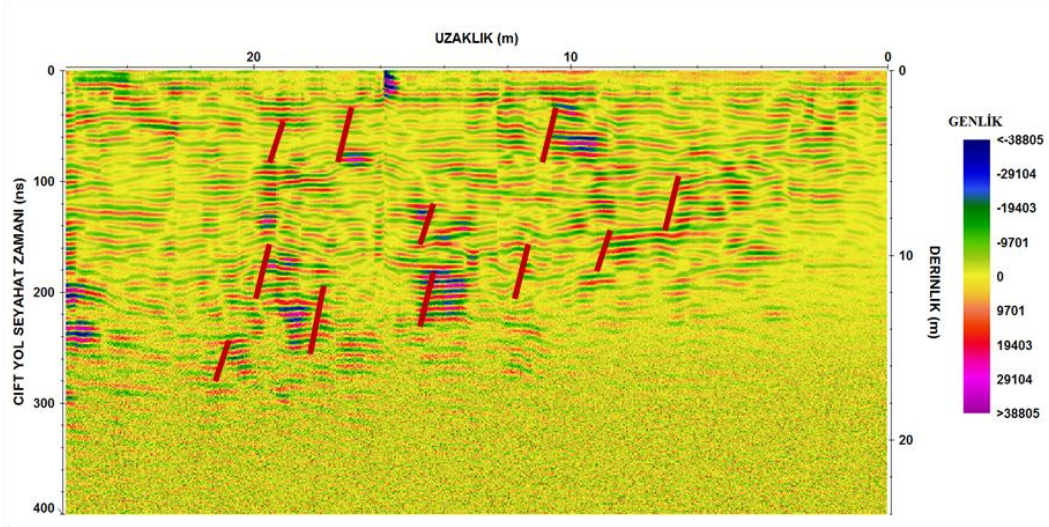
Şekil 3.31. Alarduç 2 sahasından alınan 4.profilin Yer Radarı kesiti

4.profilinden elde edilen radargrama bakıldığında yer yer kuvvetli yansımalar göze çarpmıştır. Burada da 2-20 m derinlikleri arasında çok yüksek genlikli yansımalar farklı uzaklık ve derinliklerde görülmüştür (Şekil 3.31).



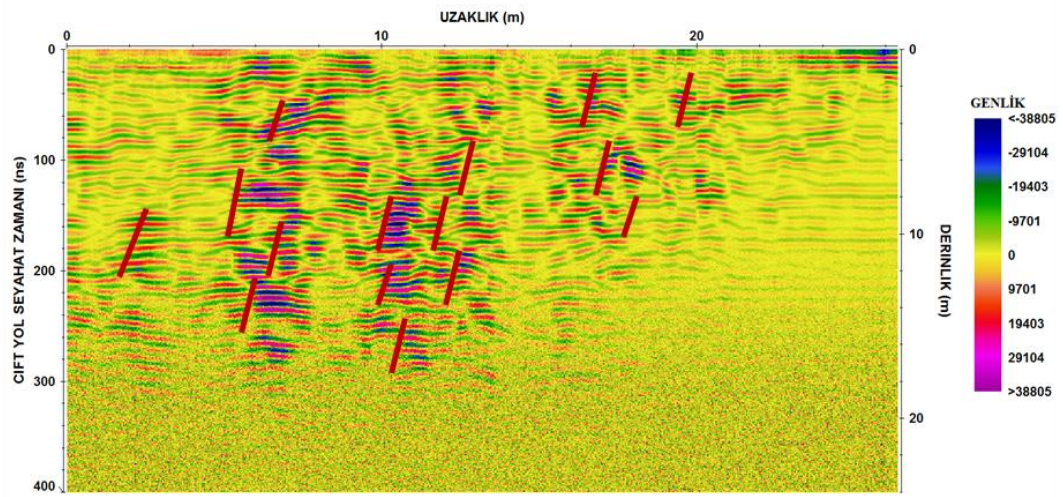
Şekil 3.32. Alarduç 2 sahasından alınan 5.profilin Yer Radarı kesiti

5.profilde de yer yer kırıklı çatlaklı yapıları gösteren çok yüksek genlikli yansımalar 2-20 m derinliklerinde kendini göstermiştir. Buradaki çok yüksek genlikli yansımalar 6 m uzaklıktan başlayıp 26 m' lere kadar farklı derinliklerde görünmüştür (Şekil 3.32).



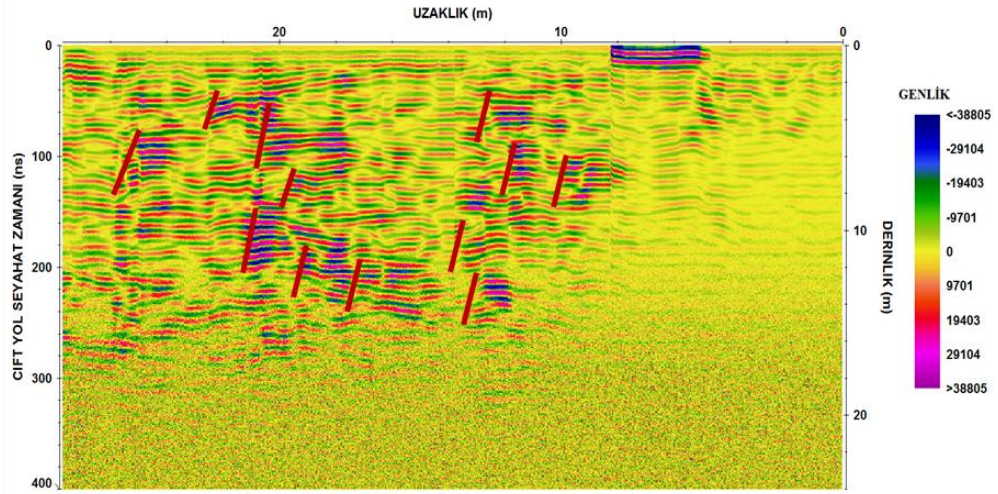
Şekil 3.33. Alarduç 2 sahasından alınan 6.profilin Yer Radarı kesiti

6. profilde diğer profillerde gözlendiği gibi yine 2-20 m derinliklerde kısım kısım çok yüksek genlikli yansıma sınırları göze çarpmaktadır. Burada profilin başından sonuna kadar olan mesafelerde bu yüksek genlikler kendini göstermiştir (Şekil 3.33).



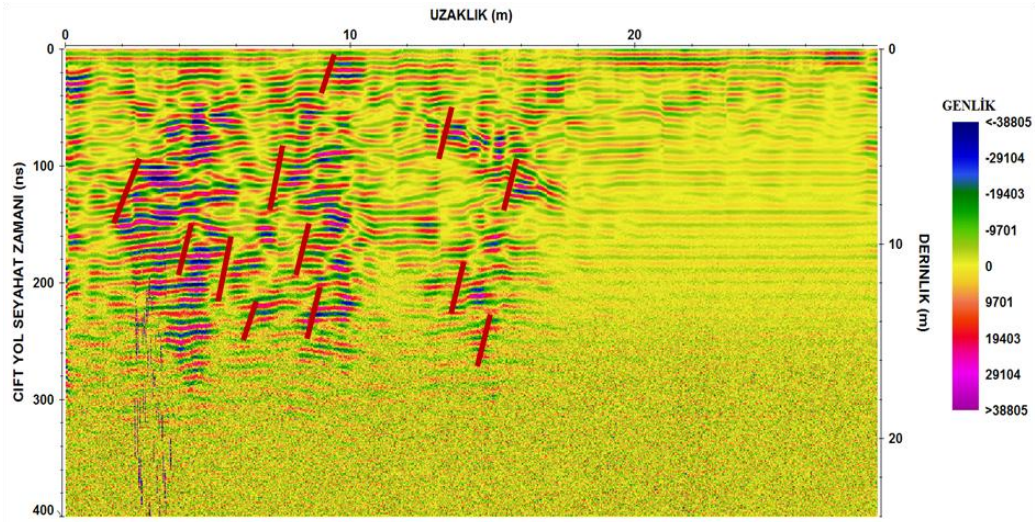
Şekil 3.34. Alarduç 2 sahasından alınan 7.profilin Yer Radarı kesiti

7. profilden elde edilen radargrama bakıldığında yer yer yoğun şekilde çok yüksek genliklere sahip yansıma sınırları göze çarpmaktadır. Yaklaşık 2-20 m derinlikler arasında kırıklı-çatlaklı yapıları gösteren yüksek genlikli yansımalar görülmektedir. Bu yansımalar 6-20 m uzaklıklarda çok daha kuvvetlidir (Şekil 3.34).



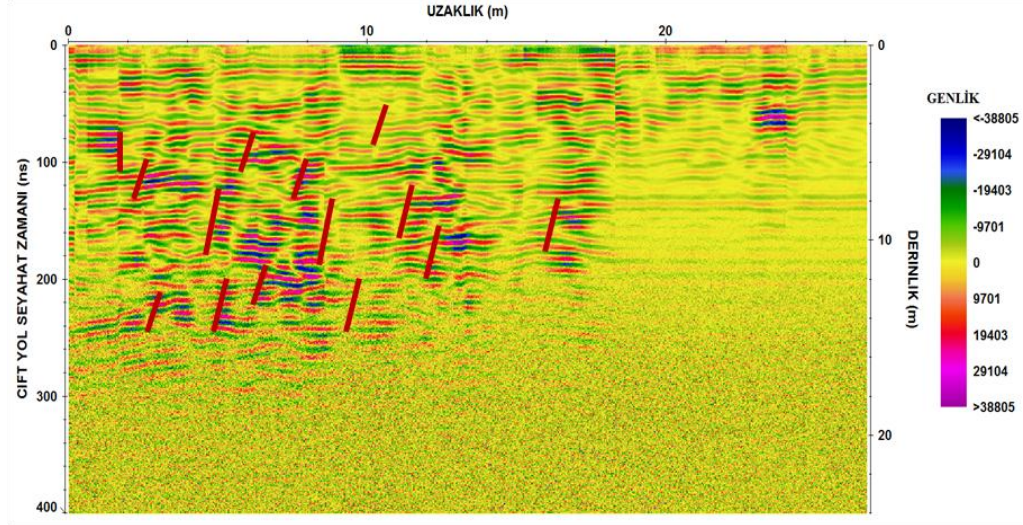
Şekil 3.35. Alarduç 2 sahasından alınan 8.profilin Yer Radarı kesiti

8. profile gelindiğinde 8-29 m uzaklıklarda yoğun bir şekilde yüksek genlikli yansımalar yaklaşık 2-20 m derinliklere kadar gözlenmiştir. 0-10 m uzaklıklarında daha zayıf yansımalar görülmektedir (Şekil 3.35).



Şekil 3.36. Alarduç 2 sahasından alınan 9.profilin Yer Radarı kesiti

9. profilde 0-20 m arası mesafelerde çok yüksek genlikli yansımalar ve 20-29 m uzaklıklarda zayıf genlikli yansımalar 2-20 m derinliklerde gözlenmiştir (Şekil 3.36).

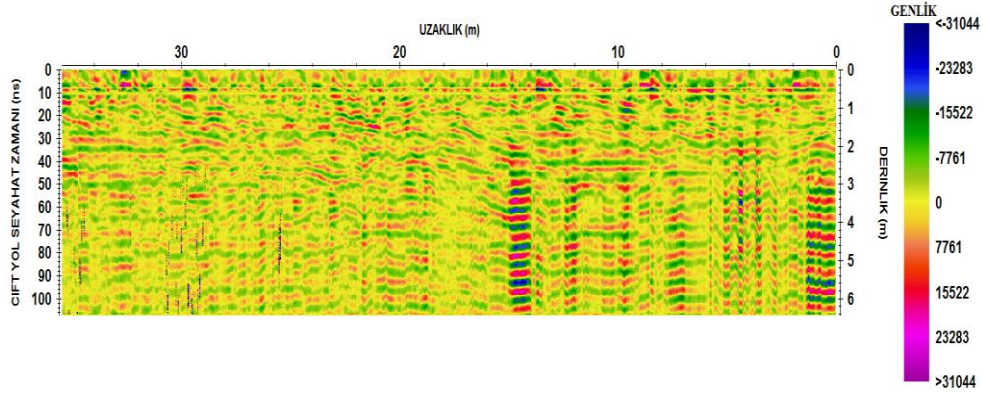


Şekil 3.37. Alarduç 2 sahasından alınan 10.profilin Yer Radarı kesiti

10. profilde diğer profillerde gözleendiği gibi yer yer çok yüksek genlikli yansımalar elde edilirken 0-10 m uzaklıklarında bu kuvvetli yansımaların zayıfladığı gözlenmiştir (Şekil 3.37).

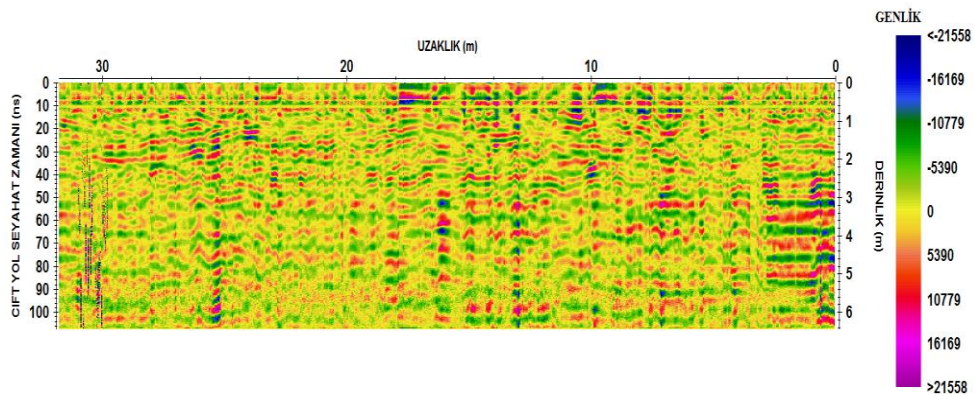
3.5. Alarduç 1 Sahasından Elde Edilen (250 MHz) GPR Verilerinin Yorumlanması

Alarduç 1 sahasında 100 MHz lik korumasız antenden sonra 250 MHz korumalı antenle de 10 profilde 10 ölçüm alınmıştır. Burada 250 MHz antenle toplanan ölçümlere bakıldığında yaklaşık 6 m nufüz derinliğine ulaşılmıştır.



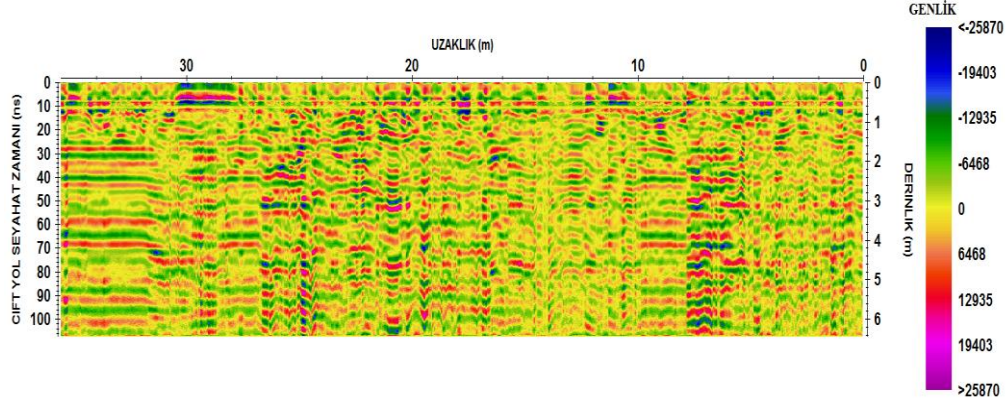
Şekil 3.38. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 1. Profilin Yer Radarı kesiti

250 MHz antenle Alarduç 1 sahasından alınan ilk profilin radargramına bakıldığında çok karmaşık 1-3 m derinlikleri arasında oldukça kırık yapılar göze çarpmaktadır (Şekil 3.38).



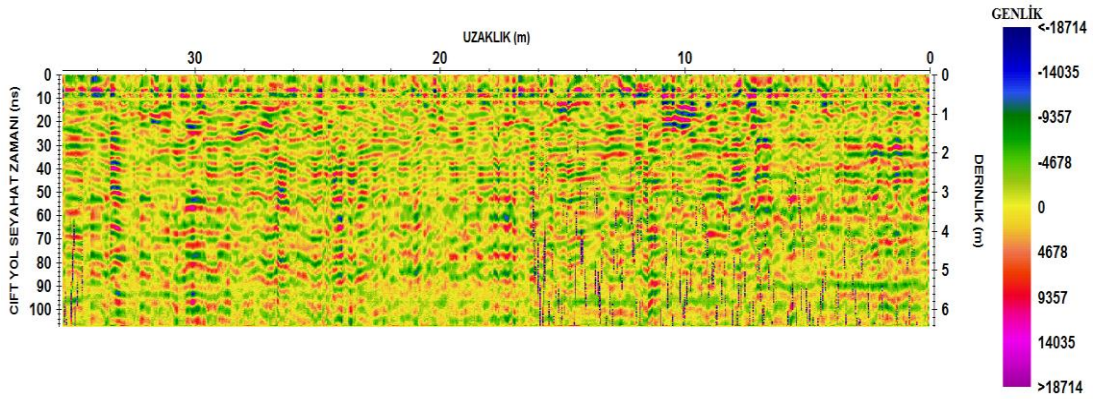
Şekil 3.39. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 2. Profilin Yer Radarı kesiti

2.profilde çok kırıklı yapıların olduğu gösteren yer yer yüksek genlikli farklı uzaklıklarda farklı derinliklerdeki yansımalar yaklaşık 6 m derinliğe kadar gözlenmiştir (Şekil 3.39).



