

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YER RADARI YÖNTEMİ İLE ZONGULDAK DEMİRYOLU TÜNELİNİN  
DURAYLILIĞININ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Halime SEZER**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ANKARA  
2010**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Halime SEZER tarafından hazırlanan “Yer Radarı Yöntemi İle Zonguldak Demiryolu Tünelinin Duraylılığının Ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: *Doç. Dr. Selma KADIOĞLU*

*Jüri Üyeleri :*

*Prof. Dr. Mehmet ÇELİK*

*(Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği A.B.D)*

*Doç. Dr. Mehmet Emin CANDANSAYAR*

*(Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği A.B.D)*

*Doç. Dr. Selma KADIOĞLU*

*(Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği A.B.D)*

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Orhan ATAKOL**

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YER RADARI YÖNTEMİ İLE ZONGULDAK DEMİRYOLU TÜNELİNİN DURAYLILIĞININ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Halime SEZER

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selma KADIOĞLU

Bu çalışmada GPR yöntemi ile Zonguldak -Hisarönü istasyonları arasında bulunan, 55 no' lu demiryolu tünelinin duraylılık sorunları araştırılmıştır. Bu amaçla tünelin ilk 500 m'lik bölümünde tünel tavanından 250 MHz kapalı sistem anten kullanılarak veri toplanmıştır. Veriler dolgu tabakalarının kalınlıklarını, kırık ve boşlukları ile birlikte görüntülemek amacıyla işlenmiştir. Ayrıca, profil kesitlerine uygulanan doğru genlik – kazanç uygulaması ve genlik – renk fonksiyonu ile bu fonksiyonların etkileri araştırılmıştır. İç ve dış dolgu sınırları ve en önemli kırıklar uygulanan farklı genlik – renk fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Bunun yanı sıra tünel duvarından alınan kaya örneklerine petrografik analizler uygulanmış ve tünel içindeki temiz ve kirli suların çevresel etkileri araştırılmıştır.

Sonuçlar söz konusu tünelin geniş ve derin kırıklardan etkilendiğini göstermektedir. Bunların bazılarının tünel stabilitesi için oldukça tehlikeli olduğu düşünülmektedir.

**Şubat 2010, 74 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Yer radarı, duraylılık, çevresel etki, demiryolu tüneli

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **INVESTIGATION OF STABILIZATION AND ENVIRONMENTAL IMPACTS IN ZONGULDAK RAILROAD TUNNEL WITH GROUND PENETRATING RADAR METHOD**

Halime SEZER

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Selma KADIOĞLU

In this study, the tunnel located between Zonguldak - Hisarönü stations called 55<sup>th</sup> railway tunnel researched for stabilization problems. Data were acquired by RAMAC CUII system and 250 MHz shielded antenna on the ceiling of the tunnel for the first 500 m for this aim. Data were processed to visualize the plug layers with their thicknesses, fractures and cavities. In addition true amplitude-gain application and amplitude-color function constructions were researched and the effects of these functions were present on the profile sections. The boundaries of the inner and the outer layers and the most important fractures were determined by applying different amplitude-color functions. In addition, the petrographic studies were applied on the rocks collected on the tunnel wall and pure and contaminated water in the tunnel and their environmental affects were researched.

The results showed that the tunnels were affected by large and deep fractures and cavities which were determined on the profiles. It was thought that some of them were big dangerous for the tunnel stability.

**February 2010, 74 pages**

**Key Words:** Ground Penetrating Radar Method, stabilization, environmental impact, Zonguldak Railroad Tunnel

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda bana yardımcı olan ve desteğini benden esirgemeyen, bilgisinden, tecrübesinden ve hoşgörüsünden yararlandığım, tezin oluşumunda önemli katkılarda bulunan, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Selma KADIOĞLU'na (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) teşekkürlerimi sunarım. Fikirleriyle tezime katkı sağlayan ve tezin her aşamasında yanımda olan ve görüşlerini aldığım Sayın Doç. Dr. M. Emin CANDANSAYAR (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi), Sayın Prof. Dr. Mehmet ÇELİK'e (Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi), Araş. Gör. Esra Ezgi EKİNCİOĞLU'na teşekkür ederim. Ayrıca tezimin oluşumunda büyük katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU'na (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında manevi desteğini hiç eksik etmeyen Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı'nda görevli mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tüm bu süre içerisinde maddi ve manevi her türlü desteklerini hissettiğim, daima yanımda olarak başarıya ulaşmamı sağlayan sevgili Ailem'e, özellikle babam Muzaffer SEZER ve annem Sadiye SEZER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Halime SEZER  
Ankara, Şubat 2010

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. TÜNEL DURAYLILIĞININ YER RADARI YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASINA YÖNELİK ÖRNEK ÇALIŞMALAR .....	3
3. YER RADARI YÖNTEMİ .....	6
3.1 Yer Radarı tarihçesi .....	6
3.2 Yer Radarı tanımı .....	7
3.3 Yer Radarı yönteminin çalışma prensibi.....	8
3.4 Yer Radarı sistem elemanları .....	9
3.5 Yer Radarı yöntemini etkileyen parametreler .....	11
3.6 Yer Radarı yöntemi ile veri toplama .....	13
3.7 Veri işlem .....	15
3.7.1 Sıfır zamanı düzeltmesi .....	15
3.7.2 Süzgeçleme.....	16
3.7.3 Background Removal (Ortalama Genlik Bilgisini Kaldırma).....	16
3.7.4 Genlik Kazanç uygulaması .....	16
3.7.5 Genlik – Renk Fonksiyonunun düzenlenmesi .....	17
3.7.6 Hız analizi .....	18
4. TÜNEL DURAYLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	19
4.1 Tünel duraylılığını bozan etkenlerin araştırılması.....	20
4.2 İç kaplama kontrolleri.....	21
5. ZONGULDAK – ÇATALAĞZI DEMİRYOLU HATTI 55 NOLU TÜNEL İÇİ DURAYLILIK PROBLEMLERİNİN TANIMLANMASINDA JEOLJİK VE JEOFİZİK ÇALIŞMALAR .....	22
5.1 Tünelin tarihçesi .....	22
5.2 Zonguldak – Çatalağzı Demir Yolu Hattının jeolojisi.....	23
5.2.1 Zonguldak Demir Yolu Hattı 55 No’lu Tünel petrografisi .....	24
5.3 Yer Radarı yöntemi ile tünel duraylılığının araştırılması .....	26

<b>5.3.1 55 Nolu Tünel içinde ve üst bölgesinde veri toplama .....</b>	<b>26</b>
<b>5.3.2 Yer Radarı verilerinin işlenmesi .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3.3 Tünel İçi Yer Radarı Verilerinin Farklı Genlik Kazanç ve Genlik-Renk Fonksiyonu ile Görüntülenmesi .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.4 Tünel Üstü Yer Radarı Profil Verilerinin Farklı Genlik Kazanç ve Genlik-Renk Fonksiyonu ile Görüntülenmesi .....</b>	<b>50</b>
<b>6. VERİLERİN YORUMLANMASI .....</b>	<b>55</b>
<b>6.1 Tünel içi verilerinin yorumlanması.....</b>	<b>55</b>
<b>6.2 Tünel üstü verilerinin yorumlanması .....</b>	<b>60</b>
<b>7. ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ.....</b>	<b>63</b>
<b>7.1 Sızıntı suyu etkileri ve alınması gereken önlemler .....</b>	<b>63</b>
<b>8. SONUÇLAR.....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>70</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>73</b>

## SİMGELER DİZİNİ

GPR	Ground Penetrating Radar – Yer Radarı
AGC	Automatic Gain Control
$\alpha$	Sönüm Katsayısı ( dB/m)
$\sigma$	İletkenlik (siemens/m)
f	Frekans
d	Derinlik (m)
$\epsilon$	Permittitive
$D_x$	Ölçüm Aralığı (m)
$D_{\text{anten}}$	Anten Aralığı (m)
$\Delta t$	Zaman Örnekleme Aralığı (m)
V	Hız (m/s)
T	Maksimum kayıt zamanı (s)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Yer Radarı Sistemi ve Yeraltında İlerleyen Radar Dalgalarının Basitleştirilmiş gösterimi .....	8
Şekil 3.2 Yer Radarı Sistem Elemanları .....	10
Şekil 3.3.a.Filtrelenmiş İki Boyutlu (2B) yer radarı kesiti (radagram), bir izine ait genlik bilgisi ve genlik bilgisine ait lineer renk çizelgesi, b. Aynı yer radarı kesitine aşırı değerli lineer genlik kazanç işlemi uygulanmış hali .....	17
Şekil 3.4 Genlik kazanç uygulaması aynı, ancak genlik-renk fonksiyonları farklı yer radarı kesitleri.....	18
Şekil 5.1 Zonguldak 55 Nol’lu tünelin bulunduğu bölgenin jeoloji haritası .....	24
Şekil 5.2.a Zonguldak 55 nolu tüneli geçtiği Arkoz (Kumtaşı) bileşimindeki kayanın arazi görünümü ve b.mikrofotografı (tek nikol), c.mikrofotografı (çapraz nikol) .....	26
Şekil 5.3 55 Nolu Tünel Profilleri ve Türkiye’deki yeri .....	27
Şekil 5.4 Tünel içinden veri toplama çalışmaları .....	28
Şekil 5.5 Tünel içi tünel tavanından ardışıklı toplanan 5 profil .....	28
Şekil 5.6 Tünelin geçtiği düşünülen muhtemel güzergahta veri toplama çalışmaları ...	29
Şekil 5.7.a Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. profil 1’e ait radagram.....	33
Şekil 5.8.a Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1’e ait radagram .....	33
Şekil 5.9.a Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansım/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1’e ait radagram .....	34
Şekil 5.10.a Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansım/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1’e ait radagram .....	35
Şekil 5.11.a Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansım dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1’e ait radagram.....	36

Şekil 5.12.a Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. profil 2'ye ait radargram.....	37
Şekil 5.13.a.Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2'ye ait radargram .....	37
Şekil 5.14.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2'ye ait radargram ....	38
Şekil 5.15.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2'e ait radargram .....	39
Şekil 5.16.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansıma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2'ye ait radargram .....	40
Şekil 5.17.a. Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. profil 3'e ait radargram.....	41
Şekil 5.18.a. Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3'e ait radargram .....	41
Şekil 5.19.a Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3'e ait radargram .....	42
Şekil 5.20.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3'e ait radargram .....	43
Şekil 5.21.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansıma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3'e ait radargram .....	44
Şekil 5.22.a Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. Profil 4'e ait radargram.....	45
Şekil 5.23.a. Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4'e ait radargram .....	46

Şekil 5.24.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansımaya/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4’e ait radargram .....	47
Şekil 5.25.a Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansımaya/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4’e ait radargram .....	48
Şekil 5.26.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansımaya dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4’e ait radargram .....	49
Şekil 5.27.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-1’e ait radargram.....	50
Şekil 5.28.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-2’ye ait radargram.....	51
Şekil 5.29.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-3’e ait radargram.....	51
Şekil 5.30.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-4’e ait radargram.....	51
Şekil 5.31.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-5’e ait radargram.....	52
Şekil 5.32.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-6’ya ait radargram.....	52
Şekil 5.33.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Profil-7’ye ait radargram.....	53
Şekil 5.34.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-8’e ait radargram.....	53
Şekil 5.35.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-9’a ait radargram.....	54
Şekil 5.36.a Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-10’a ait radargram.....	54
Şekil 6.1.a Tünel İçi Profil 1’e ait iç ve dış dolgu sınırları ile b. kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları .....	55

Şekil 6.2.a Tünel İçi Profil 2'ye ait iç ve dış dolgu sınırları ile	
b. kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları .....	57
Şekil 6.3.a Tünel İçi Profil 3'e ait iç ve dış dolgu sınırları ile	
b. kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları .....	58
Şekil 6.4.a Tünel İçi Profil 4'e iç ve dış dolgu sınırları ile	
b. ait kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları .....	59

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Yaklaşık Olarak Kullanılan Merkez Frekansa Karşılık Maksimum Ölçüm Aralığı .....	13
Çizelge 3.2 Yaklaşık Olarak Kullanılan Merkez Frekansa Karşılık Önerilen Zaman Örnekleme Aralığı.....	14
Çizelge 7.1 Tünellerde Yüzey suyu önleme çalışmaları .....	64
Çizelge 8.1 Tünel İyileştirme Tasarımı .....	65

## 1.GİRİŞ

Yer radarı yöntemi gömülü cisimlerin ya da yer altındaki süreksizliklerin bulunmasında günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, yeraltına gönderilen 10 MHz ile 2 GHz arasında değişen yüksek merkez frekanslı elektromanyetik (EM) dalgaların yer içinde yayınımları sırasında karşılaştıkları farklı elektrik ve manyetik özellikteki süreksizliklerden, enerjilerinin bir bölümünün yansiyarak yüzeydeki alıcı anten aracılığı ile EM dalga yer değiştirme değerlerinin nanosaniye biriminde zamana göre kaydedilmesi ilkesine dayanmaktadır (Van der Kruk vd.1999). Yer radarı, yer içinin elektrik ve manyetik özelliklerine ve araştırma derinliğine bağlıdır.

Yer radarı yöntemi aynı zamanda tünel birimlerinin ve kalitesinin kontrol edilmesinde kullanılan başarılı bir yöntemdir. Tünellerde genelde yaşlanma, donma-çözülme, klorür penetrasyonu, karbonatlaşma ve kusurlu inşaat gibi bir çok etken yıkıcı hasarlara neden olmaktadır. Yöntem, tünel rehabilitasyon çalışmalarında, hasarların belirlenmesine ve çözümüne yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır (Locatelli vd. 2001; Carderelli vd, 2003, Xie vd. 2004).

Tünellerde görülen bozuklukların incelenmesi esnasında, tünel yapısında kullanılan betonun kalitesi, destek amaçlı kullanılan çelik yapılar arasındaki boşluklar, tünelin geçtiği güzergahın genel jeolojik durumu, kırık, çatlak ve yarıklar, su boşalımlarının yarattığı hasarlar, su sızıntıları göz önünde bulundurulması gereken konulardır. Tünellerde meydana gelen hasarlar, temiz veya kirli suların yeraltı su kaynaklarına ulaşarak kirlenmelerine sebep olabilmektedir. Yeraltı sularının kirlenmesi, kuyulardan elde edilen içme suyu kalitesini doğrudan etkilerken, besleme kaynağı olduğu nehir ve göl gibi diğer içme suyu kaynaklarını da dolaylı olarak etkilemektedir.

Bu çalışmada Zonguldak-Hisarönü istasyonları arasındaki 55 no' lu demiryolu tünelinin sorunlu ilk 500 metrelik bölümünün kaplama malzemelerinin düşme nedenlerini, dolgu birimlerinin durumunu, kırık ve boşlukların yerlerini belirlemek amacıyla yer radarı yöntemi ile tünel tavanından ve tünelin geçtiği yüzey bölgelerinden (yeryüzünden) profil verileri toplanmıştır. İşlenen profil kesitleri üzerinde tünel dolgu kaplama

birimleri ve kalınlıkları belirlenmiş, tünele etkiyen başlıca kırıklar, suya doymun alanlar ortaya konulmuş ve yüzeydeki veri sonuçları ile karşılaştırılarak alınması gereken önlemlerin öncelikli bölgeleri belirlenmiştir. Bu çalışma, tünel duraylılığının bozucu etkenlerinin araştırılması amacıyla yer radarı yönteminin uygulandığı ilk çalışmadır.

Söz konusu tünelin duraylılığını bozan etkenlerin araştırılması için Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)' ne ait RAMAC CUII marka radar sistemi ve 250 MHz kapalı anten kullanılmıştır. Tünelin tavanından ve yaklaşık 30 m üzerinde bulunan yol güzergahları üzerinden 100 MHz anten kullanılarak profil verileri toplanmıştır. Veri-işlem aşamasından sonra amaca uygun farklı genlik-renk fonksiyonları oluşturularak, tünel kaplama birimleri, kalınlıkları, tünele etkiyen başlıca kırıklar ve suya doymun bölgeler iki boyutlu (2D) radargramlar üzerinde görüntülenmiştir. Ayrıca genlik kazanç işleminin doğru uygulanması ve genlik-renk fonksiyonu seçiminin radargram üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Veriler ReflexW v.3.5.8 (Anonymus, 2008) ve IDL programlama dili ile yazılmış GPHYZGPR (Daniels, 2000) programı ile değerlendirilmiştir.

## 2. TÜNEL DURAYLILIĞININ YER RADARI YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASINA YÖNELİK ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Tünel araştırmaları esnasında tünel yapısını etkileyen yaşlanma, donma - çözülme, klorür penetrasyonu, karbonatlaşma veya hatalı inşaat gibi birçok ciddi değişken kusurlar tespit edilmiştir. Son dönemlerde, yeni mevzuat, tünellerin kullanım sıklığı ve meydana gelen deformasyonlar hem kalite hem de tünel güzergahlarında güvenliğe yönelik gerekli iyileştirmelerin yapılmasını gerektirmektedir. Karayolu tünel kalitesinin araştırılması, artan kullanıcı güvenliği ve konforu ile uyumlu düzenli bakım programı kapsamında bir yaklaşım gerektirmektedir.

Tüneller periyodik olarak yapısal ve coğrafik risk değerlendirmesine dayalı bir yaklaşım kullanılarak kontrol edilmektedir. Birçok tünel denetimi, ortak kusurların mutlaka jeolojik nedenlerle ilgili olmadığını ortaya koymuştur. Tünel i kaplamalarında gözlemlenen kusurların çoğunlukla kullanılan malzemelerin kalitesinden veya kullanılan inşaat yönteminden kaynaklandığını göstermektedir. Bununla birlikte tüneli çevreleyen jeolojik kusurlar dikkatle araştırılmalı ve değerlendirilmelidir. Uygun bir inceleme ile büyük kusurların tespiti tünel kullanıcılarının güvenliğini sağlamaktadır. Karayolu tünelleri içinde yapılan araştırmalarda belirlenen kusurlar, petekli beton veya kötü beton kalitesi, kalıcı ve geçici elik iskelet yapısındaki boşluklar, paslanmış inşaat demiri, ardışık beton döküm arasındaki boşluklar, çatlaklar ve yarıklar, tünelin geçtiği güzergahın jeolojik durumu, zararlı su boşalımı ve çatlaklardan su sızıntısı olarak belirtilebilir (Locatelli vd. 2001).

Jeofiziksel yöntemler kaya kırılması ve beton asfaltlama kalitesinin hızlı bir Şekilde analizine imkn tanımaktadır. İtalya'da bir içme suyu toplama havzasındaki tünellerden toplanan yer radarı verilerinden, sismik sapma ve topografya içerisinden sismik kırılma verileri ile bütünleŐik bir değerlendirme ile tünel kararlılığının belirlenmesi çalışması gerçekleştirilmiştir. Kaya kırılması ve tüneldeki beton sıvanın aŐınması nedeniyle oluşan toprak kaymaları toplama havzası Őeklindeki yapılarda yapısal kararsızlık yaratır. Konumu toprak kayması alanına yakın olan kayaların kararlılığını ölçmek için

jeofiziksel araştırmalar yapılmıştır ve ileriye dönük toprak kayması riskleri ve su kirliliğini önlemek için jeolojik testler gerçekleştirilmiştir. Sismik topografya ve 200 MHz yer radarı anteni verilerinin bütünleşik olarak yorumlanması bazı elastik karakteristiklerin değerlendirilmesi ve kayadaki devamsızlıkların belirlenmesi ile sonuçlanmıştır. Sismik kırılma ve 450 MHz verilerinin bütünleşik analizi ile tünel çevresindeki gevşemiş alanın ve gk alanlarındaki kütlenin tespiti, 225 MHz yer radarı verileri ile de ana kayanın ve beton sıvanın kalitesinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı tüm Őartlarda, birden fazla yöntem kullanılarak çalışılmasının anomalilerin yorumlanmasında daha güvenilir tanımlama imkanı sağladığı tespit edilmiştir. Sismik teknikler genelde projeksiyon ve kazı aşamasında ve sıva kullanılmayan maden alanlarında ana kayanın elastik parametrelerinin tanımlanmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada anlatılan jeofiziksel saha alışmaları Apennines'te bulunan 1997 yılında yaşanan bir deprem sonrasında aşırı derecede kararsız hale gelmiş içme suyu kaynağındaki havza tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın amaçları, kayadaki devamsızlıkların tespiti, kayanın elastik karakteristiklerinin değerlendirilmesi, gk alanlarının tespiti, tünel etrafındaki gevşek kaya alanının tespiti, beton-kaya bağlantısının kalitesinin değerlendirilmesidir.

Yapılan çalışmanın sonucu olarak GPR, sismik sapma ve sismik topografya kırılımı yöntemlerinin bütünleşik analizi ve ilişkilendirilmesi tünel kararsızlığına ilişkin içe yarar kanıtlar doğurmuştur. Radar verileri araştırılan bölgedeki devamsızlıkların yerleri ve sayıları hakkında bilgi verirken sismik yöntemler ise ortalama elastik özelliklerinin dağılımı ile ilgili tahminler sağlamıştır. Sismik yöntemler ile elde edilen P-dalgası hızları ile GPRden elde edilen yansıma geometrilerinin kombinasyonu ile yorumlardaki hata payları en aza indirilmiştir. Üç veri setini aynı ölçekte ve farklı katmanlardaki sonuçları yorumlanarak analiz edildiğinde anlamlı veri ilişkileri ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, planlamalar için daha güvenli jeofiziksel veri sağlanabilecek ve rehabilitasyon planları gibi diğer planlama araçları ile daha uyumlu çalışmalar geliştirilebilircektir. (Carderelli vd.2003).

Tünel iç ve dış dolgu malzemeleri, tünellerin farklı yerleşimlerinin kontrol edilmesinde önem arz etmektedir. Şangay Metro tünellerindeki dolgu malzemelerini test etmek için uygulanan yer radarı yöntemi ile ilgili bilgileri vermektedir. Yer radarı yönteminin yeraltında ve yer üstünde uygulamaları farklıdır ve bu nedenle anten sisteminin dairesel bir tünele uyacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan EKKO IV 200MHz anten başarıyla modifiye edilerek koruma tünellerinin içine daha iyi oturması için geliştirilmiştir. Anten çatısına iki anten sabitlenmiş olup çatı, çerçeve çitlarından, koruma çitlarından, dolgu çitlarından ve tekerleklerden oluşur. Böylelikle hem güvenlik hem de antenlerin uygun şekilde taşınımı sağlanmış olur.

Dolgu içindeki elektromanyetik dalga (EM) hızı ortak orta nokta tabanı alanının analizi ile tespit edilmiştir. Yer radarının öncelikli amacı elektromanyetik dalga hızının belirlenmesidir. Çalışmada yer radarı görüntülerinin daha iyi görsellikle yansıtılması için bir dalga çevrimi yöntemi uygulanmıştır. Dolgu içindeki elektromanyetik dalga hızı, içeriğindeki çimento-su oranı ve jeolojik yerleşimler ile değişiklik gösterir. Elektromanyetik dalga hızlarını ölçmek için geleneksel CMP yöntemi kullanılmıştır. Şangay Metrosundaki 4. Hattaki elektromanyetik dalga hızı 0.1m/ns olarak ölçülmüştür. Gelecekte sahada yapılacak olan çalışmalar kontrollü koşullarda elektromanyetik dalga hızlarını içerecek kapalı alan testlerini içerecektir. Yer radarı parametrelerinin, saha koşullarının ve kullanım verimliliğinin analizinde, etkin hesaplamalar çok önem taşımaktadır. Geleneksel filtre yöntemi yer radarı dalgasının sinyal sesini geliştirmekte etkilidir ancak katmanları ayırmada yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada sunulan dalga dönüşüm yöntemi ise dolgu hatlarını daha iyi bir görsellikte sunmaktadır. Yöntemin prosesi zaman ve uzay filtresi içerir ve düşük geçirgenlikli filtre ile tam hesaplama sağlar. Bu çalışmanın sonucunda yer radarı tünellerin asfaltlanmasındaki yumuşak toprak alanların arkasındaki dolgu şekillerini ortaya koymanın ötesinde aynı zamanda dolgu kalınlığının da kalitesinin belirlenmesinde rol aldığı tespit edilmiştir. Yer radarı ile elde edilen veriler kullanılarak ve mevcut uygulama tabanı göz önünde bulundurularak, Şangay Metro hattı için bir yer radarı test standardı ortaya konmuştur (Xie vd.2004).

### **3.YER RADARI YÖNTEMİ**

#### **3.1 Yer Radarı Tarihçesi**

Yer radarı (Ground Penetrating Radar –GPR) yöntemi, yeraltının 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 belirlemede 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.

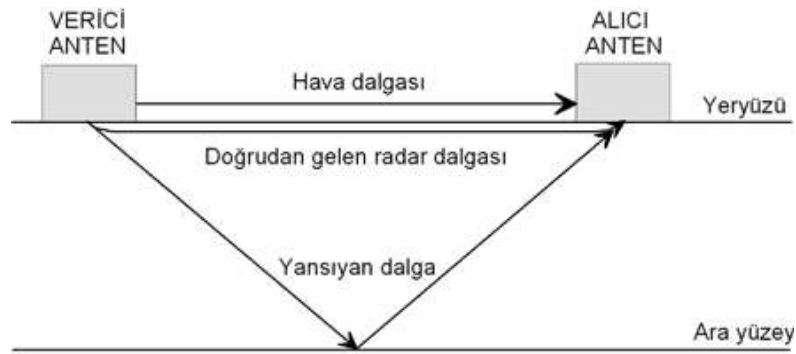
Yer radarı ilk önce buz kalınlığının ölçülebilmesi için geliştirilmiştir. Normal yer ortamında yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin sismik yöntemlerde kullanılan veri işlem teknikleri ile işlenmesi sonucunda 10 – 20 m gibi araştırma derinliğine ulaşıldığı görülmüştür. Günümüzde ise yer radarı yöntemi 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 (Alp vd.2003).

### **3.2 Yer Radarı Tanımı**

Yer radarı, yakın yüzey araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik, jeofizik yöntemdir (Kadioğlu, 2004). Yüzeye yakın toprak ve katmanları görüntülemeye kullanılan yer radarı, sığ araştırmalarda yüksek frekans aralığında elektromanyetik

dalgalar kullanılmaktadır. Bir anten tarafından üretilen dalga yer içine iletilir ve değişen empedans ile katmanlar üzerinden saçılarak yeryüzüne ulaşan dalga alıcı anten tarafından kaydedilir (Lee vd. 2005). Yöntem, yatay doğrultuda elektrik alan vektörü olan bir verici anten aracılığı ile yer içine gönderilen çok yüksek frekanslı EM dalgaların ara yüzeylerden yansımalarının gözlemlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Yeraltında, her iki tarafı farklı dielektrik özellikte kayalardan oluşan bir ara yüzey varsa, elektromanyetik dalga bu ara yüzeyde yansıma ve iletme uğrayacaktır.



