

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YER RADARI (GPR) VERİLERİNİN İŞLENMESİNDE
YENİ YAKLAŞIMLAR**

DOKTORA TEZİ

Jeofizik Yüksek Mühendisi Orhan KESEMEN

**MART 2007
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YER RADARI (GPR) VERİLERİNİN İŞLENMESİNDE
YENİ YAKLAŞIMLAR**

Jeofizik Yüksek Mühendisi Orhan KESEMEN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.02.2007
Tezin Savunma Tarihi : 16.03.2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Cemil YILMAZ
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞEREN
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hakan KARSLI
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Berkan ECEVİTOĞLU**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

TRABZON 2007

ÖNSÖZ

Bilişim çağında, ülkemizde her alanda olduğu gibi Uygulamalı Jeofizik alanında da ihtiyaç duyulan yazılımları yazmak ve geliştirmeye çalışmak gerekmektedir.

Bu çalışmada, son yıllarda hızla gelişen ve kullanım alanları gittikçe büyüyen, Yer radarı (GPR) verilerinin işlenmesi için değişik yöntemler ortaya atılmış, denenmiş, geliştirilmiş, bilgisayar algoritmaları hazırlanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, beni büyük bir sabırla dinlemesinden, temin ettiği kaynaklardan ve çalışmalarında verdiği çok önemli önerilerden dolayı öncelikle sayın hocam Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ'ye teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarında bana gösterdiği sabırdan ve verdiği destekten dolayı eşim Dr. Tülay KESEMEN'e, çalışmalarım sırasında matematik konusunda bana kattığı güçten dolayı Prof. Dr. Tahir KHANIYEV'e, tezimi tamamlamamda bana gösterdiği ayrıcalıktan dolayı Enformatik Bölüm Başkanı Doç. Dr. Ahmet ÇOLAK'a, İnternet'te kaynak temininde Rusça çevrilerinden dolayı Prof. Dr. Abdugafur RAHİMOV'a, matematiksel dönüşümler konusunda verdiği bilgilerden dolayı Prof. Dr. Cevat HACIYEV'e, çalışmalarım sırasında yapıcı eleştiri ve önerilerden dolayı Prof. Dr. Cemil YILMAZ'a ve Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞEREN'e, arazi ölçüleri sırasında yardımlarından dolayı Arş. Gör. Aycan ÇATAKLI'ya ve Arş. Gör. Ali Erden BABACAN'a teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında bilgilerini paylaşan Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Enformatik Bölümü, Matematik Bölümü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümündeki öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Jeofizik Mühendisliği gibi bilimsel ve uygulama yönü zenginlik gösteren bir bölümü seçmemde ve okumamda bana verdiği destekten dolayı ablam Semiha KESEMEN TUNÇ'a, yetişmemde bana gösterdikleri ilgiden ve destekten dolayı aileme ve tüm emeği geçenlere teşekkür ederim.

Orhan KESEMEN
Trabzon, 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XVIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIX
KISALTMALAR DİZİNİ	XXI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Yer Radarı Yöntemi	3
1.3. Yer Radarı Verilerinin Toplanması	10
1.3.1. Kaynak ve Alıcı Antenlerinin Dizilimi	10
1.3.2. Ortak-Açılım Ölçümleri	12
1.3.3. Ortak-Orta Nokta Ölçümleri.....	13
1.4. Yer Radarı Verilerinin Yorumlanması	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Giriş	16
2.2. Veri İşlem Yazılım Paketi (SAMBAT).....	16
2.3. Yapay Yer Radarı Kesitlerinin Hesaplanması.....	21
2.3.1. Zaman Ortamlı Sonlu Farklar Yöntemi.....	21
2.3.2. FDTD Yönteminin Bağlıntıları	21
2.3.3. Soğurucu Sınır Koşulları (ABC)	26
2.3.4. Kaynak İşlevi ve Kararlılık Sınaması.....	28
2.3.5. Benzetimin İki Boyuta İndirgenmesi.....	29

2.3.6.	İki Boyutlu Yer Radarı Benzetiminin Akış Şeması	30
2.3.7.	Programın Sonuçları	30
2.4.	Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Kullanılan Bazı Uygulamalar.....	33
2.4.1.	Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Genlik Düzeltmeleri	34
2.4.1.1.	Otomatik Genlik Düzeltmesi (AGC).....	34
2.4.1.2.	Kök Ortalama Kare Otomatik Genlik Düzeltmesi (rmsAGC)	37
2.4.1.3.	Programlanmış Genlik Düzeltmesi (PGC)	39
2.4.1.4.	Doğrusal ve Üstel Genlik Düzeltmesi (SEC)	41
2.4.1.5.	Genlik Düzeltmesine Yeni Bir Yaklaşım	44
2.4.1.5.1.	YZD Uygulanmış Kesitlerin Sıklık (Histogram) Eşitlemesi.....	48
2.4.2.	Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Sayısal Süzgeçler	50
2.4.2.1.	Kayan Ortalama Süzgeçleri	50
2.4.2.2.	Kayan Ortalama Çıkarma Süzgeçleri	53
2.4.2.3.	Ortanca (Median) Süzgeçleri.....	56
2.4.2.4.	Frekans Süzgeçleri.....	59
2.4.3.	Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Dönüşümler	63
2.4.3.1.	Frekans Dalga Sayısı (FK) Dönüşümü.....	64
2.4.3.2.	Eğim Yığılması (τ -p) Dönüşümü.....	66
2.4.3.3.	Radon Dönüşümü	68
2.4.3.4.	Karhunen Loéve Dönüşümü (KLT)	70
2.4.3.5.	Hilbert Dönüşümü	72
2.4.3.6.	Hiperbolik Yığılma (Hız Çözümleme) Dönüşümü.....	75
2.5.	Saha Çalışmaları	77
2.5.1.	KTÜ Yerleşkesi Yeraltı Kanallarının İncelenmesi.....	77
2.5.1.1.	Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinden Aletsel Etkilerin Giderilmesi	80
2.5.1.2.	Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinin Genlik Düzeltmeleri	83
2.5.1.3.	Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinde Doğrusal Yanal Olayların Süzülmesi ...	88
2.5.1.4.	Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinde Sıklık (Histogram) Eşitlemesi	90
2.5.1.5.	Yerleşke Alanı Yer Radarı Verisindeki Yüksek Frekanslı Olayların Süzülmesi	92
2.5.1.6.	Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinin Hız Çözümlemesi	96
2.5.1.6.1.	Kayan Hız Çözümlemesi	97
2.5.1.6.2.	Düşey ve Yatay Hız Çözümlemesi.....	108
2.5.2.	Heyelan Çalışması	116

2.5.2.1.	Heyelan Bölgesinin Tanımlanması.....	116
2.5.2.2.	Yer Radarı Verilerinde Aletsel Etkilerin Giderilmesi	119
2.5.2.3.	Heyelan Verilerinin Genlik Düzeltmesi ve Yanal Olayların Temizlenmesi	122
2.5.2.4.	Heyelan Alanı Verilerine Sıklık Eşitlemesi ve Frekans Süzgeci Uygulaması ..	124
2.5.2.5.	Heyelan Alanındaki Ortamın Hızının Belirlenmesi	127
3.	BULGULAR VE SONUÇLAR	137
4.	İRDELEME VE ÖNERİLER.....	139
5.	KAYNAKLAR.....	142
6.	EKLER	146
Ek 1.	Yer Radarı Benzetiminin Akış Şeması.....	146
Ek 2.	SAMBAT Yazılımındaki İşlevlerin Kullanım Yönergeleri	147
	ÖZGEÇMİŞ.....	189

ÖZET

Günümüzde mühendislik çalışmalarında sığ yeraltının araştırılması giderek önem kazanmaktadır. Arkeolojik aramalarda, yapı sağlamlık araştırmasında, çevre kirliliği araştırmalarında özellikle tercih edilen jeofiziksel yöntem yer radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) yöntemidir.

Bu çalışmada, yer radarı veri işlem aşamalarının, sismik veri işlem aşamalarına benzemesine rağmen, gerek ölçü düzeneği ve gerekse kullanılan ölçü birimlerindeki farklılıklar göz önüne alınarak verileri daha sağlıklı işlemek amacıyla veri işlem teknikleri irdelenmiş, yeni veri işlem teknikleri geliştirilmiş, bilgisayar programları yazılarak bir yazılım paketi (SAMBAT) hazırlanmış ve bu tekniklerin uygulamadaki etkileri irdelenmiştir. Hazırlanan yapay yer radarı verilerine yukarıda sözü edilen veri işlem teknikleri uygulanmıştır.

Geliştirilen yeni veri işleme tekniklerinden yığılmış zarf düzeltmesi (YZD), diğer genlik düzeltmelerinin parametre seçiminde gösterdikleri zorluklara, yanal olayları ortadan kaldırması ve yerel olayların öne çıkarması gibi sorunlara çözüm getirmektedir.

Hız çözümlemesi, genelde ortak derinlik (CDP) ve bazen de ortak atış (CSG) verilerine uygulanırken, sabit açılımlı (COG) yer radarı verileri için hız çözümlemesinde yeni yöntemler önerilmiştir. Ayrıca geliştirilen düşey ve yatay hız çözümlemeleri de kesitlerin yorumlanmasında kolaylıklar göstermektedir.

Veri işleminden elde edilen bulgular doğrultusunda bu teknikler Karadeniz Teknik Üniversitesi'ndeki bazı kanalizasyon kanallarının konumlarının yer radarı yöntemi ile araştırılmasında kullanılmıştır. Konu ile ilgili diğer bir çalışma ise Gümüşhane ili Mescitli beldesindeki heyelan bölgesinde yapılmıştır. Yapılan çalışmada bölgede etkin olan heyelanın yapısal durumu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yer Radarı, Veri İşlem, Matematiksel Dönüşümler, Süzgeçler, Düşey Hız Çözümlemesi, Yatay Hız Çözümlemesi, Yığılmış Zarf Genlik Düzeltmesi, Sığ Yeraltı Yapısının Belirlenmesi, Heyelan, SAMBAT

SUMMARY

New Approaches in Processing the Ground Penetrating Radar (GPR) Data

Recently, the investigations of the shallow subsurface are increasingly important for engineering activities. An especially preferred geophysical method for the detection of archeological resource, strength of the structure and environmental pollution is GPR.

In this study, although GPR data processing steps are similar to seismic data processing, both measurement system and measurement unit are different. Hence, the data processing techniques have been investigated; new data processing techniques have been developed and also computer programs were developed for more reliable processing. Therefore, a software package (SAMBAT) was prepared and the effects of these techniques in the applications were investigated. These data processing techniques were applied to prepare synthetic GPR data.

Stacked enveloped gain correction (SEGC) developed of new techniques of data processing figure out problems for another gain correction has trouble for choosing parameters, suppress lateral events and inflates the residual events.

While the velocity analysis is commonly used the data in common depth point gathers and rarely used the data in common shot gathers, new methods are suggested for the velocity analysis in common offset gathers. But, in this study new methods are proposed for common offset gather data. Also, vertical and horizontal velocity analyses developed were aided for interpretation GPR section.

These techniques were used for the detection of location of some sewers in Karadeniz Technical University by GPR method with the inventions from data processing. In another study was done region of landslip at Mescitli town at Gümüşhane. In this study, structural form at the active landslip at the region was investigated.

Key Word: Ground Penetrating Radar, Data Processing, Mathematical Transforms, Filters, Vertical Velocity Analysis, Horizontal Velocity Analysis, Stacked Envelope Gain Correction, Estimation of the Shallow Ground Structure, Landslide, SAMBAT

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Genel yer radarı düzeneğinin görünümü	3
Şekil 2.	Yer radarı düzeneğinin şematik gösterimi	5
Şekil 3.	Yer radarı ölçümlerinde bir doğrultu üzerinde bir noktada kayıt edilen tek izin genlik düzeltmesi uygulandıktan sonraki olayların gösterimi	7
Şekil 4.	Yüzey boyunca antenleri çekerek alınan her bir noktadaki izlerin yan yana dizilmesiyle elde edilen yer radarı kesiti (radargram), (a) salınımlı görüntü kesiti, (b) gri renk yoğunluğunda görüntü kesiti	7
Şekil 5.	Dalga iletim düzenekleri (a) yansıma (b) kırılma (c) kırınım, (d) çınlama	9
Şekil 6.	Kaynak ve alıcı antenlerinin olası doğrultu üstü (in line) dizilimleri	11
Şekil 7.	Kaynak ve alıcı antenlerinin olası çapraz dizilimleri	12
Şekil 8.	Yer radarı kesitinde hiperbol şeklinde boru yansımaları [22]	13
Şekil 9.	Gerçek sığ yeraltı ile yer radarı görüntüsünün karşılaştırılması, bu görüntü Nesher Ramle taşocağından alınmıştır. Yatay ölçek uzaklığı gösterirken, düşey ölçek yansıtıcıların derinliğini göstermektedir. (a) taşocağındaki kireçtaşı tabakalarından oluşan karmaşık yapıdan bir görüntü. Kesikli çizgi içinde kalan alan yer radarı tarafından görüntülendi, (b) yer radarı görüntüsü dolu salınımlı çizimle gösterilmektedir [51]	14
Şekil 10.	Yer radarı görüntüsünün yorumlanması, (a) gözükten stratigrafik birimlerin yorumlanması, Nesher Ramle taşocağının görüntüsündeki yapıların ve fayların gösterimi, (b) yer radarı kesitinde bu öğelerin yorumlanması	15
Şekil 11.	Çizim örnekleri, (a) salınımlı çizim, (b) çizgisiz dolu çizim (c) dolu salınımlı çizim (d) renk yoğunluğuna göre gösterim (e) dolu eş yükselti çizimi (f) küpsel çizim (V.K: Verici Konumu; A.K: Alıcı Konumu)	20
Şekil 12.	Yee Kafesi, kartezyen koordinatlarda elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin konumlarını göstermektedir	23
Şekil 13.	Yee Kafesi, birim küp üzerinde elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin konumlarını göstermektedir	23
Şekil 14.	Yee kafesinin 2 boyutlu ızgara görünümü	29

Şekil 15.	EM benzetimde kullanılan kaynak işlevi.....	31
Şekil 16.	Benzetim için kullanılan yeraltı yapısı	31
Şekil 17.	EM dalga gönderilerek kayıt edilen yapay yer radarı atış kayıtları a) Doğrultu üzerinde 5.m’de atış kaydı; b) Doğrultu üzerinde 10.m’de atış kaydı; c) Doğrultu üzerinde 15.m’de atış kaydı	32
Şekil 18.	EM dalga gönderilerek kayıt edilen yapay yer radarı ortak açılım kayıtları a) Verici-Alıcı arası 0.1m olan radargram kesitleri; b) Verici-Alıcı arası 0.5m olan yer radarı kesitleri; c) Verici-Alıcı arası 1m olan radargram kesitleri;.....	32
Şekil 19.	AGC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinden elde edilen kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltilmesi yapılmış yapay yer radarı izi.	36
Şekil 20.	Yapay yer radarı kesitine pencere boyu 50 örnek olan AGC uygulaması, (a) yapay ham yer radar kesiti (b) yanal yönde AGC uygulaması, (c) düşey yönde AGC uygulaması, (d) iki boyutlu AGC uygulaması	37
Şekil 21.	rmsAGC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinden elde edilen noktalar ve bunların interpolasyonu sonucu ortaya çıkan kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltilmesi yapılmış yapay yer radarı izi	38
Şekil 22.	Yapay yer radarı kesitine pencere boyu 50 örnek olan rmsAGC uygulaması, (a) yapay ham yer radarı kesiti (b) yanal yönde rmsAGC uygulaması, (c) düşey yönde rmsAGC uygulaması, (d) iki boyutlu rmsAGC uygulaması	39
Şekil 23.	PGC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinin PGC ile elde edilen kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltilmesi yapılmış yapay yer radarı izi	40
Şekil 24.	Yapay yer radarı kesitine PGC uygulaması, (a) yapay ham yer radarı kesiti (b) yanal yönde PGC uygulaması, (c) düşey yönde PGC uygulaması, (d) iki boyutlu PGC uygulaması	41
Şekil 25.	SEC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinin $\beta = 0.01$ olan SEC kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltilmesi yapılmış yapay yer radarı izi	42
Şekil 26.	Yapay yer radarı kesitine değişik en büyük değerlerde SEC uygulaması, (a) yapay ham yer radarı kesiti, (b) en büyük değeri 200 olan SEC uygulaması, (c) en büyük değeri 500 olan SEC uygulaması, (d) en büyük değeri 1000 olan SEC uygulaması.....	43
Şekil 27.	YZD uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinin YZD kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltilmesi yapılmış yapay yer radarı izi	45

Şekil 28.	Genlik düzeltmesinin ayrıntısını daha iyi göstermek için seçilen bir veri grubuna uygulanan düzeltmeler, (a) AGC uygulaması, (b) rmsAGC uygulaması, (c) PGC uygulaması, (d) SEC uygulaması, (e) YZD uygulaması.....	46
Şekil 29.	Yapay yer radarı kesitine değişik yöntemlerle genlik düzeltmesi uygulaması, (a) yapay yer radarı kesiti, (b) pencere boyu 50 olan AGC uygulaması, (c) pencere boyu 50 olan rmsAGC uygulaması, (d) pencere boyu 50 olan PGC uygulaması, (e) en büyük değeri 200 olan SEC uygulaması, (e) YZD uygulaması.....	47
Şekil 30.	Sıklık eşitleme uygulaması, (a) (b)'deki izin olasılık yoğunluk işlevi, (b) ham yapay yer radarı izi, (c) (d)'deki izin olasılık yoğunluk işlevi, (d) YZD uygulanmış yapay yer radarı izi, (e) (f)'deki izin olasılık yoğunluk işlevi, (f) YZD uygulanmış yapay yer radarı izine sıklık eşitlemesi uygulanmış iz.....	49
Şekil 31.	Yapay yer radarı kesitine sıklık eşitleme uygulaması, (a) yapay yer radarı kesiti, (b) YZD uygulanmış yapay yer radarı kesiti, (c) YZD uygulanmış yapay yer radarı kesitinin sıklık eşitlenmiş kesiti, (d) (a) kesitinin olasılık yoğunluk işlevi, (e) (b) kesitinin olasılık yoğunluk işlevi, (f) (c) kesitinin olasılık yoğunluk işlevi.....	50
Şekil 32.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 5 olan kayan ortalama süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama süzgeci uygulaması.....	52
Şekil 33.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 9 olan kayan ortalama süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama süzgeci uygulaması.....	53
Şekil 34.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 25 olan kayan ortalama çıkarma süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması.....	55
Şekil 35.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 50 olan kayan ortalama çıkarma süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması.....	56
Şekil 36.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 5 olan ortanca süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı	

	kesiti (b) yanal yönde ortanca süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde ortanca süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu ortanca süzgeç uygulaması.....	57
Şekil 37.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 9 olan ortanca süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde ortanca süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde ortanca süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu ortanca süzgeç uygulaması.....	58
Şekil 38.	Frekans ortamında sıfır fazlı ideal süzgeç çeşitleri ve yeniden düzenlenmiş ideal süzgeç çeşitleri, (a) ideal alçak geçiren, (b) ideal yüksek geçiren, (c) ideal bant geçiren, (d) ideal bant durduran, (e) yeniden düzenlenmiş ideal alçak geçiren, (f) yeniden düzenlenmiş ideal yüksek geçiren, (g) yeniden düzenlenmiş ideal bant geçiren, (g) yeniden düzenlenmiş ideal bant durduran.....	60
Şekil 39.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine alçak geçiren bir frekans süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde alçak geçiren süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde alçak geçiren süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu alçak geçiren süzgeç uygulaması.....	61
Şekil 40.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine bant geçiren bir frekans süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde bant geçiren süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde bant geçiren süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu bant geçiren süzgeç uygulaması.....	62
Şekil 41.	Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine yüksek geçiren bir frekans süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde yüksek geçiren süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde yüksek geçiren süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu yüksek geçiren süzgeç uygulaması.....	63
Şekil 42.	Frekans-Dalga Sayısı ortamında (FK) süzgeç işleci; (a) tek yönlü eğim süzgeci işleci; (b) çift yönlü eğim süzgeci işleci.....	65
Şekil 43.	(FK) ortamında eğim (hız) süzgeci, (a) değişik hızlarda olaylar, (b) bu olayların FK ortamı görüntüsü, (c) FK ortamında eğim süzgeci uygulanmış spektrum, (d) eğimli doğrusal olayları elenmiş kesit.....	66
Şekil 44.	Eğim yığılması dönüşümü yapılarak doğrusal olayların temizlenmesi, (a) yapay yer radarı kesiti (b) yapay kesitin eğim yığılması dönüşümü, (c) eğimli doğrusal olayların kesitten temizleme işlemi (d) eğimli doğrusal olayların kesitten süzölmüş durumu.....	68
Şekil 45.	Radon dönüşümünün uygulanması.....	69
Şekil 46.	Radon dönüşümüyle doğrusal olayların temizlenmesi (a) yapay yer radarı kesiti (b) yapay kesitin Radon dönüşümü, (c) Radon ortamında eğimli doğrusal olayların temizlenmesi, (d) Ters radon dönüşümü sonucu elde edilen kesit.....	70

Şekil 47.	KLT dönüşümü ile kesitteki düz olayların ortaya çıkarılması ve temizlenmesi, (a) yapay kesit, (b) yapay kesitin bir öz değerli KLT kesiti, (c) yapay kesitten KLT kesitinin çıkarılmışı, (d) yapay kesitten 10 özdeğerli KLT kesitinin çıkarılmışı.....	72
Şekil 48.	Sinc işlevinin Hilbert dönüşümüyle elde edilen gerçel, sanal ve zarf biçimleri.....	74
Şekil 49.	Hilbert dönüşümü görüntüleri, (a) yapay kesit (b) yapay kesitin anlık genliği (c) yapay kesitin anlık fazı, (d) yapay kesitin anlık frekansı.....	75
Şekil 50.	Hiperbolik yığıma dönüşümü, (a) 3 tabakadan oluşan yeraltı modeli, (b) 1 doğrudan gelen ve 3 yansıma hiperbolundan oluşan yapay bir CMP sismik kesiti (c) (b)'deki kesite 500 ile 3000 m/sn arasında hiperbolik yığıma dönüşümü uygulaması ve kapanımların işaretlenerek hız işlevinin belirlenmesi	77
Şekil 51.	KTÜ Yerleşkesinin Kuzey-Batı bölümü. Siyah koyu oklar A ve B ölçü doğrultularını göstermektedir	79
Şekil 52.	KTÜ Yerleşkesinin Güney-Doğu bölümü. Siyah koyu oklar C ve D ölçü doğrultularını göstermektedir	80
Şekil 53.	Bir yer radarı izinin ham sinyali ile DC süzgeci uygulanmış sinyalin karşılaştırılması.....	82
Şekil 54.	DC süzgeci uygulanmış bir yer radarı izi ile DC+DEWOW süzgeci uygulanmış izlerin karşılaştırılması.....	82
Şekil 55.	A doğrultusundaki ham yer radarı kesiti	83
Şekil 56.	A kesitine sıfır zamanı, DC + DEWOW süzgeci uygulanması sonucu elde edilen kesit	83
Şekil 57.	Pencere boyutu 50 olan AGC uygulanmış A kesiti.....	84
Şekil 58.	Pencere boyutu 50 olan rmsAGC uygulanmış A kesiti.....	84
Şekil 59.	Pencere boyutu 50 olan PGC uygulanmış A kesiti.....	85
Şekil 60.	Yukarıda verilen parametrelere göre SEC uygulanmış A kesiti.....	86
Şekil 61.	SEC işlemi için seçilen kazanç işlevi	86
Şekil 62.	A doğrultusunda YZD uygulanmış kesit	87
Şekil 63.	B doğrultusunda YZD uygulanmış kesit	87
Şekil 64.	C doğrultusunda YZD uygulanmış kesit	87
Şekil 65.	D doğrultusunda YZD uygulanmış kesit	88

Şekil 66.	A doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit.....	89
Şekil 67.	B doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit.....	89
Şekil 68.	C doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit.....	90
Şekil 69.	D doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit.....	90
Şekil 70.	A kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış	91
Şekil 71.	B kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış.....	91
Şekil 72.	C kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış.....	91
Şekil 73.	D kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış	92
Şekil 74.	A kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi	93
Şekil 75.	B kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi	94
Şekil 76.	C kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi	95
Şekil 77.	D kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi	95
Şekil 78.	(a) COG ölçüleri ile gömülü nesnenin belirlenmesi, (b) gömülü nesnenin verilerde oluşturduğu hiperbolların görünümü	97
Şekil 79.	Tepe noktası seçilmiş üç hiperboldan oluşan yapay yer radarı kesiti.....	98
Şekil 80.	Uzaklığı 5 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü.....	99
Şekil 81.	Uzaklığı 10 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü.....	99
Şekil 82.	Uzaklığı 15 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü.....	100
Şekil 83.	A2 kesitindeki hiperbolların belirlenmesi	101
Şekil 84.	A2 kesitindeki a, b ve c hiperbollarının hız çözümü.....	101
Şekil 85.	A2 kesitindeki d, e ve f hiperbollarının hız çözümü	101
Şekil 86.	A2 kesitindeki g, h ve i hiperbollarının hız çözümü	102
Şekil 87.	A kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi.....	102

Şekil 88.	B kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi	103
Şekil 89.	C kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi	104
Şekil 90.	D kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi.....	105
Şekil 91.	A kesitinin hız haritası	107
Şekil 92.	B kesitinin hız haritası	107
Şekil 93.	C kesitinin hız haritası	108
Şekil 94.	D kesitinin hız haritası	108
Şekil 95.	Uzaklığı 5 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümlemesi ve onun düşey yönde toplanması ve yatay yönde toplanmasından elde edilen izler	110
Şekil 96.	Uzaklığı 10 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümlemesi ve onun düşey yönde toplanması ve yatay yönde toplanmasından elde edilen izler	110
Şekil 97.	Uzaklığı 15 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümlemesi ve onun düşey yönde toplanması ve yatay yönde toplanmasından elde edilen izler	111
Şekil 98.	Yapay yer radarı kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi	111
Şekil 99.	Yapay yer radarı kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi.....	112
Şekil 100.	İşlenmiş A kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi.....	113
Şekil 101.	İşlenmiş A kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi	113
Şekil 102.	İşlenmiş B kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi	114
Şekil 103.	İşlenmiş B kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi	114
Şekil 104.	İşlenmiş C kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi	114
Şekil 105.	İşlenmiş C kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi	115
Şekil 106.	İşlenmiş D kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi.....	115
Şekil 107.	İşlenmiş D kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi	115
Şekil 108.	Gümüşhane ili, Mescitli beldesi Bal Kayası mevkinin 1/25.000 topoğrafik haritası [49]	117
Şekil 109.	İnceleme alanında heyelan oluşan yamacın görünümü ve yer radarı ölçü doğrultuları [49].....	118

Şekil 110. Heyelan alanından elde edilen A-A' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti.....	119
Şekil 111. Heyelan alanından elde edilen B-B' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti.....	120
Şekil 112. Heyelan alanından elde edilen C-C' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti.....	120
Şekil 113. Heyelan alanından elde edilen D-D' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti.....	120
Şekil 114. Heyelan alanından elde edilen E-E' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti.....	121
Şekil 115. Heyelan alanından elde edilen F-F' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti.....	121
Şekil 116. Heyelan alanından elde edilen G-G' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti.....	121
Şekil 117. A-A' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit	122
Şekil 118. B-B' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit	122
Şekil 119. C-C' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit	123
Şekil 120. D-D' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit	123
Şekil 121. E-E' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit	123
Şekil 122. F-F' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit	124
Şekil 123. G-G' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit	124
Şekil 124. A-A' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit	125

Şekil 125.	B-B' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit	125
Şekil 126.	C-C' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit	126
Şekil 127.	D-D' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit	126
Şekil 128.	E-E' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit	126
Şekil 129.	F-F' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit	127
Şekil 130.	G-G' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit	127
Şekil 131.	G-G' doğrultusundaki yer radarı kesitinde hız belirlenmesi, (a) 22. m dolaylarındaki hiperbolun tepe noktasının seçimi, (b) 7-37m'ler arasındaki bölgenin hız çözülmesinin kapanım görüntüsü, (c) seçilen hızın hiperbola göre doğrulanması	128
Şekil 132.	A-A' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü.....	128
Şekil 133.	A-A' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması.....	129
Şekil 134.	B-B' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü	129
Şekil 135.	B-B' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması	130
Şekil 136.	C-C' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü	130
Şekil 137.	C-C' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması	131
Şekil 138.	D-D' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü.....	131
Şekil 139.	D-D' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması.....	132
Şekil 140.	E-E' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü.....	132
Şekil 141.	E-E' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması.....	133
Şekil 142.	F-F' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü.....	133
Şekil 143.	F-F' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması	134
Şekil 144.	G-G' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü.....	134
Şekil 145.	G-G' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması.....	135

Şekil 146. G-G' doğrultusuna paralel ve tüm yamaç boyunca alınan jeolojik kesit [49].....	136
Şekil 147. Heyelan bölgesindeki ölçü alanının ana kaya derinlik kesiti.....	136

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bazı malzemelerin elektriksel özellikleri [51].....	4
Tablo 2. Benzetim için bazı giriş değişkenleri.....	31
Tablo 3. A kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri	103
Tablo 4. B kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri	104
Tablo 5. C kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri	105
Tablo 6. D kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri	106

SEMBOLLER DİZİNİ

$a < b$	a küçüktür b
$a > b$	a büyüktür b
$a \leq b$	a küçüktür veya eşittir
$a \geq b$	a büyüktür veya eşittir
$a \in A$	a A'nın elemanıdır
$a \notin A$	a A'nın elemanı değildir
$a = b$	a eşittir b
$a \neq b$	a farklıdır b
\forall	her
\exists	en az bir
∞	sonsuz
∂	kısmi türev
∇	bir vektörün curl'ü
Δ	örnekleme göstergesi
$a < \infty$	a sonludur
$ x $	x sayısının mutlak değeri
\bar{x}	x dizinin ortalama değeri
\tilde{x}	x dizisinin ortanca değeri
$A \subseteq B$	B serisi A serisini içerir veya A ve B serileri eşittir
$A \supseteq B$	A serisi B serisini içerir veya A ve B serileri eşittir
$\min(A)$	A serisinin en düşük değeri
$\max(A)$	A serisinin en yüksek değeri
$\text{abs}(a)$	A serisinin mutlak değeri
$\sum_{i=1}^n a_i$	a_1, a_2, \dots, a_n sayılarını toplamı
$\prod_{i=1}^n a_i$	a_1, a_2, \dots, a_n sayılarını çarpımı
$f_1 * f_2$	f_1 ve f_2 fonksiyonlarının evrişim işlemi
$f_1 \overset{D}{*} f_2$	f_1 ve f_2 fonksiyonlarının D boyutlu evrişim işlemi

$f_1 // f_2$	f_1 ve f_2 fonksiyonlarının ters evrişim işlemi
$f_1 // f_2^D$	f_1 ve f_2 fonksiyonlarının D boyutlu ters evrişim işlemi
$\frac{\partial H}{\partial t}$	manyetik alanın zamana göre türevi
$\frac{\partial H}{\partial x}$	manyetik alanın uzaklığa göre türevi
$\frac{\partial E}{\partial t}$	elektrik alanın zamana göre türevi
$\frac{\partial E}{\partial x}$	elektrik alanın uzaklığa göre türevi
$\frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$	sinc işlevi
Ny	Nyquist frekansı

KISALTMALAR DİZİNİ

ABC	: Sınır koşulları soğrulması
AGC	: Otomatik genlik düzeltmesi
CDP	: Ortak derinlik noktası
CMP	: Ortak orta nokta
COG	: Ortak açılım ailesi
CRG	: Ortak alıcı ailesi
CSG	: Ortak atış ailesi
CWP/SU	: Dalga olayları merkezi / Sismik Unix
DC	: Doğru akım bileşeni
DEWOW	: Çok düşük frekanslı olayların ortadan kaldırma işlemi
DHÇ	: Düşey hız çözümlemesi
EM	: Elektromanyetik
FDM	: Sonlu farklar yöntemi
FDTD	: Zaman ortamında sonlu farklar
FFT	: Hızlı Fourier dönüşümü
FK	: İki boyutlu Fourier dönüşümü
FX	: Zamansal yönde Fourier dönüşümü
GPR	: Yer radarı
KLT	: Karhunen-Loève dönüşümü
LMO	: Doğrusal kayma zamanı düzeltmesi
LTI	: Doğrusal zamanla değişmeyen
NMO	: Normal kayma zamanı düzeltmesi
PGC	: Programlanmış genlik düzeltmesi
rmsAGC	: Kök ortalama kare otomatik genlik düzeltmesi
RT	: Radon dönüşümü
RTF	: Radon dönüşüm süzgeci
RTT	: Radyal iz dönüşümü
S/N	: Sinyal / Gürültü oranı
SAMBAT	: Sismik Arama Merkezi ve Bilimsel Arama Topluluğu
SEC	: Küresel ve üstel genlik düzeltmesi

SEP	: Stanford arama projesi
SNR	: Sinyal gürültü oranı
TAU-P	: Eğim yığılması dönüşümü
TK	: Uzaysal yönde Fourier dönüşümü
WOW	: Bölgesel düşük frekans etkisi
YHÇ	: Yatay hız çözümü
YZD	: Yığılmış zarf düzeltmesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yer radarı (GPR) ilk olarak 1929 da Avusturya'da buz kütlelerinin su altındaki derinliğini bulmak için Stern tarafından bir düzenek kuruldu ve denendi [1–2]. RADAR kelimesi 1934'de “RADio Detection And Ranging” kelimesinden türetilmiştir [3]. Uzun bir süre bu teknoloji ile pek ilgilenilmedi. 1950'de Birleşik Devletler Hava Gücü, radarları Grönland'da buz dağları boyunca yapılan deneme uçuşlarında kullandı, fakat yükseklik yanlış okunduğundan bu denemeler başarısızlıkla sonuçlandı. Bu olaydan sonra radarların becerileri üzerine bir araştırma başlatıldı. Yapılan çalışmalarla sadece buzulların derinliği değil yeraltında bulunan toprağın özellikleri ve su seviyesinin haritaları da çıkarıldı. 1967'de buzulların derinliğini bulmak için Stern'in düzeneğine benzer bir düzenek önerildi. Daha sonra bu düzenek “Yeraltı Elektrik Özellikleri Deneyimi” olarak adlandırılarak Apollo 17 Uzay aracı ile aya ilk uçuşta kullanıldı [4].

1970'lerin ilk yıllarında Ohio Devlet Üniversitesinin Elektrobilimler Laboratuvarında yer radarı aleti üretildi. 1972'de Rex Morey ve Art Drake “Geophysical Survey Systems Inc.” şirketi ile yer radarı aletini ticari olarak satmaya başladılar [5]. Bundan sonra uygulamalarda, yayınlarda ve araştırmalarda büyük bir patlama gerçekleşti. Bu çalışmalar Geological Survey of Canada, the U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL) ve diğerleri tarafından anlaşmalar yapılarak desteklendi. Şu anda dünyada yer radarı ile ilgili 300'ü aşkın patent bulunmaktadır (ABD Patent Bürosu). Birçok şirket ticari aletler yapmakta, birçoğu bunlara servis vermekte ve birçok enstitü ise bu araştırmaları ilerletmektedir. Bu düzenek yer radarı (georadar), yer araştırma radarı veya yeraltı radarı olarak adlandırılmaktadır.

Bugün yer radarı ölçümleri yer yüzeyinden, kuyu içinden, kuyular arasından, hava taşıtlarından veya uydudan yapılabilmektedir. Yer radarı, bilinen diğer jeofiziksel yöntemler içinde cm. duyarlılığa sahip tek yöntemdir. Araştırılan derinlik malzeme özelliklerine bağlı olarak bir metreden birkaç bin metreye kadar değişmektedir. Yeraltının özelliklerinin bulunması, elektriksel, manyetiksel özellikleri ile geometrisi ve antenler arasındaki ilişkiye bağlıdır. Modellemenin nicel yorumlanmasıyla yer radarı verilerinde

derinlik bilgisi, gömülmüş nesnelerin boyutu, biçimi ve yatımı, toprağın su içeriği ve yoğunluğu gibi birçok etmen belirlenebilmektedir [6].

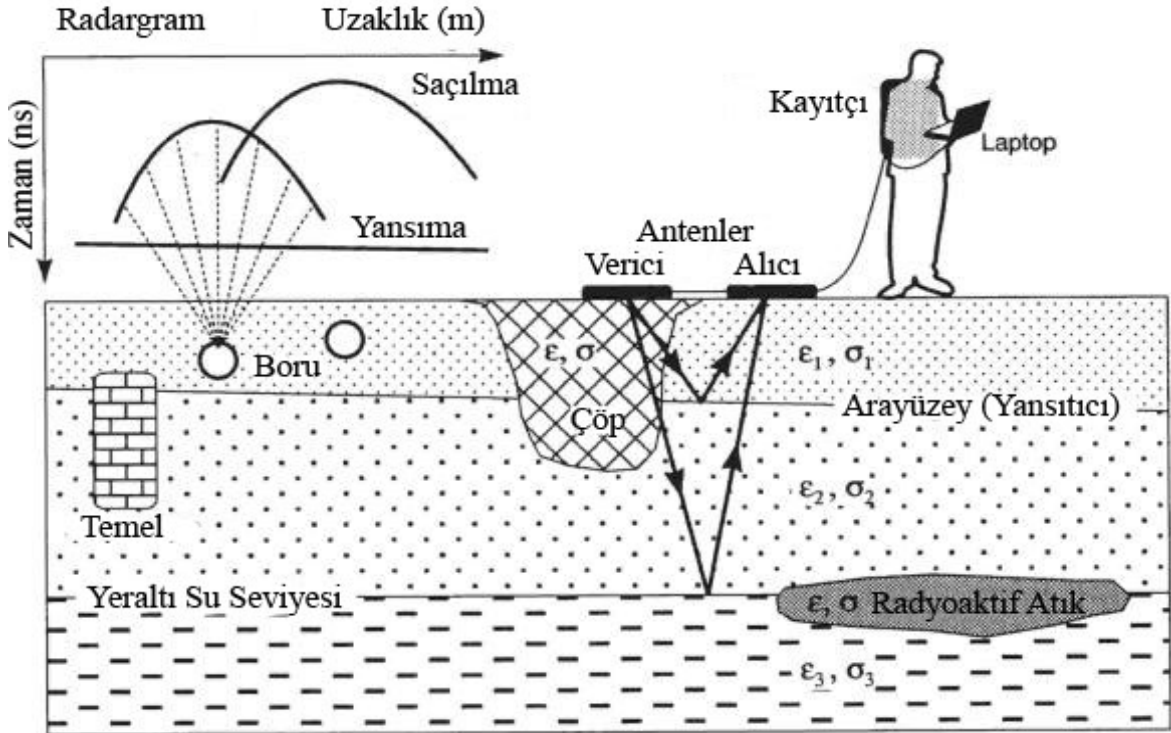
Yer radarları, günümüzde mikro teknolojinin gelişmesiyle birlikte hızla yaygınlaşmakta, özellikle değişik yerlerde uygulama alanları bulmaktadır. Aşağıda bu uygulama alanları listelenmiştir:

- Tarım alanlarında
- Arkeoloji ve antik kalıntılarda
- Biyoloji ve biyofizik alanlarında
- Köprü çözümlerinin belirlenmesinde
- İnşaatlarda
- Kara mayınları araştırılmasında
- Çevresel etkilerde ve çevresel görüntülemelerde
- Adli tıpta
- Jeoteknik araştırmalarda
- Mezar yeri aramalarında
- Yeraltı suyu tespitinde
- Altyapı incelemelerinde
- Buz dağlarının araştırılmasında
- Karstik yapıların bulunmasında
- Ay ve gezegenlerde
- Maden aramalarında
- Göl ve nehirlerin don kırıklarının araştırılmasında
- Karayolları, havaalanları, demiryolları ve kaldırımlarda
- Sedimantolojik yapıların incelenmesinde
- Atık borularının konumları ve geçtikleri yerlerin tespitinde
- Tünel aramalarında
- Patlamayan savaş gereçleri
- Alan taraması ve haritalanmasında
- Yeraltı boşluk taramasında
- Volkanik hareketlerin araştırılmasında

1.2. Yer Radarı Yöntemi

Yer radarı, jeofiziksel tabanlı bir yöntem olarak 10 MHz ile 2 GHz arasında EM dalgaları yer içine gönderir ve bunların yayılımını, yansımalarını ve saçılmalarını inceler [43]. Yer radarı yüksek çözünürlüklü elektromanyetik bir tekniktir. Bu teknik yerin sığ alt yüzeyinin araştırılmasında birincil yöntemdir [7].