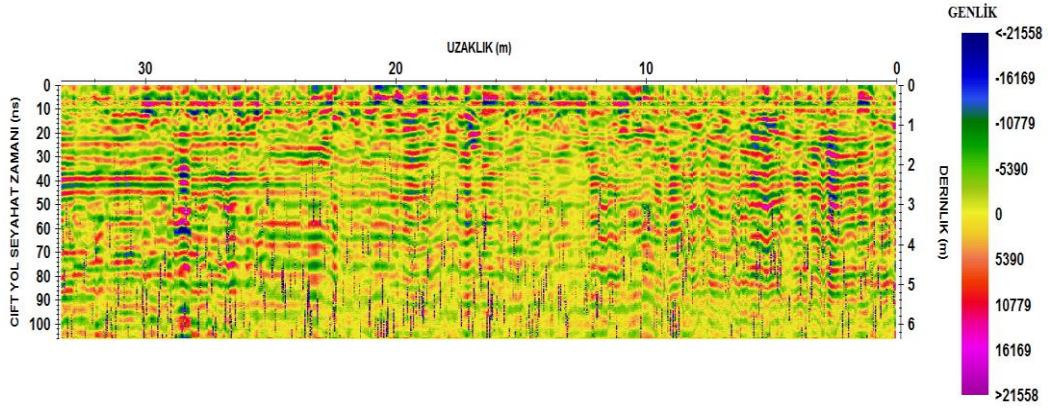
Şekil 3.40. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 3. Profilin Yer Radarı kesiti

3.profile bakıldığında özellikle 6-10 m derinliklerinde ve 16-26 m uzaklıklarında 6 m derinliğe kadar çok yüksek genlikli yansımalar dikkat çekmiştir (Şekil 3.40).



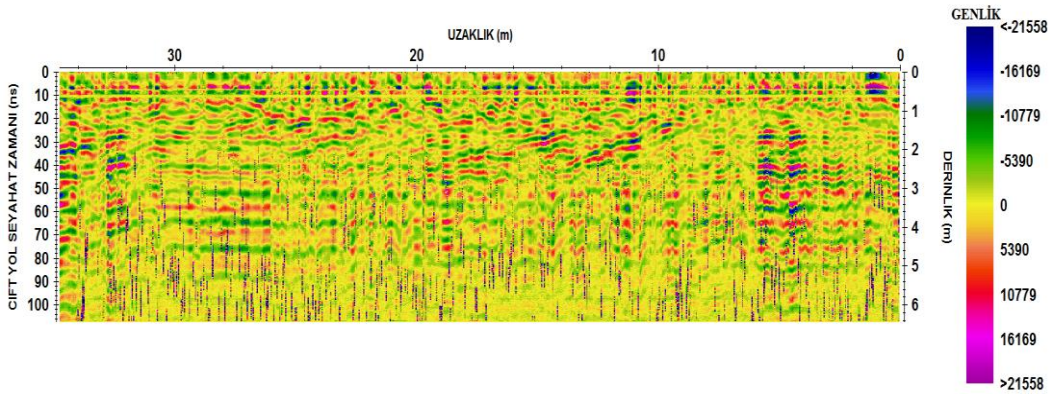
Şekil 3.41. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 4. Profilin Yer Radarı kesiti

4.profilde çok yüksek genlikli yansımalar yer yer farklı uzaklık ve derinliklerde kendini yoğun bir şekilde göstermiştir (Şekil 3.41).



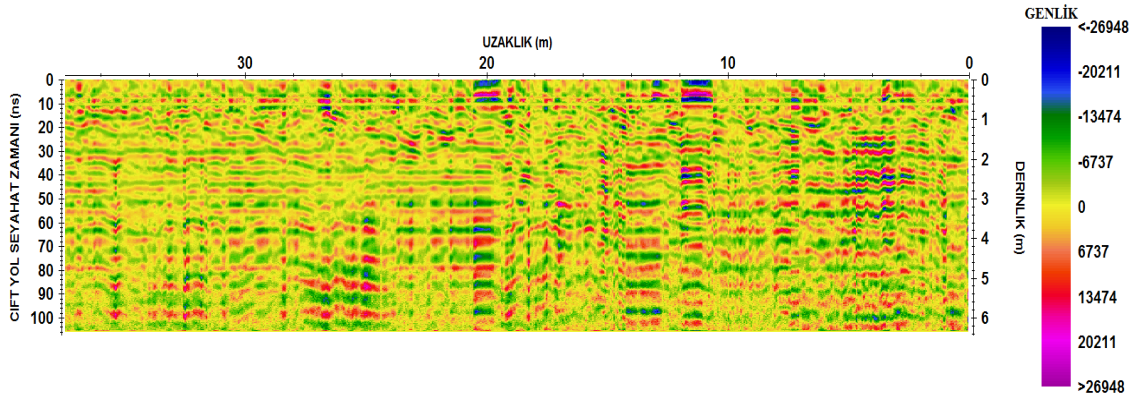
Şekil 3.42. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 5. Profilin Yer Radarı kesiti

5. profilde alınan ölçüler sonucunda elde edilen radargramda 0-10 m uzaklıklarında, 14-20 m uzaklıklarında ve 22-30 m uzaklıklarında farklı derinliklerde çok yüksek genlikli yansımalar göze çarpmaktadır (Şekil 3.42).



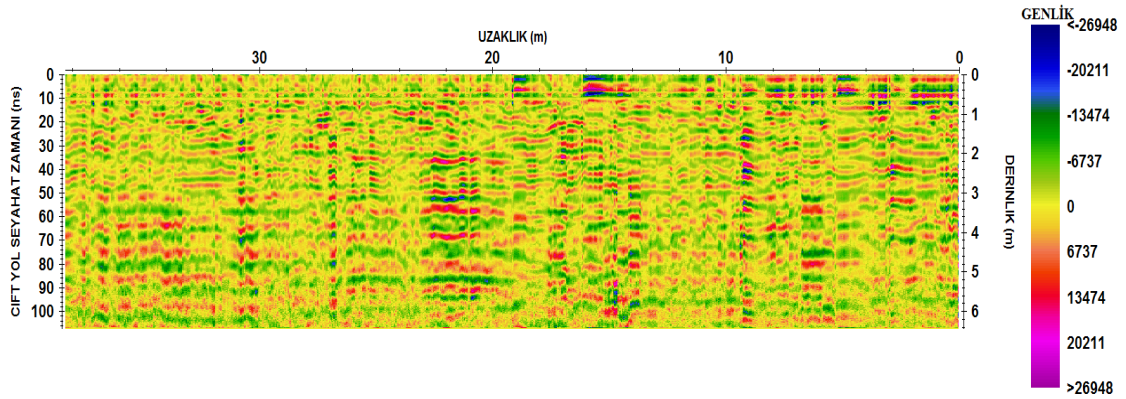
Şekil 3.43. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 6. Profilin Yer Radarı kesiti

6. profilde de 5. Profilde gözlenen yer yer yüksek genlikli yansımalar görülmüştür. 4-6 m uzaklık ve 1.5- 5 m derinliklerinde, 10-20 m uzaklık ve 1-2 m derinliklerdeki yansımalar radargramdaki diğer yansımalara göre çok daha kuvvetlidir (Şekil 3.43).



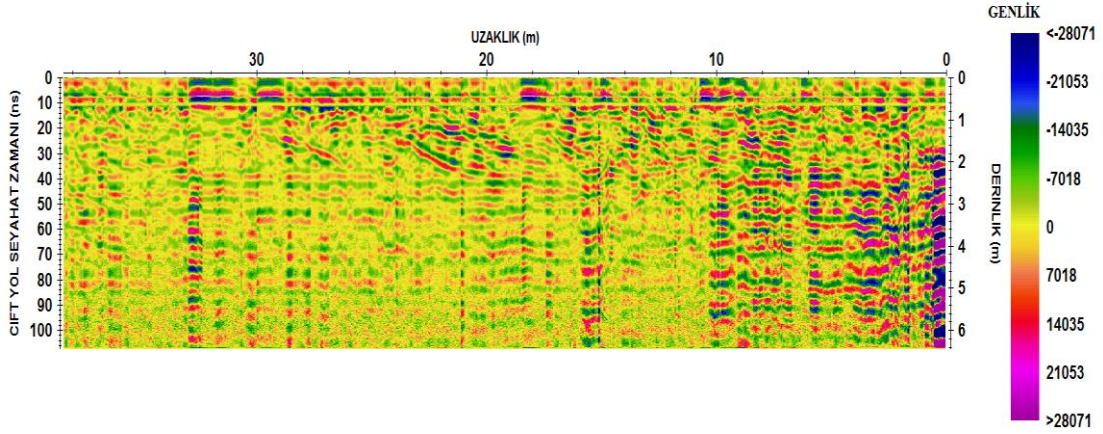
Şekil 3.44. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 7. Profilin Yer Radarı kesiti

7. profilde yer yer yüksek genlikli farklı uzaklıklarda farklı derinliklerdeki yansımalar yaklaşık 6 m derinliğe kadar gözlenmiştir. Burada 4-8 m uzaklıklarda, 14-20 m uzaklıklarda ve 20-26 m uzaklıklardaki yüksek genlik genlikle yansımalar kendini göstermiştir (Şekil 3.44).



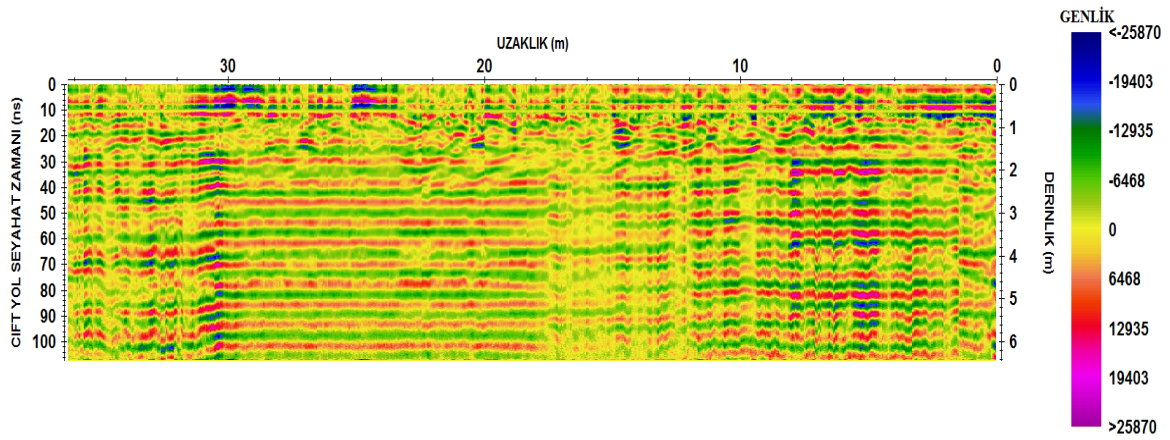
Şekil 3.45. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 8. Profilin Yer Radarı kesiti

8. profilde de diğer profillerde gözlenen karmaşık yapı gözlenmektedir. 20-14 m uzaklıklarda 2-6 m derinliklerde çok yüksek genlikli yansımalar göze çarpmıştır. Bunun dışındaki yansımalar daha zayıf genliğe sahiptir (Şekil 3.45).



Şekil 3.46. Alarduç 1 sahasında 250 MHz ile alınan 9. Profilin Yer Radarı kesiti

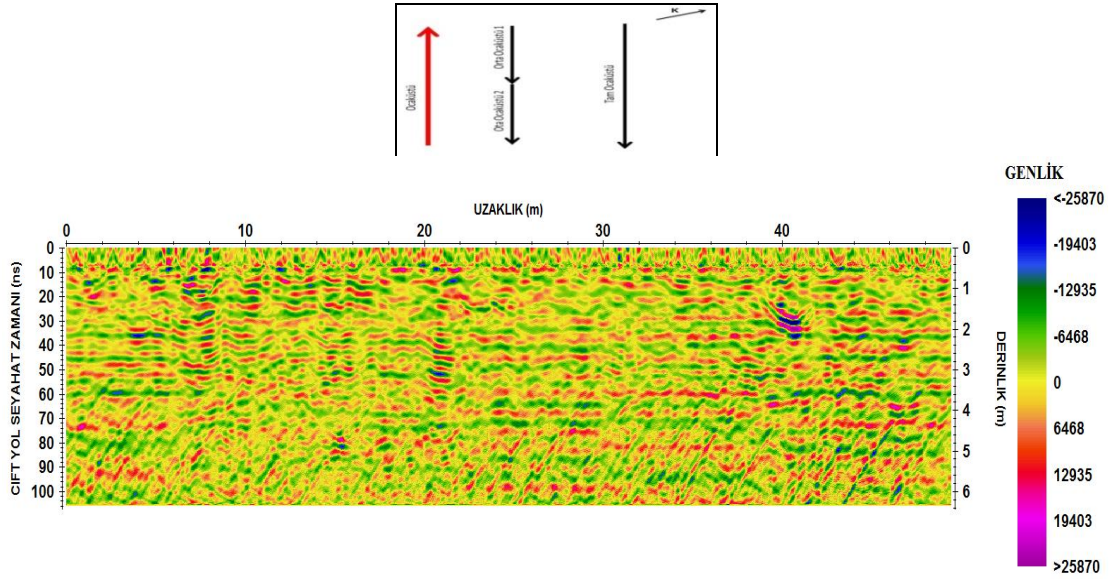
9.profile bakıldığında ilk olarak 0-10 m uzaklıkları arasında 2-6 m derinlikleri arasında çok kuvvetli yansımalar hemen göze çarpmaktadır. 8-20 m uzaklık ve 1-2 m derinliklerde de kuvvetli yansımalar kendini göstermektedir (Şekil 3.46).



Şekil 3.47. 10. Profilin Yer Radarı kesiti

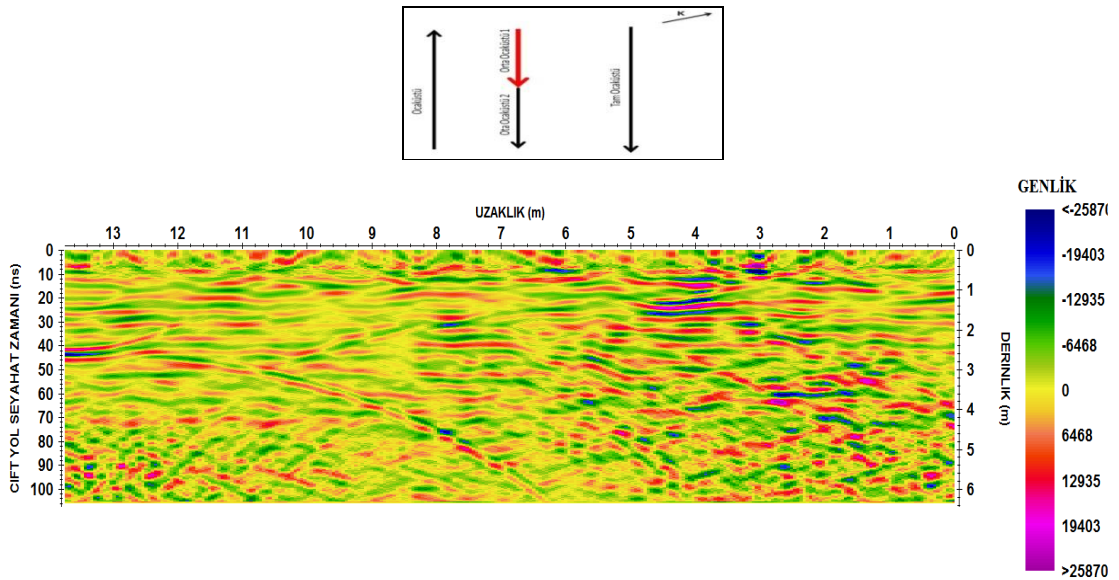
Bu sahada alınan 10.ve son profilde 4-8 m uzaklıklarda, 30 m uzaklıklarda yaklaşık 6 m derinliğe kadar oldukça yüksek genlikli yansımalar görülmektedir (Şekil 3.47).

3.6. Tamocaküstü Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması



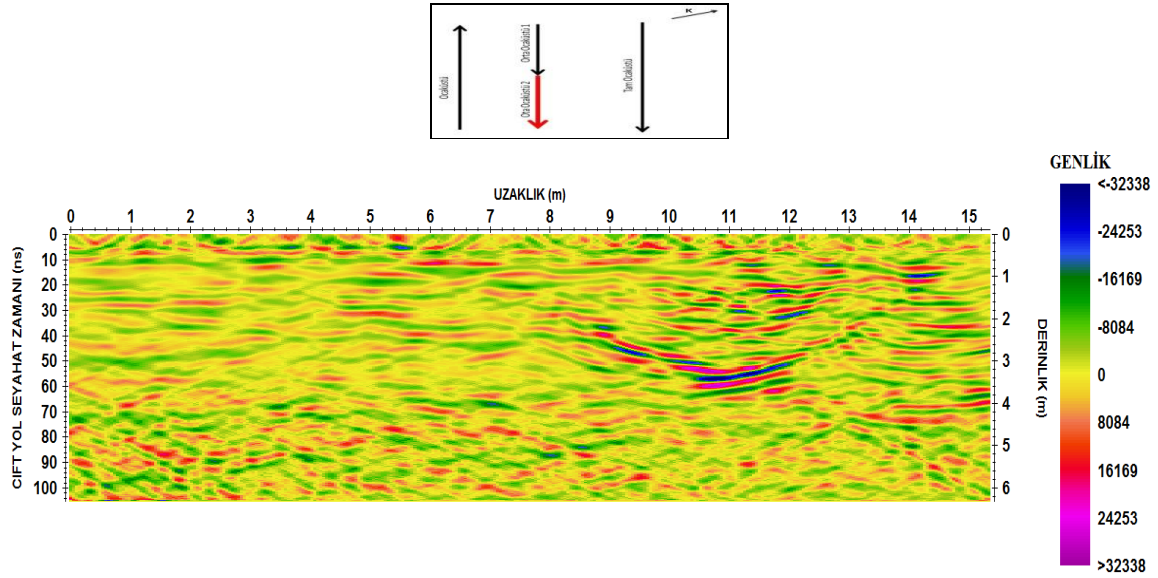
Şekil 3.48. Tam Ocaküstü sahasından alınan 1.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti

Burada alınan ölçülerin ilk profiline bakıldığı zaman 40. m de yaklaşık 2 m derinliğinde çok yüksek genlikli bir anomali göze çarpmaktadır. Onun dışında tüm profil boyunca oldukça karmaşık yüksek genlikli yansımalar görülmüştür (Şekil 3.48).