Şekil 3.1 Yer radarı sistemi ve yeraltında ilerleyen radar dalgalarının basitleştirilmiş gösterimi (Conyers ve Goodman,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 gibi çeşitli tasarımlar sayesinde çok geniş alanlar hızlı bir şekilde taranabilmektedir (Kurtulmuş ve Drahor, 2008).

### 3.3 Yer Radarı Yönteminin Çalışma Prensibi

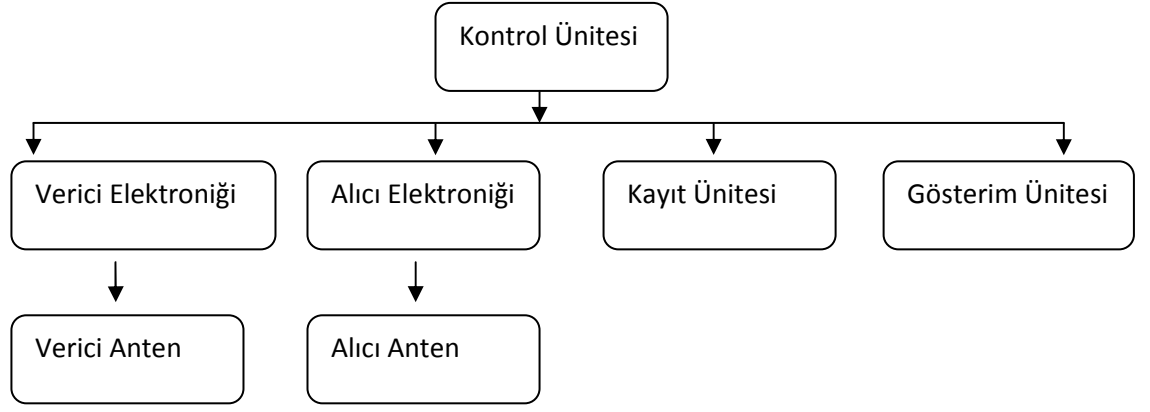
Yöntem özellikle sığ derinliklerde yüksek çözünürlük sağladığından yer altı jeolojisi ve heterojenliği hakkında detaylı bilgi vermektedir. Yer Radarı yönteminde yer içerisine

yüksek frekanslı (10MHz-3GHz) elektromanyetik enerji bir anten yardımıyla kısa zaman dilimleriyle gönderilir. Bu radar sinyalinin yayılımı ortamın elektrik ve manyetik özelliklerine bağlıdır. Sinyalin bir kısmı farklı özellikli ortamları ayıran tabaka sınırlarından yansır, diğer kısmı ise alttaki ortama iletilerek yoluna devam eder. Yansıyıp geri gelen sinyal alıcı anten yardımıyla algılanır, filtre edilir ve güçlendirilerek sayısal hale getirilip kayıt edilir. Kayıt edilen sayısal sinyaller değişik veri işlem teknikleri ile işlenerek iki yol zamanlı düşey kesitler olarak yer altı yapısını gösterecek şekilde yoruma hazır hale getirilir. Fay hatları, kırık ve çatlaklar, elektromanyetik sinyalin ortamdaki yayılım hızını değiştirdiğinden, özellikle yüksek frekanslı yer radarı kesitlerinde yerleri belirlenebilmektedir (Alp vd.2003).

Yer altı yapılarının öz direnci arttıkça yani iletkenlik azaldıkça yer radarı görüntüleri kaliteli olmaktadır. Yer radarı uygulaması yapılacak alanın mümkün olduğunca kuru (rutubetsiz) olması gerekmektedir. Elektromanyetik dalgalar yeraltı su seviyesine ulaştıklarında göreceli olarak daha iletken bir ortama girmektedirler. Bu söz konusu ıslak seviyede, hem önemli bir bağıl permittivite farklılaşması (kontrastı) oluşmakta, hem de elektrik iletkenliğinin bu seviyedeki ani artışı nedeniyle, yansıyarak yeryüzüne gelen elektromanyetik dalga genliğinde ve yüksek frekans içeriğinde soğrulmaya bağlı olarak önemli azalmalar görülmektedir. Bunun sonucu olarak yer radarı kesitlerinde, yeraltı su seviyesinden itibaren derinlere doğru inildikçe, soğrulmaya (süpürülme etkisi-sweeping effect) bağlı olarak genlik ve yüksek frekanslar azalmakta, kesitte yeraltı su seviyesinin altındaki bölümlerde enerji 'süpürülmüş' bir görünüm sunmaktadır.

### **3.4 Yer radarı sistem elemanları**

Yer radarı ölçü sistemi kayıtçı ve anten olmak üzere iki kısımdan oluşur. Farklı amaçlardaki çalışmalar için farklı frekanslarda antenler kullanılır.



Şekil 3.2 Yer radarı Sistem Elemanları (Kadioğlu, 2004)

Sistemin temel elemanı olan kontrol ünitesi; sinyal üretimini ve zaman fonksiyonu olarak gelen sinyalleri kontrol etmekte, verici elektronik ve verici anteni ise yüksek voltajda ürettiği sinyalin yer içinde yayılmasını sağlayarak, sinyalin frekansını ve şeklini belirlemektedir. Alıcı anten, yer içinde yansımış ve saçılmış sinyali alıcı elektroniğe ulaştırmaktadır. Amaç, zaman fonksiyonu olarak üretilen sinyalin genliğini ölçmektir. Aynı veya farklı zamanlarda yukarı doğru ilerleyen yansımış (saçılmış) dalgalar yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımı ile zamanın fonksiyonu olarak kayıt edilirler. Buna radar izi veya yer radarında elektromanyetik dalga alanı denir (Kurt vd.2009). Alıcı ünitesinden gelen sinyal kayıt ünitesinde kaydedilerek, gösterim ünitesinde görüntülenmesi sağlanmaktadır. Kayıt edilen bu dalgalar radargram adı verilen radar kesitini oluştururlar.

Doğru anten frekansının seçimi yer altı çözünürlüğünün, araştırma derinliğinin ve yeraltına yayılan sinyalin baskın dalga boyunun saptanmasında önemli rol oynar. Bu bakımdan çalışılan arazi ve elde edilmesi planlanan sonuçlar göz önünde bulundurularak anten seçilir. Farklı frekans ve türde olan antenler genel olarak açık ve kapalı olmak üzere ikiye ayrılır. Açık anten, alıcı ve verici ayrı ayrı konuşlandırılmakta ve her birinin elektronik ünitesi ayrı olup üzerlerine monte edilmektedir. Ölçümler, antenler istenen ölçüm noktalarına yerleştirilerek alınır. Kapalı antenler ise; özel bir koruyucu içindedir ve elektronik ünite özel koruyucu ünite üzerine monte edilir. Bu tip antenler ile sadece profil tipi ölçümler yapılabilir.

Açık antenler havayla ulaşabilecek çevre etkilerini içerirken, kapalı antenler bu tür etkilere rastlanmaz. Açık antende alıcı verici arasında mesafe değiştirilebilirken, kapalı anten de bu mümkün değildir. Kapalı anten çekilerek çok hızlı ölçüm alınmasını sağlarken, arazinin engebeli olması bu anten türünün ölçüm almasını zorlaştırmaktadır.

Anten boyları çalışılan frekansla ters orantılı olarak azalmaktadır. Düşük merkez frekans değerine sahip antenler büyük dalga boylarından dolayı araştırma derinliğinin artmasına karşın, çözünürlüğün azalmasına neden olmaktadır (Kadioğlu. 2004).

### **3.5 Yer radarı yöntemini etkileyen parametreler**

EM dalgalar zamanla değişen elektrik ve manyetik alan bileşenlerinden oluştuğundan, içinden geçtikleri ortamların farklı fiziksel özelliklerinden etkilenirler. Yer radarını etkileyen parametreleri fiziksel ve geometrik parametreler olarak sınıflandırabiliriz. Fiziksel parametreleri; bağıl dielektrik geçirgenlik, elektriksel iletkenlik ve bağıl manyetik geçirgenlik olarak, geometrik parametreleri ise ölçüm (araştırma derinliği), ölçüm aralığı, yapıların boyut ve şekli olarak değerlendirebiliriz.

Ölçüm derinliği; uygulamada kullanılan sisteme, frekansa, tabakaların elektromanyetik soğrulma özelliğine, tabakaların ara yüzeylerde elektromanyetik dalgayı yansıtma özelliği ile yerin öz direncine bağlı değişiklik göstermektedir.

Yerin dielektrik sabiti iletkenlik etkisi; yansıyan ve iletilen sinyallerin genliğine ve yansımaya katsayısına bağlı olmaktadır. İletilen dalğanın frekansı, penetrasyon derinliğini ve radar sinyalinin çözünürlük gücünü etkiler. Yerin dielektrik sabiti, iletilen frekansın yanında, araştırma derinliğini ve çözünürlüğü etkileyen diğer faktörlerdendir. Ölçümler alınırken genellikle ortamların düşük kayıplı olması istenir. Kum, granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda yer radarı dalgaları derinlere ulaşırken, kil gibi iletken ortamlar ise iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğrulmasına neden olmaktadır (Alp vd. 2003).

Yer radarı ölçümlerinde ulaşılabilecek en yüksek araştırma derinliği;

$$r \leq \frac{30}{\alpha} \quad \text{veya} \quad r \leq \frac{35}{\sigma} \quad (3.1)$$

ile hesaplanabilir.  $\alpha$  sönüm katsayısı, birimi dB/m ve  $\sigma$  iletkenlik, birimi mS/m'dir.

Ölçümlerin yapılması için uygun olan frekans hesabı ise;

$$f = \frac{150}{d\sqrt{\epsilon}} \quad (3.2)$$

ile bulunur. Çözünürlüğü istenen derinlik  $d$  ve ortamın sahip olduğu dielektrik permititive değeri  $\epsilon$ 'dur.

Eğer sabit ölçüm aralıklı profillerde iki ölçüm arası uzaklık, dalga boyunun 1/4 'ünden büyükse kuramsal olarak araştırılmak istenen hedefler belirlenemez. Bu koşul yaklaşık olarak birimi metre olan ölçüm aralığı;

$$D_x = \frac{75}{f\sqrt{\epsilon}} \quad (3.3)$$

ile verilebilir (Griffin and Pippet,2002). Anten dizilimleri genelde yan yana yapılmasına rağmen uç uca dizgelerde kullanılmaktadır. Jeolojik uzanımın veya araştırma hedefinin bilindiği durumlarda antenler yapıya koşut tutulmalıdır. Derinliğe bağlı olarak anten aralığı  $D_{anten}(m)$  için ampirik bağıntı;

$$D_{anten} = \frac{2 * derinlik}{\sqrt{\epsilon} - 1} \quad (3.4)$$

ile verilir ( Griffin ve Pippet.2002).

Ölçüm alanındaki su miktarı yer radarı yönteminde önemli parametrelerdendir. Su sahip olduğu yüksek polarizebilite nedeniyle en yüksek dielektrik sabitine sahiptir (Weeds.1994). Bundan dolayı yer radarında yer içine gönderilen sinyalin sulu ortamdaki direnç karşısında ilerlemesi mümkün değildir. Diğer yandan su tablası sınırı, yer radarı çalışmalarında elektromanyetik dalgalar için iyi bir yansımaya yüzeyi oluşturmaktadır ve bu sınır kolay bir şekilde tespit edilebilmektedir (Koçaslan.2008).

### 3.6 Yer Radarı Yöntemi ile Veri Toplama

Veri toplarken anten çeşidi, ölçüm aralığı, zaman örnekleme aralığı, toplam zaman penceresi, merkez frekansı, antenler arası uzaklık ve sinyal yığıma sayısı mutlaka göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdendir. Ölçümler bir profil boyunca alınır. Profil aralıkları ve ölçüm alanı önceden belirlenir. Engebeli arazide ölçüm yapılırken her ölçüm noktasında topografya konumları ölçülmelidir. Ölçüm aralığı seçilen antenin ayrımlılık gücüne, yani merkez frekansına uygun olacak şekilde (Çizelge 3.1) belirlenmeli, Nyquist örnekleme aralığını geçmemelidir. Bu da dalga boyunun dörtte biridir (Kadıglu. 2004).

Çizelge 3.1 Yaklaşık olarak kullanılan merkez frekansa karşılık maksimum ölçüm aralığı (Sensors ve Software.1996).

Frekans (MHz)	Max Ölçüm Aralığı (m)
12,5	2,0
25	1,0
50	0,5
100	0,25
200	0,10
450	0,05
900	0,02

Kapalı antenlerde aralık sabitken, açık antenlerde antenler arasının min. olması gerekmektedir. Min. anten aralığı, anten boyuna eşittir. Seçilmesi gereken aralıktan daha küçük seçilirse alıcı doygunluğu oluşabilir ve kesilmeden dolayı veri kaybolabilir (Sensors ve Software.1996).

Zaman örnekleme aralığının seçimi de verinin toplanmasında etkili olan parametrelerdendir. Bir iz üzerindeki noktalar arası zaman aralığı olarak tanımlanmaktadır. Örnekleme aralığının daha küçük seçildiği durumlar merkez

frekansın büyüdüğü (Çizelge 3.2) durumlardır. Frekans arttıkça örnekleme aralığı küçülür.

$$\Delta t = 1000 / (6 \times F) \quad (3.5)$$

(3.5) denklemi, zaman örnekleme aralığı ile merkez frekansı arasındaki bağıntıdır (Sensors ve Software.1996). Örnekleme aralığının olması gerekenden daha büyük seçilmesi ilgili frekans için var olan derinlik ayırım gücünü azaltmaktadır.

Çizelge 3.2 Yaklaşık olarak kullanılan merkez frekansa karşılık önerilen zaman örnekleme aralığı (Sensors ve Software.1996).

Frekans (MHz)	Önerilen Zaman Örnekleme Aralığı (Picosaniye)
12,5	6800
25	3200
50	1600
100	800
200	400
450	200
900	100

Maksimum kayıt zamanının doğru seçilmesi önemlidir. Gereğinden az seçilmesi durumunda hedef derinliğe ulaşmadan kayıt biter, gereğinden fazla seçilmesi durumunda veri hacmi artar ve gereksiz şekilde kayıt sistemi hafızası doldurulur (Kadıoğlu, 2004). Buna göre jeolojik çalışmalar için ortalama 0.1 m / ns hız alınır;

$$T = 1.3x(2xd) / V \quad (3.6)$$

olarak amprik bir bağıntı ile hesaplanabilir (Annan, 2000). Burada  $d$  maksimum derinlik,  $V$  ise minimum hızdır.

Profil yönü ve profil aralıkları yer radarı yönteminde veri toplama aşamasında göz önünde bulundurulması gereken önemli parametrelerdendir. Hedefin uzun eksenini biliniyorsa, profil yönü dik eksen yönü boyunca olmalıdır. Yön bilinmiyorsa deneme profilleri yardımı ile profil yönü belirlenmelidir. Üç boyutlu yer radarı çalışmalarında başlangıç noktaları ve/veya bitiş noktaları aynı olan, örnekleme kuramına göre düzenlenmiş (aranan en küçük hedef boyutunun yarısı veya dörtte biri) paralel profil ile ölçüm alanı taranmalıdır (Kadıoğlu, 2004).

Veri işlem aşamasında alınan ölçümlerin yanı sıra, ölçüm yapılan alandaki sıcaklık derecesi, kirlilik miktarı, elektromanyetik kaynaklar ile metalik yapıların varlığı ve tespit edilebilen diğer olayların mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

### **3.7 Veri İşlem**

Arazide toplanan radar verilerine yorum yapılmadan önce, sırasıyla sıfır zamanı düzeltmesi, dewow olarak adlandırılan alçak frekansların etkisini yok etme ve istenmeyen frekans bilgilerinin kaldırılması işlemi, zamanla dalga genliğinin soğrulma etkisini kaldırma amaçlı genlik kazancı işlemi, background removal (istenmeyen görüntüleri ortadan kaldırma işlemi olup, yatay olayları tamamen göz ardı etmeyi sağlar) ve saçılmış izleri toplayarak gerçek yerlerine taşıma işlemi olan migrasyon(göç işlemi) uygulanmaktadır.

#### **3.7.1 Sıfır zamanı düzeltmesi**

Sinyalin başlangıç zamanı bazen özellikle düşük frekanslı anten kullanıldığında zaman eksenine göre aşağı kaymaktadır. Kayma zamanı miktarı kadar değer sinyalden çıkartılarak  $t=0$  zamanı, zaman ekseninin ilk değeri haline getirilir. Bu işleme sıfır zamanı düzeltmesi denir.

### **3.7.2 Süzgeçleme**

Çok düşük frekanslı gürültüler verinin görüntülenmesini engellemektedir. Verilerin çok düşük frekanslar tarafından zarflanması yani gizlenmesine “wow” etkisi denir. Düşük frekans etkisini giderme işlemine “dewow” denir. Dewow dışında veri işlem aşamasında alçak geçişli, yüksek geçişli veya band geçişli süzgeçleme yapılabilir (Kadioğlu, 2004). Uzun dalga boylu olayları geçirmek için alçak geçişli süzgeçleme yapılırken, kısa dalga boylu olayları geçirmek için yüksek geçişli süzgeçleme yapılmaktadır. Olayda etkin olan belli bir frekans aralığının korunması ve fazla düşük ve fazla yüksek frekanslı olayların atılması için de band geçişli süzgeçleme uygulanmaktadır.

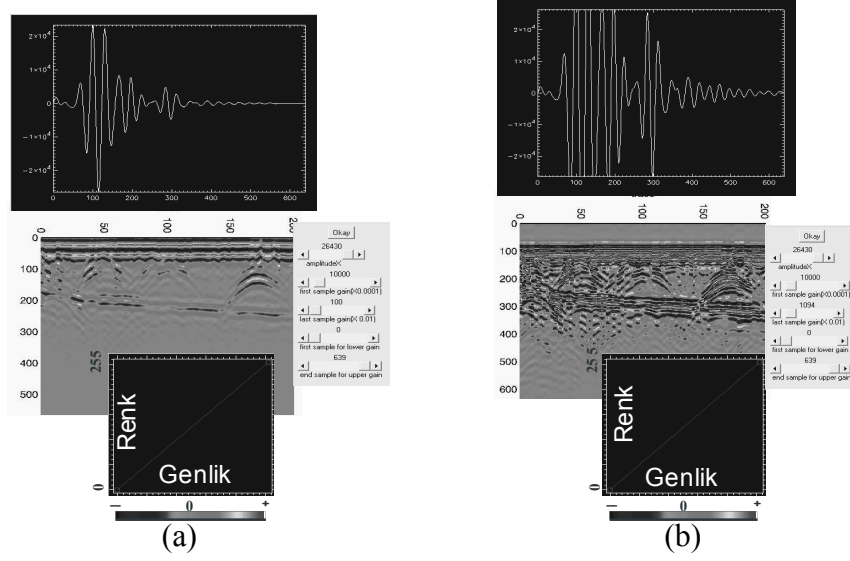
### **3.7.3 Background removal (ortalama genlik bilgisini kaldırma)**

Genellikle yatay olayları da içeren verideki ortalama genlik bilgisini kaldırma işlemidir. Böylelikle eğimli olaylar veride aktif hale getirilir.

### **3.7.4 Genlik kazanç uygulaması**

Radar verisi zamanla çok hızlı sönümlendiği için, derinlerden gelen genlik bilgisi yüzeye yakın bölgelere göre daha zayıf olmaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla veriye genlik kazanç düzeltmesi uygulanır (Kadioğlu, 2004).

Sabit bir katsayı ile genlik kazanç uygulaması yapıldığında ilgili dalga alanının genliği de aynı oranda artacağından aslında profil görüntüsünde sadece genlik bilgisine ait renkler daha abartılı bir şekilde görüntülenmektedir. Bu durumda anomali oluşturan genlik bilgisini diğerlerinden ayırt etmek ve yorumlamak ancak veri kalitesi çok iyi veriler için mümkün olabilir. Belki doğru yorum yapılabilir ama düzgün bir görüntü elde edilemeyebilir. Benzer şekilde lineer genlik kazanç uygulamalarında maksimum kazanç değerinin aşılması durumunda bu genliklere ait renklendirme olmadığından veri görüntüsü bozulacaktır (Şekil 3.3.b) (Kadioğlu, 2006).

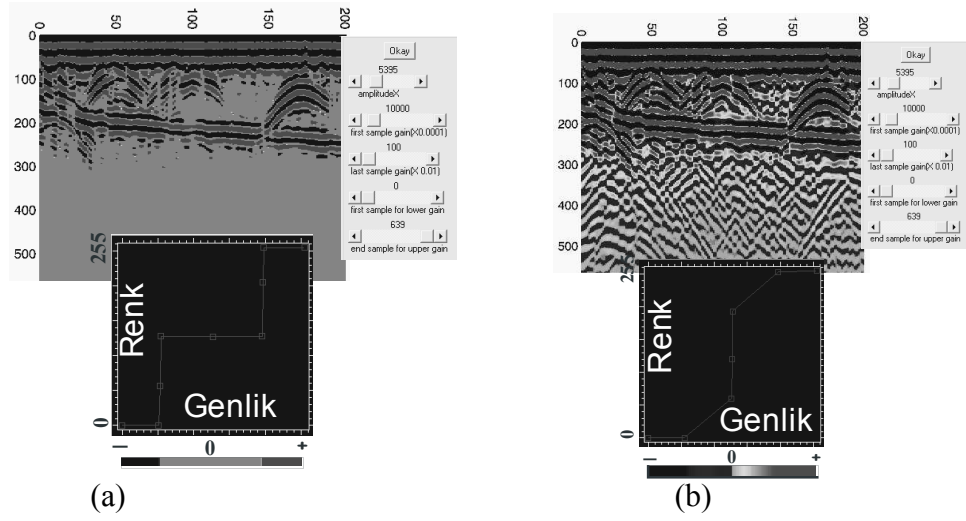


Şekil 3.3.a Filtrelenmiş İki boyutlu(2B) yer radarı kesiti (radargram), bir ize ait genlik bilgisi ve lineer genlik-renk fonksiyonu, b. Aynı yer radarı kesitine aşırı değerli lineer genlik kazanç işlemi uygulanmış hali

### 3.7.5 Genlik – renk fonksiyonunun düzenlemesi

İlerleyen elektromanyetik dalga yansıma veya saçılmaya neden olan bir nesne veya bir ara yüzeye çarptığında genlik bilgisi o nesnenin özelliğini taşıyan yansıma katsayısı ile ölçeklenir. Verinin genlik bilgisinin görüntülenmesi amacıyla yorumcuya bağlı genlik – renk skalası seçilir. Genlik – renk skalası maksimum negatif renk bilgisi ile başlar ve maksimum pozitif genlik bilgisi ile sona erer. Bu renklendirme 0 – 255 arasındaki kodlama ile yapılır, bu tıpkı bilgisayarlarımızdaki renklendirme rezolüsyon aralığı gibi bir aralıktır. Genlik renklendirme işlemi, yatay eksen genlik, düşey eksen 0 – 255 renklendirme aralığı ile yapılır. Genlik – renk atama işlemi, yatay eksen genlik değerlerinin, düşey eksen 0 – 255 renk skalası olmak üzere lineer bir fonksiyon ile yapılır (Şekil 3.3).

Lineer genlik-renk fonksiyonu aranan nesne veya yapıyı ortaya çıkarmak amacıyla yeniden düzenlenebilir. Bu durumda istenen genlik bilgisini daha aktif ve daha belirgin bir renkle tanımlamak, istenmeyen genlik bilgisini sadeleştirmek için, yeni bir fonksiyon düzenleyerek tanımlamak mümkün olmaktadır. (Şekil3.4) (Kadıoğlu, 2008; Kadıoğlu ve Daniels, 2008).



Şekil 3.4 Genlik kazanç uygulaması aynı, ancak genlik-renk fonksiyonları farklı yer radarı kesitleri

Bu tez çalışmasında, tünel tavanında profiller boyunca dolgu birimlerini görüntülemek ve kırıkların net sınırlarını belirlemek amacıyla aynı radargramlar farklı genlik – renk fonksiyonları ile görüntülenmiştir. Ayrıntılı bilgi 5.Bölüm’de verilmiştir.

### 3.7.6 Hız analizi

Saçılmayı meydana getiren nesnenin yarattığı hiperbol, ortamın hızı hakkında bilgi verir ve ortamın hızı yer radarı verileri üzerindeki hiperbollerden yararlanarak hiperbol çakıştırma işlemi ile hesaplanır. Radagramlar üzerindeki bir hiperbolün tepe noktası ve yan açılımı üzerindeki bir noktanın işaretlenmesi suretiyle belirtilen hiperbole neden olan olaya ait hız belirlenmektedir. (Kadioğlu, 2003).

#### 4. TÜNEL DURAYLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Mevcut tüneller hava veya uygunsuz inşaat tekniklerine bağlı olarak genellikle beton astar yaşlanma nedeniyle önemli yapısal bozukluklar sergilerler. Bunun yanı sıra, tünellerin geçtiği güzergahın jeolojisi de oldukça önemlidir. Tünellerin iyileştirme teknikleri tünelin tam yıkım ve yeniden düzenlemesini içeren iç astar yüzey ağır onarım ve hafif yüzey ağır yapısal onarım olarak tanımlanabilir. Bu teknikler tünel kapatma süresini en aza indirmekle birlikte güvenlik sistemlerinin periyodik olarak izlenmesini ve tünel kullanıcılarının etkin korunmasını sağlamaktadır.

Tünel araştırmaları esnasında tünel yapısını etkileyen yaşlanma, donma - çözülme, klorür penetrasyonu, karbonatlaşma veya hatalı inşaat gibi birçok ciddi değişken kusurlar tespit edilmiştir. Son dönemlerde, yeni mevzuat, tünellerin kullanım sıklığı ve meydana gelen deformasyonlar hem kalite hem de tünel güzergahlarında güvenliğe yönelik gerekli iyileştirmelerin yapılmasını gerektirmektedir. Tünel kalitesinin araştırılması, artan kullanıcı güvenliği ve konforu ile uyumlu düzenli bakım programı kapsamında bir yaklaşım gerektirmektedir.