Yer radarı yöntemi, sismik arama ve elektrik mühendisliğinin temel ilkelerine dayanır. Yer radarı uygulayıcılarının sahip olması gereken temel bilgi, hem jeofiziksel arama bilgisi hem de elektrik mühendisliği bilgisi olmalıdır. Bu temel ilkeler havadan aramalar için de aynen geçerlidir. Uygulanan bu ilkeler doğrultusunda yapılan uygulama uygulayıcıyı sismik yansıma yöntemine götürür. Tüm bu uygulamaların temel ilkeleri aşağıda tanımlanmıştır (Şekil 1). Şekil 1’de verici-alıcı anten çifti, kayıtcı ve kayıtcıya bağlı dizüstü bilgisayar gözükmektedir. Araştırılan yeraltında, atık çöpler, farklı arayüzler, yeraltı su seviyesi, gömülü borular, radyoaktif atıklar ve temel yapılar olabilmektedir.



Şekil 1. Genel yer radarı düzeneğinin görünümü

Elektromanyetik dalga verici antenden yayılarak aynı malzeme boyunca tek hızla seyahat ettiği varsayılır. Yayılan bu dalganın hızı yeraltındaki malzemenin elektriksel

özellikleriyle (permittivite) ilişkilidir. Bazı malzemelerin elektriksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir [51].

Tablo 1. Bazı malzemelerin elektriksel özellikleri [51]

Malzeme	Dielektirik Sabiti	İletkenlik (mS/m)	Hız (m/ns)	Sönümlenme(dB/m)
Hava	1	0	0.3	0
Damıtma su	80	0.01	0.033	0.002
Taze su	80	0.5	0.033	0.1
Deniz suyu	80	30,000	0.01	1,000
Kuru kum	3–5	0.01	0.15	0.01
Doymuş kum	20–30	0.1–1.0	0.06	0.03–0.3
Kireçtaşı	4–8	0.5–2	0.12	0.4–1
Kil	5–15	1–100	0.09	1–100
Tortul	5–30	1–100	0.07	1–100
Kil, balçık	4–40	2–1,000	0.06	1–300
Granit	4–6	0.01–1	0.13	0.01–1
Tuz	5–6	0.01–1	0.13	0.01–1
Buz	3–4	0.01	0.16	0.01

Aşağı yönlü yayılan bu dalgalar yeraltında farklı özelliklere sahip bir ara yüzeye veya nesneye çarptıklarında iki parçaya ayrılır. Bir parçası yukarıya dönerken diğeri aşağıya doğru yoluna devam eder. Nesneden dönen bu yansıma alıcı anten tarafından yakalanır, daha sonra işlenmek ve yorumlanmak üzere elektronik ortamda sayısal sinyale çevrilerek kayıt edilir.

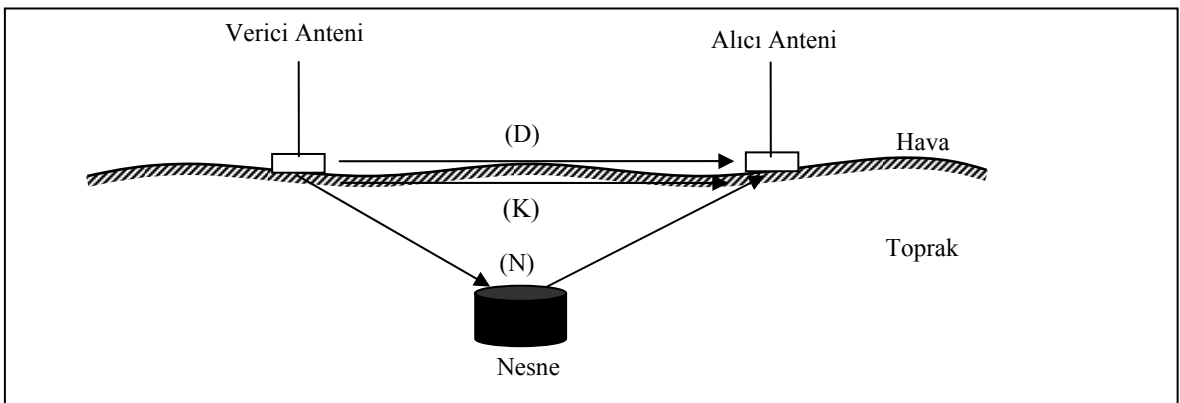
Verici antenler, metal bir çubuk yardımıyla, elektrik akımlarını, yeraltına gönderilecek elektromanyetik dalga haline çeviren bir çevirici olarak düşünülebilir. Anten üzerinde akan akımın ivmesinde değişiklik olduğu zaman, antenler elektromanyetik enerji yayarlar. Bu yayılmaya neden olan ivme ya doğrusal, (örneğin, anten üzerinde yol alan zamanla değişen elektromanyetik dalga gibi) ya da açısal olabilir. Yayılım, bir eğri boyunca gerçekleşir ve herhangi bir zamanda akımın değişim doğrultusunda yayılır. Bir antenden yayılım doğrultusunu denetlemek için, anten düzeneği hazırlanır.

Antenler, elektromanyetik dalgaları anten elemanları üzerinde akan akıma çevirirler. Benzer olarak alıcı antenler, elektromanyetik dalganın bir kısmını yakalamak yoluyla

elektromanyetik dalgayı alır. Karşılıklı ilkesine göre alıcı ve verici antenler değiştirilebilir. Bu ilke, alıcı-verici yeryüzünün yukarısında (havada) da geçerlidir. Gerçekte, verici ve alıcı antenler, yer söz konusu olduğunda, o kadarda değişebilir değildir. Aynı şekilde bir malzeme içinden geçerken de aynı durum söz konusudur. Bunun nedeni, verici anten etrafında, yere gönderilen sinyalin antenden uzaklaştıkça hızla sönümlenmesidir.

Malzeme özellikleriyle hız arasındaki ilişki, yeraltının aranmasında yer radarının kullanılmasının temelini oluşturmaktadır. Bu ilişkinin temel fiziksel ilkesi, tek yolla açıklanabilir: Elektromanyetik dalganın, farklı elektriksel özellikteki farklı malzemeler arasındaki hızı farklıdır. Burada bir sinyal aynı uzaklığı, farklı elektriksel özellikteki iki malzeme boyunca yol aldığı anda hedefe farklı zamanlarda ulaşır. Dalganın verici antenden çıkıp alıcı antene ulaşmaya kadar geçen zamana basitçe *seyahat zamanı* denir. Elektromanyetik dalganın temel birimi nanosaniye (ns)'dir ve $1\text{ns} = 10^{-9}\text{sn}$ dir. Elektromanyetik dalganın havadaki hızı $3 \times 10^8 \text{m/sn}$ (0.3m/ns) olduğundan dolayı, elektromanyetik dalga havada yaklaşık olarak 3,3333 ns'de 1m yol alır. Elektromanyetik dalga hızı, içinden yayıldığı malzemenin permittivitesinin karekökünün tersiyle orantılıdır. Yerin permittivitesi her zaman havanın permittivitesinden büyük olduğundan dolayı, dalganın malzeme içindeki yolculuk zamanı, her zaman havadakinden (3,3333 ns/m) büyük olur [7].

Şekil 2'de basit bir yer radarı düzeneği ve gömülü bir nesneyi aramak için verici anten tarafından oluşturulan bazı dalgaların izlediği yollar görülmektedir.



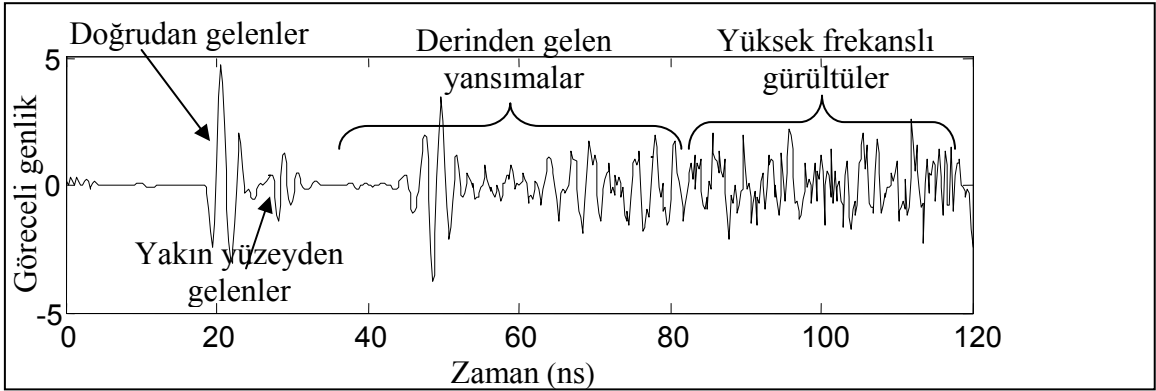
Şekil 2. Yer radarı düzeneğinin şematik gösterimi

Gömülü nesnelerin aranmasındaki zorlukların sebebi alıcı antende kayıt edilen sinyalde, nesneden yansıyan (N) sinyalinin haricinde, bu sinyallere eklenen istenmeyen sinyallerin de var olmasıdır. Olası istenmeyen sinyallerden biri Şekil 2'de gösterildiği gibi,

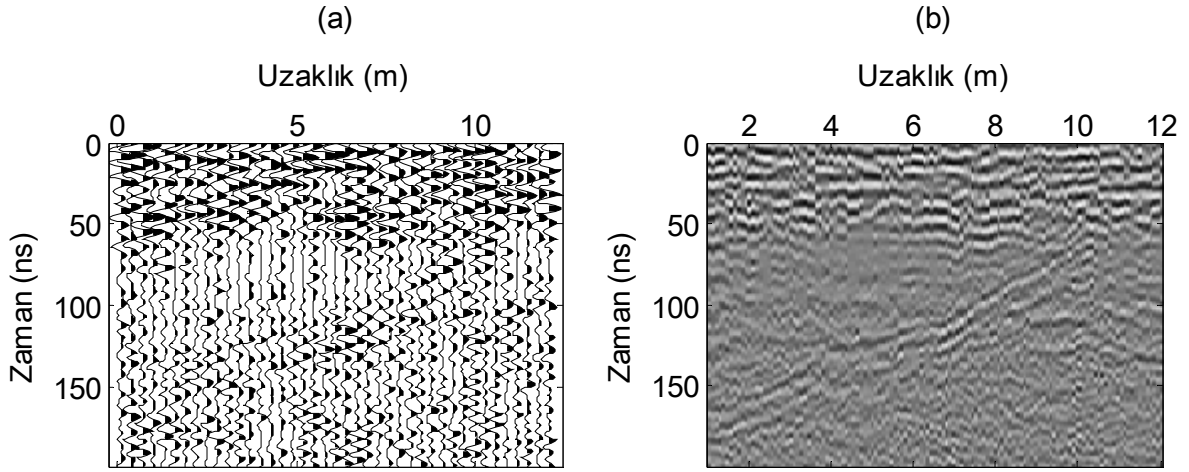
verici antenden çıkan ve doğrudan alıcı antene gelen sinyaldir (D). Diğer bir istenmeyen sinyal ise verici antenden çıkıp yeryüzünün altından kırılarak alıcı antene ulaşan sinyaldir (K). Doğrudan gelen sinyal ile yerden yansıyan sinyal arasındaki fark, antenler arasındaki uzaklık, antenlerin yerden olan yükseklikleri gibi birçok parametreyi içinde barındıran bir işleve bağlı olmaktadır.

Şekil 2'deki nesneden yayılan dalgayı göz önüne alalım, eğer bir verici antenin düğmesi açılıp aniden bir dürtü gönderilirse, alıcı antende iki tepki kayıt edilecektir. İlk tepki havadan doğrudan gelen dalga olacaktır. Çünkü elektromanyetik dalganın havadaki hızı diğer malzemelere göre daha büyüktür. Kaydedilen ikinci tepki ise, malzeme boyunca yol alan ve ara yüzeyden yansıyan dürtü olacaktır. Bu tepkinin yol alma hızı malzemenin permitivitesi (ϵ) yardımıyla belirlenebilir.

Giriş dalgası havada yol alan doğrudan dalgaları içerirken, çıkış dürtüsü gömülü nesneden yansıyan dalgaları içermektedir. Alıcı anten tarafından bir zaman dönemi içinde kayıt edilen her iki tepkide "iz" olarak adlandırılır. İz, tek bir dürtünün verici antenden çıkıp alıcı antene gidene kadar geçen zamanın bir tarihçesi gibi düşünülebilir. Aynı zamanda tüm farklı yolculuk yollarını da içermektedir. İz, tüm zaman ortamlı yer radarı aramaları için temel ölçüdür. Tarama, genlik değerlerine bir renk ölçeği uygulanmış bir izdir. Gidiş-dönüş (veya iki yol) seyahat zamanı, derin nesnelere için, sığ nesnelere için olandan daha büyüktür. Sonuçta, yeraltındaki dalganın hızı biliniyorsa, her izde kayıt edilen yansıma dalgalarının varış zamanları, gömülü nesnenin derinliğinin belirlenebilmesi için kullanılabilir. Bir izin bileşenleri Şekil 3'de verilmektedir. Aynı şekilde izlerin yan yan çizilmesiyle oluşan görüntü salınımlı (wiggles) kesit Şekil 4 (a)'da ve gri renk yoğunluğu kesiti Şekil 4 (b)'de gösterilmiştir. Literatürde salınımlı kesit çiziminde pozitif kısımları boyanır. Böylelikle kesitteki olaylar daha net gözükür.



Şekil 3. Yer radarı ölçümlerinde bir doğrultu üzerinde bir noktada kayıt edilen tek izin genlik düzeltmesi uygulandıktan sonraki olayların gösterimi



Şekil 4. Yüzey boyunca antenleri çekerek alınan her bir noktadaki izlerin yan yana dizilmesiyle elde edilen yer radarı kesiti (radargram), (a) salınlı görüntü kesiti, (b) gri renk yoğunluğunda görüntü kesiti

Dalga cephesinin bir parçası, permittivitesi çevreden farklı bir nesneyle karşılaşır, saçılma denilen bir olay gerçekleşir ve dalga doğrultusunu değiştirir. Ana malzemeyle nesne arasındaki yüzeyde gerçekleşen saçılmanın dört ana türü vardır. Bunlar,

- Yansıma (reflection scattering)
- Kırılma (refraction scattering)
- Kırınım (diffraction scattering)
- Çınlama (resonant scattering)

şeklinde tanımlanmaktadır.

Yansıma, sismik yansıma tekniklerinde yaygın bir modeldir. Eğer aynı anten, sinyal verici ve sinyal alıcı olarak kullanılıyorsa, bu anten düzeneklerine tek durağan (monostatic) düzenekler denir. Alıcı ve verici antenlerinin ayrılma olasılığı varsa bu düzeneklere

çift durağan (bistatic) anten düzenlemesi denir. Eğer çift durağan yer radarı düzeninde, alıcı verici antenleri birbirine yakın yerleştirilmişse, kayıt edilen enerji sıkça geri yansıyan enerjidir. Yansıma, yansıma yasasına dayanmaktadır. Öyle ki, Şekil 5 (a)'daki gibi yansıma açısı geliş açısına eşit olmaktadır ($\phi_1 = \phi_2$). Bu kural Snell yasası olarak bilinir. Snell yasası aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} \quad (1)$$

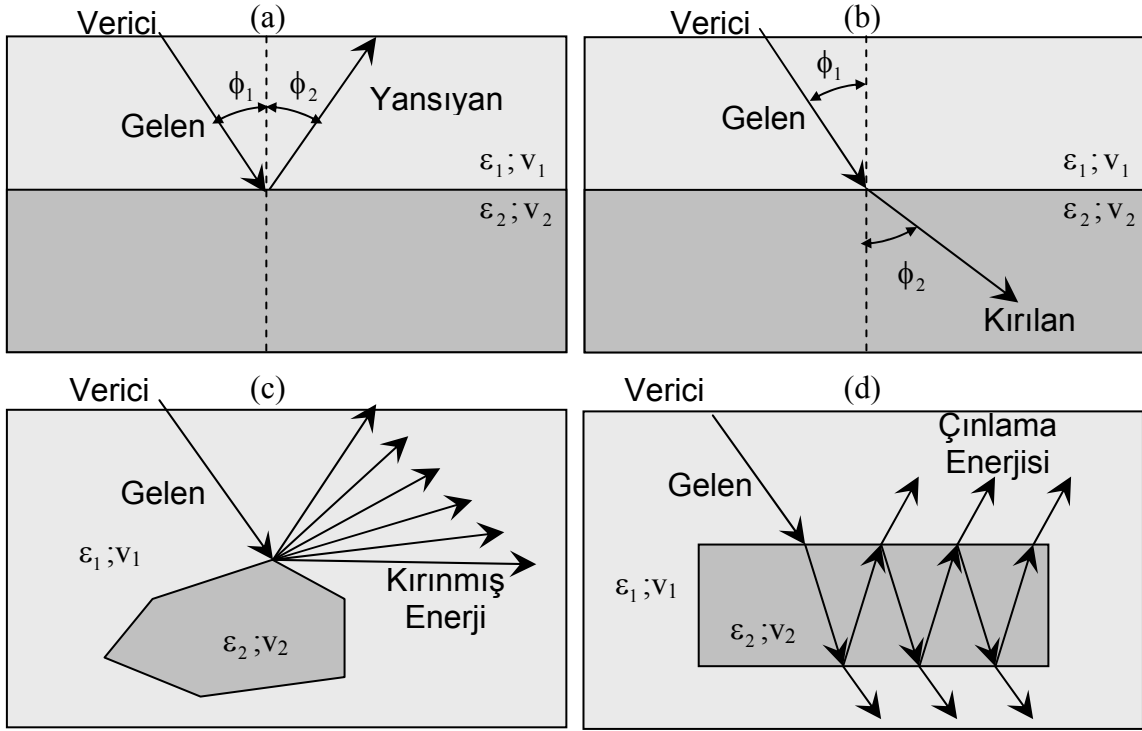
Burada v_1 ve v_2 sırasıyla üst ve alt malzeme boyunca dalğanın yayılma hızlarıdır. ϕ_1 ve ϕ_2 ise sırasıyla geliş açısı ve yansıma açısıdır.

Bir dalga arayüzeye çarptığında, ara yüzeyin şekline ve aynı zamanda nesne ile çevre malzemenin elektrik özelliğinin değişimine bağlı olarak enerji yansıması gerçekleşir. Enerjinin bir kısmı geri çevre malzeme içine saçılırken, enerjinin diğer kısmı nesnenin içine doğru yol alır. Nesne içine yayılan bir kısım dalgaya kırılma denir (Şekil 5(b)). Nesnenin içine giren dalğanın açısı, Snell yasasıyla belirlenir.

Eğer ara yüzey düzgün ve sürekli ise (örneğin tabaka sınırı) ve alt sınırdaki (örneğin, nesne veya alt tabaka) dalğanın hızı çevre malzemenin veya üst tabakanın hızından büyükse, nesne içindeki dalga ara yüzey boyunca nesnenin hızına eşit bir hızla yol alır. Bu olay gerçekleştiğinde dalğanın geliş açısına kritik açı denir ve aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir:

$$\frac{\sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1}} = \frac{v_1}{v_2} = \sin \phi_1 \quad (2)$$

Alıcının kırılma dalgasını alması için vericiden en az kritik uzaklıkta olması gerekir. Yer radarında kırılma dalgaları, sismiktekinin aksine pek seyrek karşılaşılan bir olaydır. Çünkü elektromanyetik dalga hızı derinlikle azalım gösterir. Kısmi olarak doymuş ve sağlam olmayan bir malzemede sismik ve elektromanyetik dalga hızlarını öncelikle malzemenin su içeriği etkiler.



Şekil 5. Dalga iletim düzenekleri (a) yansıma (b) kırılma (c) kırınım, (d) çınlama

Kırınım, elektromanyetik dalganın dağılarak saçılmasıdır (Şekil 5(c)). Kırınım, bir dalganın keskin yüzeylere, köşelere çarpmasıyla oluşur. Küresel yayılımın Huygen's İlkesini göre çalışır. Kırınmış enerjinin doğası, sınırın keskin ucuna ve gelen dalganın boyu ile nesne arasındaki ilişkiye bağlıdır. Kırınım, yer radarında yaygın bir şekilde görülmektedir. Aynen yarı uyumlu enerji dokusu gibi bir noktadan farklı doğrultulara doğru yayılır veya bir doğru boyunca ilerler. Jeolojik olarak, kırınım düşey fay etrafında veya jeolojik tabaka süreksizliğinde sıkça gözlenen bir olaydır.

Çınlama, bir dalganın kapalı bir nesne (örneğin silindir) içinde tekrarlanmasıyla oluşur (Şekil 5(d)). Bu etkilenme bir dalganın nesnenin farklı sınır noktaları arasında ileri geri gidip gelmesiyle oluşur. Nesne içindeki dalga her zaman bir sınıra çarpar ve enerjinin bir kısmı ana malzemeye doğru kırılarak iletilirken, diğer kısmı nesnenin içine geri yansır. Bu durum elektromanyetik enerjinin nesne içinde tekrarlanmasına neden olur. Çınlama enerjisi nesnenin içinde kapana sıkışır ve hemen hızla geri yayılarak enerjisinin bir kısmını nesnenin dışına doğru yayar. Nesnenin çınlama frekansı, nesnenin boyutlarına, nesnenin ve çevre malzemenin elektriksel özelliklerine bağlıdır. Yinede, bir nesnede çınlama olabilmesi, dalga boyuyla (nesnenin hızının, dalganın frekansına bölümü) nesnenin boyuna

bağlıdır. Bir nesnenin çınlmasının zamansal uzunluğu, nesne ile çevre malzeme arasındaki permittivite değişimiyle belirlenir [7].

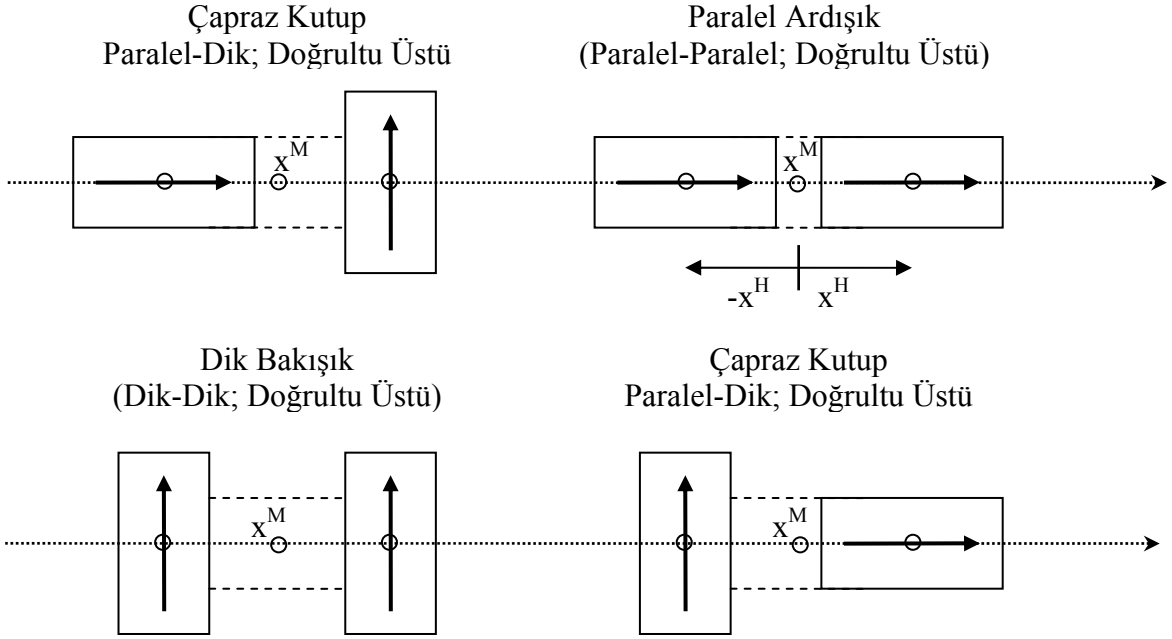
1.3. Yer Radarı Verilerinin Toplanması

Uygulamada, yer radarı ölçümleri, yüzey boyunca ayrıık noktalarda veya yeryüzünde antenleri sürekli taşıyarak yapılabilir. Bu iki tür ölçüm düzeneklerinden birincisi sabit ölçüm türü, antenlerin birbirinden bağımsız şekilde hareket etmesiyle, farklı noktalarda ve ayrıık ölçüm alması için kurulan düzeneğdir. Kayan ölçüm türü ise, alıcı ve verici antenler sabit bir aralıkla yüzey boyunca elle veya bir araçla çekilerek yapılan ölçümlerdir. Sabit düzeneğinin üstünlüğü istenilen uzaklıkta ve istenilen türde veri toplanmasıyken, kayan düzeneğinin üstünlüğü ise hızlı veri toplanmasıdır. Uygulamada, sabit ölçüm türü ile kayan ölçüm türü birleşik şekilde kullanılarak hem istenilen şekilde veri toplanırken hemde zamandan kazanım sağlanmış olunur. Sabit düzende ölçüm yaparak, kayan düzende en iyi uzaklık ve anten dizilimi belirlenebilir [7].

Yeraltının bilgisini elde etmede farklı veri toplama düzenekleri kullanılır. İlk olarak, farklı dizilmiş kaynak alıcılar, sonra ortak açılım (COG) ölçümleri ve ortak orta nokta ölçümleri incelenecektir.

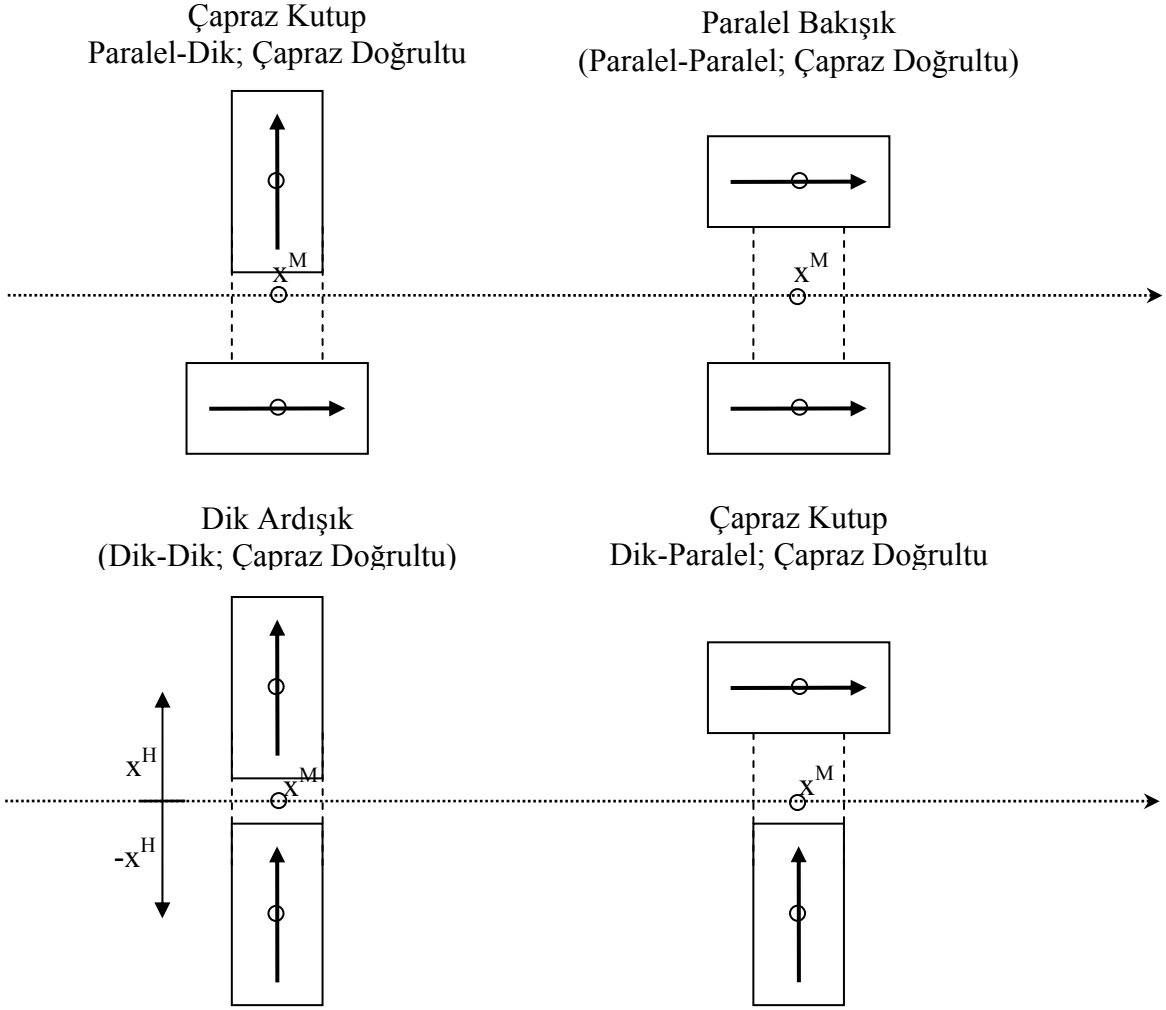
1.3.1. Kaynak ve Alıcı Antenlerinin Dizilimi

Bilindiği gibi, kaynak ve alıcılar sadece yatay doğrultuda dizilirler. Doğrultu üstü dizilimlerde kaynak ve alıcı antenlerinin her ikisi de arama doğrultusu üzerinde bulunur ve kaynak ve alıcı arasındaki açılım ise arama doğrultusuna paralel durumdadır. Çapraz doğrultuda ise, kaynak ve alıcının her ikisi de arama doğrultusu üzerinde değildir. Kaynak ve alıcı arasındaki açılım ise arama doğrultusuna dik durumdadır. Kaynak ve Alıcı dizilimlerinde iç ve çapraz doğrultunun tüm olası dizilimleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Bu şekillerde arama doğrultusu noktalı çizgiyle verilmiştir.



Şekil 6. Kaynak ve alıcı antenlerinin olası doğrultu üstü (in line) dizilimleri

Kaynak ve alıcı dizilimlerini göstermek için iki farklı deyim kullanılabilir. İki antenin dizilimini göstermek için bir seçenek ardışık ve bakışık deyimlerinin kullanılmasıdır. Ayrıca bunlara ön ek olarak dik ve paralel deyimleri kullanılır. Böylece açılımın arama doğrultusuna dik ve paralel olduğu gösterilir. Antenler birbirine paralel dizilmiş, fakat antenler arasında açılma dik olduğunda bu dizilime bakışık dizilim denir. Antenler birbirine paralel dizilmiş ve aynı zamanda antenler arasında açılıma da paralel ise, bu dizilime ardışık dizilim denir. Antenler birbirine dik dizildiğinde, bu dizilime çapraz kutup dizilimi denir. Şekil 6 ve Şekil 7'de iki farklı çapraz kutuplaşma görülmektedir. Bu iki çapraz kutup dizilimi arasındaki farkı belirtmek için ikinci deyim kullanılır. Bu ikinci deyim, kaynak ve alıcı kutuplaşma düzeneği ile arama doğrultusu arasındaki ilişkiyi verecektir. Önce kaynak dizilimi, sonra alıcı diziliminin arama doğrultusuyla ilişkisi (dik veya paralel) ve ardından kaynak ve alıcı arasındaki açılımın türü verilir. Burada açılım ($2x^H$) ölçüm doğrultusuna paralel veya dik olduğunda dizilim sırasıyla doğrultu üstü veya çapraz doğrultu şeklinde ifade edilir [8].



Şekil 7. Kaynak ve alıcı antenlerinin olası çapraz dizilimleri

1.3.2. Ortak-Açılım Ölçümleri

Yeraltındaki nesnelere bulmak veya yeraltındaki süreksizlikleri belirlemek için, genelde ortak-açılım ölçü düzeneği yardımıyla yer radarı ölçümleri kullanılır. Burada kaynak ve alıcı antenleri ($2x^H$) uzaklığında sabit bir aralıkla ayrılmıştır. Ölçümler, sistemin bir doğrultu boyunca sabit bir aralıkla kaydırılmasıyla yarı sürekli bir şekilde alınır ve aynı işlem tekrarlanarak doğrultu boyunca ölçüm alınır. Bu yöntem hızlı olması dolayısıyla ucuzdur. Fakat bu yöntemin temel eksikliği, ölçümlerde elde edilecek veriden yeraltındaki dalga hızı bilgisinin belirlenmesindeki zorluktur. Yinede, yeraltında bir nesne olduğunda veride bir saçılma hiperbolu oluşmaktadır. Bu hiperboldan yeraltındaki dalga hızı kestirilebilir [8].

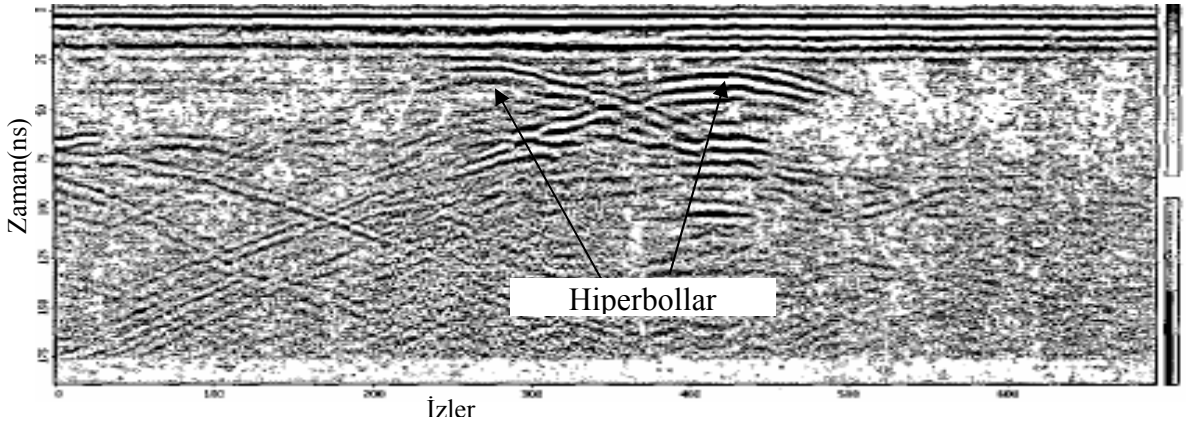
1.3.3. Ortak-Orta Nokta Ölçümleri

Ortak orta nokta (CMP) ölçümleriyle elektromanyetik dalgaların hızları bulunabilir. Bu ölçü düzeneğinde, kaynak ve alıcı arasındaki açılım (Δx^H) sabit orta noktaya göre (x^M) artarak gitmektedir. Böylelikle açılımdan yararlanılarak hız bilgisi elde edilebilir. Buradaki varsayım, yeraltını düz tabakalardan oluşmuş olması ve yeraltına giden elektromanyetik dalganın alıcı-verici ortak derinlik noktasından yansıdığıdır [8].

1.4. Yer Radarı Verilerinin Yorumlanması

İşlenmemiş yer radarı kesitleri hiçbir zaman yeraltının iki boyutlu jeolojik kesitlerine karşılık gelmez. Hatta yeraltı çok karmaşık bir jeolojik yapı içeriyorsa, bu durumda ham veriler ek veri işlem adımları veya iyi bir yorumlama aşaması gerektirir. Yorum yaparken, yer radarı kesitlerinin deneyimli bir ekip tarafından uzun bir süreçten geçirilmesine her zaman gereksinim duyulmaktadır.

Yer radarı kesitlerinde en çok görülen tipik şekil hiperbollar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu hiperbolik yapılar yeraltında bulunan boruları veya gömülü nesnelere gösterebilmektedir. Çünkü bu nesnelere gerçek konumları etrafında bulunan ortamdan antenlerin koni yayılımı içine girmektedir. Şekil 8'de hiperbolik yansımalar görülmektedir. Yer radarı kesitlerinde var olan bu şekiller ortam özelliklerinin tespitinde önemli bilgiler sağlayabilir [22].