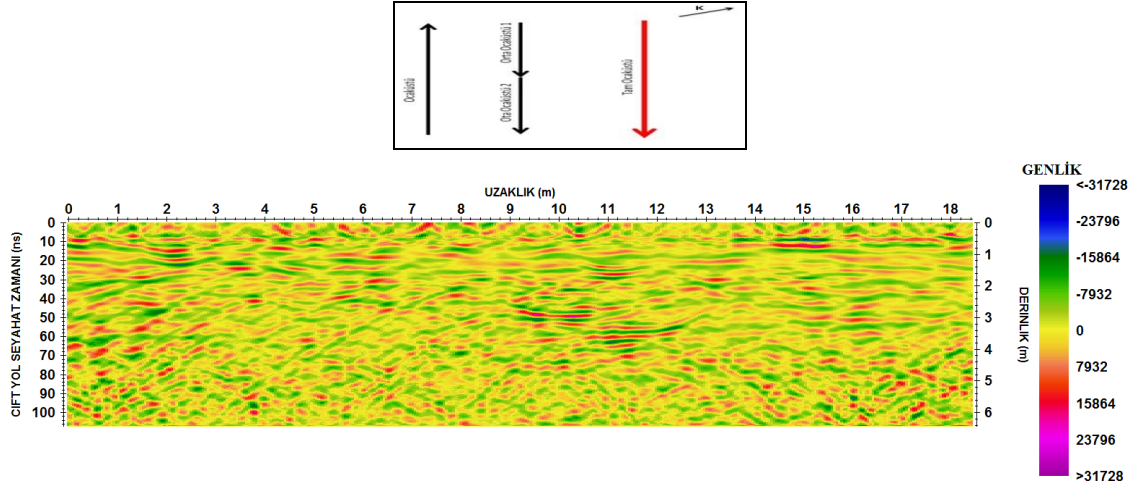
Şekil 3.49. 2.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti

2.profil arazi şartlarından dolayı 2 kısım olarak alınmıştır. İlk kısımda 3-4 m uzaklıklarda ve 1 m derinliğe kadar, 0-5 m uzaklık ve 3-6 m derinliğinde çok yüksek genlikli yansımalar göze çarpmaktadır. Çok yüksek genlikli yansımalar 0-6 m uzaklıklarından itibaren zayıflamaya başlamıştır (Şekil 3.49).



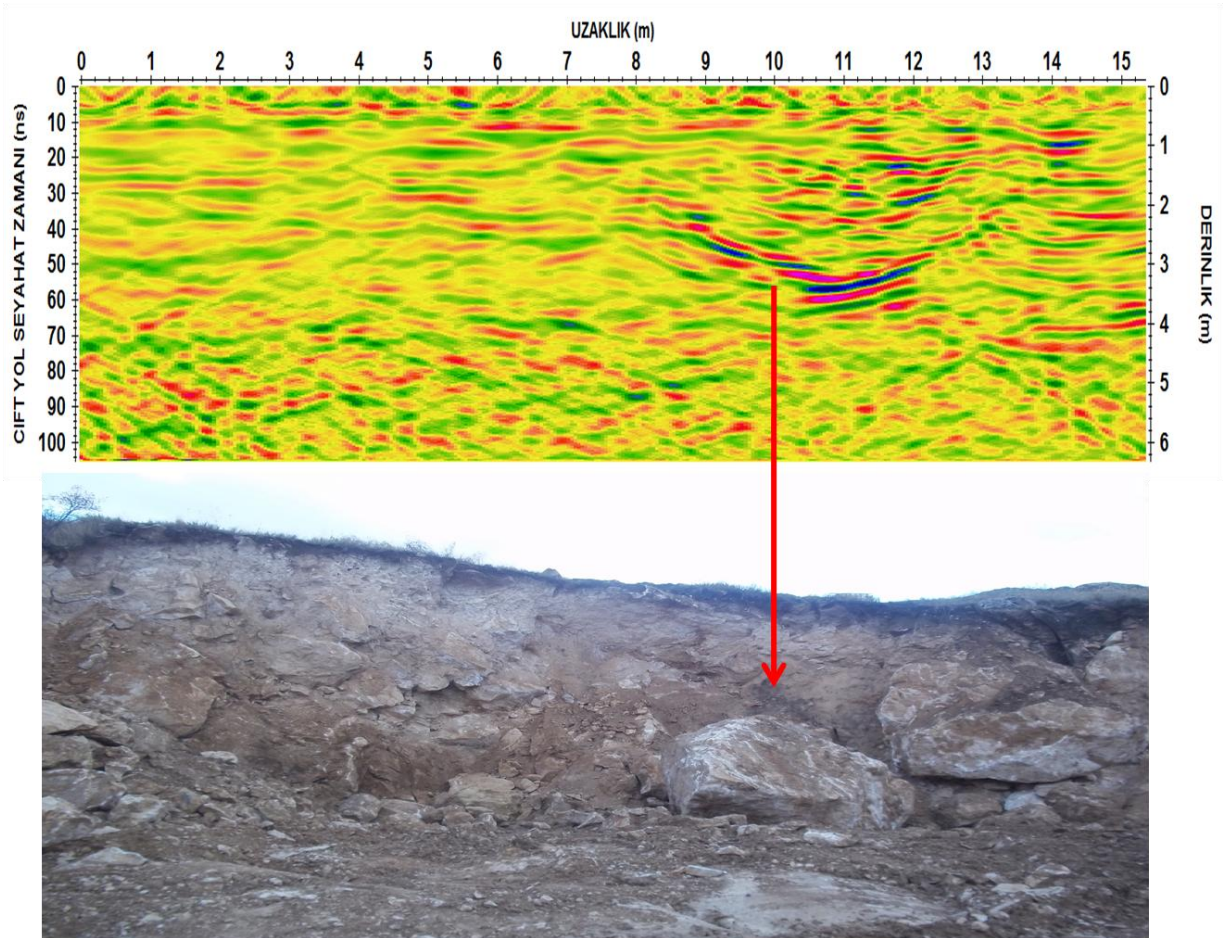
Şekil 3.50. 2.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti

2.profilin devamı olan bu profilde 9-13 m uzaklıklarında 2-4 m derinliklerinde çok yüksek genlikli bir yansıma dikkat çekmektedir. Ayrıca yine aynı mesafelerde daha sığda daha zayıf genlikli yansımalar da dikkat çekmektedir (Şekil 3.50).

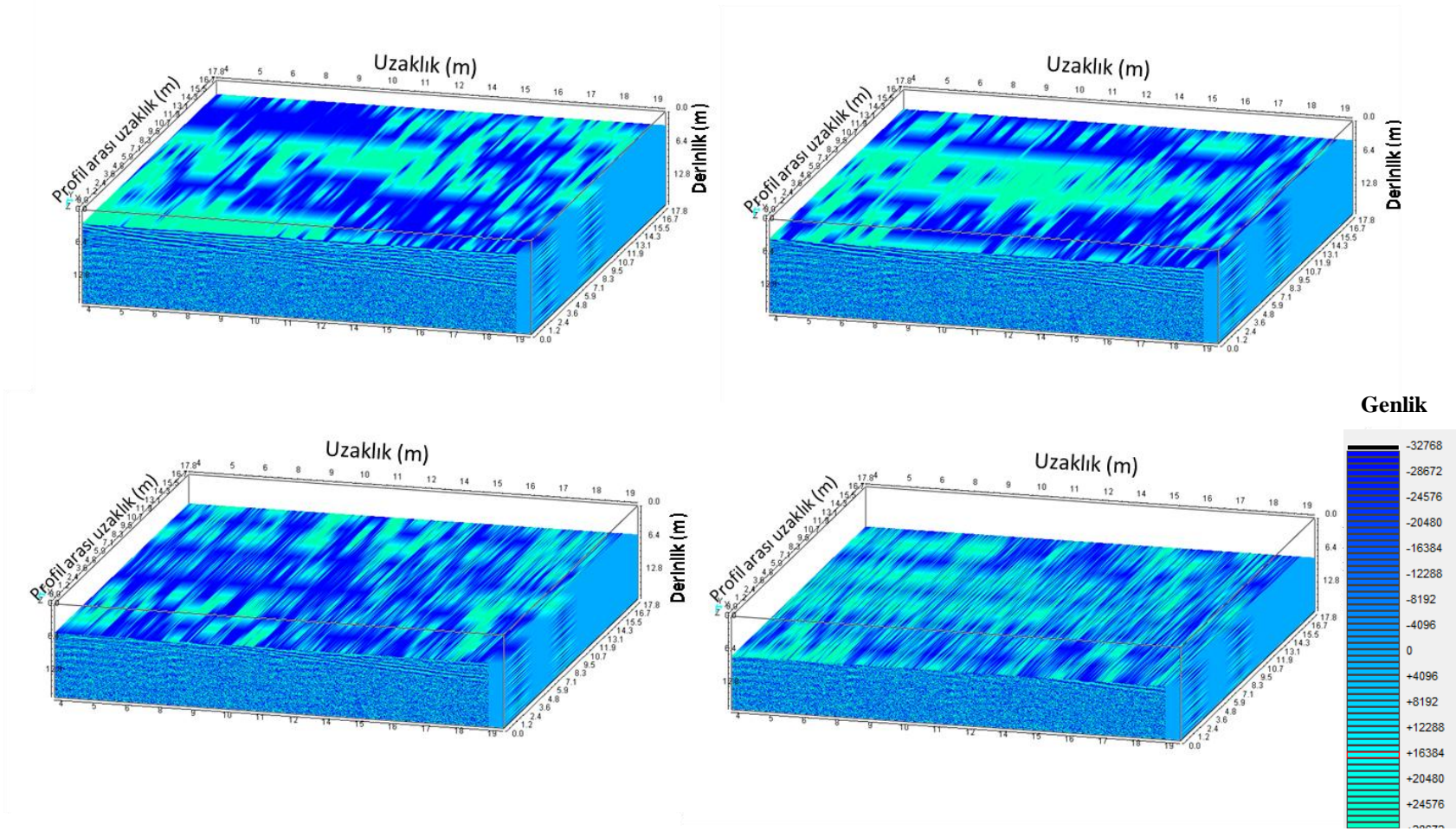


Şekil 3.51. 3.profil krokisi ve Yer Radarı kesiti

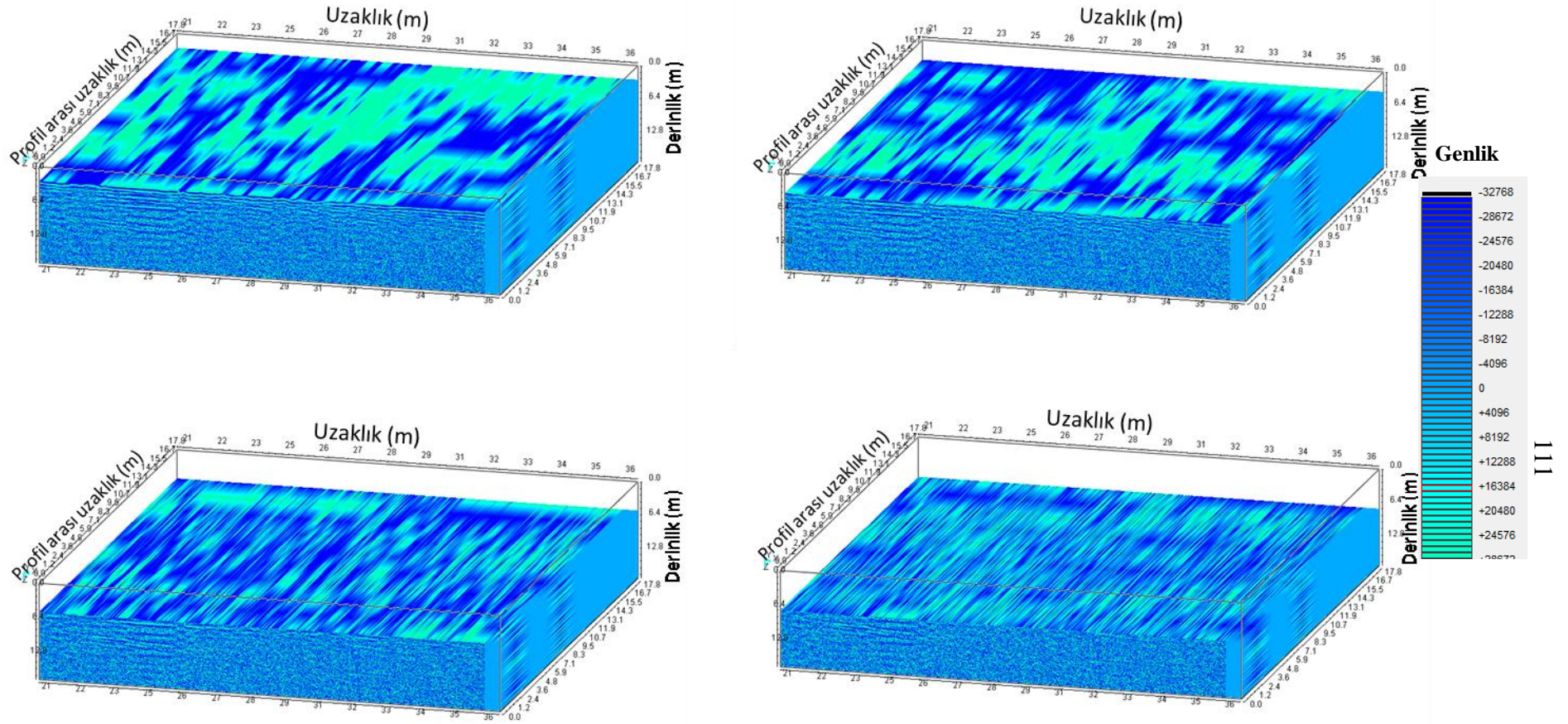
Tam ocak üstünde alınan bu profilde gözlenen çok yüksek genlikli yansımalar 9-13 m uzaklıkları arasında ve 2-4 m derinlikleri arasında değişmektedir (Şekil 3.51).



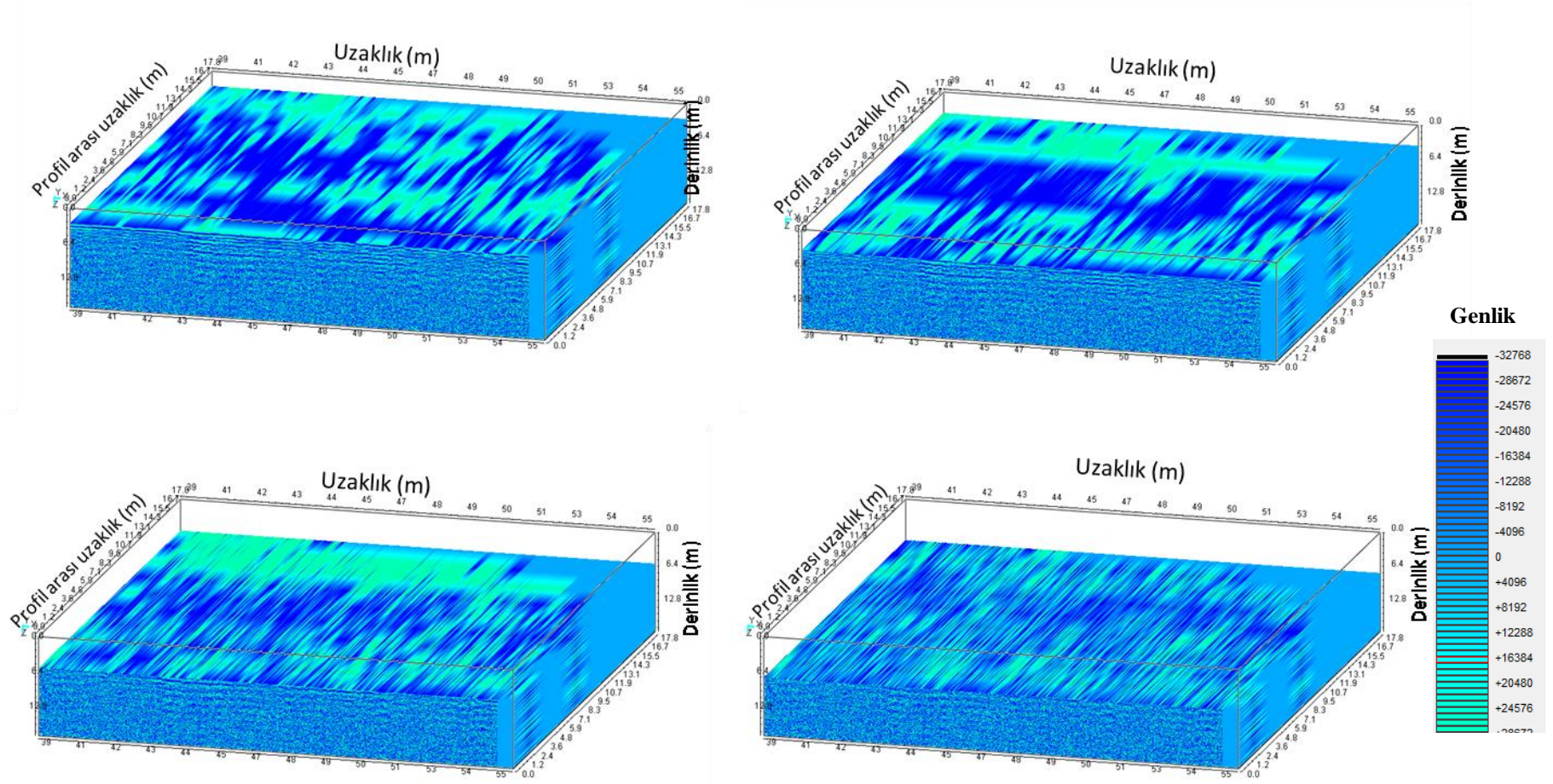
Şekil 3.52. 250 MHz antenle tam ocak üstünde alınan ölçümle aynı yerden çekilen bir fotoğrafın karşılaştırılması