Tüneller periyodik olarak yapısal ve coğrafik risk değerlendirmesine dayalı bir yaklaşım kullanılarak kontrol edilmektedir. Birçok tünel denetimi, ortak kusurların mutlaka jeolojik nedenlerle ilgili olmadığını ortaya koymuştur (Locatelli ve diğ., 2001; Carderelli ve diğ., 2003; Xie ve diğ., 2004). Tünel iç kaplamalarında gözlemlenen kusurların çoğunlukla kullanılan malzemelerin kalitesinden veya kullanılan inşaat yönteminden kaynaklandığını göstermektedir. Bununla birlikte tüneli çevreleyen jeolojik kusurlar dikkatle araştırılmalı ve değerlendirilmelidir. Uygun bir inceleme ile büyük kusurların tespiti tünel kullanıcılarının güvenliğini sağlamaktadır. Tüneller içinde yapılan araştırmalarda belirlenen kusurlar şunlardır:

- 1- Petekli beton veya kötü beton kalitesi,
- 2- Kalıcı ve geçici çelik iskelet yapısındaki boşluklar,
- 3- Paslanmış inşaat demiri,

- 4- Ardışık beton döküm arasındaki boşluklar,
- 5- Çatlaklar ve yarıklar,
- 6- Tünelin geçtiği güzergahın jeolojik durumu,
- 7- Zararlı su boşalımı,
- 8- Çatlaklardan su sızıntısı,

Rehabilitasyon tasarısı ve teknikleri her sorunun önemine bağlı olarak yapılmalıdır. İlgili kusurların sürekli izlenmesi ve proaktif bir bakım çizelgesinin oluşturulması kullanıcı güvenliğini sağlamak için son derece önemlidir. Problemi dört aşamada;

- 1- Bölgesel iyileştirme,
- 2- Yüzey kaplamada genel iyileştirme,
- 3- Beton kesitlerde bölgesel iyileştirme,
- 4- Yeniden kapsamlı tünel yapımı,

şeklinde tanımlayabiliriz. Problemlerin tam olarak tespiti tünel iyileştirme çalışmalarında son derece önemli bir adım olmaktadır.

#### **4.1 Tünel Duraylılığını Bozan Etkenlerin Araştırılması**

Zamana ve dış etkenlere bağlı deforme olabilen tünel yapılarında, tünel duraylılığını bozan en etken durumlar aşağıda verilmiştir:

- i. Denetim,
- ii. Tünellerin kullanımı,
- iii. Yerüstü ve yer altı kaya yapılarındaki stabilite bozuklukları, kırılma ve dışarıdan gelen etkilere dayanıklı sağlam kaya kullanımı,
- iv. Tünel üzerine gelen yüke bağlı gelişen deformasyonlar, basınç etkisi,

- v. Su, sıcaklık, zaman gibi parametrelerin etkileri,
- vi. Tünel içi boşluklar

#### **4.2 İç Kaplama Kontrolleri**

Tünel içerisinde mümkün olduğunca çok bilgi toplamak amacıyla iç kaplama denetimi gerçekleştirilmelidir. Görsel ve darbeli denetim, yıkıcı ve yıkıcı olmayan yöntemlerle tünel içerisinde meydana gelen sorunları görüntülemek mümkün olabilmektedir. Yer radarı kullanımı tünel araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle tünel içi kaplama kontrollerinde yer radarı kullanılmaktadır (Carderelli ve diğ.,2003).

Yıkıcı olmayan yöntem olarak kullanılan yer radarı yöntemi iç kaplamada bulunan boşlukların belirlenmesinde oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Tünel iç yapılarındaki ara yüzeylerin belirlenmesi için kullanılan yer radarı, özellikle tünel tavanında meydana gelen derin çatlak ve kırıklar ile tünel yan duvarlarında uzanan kayaçların türünün tespitinde sıklıkla kullanılmaktadır.

## 5. ZONGULDAK – ÇATALAĞZI DEMİRYOLU HATTI 55 NOLU TÜNEL İÇİ DURAYLILIK PROBLEMLERİNİN TANIMLANMASINDA JEOLJİK VE JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

### 5.1 Tünelin Tarihçesi

Tez kapsamındaki çalışma bölgesi Zonguldak ile Zonguldak – Çatalağzı demiryolu hattı üzerindeki 55 No'lu tünel içidir (Şekil 5.1). Üretim ve tüketim merkezleri ile özellikle limanlar arası ilişkileri kurması, Orta ve Doğu bölgelerinin merkez ve sahil ile bağlantısını sağlamak amacıyla kurulan hatlardan biri olan Filyos-Zonguldak demiryolu kömür hattı iki kısım olarak düşünülmüş ve ilk kısım Filyos-Çatalağzı, ikinci kısım Çatalağzı-Zonguldak olmak üzere tesis edilmiştir.

Birinci kısım olan Filyos-Çatalağzı demiryolu kömür hattı 15 km uzunluğunda olup, 1936 yılında işletmeye açılmıştır. 10 km uzunluğunda olan ikinci kısım Çatalağzı-Zonguldak kömür hattı ise 1937 yılında işletmeye açılmıştır (Atalı, 1937). Tez çalışma bölgesi Zonguldak – Çatalağzı Demiryolu hattı üzerindeki 55 nolu Tünelin incelenmesi sırasında;

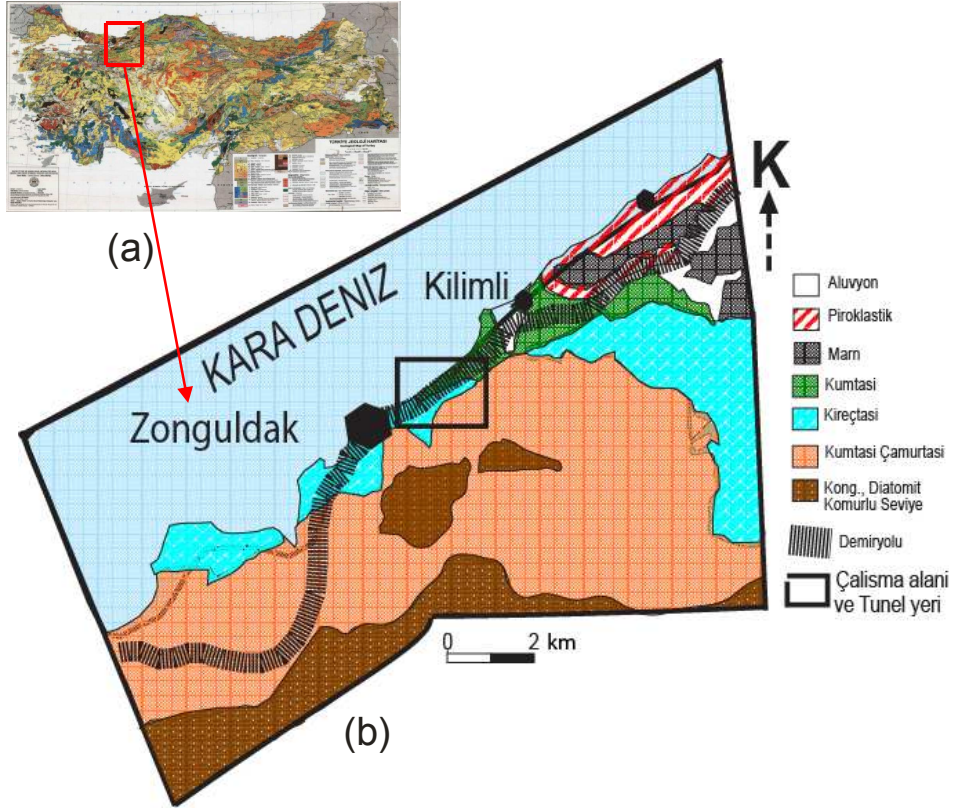
- 1- Tünel içerisinde tünel kaplama dolgu malzemelerinde kırık ve çatlaklar oluştuğu ve bu boşluklardan atık sular geldiği,
- 2- Atık suların tek kaynaklı olmayıp farklı noktalardan ve farklı bileşimde farklı debilerle tünel içerisine sızdığı,
- 3- Tünelin bazı kısımlarında kaplama dolgu malzemesi aralıklarından akan su numunelerinin analiz sonucu içme su şebekesinden olduğu tahmin edilen temiz su akıntısı ile şehir atık su kanallarından kaynaklandığı düşünülen kirli su akıntısı olduğu,
- 4- Bu akıntılar çevresinde oluşan traverten çökellerinden bu sızıntıların hem uzun süreden beri devam ettiği hem de bikarbonatça doymun suların kireçtaşı istiflerinden geldiği,
- 5- Su sızıntılarının önemli bir bölümünün tünel kenar duvarlarından geldiği,

- 6- Tünel içerisine doğru gelen suların boşaltılması için tabandaki drenaj kanallarının bir kısmının ileri derecede parçalanmış ve bozulmuş olduğu,
- 7- Tünel içerisinde kullanılan kaplama taşlarının dökülmemesi için yüzeye çakılan metal levhaların alt kısımlarının da ayrılmış ve bozulmuş olduğu,
- 8- Tünel kaplama taşlarından alınan örneklerin incelenmesi ile, ayrışmanın ana nedeninin süzülen sulardan kaynaklandığı ve kayaç içerisindeki kılcal çatlakların ise çevredeki jeolojik yük-statik basıncının etkisiyle oluştuğu

belirlenmiştir.

## **5.2 Zonguldak – Çatalağzı Demir Yolu Hattının Jeolojisi**

Zonguldak Taşkömürü Havzası içinde kalan bölgenin jeolojisi tünelin içinde bulunduğu kaya birimi, çalışmanın ilk aşamasını oluşturmaktadır. Devlet Demir Yollarının uzun yıllardan beri kullanılan ve ciddi anlamda bakıma ihtiyaç duyulan tünellerinden biri olan Zonguldak 55 No'lu Tünel; genel olarak kumtaşlarının içersinden geçmektedir. 55 No'lu Tünelin geçtiği yerin jeoloji haritası Şekil 5.1'de verilmiştir. Bölgenin temelini, Paleozoik – Mesozoik yaşlı konglomera diatomit ve kömürlü seviyeler içeren birimler oluşturmaktadır. Bunların üzerine sırasıyla kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, kumtaşı, marn, piroklastik ve alüvyon seviyeleri gelmektedir. 55 No'lu tünel arkozik bileşimli kumtaşından geçmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Zonguldak 55 Nolu Tünelin bulunduğu bölgenin jeoloji haritası (MTA, 2001'den değiştirilerek alınmıştır)

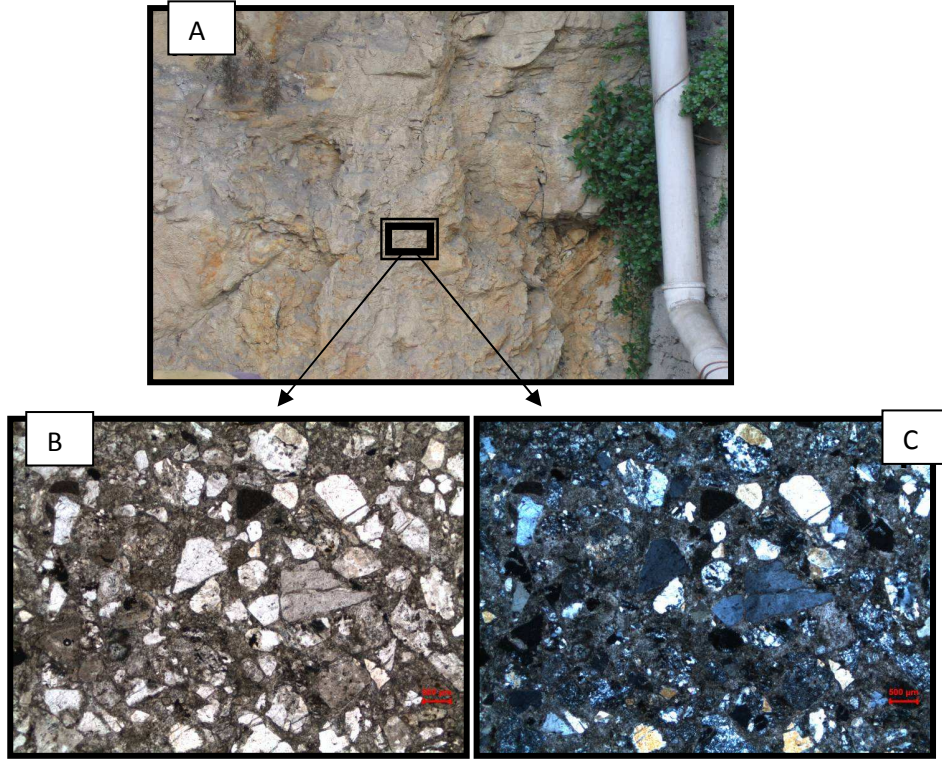
### 5.2.1 Zonguldak Demir Yolu Hattı 55 No'lu Tünel Petrografisi

Tünel içindeki kayaların petrografisini incelemek amacıyla petrografik analiz yapılmıştır. Petrografik analizler malzemeleri karakterize etmek ve var olan bozulmaları tespit etmek üzere uygulanmaktadır.

Polarizan mikroskopta petrografik analiz, malzemelerin mineralojik bileşimi, petrografik incelemesi ile dokusal özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Zonguldak 55 Nolu tünel içindeki kayalar, çok geniş sayıda malzeme ve sistemlerin analizi ile malzemelerin kimyasal bileşimi ve numunenin polimorfik formlarını belirlemek için, makro ve mikro ölçeklerde hızlı ve net tanımlama sağlayan yöntem olan raman spektroskopisi ve mikroskopi analiz ile incelenmiştir.

Zonguldak 55 Nolu tüneli ve yakın çevresindeki birim genel olarak kumtaşı ve marn-kiltaşı araldanmalı birimlerden oluşmaktadır. İstif Zonguldak formasyonun üyesini temsil etmektedir. Tünel esas olarak kumtaşlarından oluşan birimden geçmektedir. Kumtaşları; mikroskop altında karbonat matriksli bir çimento içerisinde kuvars, plajiyoklaz, alkali feldispat, muskovit, piroksen, çört, bazalt ve granit kayaç parçaları içererek arkoz bileşimindedir (Şekil 5.2). Kumtaşları hidrotermal alterasyon ve günlenmenin etkisinde kalarak önemli ölçüde ayrışma gösteren orta zayıf kaya özelliğindedir. Kumtaşlarının aralarında yer yer kil ve marn araldanmasının yanında taş kömürü oluşukları da yer almaktadır.

Tünel içersindeki kaplama taşlarının önemli bir bölümü Zonguldak Formasyonu'ndan alınma arkozik kumtaşları (bileşiminde feldispat bulunan tortul kaya) ve yine bölge civarından alınan Karbonifer kireçtaşlarından oluşmaktadır. Tünel giriş ağzından ve Mithat Paşa Mahallesi Göğüs Hastalıkları Hastanesi mevkiinden alınan örnekler arkozik bileşimindeki kumtaşlarını temsil etmektedir. Tünel içersindeki kaplama taşlarından alınan örneklerin bir kısmı ileri derece ayrışma gösterdiği mikroskopik çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Tünel içersinde görülen su akıntılarının akış güzergahında 10-15 cm kalınlığında traverten çökelleri belirlenmiştir. Travertenler mikroskop altında başlıca karbonat ve Konfokal Raman spektrometresinde, bunların daha çok temiz yüzeyli herhangi bir organik katkı içermeyen aragonitlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Konfokal Raman Spektrometre sonuçlarına göre arkozların kuvars, kalsit, aragonit, ankerit, albit, hematit, diyopsit, kalsedon ve klorit mineralleri içerdiği belirlenmiştir.

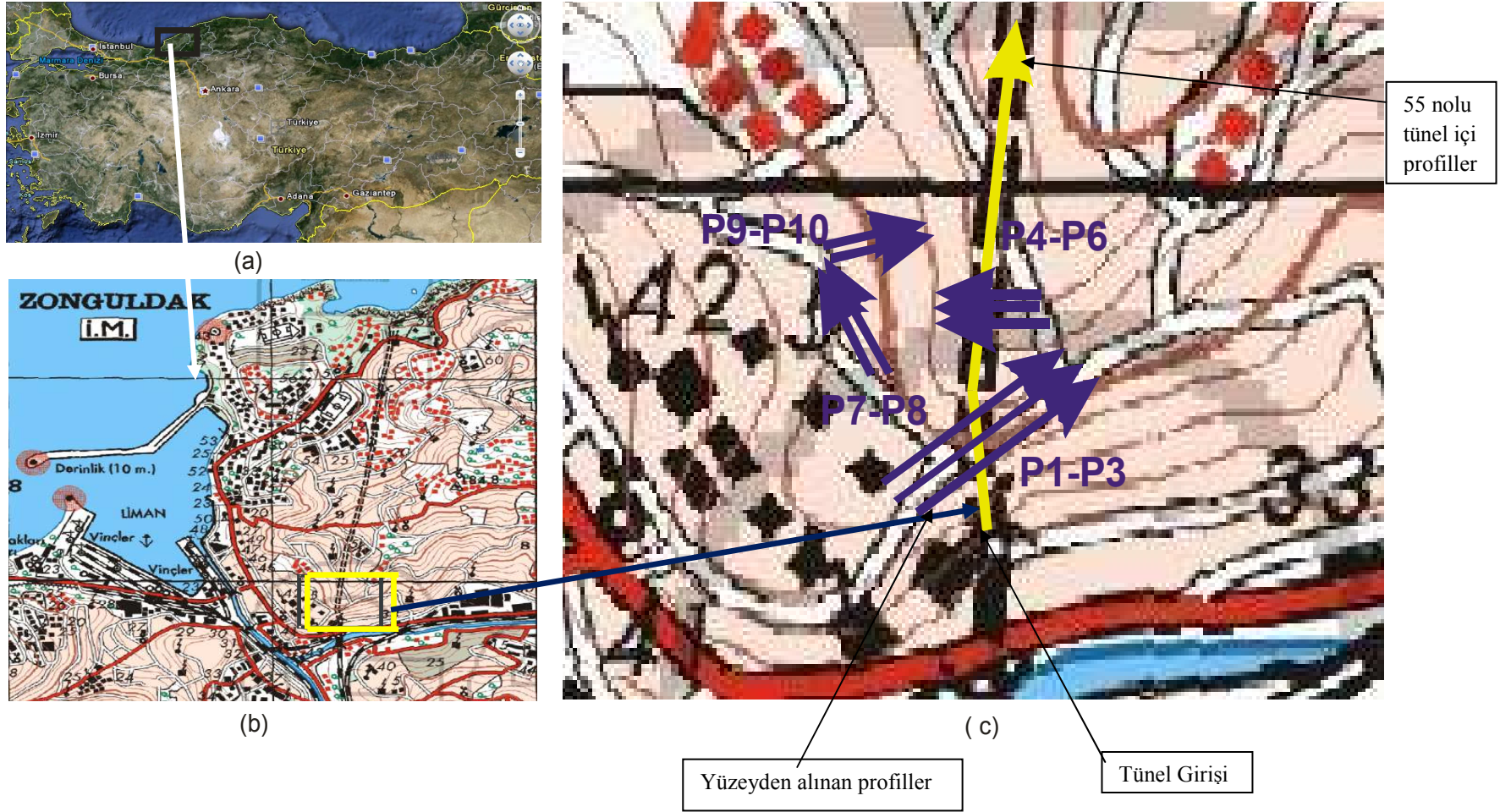


Şekil 5.2.a Zonguldak 55 nolu tüneli geçtiği Arkoz (Kumtaşı) bileşimindeki kayanın arazi görünümü ve b.mickrofotografı (tek nikol), c.mickrofotografı (çapraz nikol)

### 5.3 Yer Radarı Yöntemi ile Tünel Duraylılığının Araştırılması

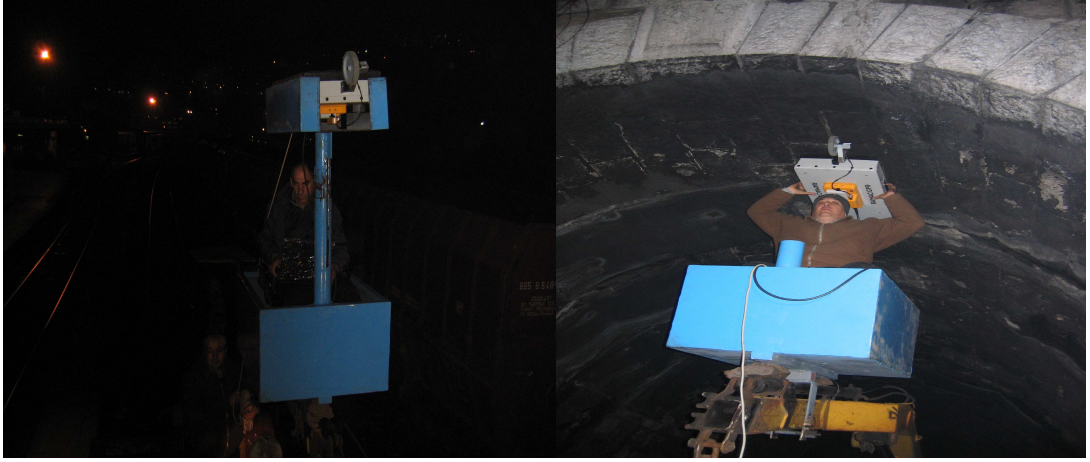
#### 5.3.1 55 Nolu Tünel İçinde ve Üst Bölgesinde Veri Toplama

Devlet Demir Yollarına ait Zonguldak – Çatalağzı hattı üzerinde bulunan Zonguldak 55 nolu tünelin uzunluğu 1.500 m'dir. Zonguldak istasyonu Mithat Paşa Mahallesiindeki giriş ağzından itibaren 500 m'ye kadar olan bölümünde atık su ve temiz su sızıntıları ve akıntıları görülmektedir. Kaplama taşlarının ve dolgu malzemelerinin bozunduğu ve ayrıştığı gözlemlenmektedir.

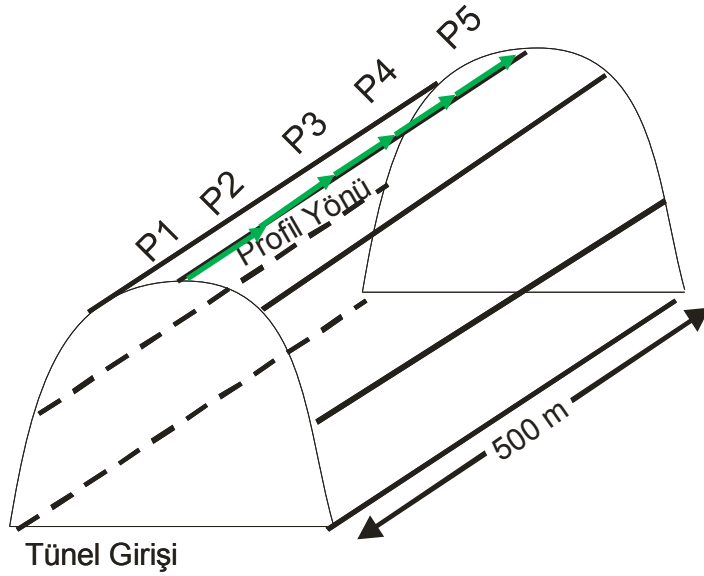


Şekil 5.3 55 nolu tünel profilleri (Sarı ok tünel içi, mavi oklar tünel üstü profilleri vermektedir) ve Türkiye'deki yeri

Zonguldak Merkez Mithat Paşa Mahallesi tünel girişinden başlayarak önce ardışık 5 profil, yaklaşık 106 metre profil boyları ile taranarak tünel gidişi boyunca tünel tavanından toplam 500 m veri toplanmıştır (şekil 5.3) ve (şekil 5.4). Veri toplama işlemi tünel dönüşü boyunca tekrarlanmıştır.



şekil 5.4 Tünel içinden veri toplama çalışmaları



şekil 5.5 Tünel içi tünel tavanından ardışıklı toplanan 5 profil



Şekil 5.6 Tünelin geçtiği düşünülen muhtemel güzergahta veri toplama çalışmaları

Tünel içinde tünel tavanından veri toplamak için RAMAC CU II sistem ve tavan boyunca taşınabilecek en uygun ve yaklaşık 10-15 m derinlere kadar bilgi sunabilen 250 MHz kapalı sistem anten kullanılmıştır. Tünel içi profillere ait ölçüm sabitleri;

- $\Delta x$ - Ölçüm aralığı : 0.05 m
- Frekans :250 MHz
- Profil boyu : 106 m

Tünelin geçtiği farklı oto yolları üzerinde yine harita üzerinde koordinatları dikkate alınarak yerleştirilmiş farklı boylarda 10 profil üzerinde yer radarı verisi toplanmıştır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.6). Yüzeydeki profiller üzerinden toplanan verilerde yaklaşık 20-30 m derinliklere kadar bilgi sunabilen 100 MHz kapalı sistem anten kullanılmıştır. Tünel üstü profillere ait ölçüm sabitleri;

- $\Delta x$ - Ölçüm aralığı : 0.05 m
- Frekans :100 MHz
- Profil boyu : 77 m (profil 1-2-3 için)
- Profil boyu : 32 m (profil 4-5-6 için)
- Profil boyu : 35 m (profil 7-8 için)
- Profil boyu : 30.6 m (profil 9-10 için)

### 5.3.2 Yer radarı verilerinin işlenmesi

Tünelin içinde toplam 9 profil, tünel üstünde ise toplam 10 profil üzerinden çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.3). Tünel içindeki toplanan profil verilerinin veri – işlem aşamasında 500 m’lik hattan son profilin bozuk olduğu anlaşılmış ve iptal edilmiştir. Bu nedenle tünel içinden 428.7 m’lik bölüm değerlendirilebilmiştir. Toplanan 9 profilden 5. Profil bozuk olduğundan, diğer profiller de tünel dönüşü boyunca alınan veriler olduğundan ve benzerlik gösterdiğinden tez kapsamında sunulmamıştır.

Yer radarı yöntemi ile toplanan verilere uygulanan veri işlem adımları

- i) Profillerin düzenlenmesi,
- ii) Sıfır zamanı düzeltmesi,
- iii) Çok düşük frekansların giderilmesi- dewow,
- iv) Band geçişli ikinci düzen butterworth süzgeç ile süzgeçleme,
- v) Genlik kazanç işlemi,
- vi) Hız analizi,
- vii) Göç işlemi ve
- viii) Genlik – renk fonksiyonu düzenleme

şeklinde verilebilir.

Verilerin işlenmesi ve yorumlanması amacıyla kullanılan ReflexW v.3.5.8 (Sandmeier, 2008) programı kullanılmıştır. Bunun yanında IDL programlama dili ile yazılmış GPHYZGPR (Daniels, 2000) programı ile genlik kazanç işlemi ve uygun genlik- renk fonksiyonu oluşturma işlemi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, tünel içinde dolgu sınırlarını belirleme amaçlı band geçişli süzgeç olan “butterworth süzgeci” uygulanmış ve süzgeç aralığı 71-325 MHz olarak seçilmiştir. Daha sonra süzgeç aralığı 103-262MHz olarak değiştirilmiştir. Tünel üstü

verilerine uygulanan süzgeç aralığı ise 52-130MHz'dir. Ayrıca verilere hiperbol çakıştırma yöntemiyle hız analizi yapılmıştır. Ortalama hız 0,11 m/ns olarak bulunmuştur.