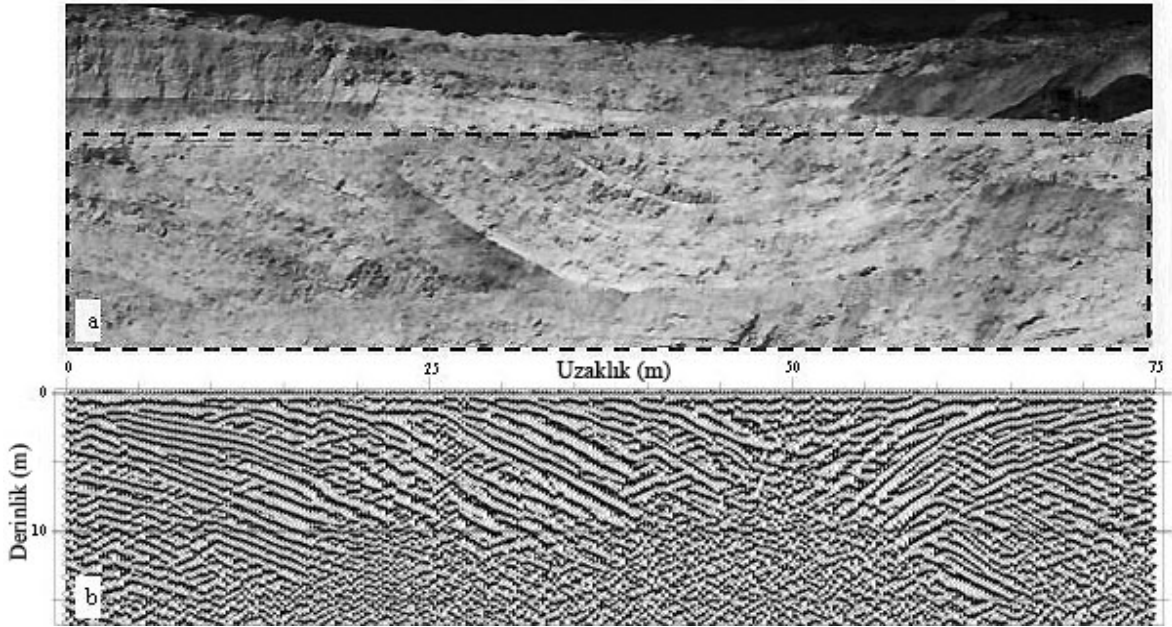


Şekil 8. Yer radarı kesitinde hiperbol şeklinde boru yansımaları [22]

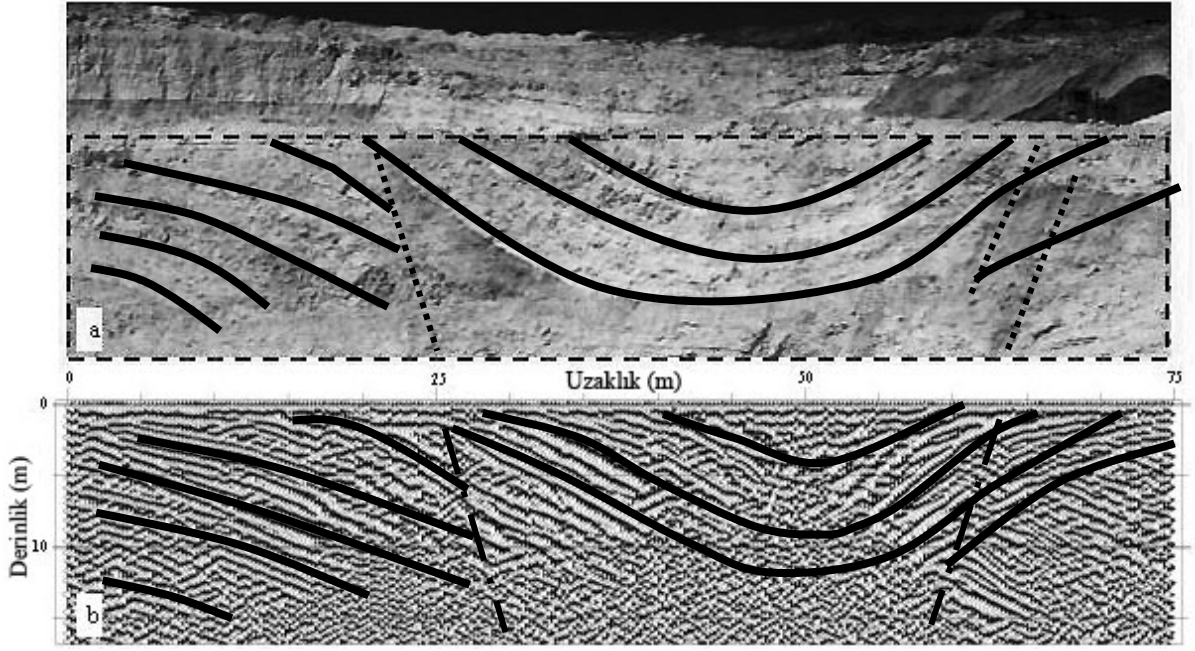
Bir doğrultu boyunca alınan yer radarı görüntüsünün, yeraltını doğrultu boyunca kesitini ortaya koyduğu varsayılmaktadır. Amaca uygun olarak veri toplama ve veri işleme aşamalarında bu varsayım birçok yönden oldukça yararlı kolaylıklar sağlamaktadır. Yinede

normal durumlarda, yer radarı verileri yerin tam olarak kesitini vermemektedir. Bunun ana nedeni dalga yayılımının doğası ve EM dalgalarının yer içinde ve dışında etkileşimde olmasıdır. Ayrıca yansımaya arayüzeyleri ve gömülü nesnelerin etkilerini de sayabiliriz. İyi bir yer radarı yorumu için jeolojik ve çevre koşullarının iyi kestirilmesi gerekir [51].

Yorumlamaya bir örnek olarak Nesher Ramle taşocağından alınmış jeolojik kesit ile onun yer radarı kesiti verilmiştir (Şekil 9) [51]. Aynı şeklin Şekil 10(a)'da stratigrafi, yapısal birimler ve faylar gösterilmektedir. Şekil 10(b)'de ise bu öğelerin yer radarı kesitindeki yorumları verilmiştir. Buna göre jeolojik kesiti görülen bir yapının yer radarı kesitinde de aynı yapısal özelliklere rastlamak yer radarının başarısını ortaya koymaktadır.



Şekil 9. Gerçek sığ yeraltı ile yer radarı görüntüsünün karşılaştırılması, bu görüntü Nesher Ramle taşocağından alınmıştır. Yatay ölçek uzaklığı gösterirken, düşey ölçek yansıtıcıların derinliğini göstermektedir. (a) taşocağındaki kireçtaşı tabakalarından oluşan karmaşık yapıdan bir görüntü. Kesikli çizgi içinde kalan alan yer radarı tarafından görüntülendi, (b) yer radarı görüntüsü dolu salınlı çizimle gösterilmektedir [51]



Şekil 10. Yer radarı görüntüsünün yorumlanması, (a) gözükten stratigrafik birimlerin yorumlanması, Neshher Ramle taşocağının görüntüsündeki yapıların ve fayların gösterimi, (b) yer radarı kesitinde bu öğelerin yorumlanması

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Sismik veri işlem teknikleri, akustik ve elektromanyetik arama yöntemleri arasındaki benzerliklerden dolayı, yer radarı verilerine de uygulanmaktadır. Sismik teknikler, petrol ve gaz aramalarında ses dalgaları yardımıyla, yeraltının (10–5000m) araştırılması için kullanılmaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sinyal görüntülerinden yeraltının yapısını kestirmek güç olmaktadır. Bu durumda elde edilen ham verilere veri işlem teknikleri uygulanarak sinyal görüntüsünü yeraltı görüntüsüne benzetmeye çalışmak veya yeraltının yapısını daha iyi kestirmek için görüntüye iyileştirme yapmak gerekmektedir.

Sismik ile yer radarı arasındaki en önemli farklılık, yöneysel karakterli elektromanyetik dalgalar ile skaler akustik dalgalarının birbirleriyle karşılaştırılması ve yerin elektromanyetik sönüm özelliği ile kullanılan frekans bandındaki akustik özelliklerdir.

Diğer bir farklılık ise veri toplama düzeneklerinde görülmektedir. Yer radarı ölçümleri, genellikle daha önce belirtildiği gibi ortak açılım olarak ifade edilen sabit açılımlı, bir kaynak ile bir alıcı düzeneği gezdirilerek yapılır. Diğer yandan, sismik ölçümde ise genelde bir kaynak için bir grup alıcı kullanılmaktadır. Dolayısıyla buna da “Çoklu-Açılım” ölçümü denir. Bu farklılıklardan dolayı, sismik veri işlem tekniklerinin bazı durumlarda yer radarı verileri için yetersiz kaldığı söylenebilir. Bu durumda var olan tekniklerin yer radarı verilerine uyarlanarak uygulanması gerekir.

Bu çalışmada, sismik veri işleminde uygulanan teknikler yer radarı kesitlerine uygulanmış, eksik görülen durumlarda bazı teknikler değiştirilmiş ve geliştirilmiştir. Çoğu veri işlem adımları bir yazılım paketi haline getirilmiştir.

2.2. Veri İşlem Yazılım Paketi (SAMBAT)

1930’lu yıllarda başlayan sismik ölçümlerin istenen sonuçları üretmekte yetersiz kaldığı görülmekteydi. 1950’lere gelindiğinde manyetik kayıt olanaklarının ortaya çıkmasıyla birlikte veriler manyetik teyplere kayıt edilmeye başlandı. Aynı yıllarda CDP tekniğinin geliştirilmesiyle sismik veri toplama farklı bir boyut kazanmıştır. 1960’larda

sismik verileri iyileştirmek amacıyla, sayısal verileri işleyebilecek bilgisayar programları geliştirilmeye başlandı.

Veri işlem, jeofizik biliminde bilgisayarların gelişmesiyle birlikte önemli bir yer tutmuştur. Belki de jeofiziği jeolojiden ayıran en önemli farklılık nitel değerlerden çok nicel değerlerin ön plana çıkmasıydı. Dolayısıyla daha fazla nicel bilgi daha fazla veri depolama ve daha fazla veri işlem aşaması gerektirmektedir. Aynı zamanda bilgisayarların yardımıyla nicel değerlerin işlenmesinde umulmayacak hızlara ulaşılmakta ve ekonomik tasarruflar sağlanmaktadır.

Yer radarı her ne kadar elektromanyetik dalgaları kullansa da, sonuç itibariyle verilerin toplanmasında ve işlenmesinde sismik veri işlemle büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bu ifadeye dayanarak yapılan veri işlem yazılımları ile hem yer radarı, hem de sismik veriler rahatlıkla işlenebilmektedir. Şimdiye kadar yapılan büyük sismik veri işlem yazılım paketleri genelde Unix tabanlı bir bilgisayar üzerine kurulmaktaydı. Günümüzde Windows tabanlı veri işlem paketleri de üretilmeye başlandı. Özellikle Unix tabanlı bir sistemin tercih edilmesinin nedenleri olarak, bilgisayarların ilk gelişmesinde Unix tabanlı işletim sistemlerinin diğer işletim sistemlerine göre daha fazla veri güvenliği ve arka planda veri işleme imkânı, birçok kullanıcı sistemleri desteklemesi gibi özellikleri sayabiliriz. Ayrıca yetersiz bellek olanakları nedeniyle verilerin bellekte değil de sabit diskten okutularak işlenmesi temeline dayanmaktaydı. Bu ise veri işlem aşamasının uzamasına ve sabit disklerin ömrünün azaltılmasını sağlamaktaydı. Yapılan düzenlemeyle bu sistemlerde verilerin hem işlenmesini hem de veri karmaşasının önlenmesi için her veri dosyasındaki her izin başına başlık kısmı konulmuştur. Ayrıca verilerin bu sistemlerde daha az yer kaplaması sabit diskten okunurken farklı programlama dilleri arasındaki uyumsuzluktan dolayı diskten veri dosyası okuma hatalarını önlemek için veriler ASCII değil de BINARY kipinde kayıt edilmektedir.

Yer radarı yönteminin en önemli zorluklarından birisi ölçülen verilerden yeraltının görüntüsünün doğru anlaşılabilmesidir. Çünkü kayıt geometrisi, yer içinin radar sinyallerine etkileri, çevresel gürültüler ve etki derinliği gibi pek çok olay ham veriden yeraltı yapısının görüntülenmesine engel teşkil etmektedir. Bu nedenle kayıt edilen ham verilerin uzun ve etkili bir veri işlem aşamasından geçirilmesi zorunludur. Uygulamada bu işlem için alet üretici firmaların hazırlanmış olduğu bazı yazılım paketleri bulunmaktadır. Veri işlem; verinin özelliklerine ve kullanıcının veriden isteklerine bağlı olarak değişen uygulama adımlarını içerir.

Bu çalışmada, yer radarı verilerinin işlenmesini sağlayacak bir yazılım paketi hazırlanmış ve tezde verilen tüm kesitler bu paket yardımıyla elde edilmiştir. Yazılımın en büyük yararı sismikte denenen fakat yer radarında henüz denenmemiş uygulamaları içermesi, özel ilave uygulama programlarının yer alması ve kullanıcı ile etkileşimli olmasıdır.

Hazırlanan bu yazılım paketinin örnek aldığı eğitim amaçlı olarak Stanford Üniversitesi tarafından geliştirilmiş SEP ve ardından Colorado School of Mines'da geliştirilmiş CWP/SU gibi programların Unix/Linux tabanlı olduklarından, ülkemiz genelinde yaygın bir kullanım olanağı bulması zor gözükmetedir. Dolayısıyla platform bağımsız veya daha çok Windows tabanlı bir sistemde çalışabilen ve Unix kabuk benzeri bir betik sistemini destekleyen bir yazılıma gereksinim duymaktadır. Bu özellikleri sağlayacak sistem, Windows veya Unix türevlerinde çalışabilen MATLAB programı gösterilebilir. MATLAB değişik platformlarda çalışabilen dizey tabanlı bir programdır. Bu programın en önemli üstünlüğü dizeysel hesaplamada göstermiş olduğu başarımlar, değişik bilim dallarına dayalı geniş işlev kütüphaneleri (toolbox), hem komut satırında çalışması hem de betik yazmaya olanak sağlamasıdır. Ek olarak, önemli özellikleri her türlü grafik çizim işlevi ve veri yönetim araçları sayılabilir. Bu gerekçeler doğrultusunda, Sambat (Sismik Araştırma Merkezi ve Bilimsel Arama Topluluğu) isimli yazılımının geliştirilmesine çalışılmıştır. Bu yazılımda, sismik ve yer radarı veri işlem aşamalarını içeren bir işlev kütüphanesi (toolbox) oluşturulmuştur.

Bu yazılımın MATLAB yazılım paketi ile bütünleşik bir şekilde çalışması ve C, C++, FORTRAN ve Java gibi değişik programlama dilleriyle de geliştirilmesine olanak sağlanması şeklinde tasarlanmıştır. Programın veri işlem sırasında uluslararası bir veri biçim standardı olan SEG-Y formatı kullanılmıştır ve SEG2, SEG-Y, Ramac, PulseEKKO gibi veri biçimindeki verileri okuyup SEG-Y'ya çeviren işlevleri de mevcuttur.

Bu paket C, C++ dilinde yazılmış olup MATLAB işlev kütüphanelerini kullanarak, MATLAB 'den değişken alıp MATLAB'e değişken göndererek bir MATLAB işlevi gibi davranmaktadır. Ayrıca MATLAB kütüphanelerinin sahip olduğu dizeysel hesaplamadaki başarımlarından yararlanılarak işlemlerin hızı oldukça artırılmıştır.

Bu yazılımı diğer yazılımlardan ayıran önemli bir özelliği verileri sabit diskte değil bellekte işlemesidir. Ayrıca kullanıcı veriyi dizey haline getirip istediği işlemi kendi hazırladığı program parçacıkları ile işleyebilir. Bu sistem MATLAB yüklü herhangi bir bilgisayarda çalışabilecek ve MATLAB betikleri ile birçok işlem tek adımda otomatik

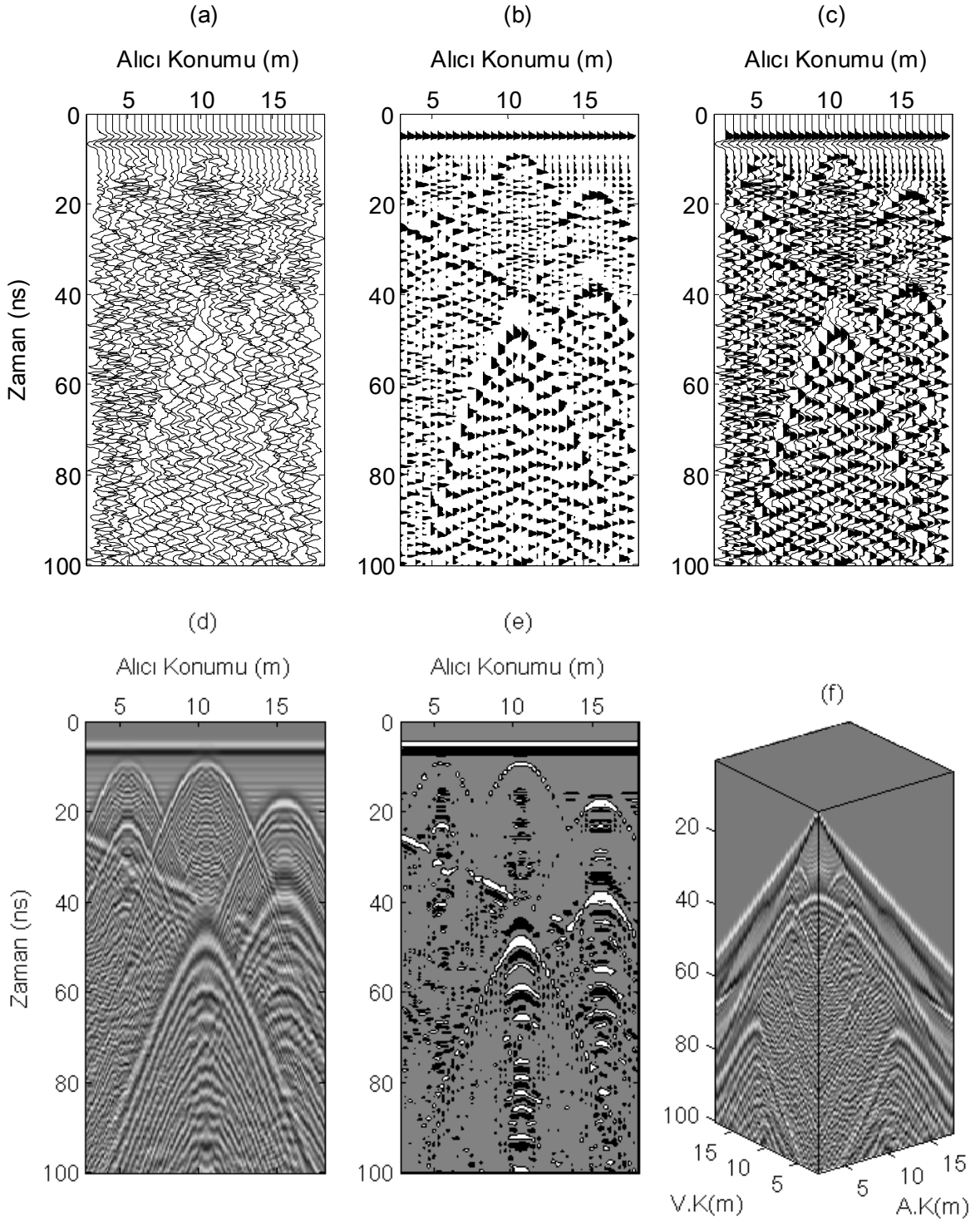
olarak yapılabilecektir. Bu da kullanıcılara bu yazılımı gerek kendi bilgisayarlarında ve gerekse bilgisayar laboratuvarında çok amaçlı kullanabilme olanağı sağlayacaktır.

Bu paket aşağıdaki gruplardaki yazılımları içermektedir.

- Sabit diskten değişik veri biçimlerinde veri okuma ve yazma (SEGY, SEG2, OYO, RAMAC, pulseEKKO...)
- Değişik şekillerde kesit çizmek (variable area, wiggle, image, contour ...), Şekil 11'de program paketi ile çizilmiş bazı örnek kesitler görülmektedir.
- Veri düzenleme (döndürme, düzenleme, sıfırlama, yok etme, T^2-X^2 , Zaman Eksenini düzenlemesi, ...), sıralama (sort), atma (muting)
- Kazanç (AGC, PGC, ...), NMO, LMO, yığma, diğer standart işlemler
- Süzgeçler (Frekans, Ters Evirilişim, Özel), Dönüşümler (TX-FX-TK-FK, Hilbert, Tau-p, Radon, Radial Trace, ...) ve Öznitelikler (Anlık Genlik, Anlık Faz, Anlık Frekans)
- Sismik göç (Faz Kayması, FK, Sonlu Farklar, ...) ve DMO
- Benzetim (Sonlu farklar yöntemiyle akustik dalga benzetimi, sonlu farklar yöntemi ile elastik dalga benzetimi, sıfır açılım yapay iz, EM dalga benzetimi, Talwani ile iki boyutlu yerçekimi benzetimi, sonlu elemanlar ile iki boyutlu yerçekimi benzetimi, ...)
- Diğer yardımcı işlevler (SEGY yapısı üzerinde her türlü basit işlemler - (toplama, çıkarma, çarpma, bölme), iki farklı veri arasında işlemler)

Bu programda verileri bellekte SEG2 veri yapısında tutmaktadır. Dolayısıyla ileri veri işlem aşamalarında CDP ailesi verilerinin işlenmesinde veri yönetimi açısından kolaylık sağlanmaktadır. Ayrıca verilerin karmaşık (complex) ve/veya gerçel değerleri aynı değişkenlerde tutularak işlenebilmesi de diğer bir üstünlük nedeni sayılabilir. Veri işlenirken işlevlerin karmaşık veya gerçel ayrımı yapmaksızın işlevlere gönderilmesi verilerin işlenmesinde kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Yazılan bir işleve, gönderilen değişkenin türüne göre özel bir işlem yapılmasına gerek kalmamaktadır.

Bu yazılım CWP/SU sistemindeki rutin isimleri ile parametre isimlerinin çoğunu temel aldığı için CWP/SU yazılımını kullananların bu yazılımda zorluk çekmeyeceği düşünülmektedir. Ayrıca tersi de geçerlidir. Fakat bazı fonksiyonlar kullanılan ortama ve işlenen veriye göre farklı biçimler almaktadır.



Şekil 11. Çizim örnekleri, (a) salınlı çizim, (b) çizgisiz dolu çizim (c) dolu salınlı çizim (d) renk yoğunluğuna göre gösterim (e) dolu eş yükselti çizimi (f) küpsel çizim (V.K: Verici Konumu; A.K: Alıcı Konumu)

Yazılım MATLAB ortamında kullanıldığında, kullanıcının zorluk çekmemesi amacıyla her işlev için yardımcı bir belge hazırlanmıştır. Bu yardım belgesine MATLAB ortamında ulaşmak için aşağıdaki komut yazılabilir,

```
help işlev_adi
```

veya

```
helpwin işlev_adi
```

Burada işlev adı yazılan her işlev hakkında, nasıl kullanıldığı, hangi değişkenleri aldığı ve değişkenlerin anlamları gibi değişik bilgiler verilmiştir. Ayrıca tüm SAMBAT işlevlerinin görüntülenmesi için,

```
help sambat
```

veya

```
helpwin sambat
```

yazmak yeterli olacaktır. Bu komutlar kullanıldıktan sonra ekranda görülen işlev yardım belgelerinin bazıları Ek 2'de verilmiştir.

2.3. Yapay Yer Radarı Kesitlerinin Hesaplanması

2.3.1. Zaman Ortamlı Sonlu Farklar Yöntemi

Zaman ortamlı sonlu farklar yöntemi (FDTD) elektromanyetik'te oldukça fazla kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntemin esası 1920'lerde A. Thom tarafından geliştirilen Sonlu Farklar Yöntemi'dir (FDM) [25]. FDM, fark denklemlerini kullanarak diferansiyel denklemleri yaklaşık olarak çözen bir yöntemdir. FDM yöntemi ilk olarak 1966'da Kane Yee [26] tarafından, zaman ortamında diferansiyel denklem biçimindeki Maxwell denklemlerini çözmek için kullanıldı. Bu yöntem birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir [27–34]. FDTD tekdüze olmayan yeraltının benzetimi için en iyi yöntemlerden birisidir. Çünkü bu yöntem uzaysal çözümler için tekdüze olmayan ortamlara daha uyumlu olmaktadır. Sonuçta, bu yöntem yer radarı uygulamaları ile ilgili saçılma problemlerinin çözümünde çok sık kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

2.3.2. FDTD Yönteminin Bağlılıkları

Çok iyi bilindiği gibi, Maxwell denklemleri, elektrik ve manyetik alanlar ve bunların kaynakları olan akım ve şarj arasındaki ilişkiyi ifade eden en temel denklemlerdir.

Serbest bir kaynak ele alındığında, yön bağımsız ve manyetik olmayan bir ortamda, Maxwell denklemlerinin diferansiyel biçimi aşağıdaki gibidir:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (4)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0. \quad (6)$$

Burada $\sigma \mathbf{E}$ akım yoğunluğu olarak adlandırılır ve metrekare başına amper olarak ölçülür. μ , ε ve σ sırasıyla ortamın permeabilitesi, permittivitesi ve iletkenliğidir. (3) denkleminde \mathbf{H} 'nin zamana göre kısmi türevinin curl(\mathbf{E}) ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Aynı zamanda da (4) denkleminde \mathbf{E} 'nin zamana göre kısmi türevinin ise curl(\mathbf{H}) ve akım yoğunluğu ile ilişkili olduğu görülmektedir. Bu iki denklemden FDTD denklemleri türetilir.

Denklem (3) ve (4), kartezyen koordinatlarda aşağıdaki altı tane kısmi diferansiyel denklem sistemi gibi ifade edilebilir:

$$\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) \quad (7)$$

$$\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \quad (8)$$

$$\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} = \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) \quad (9)$$

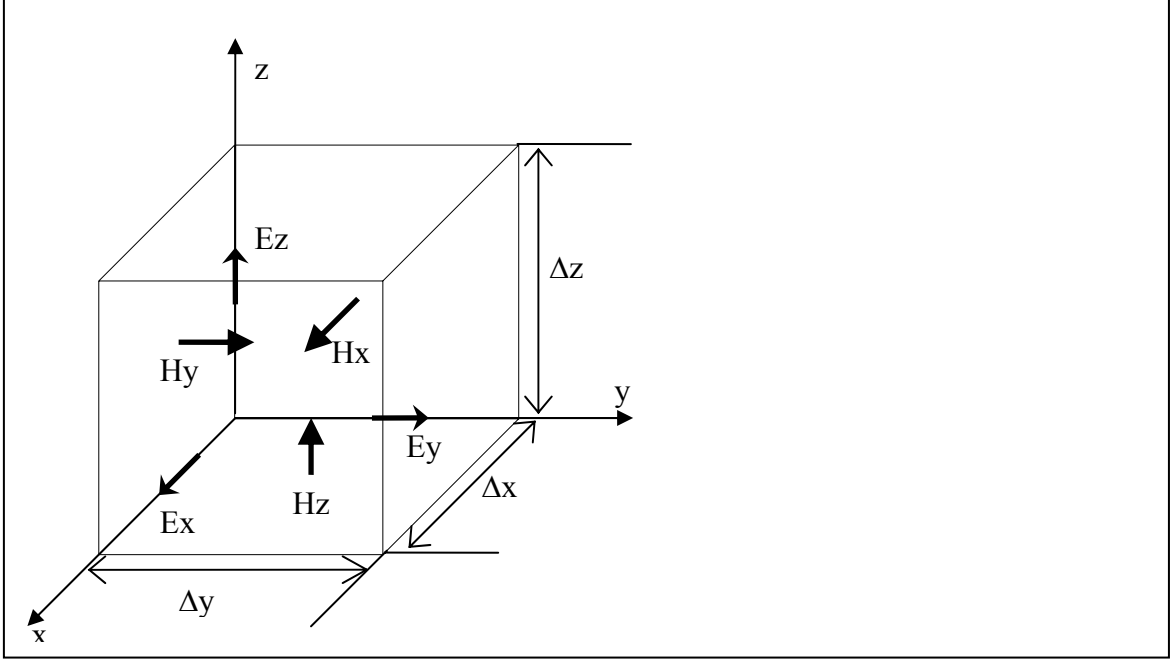
$$-\varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_y}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial y} \right) + \sigma E_x \quad (10)$$

$$-\varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial z} \right) + \sigma E_y \quad (11)$$

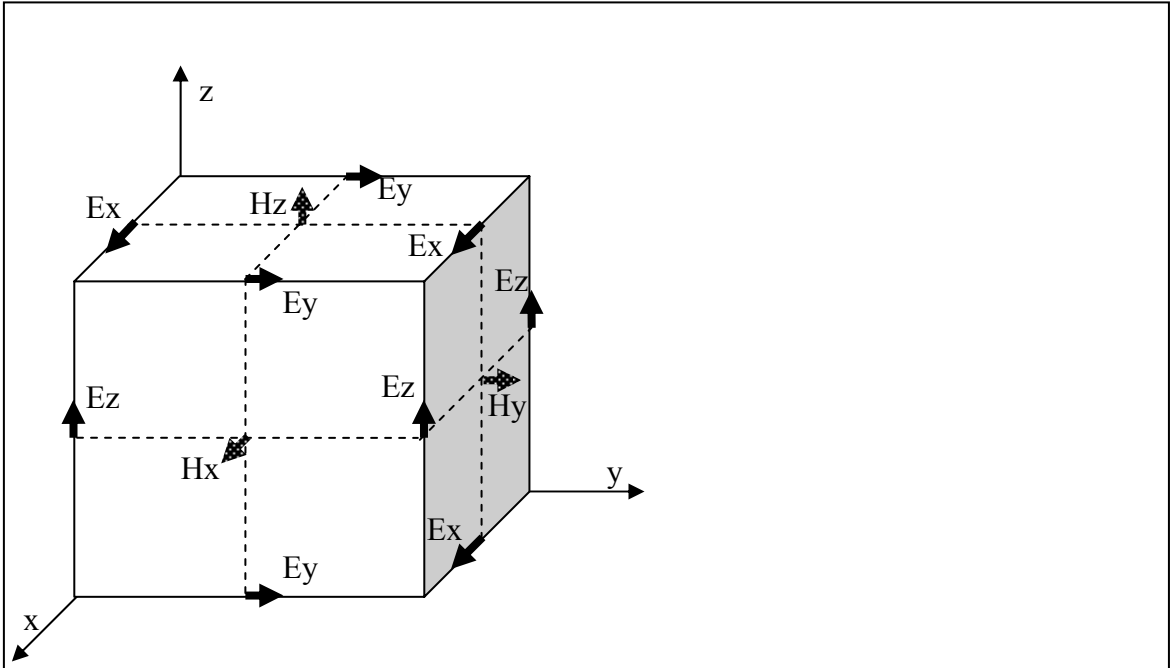
$$-\varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} = \left(\frac{\partial H_x}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial x} \right) + \sigma E_z. \quad (12)$$

Öncelikle FDTD, üç boyutlu bir uzayı dörtgen küplere bölerek başlar. Her hücre x , y ve z eksenleri boyunca (i, j, k) indisleriyle numaralandırılır ve her hücre sırasıyla Δx , Δy ve Δz aralıklarında örneklendirilir. Her hücrenin içerisinde \mathbf{E} ve \mathbf{H} alanlarının olası altı bileşeni mevcut olup bunlar uzaysal ve zamansal değişim olarak değerlendirilir. Şekil 12 ve 13'te Yee kafesi adı verilen küpün içerisinde bu alanların konumları ve yönleri

gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilen, her E bileşeninin etrafında dönen dört tane H bileşeni mevcuttur. Aynı şekilde her H bileşeninin etrafında dönen dört tane E bileşeni mevcuttur. Bu yolla, Maxwell denklemlerinde curl işlemi etkili bir şekilde ifade edilmektedir.



Şekil 12. Yee Kafesi, kartezyen koordinatlarda elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin konumlarını göstermektedir



Şekil 13. Yee Kafesi, birim küp üzerinde elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin konumlarını göstermektedir

E ve H alanlarının altı bileşeni için altı ayrı fark denkleminde oluşan bir sistem, merkezi fark yöntemini kullanarak alanların uzaysal ve zamansal türevlerinin alınmasıyla elde edilebilir. Elektrik alanların zaman aralıkları bir tamsayı çarpanı ile örneklendirilir, $t = n\Delta t$, burada Δt zaman aralığıdır. Manyetik alanların zaman aralıkları ise yarım tamsayı çarpanı ile örneklendirir $t = (n + \frac{1}{2})\Delta t$. $u(i, j, k, n)$ 'nin sabit zamanda $(n\Delta t)$ x göre kısmi uzaysal türevi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial u(i, j, k, n)}{\partial x} = \frac{u^n(i + \frac{1}{2}, j, k) - u^n(i - \frac{1}{2}, j, k)}{\Delta x}. \quad (13)$$

Burada $u(i, j, k, n)$; (i, j, k) uzaysal noktasında ve $n\Delta t$ zamansal noktasında bir alan bileşenidir. y ve z'ye göre türevler ise (13) denklemine benzer şekildedir. $u(i, j, k, n)$ 'nin sabit uzay noktasında (i, j, k) zamana göre kısmi türevi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial u(i, j, k, n)}{\partial t} = \frac{u^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k) - u^{n-\frac{1}{2}}(i, j, k)}{\Delta t}. \quad (14)$$

Sonuç olarak, $\sigma = 0$ olduğu bir ortamda, (7-12) denklemleri (13) ve (14) denklemlerinde verilen sonlu farklar biçiminde aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\begin{aligned} & E_x^n(i + \frac{1}{2}, j, k) - E_x^{n-1}(i + \frac{1}{2}, j, k) \\ &= \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_z^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k) - H_z^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}, k)}{\Delta y} \right] \\ & - \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_y^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2}) - H_y^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j, k - \frac{1}{2})}{\Delta z} \right] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & E_y^n(i, j + \frac{1}{2}, k) - E_y^{n-1}(i, j + \frac{1}{2}, k) \\ &= \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}, k - \frac{1}{2})}{\Delta z} \right] \\ & - \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_z^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k) - H_z^{n-\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k)}{\Delta x} \right] \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
& E_z^n(i, j, k + \frac{1}{2}) - E_z^{n-1}(i, j, k + \frac{1}{2}) \\
&= \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_y^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2}) - H_y^{n-\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2})}{\Delta x} \right] \\
&- \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j - \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2})}{\Delta y} \right]
\end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
& H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}) \\
&= \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_y^n(i, j + \frac{1}{2}, k + 1) - E_y^n(i, j + \frac{1}{2}, k)}{\Delta z} \right] \\
&- \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_z^n(i, j + 1, k + \frac{1}{2}) - E_z^n(i, j, k + \frac{1}{2})}{\Delta y} \right]
\end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned}
& H_y^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2}) - H_y^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2}) \\
&= \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_z^n(i + 1, j, k + \frac{1}{2}) - E_z^n(i, j, k + \frac{1}{2})}{\Delta x} \right] \\
&- \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_x^n(i + \frac{1}{2}, j, k + 1) - E_x^n(i + \frac{1}{2}, j, k)}{\Delta z} \right]
\end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
& H_z^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k) - H_z^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k) \\
&= \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_x^n(i + \frac{1}{2}, j + 1, k) - E_x^n(i + \frac{1}{2}, j, k)}{\Delta y} \right] \\
&- \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_y^n(i + 1, j + \frac{1}{2}, k) - E_y^n(i, j + \frac{1}{2}, k)}{\Delta x} \right]
\end{aligned} \tag{20}$$

(15) denkleminde görüldüğü gibi $t = n\Delta t$ 'de yeni bir E_x değeri, $t = (n-1)\Delta t$ 'de bir önceki E_x değeri ve $t = (n-\frac{1}{2})\Delta t$ 'deki komşu iki H alan bileşeni yardımıyla bulunabilir. Benzer denklemler kullanılarak, zamandaki bir noktada H alanın bileşenin örnek değeri, zamanda bir önceki noktadaki E ve H örneklenmiş alanlarından elde edilebilir.

FDTD olarak adlandırılan (15–20) denklemlere ileri alan denklemleri (veya Yee ileri alan denklemleri) denir. Bu denklemlerin kullanımı, FDTD sürecinin, ilk olarak manyetik alanın bir zaman adımında bütün uzay çözümü üzerinden hesaplanması ve sonra elektrik alanın bu uzayda bir sonraki yarım zaman adımı üzerinden hesaplanması şeklinde ardı ardına sürmesiyle devam etmektedir. Sıçrama şeklindeki süreç, ilgilenilen tüm zaman

boyunca tekrarlanmaktadır ve bütün uzay çözümündeki alanların zamandaki ilerlemesinin çözümünü üretmektedir.

FDTD, birçok elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılır. İyi düzenlenmiş irdemeler Kunz ve Luebbers [26] ve Taflove [35]'ün çalışmasında görülmektedir.

2.3.3. Soğurucu Sınır Koşulları (ABC)

Nesneden kaynaklanan yansıma problemleri genelde serbest uzayda açık geometrilerde çözülür. Serbest uzay, hesaplanan alanlarda uzaysal ortamın bir veya daha fazla koordinat doğrultusunda sınırsız olmasını gerektirmektedir. Çünkü FDTD her ızgara noktasında saha bilgisi birikimine gereksinimi olduğundan dolayı, herhangi bir bilgisayar için sınırsız çözüm uzayında tüm alan birikimini elde etmek olanaksızdır. Sonuç olarak, FDTD'yi uygulamak için uzay ortamının boyutu sınırlandırılmak zorundadır.

Sınırsız bir problemin hesaplanmasında, sınırlı olanaklar kullanılırsa, ilgilenilen uzay ortamının dış sınırlarında sınır değerlerinin soğurulması işlemi kullanılmalıdır. Bu işlem, ABC'nin hesaplanmasında dış sınırındaki alanları, dışarı giden veya tek-yol dalgalar şeklinde davranmaya zorladığından dolayı, sonsuz bir uzay boyunca yayılan alanlar elde edilmiş olur. İdeal bir sınır değeri soğurulması, hesaplama uzayının dış sınırında sayısal yansımaları ve fiziksel olmayan nedenler haricinde dışarı giden dalgaları soğurmasıdır. Yinede, ABC sayısal yaklaşımlardan dolayı dış sınırlarında bazı yansımalar oluşur. Sonuç olarak, doğru sonuçları elde etmek için ABC tarafından oluşturulan bu yansımalar olabildiğince düşürülmelidir.

ABC'nin nasıl kullanıldığını anlamak için, FDTD alanların ileri denklemleri bir nesneden çıkan saçılma alanlarının çözümü üzerinde durulacaktır. Bir noktadaki alanları değerlendirmek için, ileri alan denklemlerinin, nokta etrafında alanların bilgisine gereksinimi vardır. Bu bilgi, hesaplamada dış sınırlardaki bu alanların gereksinim duyduğu alanlar mevcut olmadığından dolayı dış sınırlarda çözüm tam değildir. Genel olarak, ABC, tek yönlü dalga denklemini kullanarak dış sınırların içinde ve üzerindeki alanların bilinmesiyle dış sınırlardaki alanları değerlendirir. Daha ayrıntılı bilgi [35–36] deki kaynaklarda verilmektedir.

Soğurucu sınır koşulları için çok sayıda teknik geliştirilmiştir. En ünlü ABC'lerden birisi Mur [35] tarafından geliştirildi. Mur, dış sınır boyunca alanların hesaplanması ve dış sınırın yanındaki alanların yayılma doğrultusunun genliğini tahmin etmek için

elektromanyetik dalga denklemini kullanmıştır. İki boyutlu ızgara için $x = 0$ sınırında ikinci merteye Mur'un ABC'sini aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$\begin{aligned}
U^{n+1}(0, j) = & -U^{n-1}(1, j) + \frac{c\delta t - \Delta}{c\delta t + \Delta} [U^{n+1}(1, j) + U^{n-1}(0, j)] \\
& + \frac{2\Delta}{c\delta t + \Delta} [U^n(0, j) + U^n(1, j)] \\
& + \frac{(c\delta t)^2}{2\Delta(c\delta t + \Delta)} \left[\begin{array}{l} U^n(0, j+1) - 2U^n(0, j) + U^n(0, j-1) + \\ U^n(1, j+1) - 2U^n(1, j) + U^n(1, j-1) \end{array} \right]
\end{aligned} \quad (21)$$

Burada U ızgaradaki alanları göstermektedir, $\Delta = \Delta x = \Delta y$ FDTD hücre boyudur, δt ardışık zaman adımı ve c ise ışık hızıdır. (21) denkleminin sağ tarafındaki alanlar, FDTD ızgarasının dış sınırının içinde ve üzerinde örneklenmiştir.