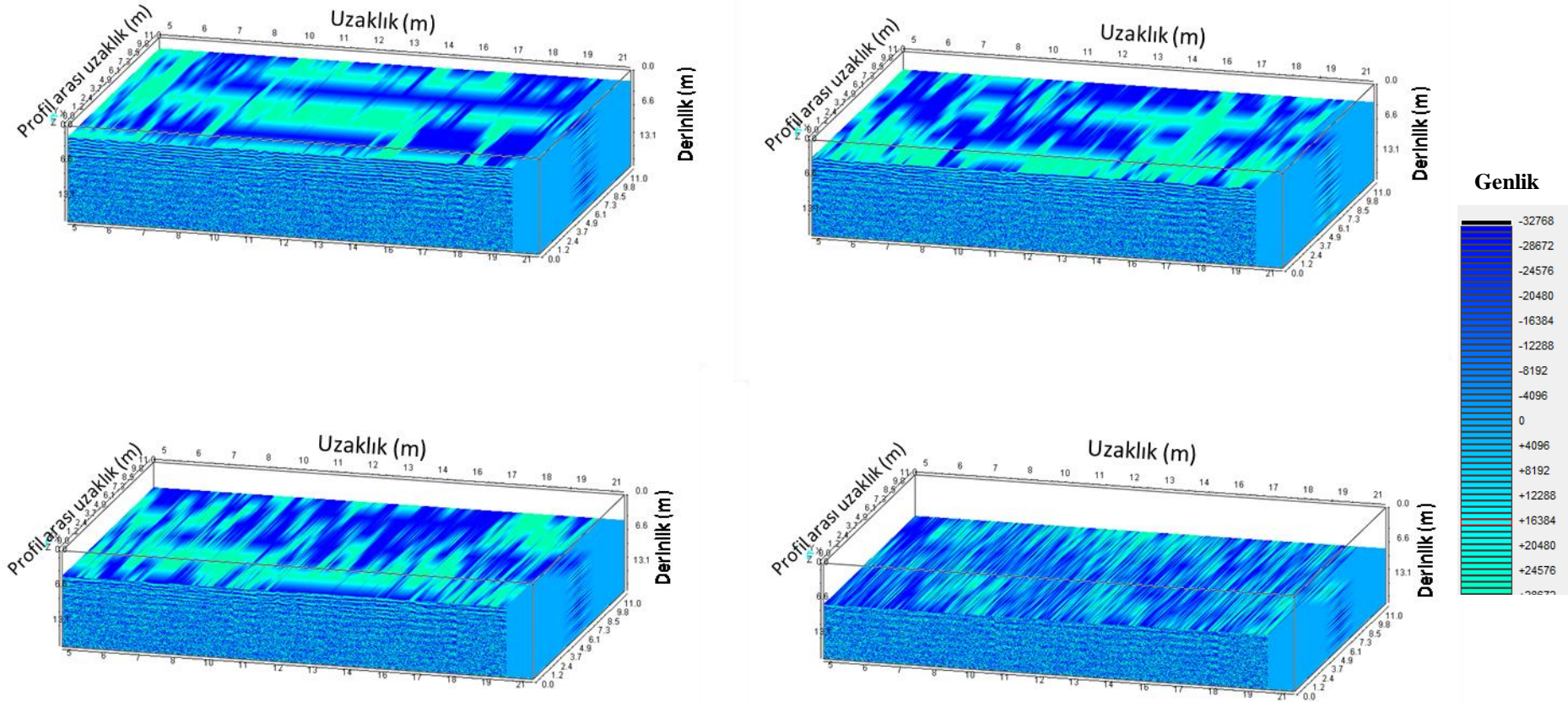
Şekil 3.53. Ocaküstü 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 4-20 m'deki derinlik haritaları; (a) 2 m'deki derinlik haritası, (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası, (d) 4 m'deki derinlik haritası



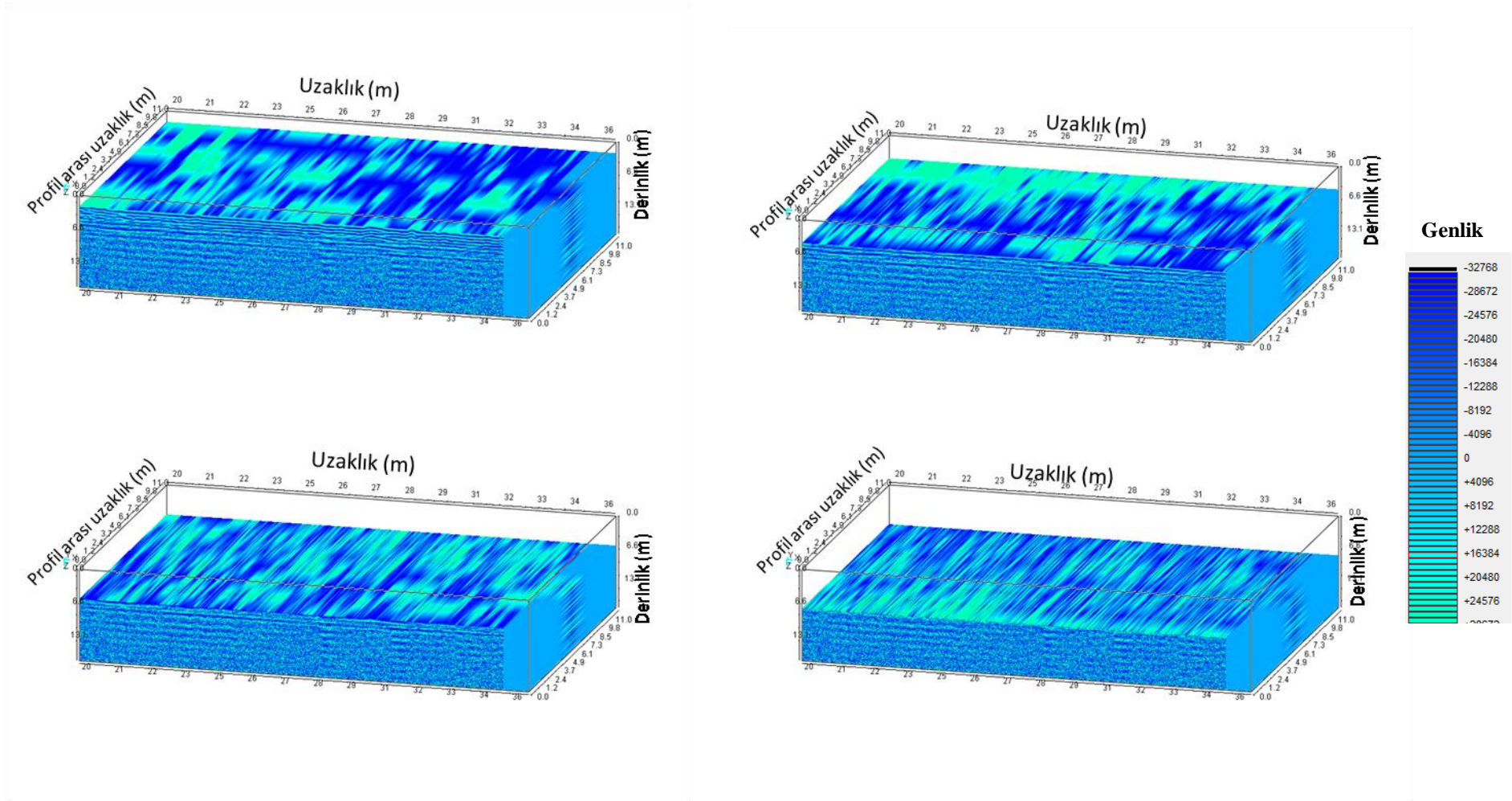
Şekil 3.54. Ocaküstü 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 21-36 m deki derinlik haritaları; (a) 2 m'deki derinlik haritası , (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası, (d) 4 m'deki derinlik haritası



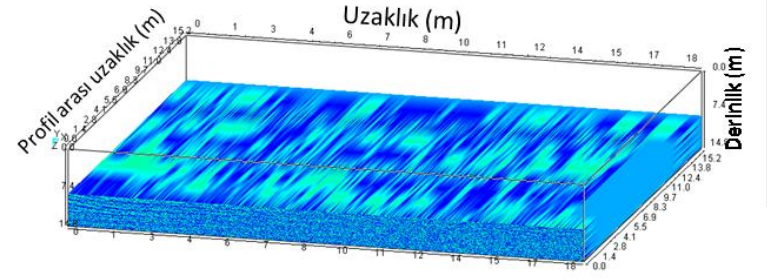
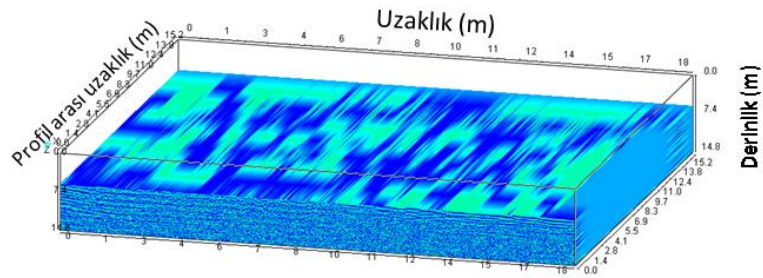
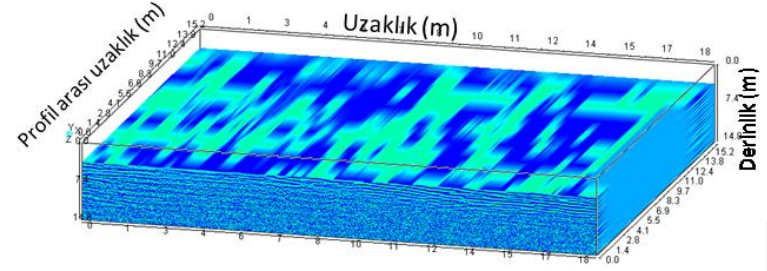
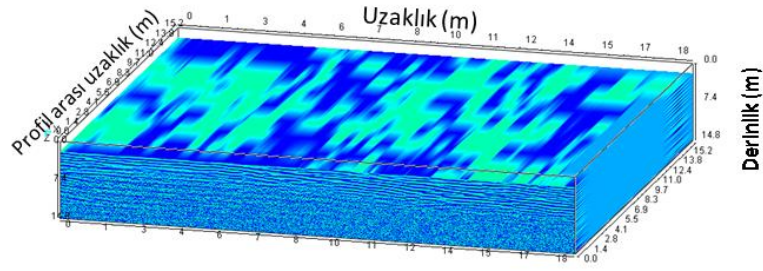
Şekil 3.55. Ocaküstü 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 40-55 m deki derinlik haritaları; (a) 2 m'deki derinlik haritası, (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası, (d) 4 m'deki derinlik haritası



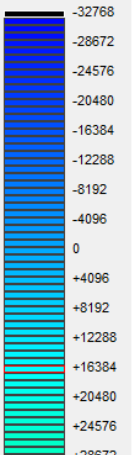
Şekil 3.56. Ocaküstü 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 5-20 m deki derinlik haritaları; (a) 2 m'deki derinlik haritası, (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası, (d) 4 m'deki derinlik haritası



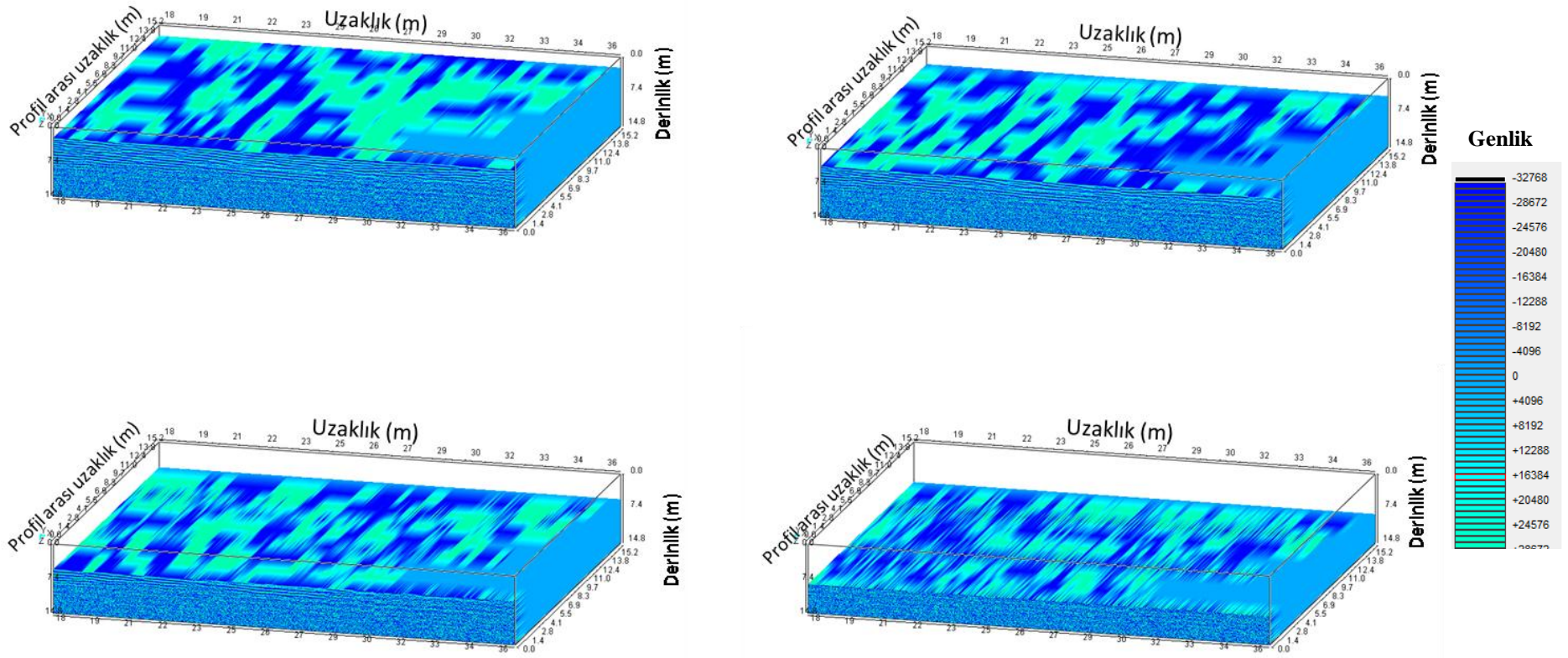
Şekil 3.57. Ocaküstü 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 20-36 m deki derinlik haritaları; (a) 2 m'deki derinlik haritası, (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası, (d) 4 m'deki derinlik haritası