### **5.3.3 Tünel içi yer radarı verilerinin farklı genlik kazanç ve genlik-renk fonksiyonu ile görüntülenmesi**

Bu tez çalışması kapsamında teknik olarak genlik – kazanç işleminde farklılık yaratan işlem, verici antenden alıcıya yüzey boyunca en yüksek genlik bilgisini içeren doğrudan gelen dalganın maksimum genlik değerini, maksimum yansıyan/saçılan dalganın genlik değerine indirgeme uygulanmasıdır. Genlik kazanç işleminde genlik bilgisini arttırmak amaçlanır. Ancak literatürde var olan AGC (Automatic Gain Kontrol: Çok değişken genliklere sahip sinyallerin en iyi alınabilmesi için gereken alıcı duyarlılığının ayarlanması) dışındaki doğrusal ve üstel genlik kazanç fonksiyonları yorumcuya doprudan bağlı olduğundan doğru uygulanmaz ise, yanlış sonuçlar oluşturabilmektedir. Ayrıca, doğru genlik oranları korunamamaktadır. Bu durum radargramların yorumlanmasında olumsuz sonuç yaratmaktadır. Uygulamalarda doğrudan gelen dalganın radargram görüntüleme çok fazla etkin olduğu; diğer genlik bilgileri ile büyük fark oluşturduğu gözlenmiştir. Genlik skalasında maksimum – minimum genlik değerlerinin maksimum yansıma/saçılma dalgasına göre düzenlenmesi radargram görüntüleme daha etkin olabilecektir. Bu nedenle öncelikle doğrudan gelen dalga bilgisi verideki maksimum yansıma/saçılma dalgasına göre indirgenmiş, daha sonra gerekli görülürse çok az değişimli lineer genlik kazanç uygulanmıştır.

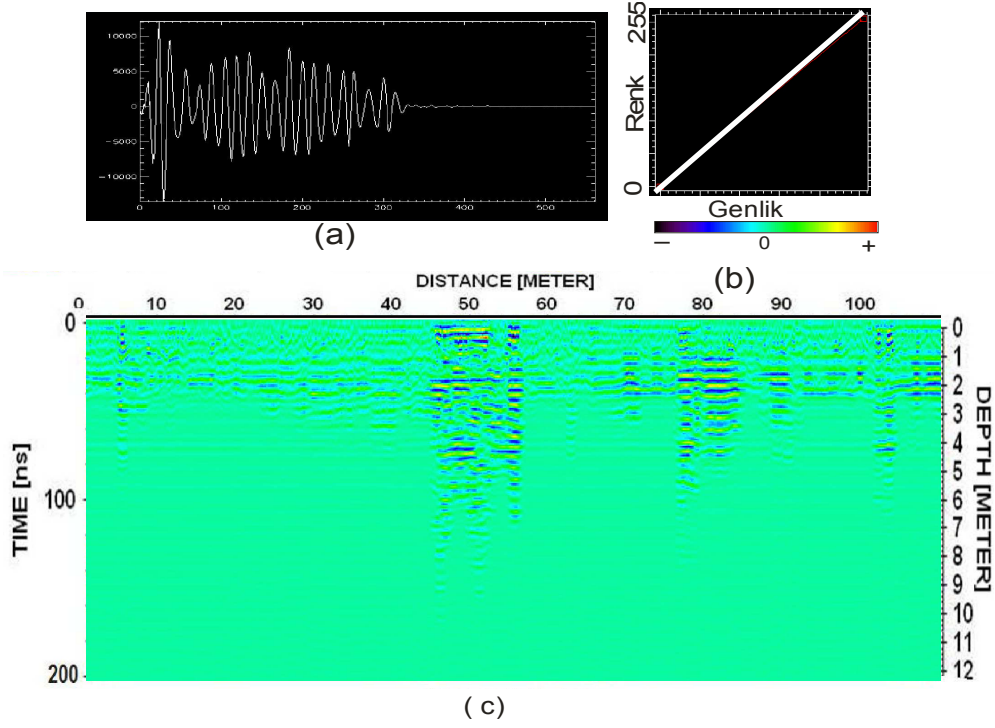
Tünel içi verilerin IDL programında genlik kazanç uygulanmamış lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenmiş halleri, Tünel İçi Profil 1 için Şekil 5.7'de, Profil 2 için Şekil 5.12'de, Profil 3 için Şekil 5.17'de ve Profil 4 için Şekil 5.22'de gösterilmektedir. İlgili şekillerde (a) sinyalin orijinal halini gösterirken (b) yatayda genliği, düşeyde renk çizelgesini temsil eden lineer genlik – renk fonksiyonunu göstermektedir. (c) ise genlik kazanç uygulanmamış lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenmiş radargram görüntüsünü vermektedir.

Genlik kazanç uygulanmamış fakat varolan tüm genlik bilgisini gösterebilen farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenmiş halleri, Tünel İçi Profil 1 için Şekil 5.8’de, Profil 2 için Şekil 5.13’de, Profil 3 için Şekil 5.18’de ve Profil 4 için Şekil 5.23’de gösterilmektedir. İlgili şekillerde (a) sinyalin orijinal halini gösterirken (b) yatayda genliği, düşeyde renk çizelgesini temsil eden farklı genlik – renk fonksiyonunu ve (c) yatay eksen genlik bilgisi, düşey eksen ise 0-255 aralığındaki renk değerlerini gösteren lineer genlik – renk fonksiyonu yerine genlik aralıklarına farklı renklerin atandığı düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonunu göstermektedir.

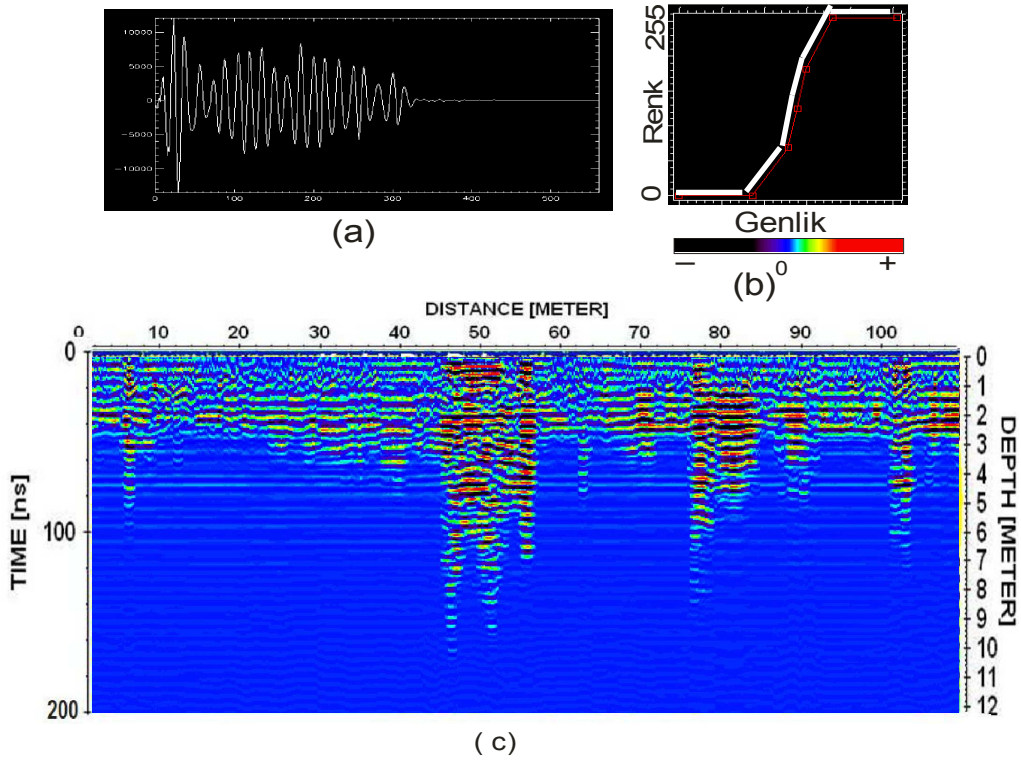
Tünel içi verilerin IDL programında genlik kazanç uygulanmış ve lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenmiş halleri, Tünel İçi Profil 1 için Şekil 5.9’da, Profil 2 için Şekil 5.14’de, Profil 3 için Şekil 5.19’da ve Profil 4 için Şekil 5.24’te gösterilmektedir. Bahse konu şekillerde (a) orijinal sinyalin genlik değerinin maksimum yansıma/saçılma dalga genlik değerine indirgenmesiyle yapılan genlik kazanç işlemi sonrası görüntüsünü verirken, (b) yatayda genliği, düşeyde renk çizelgesini temsil eden lineer genlik – renk fonksiyonunu ve (c) genlik kazanç işlemi ve lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenmiş radargramı göstermektedir.

İşlenmiş verilere ait profil radargramlarının görüntülenmesinde farklı genlik – renk fonksiyonları oluşturularak genlik aralıkları kontrol edilmiş ve yatay süreksizliklerin ve düşey süreksizliklerin (kırıkların) görüntülediği iki farklı genlik – renk fonksiyonu oluşturulmuştur. Bunlardan kırıkların diğer bilgilerden ayırt edilmesini sağlayan genlik – renk fonksiyonu tünel duraylılığını etkileyen kırıkların konumlarının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Tünel içi profillere ait seçilmiş genlik – renk fonksiyonu ile elde edilmiş radargramlar Profil 1 için Şekil 5.10 ve 5.11’de, Profil 2 için Şekil 5.15 ve 5.16’da, Profil 3 için Şekil 5.20 ve 5.21’de ve Profil 4 için Şekil 5.25 ve 5.26’da verilmiştir.

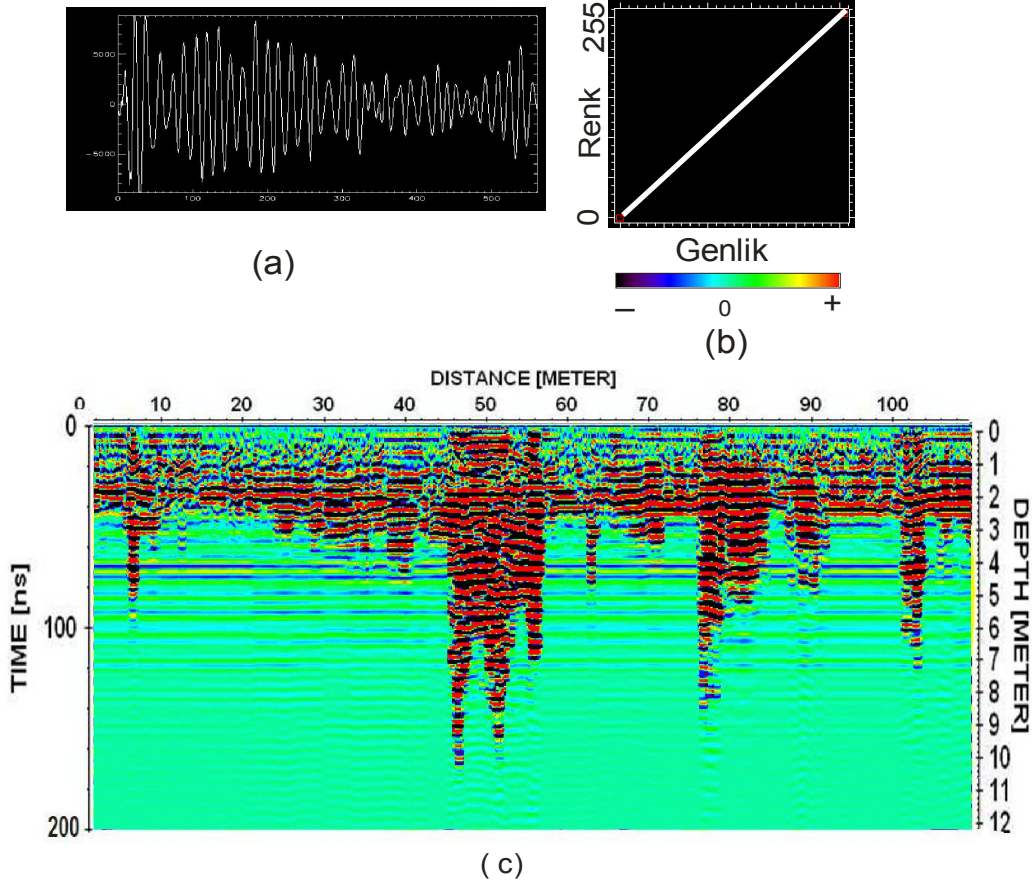
**PROFİL-1:** Tünel içinde Profil 1, 0-105 m arasını temsil etmektedir. Profil 1 için uygulanan genlik kazanç ve farklı genlik – renk fonksiyonlarına ilişkin görüntüler Şekil 5.7’den Şekil 5.11’e kadar verilmiştir.



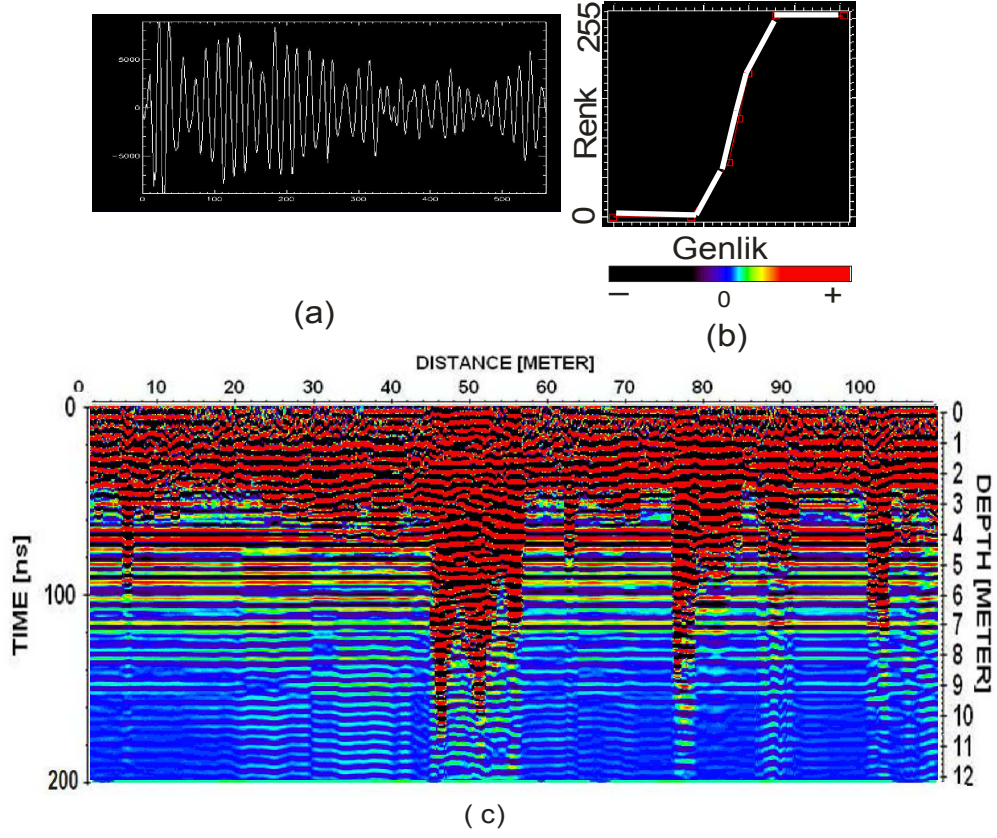
Şekil 5.7.a. Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. profil 1'e ait radargram



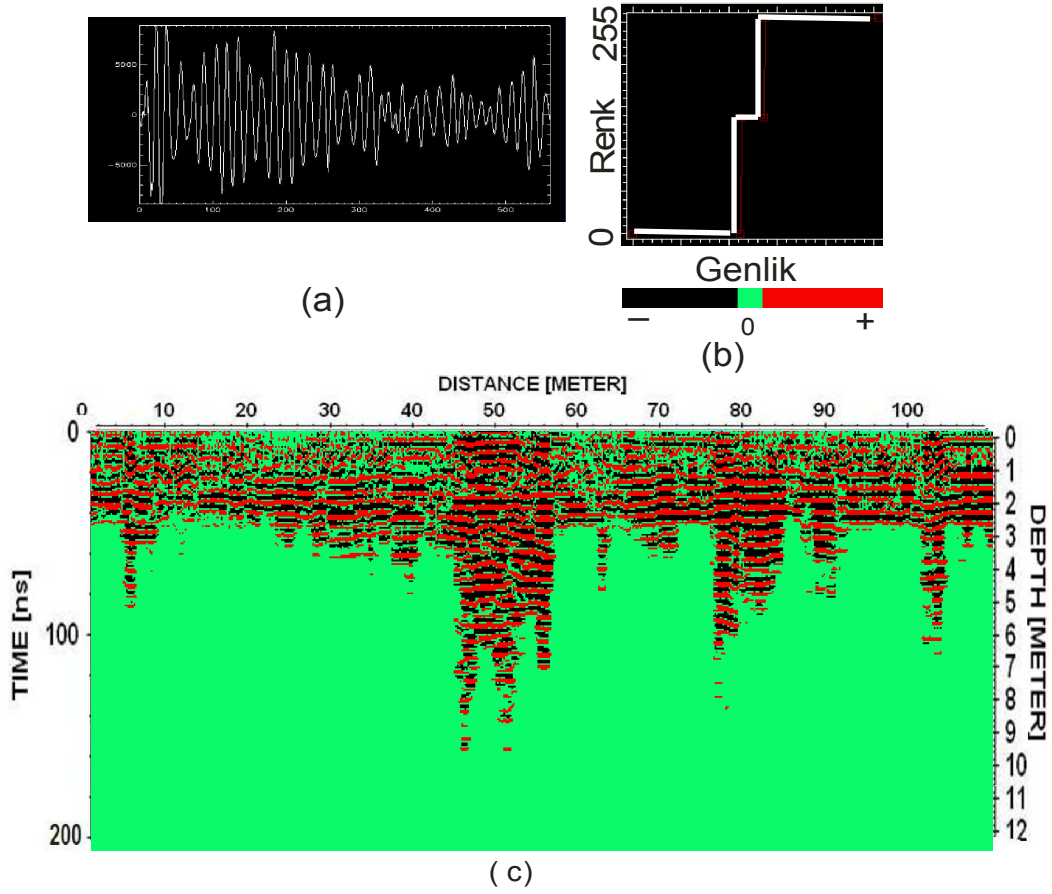
Şekil 5.8.a. Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1'e ait radargram



Şekil 5.9.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1'e ait radargram

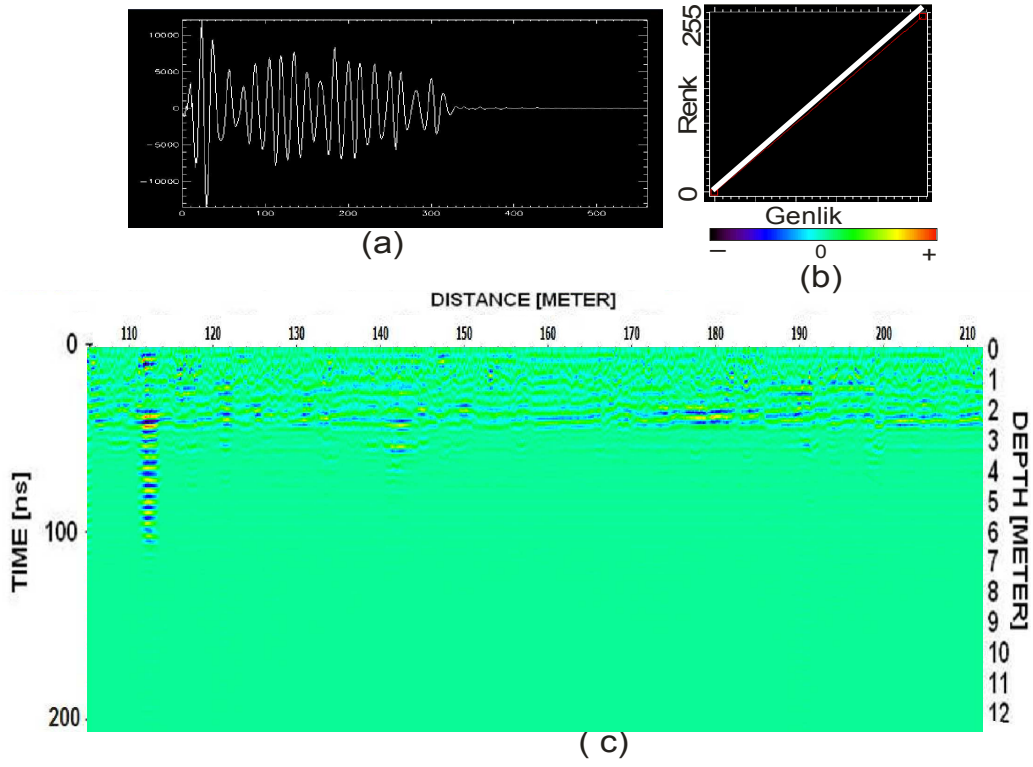


Şekil 5.10.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirgenğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1'e ait radargram. Bu radargramda tüm genlik bilgisi görüntülenmiştir.

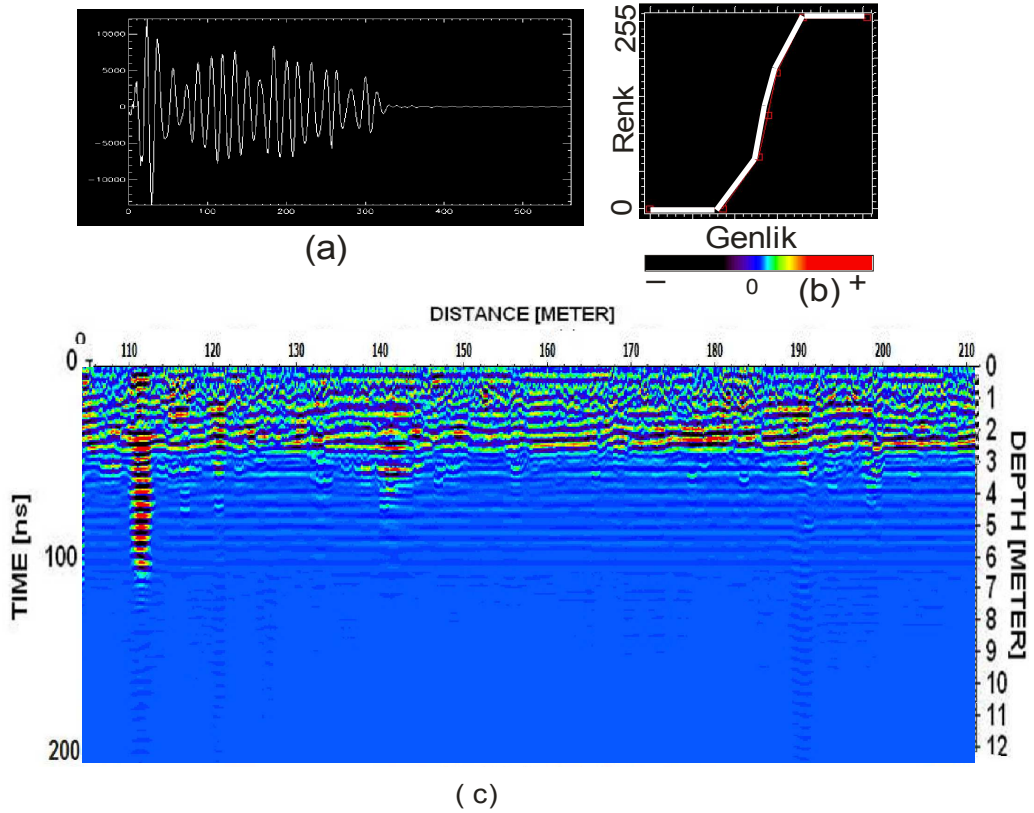


Şekil 5.11.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansıma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 1'e ait radargram. Bu radargramda baskın genlik bilgisi görüntülenerek duraylılık problemi olan kırıkların konumları netleştirilmiştir.

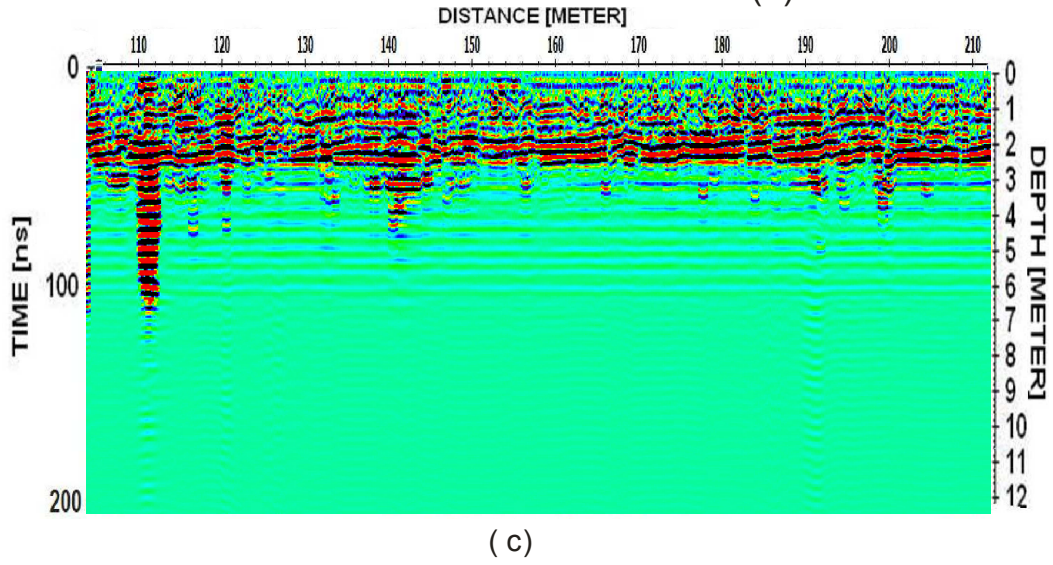
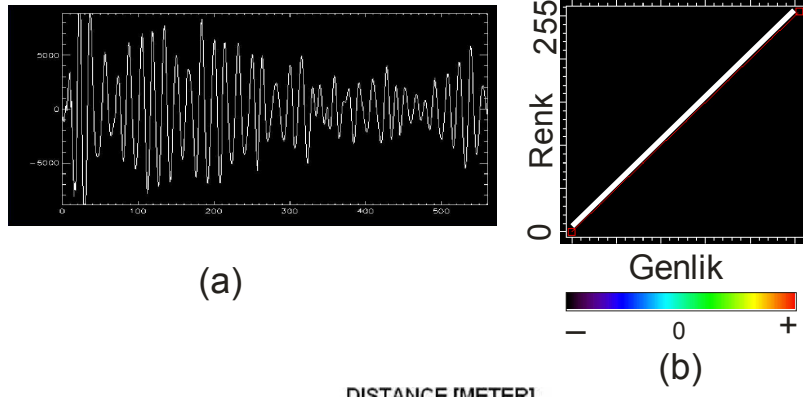
**PROFİL-2:** Tünel içinde ikinci 105 m'lik kısım olan Profil 2, 110-210 m arası temsil etmektedir. Profil 2 için uygulanan genlik kazanç ve farklı genlik – renk fonksiyonlarına ilişkin görüntüler Şekil 5.12'den Şekil 5.16'ya kadar verilmiştir.