Sık kullanılan diğer bir ABC ise Liao [50] tarafından başlanmış ve Chew [37] tarafından tanımlanmıştır. Bu teknikte, zaman ve uzaydaki alanlar yaklaştırılırken Newton geri farklar polinomu kullanılır. Liao'nun ABC'sinin sayısal kestiriminin birinci mertebeden genliği, Mur'un ikinci mertebesinden daha iyidir. Bir boyutlu ızgarada, Liao'nun ABC'si x konumundaki ve $t + \delta t$ zamandaki alanları aşağıdaki gibi bildirmektedir,

$$U(x, t + \delta t) = \sum_{j=1}^N (-1)^{j+1} C_j^N T^j \cdot U_{2j+1}^j(x). \quad (22)$$

Burada,

$$C_j^N = \frac{N!}{j!(N-j)!} \quad (23)$$

$$T^j = T^1 \begin{bmatrix} T^{j-1} & 0 & 0 \\ 0 & T^{j-1} & 0 \\ 0 & 0 & T^{j-1} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$U_{2j+1}^j = [U_1^j, U_2^j, \dots, U_{2j+1}^j] \quad (25)$$

ve

$$T^1 = \left[\frac{(2-s)(1-s)}{2}, s(2-s), \frac{s(s-1)}{2} \right] \quad (26)$$

$$s = c\delta t/\Delta \quad (27)$$

$$U_i^m(x) = U[x - (i-1)\Delta, t - (m-1)\delta t] \quad (28)$$

şeklinde bildirilmektedir. Burada N sayısı Liao'nun ABC'sinin mertebesidir. Mur'un ABC'sine benzer olarak, dış sınır üzerindeki alanlar dış sınır üzerindeki ve yanındaki

bilinen alanlarla hesaplanabilir. (22)'den (28)'e kadar olan denklemler iki ve üç boyutlu durumlara uygulanabilir.

2.3.4. Kaynak İşlevi ve Kararlılık Sınaması

Jeofiziksel düz çözüm problemlerinde yapay kaynak oluşturarak bu kaynağa verilen yerin tepkisi kayıt edilir. Zaman bağımlı bu kaynağın sabit akım yoğunluğundaki bağıntısı aşağıda verilmiştir:

$$J(t) = [4(4\pi f_0 t)^3 - (4\pi f_0 t)^4] e^{-4\pi f_0 t}. \quad (29)$$

Burada f_0 dalgacığın merkez frekansıdır. Δ ve Δt sırasıyla uzaysal ve zamansal örnekleme aralıklarıdır. Vericilerin sabit akım yoğunluğu karakteristiğinden dolayı, toplam akım miktarının doğru elde edilebilmesi için yukarıdaki ifade Δ^3 etmenine bölünmelidir [38]. Sonra, bu akım ifadesi verici konumunda ayrık skaler Maxwell denklemlerine eklenmelidir. Örnek olarak, skaler Maxwell denkleminin x doğrultusundaki elektrik alan bileşenine aşağıdaki gibi eklenmiştir:

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\partial H_y}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial y} + \sigma E_x + J_x \right). \quad (30)$$

Sonlu farklar benzetmelerinde, sonlu farklar kuramından dolayı ortaya çıkan bir kararlılık problemi mevcuttur. Courant-Friedrichs-Levy kararlılık ölçütü [39], kararlılık sınamasında örnekleme zamanın seçimi aşağıda verilen bağıntı koşuluyla belirlenir:

$$\Delta t \leq \frac{1}{v_{\max}} \left[\frac{1}{\Delta \rho^2} \frac{[m+1]^2 + 2.8}{4} + \frac{1}{\Delta z^2} \right]^{-1/2}. \quad (31)$$

$k=1$ olduğunda $\Delta \rho = \Delta z$ olur ve bu ilişkiden,

$$\Delta t \leq \frac{\Delta}{(\sqrt{2.7} v_{\max})} \quad (32)$$

şeklinde bir sınır koşulu konulmuştur. Uzaysal örnekleme aralığının büyüklüğü, iyi bir verim almak için ızgara aralığındaki en küçük dalga boyundan yeteri derece küçük seçilmelidir. Yaklaşık olarak her dalga boyunda 10 örnek seçilebilir [40].

denklemleri elde edilir. Bu denklemler ayrık sistemlere çevrilip yeniden yazılırsa,

$$\begin{aligned}
 & E_y^n(i, k) - E_y^{n-1}(i, k) \\
 &= \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, k + \frac{1}{2}) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, k - \frac{1}{2})}{\Delta z} \right] \\
 & - \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left[\frac{H_z^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, k) - H_z^{n-\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, k)}{\Delta x} \right]
 \end{aligned} \tag{36}$$

$$\begin{aligned}
 & H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, k + \frac{1}{2}) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, k + \frac{1}{2}) \\
 &= \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_y^n(i, k + 1) - E_y^n(i, k)}{\Delta z} \right]
 \end{aligned} \tag{37}$$

$$\begin{aligned}
 & H_z^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, k) - H_z^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, k) \\
 &= -\frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_y^n(i + 1, k) - E_y^n(i, k)}{\Delta x} \right]
 \end{aligned} \tag{38}$$

denklemleri elde edilir.

2.3.6. İki Boyutlu Yer Radarı Benzetiminin Akış Şeması

Yazılan benzetim programında, Maxwell denklemleri ayrık düzende C programlama dili kullanılarak zaman ortamlı sonlu farklar ile çözülmüş ve MATLAB ortamında gösterimi sağlanmıştır. Bu programda kullanılan algoritmanın akış şeması Ek 1'de verilmiştir.

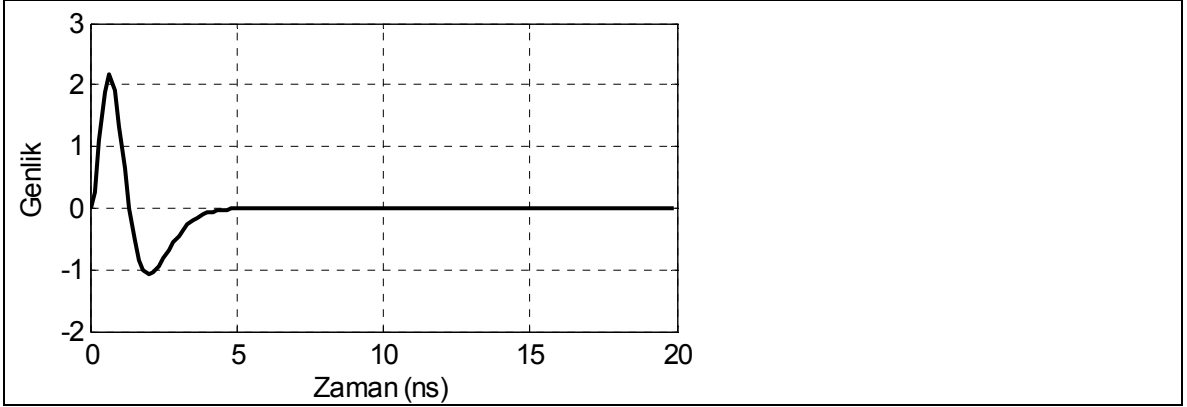
2.3.7. Programın Sonuçları

Yazılan program ile yapılan örnek bir benzetim çalışmasının değişkenlerinin değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Burada, göreceli permittivitesi sırasıyla 1, 2, 8 olan hava ve iki yeraltı tabakası kullanılmıştır (Şekil 16). Göreceli permeabilite her yerde sabit alınmıştır. Ayrıca soldan sağa doğru 50 cm, 100 cm, 50 cm yarıçaplarında ve 4, 8, 8 göreceli permittivitesinde üç dairesel yapı modele konulmuştur.

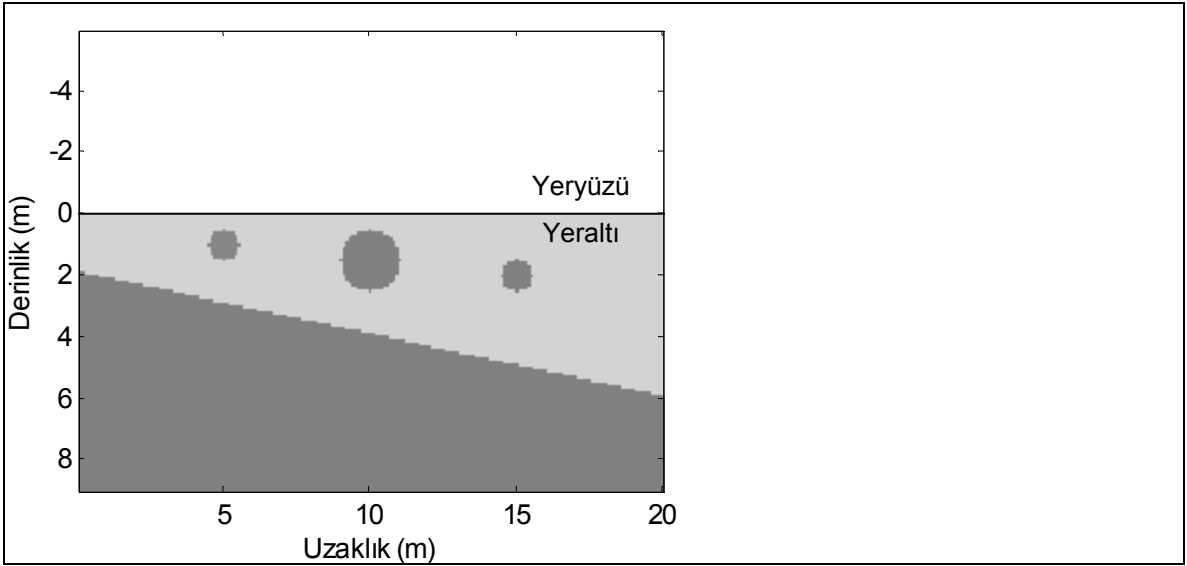
Tablo 2'de verilen değerlere göre hesaplanmış kaynak işlevi Şekil 15'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Benzetim için bazı giriş değişkenleri

$f_0 = 1.5 \text{ GHz}$	Merkez frekansı
$T = 100 \text{ ns}$	Toplam kayıt zamanı
$dx = 0.1 \text{ m}$	Uzaysal örnekleme aralığı
$dt = 0.167 \text{ ns}$	Zamansal örnekleme aralığı
$\sigma = 10 \text{ S/m}$	İletkenlik
$n_x = 200$	Yatay ızgara sayısı
$n_z = 150$	Dikey ızgara sayısı



Şekil 15. EM benzetimde kullanılan kaynak işlevi

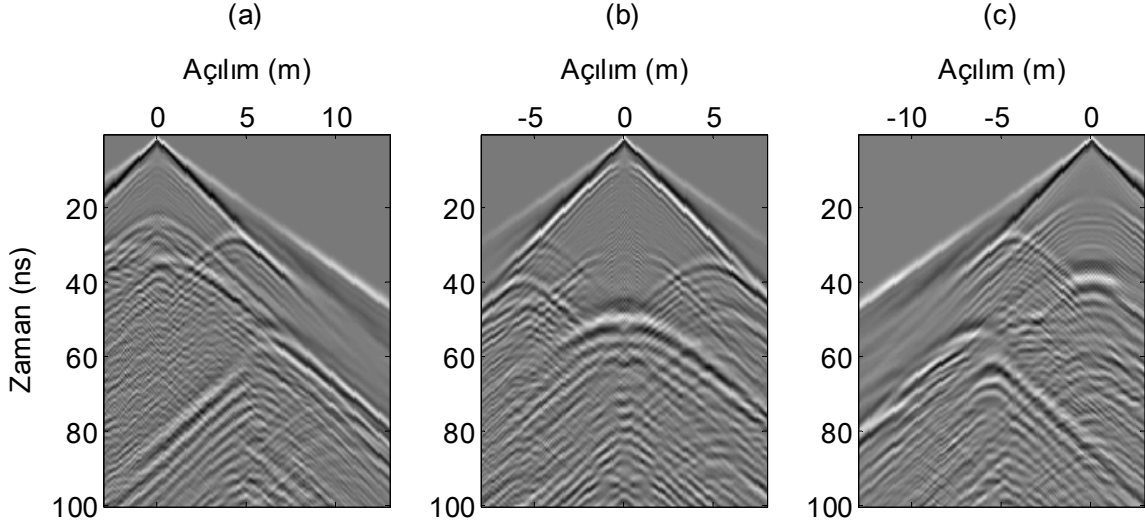


Şekil 16. Benzetim için kullanılan yeraltı yapısı

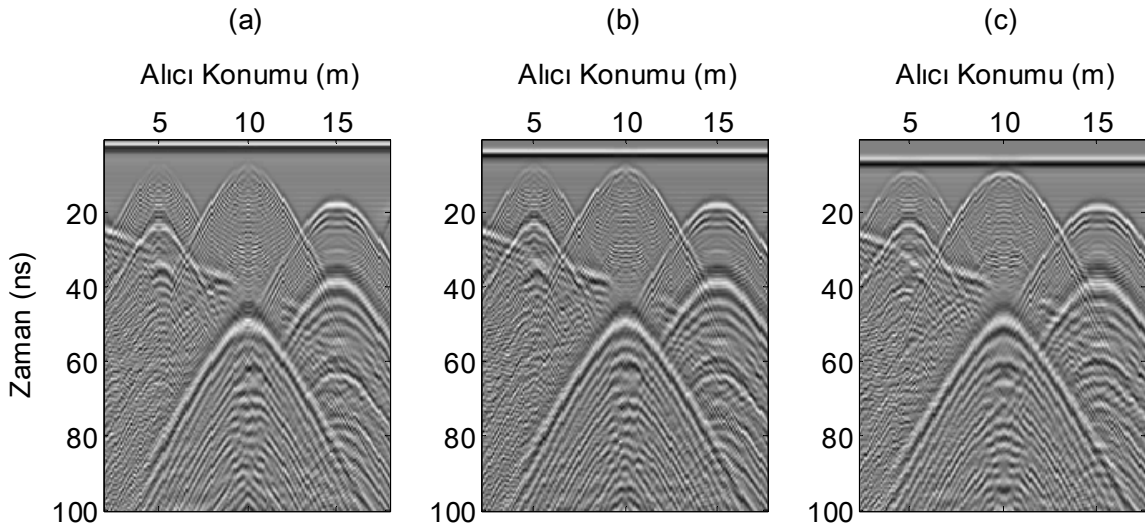
Verilen yeraltı modeli ile hesaplanan benzetim sonucu, elde edilen kesitlerin bazıları Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir. SAMBAT yazılımında bu benzetim için gerekli komut aşağıdaki gibidir,

$$A1 = \text{okfdtd}(er, mr, f0, T, sx, sz, rx, rz);$$

Burada er göreceli permittivite, mr göreceli permeabilite, $f0$ merkez frekansı, T kayıt zamanı, sx ve sz kaynak konumu, rx ve rz alıcı konumlarını göstermektedir. $A1$ ise segy değişkenidir. Bu benzetimde alıcı koordinatları 2. metreden 18. metreye kadar 0.1 metre aralıklarla dizilmiş ve tüm hesaplama boyunca değişmemiştir. Her verici için kaynak noktaları ise 1.9 metreden 17.9 metreye kadar 0.1 metre aralıklarla zamanla değişmiştir.



Şekil 17. EM dalga gönderilerek kayıt edilen yapay yer radarı atış kayıtları a) Doğrultu üzerinde 5.m'de atış kaydı; b) Doğrultu üzerinde 10.m'de atış kaydı; c) Doğrultu üzerinde 15.m'de atış kaydı



Şekil 18. EM dalga gönderilerek kayıt edilen yapay yer radarı ortak açılım kayıtları a) Verici-Alıcı arası 0.1m olan radargram kesitleri; b) Verici-Alıcı arası 0.5m olan yer radarı kesitleri; c) Verici-Alıcı arası 1m olan radargram kesitleri;

Şekil 18'de verilen yapay yer radarı kesitinde bir düz olay (hava ve yer dalgası), bir eğimli olay (eğimli tabaka) ve altı hiperbol görülmektedir. Bu hiperbollar üçer çift hiperboldan oluşmuştur. Alt alta duran her hiperbol çifti modeldeki bir yuvarlak nesneyi göstermektedir. Hiperbol çiftinde üstteki hiperbol nesnenin üstünden gelen yansıma alttaki hiperbol ise nesne içinde hareket eden EM dalgasının nesnenin alt yüzeyinden gelen yansımasıdır. Tüm hiperbolların eğimlerinin aynı olduğu görülmektedir. Bu ise bize üç nesnenin de aynı ortamda bulunduğu bilgisini verir. Soldan birinci ve ikinci hiperbol çiftlerinin üçüncü hiperbol çiftinden yukarıda durduğu görülmektedir. Bu ise bize nesnelerin derinliği hakkında bilgi sağlamaktadır. Soldan birinci ve ikinci hiperbol çiftlerinde üst hiperbollar aynı zaman konumunda dururken, alt hiperbolların farklı zaman konumunda durması ikinci nesnenin daha büyük olduğu bilgisini verir. Aynı şekilde soldan birinci ve üçüncü nesnelerin boyutları eşit olduğu halde üst ile alt hiperbol arasındaki fark nesnelerin permitivitesi hakkında bilgi sağlar.

2.4. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Kullanılan Bazı Uygulamalar

Yer radarı verilerinin işlenmesinde öncelikli işlem, verilerin düzenlenmesi ve gözden geçirilmesidir. Elektromanyetik dalgalar yer içinde yayılırken doğru akım (DC) bileşeni yayılarak dağılmaktadır. Dolayısıyla yer radarı verilerindeki DC bileşenini temizlemek öncelikli işlemlerden birisi olmaktadır [7].

Antenler arasındaki uzaklığın, sinyalin optik kabloda aldığı yolun ve aletin ısınmasından kaynaklanan duraysızlığı düzeltmek için sıfır-zaman düzeltmesi yapılır [45].

Yer radarı verilerinde ikinci olarak standart işlemler uygulanır. Bunlar dewow (çok düşük frekanslar), genlik düzeltmesi, artalan temizleme ve gürültüleri süzmektir. Bu işlem adımları gerçekleştirilirken kullanılan parametreler etkileşimli (interaktif) olarak belirlenmektedir [46].

Yer radarı veri işlem aşamaları birçok değişik dönüşüm tekniği ile veri üzerinde değişik işlemlerden oluşur. Yer radarı verileri genellikle iki veya üç boyutlu kayıt edilmelerine rağmen öncelikle iki boyutluymuş gibi işlenir. Bu çalışmada veri dizeyinin sürekli işlevleri $f(t, x)$ şeklinde, ayrık işlevleri ise $f[m, n]$ şeklinde gösterilecektir. f verinin genliğini, t verinin kayıt zamanını ve x ise verinin kayıt edildiği konumu göstermektedir. Veriler ayrık düzende ise $t = m.dt$ ve $x = n.dx$ şeklinde ifade edilir. Burada dt , zamansal örnekleme aralığı, dx ise uzaysal örnekleme aralığıdır. Başlangıç olarak bu verilere TX ortamı verileri denir. $f(t, x)$ işlevinin (t, x) konumundaki değeri salınımlı çizimlerde genliği

ifade ederken, renkli çizimlerde renk yoğunluğunu ifade etmektedir. Daha önce belirtildiği gibi hesaplamaların hepsi SAMBAT yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. SAMBAT yazılımında 1 düşey yönü, 2 yatay yönü ve 3 ise iki boyutlu işlemleri göstermektedir.

Aşağıdaki verilecek veri işlem uygulamalarında Şekil 16'da oluşturulmuş model için hesaplanan yapay yer radarı kesiti kullanılmıştır.

2.4.1. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Genlik Düzeltmeleri

Sismik dalgaların genliği, sismologları en çok uğraştıran konuların başında gelmektedir. 1920'lerde, aramalarda yer hareketinin genliğini büyütme sorunu. O zamanlar bu sorunu çözmek için mekanik kalemler ile genlik seviyelerin geri taşınması yapılmıştır. Arama sismolojisinin başlamasıyla birlikte, fotoğraflık kayıtlarda optik seviyelerle genlikler şişirilmeye başlanmıştır [42].

1930'lardan 1960'ların ilk yıllarına kadar, gelişen ölçü aletleriyle ilk varışlar ile zayıf genlikli yansımaları arasında büyük genlik farkları, dinamik sınırlar içinde kalarak sıkıştırılmıştır. İlk olarak kâğıda kayıt ve daha sonraları da manyetik depolama birimlerine kayıt başlamıştır. En sonunda ise sayısal manyetik teyplere kayıt yapılmaya başlayınca otomatik genlik düzelmesi (AGC) diye bilinen teknikten söz edilmeye başlamıştır [42].

Yer radarı veri işleminde önemli bir aşama da genlik kurtarımıdır. Amaca ve çevreye bağlı olarak genelde iki tür genlik kurtarımı işlemi vardır. Bunlar, küresel ve üstel düzeltme (SEC) ve otomatik genlik düzelmesi (AGC)'dir

SEC işlemi küresel açılmayı ve enerjinin üstel sönümlenmesini geri kazanmaya çalışır. Bu işlemde göreceli genlik değişimleri korunmaktadır. AGC ise tüm sinyalleri eşitlemek için, sinyalin gücüne göre ters oranlama yapmaktadır. Bu işlemde seçilen bir pencerede hesaplanan genliklerde göreceli genlik bilgisi kaybolmaktadır. Buna rağmen oldukça yaygın bir yöntem olarak kullanılmaktadır [44].

Yer radarında kayıt edilen verilerde zamanla uzaklaşma ve sönümleme etkisiyle dalga enerjisinde dolayısıyla genlikte azalma olmaktadır. Kaybedilen bu enerjiyi geri kazanmak için genlik ayarlamaları yapılır.

2.4.1.1. Otomatik Genlik Düzeltmesi (AGC)

Otomatik genlik kazancı, her izi tek tek ele alır. Seçilen bir pencere, ele alınan izin üzerine konur ve pencere üzerine düşen değerlerin karelerinin ortalamasının karekökü alınır ve kazanç işlevinde pencerenin ortasının bulunduğu yere konur. Daha sonra pencere

bir örnek kaydırılarak işlem tekrarlanır. Tüm iz gezildikten sonra elde edilen işlev ile ele alınan iz bölünür. Böylelikle otomatik genlik kazancı sağlanır. Eşitlik (39)'da kazanç işlevi, (40)'da ise AGC düzeltmesi matematiksel olarak gösterilmektedir:

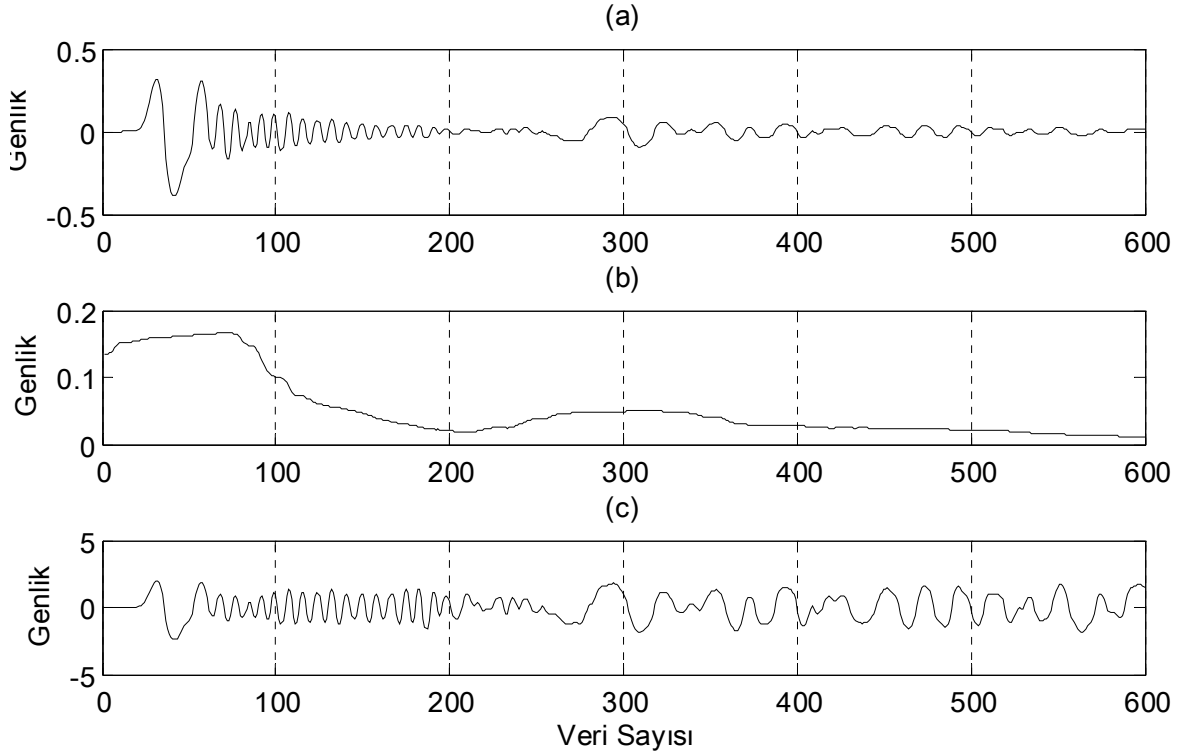
$$g[m] = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{n=m-W/2}^{m+W/2} (f[n])^2} \quad (39)$$

$$\hat{f}[m] = \frac{f[m]}{g[m]}. \quad (40)$$

Burada W pencere boyunu göstermektedir.

AGC işlemi geri dönüşü olmayan bir işlemdir, dolayısıyla uygularken çok dikkatli olmak gerekir. AGC'de pencere boyutu normal kayan ortalama süzgecine göre daha büyük seçilmelidir. Pencere boyutu ne kadar büyük seçilirse istenmeyen yerel olaylar o kadar bastırılmış olur. Pencerenin büyük seçilmesi yer radarı verilerinde hava dalgalarının ve yer dalgalarını etkisiyle yakın alan (sığ) verilerinin görülmesini engelleyeceğine de dikkat etmek gerekir.

Şekil 19'da yapay bir yer radarı izi üzerinde basit olarak AGC uygulaması gösterilmektedir. Şekil 19(a)'da verilen yer radarı izine genlik düzeltmesi uygulandıktan sonra yüksek genlikli ilk gelen dalgalarla sonradan gelen zayıf genlikli dalgalarının genlikleri az çok eşit hale gelmiştir (Şekil 19(c)). Şekil 20'de ise yapay bir yer radarı kesitine zamansal, uzaysal ve zaman-uzaysal yönlerde uygulanan AGC işleminin sonuçları gösterilmektedir. Şekil 20(a)'da verilen yer radarı kesitine zamansal yönde AGC işlemi uygulandıktan sonra kesitte tüm genlikler aynı genlik seviyesine çekilmiş olmaktadır. Burada rasgele gürültüler ve uyumlu gürültüler (hiperbollardan sonra gelen saçılmalar gibi) belirgin hale gelmiştir (Şekil 20(c)). Şekil 20(b) ve Şekil 20(d)'de ise Şekil 20(c)'ye göre gürültülerde fazla artma gözlenmemekle birlikte ilk gelen dalgaların genliklerinde zayıflama görülmektedir. Bunun nedeni AGC uygularken aynı zamanda enerji normalize edilmiştir.



Şekil 19. AGC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinden elde edilen kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltilmiş yapay yer radarı izi.

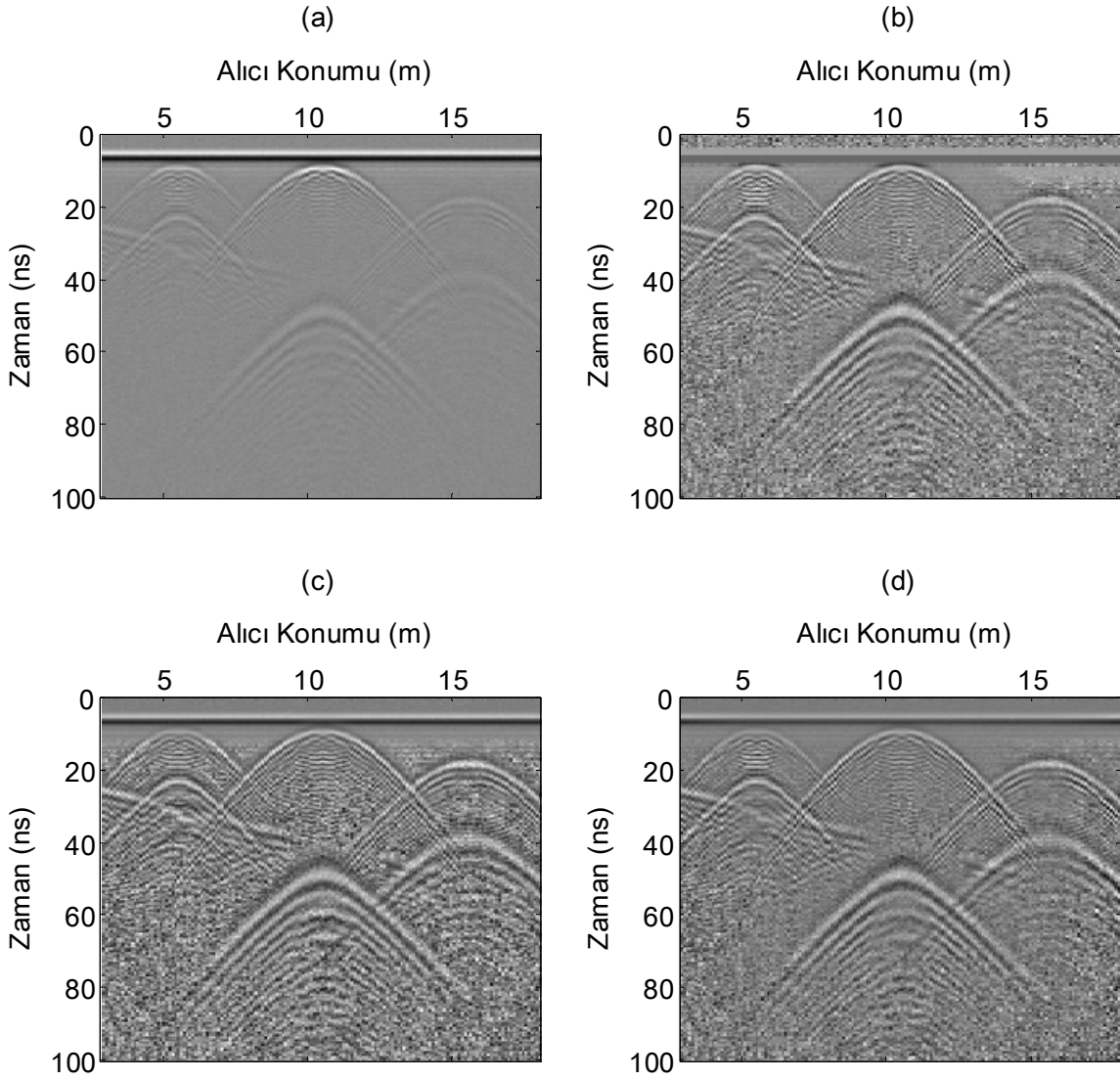
AGC işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir.

$$A1 = okagc(A1, 50, 1);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, 50 ise yer radarı işlemi için seçilen pencere boyudur. Son parametre ise AGC işleminin uygulanacağı yönü göstermektedir.

AGC işlemi geleneksel veri işlemde zamansal yönde uygulanırken, yer radarı verilerinde iz sayısı fazla olduğu ve özellikle ölçü düzeneği ortak açılım iz ailesi olduğunda her izin genlik değişiminin aynı olduğu varsayılarak AGC'nin uzaysal yönde de uygulanması düşünülebilir.

AGC işlevi özellikle düşey yönde büyük etki göstermektedir. AGC işlemi genlik düzeltmelerinde en yaygın yöntem olmasına rağmen, gürültülerin ve istenmeyen olayların ortaya çıkmasına büyük oranda katkı sağlamaktadır.

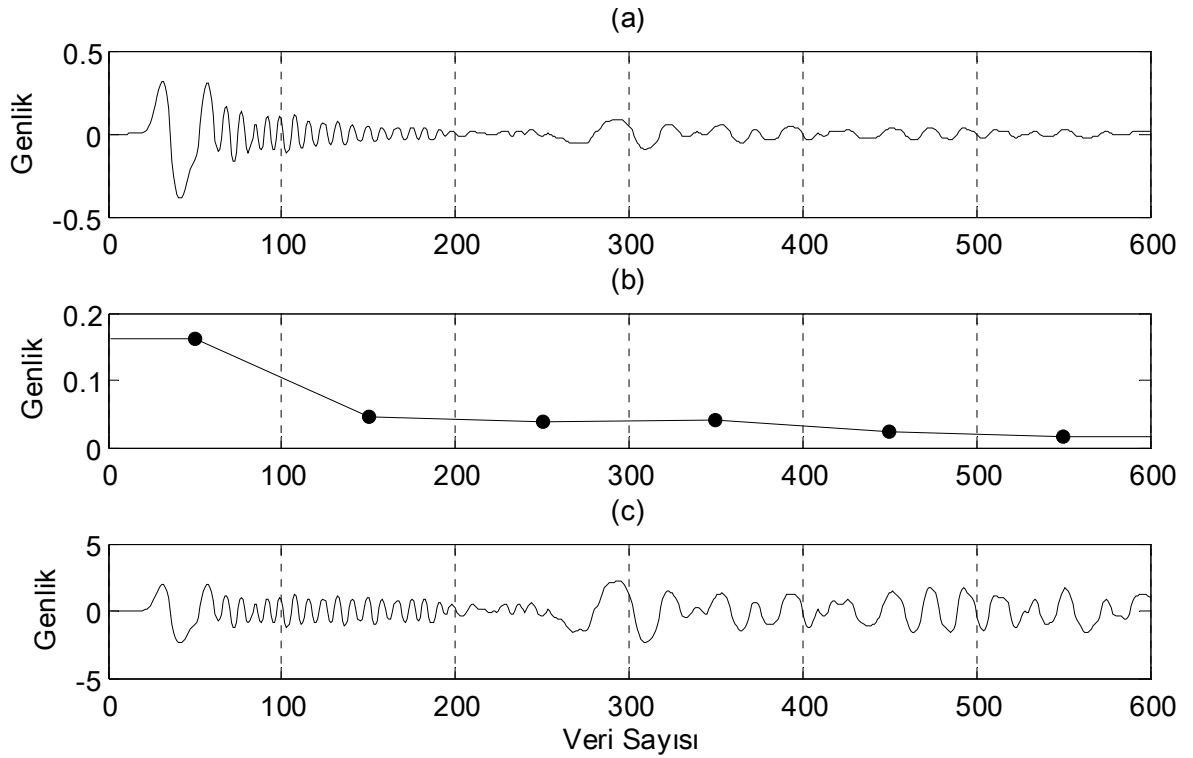


Şekil 20. Yapay yer radarı kesitine pencere boyu 50 örnek olan AGC uygulaması, (a) yapay ham yer radar kesiti (b) yanal yönde AGC uygulaması, (c) düşey yönde AGC uygulaması, (d) iki boyutlu AGC uygulaması

2.4.1.2. Kök Ortalama Kare Otomatik Genlik Düzeltmesi (rmsAGC)

AGC yerel anlamda bir genlik düzeltmesi uygulamaktadır. Bu da AGC işleminde, veride yüksek frekanslı gürültülerin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca istenmeyen olayların ön plana çıktığı da gözlenmiştir. Bu durumları ortadan kaldırmak için kesit verileri zamansal yönde pencerelere ayırarak her penceredeki değerlerin karelerinin ortalamasının karekökü alınır. Daha sonra bu değer pencerenin ortasına yerleştirilerek elde edilen zaman serisi değerlerini kesitin zamansal veri boyutuna eşitlemek için interpolasyon yapılır. Elde edilen yeni kazanç işleviyle kesit bölünerek genlik kazancı uygulanmış olur.

Şekil 21’de yapay bir yer radarı izi üzerinde rmsAGC uygulaması gösterilmektedir. Şekil 21(a)’da verilen yer radarı izine genlik düzeltmesi uygulandıktan sonra yüksek genlikli ilk gelen dalgalarla sonradan gelen zayıf genlikli dalgalarının genlikleri az çok eşit hale gelmiştir (Şekil 21(c)). Şekil 22’de ise yapay bir yer radarı kesitine zamansal, uzaysal ve zaman-uzaysal yönlerde uygulanan rmsAGC işleminin sonuçları gösterilmektedir. Şekil 22(a)’da verilen yer radarı kesitine zamansal yönde rmsAGC işlemi uygulandıktan sonra kesitteki genliklerde iyileşme görülürken ilk gelen dalgaların kesitteki baskınlığı sürmektedir (Şekil 22(c)-(d)). Şekil 22(b)’de ise ilk gelen dalgaların genliklerinde zayıflama görülmektedir.