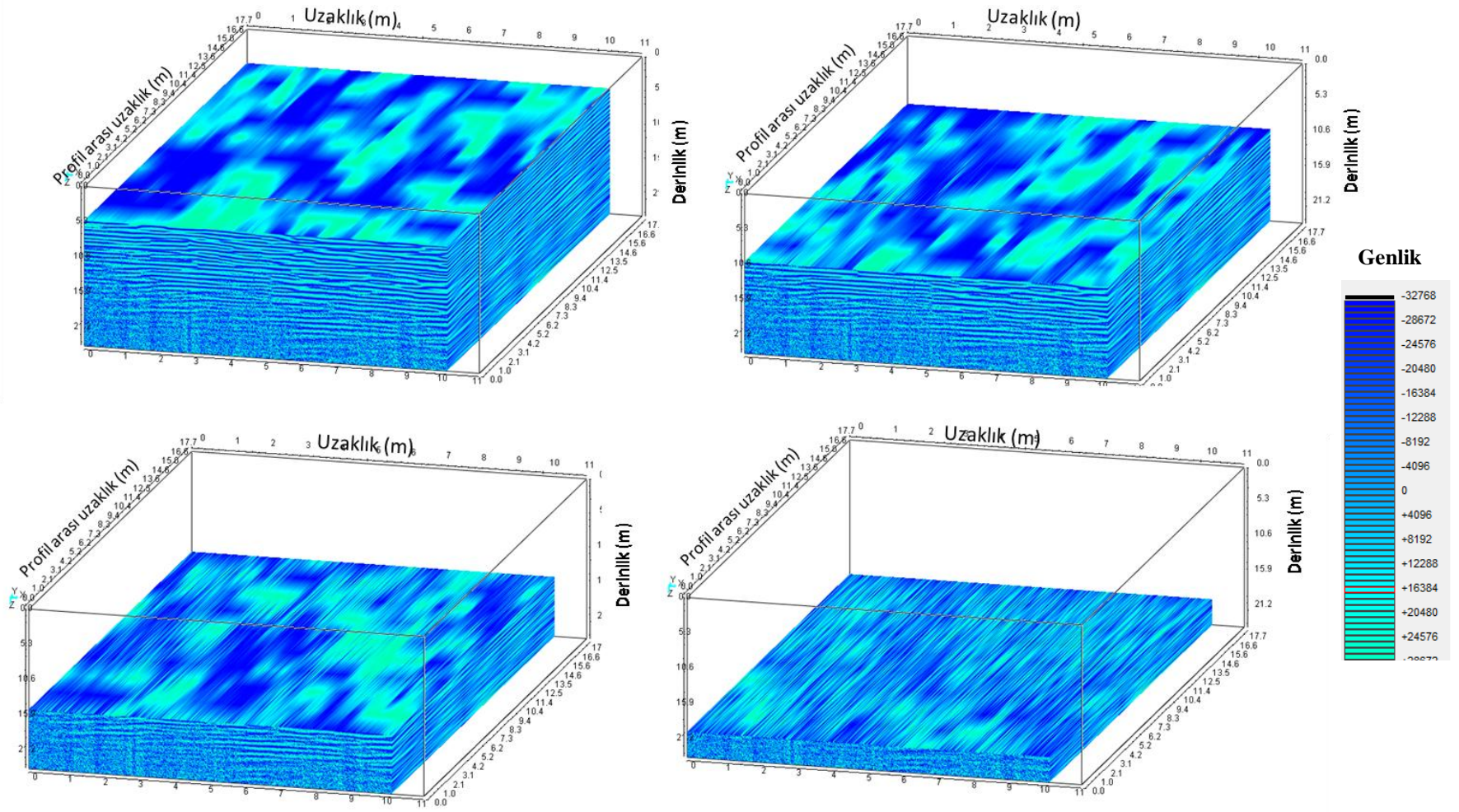
Genlik



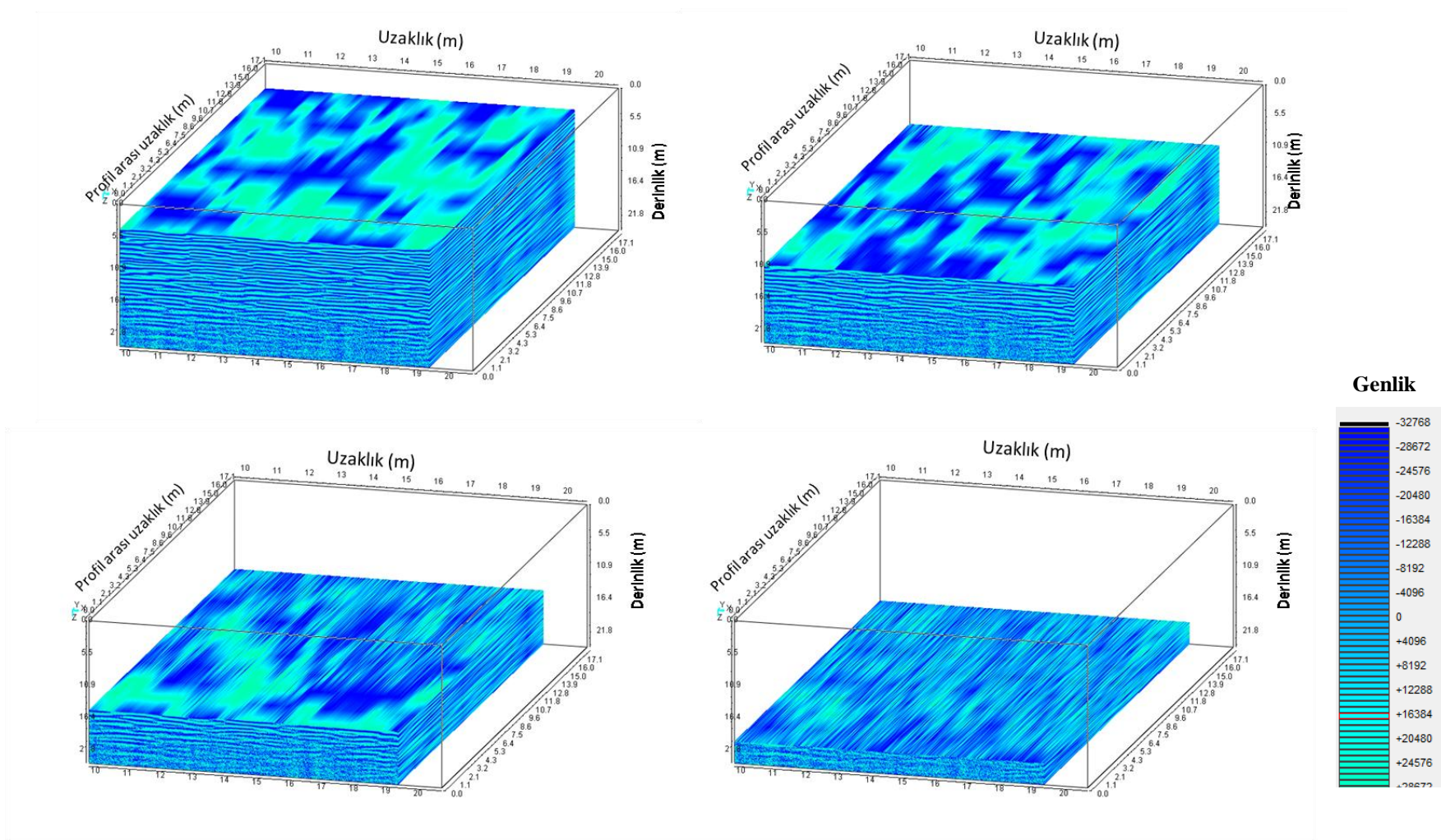
Şekil 3.58. Alarduç 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 0-18 m'deki derinlik haritaları; (a) 2 m'deki derinlik haritası, (b) 4 m'deki derinlik haritası, (c) 2 m'deki derinlik haritası, (d) 4 m'deki derinlik haritası.



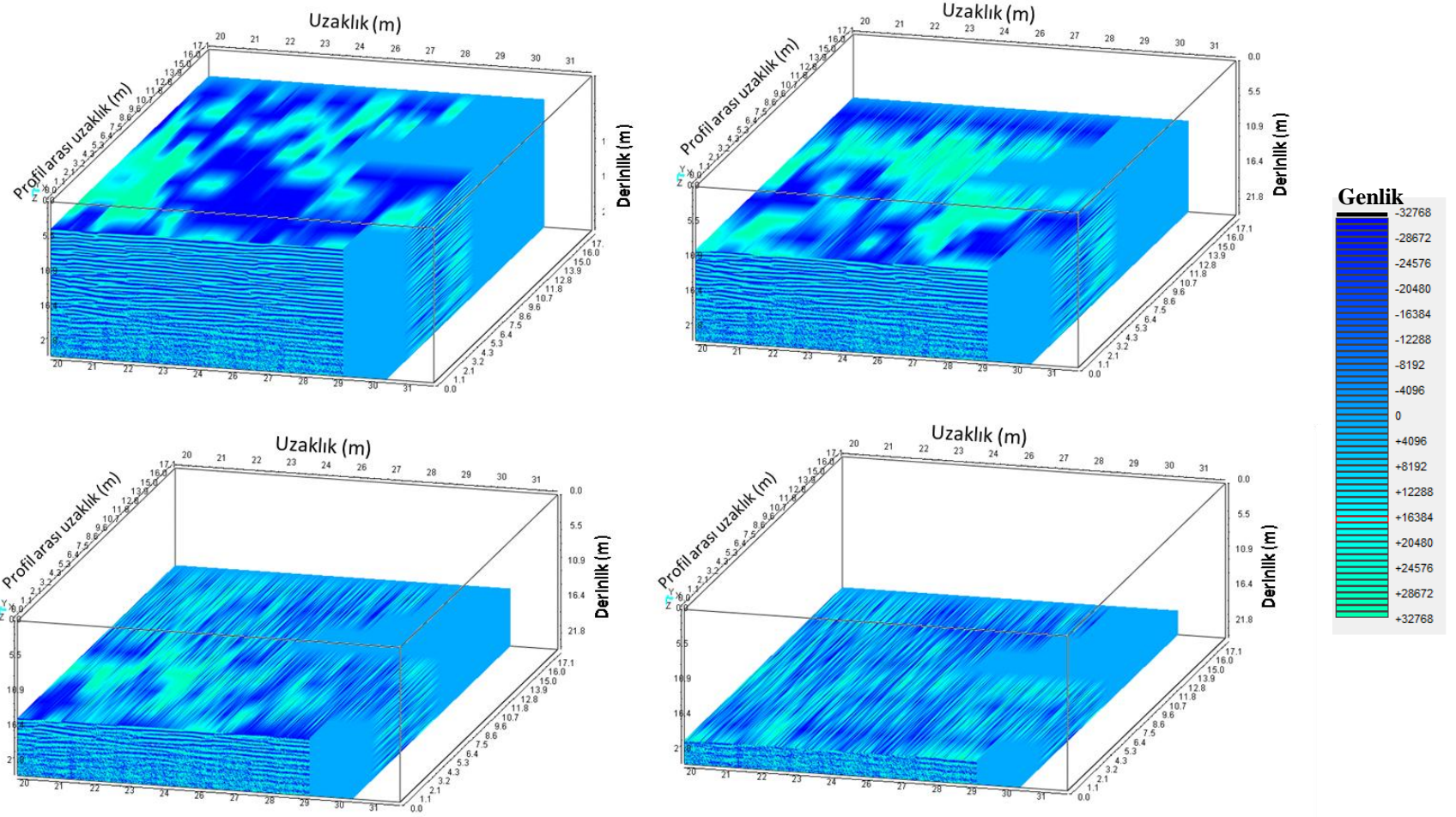
Şekil 3.59. Alarduç 1 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 18-36 m deki derinlik haritaları, (a) 2 m’deki derinlik haritası (b) 4 m’deki derinlik haritası, (c) 2 m’deki derinlik haritası (d) 4 m’deki derinlik haritası.



Şekil 3.60. Alarduç 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 0-10 m'deki derinlik haritaları; (a) 5 m'deki derinlik haritası, (b) 10 m'deki derinlik haritası, (c) 15 m'deki derinlik haritası, (d) 20 m'deki derinlik haritası



Şekil 3.61. Alarduç 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 10-20 m deki derinlik haritaları, (a) 5 m’deki derinlik haritası, (b) 10m’deki derinlik haritası, (c) 15 m’deki derinlik haritası, (d) 20 m’deki derinlik haritası



Şekil 3.62. Alarduç 2 sahasında XX modunda alınan GPR verilerinin 20-30 m deki derinlik haritaları; (a) 5 m'deki derinlik haritası (b) 10m'deki derinlik haritası, (c) 15 m'deki derinlik haritası, (d) 20 m'deki derinlik haritası

GPR verilerinden elde edilen 3B derinlik haritalarına bakıldığında Şekil 3.53- 3.55 arasındaki kesitler Ocaküstü 1 sahasında alınan verileri göstermektedir. Burada daha ayrıntılı çalışma için profil uzunluğu kısa tutulara 4-20 m, 21-36 m ve 40-45 m arasındaki uzaklıklarda 3 ayrı derinlik kesiti oluşturulmuştur. Her bir kesit için 2, 4, 6, 8 m derinliklerden kesilerek bu derinliklerdeki değişimler gözlenmiştir. Buradan Ocaküstü 1 sahasının 8 m lere kırıklı-çatlaklı olduğu görülmektedir.

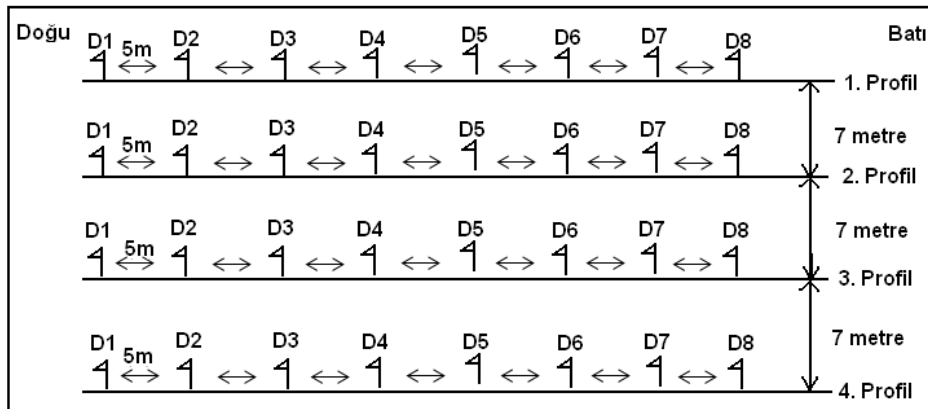
Şekil 3.56- 3.57 incelendiğinde bu şekiller Ocaküstü 2 sahasında alınan GPR verilerinin derinlik haritalarıdır. 5-20 m ve 20-36 m olmak üzere ayrı 2 profil uzunluğunda ve 2, 4, 6, 8 m derinliklerde derinlik haritaları elde edilmiştir.

Şekil 3.58- 3.59 Alarduç 1 sahasından elde edilen derinlik kesitlerini göstermektedir. Burada profil uzunlukları 0-18 m, 18- 36 m olarak alınmıştır ve bu saha için de 2, 4, 6, 8 m derinliklerinde derinlik haritaları oluşturulmuştur.

Şekil 3.60- 3.62 Alarduç 2 sahasından profil uzunlukları 0-10 m, 10- 20 m ve 20-30 m olarak alınan derinlik kesitlerini göstermektedir ve bu saha için de 2, 4, 6, 8 m derinliklerinde derinlik haritaları oluşturulmuştur.

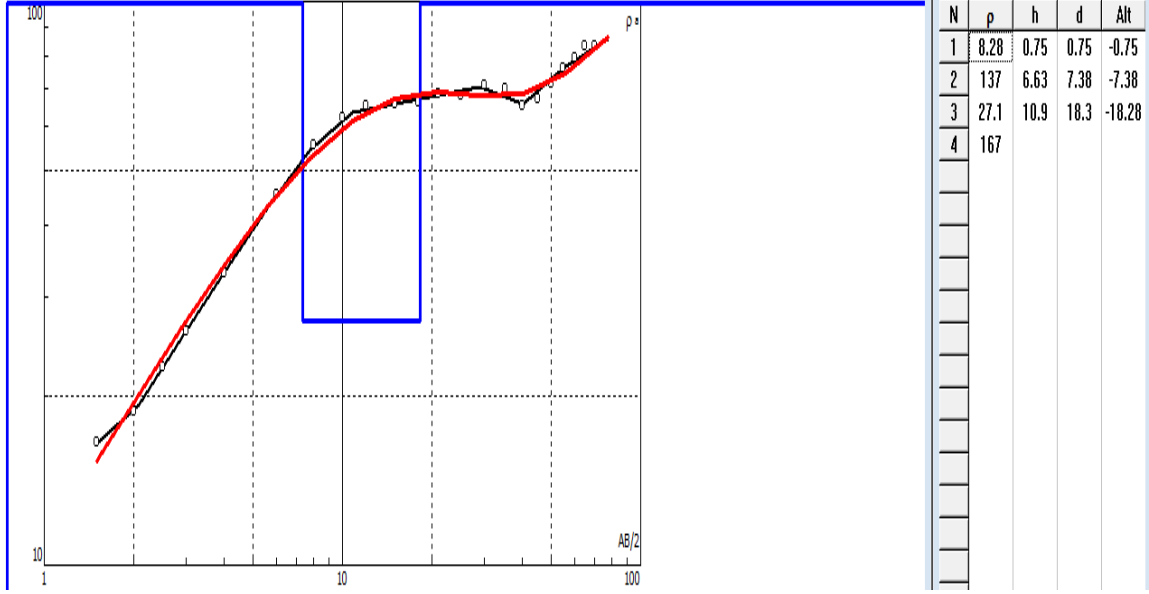
3.8. Elektrik Özdirenç Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu tez kapsamında Ocaküstü 2 olarak adlandırılan inceleme alanında yaklaşık birbirine paralel doğu-batı yönlü 4 profil üzerinde her bir profile 8 düşey elektrik sondaj (DES) noktası seçilerek 32 noktada DES verileri ölçülmüştür (Şekil 3.53).



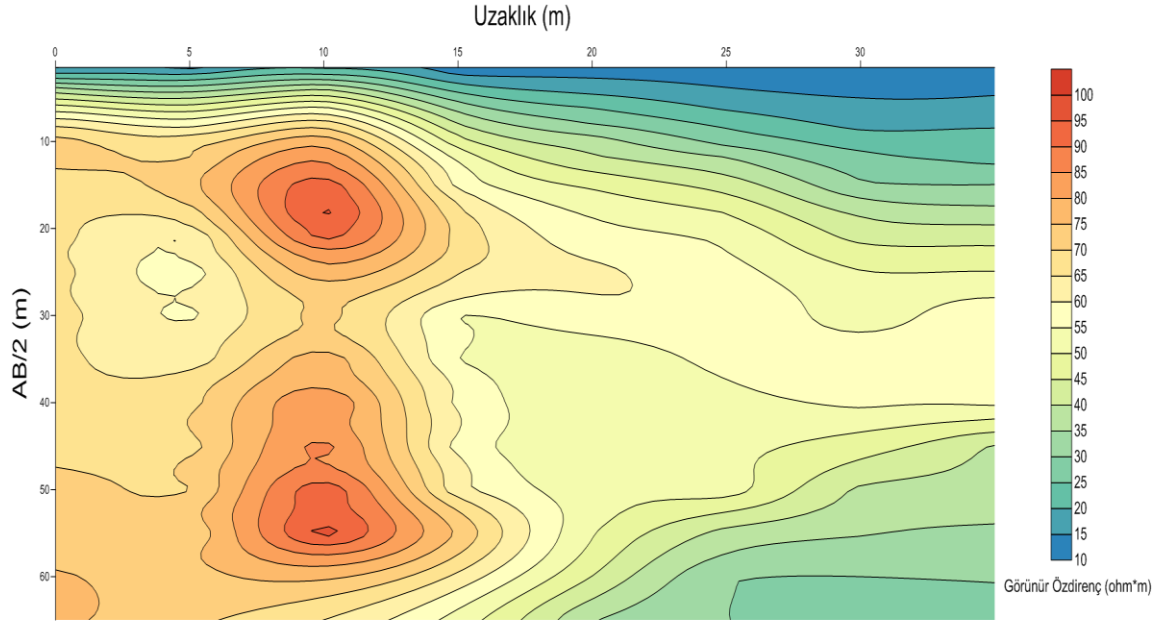
Şekil 3.63. DES noktaları krokisi

DES ölçülerinde AB/2 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6, 8, 10, 12,15, 18, 21, 25, 30, 35, 40, 45, 50 m olarak seçilmiştir. Bu ölçülerden elde edilen profillere ait AB/2-derinlik kesitleri sırasıyla şekil 3.63-3.66' da verilmektedir.