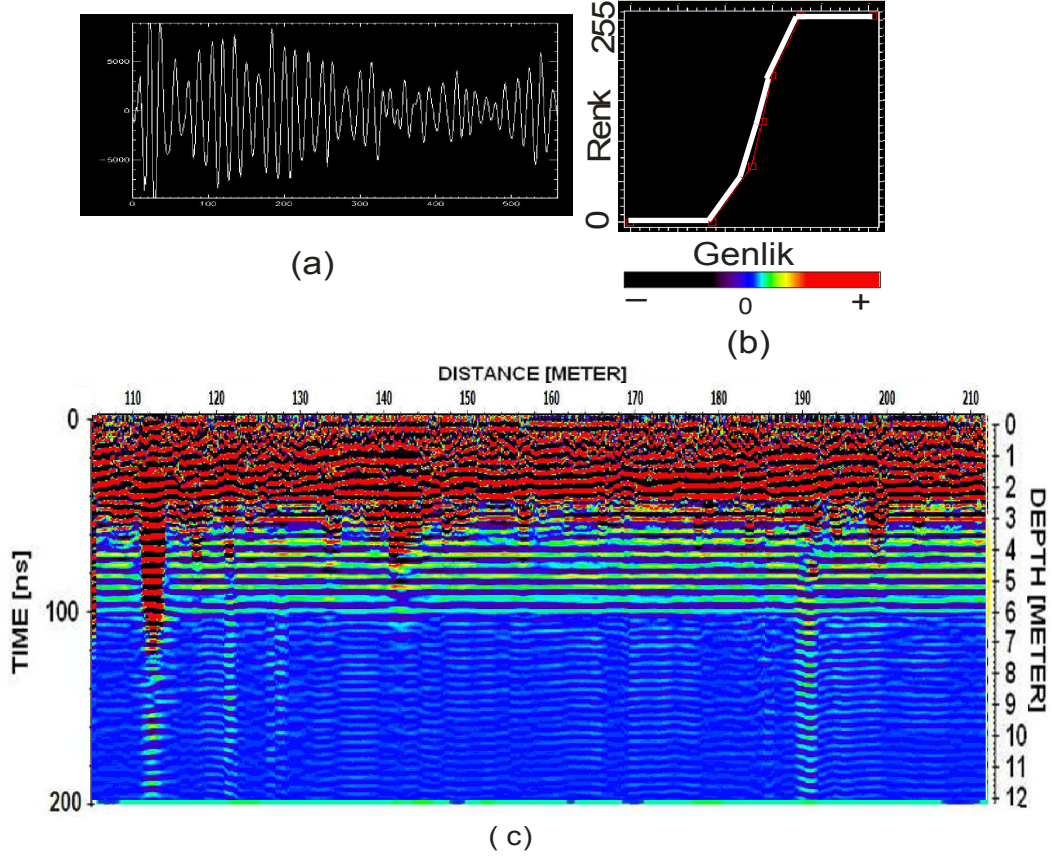
Şekil 5.12.a. Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. profil 2'ye ait radargram



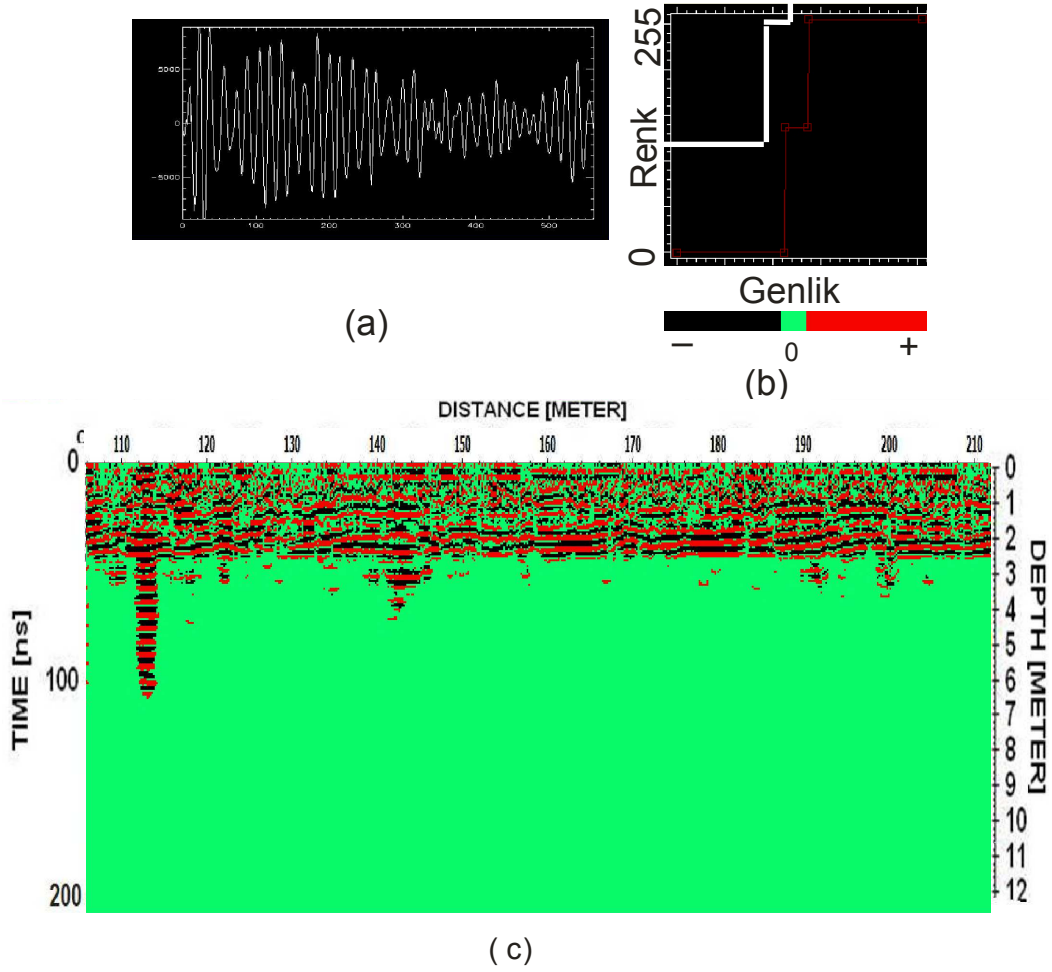
Şekil 5.13.a. Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2'ye ait radargram



Şekil 5.14.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirgenğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2’ye ait radargram

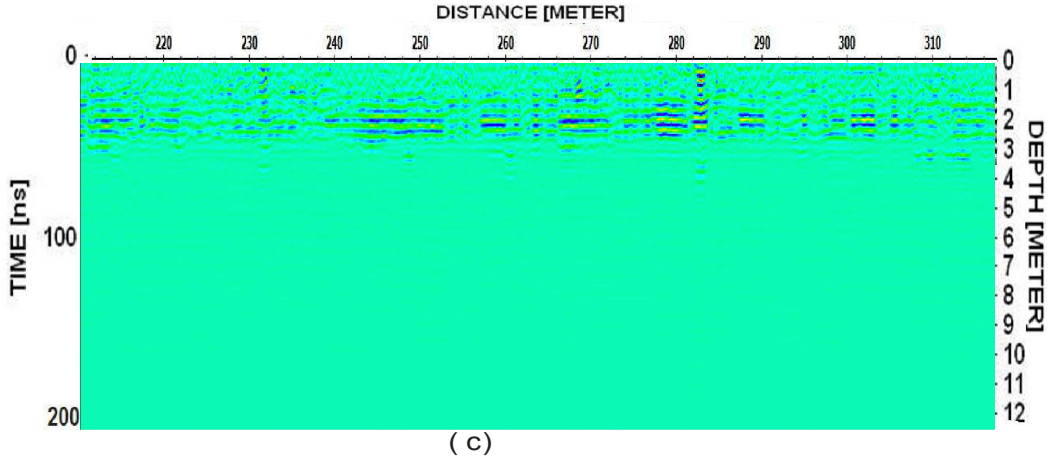
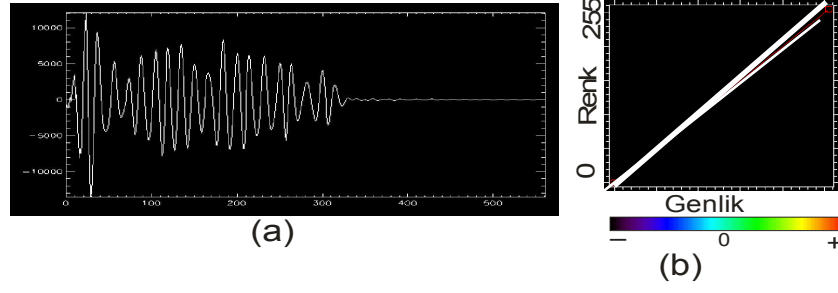


Şekil 5.15.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2'e ait radargram. Bu radargramda tüm genlik bilgisi görüntülenmiştir.

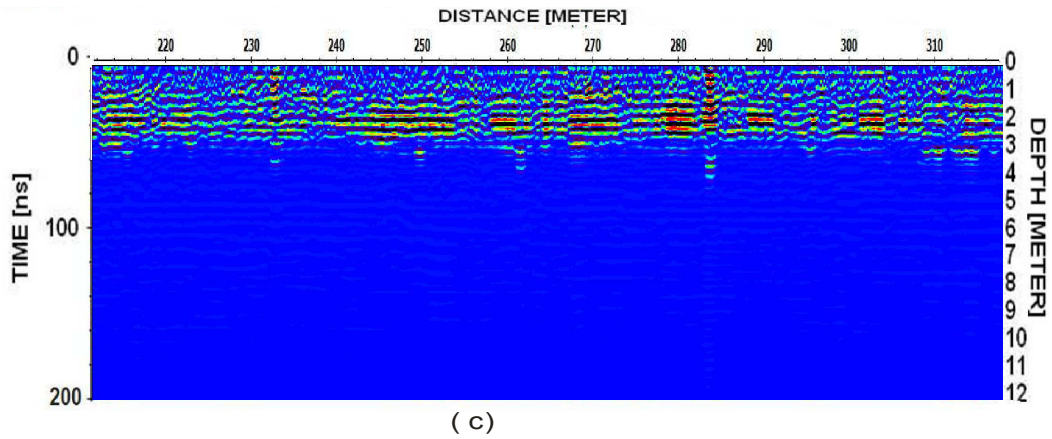
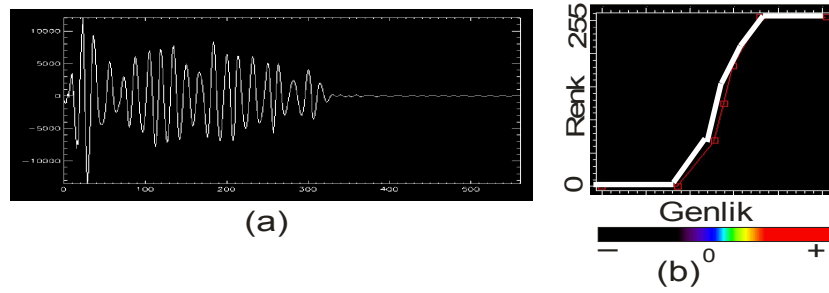


Şekil 5.16.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansıma dalga genliğine indirgendiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 2'ye ait radargram. Bu radargramda baskın genlik bilgisi görüntülenerek duraylılık problemi olan kırıkların konumları netleştirilmiştir.

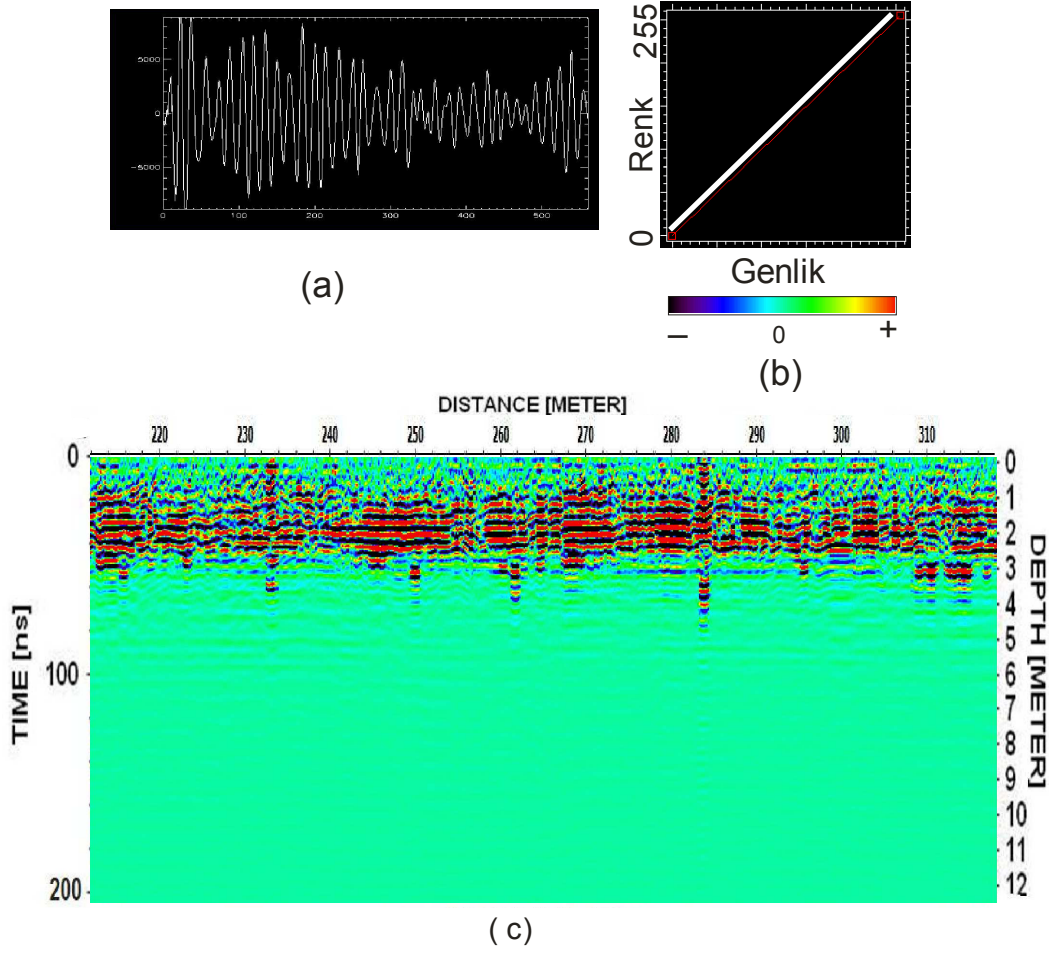
**PROFİL-3:**Tünel içinde üçüncü 105 m'lik kısım olan Profil 3, 215-315 m arasını temsil etmektedir. Profil 3 için uygulanan genlik kazanç ve farklı genlik – renk fonksiyonlarına ilişkin görüntüler Şekil 5.17'den Şekil 5.21'e kadar verilmiştir.



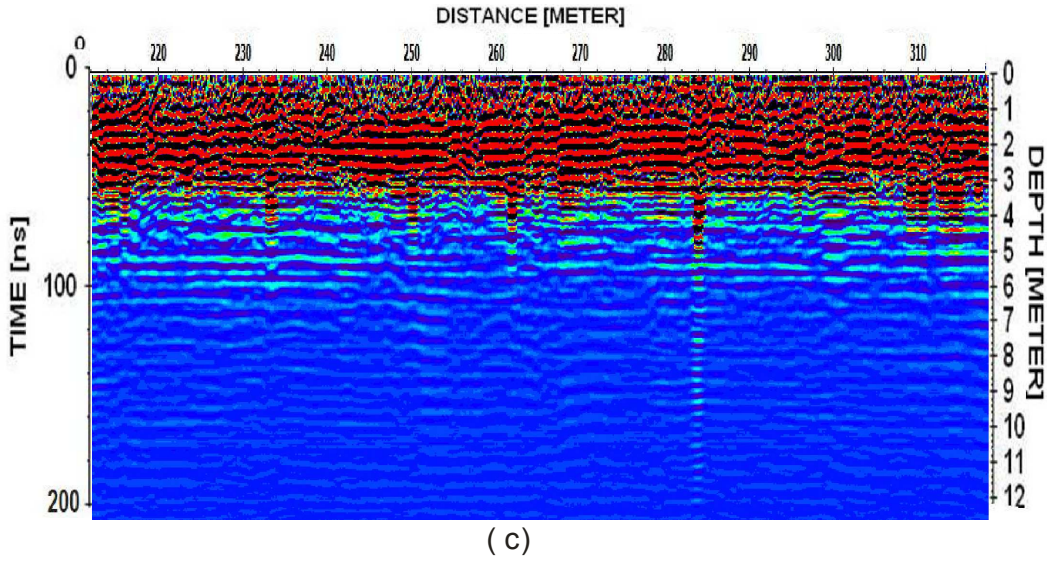
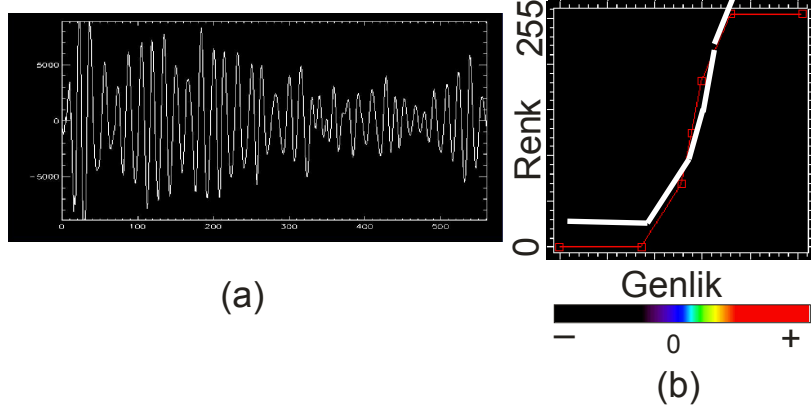
Şekil 5.17.a. Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. profil 3'e ait radargram



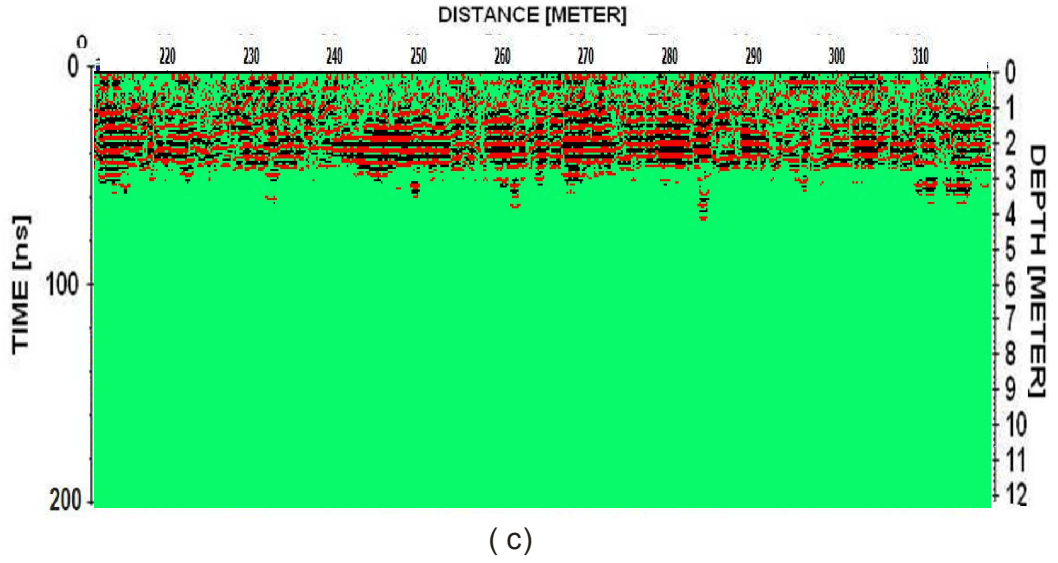
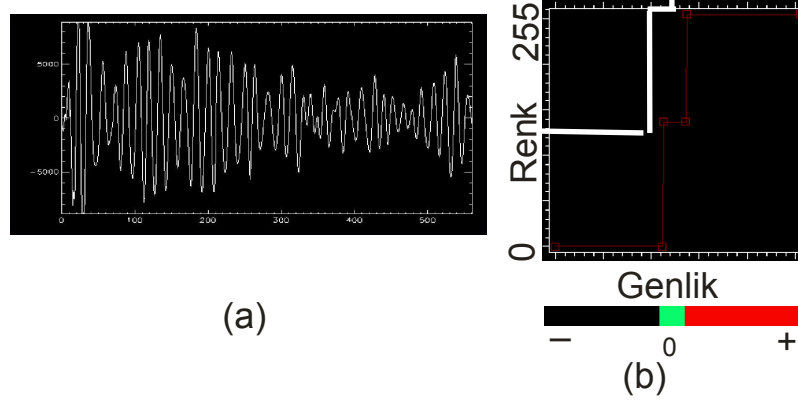
Şekil 5.18.a. Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3'e ait radargram



Şekil 5.19.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirgenğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3'e ait radargram

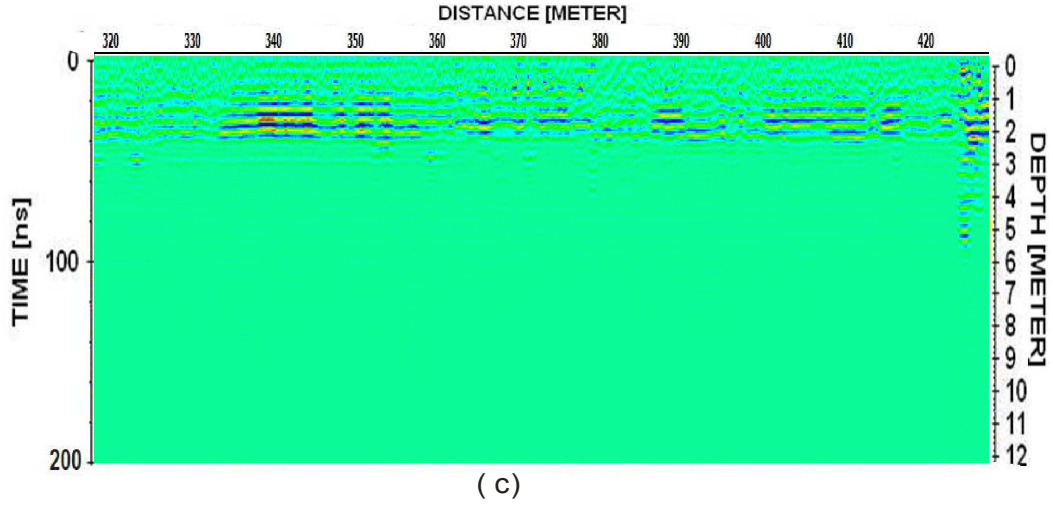
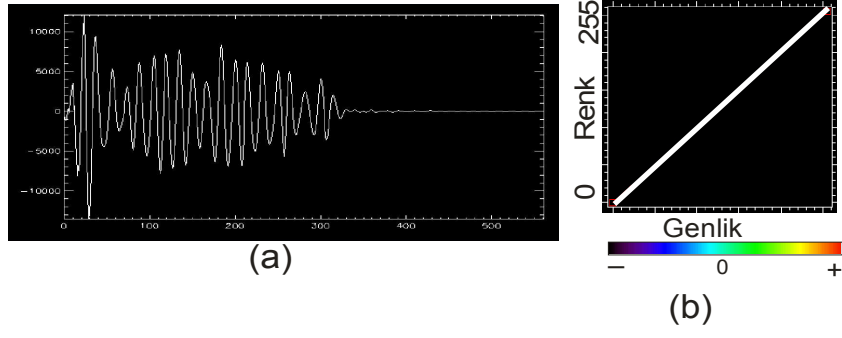


Şekil 5.20.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirgendiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3’e ait radargram. Bu radargramda tüm genlik bilgisi görüntülenmiştir.

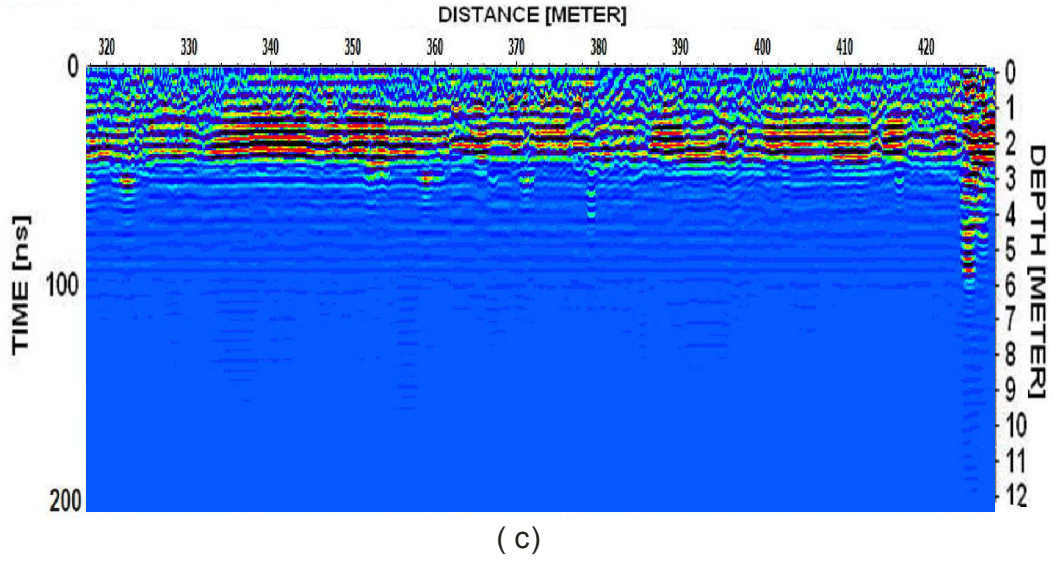
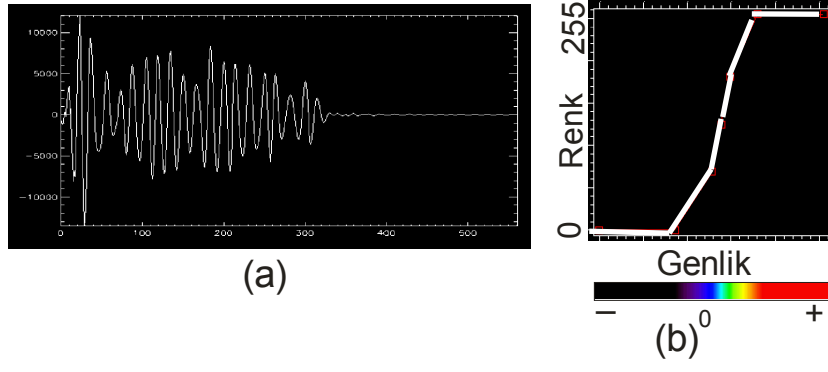


Şekil 5.21.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansıma dalga genliğine indirgendiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 3'e ait radargram. Bu radargramda baskın genlik bilgisi görüntülenerek duraylılık problemi olan kırıkların konumları netleştirilmiştir.