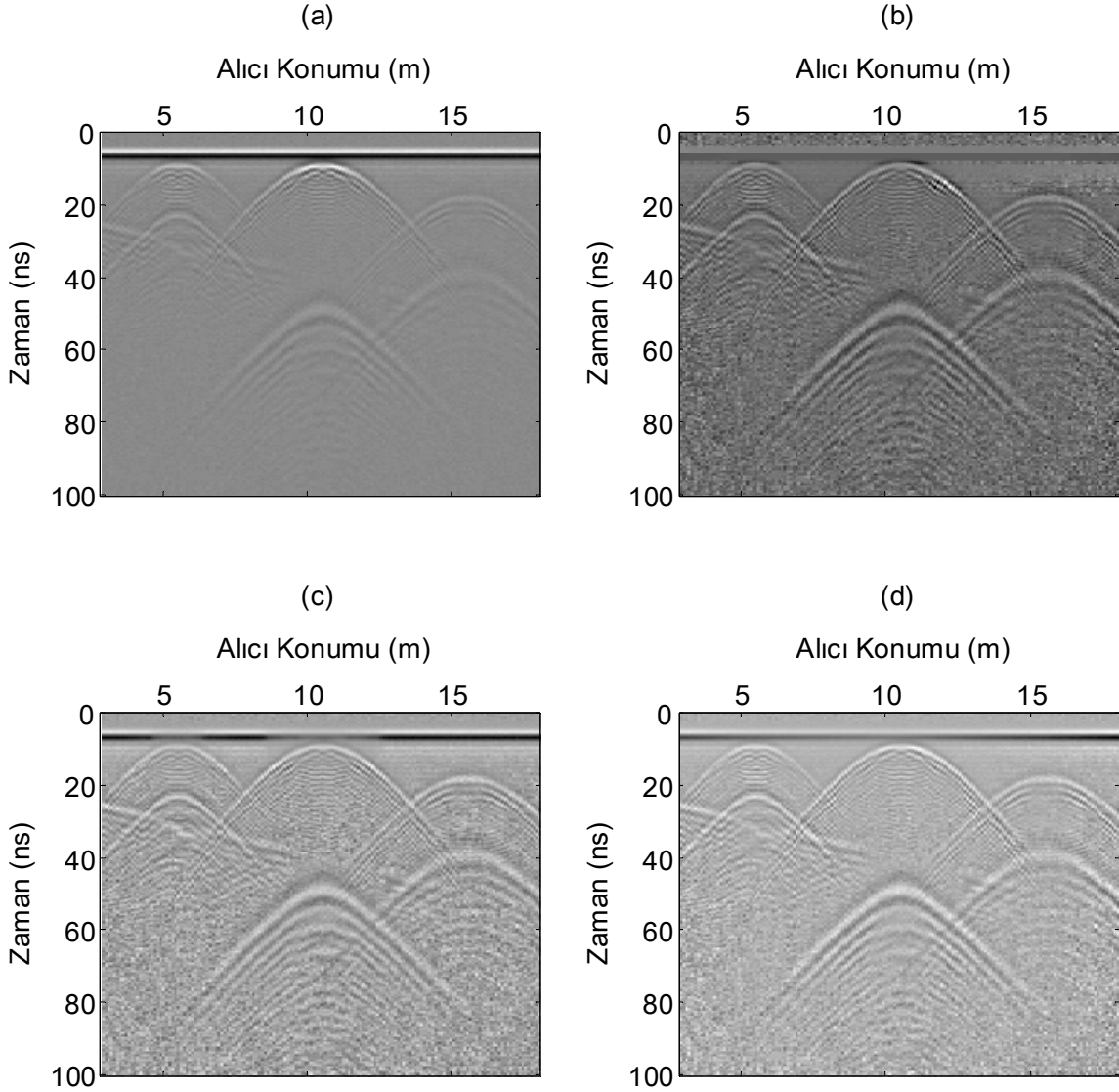
Şekil 21. rmsAGC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinden elde edilen noktalar ve bunların interpolasyonu sonucu ortaya çıkan kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltmesi yapılmış yapay yer radarı izi

rmsAGC işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir.

$$A1 = \text{okrmsagc}(A1, 50, 1);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, 50 ise rmsAGC işlemi için seçilen pencere boyudur. Son parametre ise rmsAGC işleminin uygulanacağı yönü göstermektedir.

rmsAGC işlemi düşey yönde uygulandığında görsel ayrımlılık sorunları oluşabilir. Bunun öncelikli nedeni yer radarı verilerinde hava ve yer dalgalarının yüksek genliklerde olmasının interpolasyona doğrudan etkide bulunmasıdır.

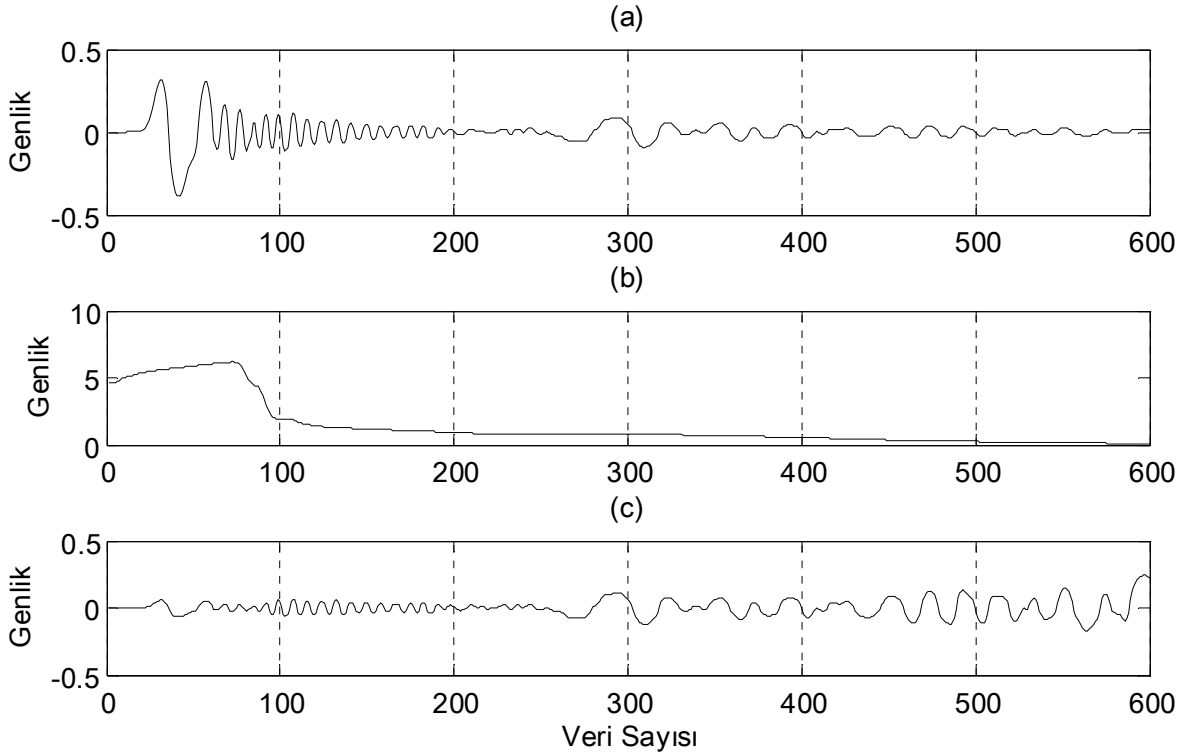


Şekil 22. Yapay yer radarı kesitine pencere boyu 50 örnek olan rmsAGC uygulaması, (a) yapay ham yer radarı kesiti (b) yanal yönde rmsAGC uygulaması, (c) düşey yönde rmsAGC uygulaması, (d) iki boyutlu rmsAGC uygulaması

2.4.1.3. Programlanmış Genlik Düzeltmesi (PGC)

Programlanmış genlik düzeltmesinde, izlerin yanal yönde mutlak değerleri toplanarak elde edilen izle AGC işleminde olduğu gibi kazanç işlevi elde edilir. Elde edilen kazanç işlevi yardımıyla başlangıçtaki izler bölünerek genlik kazanımı sağlamış olur [13].

Şekil 23'te yapay bir yer radarı izi üzerinde PGC uygulaması gösterilmektedir. Şekil 23(a)'da verilen yer radarı izine genlik düzeltmesi uygulandıktan sonra yüksek genlikli ilk gelen dalgalar zayıflamışken sonradan gelen zayıf genlikli dalgalar güçlenmiştir (Şekil 23(c)). Şekil 24'te ise yapay bir yer radarı kesitinin zamansal, uzaysal ve zaman-uzaysal yönlerde PGC işleminin sonuçları gösterilmektedir. Şekil 24(a)'da verilen yer radarı kesitine zamansal yönde PGC işlemi uygulandıktan sonra kesitin genliklerinde iyileşme görülürken (Şekil 24(c)) uzaysal yönde yapılan düzeltme istenilen sonucu vermekten uzak gözükmemektedir (Şekil 24(b)). Şekil 24(d)'de ise yapılan düzeltme yeterli gözükmemektedir. Programlanmış genlik düzeltmesi, tüm kesitte tek bir kazanç işlevi kullandığı için kesitteki yanal değişimler daha açık görülmektedir (Şekil 24(c)).

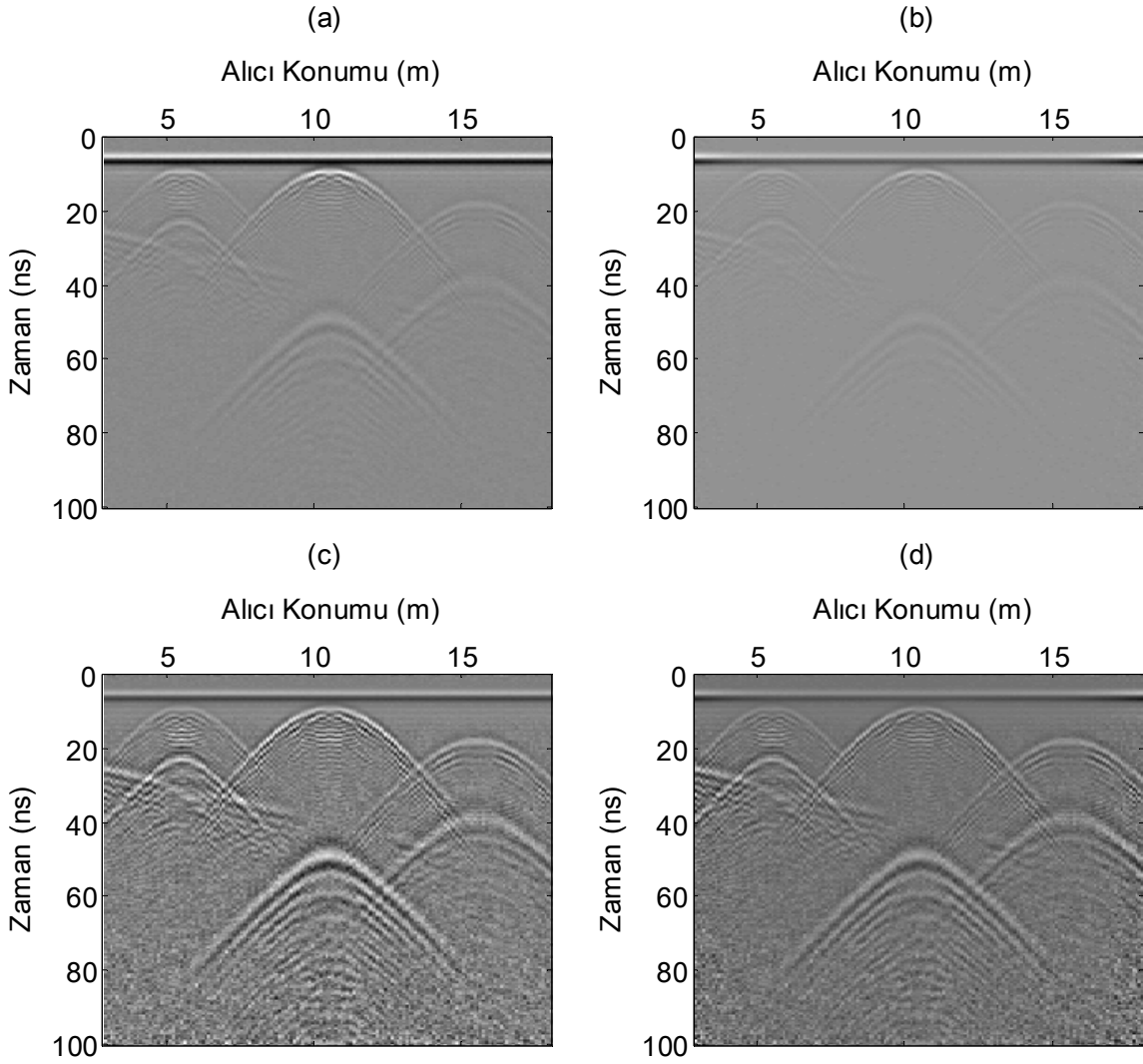


Şekil 23. PGC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinin PGC ile elde edilen kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltmesi yapılmış yapay yer radarı izi

PGC işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir.

$$A1 = \text{okpgc}(A1, 50, 1);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, 50 ise PGC işlemi için seçilen pencere boyudur. Son parametre ise PGC işleminin uygulanacağı yönü göstermektedir.



Şekil 24. Yapay yer radarı kesitine PGC uygulaması, (a) yapay ham yer radarı kesiti (b) yanal yönde PGC uygulaması, (c) düşey yönde PGC uygulaması, (d) iki boyutlu PGC uygulaması

2.4.1.4. Doğrusal ve Üstel Genlik Düzeltmesi (SEC)

Yer radarı verilerinde açılımın genlik üzerindeki etkisini doğrusal zaman kazancıyla, zamanla sönümlenme etkisini ise üstel zaman kazancıyla ortadan kaldırmak gerekir. Yer radarı verileri üstel olarak sönümlendiği için SEC işlemi fiziksel gerçeklikle uyum sağlamaktadır.

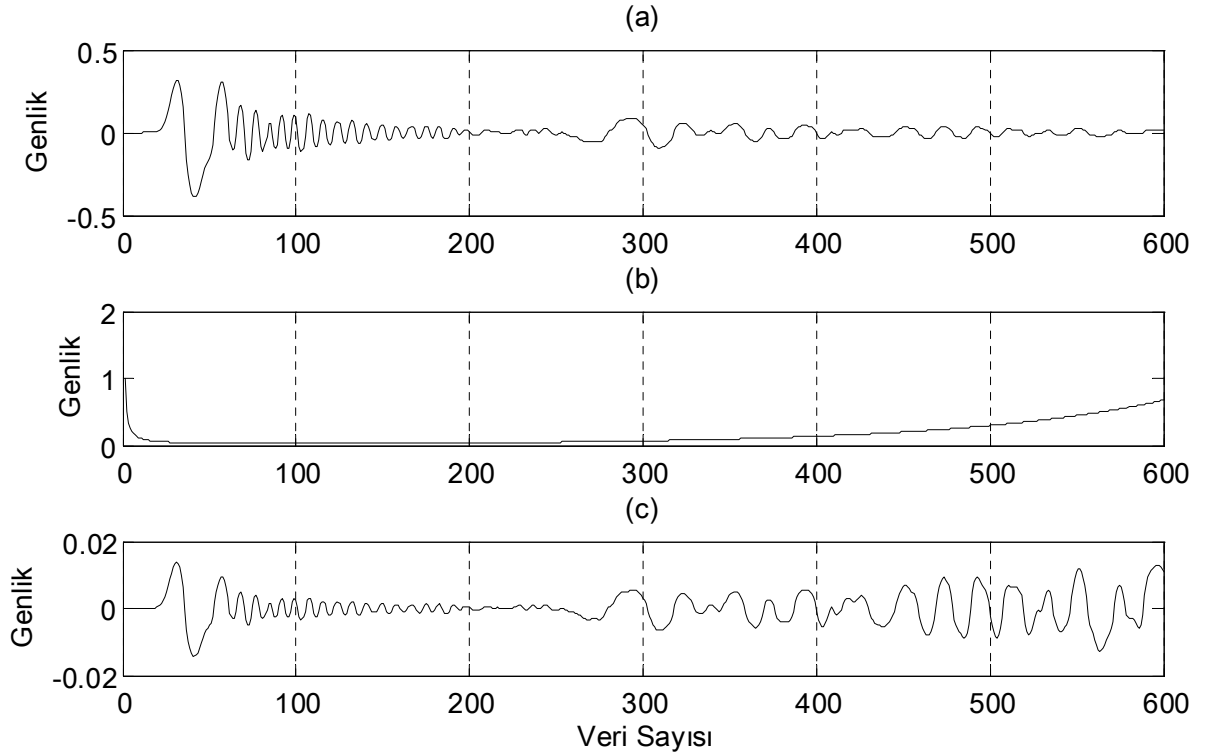
Bu düzeltmenin temeli üstel işlevine dayanmaktadır. Bu üstel işlev bazen sonsuza kadar gidebilmektedir. Bu durumda genlik düzeltmelerinde bazı sınırlamalar getirmek gerekmektedir. Dolayısıyla SEC işlevi belirlenirken parametre seçimine özen göstermek gerekir.

SEC genlik düzeltme işlevi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$g(t) = \begin{cases} C + \left(1 + \frac{\tau}{\tau_\omega}\right) e^{\beta t}, & \tau \geq 0 \\ 1 & \tau < 0 \end{cases} \quad (41)$$

Burada, C başlangıç sabiti, $\tau = (t - (\tau - t_0))$, τ_ω tepki genişliği, t_0 sıfır zamanı, $\beta = \alpha \cdot v / 8.69$, α dB/m'deki radar dalgası sönümlenmesi, v ise radar dalga hızıdır (ortalama 0.1m/ns) [22].

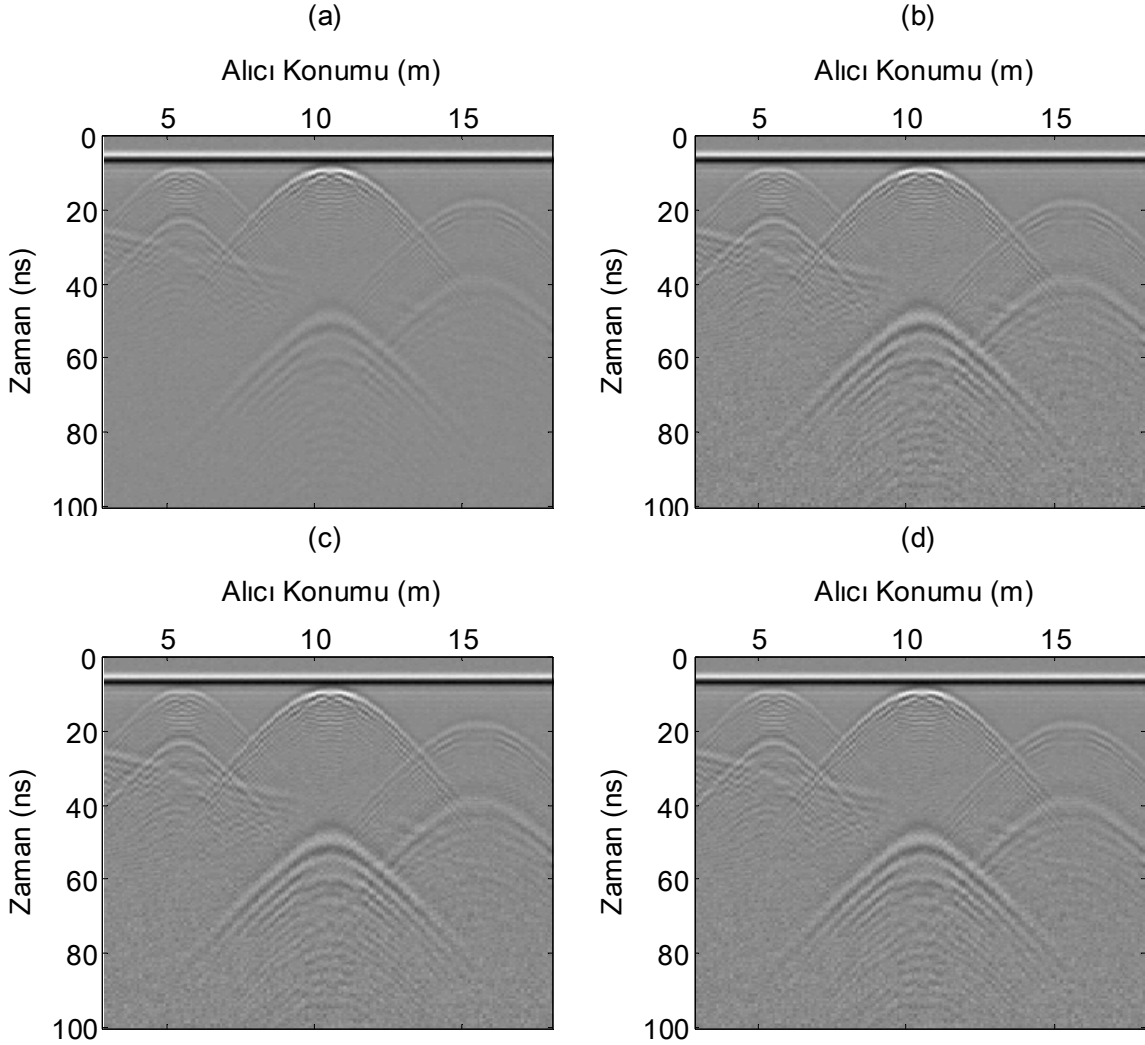
Şekil 25'te yapay bir yer radarı izi üzerinde SEC uygulaması gösterilmektedir. Şekil 25(a)'da verilen yer radarı izine genlik düzeltmesi uygulandıktan sonra yüksek genlikli ilk gelen dalgalardan sonra gelen (100 ile 300. örnekler arası) zayıf genlikli bilgiler fazla güçlenmemiştir. Fakat 300. örnekten sonra gelen genliklerde oldukça iyi bir düzelme olduğu görülmektedir (Şekil 25(c)).



Şekil 25. SEC uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinin $\beta = 0.01$ olan SEC kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltmesi yapılmış yapay yer radarı izi

Şekil 26'da yapay bir yer radarı kesitinin zamansal, uzaysal ve zaman-uzaysal yönlerde SEC işleminin sonuçları gösterilmektedir. SEC işlemi yer radarı kesitlerine yalnız zamansal yönde uygulanmaktadır. Uzaysal yönde yapılacak bir düzeltme mantıksal olarak

olanaklı gözükmemektedir. Şekil 26(a)'da verilen yer radarı kesitine zamansal yönde SEC işlemi uygulandıktan sonra kesitte tüm genlikler aynı genlik seviyesine çekilmiş olmaktadır. Burada rasgele ve uyumlu gürültülerde fazla bir belirginlik gözükmemekle birlikte ilk gelen dalgaların tüm kesitte baskın olması verideki ayrıntıların gözükmesini engellemektedir (Şekil 26(b)(c)(d)). Onun için parametre seçimine çok dikkat etmek gerekir. Olanaklıysa etkileşimli şekilde parametre seçimi yapılmalıdır.



Şekil 26. Yapay yer radarı kesitine değişik en büyük değerlerde SEC uygulaması, (a) yapay ham yer radarı kesiti, (b) en büyük değeri 200 olan SEC uygulaması, (c) en büyük değeri 500 olan SEC uygulaması, (d) en büyük değeri 1000 olan SEC uygulaması

SEC düzeltmesi, yer radarı verilerine uygulanan genlik düzeltmeleri içinde, istenmeyen olayları ve gürültüleri fazla ortaya çıkarmayan bir yöntem olarak bilinmektedir. SEC işleminin en büyük eksikliği, parametrelerinin belirlenmesine

yaşanmaktadır. Parametreler ne kadar matematiksel bir temele dayandırılırsa da, veri işlemci için önemli olan göreceli genlik değerlerinin dengelenmesidir.

SEC işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir:

$$A1 = \text{oksec}(A1, 0.03, 0.001, 70, 500);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, 0.03 doğrusal zaman katsayısı, 0.001 üstel zaman katsayısı, 70 başlangıç zamanı, 500 ise en büyük kazanç değeridir.

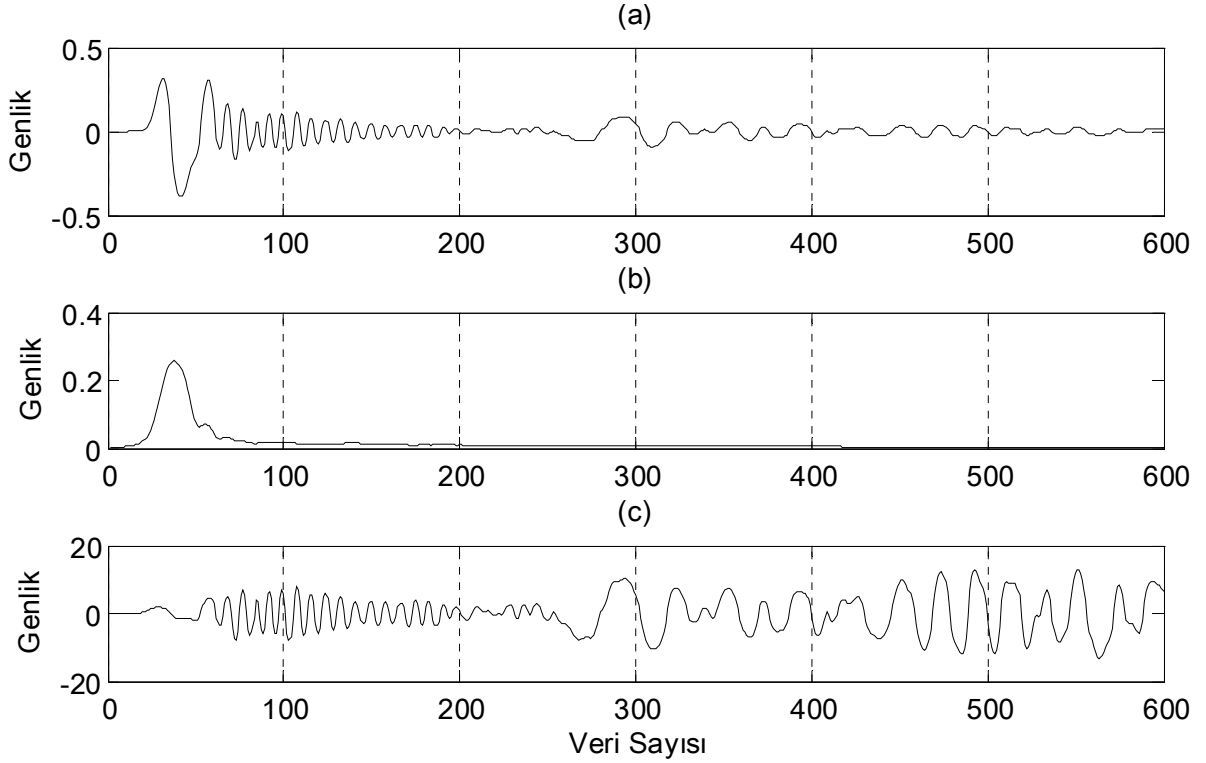
2.4.1.5. Genlik Düzeltmesine Yeni Bir Yaklaşım

Genlik düzeltmesi uygulamalarında ortaya çıkan sorunlara yönelik olarak istenmeyen olayları şişirmeyecek ve genlik düzeylerini eşitleyecek bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunun için öncelikle ele alınan kesitin Hilbert dönüşümü yardımıyla anlık genlik (zarf) kesiti hesaplanır. Elde edilen zarf kesitindeki her iz düzleştirilerek elde edilen izlerle başlangıç kesitindeki her iz tek tek bölünürse AGC'den daha iyi sonuçlar elde edilir [13]. Bu yöntem gerek CSG ve gerekse COG verilerine uygulanabilir. Bunun yanında anlık genlik kesitine uzaysal yönde yığıma işlemi uygulayarak elde edilen daha düşük frekanslı bir süzgeç işleci ile izleri tek tek bölmenin daha iyi sonuçlar verdiği görülecektir. Bu uygulamada istenmeyen olayların ön plana çıkması engellenmekle birlikte veri işlemciye de fazla iş bırakılmamıştır. Yapılan bu uygulama yığılmış zarf düzeltmesi (YZD) olarak adlandırılmıştır.

Şekil 27'de yapay bir yer radarı izi üzerinde YZD uygulaması gösterilmektedir. Şekil 27(a)'da verilen yer radarı izine genlik düzeltmesi uygulandıktan sonra yüksek genlikli ilk gelen dalgaların zayıflamasına karşın sonradan gelen zayıf genlikli dalgalarının güçlendiği görülmektedir (Şekil 27(c)).

Genlik düzeltmeleri uygulamalarının etkilerini daha iyi karşılaştırabilmek için 10 izlik bir veri grubuna sırasıyla, zamansal yönde AGC, rmsAGC, PGC, SEC ve YZD işlemi uygulanarak salınımlı tipte çizilmiştir (Şekil 28). Şekil 28'de her zaman olduğu gibi AGC düzeltmesinde tüm kesit boyunca genliklerde bir eşitleme görülürken özellikle ilk gelen dalgalardan sonraki sığ olaylar bastırılmıştır (Şekil 28(a)). rmsAGC uygulamasında ise ilk gelen dalgalar genliklerini korurken diğer genlikler bastırılmıştır. Ayrıca rasgele gürültülerin arttığıda gözlenmektedir (Şekil 28(b)). PGC uygulaması diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermiştir (Şekil 28(c)). SEC uygulaması ilk gelen dalgaları bastırdığı gibi ilk 25 ns içersindeki tüm genlikleri de bastırmıştır (Şekil 28(d)). YZD uygulaması AGC'ye

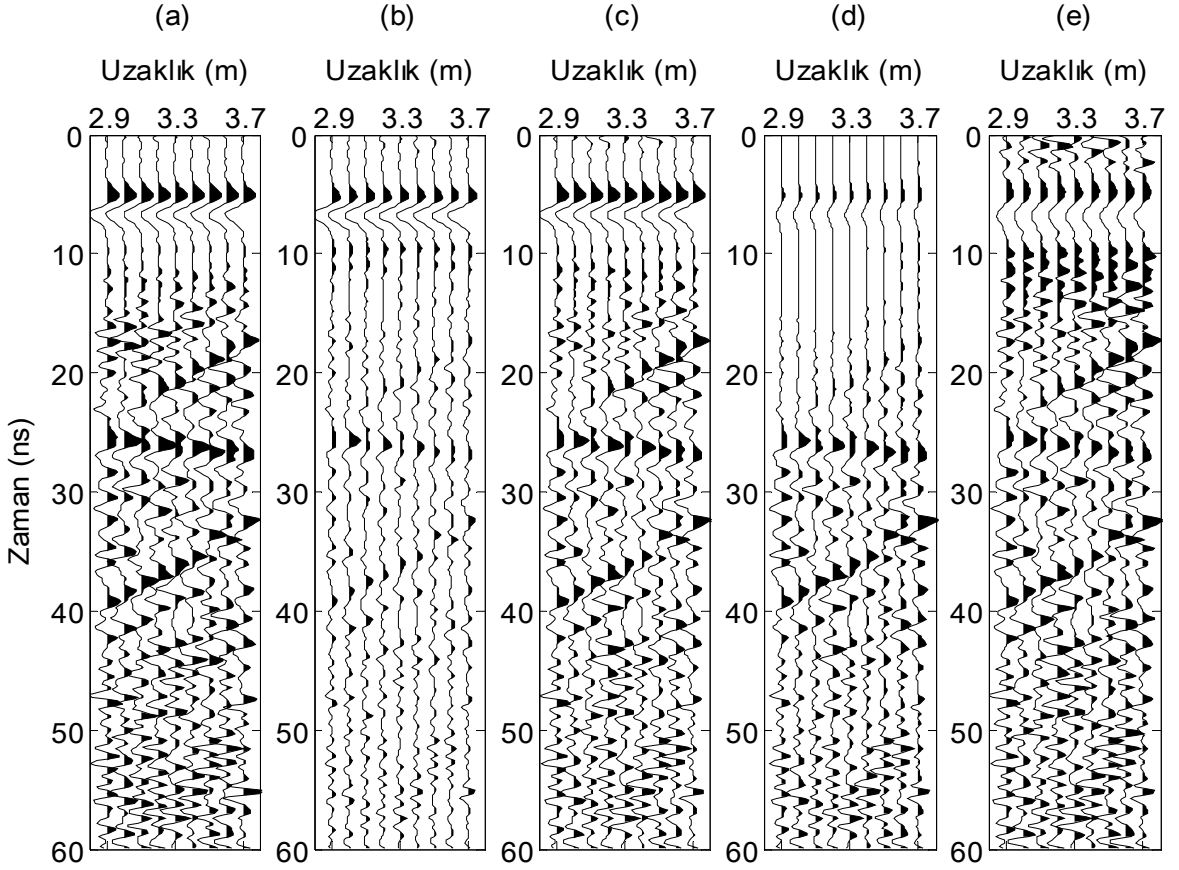
benzer sonuçlar üretirken aynı zamanda ilk gelen dalgalardan sonraki sığ olayları da ortaya çıkarmakta ve ilk gelen dalgaların genliğini bastırmaktadır (Şekil 28(e)).



Şekil 27. YZD uygulaması, (a) yapay bir yer radarı izi, (b) yapay yer radarı izinin YZD kazanç işlevi, (c) kazanç işlevi yardımıyla genlik düzeltilmiş yapay yer radarı izi

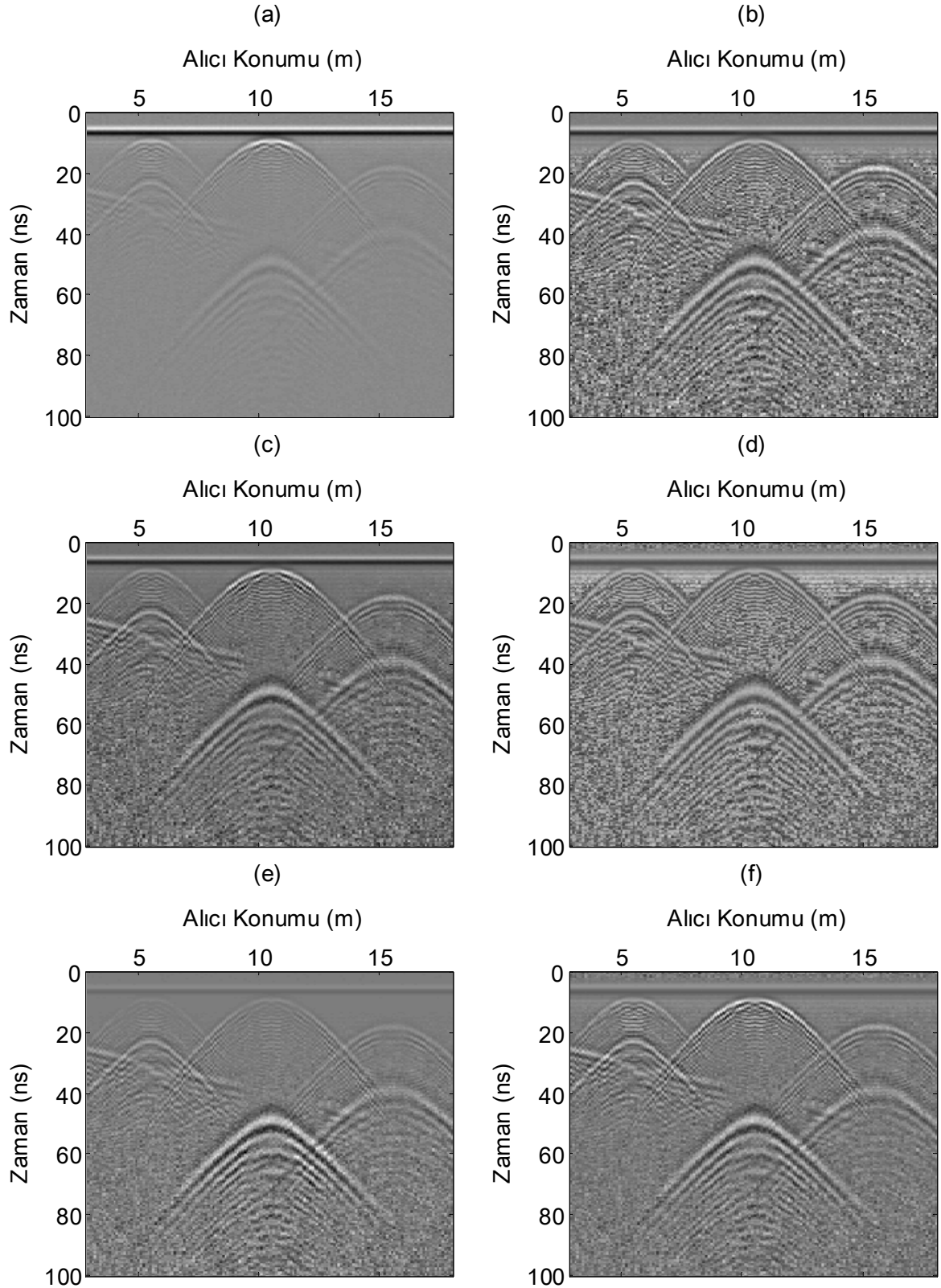
Aynı genlik işlemlerin yapay yer radarı kesitine uygulaması ise Şekil 29'da gösterilmektedir. Şekil 29(a)'da verilen yapay yer radarı kesitine AGC ve PGC uygulanması sonucu rasgele gürültülerde artma olduğu gibi ana hiperbollardan sonraki saçılmalar da güçlenmiştir (Şekil 29(b),(d)). Ayrıca AGC işleminde ilk gelen dalgalardan sonra kesit üzerinde yaklaşık 10 ns'lik bir gölgelenme oluşmaktadır (Şekil 29(b)). rmsAGC işleminin sonucu AGC ve PGC'ye göre daha iyi bir sonuç vermektedir (Şekil 29(c)). SEC işlemi ise kesitte zamansal yöndeki ilk kısımda genlik zayıflarken orta kısımda güçlenmekte ve sona doğru tekrar zayıflamaktadır (Şekil 29(e)). YZD işleminin kesit ölçeğinde en iyi sonucu verdiği gözlenmektedir. Buna göre rasgele gürültüler ile ana hiperbollardan sonra gelen saçılmalar bastırılırken yanal süreksizlikler (özellikle hiperbol tepeleri) güçlenmektedir.

YZD işlevi verilerdeki istenemeyen olayları şişirmemekle birlikte aynı zamanda yanal olayların yitirilmesini engellediği görülmüştür.



Şekil 28. Genlik düzeltmesinin ayrıntısını daha iyi göstermek için seçilen bir veri grubuna uygulanan düzeltmeler, (a) AGC uygulaması, (b) rmsAGC uygulaması, (c) PGC uygulaması, (d) SEC uygulaması, (e) YZD uygulaması

YZD uygulaması ile hava ve yer dalgalarının sığ olaylar üzerindeki etkileri azaltılmıştır. Ayrıca kesit içindeki olmayan olaylar şişirilmemiştir. Kesit daha sade ve temiz hale gelmiştir, olaylar daha net gözlenebilmektedir. YZD işleminin önemli özelliklerinden birisi, AGC yöntemiyle yanal yöndeki değişimler yok edilirken, YZD yöntemiyle bu olayların etkilerinin korunmasıdır. Bunun temel nedeni ise COG verisi olduğunda, yer radarı verilerine ortalama bir iz ile düzeltme yapılmasıdır.



Şekil 29. Yapay yer radarı kesitine değişik yöntemlerle genlik düzeltmesi uygulaması, (a) yapay yer radarı kesiti, (b) pencere boyu 50 olan AGC uygulaması, (c) pencere boyu 50 olan rmsAGC uygulaması, (d) pencere boyu 50 olan PGC uygulaması, (e) en büyük değeri 200 olan SEC uygulaması, (e) YZD uygulaması

YZD işleminin en büyük eksikliği ise kesitlerde renk ayrırlılığınının düşük olmasıdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak kesitlerde analitik işlemlerin (genlik ayarlaması gibi) kullanılması YZD işleminin etkilerinin bozulmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla YZD işleminin etkilerini bozmadan renk ayrırlılığını artırmanın yolu istatistiksel bir yöntem kullanmaktır. Bunun için görüntü işleminde bilinen bir yöntem olan sıklık (histogram) eşitlemesi yapmak iyi bir seçim olmaktadır.

SAMBAT yazılım paketinde YZD işlemini uygulamak için,

$$A1 = okyzd(A1) ;$$

komutunu yazmak yeterli olacaktır.