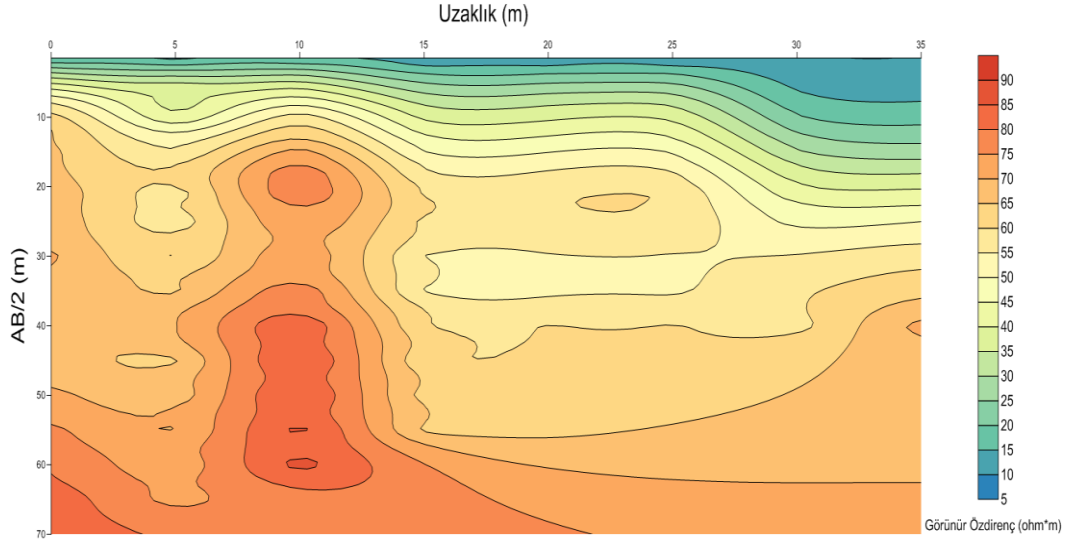
Şekil 3.64. 2.profile ait düşey elektrik sondajı eğrisi örneği

Şekil 3.54'te IP2WIN programından elde edilen düşey elektrik sondaj eğrisi ve tabaka kalınlıkları görülmektedir. Burada siyah ile gösterilen eğri ölçülen, kırmızı ile gösterilen de hesaplanan DES eğrisidir.



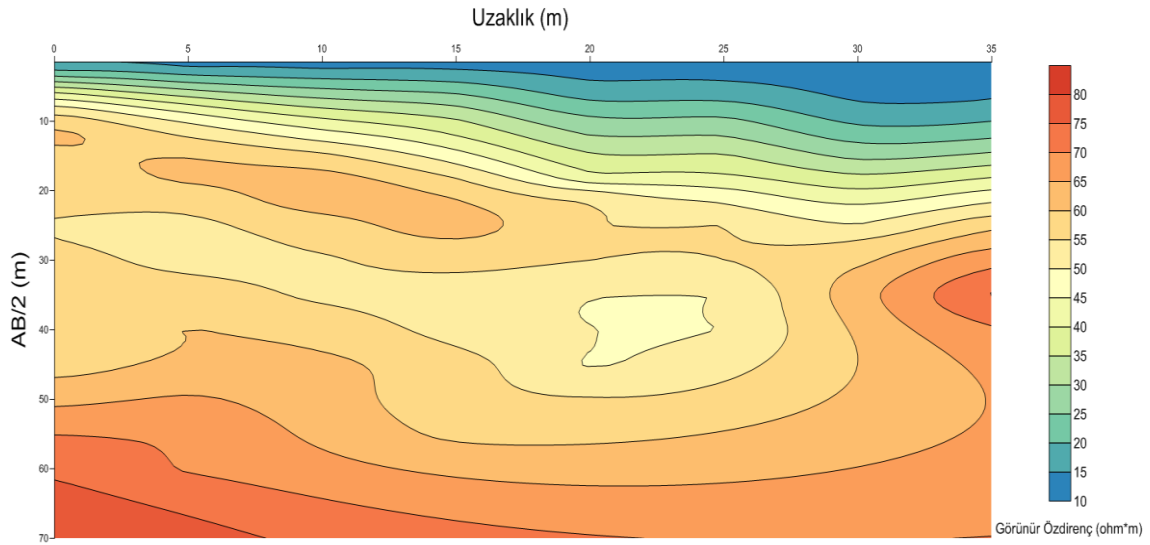
Şekil 3.65. 1.profil 'e ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-Derinlik kesiti

1.profilinden elde edilen AB/2- derinlik kesiti incelendiğinde yaklaşık 4-5 m lere kadar çok düşük özdirenç değerler gözlenmiştir. Profil boyunca 10 m uzaklığında düşey yönde 2 tane çok yüksek özdirençli kapanım dikkat çekmektedir. Bu kapanımlar 10 m yatay genişlikte ve 15-20 m derinliklerde yer almaktadırlar. Bunların dışında kesite genel olarak 65-70 ohm.m özdirenç sahiptir (Şekil 3.65).



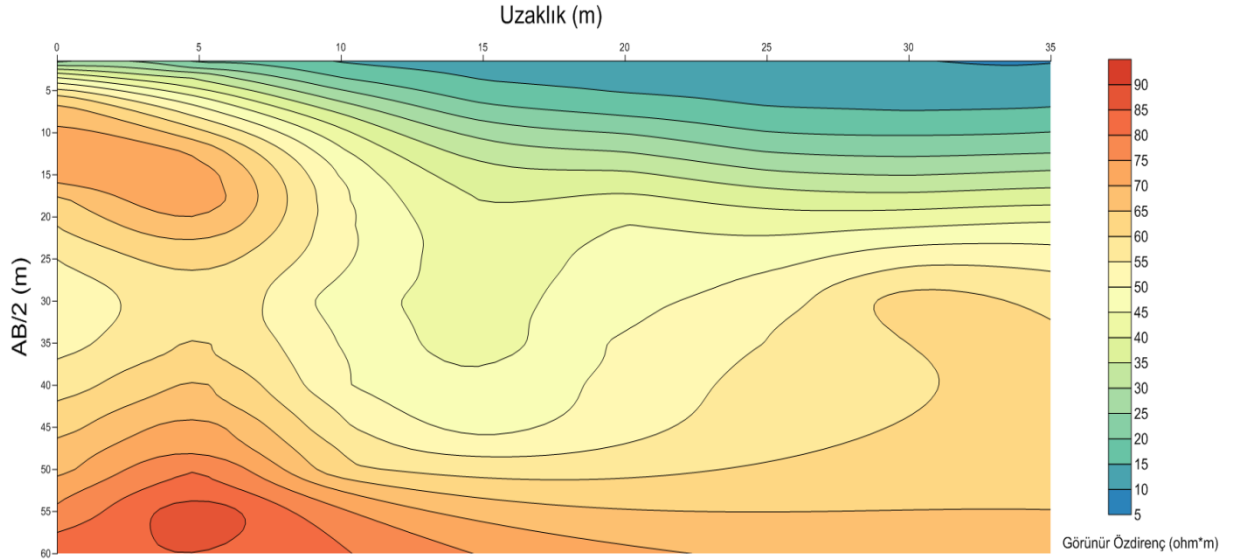
Şekil 3.66. 2.profil 'e ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-Derinlik kesiti

2.profilinden elde edilen AB/2- derinlik kesiti incelendiğinde 1.profilde gözlenen yaklaşık 4-5 m lere kadar çok düşük özdirenç değerler burada da gözlenmektedir. Bu profil boyunca da 10 m uzaklığında düşey yönde 2 tane çok yüksek özdirençli kapanım göze çarpmaktadır. Ancak bu kapanımların boyutları 1.profildeki boyutlardan farklıdır. Bu kapanımlar 10 m yatay genişlikte ve 15-30 m derinliklerde yer almaktadırlar. Bunun dışındaki kısımlarda kesit ortalama olarak 65-70 ohm.m özdirençle sahiptir (Şekil 3.66).



Şekil 3.67. 3.profil 'e ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-Derinlik kesiti

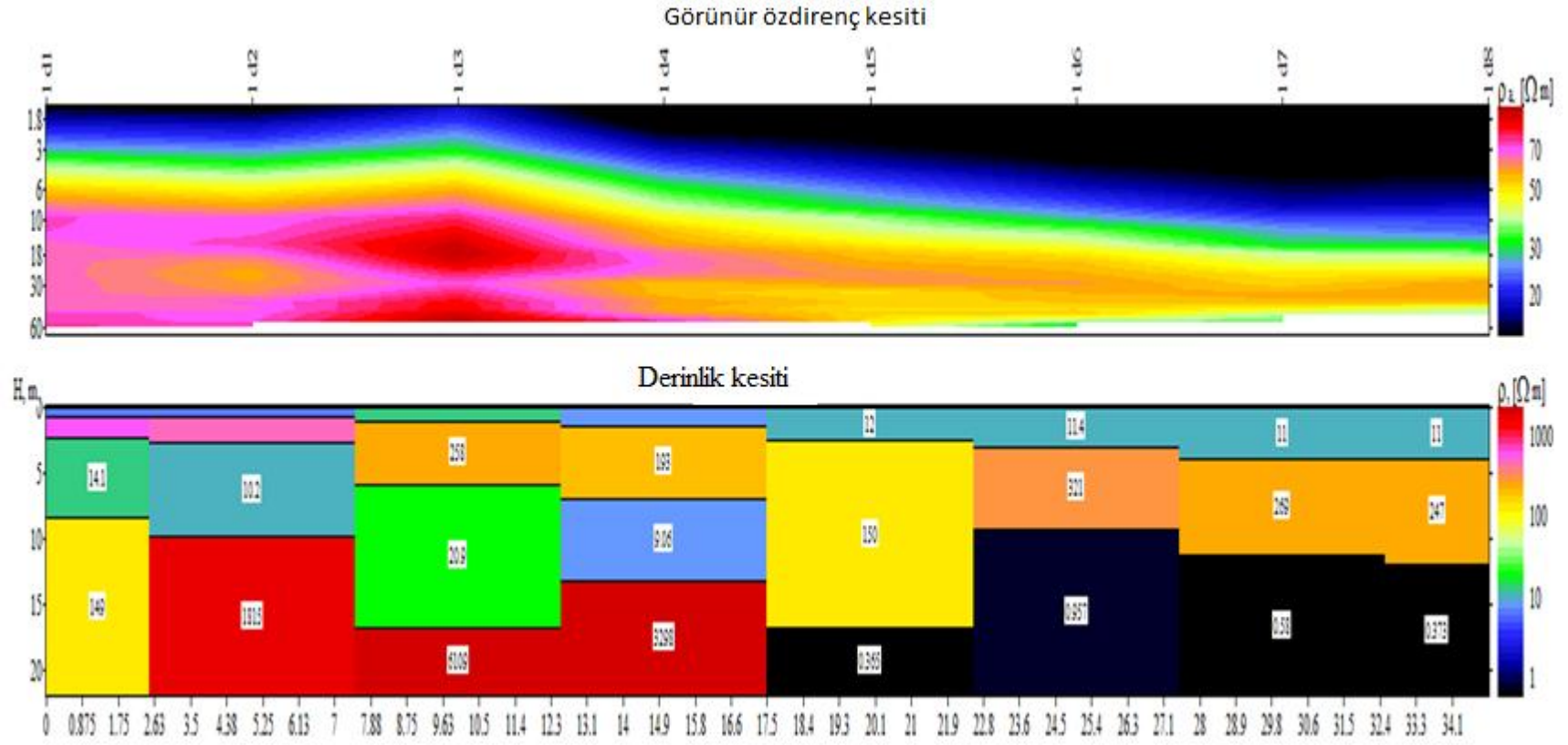
DES verilerinden elde edilen 3.profilde bakıldığında 1. ve 2. Profillerdeki çok yüksek özdirençli kapanımlar burada görülmektedir. Bu profilde 10 m derinlikten sonra tüm profil boyunca çok yüksek özdirenç değerler görünmektedir (Şekil 3.67).



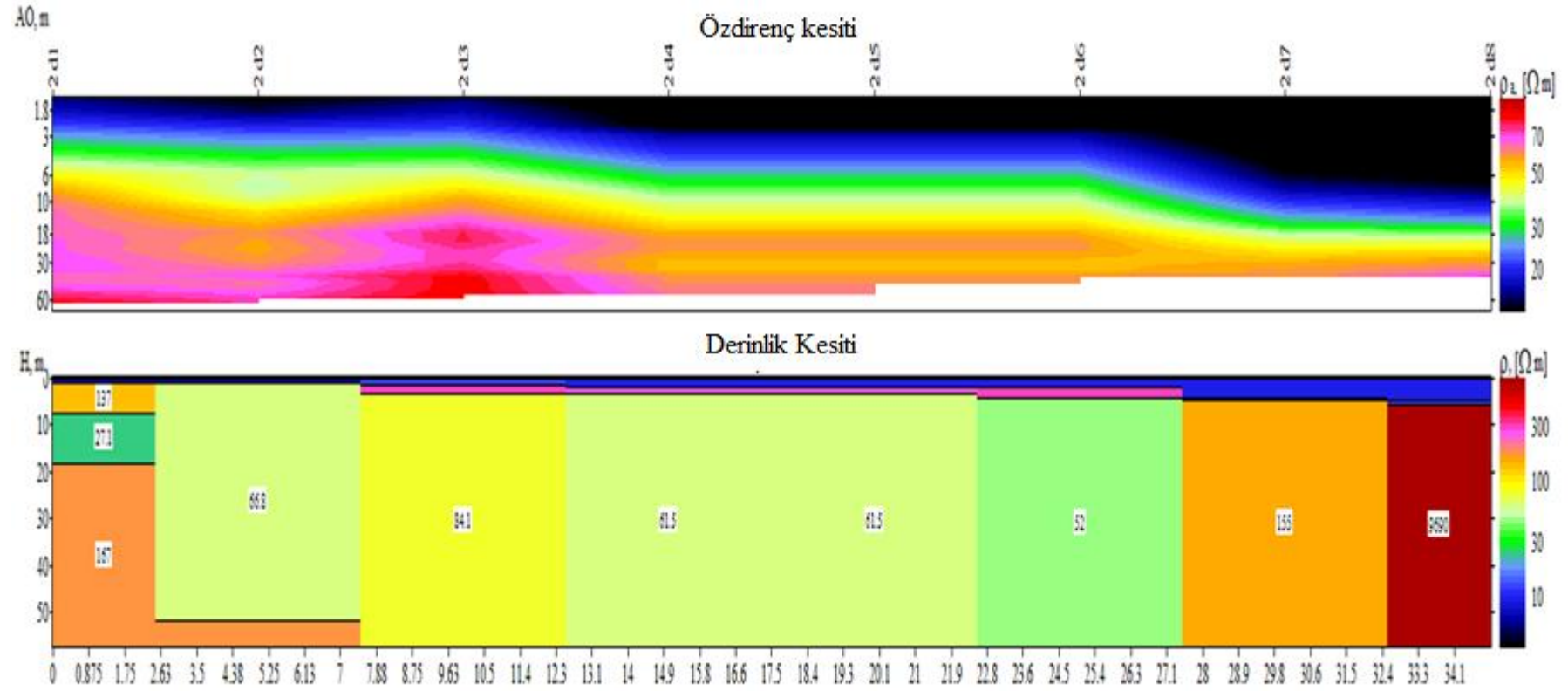
Şekil 3.68. 4.profil 'e ait tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen AB/2-Derinlik kesiti

4.profil incelendiğinde burada da 4-5 m derinliklere kadar çok düşük özdirenç değerleri gözlenmiştir. 8 m yatay genişlikte, yaklaşık 5-10 m derinliklerde ve 10 m yatay genişlikte yaklaşık 20 m lerede olmak üzere iki tane çok yüksek özdirençli kapanım dikkat çekmektedir (Şekil 3.68).

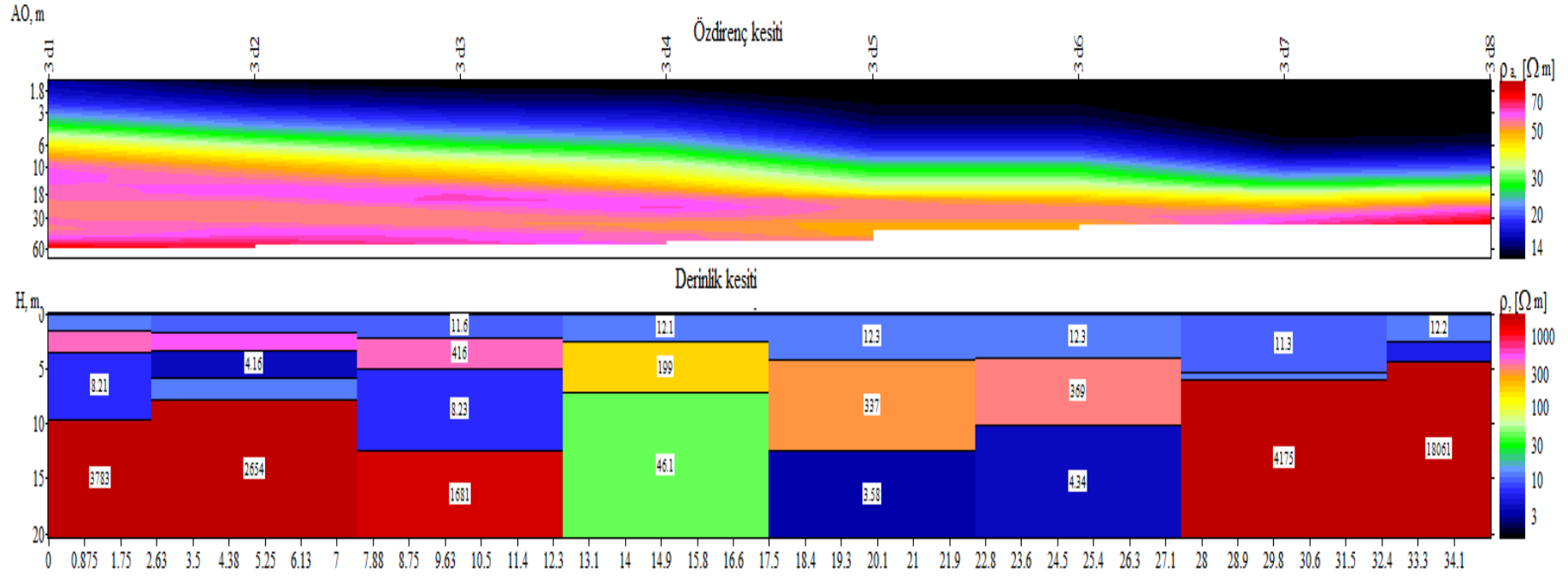
Bir profil üzerindeki tüm DES verilerinin birleştirilip ters çözülmesi sonucu elde edilen gerçek derinlik kesitleri sırasıyla Şekil 3.69 b -3.72 b arasında verilmiştir.