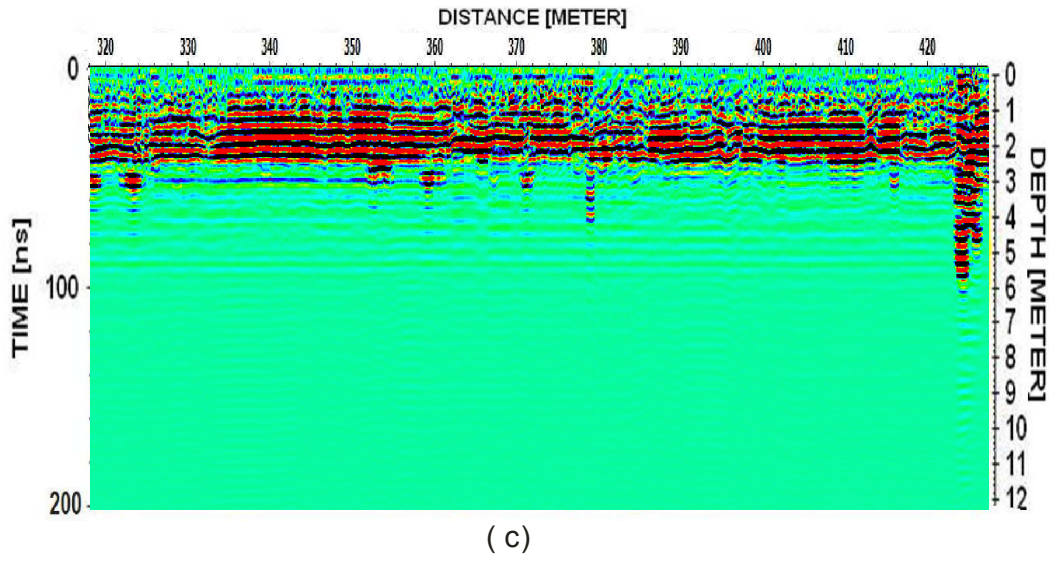
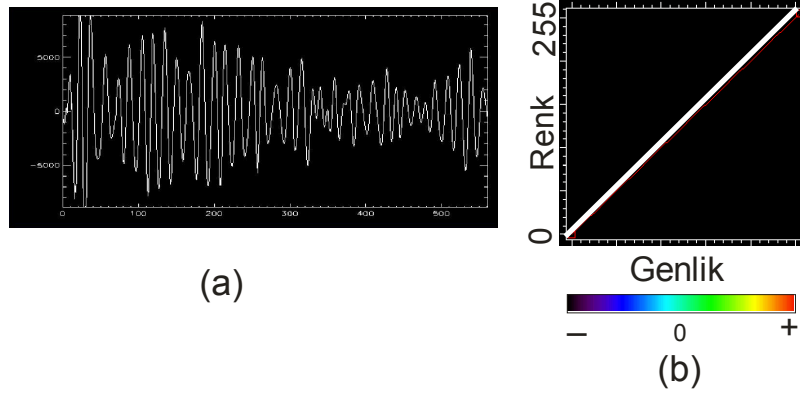
**PROFİL-4:** Tünel içinde dördüncü 105 m'lik kısım olan Profil 4, 320-425 m arasını temsil etmektedir. Profil 4 için uygulanan genlik kazanç ve farklı genlik – renk fonksiyonlarına ilişkin görüntüler Şekil 5.22'den Şekil 5.26'ya kadar verilmiştir.



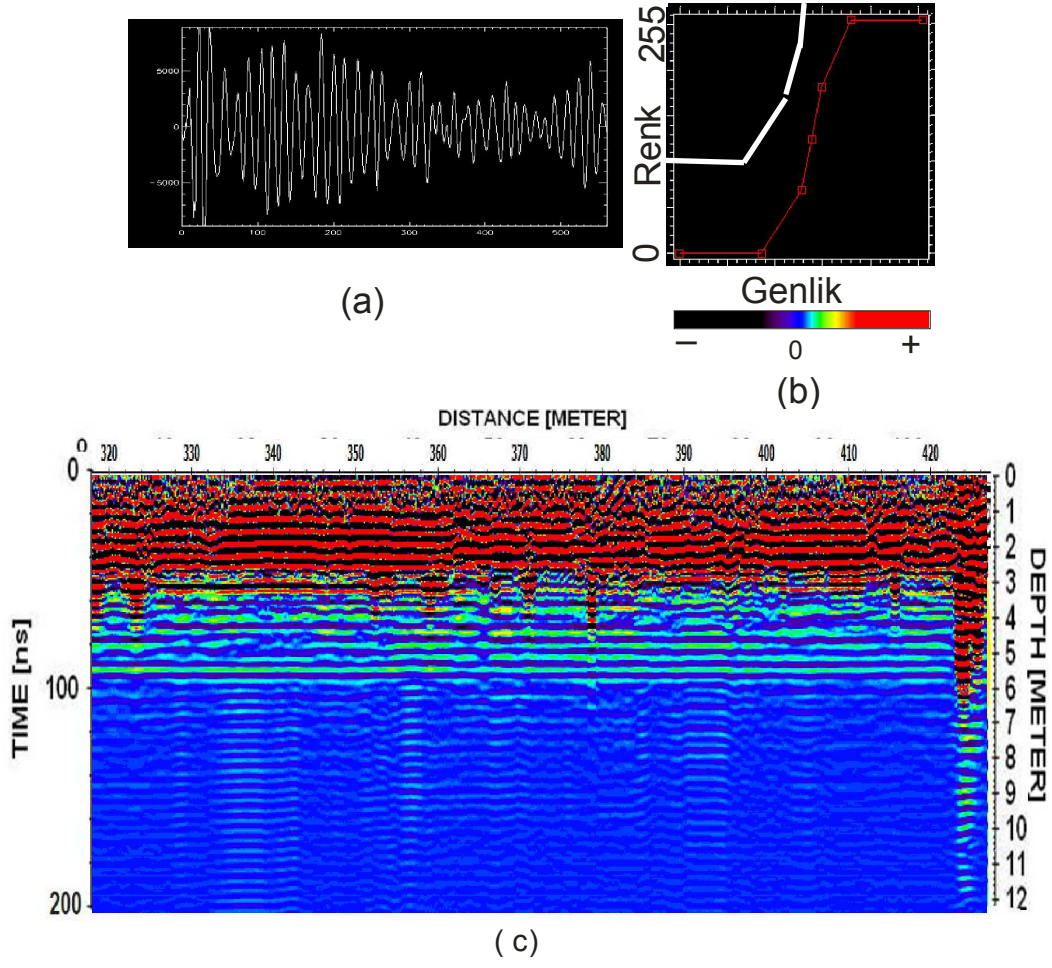
Şekil 5.22.a. Genlik kazanç uygulanmamış orijinal sinyal, b. lineer genlik fonksiyonu ile c. profil 4'e ait radargram



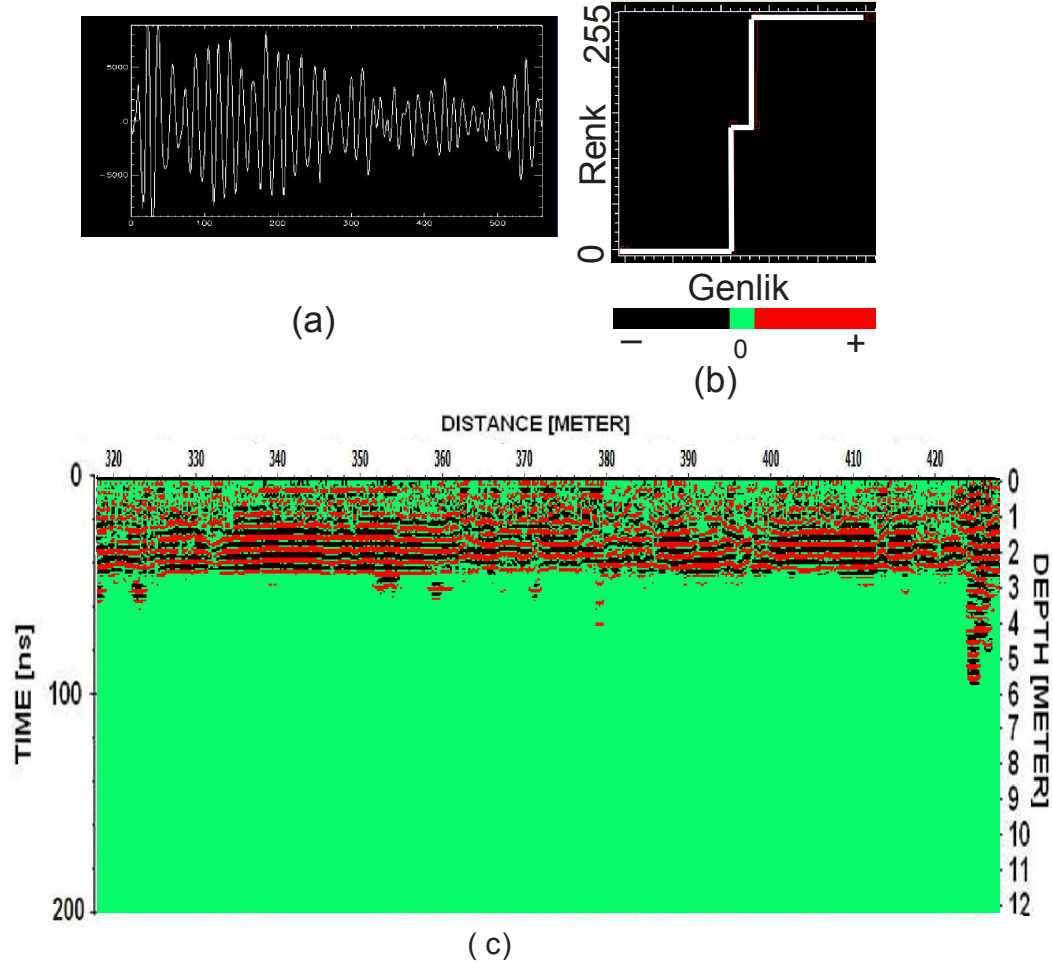
Şekil 5.23.a. Orijinal sinyal b. farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4'e ait radargram



Şekil 5.24.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirildiğinde genlik kazanç ile b. lineer genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4'e ait radargram



Şekil 5.25.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirgendiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4’e ait radargram. Bu radargramda tüm genlik bilgisi görüntülenmiştir.

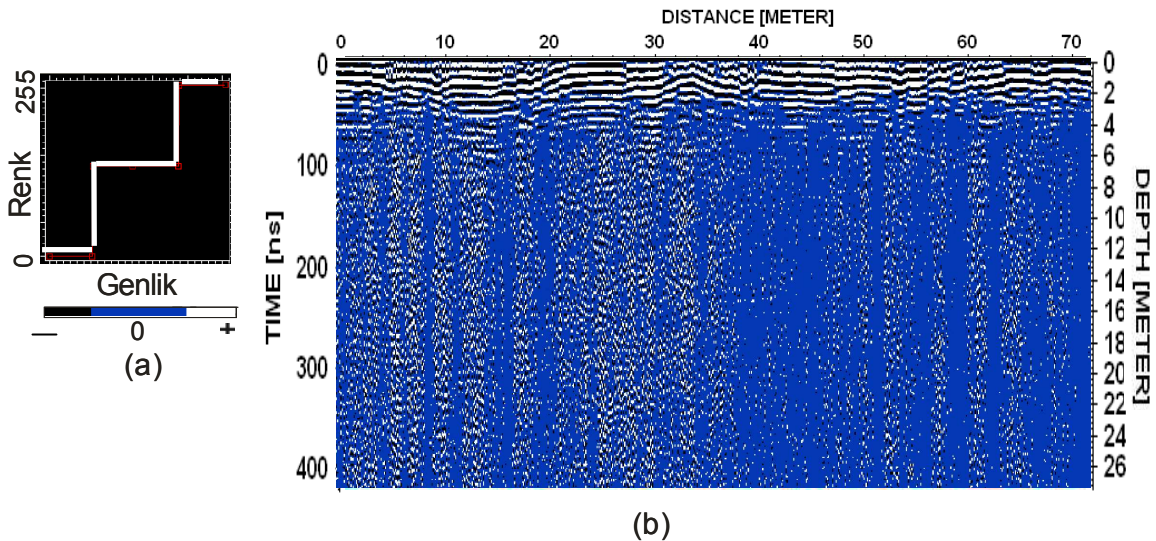


Şekil 5.26.a. Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum saçılma/yansıma dalga genliğine indirgendiğinde genlik kazanç ile b. düzenlenmiş genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenen c. Profil 4'e ait radargram. Bu radargramda baskın genlik bilgisi görüntülenerek duraylılık problemi olan kırıkların konumları netleştirilmiştir.

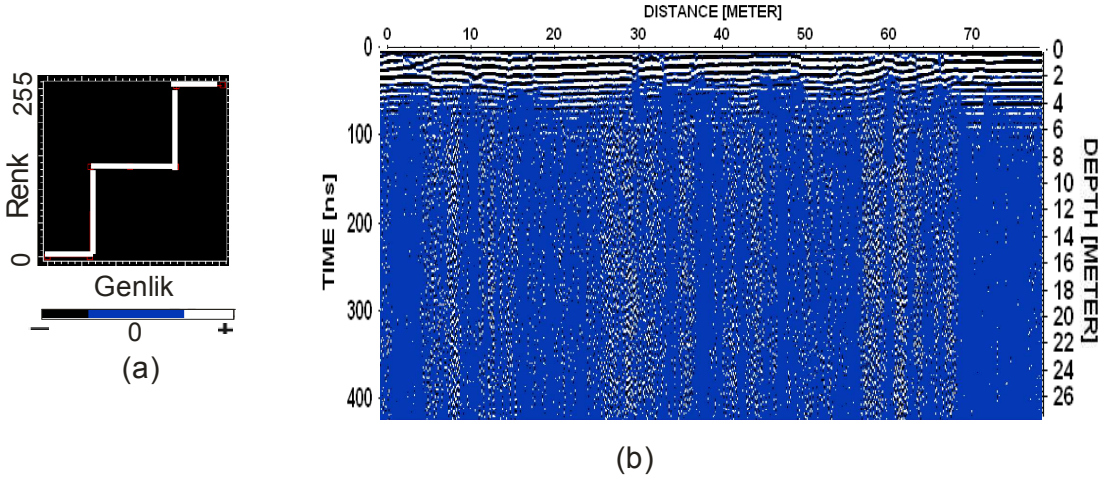
#### 5.2.4 Tünel üstü yer radarı profil verilerinin farklı genlik kazanç ve genlik-renk fonksiyonu ile görüntülenmesi

Tünelin geçtiği muhtemel yollar üzerinde alınan veriler, tünel girişine en yakın, tünel üstünden geçen ve tüneli enine kesen yol üzerinde birbirine paralel yaklaşık 70-75m boylarında üç profil (1,2 ve 3) üzerinde, 30-35 m boylarında üç profil (4,5 ve 6) üzerinde, 30-32 m boylarında iki profil (7ve 8) üzerinde ve 28-30 m boylarında iki profil (9 ve 10) üzerinde 100MHz anten ile toplanmıştır. Toplanan veriler REFLEXW programında işlenmiş ve değerlendirilmiştir. Tünel üstü verileri değerlendirilirken, özellikle alttan geçen tünelin varlığının ortaya konulması ve yüzeyden tünele doğru inen yapıda kırıkların belirlenmesi amaçlı genlik değerlerine atanan iyi düzenlenmiş renklendirme fonksiyonu ile doğru genlik kazanç uygulaması yapılmaya çalışılmıştır.

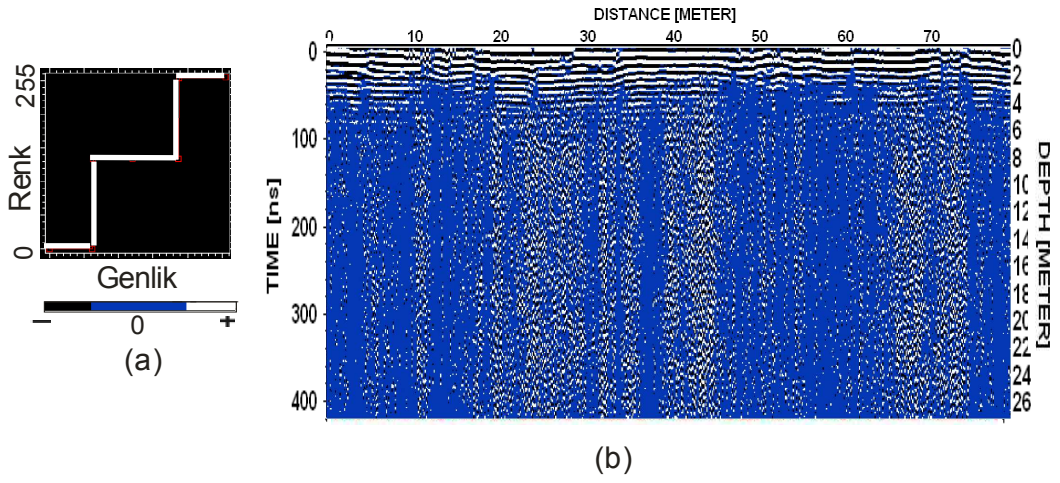
Tünel üstü profillere uygulanan genlik kazanç işlemi ve genlik – renk fonksiyonu değişimleri Şekil 5.27’den Şekil 5.36’ya kadar gösterilmektedir. İlgili şekillerde (b) genlik – renk fonksiyonunu temsil etmektedir. Yatay skala genliği, dikey skala ise renk çizelgesini temsil etmektedir. Genlik (-)’den (+)’ya, renk skalası ise 0’dan 255’e değişen değerleri vermektedir.



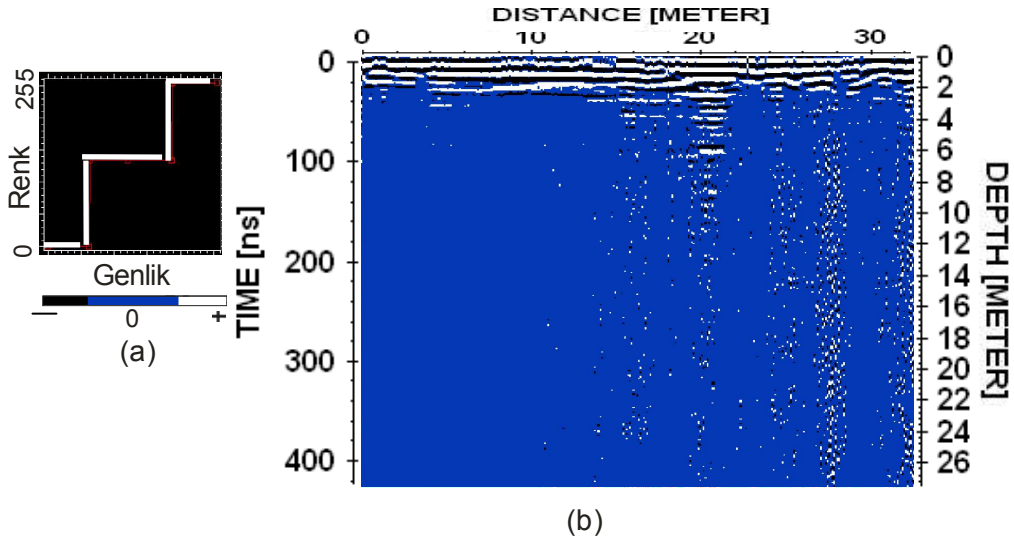
Şekil 5.27.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenmiş b. Tünel Üstü Profil-1’e ait radargram



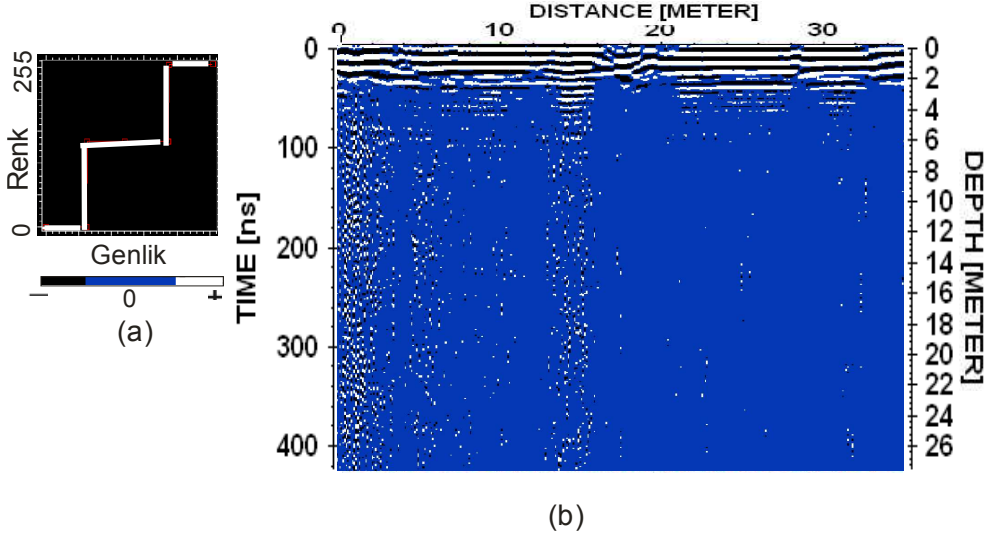
Şekil 5.28.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-2'ye ait radargram



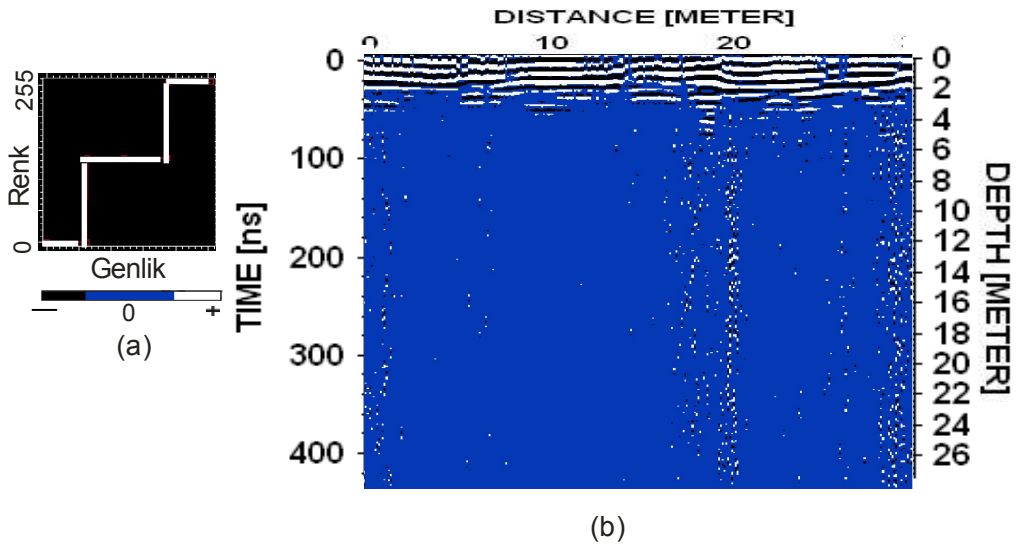
Şekil 5.29.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-3'e ait radargram



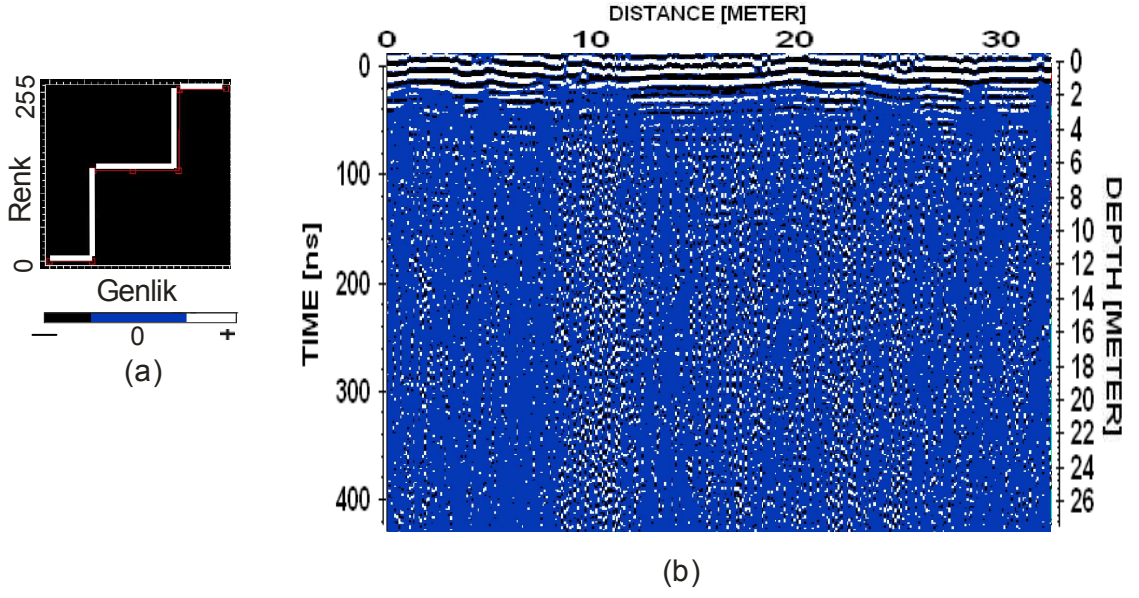
Şekil 5.30.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen (b) Tünel Üstü Profil-4'e ait radargram



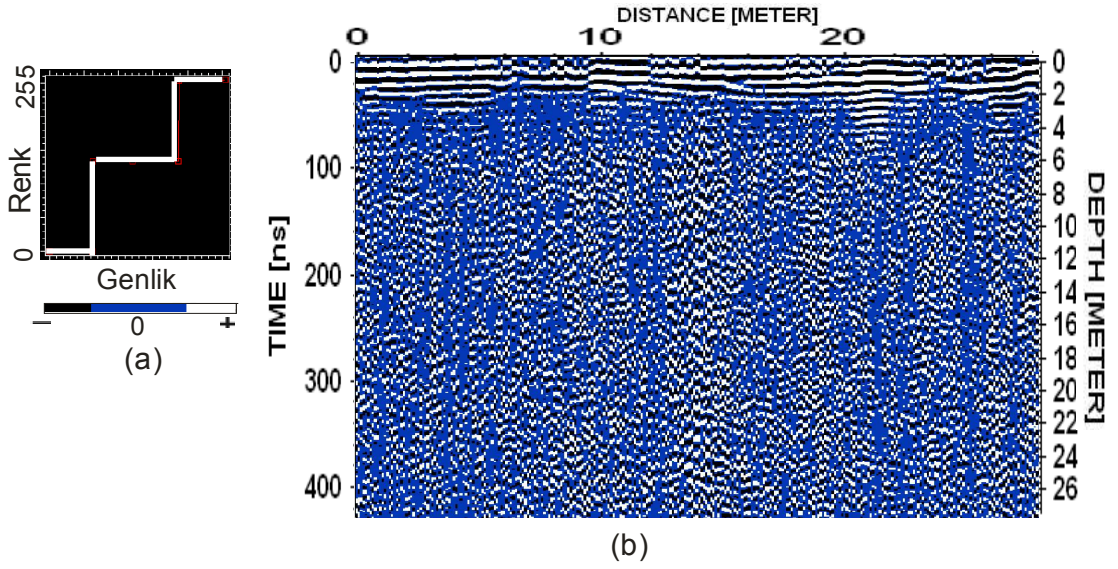
Şekil 5.31.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-5'e ait radargram