2.4.1.5.1. YZD Uygulanmış Kesitlerin Sıklık (Histogram) Eşitlemesi

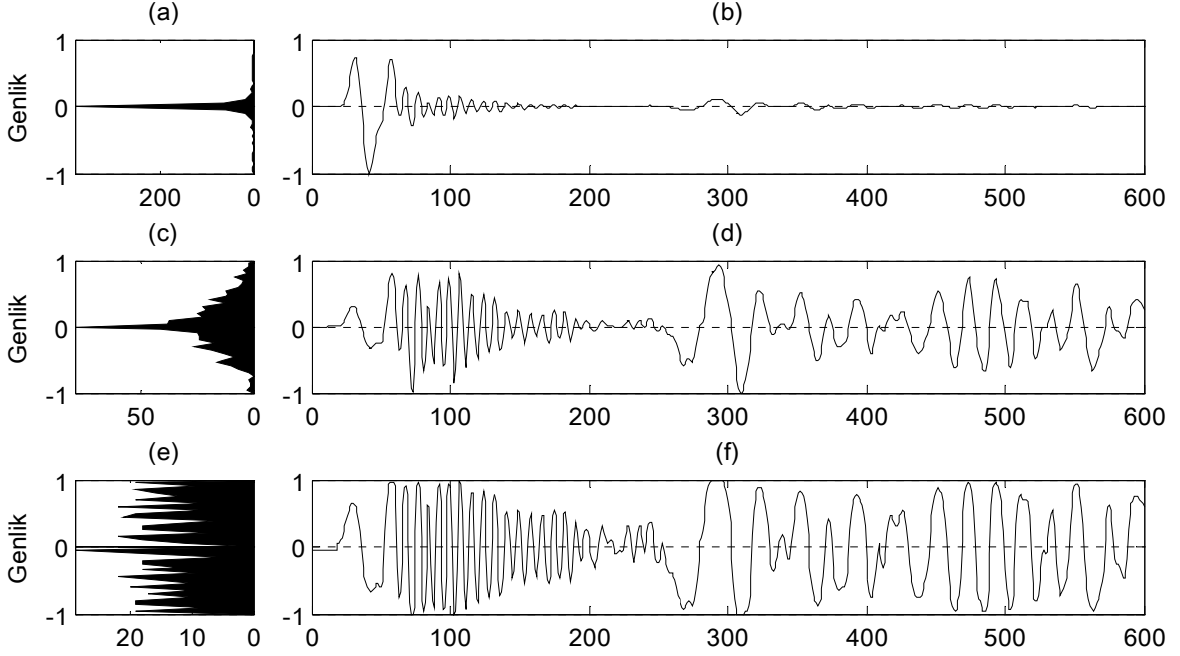
YZD işleminin üstünlüklerine rağmen diğer yöntemlere göre görüntüsel ayrırlılığının iyi olmadığı görülmektedir. Özellikle yanal süreksizliklerin kesitlerde baskın bir genlik değerine sahip olması kesitlerin görüntülenmesinde renk ayrırlılığının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca görüntü ölçeği en küçük ile en büyük genlik değeri arasında bir renk ölçeğine sahipse, görüntünün egemen frekansının sıfır konumunda durmadığı durumda görüntünün parlaklığında da kaymalara neden olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak ve sıklığa bir denge getirmek için aşağıdaki eşitlik yardımıyla sıklık eşitlemesi yapılabilir:

$$\hat{f}(t, x) = \int_0^t h(\tau) d\tau . \quad (42)$$

Eşitlikte, $h(\tau)$ görüntünün sıklığıdır (olasılık yoğunluk işlevi). Görüntünün sıklığı elde etmek için görüntü $[-1, 1]$ aralığında normalleştirilir. Normalleştirilen bu görüntüde seçilen aralığa düşen değerler toplanır ve elde edilen değerler en büyük değer ile normalize edilir. Böylece görüntünün sıklığı (olasılık yoğunluk işlevi) elde edilir.

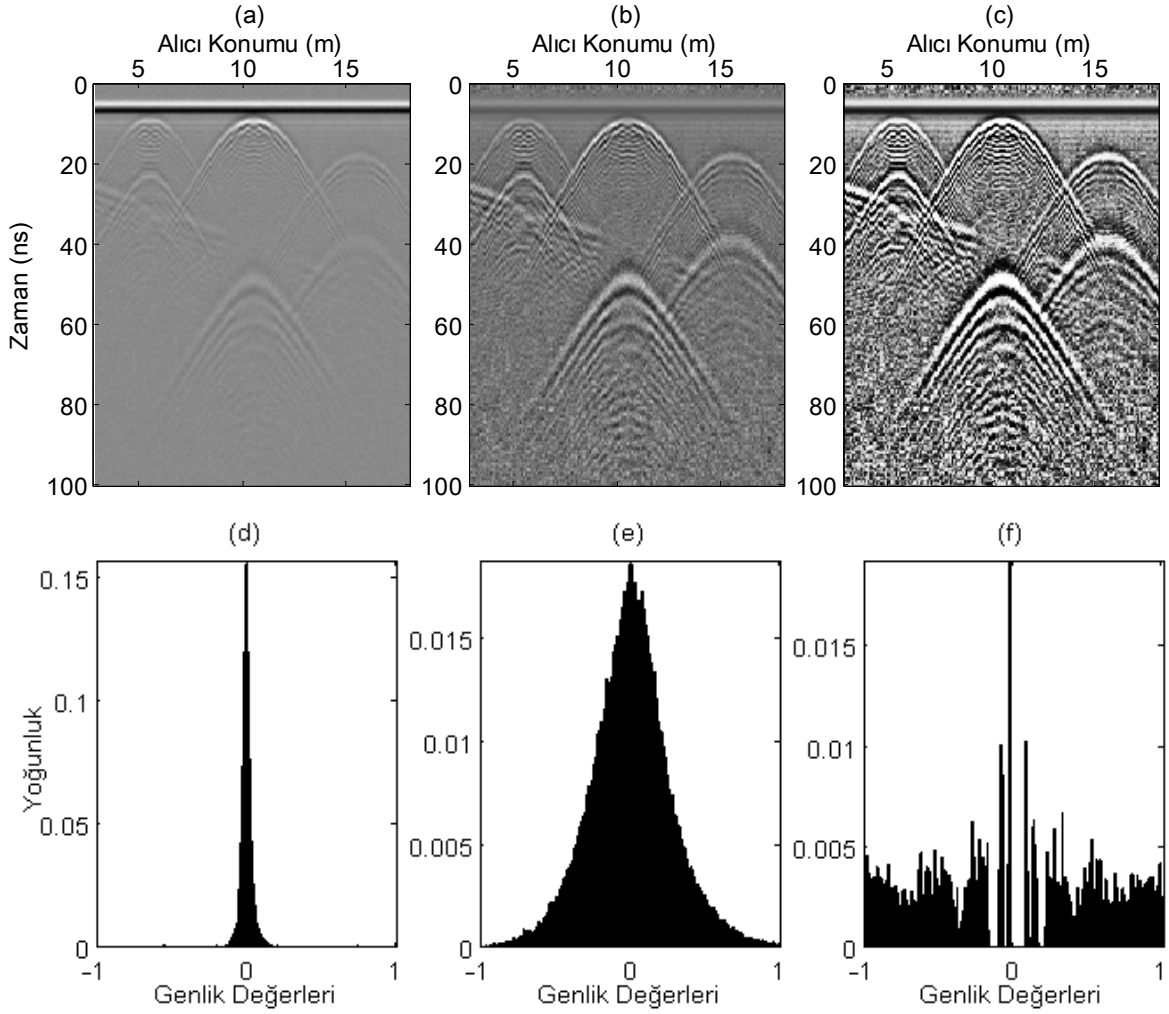
Şekil 30'da sıklık eşitlemesinin yapay bir yer radarı izindeki etkisi gösterilmiştir. YZD uygulandıktan sonra yapay yer radarı izinin normalleştirilmiş olasılık yoğunluk işlevi incelendiğinde yoğunluk değerlerinin üçgensel bir dağılıma benzediği görülmektedir (Şekil 30(c)). Bu ise görüntünün ayrırlılığının daha da azalmasına neden olmaktadır. Elde edilen kesite aritmetik bir işlem uygulamak sonucu değiştirmeyecektir. Çünkü ilgilenilen genlik göreceli genliktir. Dolayısıyla görüntü ayrırlılığını artırmak için üçgensel dağılıma sahip iz tüm genlik değerlerine dağıtılmıştır (Şekil 30(e)). Yapılan uygulamadan sonra

ayrıklık artarken aynı zamanda rasgele gürültülerin daha baskın bir duruma geldiği görülmektedir (Şekil 30(f)).



Şekil 30. Sıklık eşitleme uygulaması, (a) (b)'deki izin olasılık yoğunluk işlevi, (b) ham yapay yer radarı izi, (c) (d)'deki izin olasılık yoğunluk işlevi, (d) YZD uygulanmış yapay yer radarı izi, (e) (f)'deki izin olasılık yoğunluk işlevi, (f) YZD uygulanmış yapay yer radarı izine sıklık eşitlemesi uygulanmış iz

Şekil 31'de YZD uygulandıktan sonra yapay yer radarı kesitindeki sıklık göstergelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekil 31(e)'de YZD uygulandıktan sonra kesitteki sıklık değişiminin üçgensel bir dağılıma benzediği görülmektedir. Bu ise görüntünün hem ayrıklılığında hem de parlaklığında azalma olduğunu göstermektedir. Şekil 31(c)'de ise kesitin parlaklığı ve ayrıklılığının arttığı görülmektedir. Buna rağmen rastgele gürültülerde ve ilk gelen dalgaların genliklerinde bir artma görülmektedir. Bu ise yönteme yeni veri işlem aşamalarını eklenmesine neden olmaktadır.



Şekil 31. Yapay yer radarı kesitine sıklık eşitleme uygulaması, (a) yapay yer radarı kesiti, (b) YZD uygulanmış yapay yer radarı kesiti, (c) YZD uygulanmış yapay yer radarı kesitinin sıklık eşitlenmiş kesiti, (d) (a) kesitinin olasılık yoğunluk işlevi, (e) (b) kesitinin olasılık yoğunluk işlevi, (f) (c) kesitinin olasılık yoğunluk işlevi

2.4.2. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Sayısal Süzgeçler

Süzgeçler verilerde istenmeyen olayları atmak için kullanılır. Uygulandığı yöne göre veya uygulama tekniğine göre birçok çeşidi mevcuttur. Hatta uygulandığı ortama göre de çeşitlilik göstermektedir.

2.4.2.1. Kayan Ortalama Süzgeçleri

Kayan ortalama süzgeçlerinde öncelikle bir pencere seçilir ve bu pencere içine düşen verilerin ortalaması alınır. Ortalaması alınan bu değer pencerenin ortasındaki değer yerine konur. Daha sonra pencere bir örnek kaydırılır aynı işleme devam edilir. Eğer verilen yönde örnek bitmişse kesitin diğer örneklerine geçilir. Süzgeç matematiksel olarak

$$\hat{f}[m] = \frac{1}{W} \sum_{n=m-W/2}^{m+W/2} f[n] \quad (43)$$

şeklinde gösterilmektedir. Burada W pencere boyunu göstermektedir.

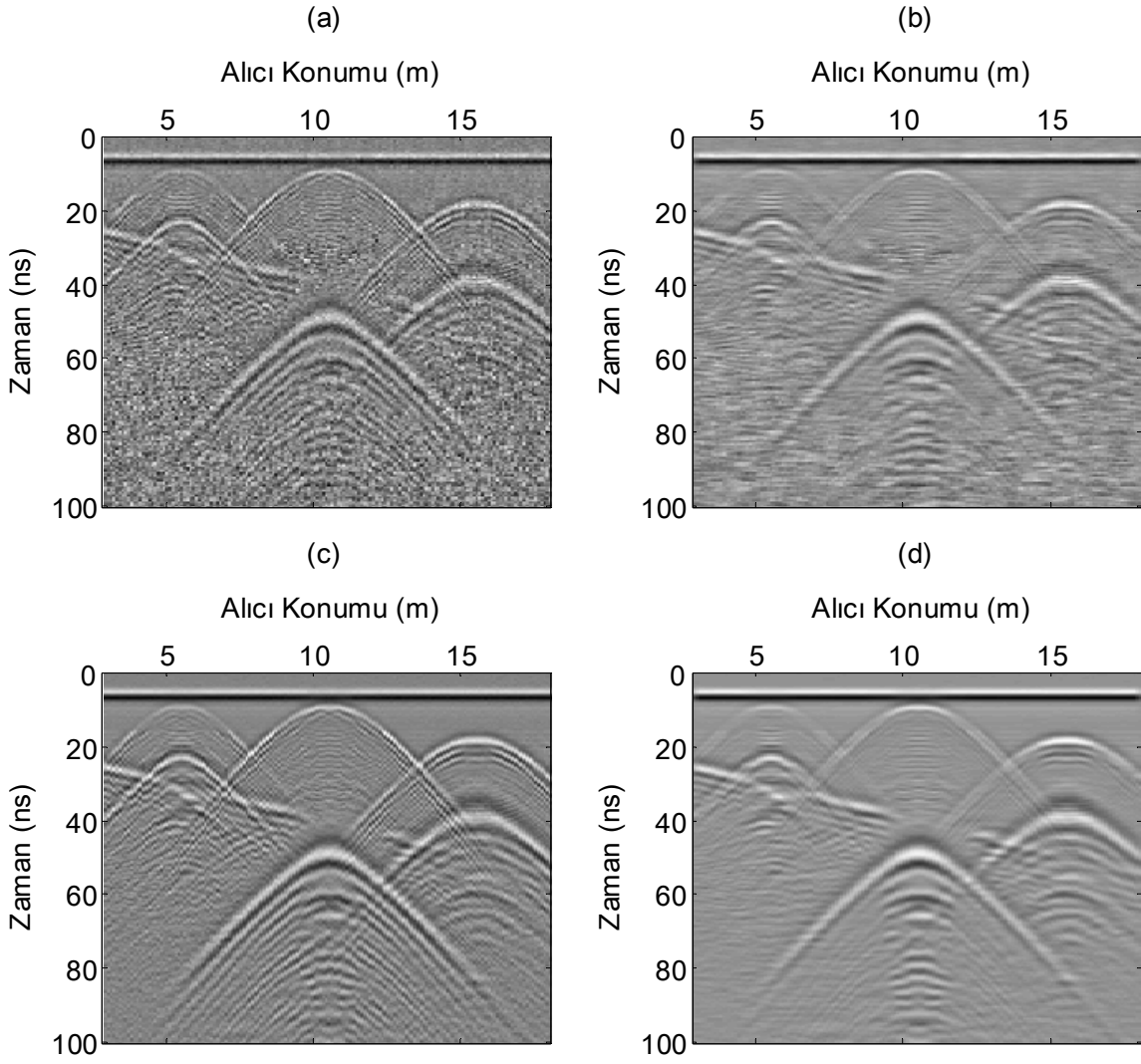
Kayan ortalama süzgeci zamansal yönde, uzaysal yönde veya zamansal-uzaysal yönde uygulanabilir. Bu süzgeç verideki yüksek frekanslı olayları süzmek için kullanılır.

Kayan ortalama süzgecinin, yapay veri üzerindeki uygulamaları Şekil 32 ve Şekil 33'te gösterilmiştir. Bu uygulama için daha önce hesaplanmış yapay veriye rasgele gürültü eklenmiştir. Yapılan süzgeçleme sonucu elde edilen kesitlerde yüksek frekanslı olayların süzüldüğü görülmektedir. Üç yönde pencere boyu sabit alındığı halde uzaysal yöndeki veri sayısı zamansal yöndeki veri sayısından daha az olduğu için uzaysal yönde yapılan süzgeçlemede daha geniş aralıktaki yüksek frekanslar elenmiştir. Pencere boyunun artması, hesaplama zamanını artırırken, daha fazla yüksek frekansların elenmesine neden olmuştur.

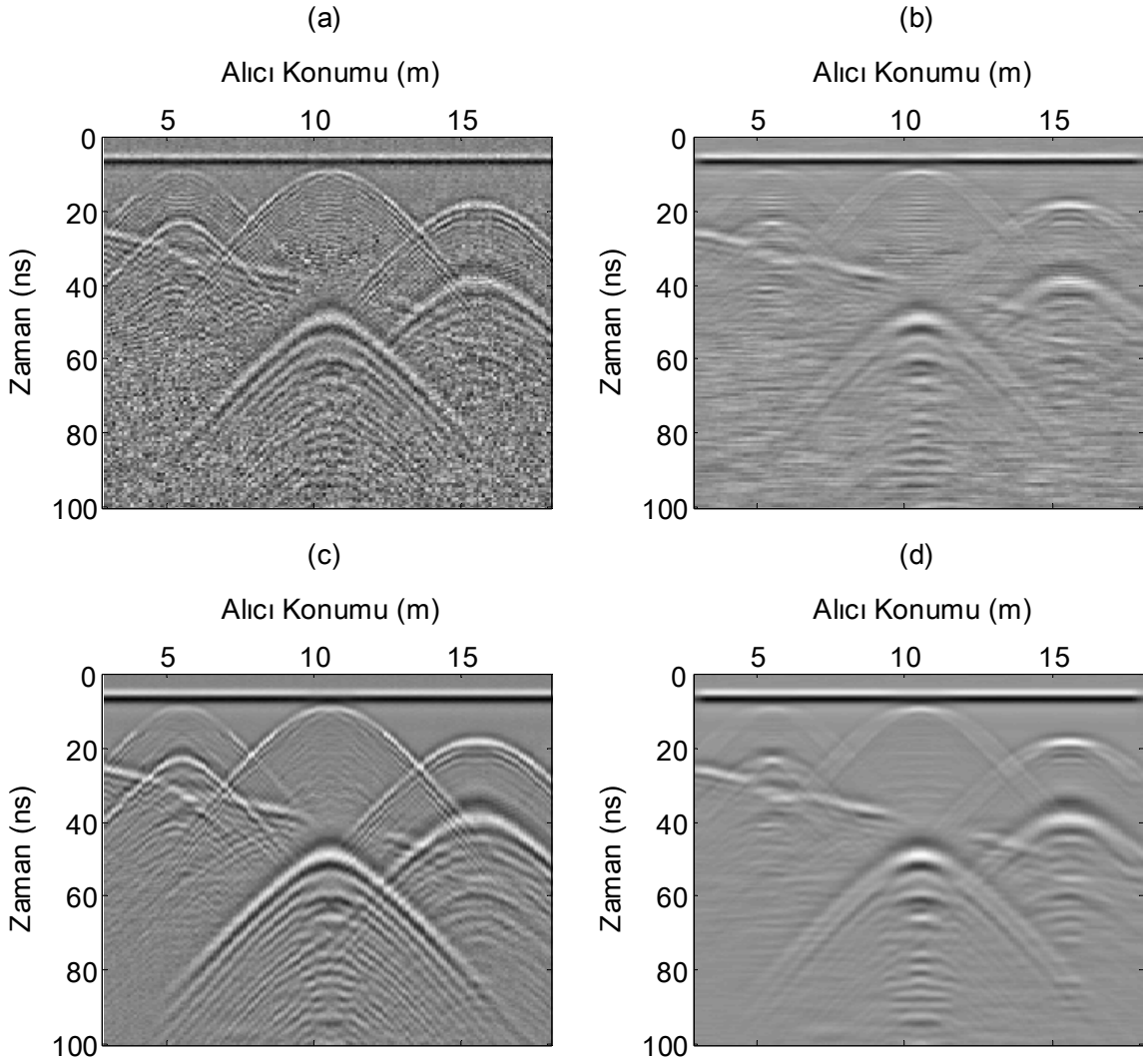
Kayan ortalama süzgeç işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir.

$$A1 = \text{okave}(A1, 5, 1);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, 5 pencere boyu ve 1 ise işlemin uygulanacağı yönü göstermektedir.



Şekil 32. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 5 olan kayan ortalama süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanıl yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama süzgeci uygulaması



Şekil 33. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 9 olan kayan ortalama süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama süzgeci uygulaması

2.4.2.2. Kayan Ortalama Çıkarma Süzgeçleri

Bu süzgeç, kayan ortalama süzgecinde olduğu gibidir. Yalnız bu süzgeçte, elde edilen ortalama değer ($g[m]$), pencerenin ortasındaki değerden ($f[m]$) çıkarılır. Süzgeç matematiksel olarak,

$$g[m] = \frac{1}{W} \sum_{n=m-W/2}^{m+W/2} f[n] \quad (44)$$

$$\hat{f}[m] = f[m] - g[m] \quad (45)$$

şeklinde gösterilmektedir. Burada W pencere boyunu göstermektedir.

Bu süzgeç ile daha çok verideki düşük frekanslı olaylar yok edilir. Pencere boyu ne kadar küçük seçilirse süzülen frekans aralığı o kadar genişler.

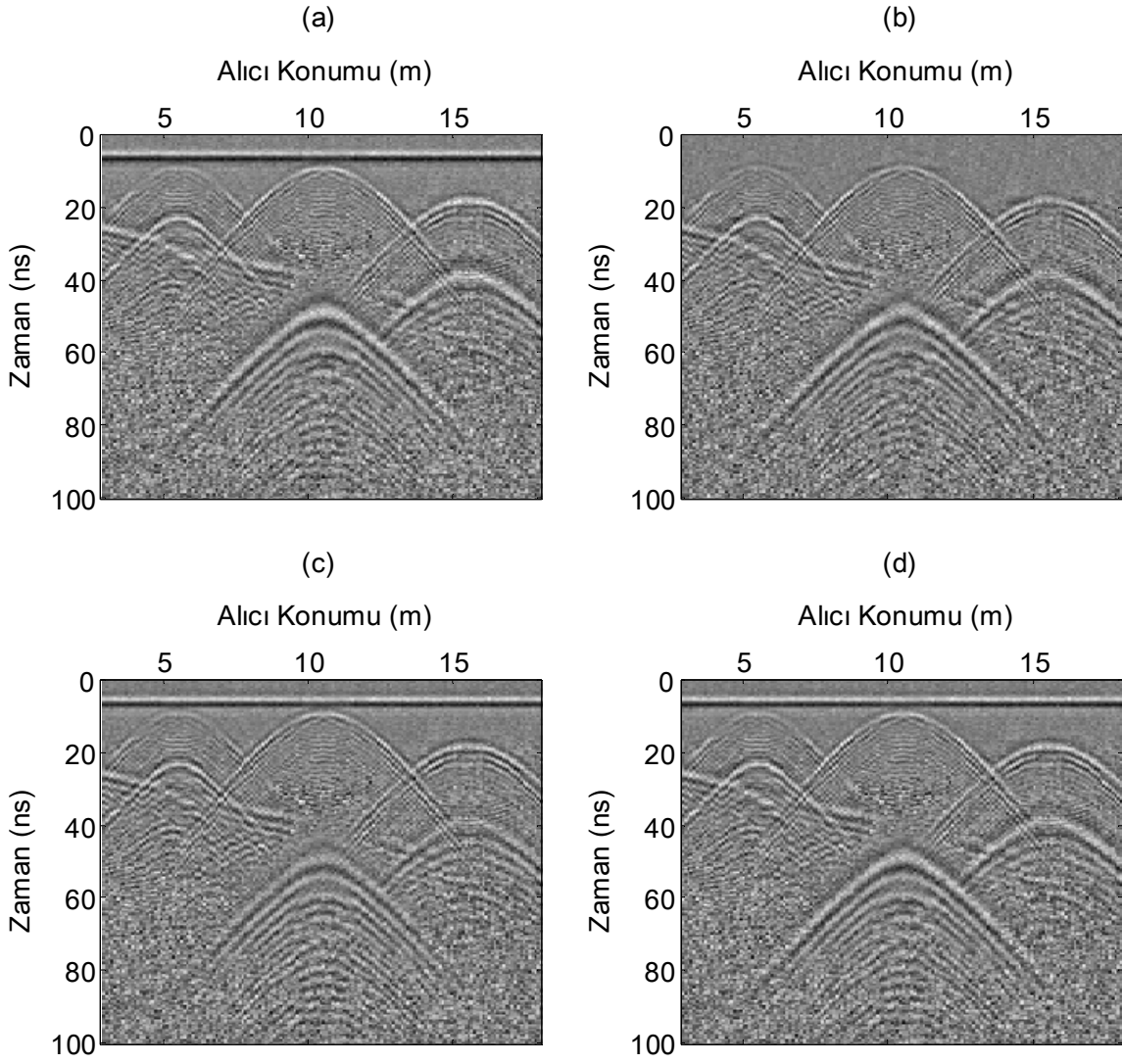
Kayan ortalama çıkarma süzgecinin, yapay veri üzerindeki uygulamaları Şekil 34 ve Şekil 35'te gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde alçak frekanslı olayların süzüldüğü görülmektedir. Özellikle (b) şekillerinde yanal olayların yok edildiği açık ve temiz bir şekilde görülmektedir. (c) şekillerinde ise hiperbolların tepe noktalarında zayıflama ile karşılaşmaktadır. Pencere boyunun artması, hesaplama zamanını artırırken, (b) şekillerinde hiperbol tepeleri güçlenmelere ve (c) şekillerde hiperbolların tepelerinde dağılmalara neden olmuştur.

Kayan ortalama çıkarma süzgeç işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir.

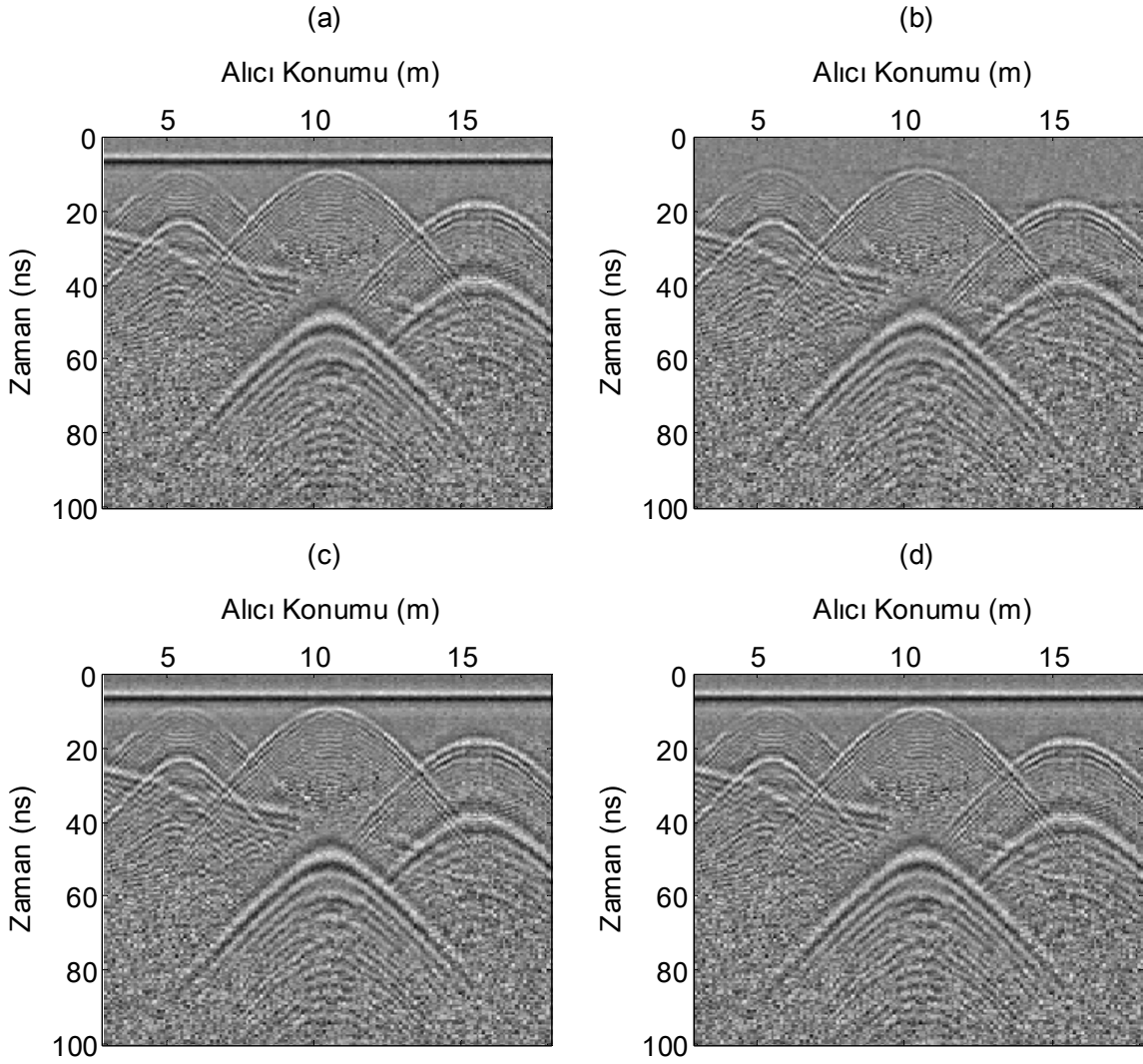
$$A1 = \text{okremave}(A1, 50, 1);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, 50 pencere boyu ve 1 ise işlemin uygulanacağı yönü göstermektedir.

Kayan ortalama çıkarma süzgeci, pencere ortasındaki değerden pencere ortalamasının çıkarılmasıyla elde edilmesi, bir anlamda kısmi varyans süzgeci olarak da adlandırılabilir.



Şekil 34. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 25 olan kayan ortalama çıkarma süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması

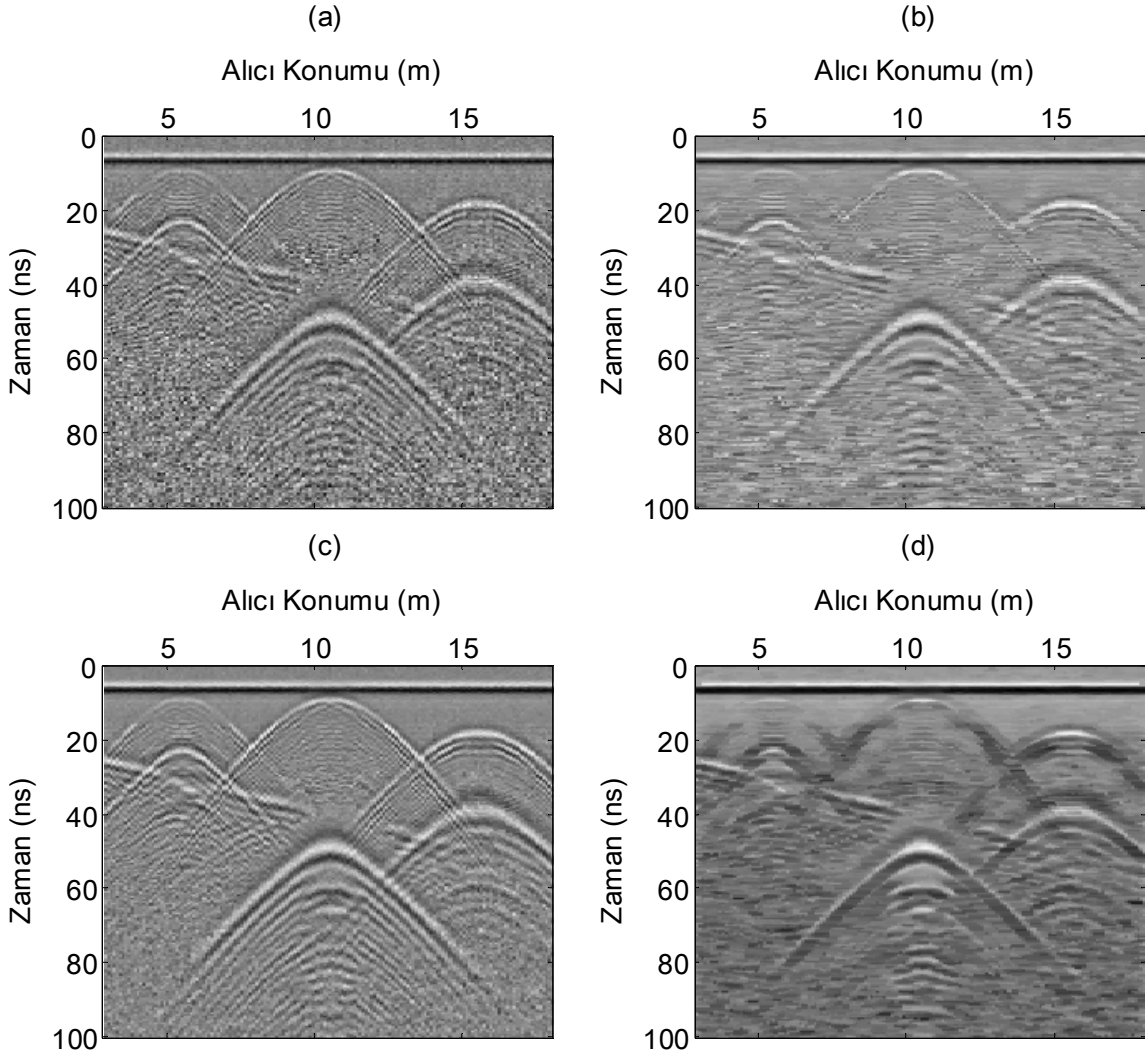


Şekil 35. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 50 olan kayan ortalama çıkarma süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (c) düşey yönde kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması, (d) iki boyutlu kayan ortalama çıkarma süzgeci uygulaması

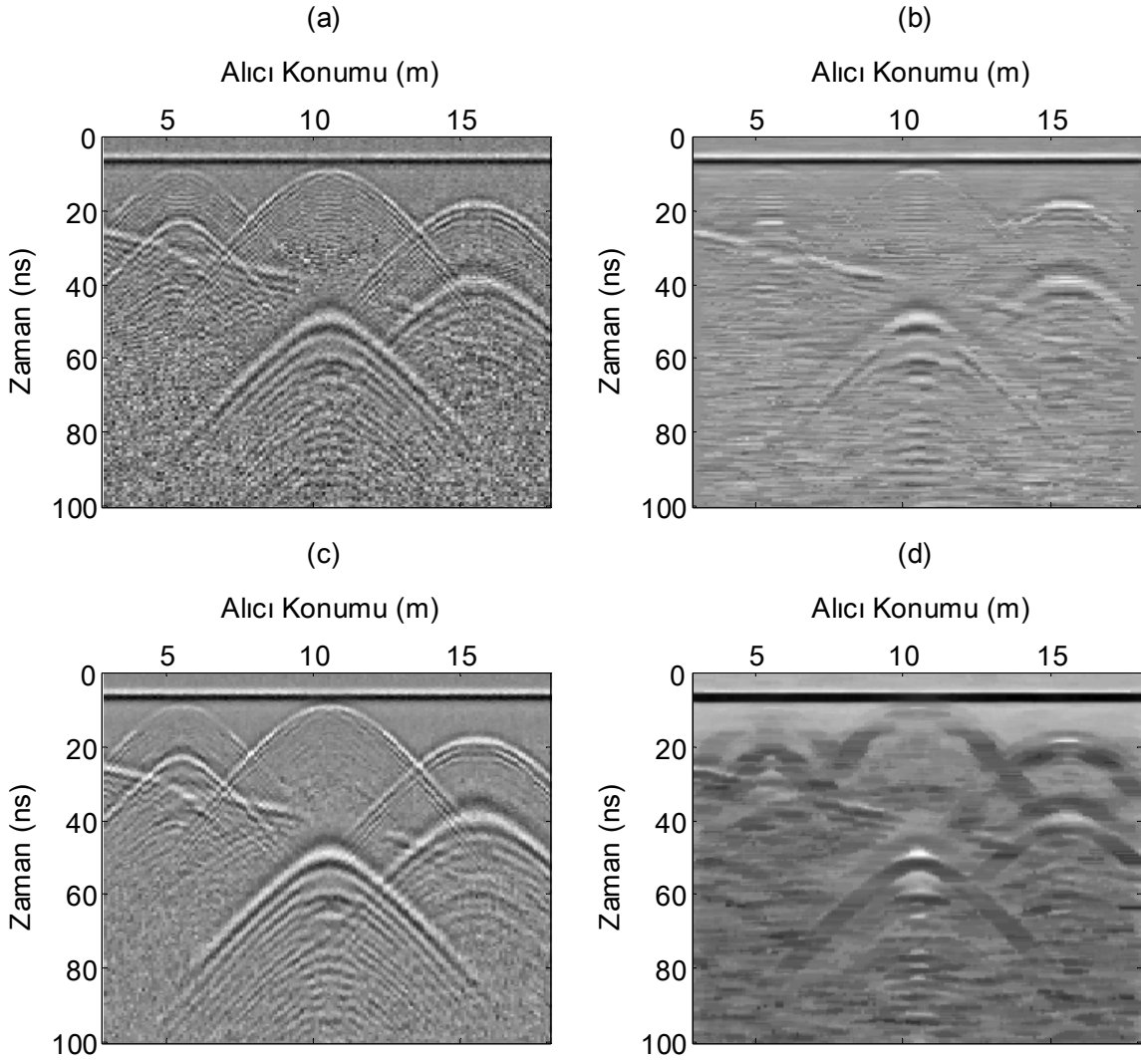
2.4.2.3. Ortanca (Median) Süzgeçleri

Ortanca süzgeci, kayan ortalama süzgecinde olduğu gibi bir pencere seçilir ve pencere içerisine düşen değerler sıraya dizilerek ortadaki değeri seçilir. Bu değer pencerenin ortasındaki değerin yerine konur. Ortanca süzgeci, pencere içindeki en küçük veya en büyük değerin seçilmesiyle de en büyük ve en küçük süzgeçleri yapılabilir. Ortanca süzgecinin en önemli üstünlüğü rasgele ve yüksek frekanslı gürültüleri yok etmesidir. Uygulamada zamansal, uzaysal veya zamansal-uzaysal yönlerde uygulanabilir.

Ortanca süzgecinin, yapay veri üzerindeki uygulamaları Şekil 36 ve Şekil 37'te gösterilmiştir. Süzgeçleme işlemi sonucu elde edilen şekillerde yüksek frekanslı rasgele olayların süzüldüğü görülmektedir. Özellikle (c) şekillerinde yanal olayların güçlendirildiği açıkça görülmektedir. Böylelikle izden ize süreklilik artmaktadır. (b) şekillerinde ise ana hiperbollardan sonraki titreşimlerin süzgeçleme ile azaltıldığı görülmektedir. Pencere boyunun artması, hesaplama zamanını artırırken, (b) ve (d) kesitlerde fazla bozulmaya neden olmuştur.