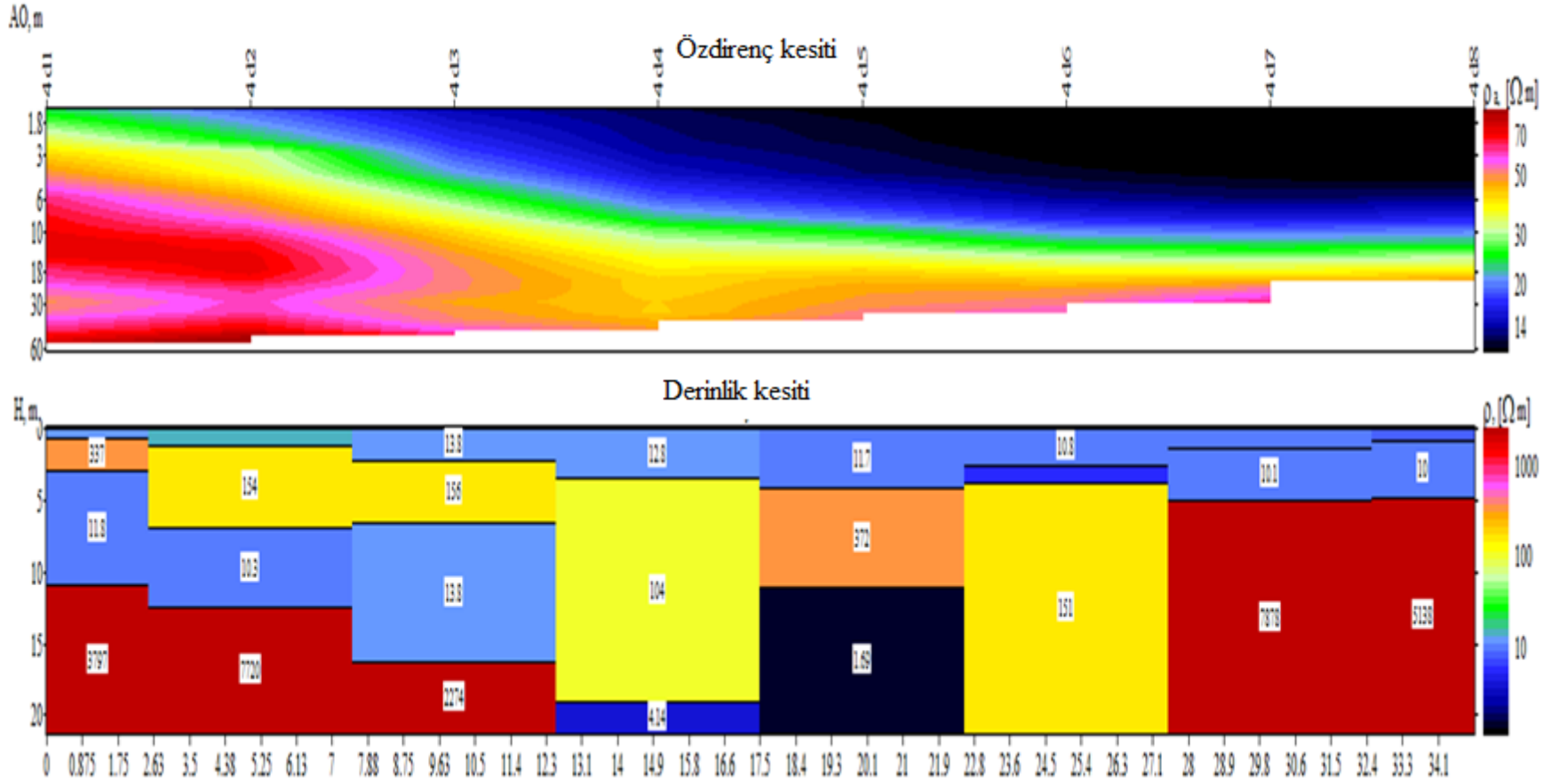
Şekil 3.69. (a) Profil 1 için elde edilen tüm DES verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür öz direnç kesiti. (b) Görünür öz direnç kesitinin ters çözümünü elde edilen derinlik kesiti



Şekil 3.70. (a) Profil 2 için elde edilen tüm DES verilerinin çözümlerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür özdirenç kesiti. (b) Görünür özdirenç kesitinin ters çözümüyle elde edilen derinlik kesiti



Şekil 3.71. (a) Profil 3 için elde edilen tüm DES verilerinin çözümlerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür özdirenç kesiti. (b) Görünür özdirenç kesitinin ters çözümüyle elde edilen derinlik kesiti



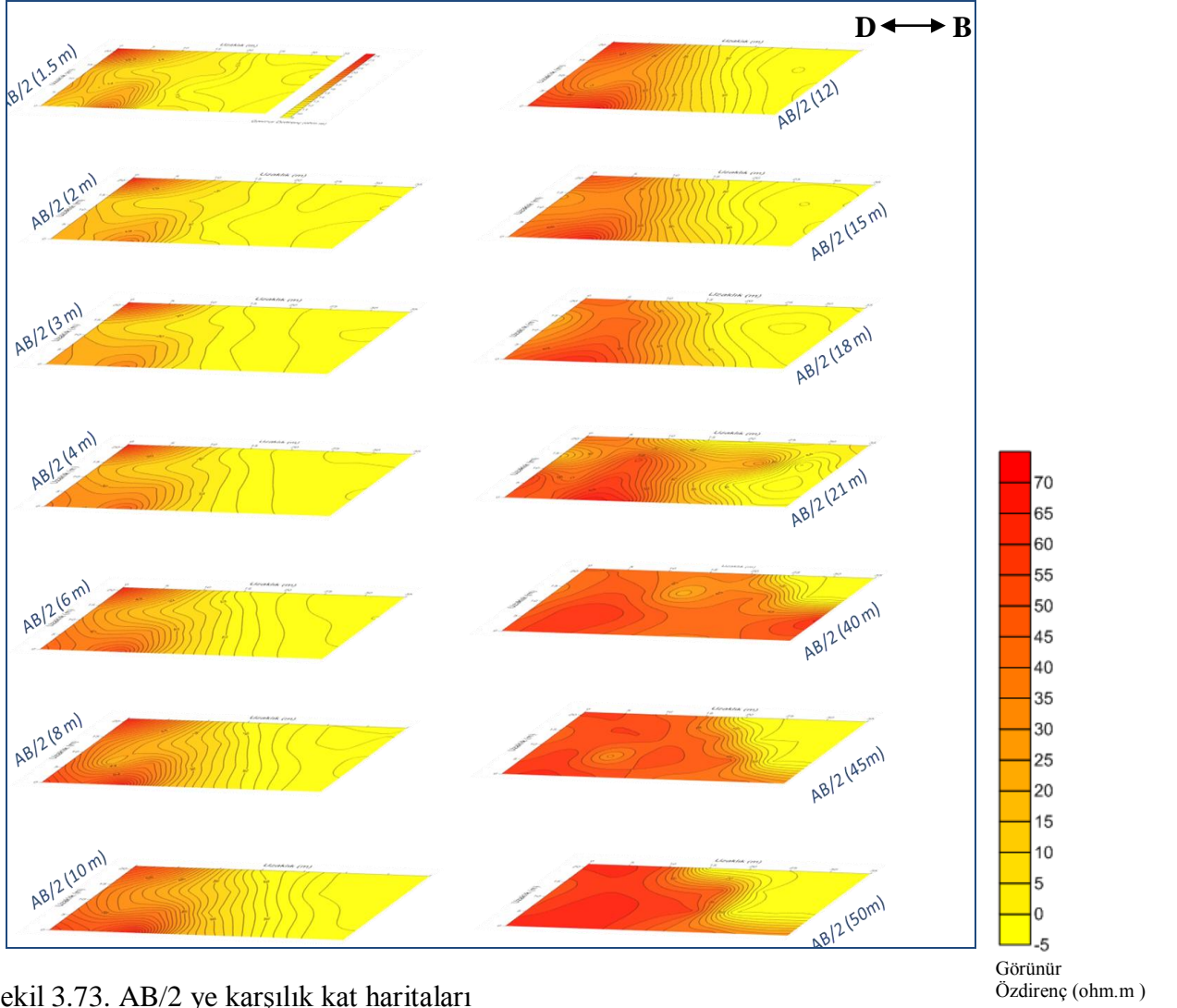
Şekil 3.72. (a) Profil 4 için elde edilen tüm DES verilerinin çözümlerinin birleştirilmesiyle elde edilen görünür özdirenç kesiti. (b) Görünür özdirenç kesitinin ters çözümüyle elde edilen derinlik kesiti

Şekil 3.69 b (Profil 1) kesiti incelendiğinde 1. profil genel olarak 3 tabakalı bir yer altı modeli görünümündedir. Ancak tabakalar yanal olarak heterojen bir yapıya sahiptirler. 1. tabaka 10-12, 2. tabaka 150-321 ohm.m değerler tespit edilmiştir. Bu modelin en alt tabakasının yanal olarak özdirenç değişimi çok büyük farklılıklar göstermektedir. Profil boyunca 17.5- 34 m ler arasında 0.3-0.9 ohm.m özdirenç aralığından değerler tespit edilmiştir.

Şekil 3.70 b (Profil 1) kesiti incelendiğinde bu profilde genel olarak 2 tabakalı bir yer altı yapısı elde edilmiştir. 1. tabaka 10-12, 2. tabaka 52-300 ohm.m olarak kesitte görülmektedir. Bu modelin en alt tabakasında 32-34 m yatay uzaklıkları arasında çok büyük bir özdirenç (9400 ohm.m) değişimi göze çarpmaktadır.

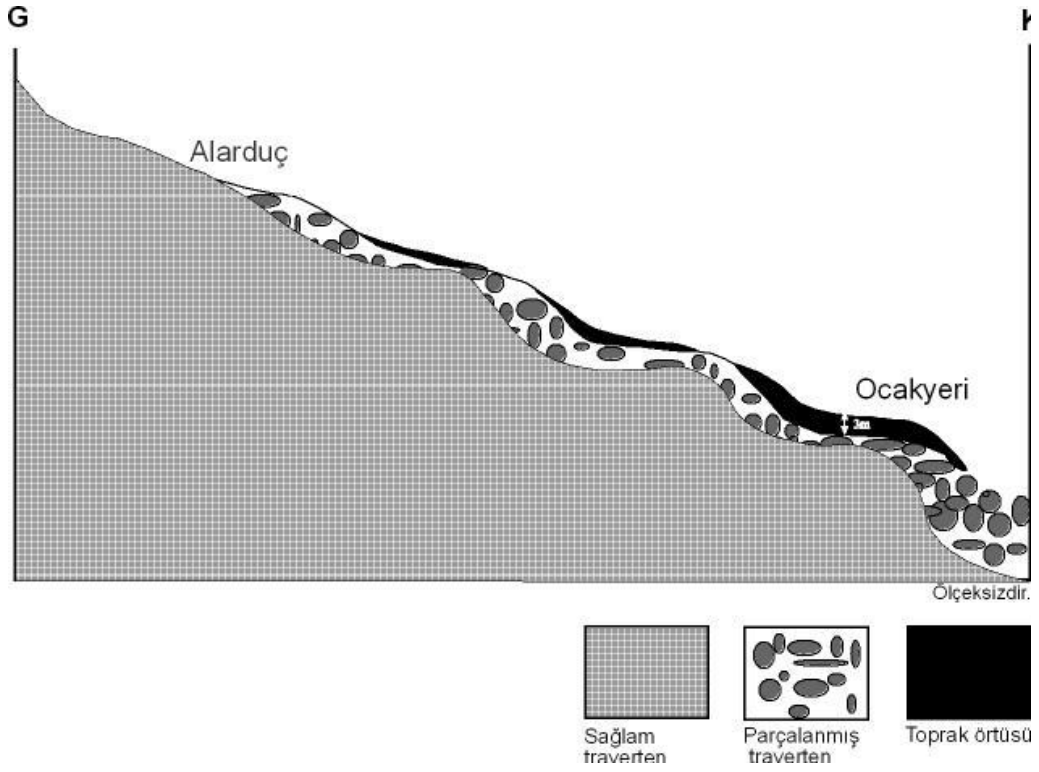
Şekil 3.71 b kesiti incelendiğinde bu profilde genel olarak yer altı tabakası 3 tabaka olarak belirlenmiştir. 1. tabaka 11-12, 2. tabaka 52-300 ohm.m olarak kesitte görülmektedir. Bu modelin en alt tabakasında farklı yatay uzaklıklar (0-12 m, 28-34 m) arasında çok büyük bir özdirenç (200-3000 ohm.m, 4700-18000 ohm.m) değişimleri göze çarpmaktadır.

Şekil 3.72 b kesiti incelendiğinde profilin genel olarak 3 tabakalı bir yer altı modeline sahip olduğu görünmektedir. Burada da tabakalar yanal olarak heterojen bir yapıya sahiptirler. 1. tabakada 10-13, 2. tabakada 100-300, 3. tabakada 150-400 ohm.m özdirenç değerleri belirlenmiştir. Bu modelin de en alt tabakasının yanal olarak özdirenç değişimi çok büyük farklılıklar göstermektedir. Profil boyunca 0-12 m arasında 2000-7000 ohm.m, 17.5- 21 m arasında 1,48 ohm.m, 28-34 m arasında da 5000-7000 ohm.m özdirenç aralığından değerler tespit edilmiştir.



Şekil 3.73. AB/2 ye karşılık kat haritaları

AB/2 değerlerine göre çizilen kat haritalarına bakıldığında profillerin hepsinin ilk kısımları çok yüksek özdirenç değerlerine sahiptir. Bu yüksek özdirenç değerleri yaklaşık 15 m uzaklıktan sonra düşmeye başlamıştır. AB/2 12 m den daha büyük olduğu zamanlarda (15, 18, 21, 40, 45, 50 m) yüksek özdirenç değerleri 30 m lere kadar gitmektedir. Kat haritalarına genel olarak bakıldığında yapının devamlılık gösterdikleri söylenebilir (Şekil 3.73).



Şekil 3.74. Kıratlı travertenlerinin jeofizik verilere göre güncel konumu

Şekil 3.74'te elde edilen jeofizik verilerden sonra çalışma yöresinde oluşan travertenlerin basamak şeklinde olduğu, uç kısımlarının kırıldığı görülmektedir. Parçalanmış traverten bloklarının alt kısmında sağlam traverten yapıları gözlenmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yer radarı mermer ocaklarında kırık ve çatlakların belirlenmesi ve haritalanmasında başarılı sonuçlar vermektedir. Ticari olarak pazarlanabilir mermer bloklarının kırıklı ve çatlaklı olan bloklardan kolayca ayrılmasını üretim öncesinde sağlayabilmesi mermer ocak işletmeciliği açısından çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Uygulanmasının kolay ve çok hızlı olması, yüzeyden ve tahribatsız olarak uygulanabilmesi önemli avantajlarındandır.

Mermer ocaklarının içerisindeki kontrolsüz süreksizlikler verimi düşüren başlıca etkidir. Bunları değiştirme olanağı yoktur. Ancak işletilmesi düşünülen mermer ocağındaki birimin kalınlığı, içermiş olduğu süreksizliklerin (kırık, çatlak, boşluk) sıklık mesafeleri, doğrultuları ayna açılmadan önce belirlenirse işletme maliyetini ve öngörülmeyen zararları önemli ölçüde aza indirecektir. Bu çalışma ile ocağın mevcut süreksizliklerinin konumu ve uzunlukları birimin kalınlığı ile birlikte belirlenmiştir. Böylece mermer ocak işletmelerine yararlı örnek teşkil edeceği ve bu uygulama ile ülke ekonomisine önemli kazançlar sağlayacağı açıkça ifade edilebilir.

İlk çalışma sahasında yapılan ölçümlerin veri-işlem aşamalarından geçirildikten sonra değerlendirmesinde; 100 MHz antenle toplanan bütün kesitlerde 0-4 m derinliğinde bir örtü tabakası göze çarpmaktadır. Ayrıca kesitlere genel olarak bakıldığında 1-10 m uzaklıklarda 3-11 m derinliklerde yer yer yönelimi değişen yüksek genlikli yansıtıcı sınırlar dikkat çekmektedir. Bunlar kesitler üzerinde oklar, daire ve dikdörtgen şekillerle belirtilmiştir. Bu yansıtıcı sınırların hakim kayalık içerisindeki kırık-çatlak ve ayrışmalara karşılık geldiği düşünülmektedir. Traverten malzeme çıkarımı esnasında bu lokasyonlara gelindiğinde ocak yöneliminde verimli sonuçlar elde edilemeyeceği düşünülmektedir.

İkinci çalışma sahasında araştırma alanındaki yer altı yapısının aşırı kırıklı, parçalı bloklarca zengin bir yapı görünümüne sahip olduğu anlaşılmıştır. Alarduç 1 sahasında yaklaşık 15 m derinliğe kadar radar kesitleri görüntülenebilmiştir. Alarduç 2 sahasında 20-25 m derinliklere kadar inilerek yoğun bir şekilde kırık-çatlak sistemi görülmektedir. 250 MHz antenle toplanan ölçümlere bakıldığında yaklaşık 6 m nüfuz derinliğine ulaşılmıştır ve buradaki yapı çok karmaşıktır. Tam ocaküstünde 250 MHz antenle alınan ölçümlerde açılan ocağın fotoğrafı ile karşılaştırıldığında birebir uyum sağladığı görülmektedir.

GPR kesitlerinin birleştirilmesi ile elde edilen 3 boyutlu görüntülere bakıldığında farklı derinliklerde kırıklı-çatlaklı blokların, sağlam olmayan, ayrılmış yapıların yanıl devamlılıkları görüntülenebilmiştir.