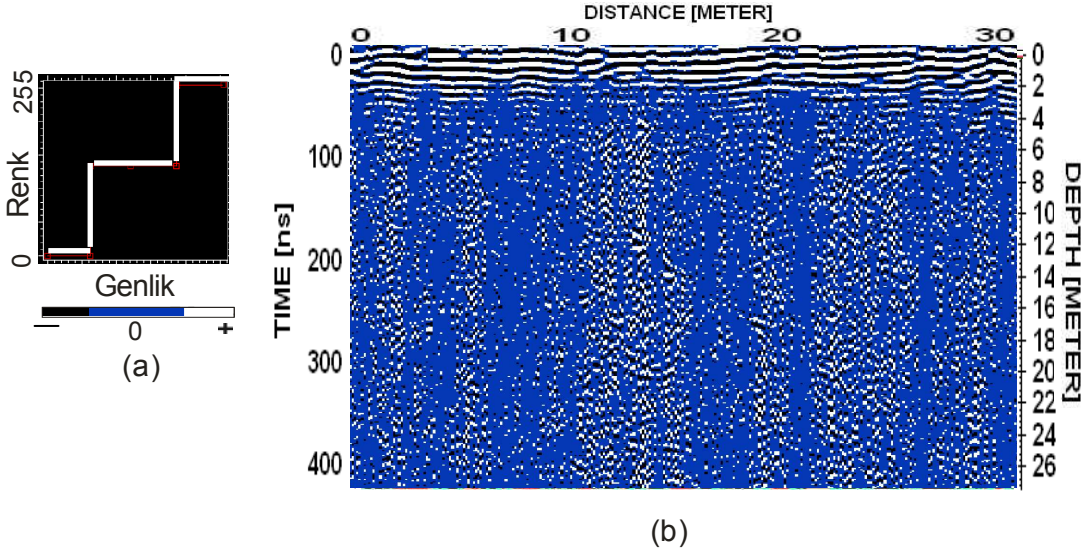
Şekil 5.32.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-6'ya ait radargram



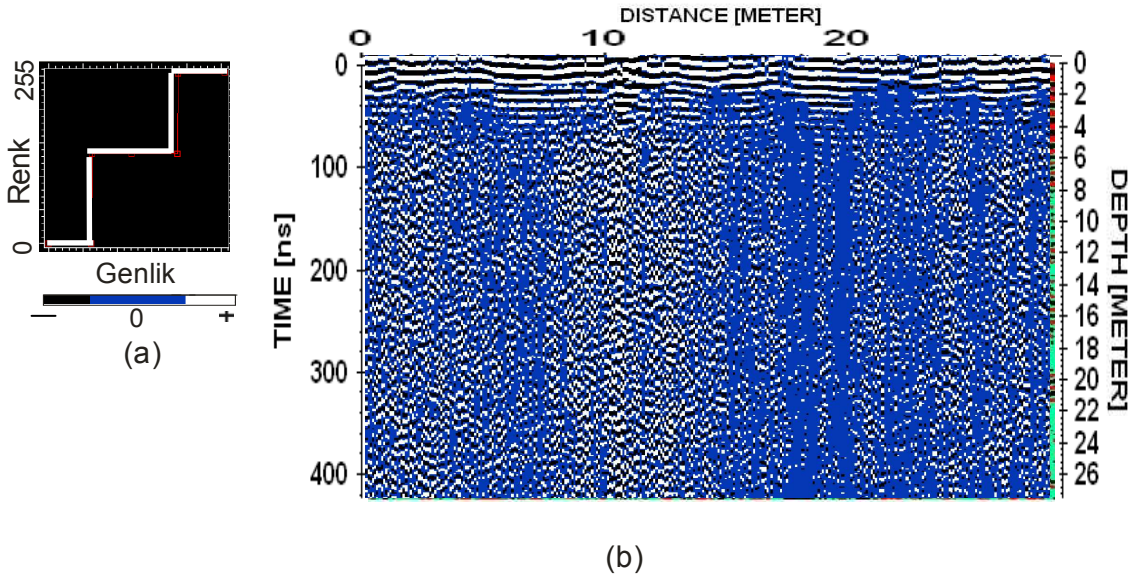
Şekil 5.33.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-7'ye ait radargram



Şekil 5.34.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-8'e ait radargram



Şekil 5.35.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-9'a ait radargram



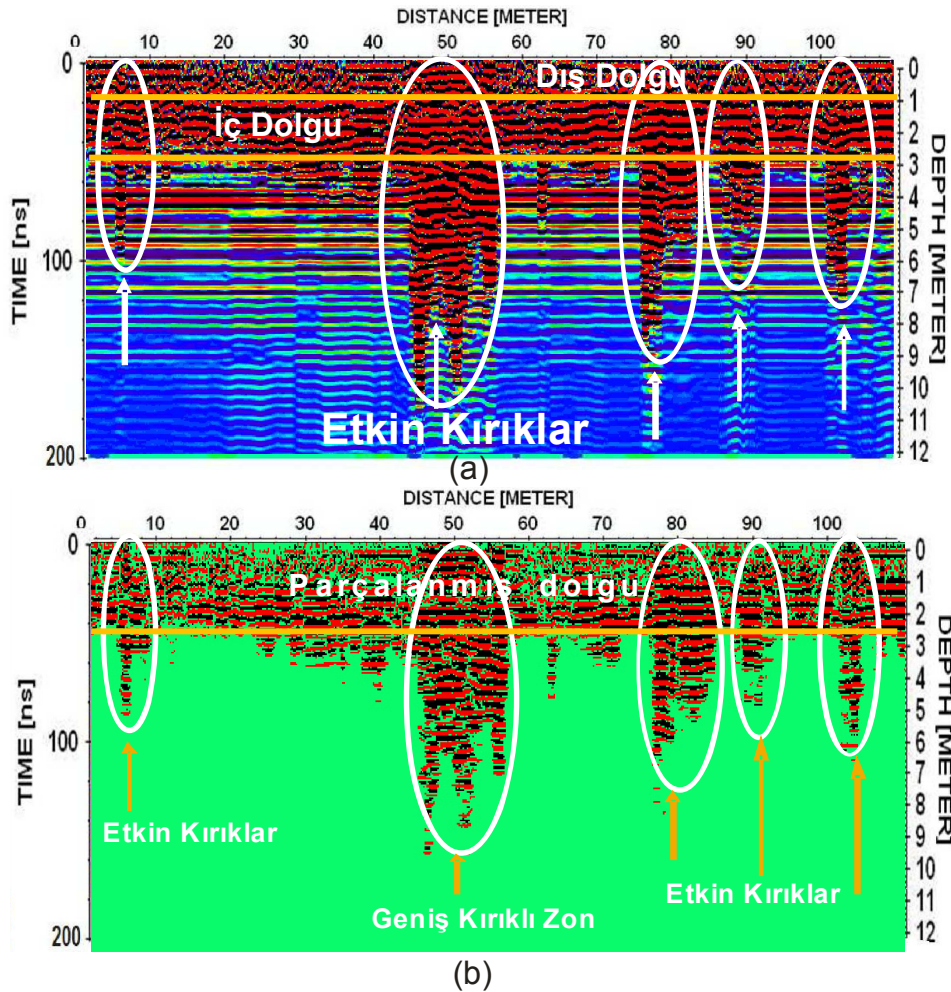
Şekil 5.36.a. Genlik Kazanç uygulanmış ve farklı genlik renk fonksiyonu ile görüntülenen b. Tünel Üstü Profil-10'a ait radargram

## 6. VERİLERİN YORUMLANMASI

### 6.1 Tünel İçi Verilerinin Yorumlanması

Zonguldak 55 No'lu Tünel içinde, iç ve dış dolgu sınırları ile kırık ve çatlakları belirleme amaçlı, toplanan verilere uygulanan farklı genlik – renk fonksiyonlarına ilişkin görüntüler 5.Bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Yatay süreksizlikleri belirleme amaçlı yapılan farklı genlik – renk fonksiyonu (Şekil 5.10, Şekil 5.15, Şekil 5.20 ve Şekil 5.25) ile profiller üzerinde iç ve dış dolgu sınırları belirlenmiştir (Şekil 6.1.a, Şekil 6.2.a, Şekil 6.3.a ve Şekil 6.4.a). Kırıkların belirlenmesi amacıyla yapılan farklı genlik –renk fonksiyonu ile (Şekil 5.11, 5.16, 5.21 ve 5.26) tünel içinde tünel duraylılığını tehlikeye sokan başlıca kırıklar ve zayıf bölgeler ortaya konulmuştur (Şekil 6.1.b, Şekil 6.2.b, Şekil 6.3.b ve Şekil 6.4.b).

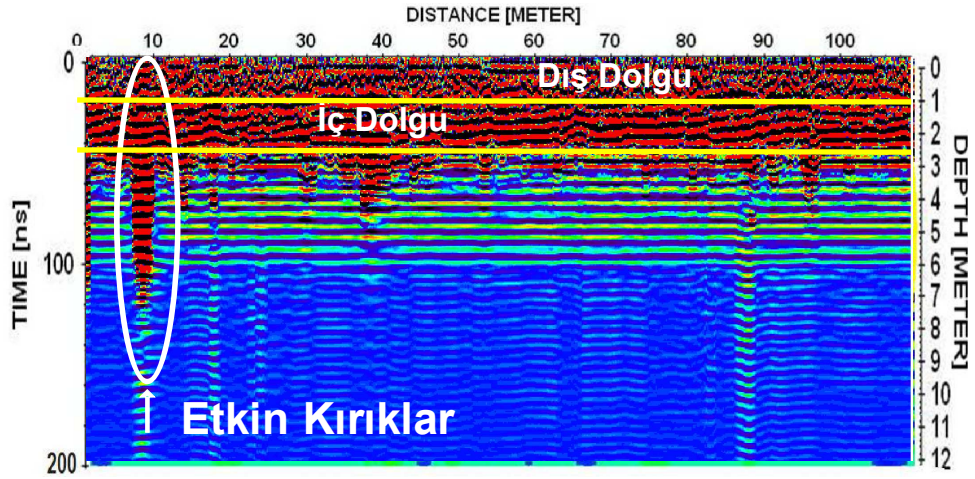


Şekil 6.1.a. Tünel İçi Profil 1'e ait iç ve dış dolgu sınırları ile b).kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları

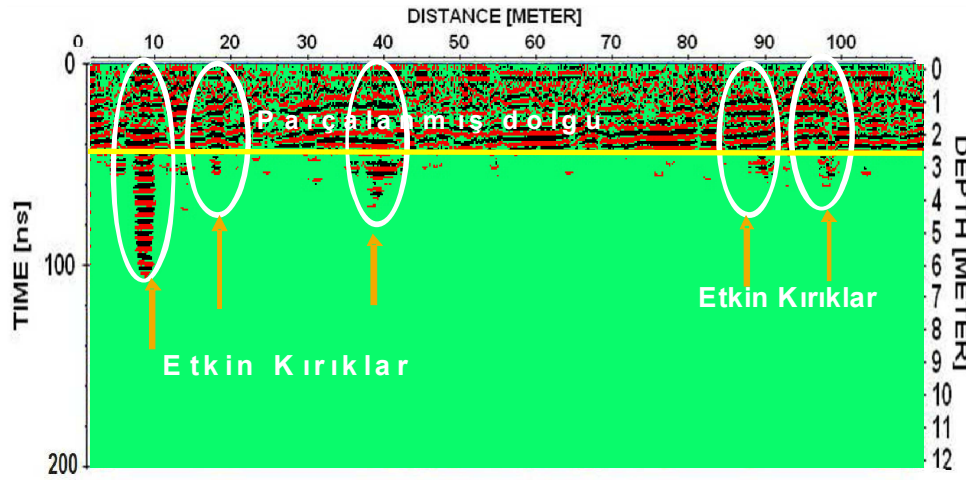
Tünel içindeki profiller değerlendirildiğinde tünel içinden ortamı temsil eden kumtaşına doğru tüneli çevreleyen iki farklı dolgu katmanının bulunduğu belirlenmiştir. Tünel içinde ortamı temsil eden kumtaşına doğru, tüneli çevreleyen iki farklı dolgu katmanı bulunmaktadır. Bu katmanlar dıştan içe doğru tanımlandığında yaklaşık 1m ile 1,2 m arasında kalınlığı değişen dış dolgu ve yaklaşık 0,8 m kalınlığında iç dolgudur. Dış dolgu içinde ilk 20 cm derinlikte tüm profillerde gözlenen levha denilebilecek kadar ince kuvvetli yansıma veren birim tespit edilmiştir. Dış dolguda yer yer kırıklar tespit edilmiştir. İç dolgu ise yaklaşık 2 m derinliğe kadar inmektedir. Tünel içinde oldukça parçalı kırıklı alanları görmek mümkündür.

Farklı fonksiyon ve maksimum genlik uygulanmış profil 1 verisinde kırıkların daha belirginleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 6.1.a'da farklı genlik –renk fonksiyonu ile dolgu sınırları belirlenmiştir. Şekil 6.1.b'de ise aslında iç ve dış dolgunun da parçalandığı aynı zamanda etkin kırıkların dolguları parçaladığı görülmektedir. Buna göre ilk 105 m içinde dolgu tabakalarının yer yer parçalanmış olduğu, aşırı kırıkların bulunduğu ve bu kırıkların 12 m derinliklerde bile devam ettiği belirlenmiştir. Bu kırıkların iç ve dış dolgu bölgelerini oldukça etkilediği ve yakın zamanda tünel duraylılığını (stabilitesini) tehdit edebileceği düşünülmektedir. Tünel içine ulaşan en hasarlı bölgeler 4 m-10 m, 16 m-20 m, 44 m-54 m, 72 m-80 m, 84 m-86 m ve 98 m-102 m aralarıdır.

Tünel içi ikinci 105 m'lik kısım (tünel girişinden itibaren 105 m - 215 m arası) üzerinde tünel içinden ortamı temsil eden kumtaşına doğru ilk profilde olduğu gibi tüneli çevreleyen iki farklı dolgu katmanı olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.2.a,b). Yer yer parçalanmış dış dolgu yaklaşık 1 m kalınlıktadır. Dış dolgu ve kumtaşı arasındaki iç dolgu olarak tanımladığımız tabakanın Şekil 6.2.a'da bütünlüğü gibi görünmesine rağmen, Şekil 6.2.b'de farklı genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenmesi ile aşırı derecede parçalanmış olduğu gözlemlenmiştir. Tünel içi ikinci 105 mlik kısımda da iç dolgu kalınlığının yaklaşık 2 m olduğu profil sonuna doğru 1.6 m'ye doğru azaldığı görülmüştür.



(a)



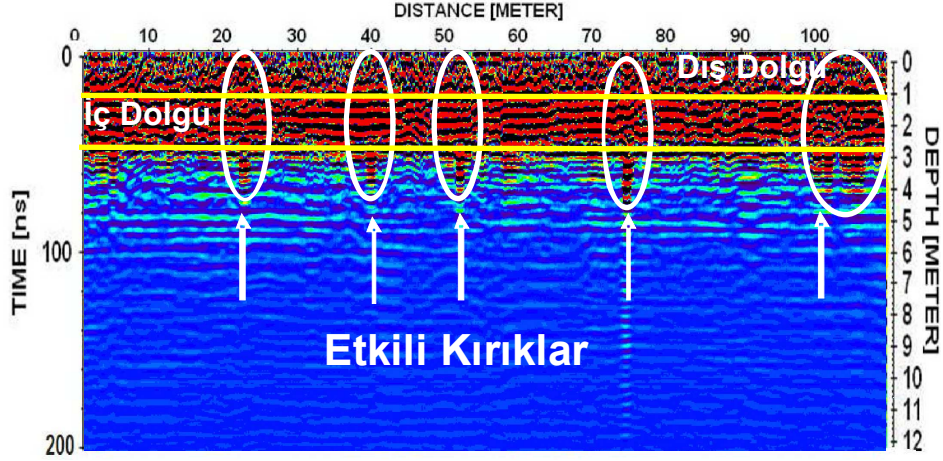
(b)

Şekil 6.2.a. Tünel İçi Profil 2' e ait iç ve dış dolgu sınırları ile b. kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları

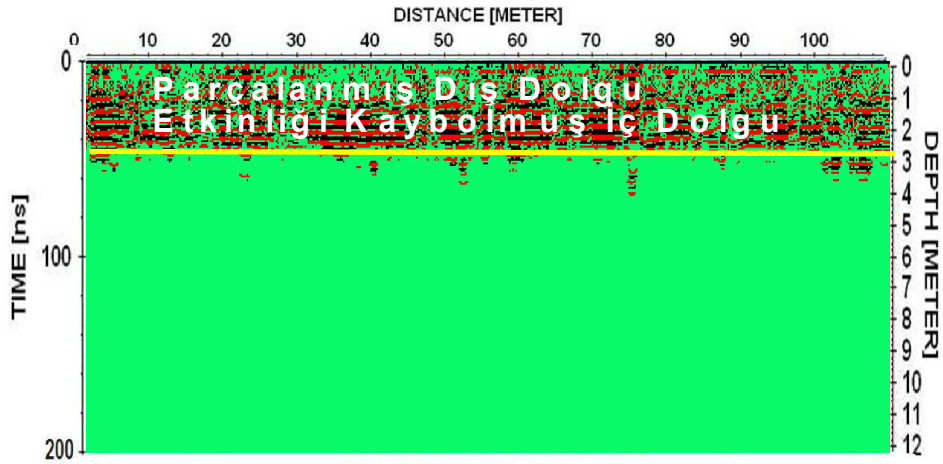
Tünel içi üçüncü 105 m'lik kısım (tünel girişinden itibaren 215 m-320 m'lik kısım) üzerinde tünel içinden ortamı temsil eden kumtaşına doğru tüneli çevreleyen iki farklı dolgunun devamlılığı belirlenmiştir (Şekil 6.3.a,b). Bu iki dolgu katmanlarının dıştan içe doğru tanımlandığında tünel içinde gözlemediğimiz, dış dolgu tabakası yaklaşık 1 m kalınlıktadır. Dış dolgu ve kumtaşı arasındaki iç dolgu tabakasının derinliği 2.6-2.8 m arasında değişmektedir. Yani tünel boyunca üçüncü 105 m içinde iç dolgu kalınlığı yaklaşık 1.6 m -1.8 m kadardır (Şekil 6.3.a).

Tünel içinde üçüncü 105 m içinde de hem iç hem de dış dolgunun aşırı kırıklı olduğu, parçalandığı görülmüştür. Dış dolgu ile iç dolgu tabakalarına ait sınır aşırı derecede

parçalanmış durumdadır. En sorunlu alanlar tünel başlangıcından itibaren; 216- 222 m, 228 -238 m, 250 – 254 m, 260 – 264 m arasındır. Bu alanların dışında iç dolgu tabakasının parçalandığı etkin alan ise 276 – 316 m arasındır (Şekil 6.3.b). 5 m derinlikten sonra elektromanyetik dalganın genliklerinin kaybolmuş olması bu derinlikten sonra aslında su doygunluğuna karşı dalganın kaybolduğunu, bu da su doygunluğunun devam ettiğini göstermektedir.



(a)



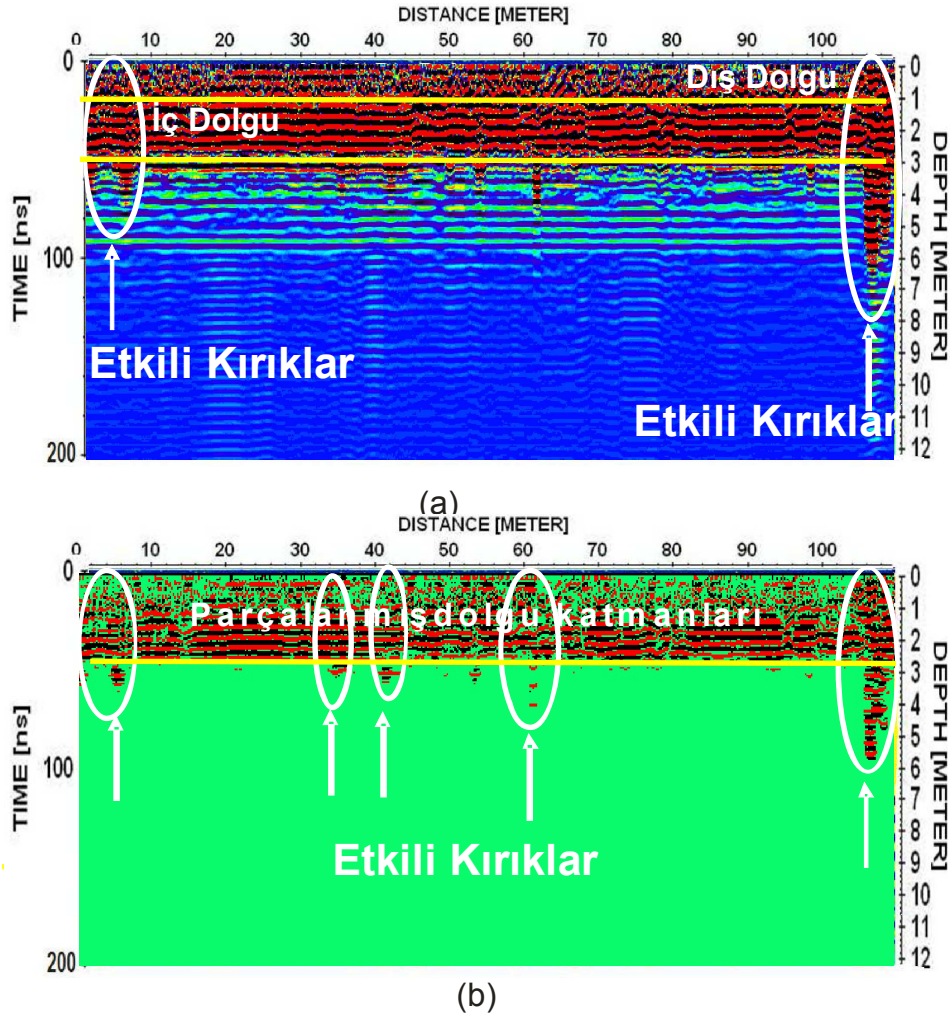
(b)

Şekil 6.3.a. Tünel İçi Profil 3'e ait iç ve dış dolgu sınırları ile b. kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları

Tünel içi dördüncü 105 m'lik kısım (tünel girişinden itibaren 320 m-430 m'lik kısım) üzerinde tünel içinden ortamı temsil eden kumtaşına doğru, tüneli çevreleyen iki farklı dolgunun devamlılığı belirlenmiştir (Şekil 6.4.a,b). Yer yer parçalanmış dış dolgu yaklaşık profil başında 1 m kalınlıkta olup profil sonunda 80 cm kalınlığa düşmektedir. Dış dolgu ve kumtaşı arasındaki iç dolgu olarak tanımladığımız tabaka ise tünel içi

derinliği yine profil başında 2.6-2.8 m iken profil sonunda 3 m derinliğe ulaştığından, i dolgunun kalınlığı yaklaşık 1.8 -2 m kadardır (şekil 6.4.a).

Tünel içinde dördüncü ve son 105 m içinde de hem i hem de dış dolgunun aşırı kırıklı olduğu, parçalandığı görülmüştür (şekil 6.4.b). Bunun nedeni, bu bölgede Kumtaşı içinde yaklaşık 5-6 m derinliğe kadar, yani i dolgu bitiminden itibaren (3m den sonra) ilk 3 m’inde etkin hem yatay hem düşey geniş kırıkların olmasıdır. 5 -6 m derinlikten sonra elektromanyetik dalganın genliklerinin kaybolmuş olması bu derinlikten sonra aslında su doygunluğuna karşı dalganın kaybolduğunu, bu da su doygunluğunun devam ettiğini göstermektedir. En sorunlu alanlar tünel başlangıcından itibaren; 320- 328 m, 356 -366 m, 378 – 384 m, 422 – 426 m arasındır.



şekil 6.4.a. Tünel İçi Profil 4’e ait i ve dış dolgu sınırları ile b. kırıklar ve parçalanmış dolgu sınırları

## 6.2 Tünel Üstü Verilerinin Yorumlanması

Genel olarak tünel üstünden alınan verilerden düşey kırıkların ve parçalanmış bölgelerin mevcut olduğu söylenebilir. Fakat tünel içindeki gibi büyük belirgin ve yarma şeklinde kırıklar görüntülenememiştir. Bu tip kırıkların daha derinlerde olma ihtimali vardır. Tünel üstünden toplanan verilerin işlenmesi aşamasında tünele ulaşamadığı görülmüştür. Bu yüzden tünel üstü verileri için çok fazla yorum yapılamamıştır. Ancak profillerden de anlaşılacağı üzere, yüzeyden itibaren ilerleyen kumtaşının içinde özel kırılanmış durumlar mevcuttur.

İlk 1 m'lik kısmın yol için döşenmiş asfalt kaplama malzemesi olduğu düşünülmektedir. Yine yer yer tekrar dolgu yapıldığı düşünülen parçalanmış bölgeler mevcuttur. Ayrıca tüm profiller değerlendirildiğinde asfalt dolgu malzemesinin eğimli bir yapı sergilediği gözlemlenmektedir.

Tünelin geçtiği düşünülen güzergah boyunca tünelin varlığına ilişkin çok net veriler elde edilememiştir. Ancak kırıklı ve parçalanmış malzemelerin varlığı dikkat çekicidir. Genel olarak bütünlüğünü koruyan kırık süreksizlikleri mevcuttur. 27 m derinliğe kadar etkin, yer yer yanal etkinliğe sahip, ancak genelde düşey yönde gelişmiş kırıklar tüm radar kesitine hakimdir. Kırıkların yoğun olması, yağış ve diğer atık sularının tünele doğru süzülmesini kolaylaştıracağından, tünelin stabilitesi üzerinde olumsuz etkiler gözlenebilecektir.

Genel değerlendirme:

- 1- Yolu enine kesen borular mevcuttur. Yerleşim yerlerinin yakınlığı su, telefon veya kanalizasyon borularının olabileceğini ortaya koymaktadır.
- 2- Yeni boruların yüzeye daha yakın olduğu, eski dönemlerden kalma boruların ise daha derinde olduğu görülmektedir.
- 3- Asfalt malzemenin devamında aşırı kırıklı bir yapı olduğu ve bu kırıkların düşey yönde olduğu gözlemlenmektedir.
- 4- Asfalt malzemenin altında suya doymuş bir kumtaşı yapısı sergilenmektedir.