Şekil 36. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 5 olan ortanca süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde ortanca süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde ortanca süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu ortanca süzgeç uygulaması



Şekil 37. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine pencere boyu 9 olan ortanca süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde ortanca süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde ortanca süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu ortanca süzgeç uygulaması

Ortanca süzgeç işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir.

$$A1 = \text{okmedian}(A1, 5, 1);$$

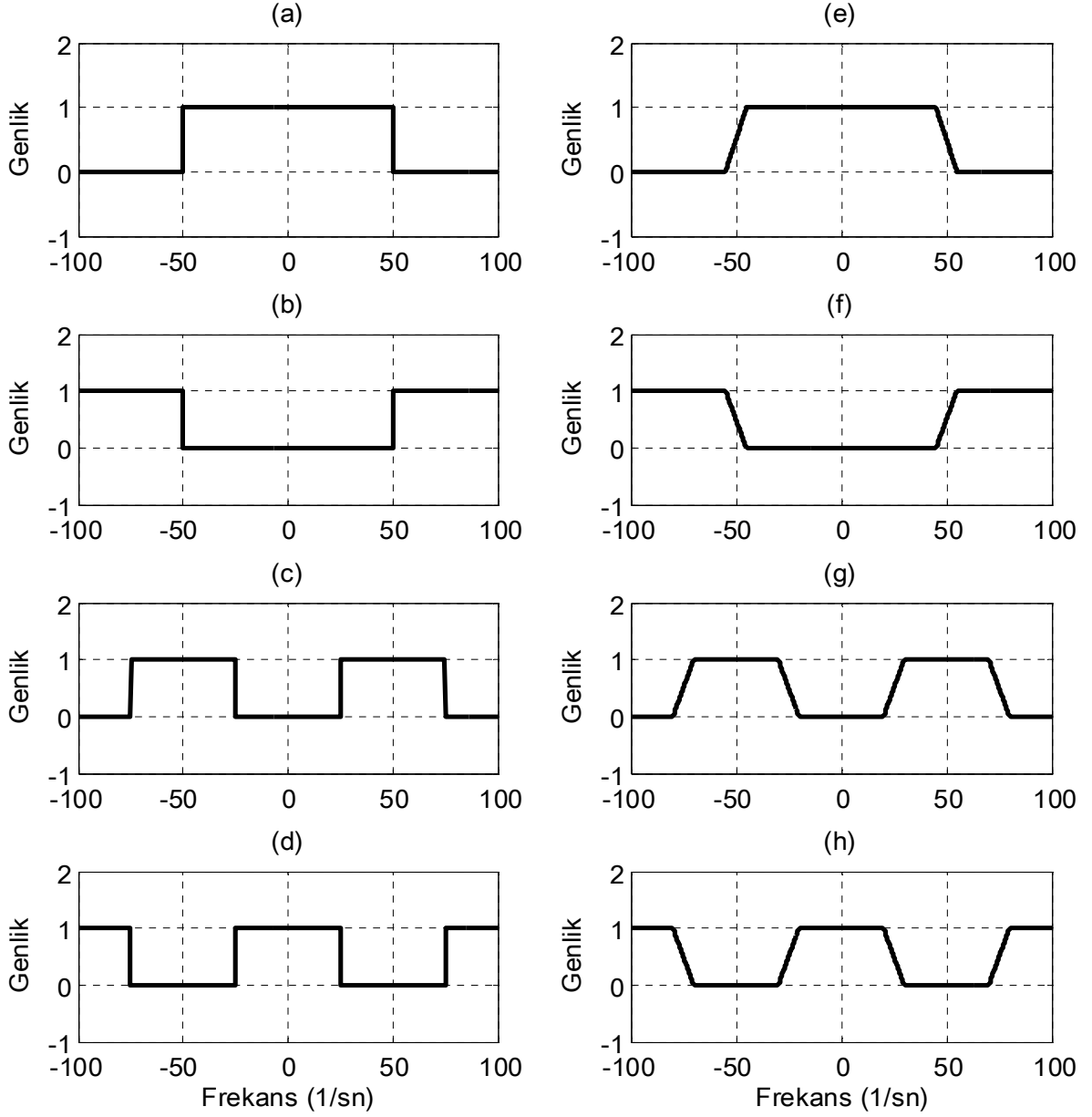
Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, 5 pencere boyu ve 1 ise işlemin uygulanacağı yönü göstermektedir.

2.4.2.4. Frekans Süzgeçleri

Frekans süzgeçleri, zaman ve frekans ortamında olmak üzere iki değişik şekilde uygulanabilir. Özellikle yer radarı verilerinde zamansal yönde uygulandığı gibi uzaysal yönde de uygulanabilir. Frekans süzgeçleri, verideki belli frekansları geçiren ve belli frekansları kesip atan bir işlemdir. Frekans süzgeç işleci, Frekans (Genlik Spektrumu) ortamında tasarlanır, istenirse frekans ortamında veriyle çarpılarak veya istenirse zaman ortamına dönülüp veri ile evirişime sokularak yapılır. Şekil 38'de, frekans ortamında tasarlanmış ideal süzgeçler görülmektedir. İdeal bir süzgeç teoride normal işlerken pratikte uygulama şansı olmamaktadır. Çünkü örnekleme aralığından dolayı, ideal süzgeç işlecinde küçük oynamalar olmaktadır. Bu oynamalar veride istenmeyen gürültülere neden olmaktadır. Dolayısıyla, kare dalga şeklinde ideal süzgeçleri, yamuk dalga şekline çevrilirse, küçük oynamalardan büyük oranda kurtulunabilir. Kare dalga veya yamuk dalga süzgeci uygulamaları sıfır fazlı bir frekans süzgeci olarak adlandırılmaktadır. Frekans süzgeç işleci düzenlerken sadece pozitif frekansları değil aynı zamanda negatif frekansları da göz önünde bulundurmak gerekir. Pozitif frekanslar için tasarlanan işleci simetrik olarak negatif süzgeçler için de tasarlamak gerekir. Alçak geçiren süzgeç, düşük frekanslı olayları alıp diğerlerini atan bir frekans süzgeç çeşididir. Yüksek geçiren süzgeç, yüksek frekanslı olayları alıp diğerlerini atan bir frekans süzgecidir. Bant geçiren süzgeç, belli bir frekans aralığını alıp bu aralık dışındakileri atan bir süzgeçtir. Bant durduran süzgeci, belli bir frekans aralığını kesip atan bir süzgeç çeşididir. Yamuk dalga şeklinde tasarlanan sıfır fazlı frekans süzgeç işleci, uygulamada sık kullanılan basit bir yöntemdir. Bazen değişik pencere çeşitleri kullanılarak da frekans süzgeci elde edilebilir. Sıfır fazlı dalgacık sadece frekans ortamında değil aynı zamanda zaman ortamında da uygulanabilir. Yalnız buradaki fark, frekans ortamında tasarlanan bir süzgeç işlecinin zaman ortamında veri ile evirişime sokulması gerekir veya zaman ortamında *sinc* işlevinin değişik biçimleriyle oluşturulan zaman ortamlı ideal süzgeç işleçleri, veri ile evirişime sokulabilir.

Zaman serilerine frekans ortamında uygulanan süzgeçlerin dışında, uzay serilerine de dalga sayısı ortamında süzgeç tasarlanabilir. Buna benzer uygulamalar görüntü işleme tekniklerinde kullanılmaktadır.

Frekans süzgeç çeşitleri sadece sıfır fazlı süzgeçler değil aynı zamanda fark denklemi kullanarak da yapılan zaman ortamlı frekans süzgeçleri vardır.

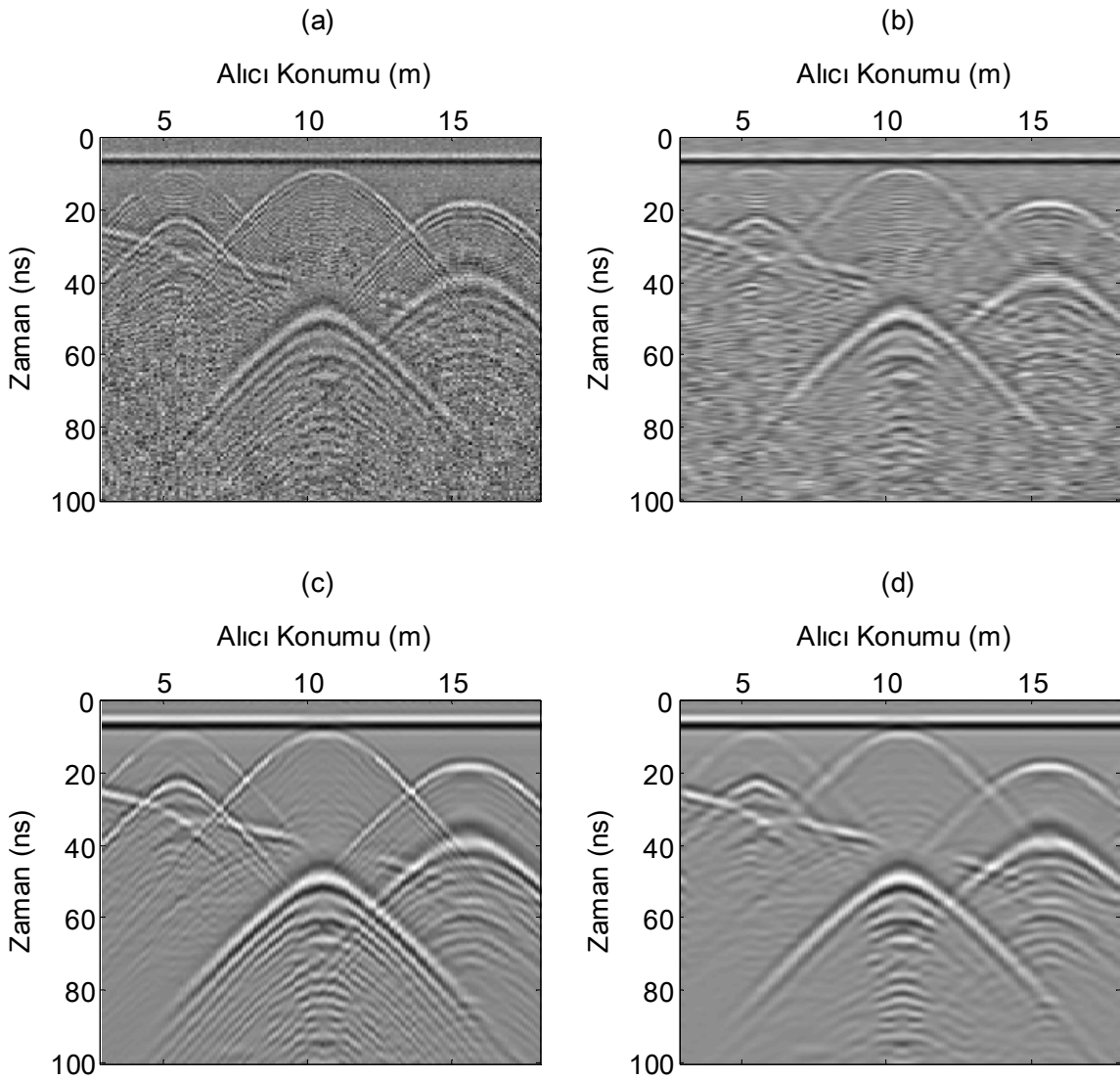


Şekil 38. Frekans ortamında sıfır fazlı ideal süzgeç çeşitleri ve yeniden düzenlenmiş ideal süzgeç çeşitleri, (a) ideal alçak geçiren, (b) ideal yüksek geçiren, (c) ideal bant geçiren, (d) ideal bant durduran, (e) yeniden düzenlenmiş ideal alçak geçiren, (f) yeniden düzenlenmiş ideal yüksek geçiren, (g) yeniden düzenlenmiş ideal bant geçiren, (h) yeniden düzenlenmiş ideal bant durduran

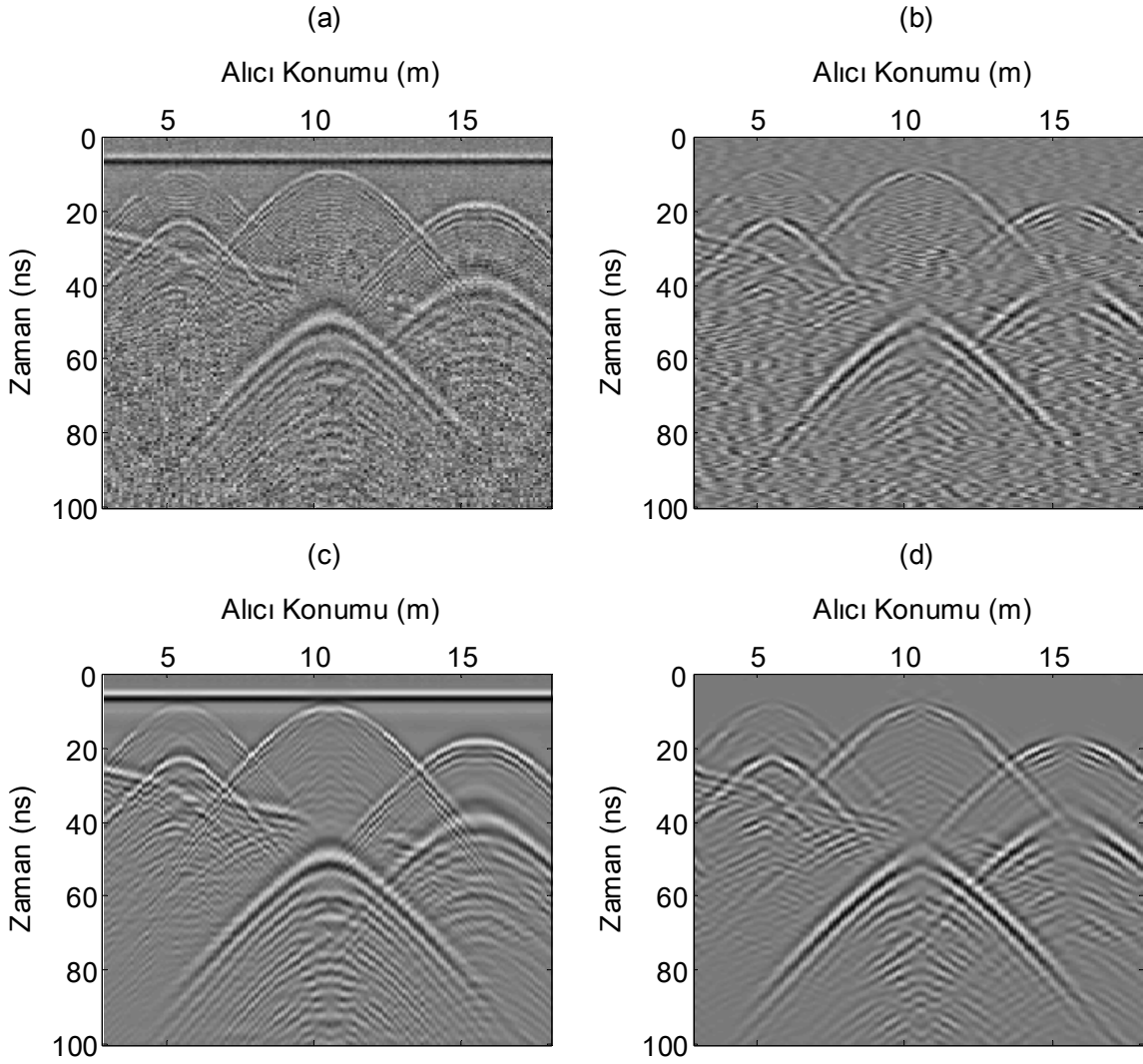
Şekil 39'da yapay yer radarı kesitine alçak geçiren bir süzgeç uygulaması görülmektedir. Değişik yönlerde uygulanan alçak geçiren süzgeçlerin hepsinde yüksek frekanslı tüm gürültüler elenmiştir. Şekil 39(b)'de uygulanan süzgeç, rasgele gürültüleri temizlerken aynı zamanda hiperbolları da zayıflatmıştır.

Şekil 40'da yapay yer radarı kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulaması görülmektedir. Değişik yönlerde uygulanan bant geçiren süzgeçler hem yüksek frekanslı gürültüleri elerken hem de uyumlu gürültüleri elemiştir. Şekil 40(b) ve (d)'de uygulanan süzgeç, rasgele gürültüleri temizlerken aynı zamanda doğrusal yatay olayları da temizlemiştir. Yalnız, Şekil 40(b) isteneni vermekten uzak gözükmemektedir.

Şekil 41'de yapay yer radarı kesitine yüksek geçiren bir süzgeç uygulaması görülmektedir. Değişik yönlerde uygulanan yüksek geçiren süzgeçler kesitlerin gürültü içeriklerini ortaya koymaktadır.



Şekil 39. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine alçak geçiren bir frekans süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde alçak geçiren süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde alçak geçiren süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu alçak geçiren süzgeç uygulaması

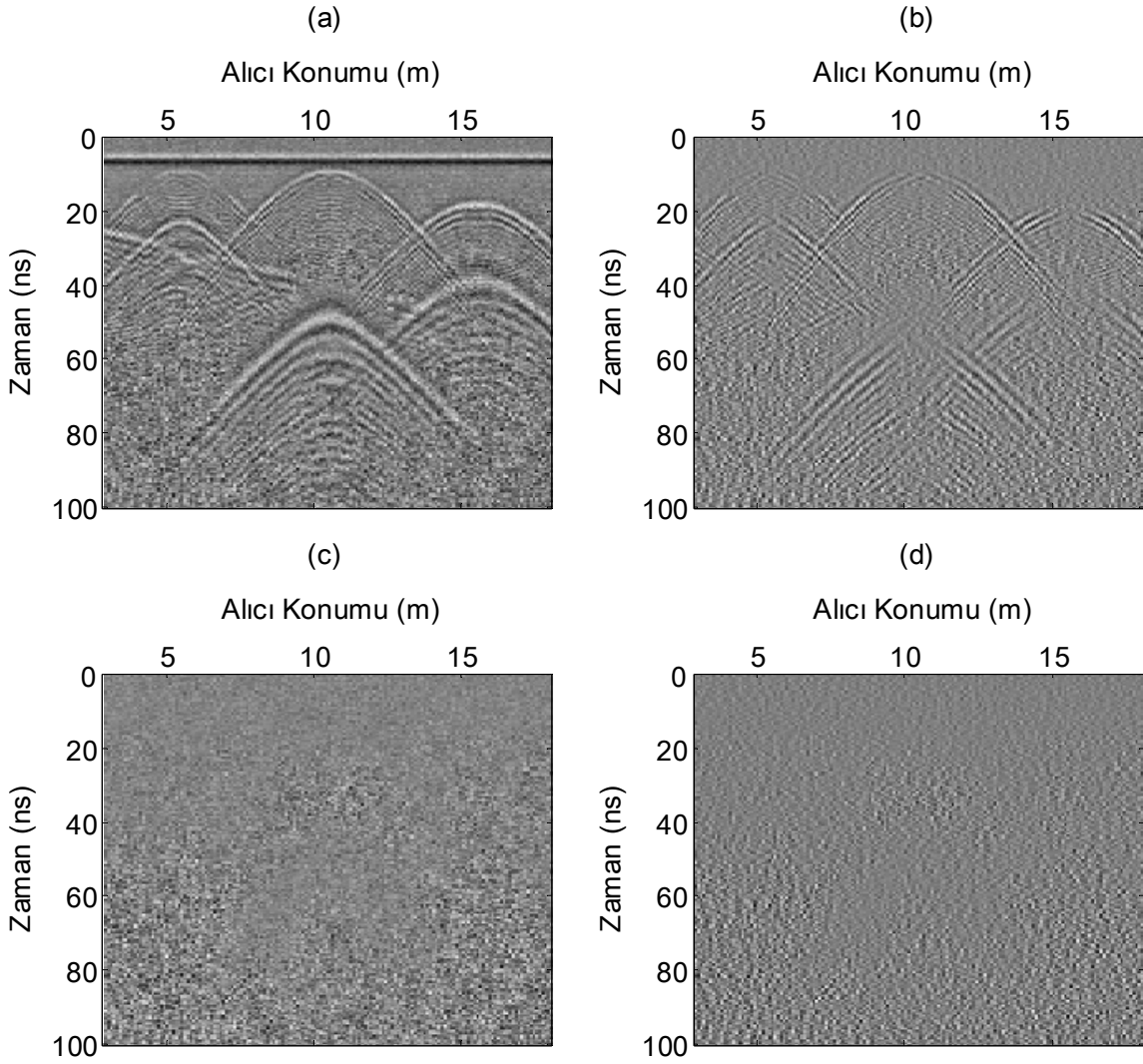


Şekil 40. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine bant geçiren bir frekans süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanıl yönde bant geçiren süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde bant geçiren süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu bant geçiren süzgeç uygulaması

Frekans süzgeç işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir.

```
A1 = okfilter(A1, [0.1 0.4 0.6 0.8], [1 1 0 0], 1)
```

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, [0.1 0.4 0.6 0.8] değerleri Ny cinsinden kesme frekanslarını, [1 1 0 0] değerleri ise kesme frekanslarındaki genlikleri ve 1 ise işlemin uygulanacağı yönü göstermektedir. Dolayısıyla bu genliklerin değerlerini değiştirerek alçak, yüksek ve bant geçiren süzgeçler aynı işlemlerle yapılabilmektedir. Yalnızca dört tane değil istendiği kadar kesme frekansı seçilebilir.



Şekil 41. Gürültü eklenmiş yapay yer radarı kesitine yüksek geçiren bir frekans süzgeç uygulaması, (a) gürültülü AGC uygulanmış yapay yer radarı kesiti (b) yanal yönde yüksek geçiren süzgeç uygulaması, (c) düşey yönde yüksek geçiren süzgeç uygulaması, (d) iki boyutlu yüksek geçiren süzgeç uygulaması

2.4.3. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Dönüşümler

Dönüşümler, genelde matematikte toplamsal dönüşümler diye geçmektedir. Dönüşümler bir ortamdan başka bir ortama geçmek için kullanılır (örneğin zaman ortamından frekans ortamına geçmek gibi). Bir verideki olaylar bir ortamdan başka bir ortama geçildiğinde daha açık görülebilmekte ve işleme sokulabilmektedir. Dönüşümler Jeofizikte pek çok uygulamada kullanıldıkları için bu bölümde birçok dönüşüm çeşidi ele alınarak irdelenmiştir.

Aşağıdaki uygulamalarda, daha önce hesaplanan (Şekil 18) bir yanal düz olay, bir eğimli düz olay ve üç saçılma hiperbolu içeren yapay bir yer radarı kesiti ele alınmış ve dönüşümlerin bu kesit üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

2.4.3.1. Frekans Dalga Sayısı (FK) Dönüşümü

Frekans-dalga sayısı dönüşümü aynı zamanda iki boyutlu Fourier dönüşümü olarak da isimlendirilir. Frekans-dalga sayısı dönüşümü, genelde zaman-uzaklık ortamında görülmeyen olayları daha iyi görebilmek ve zaman-uzaklık ortamında uygulanamayan bazı veri işlem tekniklerini burada daha rahat uygulayabilmek için kullanılır. İki boyutlu Fourier dönüşümünün matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$F(w, k) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(t, x) e^{-j(wt+kx)} dt dx \quad (46)$$

$$f(t, x) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(w, k) e^{j(wt+kx)} dw dk . \quad (47)$$

Burada $f(t,x)$ zaman-uzaklık ortamındaki işlev, $F(w,k)$ ise frekans-dalga sayısı ortamındaki işlevdir. Sürekli fonksiyon şeklinde tanımlanan (46) ve (47) eşitliklerinin, gerçekte ayrık olan verilere uygulanamaz. Bunun yerine Fourier dönüşüm çiftlerini ayrık düzlemde kullanmak gerekir. Fourier dönüşüm çifti uygulamada çok sık kullanılan bir tekniktir. Burada w açısal frekansı, k açısal dalga sayısını, t zamanı ve x ise uzaklığı ifade etmektedir. Frekans ve dalga sayısının ortamın hızıyla olan ilişkisi aşağıdaki gibi verilmektedir [9],

$$v = \frac{w}{k} . \quad (48)$$

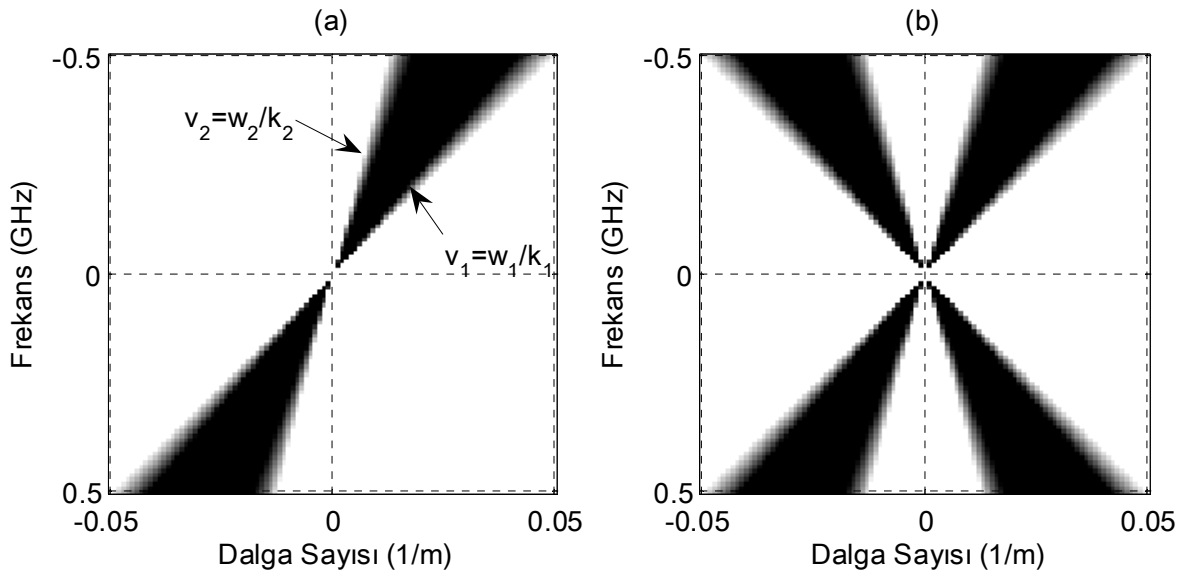
Buradan da görüldüğü gibi frekans dalga sayısı oranı ilgili olayların eğimini veya hızını vermektedir. Dolayısıyla belli eğimler arasındaki bölgeyi temizlemek aslında o bölgeye düşen hızları süzmektir. Böylelikle iki boyutlu Fourier ortamında (FK) eğim süzgeci kullanmak hız süzgeci uygulamak anlamına gelmektedir.

Şekil 42(a)'daki süzgeç işleci frekans-dalga sayısı ortamındaki verilerle çarpılarak geri iki boyutlu Fourier dönüşümü uygulanırsa verilerdeki v_1 ve v_2 hızları arasındaki tüm hızlar verilerden temizlenebilir (yalnız pozitif uzaklıklarda). Şayet negatif uzaklıklardaki hızlar yok etmek istenirse aynı süzgeç işlecinin hızlarını negatif seçmek yeterli olur veya her iki süzgeç işleci birleştirilip tek süzgeç işleci gibi de kullanılabilir (Şekil 42(b)).

FK dönüşümü ile eğim süzgeç işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir:

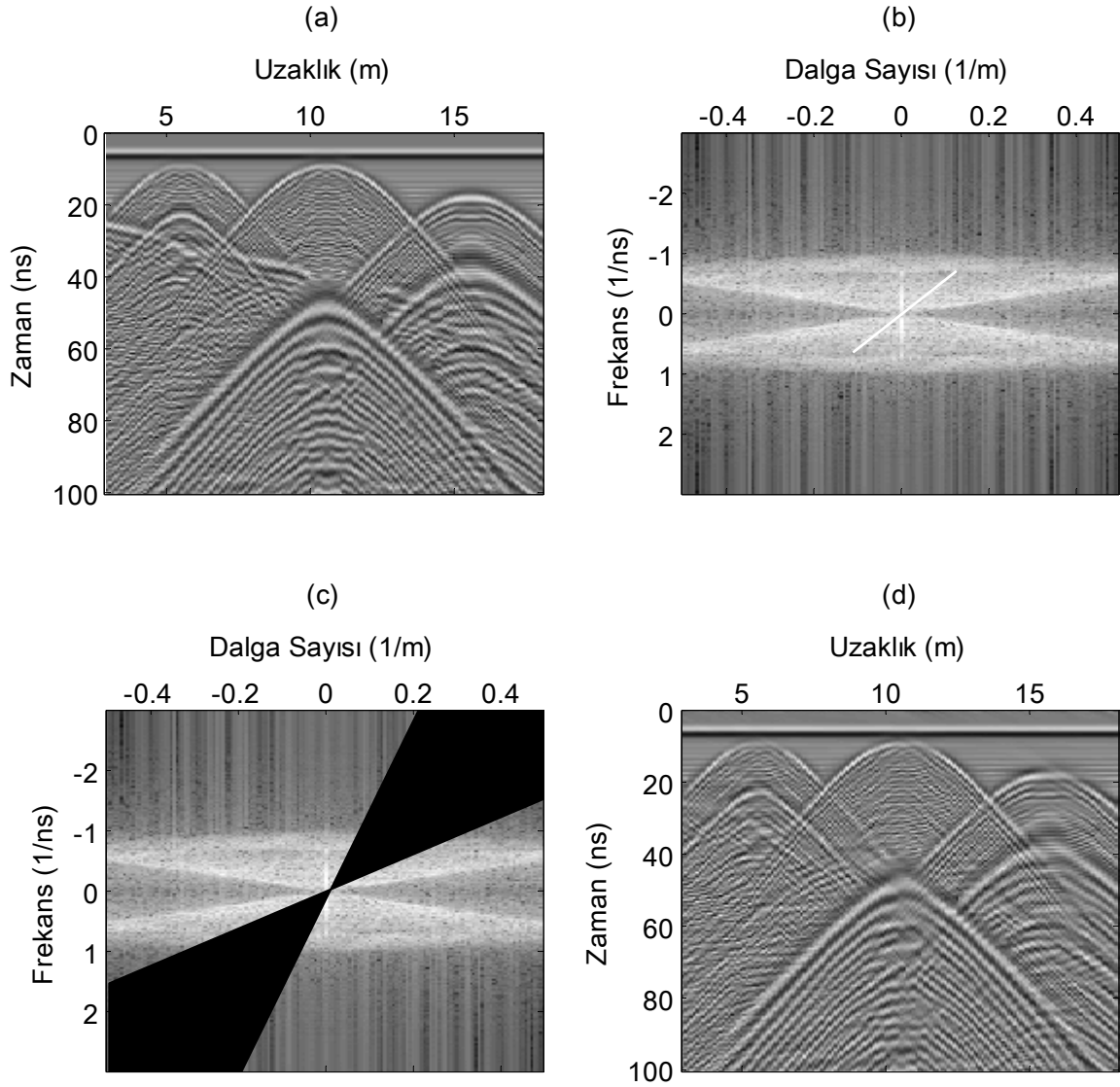
```
A1 = okdipfilt(A1, [1.0 2.0 17.0 18.0], [1 0 0 1]);
```

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, [1.0 2.0 17.0 18.0] değerleri eğim cinsinden kesme frekanslarını, [1 0 0 1] değerleri ise kesme frekanslarındaki genlikleri göstermektedir. Kesme frekanslarının sayısını değiştirerek, değişik eğim süzgeçleri yapılabilir. Eğim süzgecinde 1 ile 0 genlikleri arasında doğrusal bir azalma ve 0 ile 1 arasında yine doğrusal bir artmayla süzgeç işleci tasarlanmaktadır.



Şekil 42. Frekans-Dalga Sayısı ortamında (FK) süzgeç işleci; (a) tek yönlü eğim süzgeci işleci; (b) çift yönlü eğim süzgeci işleci

Şekil 43'teki yapay yer radarı kesitindeki eğimli düz olay süzmeye çalışılmıştır. Şekil 43(d)'de eğimli olayın tamamen kaybolduğu görülmektedir. Burada yanal düz olay da yok edilebilirdi. Bu durumda, daha aşağıda başka bir yanal tabaka sınırı olsaydı o zaman bu bilgi de kaybolurdu. Dolayısıyla FK uygularken süzmek istenilen olayın sınırları iyi seçilmelidir.



Şekil 43. (FK) ortamında eğim (hız) süzgeci, (a) değişik hızlarda olaylar, (b) bu olayların FK ortamı görüntüsü, (c) FK ortamında eğim süzgeci uygulanmış spektrum, (d) eğimli doğrusal olayları elenmiş kesit

2.4.3.2. Eğim Yığılması (τ - p) Dönüşümü

Eğim yığılması jeofizikte sık kullanılan bir veri işlem tekniğidir. Bu tekniğin amacı verideki eğimli doğrusal olayları belirleyip süzmektir. Ayrıca bu dönüşüm yardımıyla rasgele gürültülerde de azalma sağlandığı gözlenmiştir. Kesitlerdeki hiperbollar eğim yığılması sonucunda elipslere dönüşmektedir [10]. Eğim yığılması, literatürde doğrusal Radon dönüşümü olarak da bilinmektedir. Bu dönüşümün matematiksel gösterimi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$F(\tau, p) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau + px, x) dx . \quad (49)$$

Burada $\tau = t - px$ olarak, p ise hızın tersi (yavaşlık) olarak verilmektedir. Yani bir tür hız analizi gibi düşünülebilir. Yalnız buradaki fark kullanılan parametre, hız değil hızın tersi olan ışın parametresidir (p). Eğim yığılması dönüşümü sonucunda, düz olaylar bir kuşak üzerinde biriktikleri için bunları tespit edip yok etmek kolay olmaktadır.

Eğim yığılması dönüşümünün tersi ise, Fourier yönteminde olduğu gibi basit değildir. Bu dönüşümün alçak geçişli etkisini ortadan kaldırmak için rho süzgeci uygulanmaktadır [9]. Rho süzgeci, zaman ortamında eğim yığılması dönüşümü uygulanmış verilere uygulanır. Bu süzgeç yüksek geçiren bir süzgeç olup, zaman ortamında türev gibi davranır. Dolayısıyla ters eğim yığılması dönüşümü aşağıdaki şekilde tanımlanabilir,

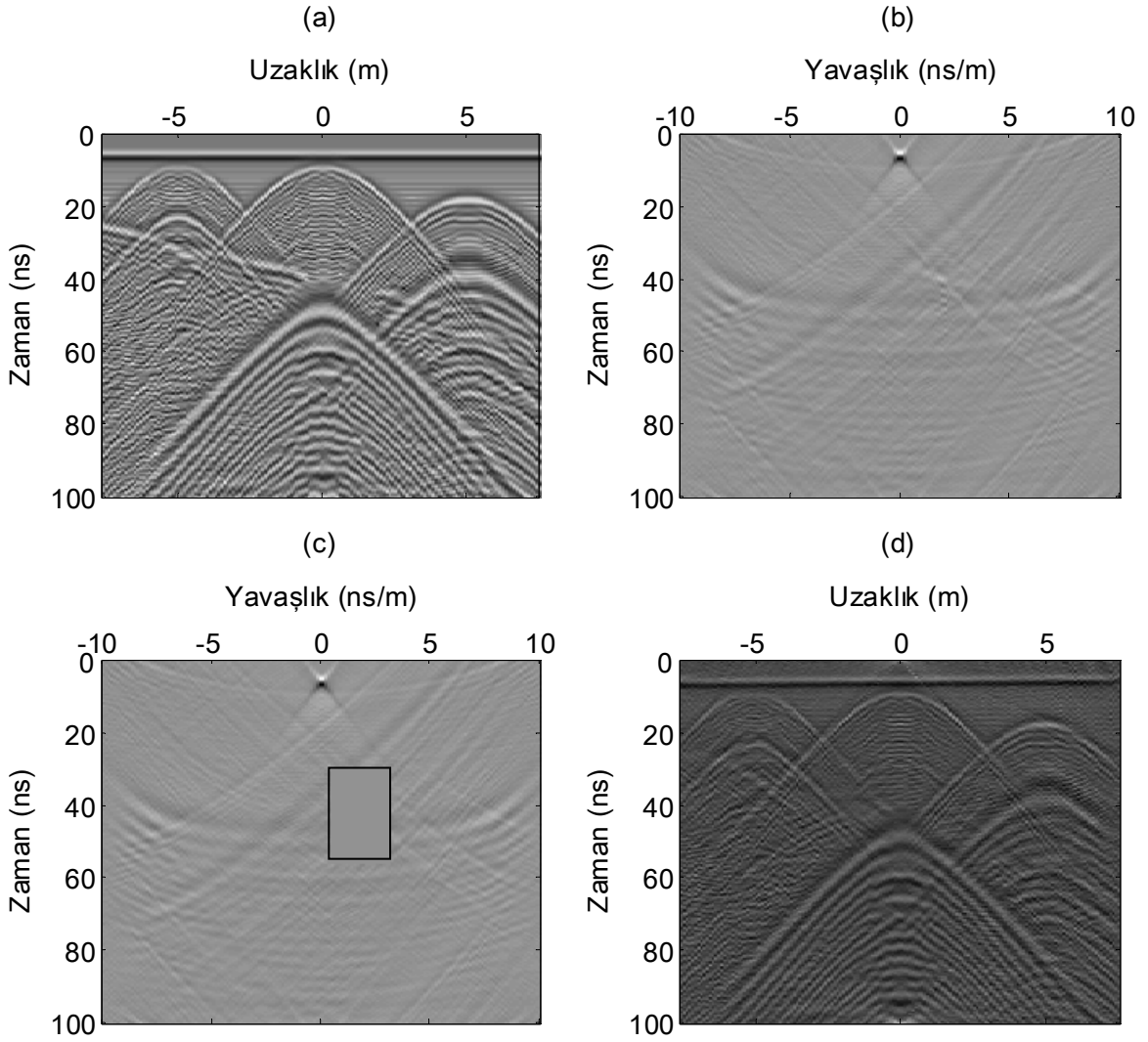
$$f(t, x) = \text{rho}(t) * \int_{-\infty}^{\infty} F(t - px, p) dp \quad (50)$$

Eğim yığılması dönüşümünde, p parametresi yavaşlığı gösterdiği için aynı eğime sahip doğrusal olaylar p ekseninde aynı konuma düşeceklerdir. Dolayısıyla bu değerleri sıfırlamak, istenen doğrusal olayları veriden ayıklamak anlamına gelmektedir (Şekil 44). Şekil 44(b)'de yapay yer radarı kesitinde bulunan eğimli doğrusal olay 2 ns/m yavaşlığında ve 40 ns zamanında bir belirti olarak kendini göstermektedir. Dolayısıyla bu belirti sıfırlanıp (Şekil 44(c)) ters eğim yığılması dönüşümü yapılarak eğimli doğrusal olayın kesitten temizlenmiş olduğu gözükmemektedir (Şekil 44(d)).

τ - p dönüşümü ile eğim yığılması süzgeç işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir:

$$A1 = \text{oktaup}(A1, p, x);$$

Burada $A1$ segy veri biçiminde yer radarı kesiti, p yavaşlık dizisini, x uzaklık dizisini göstermektedir.