DES verileri incelendiğinde öncelikle uzaklığa göre AB/2 değerlerine göre kesit çıkarılmıştır. Bu DES kesitlerinde kırmızı ile gösterilen kısımların yüksek özdirençli sağlam yapılar olabileceği düşünülmekte ve işletmecinin buralardan verimli malzeme çıkarabileceği önerilmiştir. Ancak bu kesitlerdeki düşey eksen AB/2 olduğu için gerçek derinlik bilgisi sağlamamaktadır. Bu eksenleri derinliğe dönüştürmek için ters çözüm işlemi uygulanmıştır. Buradan elde edilen derinlik kesitlerinde genel olarak 3 tabakalı olarak görünen bu yer altı modellerinde tabakalar yanıl olarak heterojen bir yapıya sahiptirler. 1. Tabakanın özdirenç değerlerine bakıldığında buranın nemli killi toprak olduğu sonucuna varılmıştır. 2. tabakanın çatlakları nemli toprakla dolmuş çok kırıklı kayaç olduğu düşünülmektedir. Bu modellerin hepsinin en alt tabakasının yanıl olarak özdirenç değişimi çok büyük farklılıklar göstermektedir. Profil 1 de oldukça yüksek özdirenç değişimi tabakanın 2-17 m uzaklık aralıklarındaki kısmın masif-sağlam bir traverten bölgesi olduğu düşünülmektedir. Profil boyunca 17.5- 34 m ler arasında ise oldukça düşük (0.3-0.9 ohm.m) kısmın ayrılmış, kırıklı çatlaklı bir yapı görünümündedir. Profil 2 de 32-34 m uzaklık aralıklarındaki özdirenç değerlerine bakıldığında sağlam-masif bölge gözlenmektedir. Profil 3'ün en alt tabakasinda farklı yatay uzaklıklar (0-12 m, 28-34 m) arasında çok büyük özdirenç (200-3000 ohm.m, 4700-18000 ohm.m) değişimlerine sebep olan yerlerin verimli olduğu düşünülmektedir. Profil 4 boyunca 0-12 m arasında ve 28-34 m arasındaki özdirenç değerlerinden de bu kısım sağlam-masif olarak değerlendirilmiştir.

DES verilerinden elde edilen kat haritalarında incelenen yeraltı yapısının düşey ve yanıl yönde özdirenç değişimi belirlenmiştir. Bu haritalar incelendiğinde derinliğe göre yüksek özdirençli bölgenin batıya doğru genişlediği gözlenmektedir. Bu da masif yapının derinliğe bağlı olarak yayılım sınırlarını belirtmektedir.

İşletilmekte olan traverten ocağının devamının ne yönde olması gerektiği sorusunun yanıtı için; bu tez kapsamındaki ilk inceleme sahası olan Ocaküstü 'nde iki farklı alanda yapılan GPR çalışması sonuçları işletmeciye sunulmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda tespit edilen kırıklı-çatlaklı ve ayrılmış verimsiz traverten yapılarının oldukça yaygın olmasından dolayı burada ocak işletilmesi durdurulmuştur. GPR yöntemi ile bu alanda yaklaşık 12 m lere kadar görüntü sağlanmıştır. Daha derinde yapının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

için DES yöntemi uygulanmış ve yaklaşık 25 m derinliğe kadar bilgi sağlanmıştır. Elde edilen kat haritalarından AB/2'nin 21 m (yaklaşık 12 m derinlik) olduğu seviye ve bunun alt kısımlarında çok yüksek özdirençli oldukça sağlam endüstriyel hammadde kalitesinin yüksek olabileceği yapının çok geniş bir alana yayıldığı gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak ocağın derinlik yönünde genişletilmesi önerilmiştir.

Ocak açılması planlanan Alarduç mevkiindeki çalışma sahasından elde edilen GPR veri sonuçlarına Alarduç 1 inceleme alanında yaklaşık 2-6 m derinlikleri arasında gözlenen yüksek genlikli bir yansıtıcı sınırın geniş boyutlu ana bir kırık olduğu düşünülmektedir. Ocak açıldığında bu kısımlarda geniş parçalanmış yapıya girileceği işletmeciyeye önerilmektedir. Ayrıca profil boyunca 0-10 m uzaklıkların altına denk gelen yerlerde, yüzeyden başlayarak derine doğru sağlamlaşan yapıların varlığı, 10 m uzaklıktan sonra ise 6 m derinliklerin altında bu yapının devamı olabilecek kısımlardan kaliteli hammadde üretilebileceği de belirtilmiştir. Alarduç 2 inceleme sahasında ise radargramlarda profil başlangıçlarından 10 m uzaklığa kadar uzanan kısımlarda Alarduç 1 sahasındaki derine doğru sağlamlaşan yapının devamlılığı görülmektedir. Bu uzaklıktan itibaren yaklaşık 20 m derinliklere kadar inceleme sahasının aşırı kırıklı-çatlaklı bir yapı göstermektedir. Alarduç 2'de bu kısımların işletilmesinin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yapılan jeofizik incelemelerin sonucuna göre elde edilen travertenlerin güncel konumları açıklanmıştır. Buna göre Kıratlı köyü civarında oluşan travertenler ilksel konumlarını çoğunlukla korumuş olmalarına rağmen traverten basamaklarının sonradan uğradıkları tektonik etkiler nedeniyle uç kısımları kısmen parçalanarak bir alttaki basamağın üzerine doğru yuvarlanmışlardır. Bu nedenle traverten basamaklarının üst kesimleri bu bloklar bakımından oldukça zengindir. Bu bloklu seviyelerin alt kesimleri ve traverten basamaklarının uç kısımları oldukça sağlam yapıdadır. Dolayısıyla bu yörede yapılan ve/veya yapılacak olan ocak işletmesinin bu özellikler göz önüne alınarak çalışması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Aloğlu, S, 2006. Zemin Etüdü Sondaj Bulgularının Sismik Ve Yer Radarı Gibi Tekniklerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Alp, İ., Gelişli, K., Yılmaz, A., O., Kaya, R., Çavuşoğlu İ., 2003. Mermer İşletmeciliğinde Yer Radarı (Gpr) Uygulamaları, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003.
- Annan, A.P., 1973. Radio Interferometry Depth Sounding: Part I – Theoretical discussion. Geophysics, 38, 557–580.
- Annan, A.P., Waller, W.M., Strangway, D.W., Rossiter, J.R., Redman, J.D. ve Watts, R.D., 1975. The electromagnetic response of a low-loss, 2-layer, dielectric earth for horizontal electric dipole excitation. Geophysics, 40, 2, 285–298.
- Annan, A. P., Davis, J. L. ve Gendzwill, D., 1988. Radar Sounding in Potash Mines, Geophysics, 53, 1556-1564.
- Annan, A. P., 1992. Ground penetrating radar workshop notes. Mississauga.
- Annan, A. P., 2001. Ground penetrating radar workshop notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.
- Aspinall, A. and Lynam, J. T., 1970. An Induced Polarization Instrument for the Detection of Near Surface Features. Prospez. Archaeol., 5, 67-75.
- Barker, R.D., White, C.C., Houston, J.F.T., 1992. Borehole Siting in An African Accelerated Drought Relief Project, In: Wright, E.P., e Burgess, W.G. (Eds.), Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa, Geological Society Special Publication, 66, 183–201.
- Başokur, A.T. 1984. Düşey elektrik sondajı, TPAO yayınları.
- Başokur, A.T., 1994. Definitions of Apparent Resistivity for the Presentation of Magnetotelluric Sounding Data, Geophysical Prospecting, 42, 2, 41-150.
- Bhattacharya, P.K. and Patra, H.P., 1968. Direct Current Geoelectric Sounding Principles And Interpretation, Elsevier Publishing Company ,Amsterdam,London
- Brizzolari, E. and Bernabini, M. 1979. Comparison Between Schlumberger Electrode Arrangement and Some Focused Electrode Arrangements in Resistivity Profiles. Geophysical Prospecting, 27, 233-244.

- Candansayar, M.E. and Basokur, A.T. 2001. Detecting Small-Scale Targets by the 2d Inversion of Two-Sided Three-Electrode Data: Application to an Archaeological Survey. Geophysical Prospecting, 49, 1, 40 – 53.
- Candansayar, M.E., Basokur, A.T. ve Peksen E., 1999. Detecting Small-Scale Targets by the Two-Sided Gradient Transformation, Journal of the Balkan Geophysical Society, 2, 4, 100-111.
- Carruthers, R.M., Smith, I.F., 1992. The Use of Ground Electrical Survey Methods for Siting Water-Supply Boreholes in Shallow Crystalline Basement Terrains. In: Wright, E.P., e Burgess, W.G. (Eds.), *Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa*. Geological Society Special Publication, 66, 203– 220.
- Conyers, L.B. and Goodman, D., 1997. *Ground-Penetrating Radar: An introduction for Archaeologists*. California, Altamira Press.
- Davis , J.L. ve Annan, A.P., 1986. High Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar, Geoscience, 13, 3, 205-208.
- Davis, J.L. ve Annan, A.P., 1989. Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37,531–551.
- Daniels, J.J. 1989. Fundamentals of ground penetrating radar, Proceedings of SAGEEP, Golden.
- Daniels, D, J., 2004. *Ground Penetrating Radar*, 2nd edition, The Institution of Electrical Engineers. London, United Kingdom, 97-107.
- Engheta, N., Papas, C.H. and Elachi, C., 1982, Radiation Patterns of Interfacial Dipole Antennas, Radio Science, 17, 1557–1566.
- Fisher, C.S., Stewart, R.R. and Jol, H.M. 1994. Processing Ground Penetrating Radar Data. Proceedings of the 5th International Conference on Ground Penetrating Radar Canada, 661–675.
- Gerlitz, K., Knoll, M.D., Cross, G.M., Luzitano, R.D. and Knight, R., 1993, Processing Ground Penetrating Radar Data to Improve Resolution of Near-Surface Targets. Proceedings of The Symposium on The Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, San Diego, USA, 561–575.
- Grandinetti, M., 1967. Una nuova disposizione elettrodica per la ricerca di corpi di limitate dimensni, Boll, Geof.Teor.Appl.,9, 35.
- Grandinetti, M. 1967. Una nuova disposizione elettrodica per la ricerca di corpi di limitate dimensni. Boll, Geof.Teor.Appl.,9 35.
- Grandjean G. ve Gourry J.C., 1996. GPR Data Processing for 3D Fracture Mapping in a Marble Quarry (Thassos, Greece), Journal of Applied Geophysics, 36, 1, 19-30.

- Grasmueck M. 1996. 3D Ground Penetrating Radar Applied to Fracture Imaging in Gneiss. Geophysics, 61, 4, 1050–1064.
- Greaves, R.J., Lesmes, D.P., Lee, J.M. and Toksoz, M.N., 1996. Velocity Variation and Water Content Estimated from Multi-Offset, Ground Penetrating Radar. Geophysics, 61, 683–695.
- Hammon, W. S., Zeng, X., Corbeanu, R. M., and McMechan, G. A., 2002. Estimation of The Spatial Distribution of Fluid Permeability from Surface and Tomographic GPR Data and Core, with a 2-D Example from the Ferron Sandstone, Utah, Geophysics, 67, 1505-1515.
- Jackson, J.D., 1962. Classical Electrodynamics, John Wiley and Sons, New York.
- Jol, H.M., Ground Penetrating Radar Theory And Applications, First edition, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK, 2009
- Kadioğlu, S. ve Kadioğlu, Y.K., Yer Radarı (GPR) Yöntemi ile Bir Mermer Ocağındaki Kalınlıkları ve Süreksizlikleri Görüntüleme, Ankara Üniversitesi. http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/216a1bca4361c39_ek.pdf . 10.04.2011
- Kadioğlu, S. 2008, Photographing layer thicknesses and discontinuities in a marble quarry with 3D GPR visualisation, Journal of Applied Geophysics, 64(3), 109-114.
- Kılıç, N., Maden (Bayburt) yöresinin jeolojisi ve kretase yaşlı kireç taşlarının mikrofasiyes incelemesi, 2002. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kim J.-H., Cho S.-J., ve Yi M.-J. 2007. Removal of ringing noise in GPR data by signal processing, Geosciences Journal, 11, 1, 75 – 81.
- Kesemen, O., 2007. Yer Radarı (Gpr) Verilerinin İşlenmesinde Yeni Yaklaşımlar, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Koçaslan, A., 2008. Sonlu Farklar Yöntemi ile Çok Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Dalga Alanı Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara.
- Kurtulmuş, T., Ö., 2007. Sığ Jeofizik Aramacılıkta Yer Radarı Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Medeiros, W.E., 1987. Eletro-resistividade aplicada a hidrogeologia do cristalino: um problema de modelamento bidimensional. Diss. de Mestrado, UFBA. 149
- Medeiros, W.E. and Lima, O.A.L., 1990. A Geoelectrical Investigation for Ground Water in Crystalline Terrains of Central Bahia, Brazil Ground Water, 28, 518– 523
- Moorman, B. J., 2001. Ground-Penetrating Radar Applications in Paleolimnology. Physical and Chemical Techniques, 23-47. Boston, Kluwer Academic Publishers.

- Morey, R.M., 1974. Continuous subsurface profiling by impulse radar. Proceedings, Engineering Foundations Conference on Subsurface Exploration for Underground Excavations and Heavy Construction, Henniker, New Hampshire, 213–232.
- Olhoeft, G. R., 1981. Electrical properties of rocks. in Y. S. Touloukian, W. R. Judd, and R. F. Roy, (Ed.). Physical properties of rocks and minerals (257-330). NY: McGraw-Hill Ontario: Sensors and Software Inc.
- Orlando L., 2003. Semiquantitative Evaluation of Massive Rock Quality Using Ground Penetrating Radar, *Journal of Applied Geophysics*, 52, 1– 9.
- Orlando, L., Piro, S., and Versino, V., 1987. Location of Sub-Surface Geoelectric Anomalies for Archaeological Work: A Comparison Between Experimental Arrays and Interpretation Using Numerical Methods. *Geoexploration*, 24.
- Özürlan G. ve Ulugerli. E.U., 2005, Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler, 227-237.
- Özer, E., 1984, Bayburt Yöresinin Jeolojisi: KÜ Jeoloji Dergisi,3,1-2.
- Porsani J.L., Elis V. R. ve Hiodo F. Y. 2006. Geophysical Investigations for the Characterization of Fractured Rock Aquifers in Itu, SE Brazil, *Journal of Applied Geophysics*, 57, 119–128.
- Porsani, L.J., Sauck, W.A. ve Junior, A.O.S., 2006. GPR for Mapping Fractures and As a Guide for Extraction of Ornamental Granite from a Quarry: A case study from southern Brazil, *Journal of Applied Geophysics*, 58, 177-187.
- Remote Sensing Methods for Regolith Exploration Rock Stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531–55.
- Romero, F.A. and Roberts, R.L., 2002. Mapping Concrete Deterioration: High Speed Ground Penetrating Radar Surveys on Bridge Decks Using New Analysis Method Based on Dual Polarization Deployment of Horn Antennae. Proceedings of International Bridge Conference, Pittsburgh, PA, USA, Paper IBC-02-12. S. Thesis, Alberta University, Canada.
- Sandmeier K. J., 2002. Reflexw 3.0 Manual, Sandmeier Software, Zipser Strabe 1, D-76227 Karlsruhe, Germany.
- Schulz, R. 1985. Interpretation and depth of investigation of Gradient Measurements in direct current geoelectrics. *Geophysical Prospecting*, 33, 1240-1253.
- Sezer,H., 2010. Yer Radarı Yöntemi İle Zonguldak Demiryolu Tünelinin Duraylılığının ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , Ankara.

- Shaffer, N.R., ve Wenning, A.L., 2002. Ground Penetrating Radar (GPR) in Industrial Mineral Mining, GSA Joint Annual Meeting Session No.1, Economic Geology (Poster)
- Silva, C., C., N., Medeiros, W., E., Sa', E., F., J., and Neto, P. X., 2004. Resistivity and Ground-Penetrating Radar Images of Fractures In A Crystalline Aquifer: A Case Study in Caicara Farm-NE Brazil, Journal of Applied Geophysics, 56, 295– 307
- Smythe, W.R., 1989. Static & Dynamic Electricity, Taylor & Francis, A SUMMA book.
- Smemoe, C. M., 2000. Processing and Visualization of Ground Penetrating Radar Data for Assessing Natural Hydrogeologic Conditions, Department of Civil Engineering, Brigham Young University, New York.
- Smith, G.S., 1984, Directive Properties of Antennas for Transmission into a Material Half-Space: IEEE Trans. Antennas propagate, Vol. AP-32, pp. 232–246.
- Stern, W., 1930. Principles, Methods and Results of Electrodynamic Thickness Measurement of Glacier Ice. Zeitschrift fur Gletscherkunde, 18-24.
- Seren, A., Gelisli, K. and Cataklı, A., 2008. A Geophysical Investigation of The Late Roman Underground Settlement at Aydıntepe, Northeast Turkey, Georhaeology, 23, 842-860.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. and Keys, D. A. 1976. Applied Geophysics. NY: Cambridge University Press.
- Ulriksen, C.P.F., 1982. Application of Impulse Radar to Civil Engineering. Doctoral Thesis, Lund University of Technology, Department of Engineering Geology, pp. 179p.
- Van Der Kruk, J., Slob, E. C., Fokkema, J. T., 1999. Background of Ground Penetrating Radar Measurements. Geologie en Mijnbouw, 77, 177-188,
- VanNostrand, R. G. and Cook , K. L. 1966. Interpretation of Resistivity Data: USGS Prof. paper 449, Washington, D.C., U.S. Govt. Printing Office. von Deponien und Altasten/BGR” Bd.3 Geophysik Springer-Verlag, Berlin.
- von Hippel, A. R., 1954. Dielectric Materials and applications. NY: John Wiley and Sons.
- Wilchek, L., 2000. Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Structure. M.S. Thesis, Alberta University, Canada.
- URL-1 <http://www.rst-group.biz/index.php?id=5> 04.04.2012
- URL-2 [http://www.tespitmuhendislik.com/YERALTI_RADARI - GPR.html](http://www.tespitmuhendislik.com/YERALTI_RADARI_-_GPR.html) 01.03.2012

ÖZGEÇMİŞ

03.04.1984'de Trabzon'da doğdu. İlköğretimini 24 Şubat İlköğretim okulunda ve Cumhuriyet İlköğretim okulunda, liseyi Trabzon lisesinde bitirdi. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazandı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirdikten sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Şubat 2012'de Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. Bu görevi halen sürdürmekte olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.