Şekil 5.27 - 5.29'da görüleceği üzere düşeyde ilk 2,5-3 m'lik kısım asfalt malzemeyi göstermektedir. Alt kısımlara doğru asfalt malzemenin aşındığı görülmektedir. Aşınan asfalt malzemenin doldurulmuş olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte ilk 3 m'lik kısımda etkin kırıkların olduğu ve bu kırıkların suya doygun olduğu ve yol boyunca uzun yatay süreksizliklerin varlığı gözlemlenmiştir. 3-6 m arası üstteki yatay süreksizliklerle ilişkili olarak düşey gelişmiş oldukça geniş kırıklar mevcuttur. Kesitte 6-27 m arası düşey gelişmiş kırıklar hakimdir. Bununla birlikte yer yer küçük boyutlarda su yutan olarak adlandırabileceğimiz boşluklar (veya geniş kırıklar) mevcuttur (Şekil 5.27 - 5.29). Tünel bölgesi ileride duraylılık sorunu yaşayabilecektir.

32.82 m boyundaki Profil 4, yüzeyde toplanan profillerden en fazla kırıklı olan bölgedir. Burada yaklaşık 1.5-2 m derinliklerde gömülü boru hattı olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.30). Profil 5 ve 6 da bunu desteklemektedir. Onun hemen altında 4 m derinlikte başlayan, profil boyunca çok kalın, yaklaşık 9-10 m kadar, etkin yatay süreksizlik mevcuttur. 34.5 m boyundaki Profil 5 de 2-15 m arasında yine aynı derinlikte başlayan ancak daha ince (6 m derinlikte sonlanan) muhtemel boşluk anomalisi görülmektedir (Şekil 5.31). Bu boşluk altında 27 m derinliklerde bile etkinliği oldukça fazla görülen çok geniş düşey kırıklar mevcuttur. Yaklaşık 30 m boyundaki profil 6 da, profil 5 deki boşluk anomalileri çok daha ince, yatay olarak geniş kırık görülmektedir (Şekil 5.32).

35.58 m boyundaki Profil 7 ye ait radargram üzerinde, profil 4 radargramında profil boyunca gözlenen boşluğa benzer, yaklaşık 4 m derinlikte başlayan tüm profil boyunca 6 m derinliklere kadar gözlenen boşluk, 6- 14 m derinlik arası parçalı, ancak etkinliğini koruyan geniş boşluk süreksizlikleri ve 14 m sonrası daha ince düşey kırıklar şeklinde görülen süreksizlikler mevcuttur (Şekil 5.33). Bu bölge süreksizliklerin geniş ve derin olması nedeniyle duraylı bir bölge değildir.

28.37 m uzunluğundaki Profil 9'a ait radargram üzerinde, 2 m derinlikte profil boyunca görülen süreksizliği muhtemel bir boru hattı olduğu düşünülmektedir. İlk 4 m profil boyunca uzanan ve yaklaşık 5 m derinliğe kadar etkin olan, genelde bütünlüğünü koruyan kırık süreksizlikleri mevcuttur. 27 m derinliğe kadar etkin, yer yer yanal etkinliğe sahip ancak genelde düşey yönde gelişmiş kırıklar tüm radar kesitine hakimdir

(Şekil 5.35). 30.64 m uzunluğundaki Profil 10, Profil 9 ile aynı özelliktedir. Bölgenin ileri derecede kırıklı olması nedeni ile ileride duraylılık sorunu ile karşı karşıya kalınabileceği düşünülmektedir (Şekil 5.36).

## 7. TÜNEL DURAYLILIĞINDA ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME

### 7.1 Sızıntı suyu ve etkileri ve alınması gereken önlemler

Çalışma alanında meydana gelen sızıntı suyunun ana kaynağı yağmur suları ile tünel boyunca inşa edilen yapıların kanalizasyon sistemlerinden kaynaklanan kirli sulardır. Tünel boyunca meydana gelen su sızmaları, kaplama taşlarının ve dolgu malzemelerinin bozunmasına ve ayrışmasına neden olmuştur.

Sızıntı suyu hareket ettiği zaman (tünel üstünden tünel içine, oradan da yeraltına) doğal olarak çevre kayaç birimleri ve doğal yeraltı suları ile karşılaşarak ortama karışmaktadır. Yapılabilecek işlemlerden öncelikli olanı sızıntı suyunun bileşiminin belirlenmesi ve ilerlemesini engelleyecek tedbirlerin alınması olmalıdır.

Tünellerde sızıntı suyunun oluşumunu engellemek için;

- 1- Tünel çevresindeki jeolojik yapıdan kaynaklı sızıntı suyun çimento enjeksiyonu ile önlenmesi,
- 2- Tünel gövdesine girecek yağış kaynaklı yüzey sularının yeraltına sızmasının önlenmesi,
- 3- Tünel üzerinde yer alan yapılardan (bina vb) kaynaklanabilecek kanalizasyon ve fosseptik suları için gerekli tedbirlerin alınarak tünele sızarak zarar vermesinin önlenmesi,
- 4- Tünel içine sızan temiz ve/veya kirli suların tünele zarar vermeden toplanarak deşarjının yapılması,
- 5- Toplanan sızıntı sularının kontrollü deşarjının sağlanması,

gerekli görülmektedir.

Sızıntı suyu kimyasal içeriğinde yer alan kirletici parametrelerin de sızıntı suyu bertarafında mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çizelge 7.1’de tünellere girişi kaçınılmaz olan yüzey sularının önlenmesi amacıyla yapılacak çalışmalara yer verilmiştir.

Çizelge 7.1 Tünellerde yüzey suyu önleme çalışmaları

Tünel İçi Yapılanma	Tünel Yapısının korunması	Yüzey suyu yön değiştirme ve toplama
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tünel içi sızdırmazlık (Dolgu kaplama malzemelerinin iyi seçilmesi, drenaj hatlarının belirlenmesi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tünel iç kaplamada sızdırmaz malzeme kullanımı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bentler ve bariyerler ile suların tünele sızmayacak şekilde toplanması</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sızıntının üretiminin ve sızmasının minimize edilmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Havalandırma ve ısıtma ile buharlaşmayı arttırmak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drenaj kanalları ile süzülmenin önlenmesi</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Periyodik bakım ( yıllık)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sızıntı sularının tünele nüfuzunun kontrol altına alınması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toprakaltı borular (drenaj boruları)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bakım</li> </ul>	

## 8. SONUÇLAR

Tünelde karşılaşılan sorunların tespit edilmesi, iyileştirme adımlarının başlayabilmesi için gereken en önemli konudur. Tünelin kaç yılında inşa edildiği, inşasından günümüze kadar gelen sürede tünelde meydana gelen doğal veya insan kaynaklı sorunların neler olduğu, tüneli tanımak açısından son derece önemlidir. Tünelde yapılacak iyileştirme için genel olarak bir tasarım şablonu geliştirilmiş olup, çizelge 8.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 8.1 Tünel İyileştirme Tasarımı

<b>1) Genel Bilgiler</b>
a. Tünelin Yaşı
b. Tünelin Konumu – Boyutu (çap vb.)
c. Tünelin Uzunluğu
d. Tünelin Görevi
<b>2) Tüneli Etkileyen Faktörler</b>
a. Sızıntı Suyu
b. Basınç – Statik ve dinamik
c. Süreye ve kullanıma bağlı deformasyon
d. Çevresel koşullar
<b>3) Teknik Tasarım</b>
a. Geçirimsiz Tünel Üst Tabaka
b. Tünel iç ve dış kaplama malzemelerinin geçirimsizliği
c. Tünel Zemininin Geçirimsizliği
d. Drenaj Sistemi ( tabakalar – borular) (tünel içinde)

Zonguldak İli Merkezinden geçen Zonguldak – Çatalağzı demiryolu hattı üzerindeki 55 nolu tünelin duraylılığını kontrol etme amaçlı öncelikle jeolojik, mineralojik-petrografik çalışmalar yapılarak tünel içindeki kayaç türü ve bozuşma gibi sorunlar tespit edilmiştir.

Genel olarak kumtaşlarından geçmekte olan tünelde, kumtaşı aralarında yer yer kiltatı ve marn ardalanması da görülmektedir. Bazı bölümlerde ise karbonifer tabakalarına ve kömür damarlarına rastlanmaktadır. Tünel yapısını oluşturan kumtaşı genellikle kırıklarını iyi gösteren bir birimdir. Fakat tünel içinden alınan verilerde kırıklar bazı yerlerde net olarak görülememektedir. Bunun sebebinin tünel iinin suya aşırı doygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca tünel yapımı esnasında kullanıldığı düşünülen demirin, düşük hızından dolayı aşağılara doğru saçılmalara sebep olduğu gözlemlenmektedir.

Jeoloji, mineraloji-petrografi ve genel gözlemlerden elde edilen sonuçlar:

1. Tünel içerisinde tünel kaplama dolgu malzemelerinde kırık ve çatlaklar oluştuğu ve bu boşluklardan sızıntı sularının geldiği,
2. Atık suların tek kaynaklı olmayıp farklı noktalardan ve farklı bileşimde farklı debilerle tünel içerisine sızdığı,
3. Tünelin bazı kısımlarında kaplama dolgu malzemesi aralıklarından içme su şebekesinden olduğu tahmin edilen temiz su akıntısı ile şehir atık su kanallarından kaynaklandığı düşünülen kirli su akıntısı karışımı olabileceği,
4. Bu akıntılar çevresinde oluşan traverten çökellerinden bu sızıntıların hem uzun süreden beri devam ettiği hem de bikarbonatça zengin bir kayaç aralığından aktığı,
5. Su sızıntılarının önemli bir bölümünün tünel kenar duvarlarından geldiği,
6. Tünel içerisine doğru gelen suların boşaltılması için tabandaki drenaj kanallarının bir kısmının ileri derecede parçalanmış ve bozulmuş olduğu,
7. Kaplama dolgu malzemelerinin ilk 500 m'lik olan bölümlerinde ayrışma, bozuşma ve dökülmeler ile çatlamalar ve kırıklar olduğu,
8. Tünel içerisinde kullanılan kaplama taşlarının dökülmemesi için yzeyeye çakılan metal levhaların alt kısımlarının da ayrışmış ve bozuşmuş olduğu,

9. Tünel kaplama taşlarından alınan örneklerin incelenmesi ile, ayrışmanın ana nedeninin süzülen sulardan kaynaklandığı ve içerisindeki kılcal çatlakların ise çevredeki jeolojik kütle basınç etkisiyle oluştuğu belirlenmiştir.

Daha sonra tünel içinde belirlenen sorunların nedenlerinin araştırılması, ayrıca Zonguldak Merkez Mithat Paşa Mahallesi'nde, 55 nolu tünel girişinden itibaren tünel tavanından, tünel duraylılığını tehlikeye sokabilecek süreksizliklerin belirlenebilmesi amacıyla yer radarı yöntemi ile veri toplanmıştır. En derin uzaklığa ulaşabilecek 250 MHz kapalı anten kullanılarak yer radarı verisi toplanmıştır. Toplanan veriler ReflexW v.3.5.8 (Sandmeier, 2008) programı ile işlenmiş ve IDL programlama dili ile yazılmış GPHYZGPR (Daniels, 2000) programı ile farklı genlik – kazanç ve genlik – renk fonksiyonları düzenleyerek görüntülenmiştir.

Tünel duraylılığına etki etmiş olabilecek tünel üstü kayalarının süreksizliklerin etkinliğini araştırmak amacıyla, tünel hattını yakalayabildiği veya tünele çok yakın yol güzergahından geçtiği düşünülen yol güzergahları üzerinde toplam 10 profil olmak üzere, yaklaşık 20-30 m derinliklerden bilgi almayı sağlayan, 100 MHz kapalı sistem anten kullanılarak yer radarı verisi toplanmıştır. Yine bu ReflexW v.3.5.8 (Sandmeier, 2008) programı ile işlenmiş ve IDL programlama dili ile yazılmış GPHYZGPR (Daniels, 2000) programı ile farklı genlik – kazanç ve genlik – renk fonksiyonları düzenleyerek görüntülenmiştir.

Doğrudan gelen dalga genliğinin maksimum yansıma/saçılma dalga genliğine indirgenmesi ile verinin genlik katsayıları ile oynanmadan genlik – kazanç işlemi uygulaması sağlanmıştır. Bununla birlikte gerektiği zaman yine doğrudan gelen dalga alanı dışarıda bırakılmak suretiyle çok az miktarda lineer genlik – kazanç işleminin eklenmesi ile kayıt zamanı sonlarındaki genlik değerlerinin daha iyi görüntülenmesi sağlanmıştır.

Genlik – kazanç işleminin uygulanma öncesi ve uygulanma sonrası profillere ait radargramlar bilinen lineer bir genlik – renk fonksiyonu ile görüntülenmesi yerine, genlik bilgisini amaca göre fonksiyonlandırarak daha aktif bir görüntü sunumu sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre de tünel içi ve tünel üstüne ait radargramlar yorumlanmıştır.

Tünel içinde tünel tavanından toplanan yer radarı profil verilerine ait kesitler (radagramlar) genel olarak değerlendirildiğinde:

1. 0.8 – 1m kalınlığında, dış dolgu olarak adlandırdığımız kaplama tabakası tespit edilmiştir. Bu dış dolgu içinde ilk 20 cm derinlikte tüm profillerde gözlenen levha denilebilecek kadar ince, kuvvetli elektromanyetik dalga yansıma genliği ile gözlenen ince bir birim söz konusudur. Bu birim tam olarak kumtaşındaki kırılanmanın etkisiyle ve yer yer geniş alanlı kırıkların oluşturduğu baskı nedeniyle bozulmuş ve kırılanmış bölümdür. Bu kırıklar, iç dolgu ve kumtaşı tabakasındakilere göre oldukça incedir. Etkin kırılanmış bölgeler profil yorumlarında ayrıntılı olarak verilmiştir.
2. Dış dolgu ile kumtaşı arasında yaklaşık 2 m kalınlıkta, bazı yerlerde 1.6-1.8 m kalınlıklara kadar azalan iç dolgu olarak adlandırdığımız kaplama tabakası tespit edilmiştir. Bu tabaka da genellikle kumtaşındaki kırılanmanın etkisiyle ve yer yer geniş alanlı kırıkların oluşturduğu baskı nedeniyle bozulmuş ve kırılanmıştır. Etkin kırılanmış bölgeler profil yorumlarında ayrıntılı olarak verilmiştir. İç dolgu kaplama tabakası dış dolgu kaplama tabakasına göre daha kırıklıdır.
3. Tüneli çevreleyen kumtaşının suya doygun olduğu, bu nedenle ince kırıkların görüntülenemediği, ancak tüneli olumsuz etkileyen düşey doğrultuda geniş ve etkin ve derin kırıkların varlığı belirlenmiştir. Bu kırıklar bazı bölgelerde tünel duraylılığını olumsuz etkileyebilecek büyüklüktedir.
4. Tünel duraylılığını artırmak amacıyla daha etkin önlemlerin alınabilmesi için tünel içi yan duvarlarından da yer radarı verisinin toplanması ve görüntülenmesi gerekmektedir.

Tünel üstünde yerleşke alanı içinde toplanan yer radarı profil verilerine ait kesitler (radagramlar) genel olarak değerlendirildiğinde:

1. Yol güzergahları boyunca yaklaşık 2 m derinlikte gömülü boru hattı tespit edilmiştir.
2. İlk 4 m derinliğe kadar yatay yönde gelişmiş etkin kırıklar yer almaktadır. Kalan 27 m'lik araştırma derinliğine kadar uzanan ve devam ettiği düşünülen, yer yer çok geniş düşey yönde gelişmiş kırıkların bolluğu duraylılık açısından endişe vericidir.
3. 27 m'lik araştırma derinliği içerisinde tünel anomalisi görülmemiştir.
4. Yüzeyden itibaren araştırma derinliği içerisindeki kumtaşının genel anlamda tüneli çevreleyen kumtaşından daha kuru olduğu görülmektedir. Bu durum, yüzeyden 27 m'lik derinliğe kadar herhangi bir doygun kuşağa (akifere) ulaşamadığını göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Aldaş, G.G.U. Kadioğlu, S. ve Ulugergerli, E.U. 2004.Yer radarı (GPR) yöntemi ile patlatma tasarımlarının iyileştirilmesi- 2004 KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu / ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, Sivas.
- Alp, İ. Gelişli,K. Yılmaz, A.O. Kaya, R. ve Çavuşoğlu, İ.2003. Mermer İşletmeciliğinde Yer Radarı Uygulamaları.
- Annan, A.P. 2000. Ground penetrating radar workshop notes. Sensors and Software Inc., Canada.
- Annan, A.P. 2001. Ground penetrating radar workshop notes. Sensors and Software Inc., Mississauga, Ontario, 197 p.
- Anonymous.1998 Geology 228 Applied Geophysics Lecture 11 Ground Penetrating Radar-GPR (Reynolds,Ch-12).
- Anonymous 2008. Sandmeier Scientific Software. REFLEXW ver. 3.5.8. Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. User's manual. <http://www.sandmeier-geo.de>.
- Anonymous 1996. Sensors and Software. PulseEKKO100 User's Guide, V1.2, technical manual 25, Canada.
- Atalı, M. 1937. Kömür Hattı: Filyos-Zonguldak Kısmı. T.C. Nafia Vekaleti Neşriyatı Seri 5, Sayı 8.
- Cardelli, E. Marrone, C. and Orlando, L. 2003. Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods, Journal of Applied Geophysics, 52, 93-102.
- Carozzi, T. Eriksson, A. Lundborg, B. Thide, B. Waldenvik, M. 2000. Electromagnetic Field Theory Exercises (Draft Version).
- Conyers, L.B. 2006. Ground-Penetrating Radar Techniques to Discover and Map Historic Graves Historical Archaeology, 40(3):64-73.
- Conyers, L.B. and Goodman, D. 1997. Ground-Penetrating Radar, An Introduction for Archaeologists. Altimira Press, California.
- Çolakoğlu, A.R. Kadioğlu, Y.K. Çiftçi, Y. ve Kadioğlu, S. 2009. Hidrotermal Yatakların incelenmesinde Yer Radarı- Pb-Zn (Hasbey-Van) ve Fe (Altınşaç-Van) Cevherleşmeleri.
- Daniels, J.J. 1989. Fundamentals of ground penetrating radar, Proceedings of SAGEEP, Golden.
- Daniels, J.J. 2000 Ground Penetrating Radar Fundamentals- Prepared as an appendix to a report to the U.S.EPA, Region V.
- Dannowski, G. and Yaramancı, U. 1999. Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectric measurements, European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 4, 71-85.

- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.
- Elsürer, İ. 2007. Yer Radarı Yöntemiyle Karstik Boşlukların Araştırılması
- Grandjean, G. and Gourry, J.C. 1999. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece). *Journal of Applied Geophysics* 36, 19–30.
- Green, A. Gross, R. Holliger, K. Horstmeyer, H. and Baldwin, J. 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit. *Tectonophysics* 368,7–23.
- Harrari, Z. 1996. Ground penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes, *Journal of Applied Geophysics*, 36, 43-52.
- Kadioğlu, S. 2003. 3D Ground Penetrating Radar-Data Acquisition, Processing, and Interpretation, 14<sup>th</sup> International Petroleum Congress and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, May,12-14, Ankara-TURKEY, Proceedings, p.485-486.
- Kadioğlu, S. 2008. Photographing layer thicknesses and discontinuities in a marble quarry with 3D Yer Radarı visualisation, *Journal of Applied Geophysics* 64(3), 109-114.
- Kadioğlu, S. 2004. Yer Radarı (GPR) Yöntemi Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- Kadioğlu, S. Aldaş, G.U. Karpuz, C. Düzgün, Ş.B. ve Kadioğlu, Y.K. 2005. Taş Ocağı Yer Seçiminde Mühendislik Disiplinin Önemi: Gölbaşı Andezitlerinde Bir Uygulama, *Madenlik*, Cilt 44, Sayı 3, Sayfa 25-33.
- Kadioğlu, S. and Daniels, J. J. 2008. 3D visualization of integrated ground penetrating radar data and EM-61 data to determine buried objects and their characteristics. *Journal of Geophysics and Engineering*, 5, 448-456.
- Kadioğlu, S. ve Kadioğlu, Y. K. 2006. Yer radarı yöntemi ile bir mermer sahasındaki kırıkların, sağlam ve bozuk alanların belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*,21(1-2), 127-135.
- Kadioğlu, S. Kadioğlu Y.K. 2006. Yer Radarı (GPR) Yöntemi ile Bir Mermer Ocağındaki Kalınlıkları ve Süreksizlikleri Görüntüleme- 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı.
- Kadioğlu S. ve Ulugergerli E. U. 2004,“Dalaman Akköprü barajı rezervuar alanındaki boşlukların yer radarı yöntemiyle belirlenmesi”, Türkiye 16.Jeofizik Kongre ve Sergisi Bildiri özetleri Kitabı. 7-10 Aralık 2004, MTA Kongre Merkezi, Ankara.
- Kadioğlu, S. Ulugergerli, E.U. and Daniels, J.J. 2006. 3D visualization to map cavities by GPR method: Dalaman Akkopru dam reservoir area, Muğla, Southwest Turkey. *Proceedings of the 11 th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Columbus- Ohio, USA, CD paper No.156\_dnj.
- Koçaslan, A. 2008 Sonlu Farklar Yöntemi ile Çok Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Dalga Alanı Hesabı, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

- Koralay, T. Kadioğlu, S. and Kadioğlu, Y. K. 2007. A New Approximation in determination of zonation boundaries of ignimbrite by ground penetrating radar: Kayseri, Central Anotolia, Turkey, Environmental Geology, 52, No.7, 1387-1397.
- Kurt, B. B. 2009. Zaman Ortamında Sonlu Farklar Yöntemi ile İki Boyutlu Yer Radarı Modelleme, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şubat-2009.
- Kurt, B. B. Kadioğlu, S. and Ekincioğlu, E. E. 2009. Yer Radarı Yöntemi ile Gömülü Boruların Konum, Büyüklük ve Fiziksel Özellikleri ile Belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi YEBİM Dergisi, 30, 1.
- Kurtulmuş, T.Ö. Drahor, M.G. 2008.Yer radarı modellemesinde fiziksel ve geometric parameter etkilerinin araştırılması.
- Lahouar, S. 2003. Development of Data Analysis Algorithms for Interpretation of GPR.
- Lee J. B. Sahai S. K. Paxton S. T. and Hadaway S. 2005. Ground Penetrating Radar In Sedimentary Rocks 36th Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 14-18, 2005.
- Locatelli, L. Di Marco, G. Zonichelli, C. ve Jarre P. 2001. Rehabilitation of Highway Tunnels – Techniques and Procedures. A.I.T.E.S.-ITA 2001 World Tunnel Congress. Progress in Tunneling After 2000- Milano.
- Sadiku, M.N.O., 1992. Numerical techniques in electromagnetic.
- Şahinkaya Armağan, D.S., Bechteler Aydınık, S. Ertuğrul, M. Türk, A.S. 2004. Dielektrik Cisimlerin Tespiti için Geniş Frekans Bantlı Yere Nüfuz Eden Radar Tasarımı.
- Van der Kruk, J. Slob, E.C. and Fokkema,J.T. 1999. Background of groundpenetrating radar measurements. Geologie en Mijnbouw, 77, 177-188.
- Xie, X., Liu, Y., Huang, H., Shao, J., 2004. Research of GPR Non-Damaged Test of Grouting behind Lining of Shield Tunnel.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Halime SEZER

**Doğum Yeri** : Eskişehir

**Doğum Tarihi** : 01.06.1978

**Medeni Hali** : Bekâr

**Yabancı Dili** : İngilizce

### **Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

**Lise** : Fatih İbn-i Sina Lisesi

**Lisans** : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi  
Jeofizik Mühendisliği Bölümü (1999)

**Yüksek Lisans** : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı (Mart 2010)

### **Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:**

1- Etimesgut Anadolu ve Anadolu Kız Meslek Lisesi-

Bilgisayar Programcılığı Öğretmeni 2000-2001 Eğitim Öğretim Yılı

2- Çevre ve Orman Bakanlığı-

Jeofizik Mühendisi Şubat 2002-

### **Katıldığı Eğitimler** :

1- Çevre Yönetimi Sistemleri kapsamında Çevre Mevzuat Eğitimi- Ankara

2- ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemleri Çevre Baş Tetkik ve Tetkik Görevlisi  
Eğitimi- TSE Ankara

- 3- Atık lastik geri kazanım tesisleri ile atıkların düzenli depolanması ile ilgili 1999/31 EEC Sayılı Avrupa Birliği Direktifi uygulamalarının yerinde incelenmesi- Hollanda-2003
- 4- Kullanılmış taşınabilir pil ve akümülatörlerin ve elektrik ve elektronik ekipman atıklarının yönetimi için bir sistem kurulabilmesi projesi kapsamında Hollanda'daki uygulamaların incelenmesi-Hollanda-2004
- 5- Türkiye-Fransa İkili İşbirliği çerçevesinde “Atık Yağların Yönetimi ve Geri Kazanımı” konusunda teknik çalışma- Fransa-2004
- 6- Özel Atık Alanında Kapasitenin Güçlendirilmesi- Twinning Projesi kapsamında teknik gezi-Almanya-2007
- 7- TAIEX tarafından atık pil ve akümülatörlerin yönetimi konusunda düzenlenen teknik gezi- Almanya-2009

**Yayımlanan Makaleler :**

1- Sezer, H., Ekim 2008. Used Batteries and Accumulators By-law and Implementation. Recycling Magazine (P:6-7-8-9)

**Bildiriler:**

- 1- Sezer, H. Tehlikeli Atıkların Düzenli Depo Tesislerinde Depolanması/Landfill of Hazardous Waste, Uluslar arası 15. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi- İzmir 2003
- 2- Sezer, H. Atık Lastikler ve Türkiye Uygulamaları. Atık lastik geri kazanım tesisleri ile atıkların düzenli depolanması ile ilgili 1999/31 EEC Sayılı Avrupa Birliği Direktifi uygulamaları Semineri – Hollanda 2003
- 3- Sezer, H. Pil ve Akümülatörlerin Yönetimi. Avrupa Birliğine giriş sürecinde Çevre Faslına İlişkin “Ayrıntılı Tarama Toplantısı - Brüksel-2006
- 4- Sezer, H. Waste Batteries and Accumulators Control Regulation and Turkey Implementations. 13 th International Congress for Battery Recycling Almanya-2008
- 5- Sezer, H. Waste Batteries and Accumulators Control Regulation and Turkey Implementations. Atıkların Çevresel Açından İyi Yönetimi Semineri - Slovakya-2009