Şekil 44. Eğim yığıması dönüşümü yapılarak doğrusal olayların temizlenmesi, (a) yapay yer radarı kesiti (b) yapay kesitin eğim yığıması dönüşümü, (c) eğimli doğrusal olayların kesitten temizleme işlemi (d) eğimli doğrusal olayların kesitten süzölmüş durumu

2.4.3.3. Radon Dönüşümü

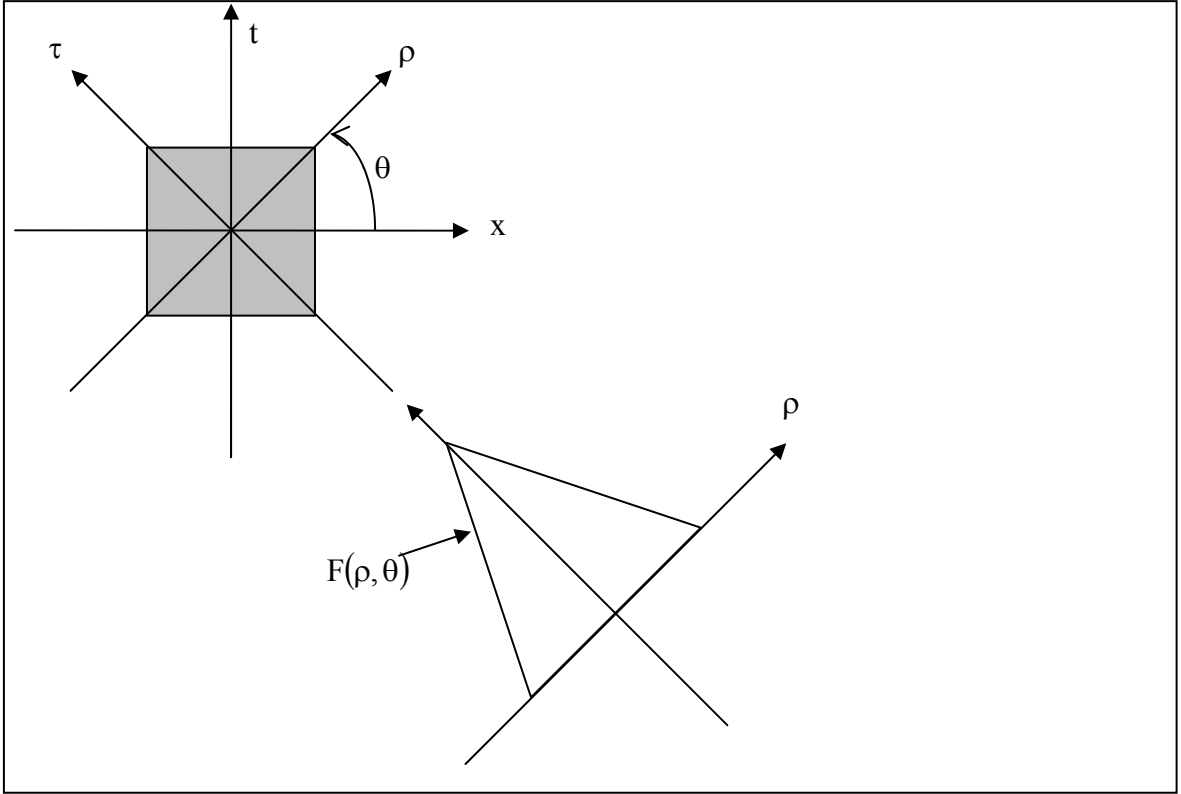
Radon dönüşümü eğim yığımasının biraz değiştirilmiş halidir. Eğim yığımasında tek boyutta konumsal dönüşüm yapıldıktan sonra yığıma işlemi uygulanırken, Radon dönüşümünde iki boyutlu bir döndürme işlemi yapılarak yığıma işlemi uygulanır. Radon dönüşümü sismolojiden bilgisayar görüntülemeye kadar birçok alanda kullanılmaktadır [10]. Bu dönüşümün matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$F(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\rho \sin \theta + \tau \cos \theta, \rho \cos \theta - \tau \sin \theta) d\tau. \quad (51)$$

Burada $\rho = x \cos \theta + t \sin \theta$ ve $\tau = -x \sin \theta + y \cos \theta$ olarak verilmektedir. Ters Radon dönüşümü Fourier dönüşümü kullanılarak aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$f(t, x) = \int_0^{\pi} F(t \cos \theta + x \sin \theta, \theta) d\theta. \quad (52)$$

Şekil 45'te Radon dönüşümünün şekilsel gösterimi yapılmıştır. Burada şekli θ kadar döndürüp kesitin tüm değerlerinin yatay eksene izdüşümünü yapılarak aynı izdüşümdeki değerler toplanır. Başka bir yol ise yatay eksenimizi θ kadar döndürüp bu kesitteki tüm değerleri bu eksen üzerine izdüşürerek toplanır ve bir iz elde edilir. Her toplama işleminden sonra açı (θ) değeri artırılarak toplamaya devam edilir.



Şekil 45. Radon dönüşümünün uygulanması

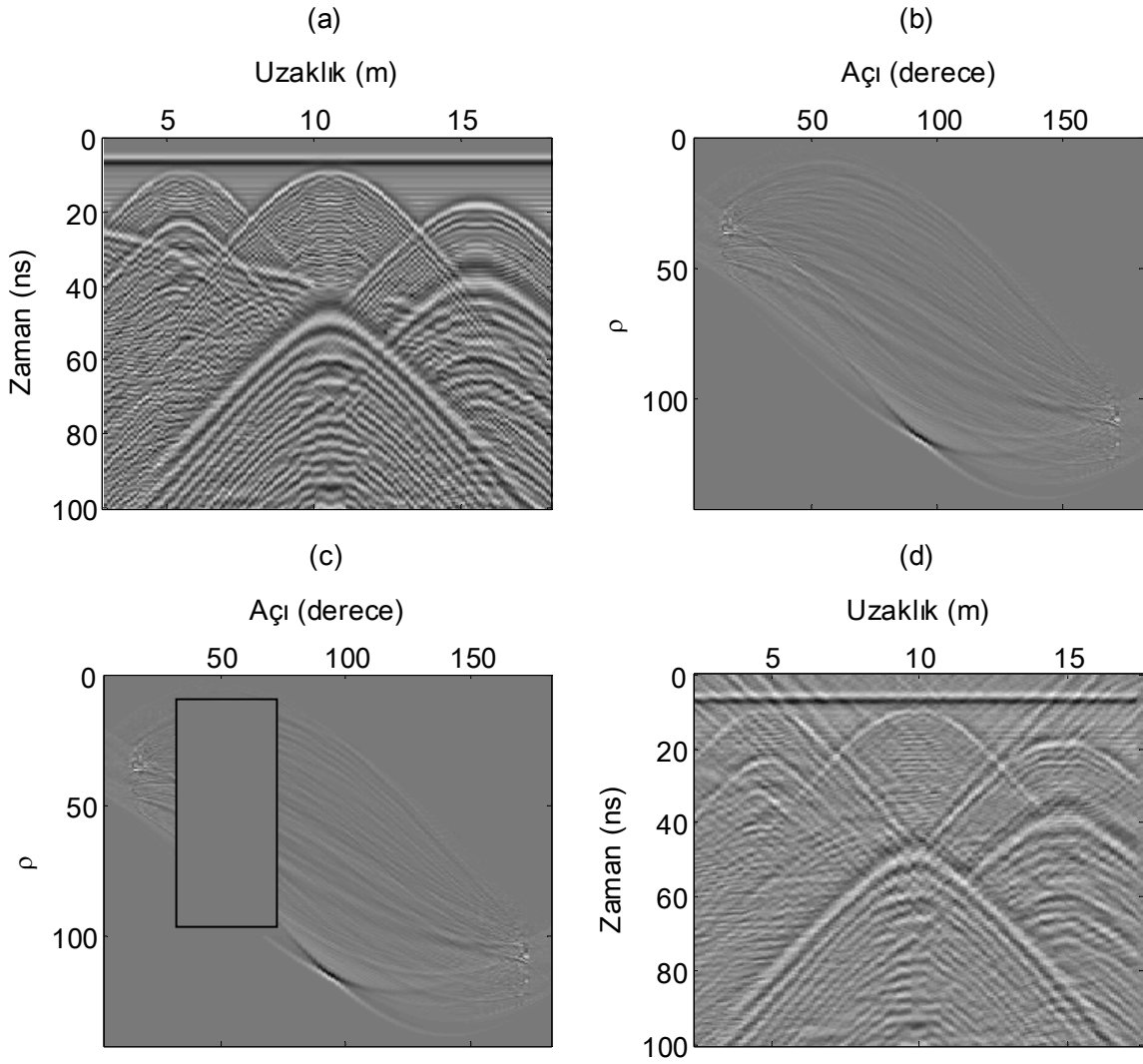
Şekil 46'da Radon dönüşümünün yapay yer radarı kesitine uygulaması verilmiştir. Buradaki eğimli doğrusal olay 45° 'lik bir açıyla döndürüldüğünde yatay konuma gelmekte ve bunun belirtisi Şekil 46(c)'de belirginleşmektedir. Eğimli doğrusal olayları temizlemek amacıyla bu belirtinin sıfırlanmasıyla radon dönüşümü uygulaması sonucu elde edilen kesitte bu olayların temizlendiği görülmüştür (Şekil 46(d)). İstenirse yanal doğrusal olaylar da bu yöntemle temizlenebilir. Bunun için radon ortamında 90° 'nin bulunduğu düşey

kuşağın sıfırlanması yeterli olur. Doğrusal olayları temizlerken hiperbolik yapıların yok olmaması için sıfırlama işleci iyi seçilmelidir.

Radon dönüşüm işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir:

$$A1 = \text{okradon}(A1, a);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesiti, a radon dönüşümünün gerçekleşeceği açı dizisini göstermektedir.



Şekil 46. Radon dönüşümüyle doğrusal olayların temizlenmesi (a) yapay yer radarı kesiti (b) yapay kesitin Radon dönüşümü, (c) Radon ortamında eğimli doğrusal olayların temizlenmesi, (d) Ters radon dönüşümü sonucu elde edilen kesit

2.4.3.4. Karhunen Loève Dönüşümü (KLT)

KLT dönüşümünün genel durumu dizey biçiminde aşağıda verilmektedir,

$$\mathbf{Y} = \mathbf{T}\mathbf{X}. \quad (53)$$

Burada, \mathbf{X} ve \mathbf{T} sırasıyla, dönüştürülecek dizey ve dönüşüm dizeyi olarak verilmiştir. Öyle ki \mathbf{Y} KLT dönüşümünün sonucudur. KLT dönüşümünde dönüşümü gerçekleştirmek için, \mathbf{T} dizeyi \mathbf{X} 'den belirlenir. Diyelim ki N boyutlu bir yöney belirlensin,

$$\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T \quad (54)$$

ve bunun kovaryans dizeyi

$$\mathbf{C}_x = E\{[\mathbf{X} - E(\mathbf{X})][\mathbf{X} - E(\mathbf{X})]^T\} \quad (55)$$

şeklinde gösterilmektedir. Burada $E(\mathbf{X})$, \mathbf{X} yöneyinin ortalamasıdır. \mathbf{C}_x pozitif (veya genelde pozitif) bir dizey olarak tanımlanır. Öyle ki, bir normal ortogonal $\mathbf{B} = (v_1, v_2, \dots, v_N)$ dizeyi ele alınsın. Bu dizey aşağıdaki şekilde,

$$\mathbf{B}^T \mathbf{C}_x \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_N \end{bmatrix} = \Lambda \quad (56)$$

tanımlanır. Burada, λ_i 'ler \mathbf{C}_x 'lerin özdeğerleridir ve $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$ şartını sağlamaktadır. v_i 'ler λ_i 'lere karşılık gelen normal ortogonal özyöneylelerdir. Bu durumda, λ_1 diğer tüm özdeğerlerden daha büyüktür. \mathbf{X} 'in ortogonal dönüşümü yapılırsa,

$$\mathbf{Y} = \mathbf{B}^T \mathbf{X} = (y_1, y_2, \dots, y_N)^T \quad (57)$$

şeklinde tanımlanır ve \mathbf{Y} 'ye \mathbf{X} 'in Karhunen-Loève dönüşümü denir [11].

Şekil 47'de KLT dönüşümün sonuçları sergilenmiştir. KLT dönüşümü uygularken kullanılacak özdeğer sayısı kullanıcıya bırakılır. Yalnız özdeğer sayısı verinin sütun sayısını geçemez. Özdeğerlerinin sayısı azaldıkça doğrusal olaylar daha belirgin olmaya başlar. Doğrusal olaylar belirlendikten sonra bu olaylar normal kesitten çıkarılır. Böylelikle düz olaylar, diğer bir deyişle artalan temizlenmiş olur. Şekilde görüleceği gibi kullanılan özdeğerler artıkça çıkarma işleminden sonra verideki düz olaylar azalmıştır. Ayrıca hiperbolların tepe noktaları da yok olmaya başlamıştır (Şekil 47(c)-(d)).

KLT dönüşüm işleminin SAMBAT yazılım paketindeki uygulaması aşağıdaki gibidir:

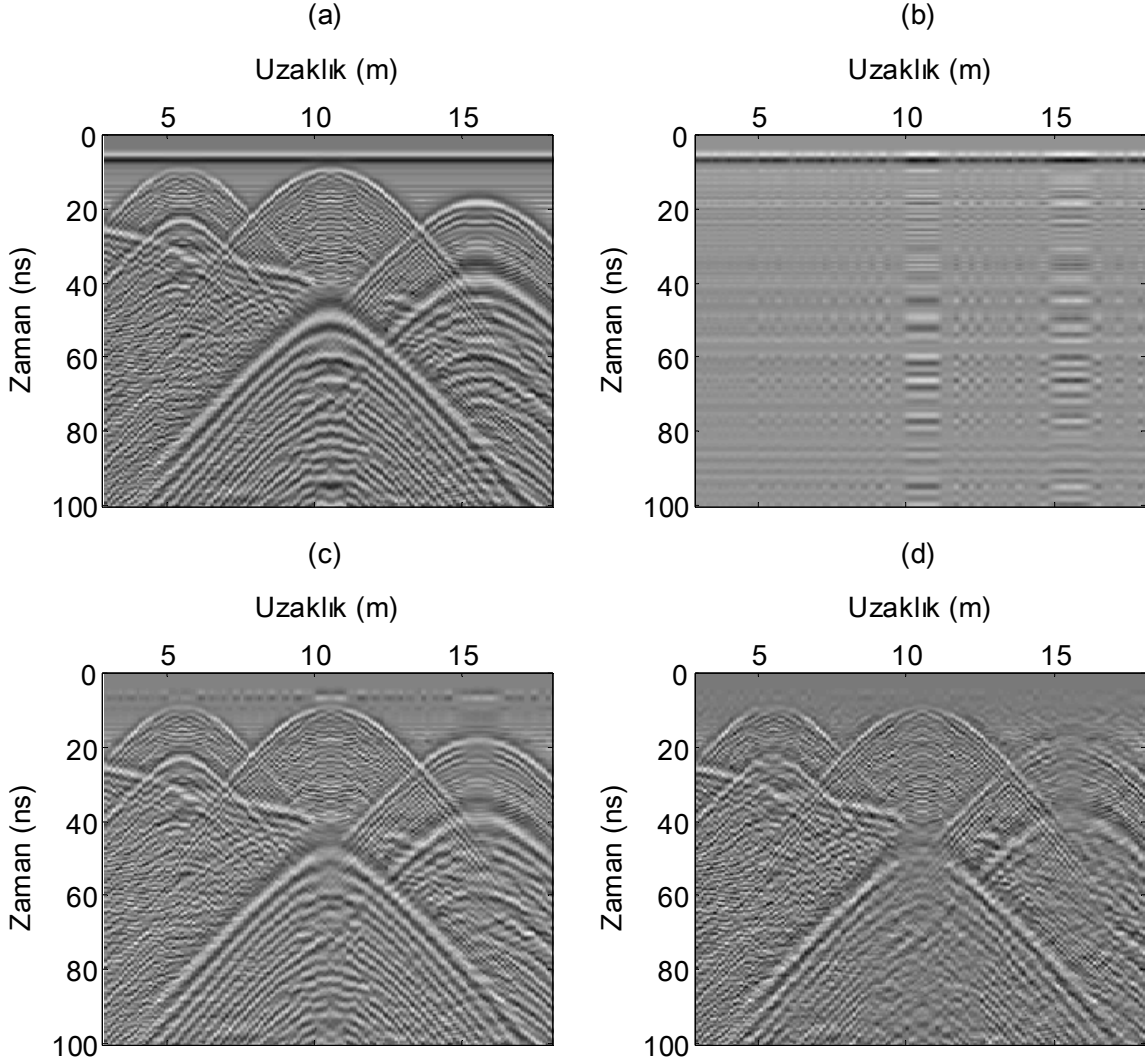
$$A2 = \text{okklt}(A1, e);$$

Burada $A1$ segy veri biçiminde yer radarı kesiti, e ise dönüşümde kullanılacak özdeğer sayısını göstermektedir.

KLT işlemi sonucunda elde edilen A2 segy verisini A1 segy verisinden çıkarmak için SAMBAT yazılım paketinde aşağıdaki işlev kullanılır:

```
A1 = okop2(A1, A2, 'diff');
```

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesitini, A2 segy veri biçiminde KLT sonucunu göstermektedir.



Şekil 47. KLT dönüşümü ile kesitteki düz olayların ortaya çıkarılması ve temizlenmesi, (a) yapay kesit, (b) yapay kesitin bir öz değerli KLT kesiti, (c) yapay kesitten KLT kesitinin çıkarılmışı, (d) yapay kesitten 10 özdeğerli KLT kesitinin çıkarılmışı

2.4.3.5. Hilbert Dönüşümü

Bir boyutlu $f(t)$ sinyalinin Hilbert dönüşümü aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$g(\tau) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(t)}{\tau - t} dt. \quad (58)$$

Hilbert dönüşümünün tersi ise,

$$f(t) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(\tau)}{\tau - t} d\tau \quad (59)$$

olarak verilmektedir. Yukarıdaki tanımlamalar evrişim gösterimi ile

$$g(t) = f(t) * \frac{1}{\pi t} \quad (60)$$

ve

$$f(t) = g(t) * \frac{1}{\pi t} \quad (61)$$

olarak verilebilir. Burada Hilbert çekirdeğinin $\left(\frac{1}{\pi t}\right)$ Fourier dönüşümü alınırsa,

$$\Theta(t) = \frac{1}{\pi t} \Leftarrow \text{FFT} \Rightarrow -j \text{sgn}(\omega) \quad (62)$$

olur. Burada işaret işlevi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{sgn}(\omega) = \begin{cases} +1 & \omega > 0 \\ 0 & \omega = 0 \\ -1 & \omega < 0 \end{cases} \quad (63)$$

Dolayısıyla frekans ortamında Hilbert çekirdeği ile sinyali çarparak Ters Fourier dönüşümü alınırsa Hilbert dönüşümü yapılmış olur. Bu ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

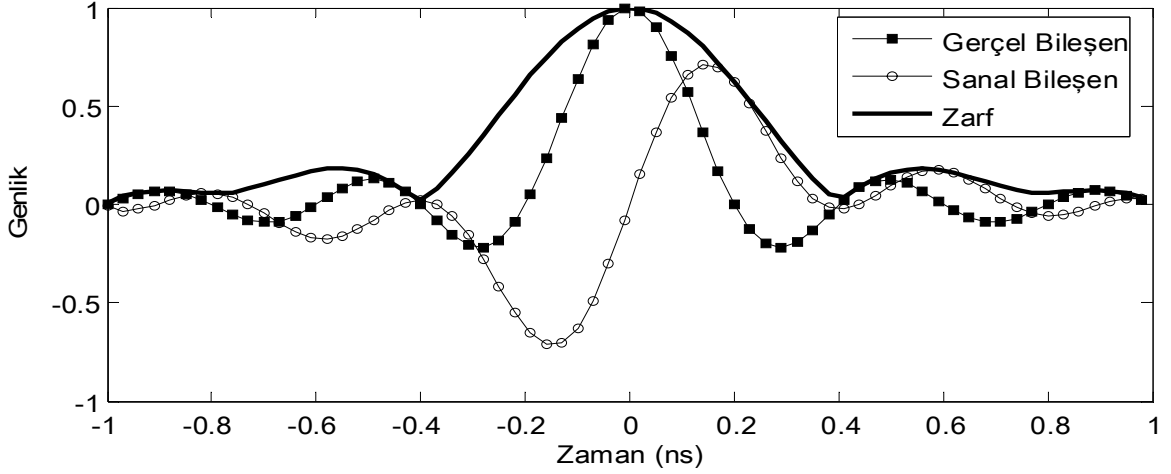
$$f(t) \xrightarrow{\text{FFT}} F(\omega) \Rightarrow -j \text{sgn}(\omega) F(\omega) \xrightarrow{\text{FFT}^{-1}} g(t). \quad (64)$$

Hilbert dönüşümü başlangıçtaki sinyalin 90 derece faz kaymış halini vermektedir. $f(t)$ ile $g(t)$ 'ye sırasıyla izin gerçel ve sanal bileşenleri denir.

Hilbert dönüşümü sonucunda elde edilen sinyal ile başlangıçtaki sinyalin karelerinin toplamının karekökünü alınırsa sinyalin anlık genliği elde edilir. Bu eşitlik aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$A(t) = \sqrt{f^2(t) + g^2(t)}. \quad (65)$$

Bir sinyalin gerçel bileşeni, sanal bileşeni ve zarfı Şekil 48'de verilmektedir,



Şekil 48. Sinc işlevinin Hilbert dönüşümüyle elde edilen gerçel, sanal ve zarf biçimleri

Hilbert dönüşümü sonucunda elde edilen sinyali başlangıçtaki sinyale bölüp arktanjanı alınırsa sinyalin anlık fazı elde edilir. Bu işlem aşağıdaki gibi verilmiştir,

$$\varphi(t) = \tan^{-1}\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right) \quad (66)$$

Anlık fazın zamana göre türevi alınırsa,

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = \Omega(t) = \frac{d}{dt} \tan^{-1}\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right) = \frac{f(t)g'(t) - g(t)f'(t)}{f^2(t) + g^2(t)} \quad (67)$$

anlık frekansı elde edilir [12]. Elde edilen bu parametreler öznitelikler olarak adlandırılmaktadır. Hilbert dönüşümü ile elde edilen kesitin yer radarı öznitelikleri yorumlama aşamasında kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Özellikle yorumlama için kullanılan renkli işaretleme işleminde özniteliklerden yararlanır.

Şekil 49'da daha önce oluşturulmuş modelden hesaplanmış yapay yer radarı kesitinin öznitelikleri verilmiştir. Anlık genlik (b) kesitinde verilerin zarfı hesaplanmış olup, kesitin yorumlanmasında temel litolojik değişiklikler belirginleşmiştir. Anlık faz (c) kesitinde yanal sürekliliğin arttığı görülmektedir. Anlık frekans (d) kesitinde ise faylanmaların sınırları daha belirgin hale gelmiştir.

Hilbert dönüşümü verilen segy veri türünde gerçel bileşenin sanal bileşenle birlikteki sonucu SAMBAT yazılım paketinde aşağıdaki işlev ile elde edilebilir:

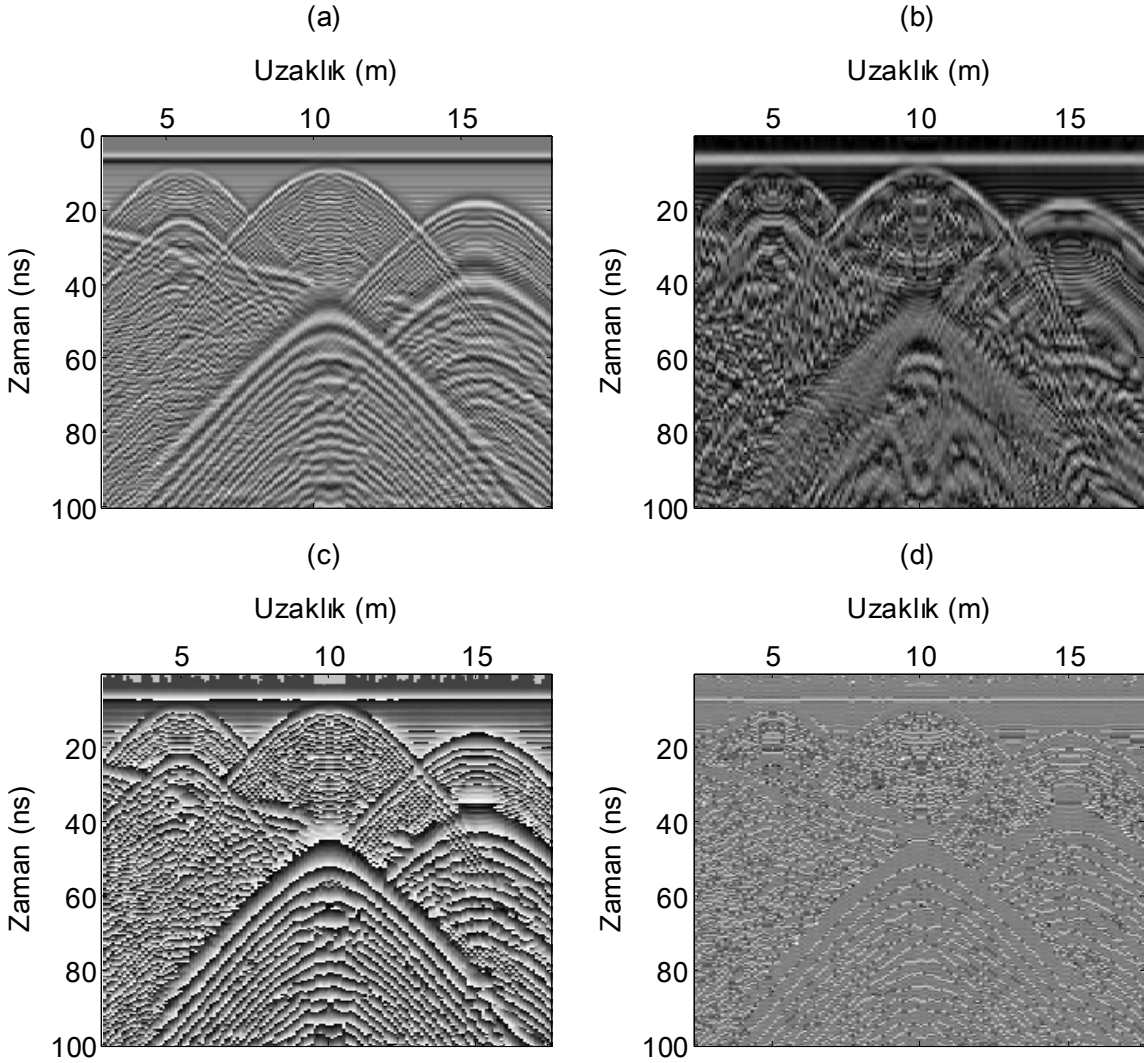
$$A1 = \text{okhilb}(A1);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesitini göstermektedir. Yeni A1 kesiti gerçel ve sanal bileşeni içerisinde barındıran karmaşık bir sayı türüne sahip olmaktadır.

Elde edilen karmaşık veri türündeki segy verisinden anlık genliği, anlık frekansı veya anlık faz elde edilmek istenirse SAMBAT yazılım paketinde aşağıdaki işlem kullanılabilir:

$$A1 = \text{okamp}(A1, 'env');$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesitini göstermektedir. 'env' parametresi ise karmaşık bileşenden elde edilmek istenen bileşeni (anlık genlik) göstermektedir. 'env' yerine 'phase' kullanılırsa karmaşık sayıdan faz bileşeni elde edilmiş olur.



Şekil 49. Hilbert dönüşümü görüntüleri, (a) yapay kesit (b) yapay kesitin anlık genliği (c) yapay kesitin anlık fazı, (d) yapay kesitin anlık frekansı

2.4.3.6. Hiperbolik Yığma (Hız Çözümleme) Dönüşümü

Hiperbol yığma dönüşümü, eğim yığması dönüşümüne benzer özellikler taşır. Bu uygulamada geometriksel taşıma zaman yönünde gerçekleşmektedir.

Hiperbolik yığma dönüşümü aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$F(t_0, v) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_x, x) dx . \quad (68)$$

Burada x açılım miktarı, t_0 sıfır açılımlı izin zamanı, $t_x = \sqrt{t_0^2 + x^2 / v^2}$ olarak x açılımlı izin zamanı, v ise hız olarak verilmektedir. Hiperbolik yığma dönüşümü litaretürde hız çözümlemesi olarak bilinmektedir. Hiperbolik yığma dönüşümünde hiperbolik yapılar noktaya dönüşmektedir. Bu noktanın konumu ve dağılımı kesitteki hiperbolik olayların hız bilgisini ortaya çıkarmaktadır.

Hiperbolik yığma dönüşümünü gerçekleştirmek için sismik hızları sırasıyla 1500 m/sn, 2000 m/sn 2500 m/sn olan bir yeraltı örneği oluşturulmuştur. Bu örnek üzerinde sonlu farklar yöntemiyle yapay bir sismik kesit oluşturmak için SAMBAT yazılım paketinde aşağıdaki işlev kullanılmaktadır:

$$A1 = \text{okfdmod2}(vmodel, T, xsrc, zsrc, xrec, zrec);$$

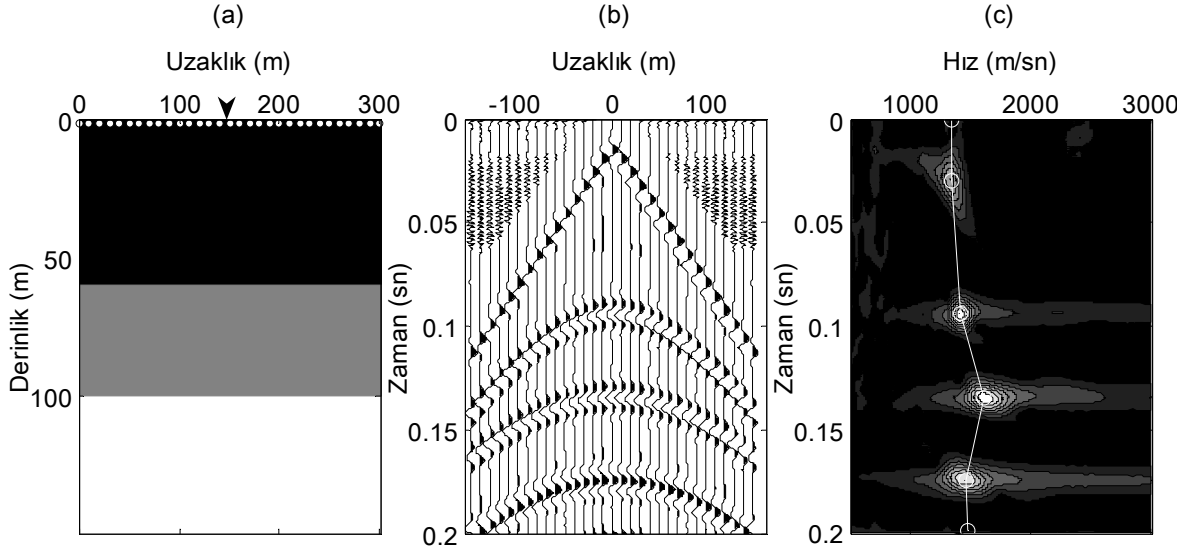
Burada A1 segy veri biçiminde yapay sismik kesit, vmodel hız örnek dizeyi, T kayıt zamanı, xsrc ve zsrc nokta kaynakların konumlarını, xrec ve zrec ise alıcıların (jeofon) konumlarını göstermektedir.

Yukarıda elde edilen yapay sismik kesit CMP verisi olduğundan doğrudan hiperbolik yığma dönüşümü yapılabilir. Bunun için SAMBAT yazılım paketinde aşağıdaki işlev kullanılmaktadır:

$$A1 = \text{okvelan}(A1, v);$$

Burada A1 segy veri biçiminde yer radarı kesitini gösterirken v işleme katılacak hız dizisini göstermektedir.

Şekil 50(a)'da hızları sırasıyla 1500 m/sn, 2000 m/sn ve 2500 m/sn, kalınlıkları 60 m, 40 m ve 50 m olarak oluşturulan yatay üç tabakalı bir model görülmektedir. Bu model üzerinde yapılan benzetim sonucu elde edilen yapay sismik kesitte 1 kırılma ve 3 yansıma hiperbolu bulunmaktadır (Şekil 50(b)). Yansıma hiperbollarından en aşağıdaki ilk hiperbolun tekrarlısıdır. Şekil 50(b)'deki yapay kesite yapılan hız çözümlemesi sonucunda dört kapanım elde edilmiştir. Bunlardan birincisi kırılma dalgasının kapanımıdır. Diğer üç kapanım sırasıyla 1400 m/sn, 1600 m/sn ve 1450 m/sn yığma hızlarını vermektedir (Şekil 50(c)). Elde edilen bu hızlar yığma hızı olduğu için modelde verilen ara hızlara dönüştürülebilir.



Şekil 50. Hiperbolik yığıma dönüşümü, (a) 3 tabakadan oluşan yeraltı modeli, (b) 1 doğrudan gelen ve 3 yansıma hiperbolundan oluşan yapay bir CMP sismik kesiti (c) (b)'deki kesite 500 ile 3000 m/sn arasında hiperbolik yığıma dönüşümü uygulaması ve kapanımların işaretlenerek hız işlevinin belirlenmesi

2.5. Saha Çalışmaları

2.5.1. KTÜ Yerleşkesi Yeraltı Kanallarının İncelenmesi

Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde, yıllardır yapılan yeraltı kanalizasyon, ısı v.b. kanallarının krokisi bulunmamaktadır. Daha sonraları yapılan ek yapılaşma faaliyetlerinde bazı kanallar iptal edilmiş, bazı yeni kanallar da sisteme eklenmiştir. Fakat hiçbir yetkili bu kanalların çoğunun geçtiği yerleri kesin olarak bilmemektedir. Isıtma borularının geçtiği kanallar, içerisinden bir kişinin dolaşabileceği boyutta beton kanallardır.

Konuyla ilgili sözlü ve tahmini önbilgiler öncelikle Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan daha sonra Yerleşke Isı Merkezi'nden elde edilmiştir. Buna göre yerleşke içinden geçen ana yol boyunca yola paralel konumda bulunan ısı kanalları mevcuttur. Değişik noktalarda giriş yerleri olup bu ısı kanallarının her binaya küçük kanallar aracılığıyla bağlantısı bulunmaktadır. Ayrıca yola dik doğrultuda kanalizasyon kanallarının varlığından söz edilmekte fakat yerleri bilinmemektedir (Şekil 51, 52).

Gömülü kanalların güzergâhlarını belirlemek ve yer radarı ölçülerini incelemek amacıyla ilk olarak yerleşke içerisinde ölçü alınacak doğrultular belirlendi. Bu doğrultular Şekil 51 ve Şekil 52'deki haritalarda gösterilmiştir. Haritalar üzerinde belirtilen toplam dört doğrultu (A, B, C, D) boyunca yola paralel ölçüler alındı. Ölçüler ortak açılım düzeninde dik bakışık anten düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümlerde RAMAC/GPR aleti ile 100 MHz kalkansız antenleri kullanılmıştır. Ortak açılımda antenler arası birer metre,

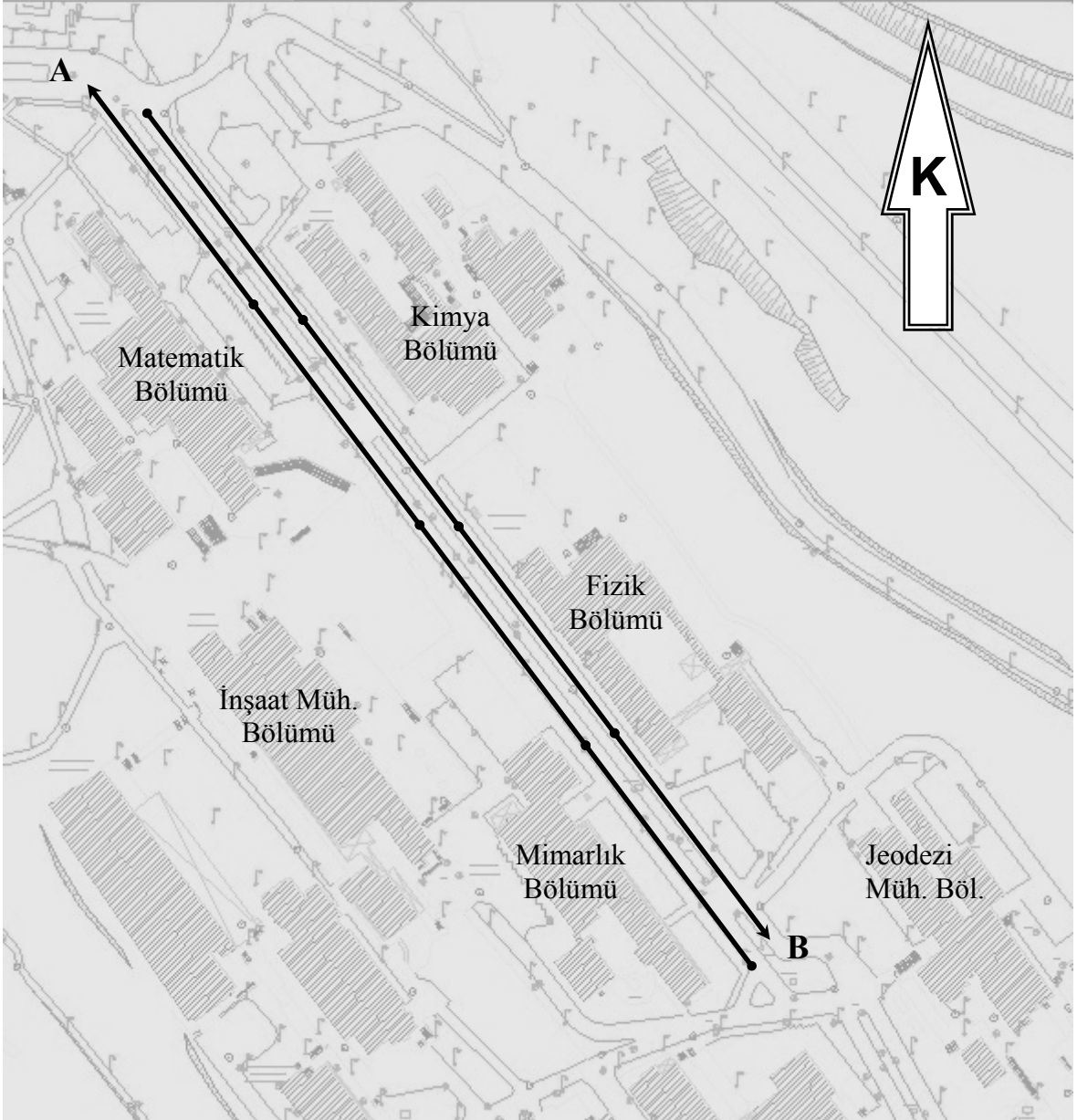
örnekleme frekansı 1182 MHz seçilmiştir. Uzaysal örnekleme aralığı 0.1 metre seçilerek sürekli ölçü düzeni kullanılmıştır.

Ölçüler yolun kaldırım kenarından alınmıştır (Şekil 51, 52). Kaldırımında yer yer ışıklandırma direkleri mevcut olup bunların yüzey yansımaları verilerde açık bir şekilde gözlenmektedir. Ölçü doğrultusundaki tüm binalar, ölçü doğrultusuna paralel olup ölçülerde yanal etkiler olarak gözlenmiştir. Ayrıca binaların doğrultuya uzaklıklarına göre yer radarı kesitlerindeki yanal etki zamanlarından bu uzaklıklar hesaplanabilir. C ve D doğrultusunun bittiği konum Orman Fakültesinin UAM merkezi olup ölçü doğrultusuna dik olduğu için kesitlerde güçlü tek kanatlı yansıma hiperbolları elde edilmiştir.

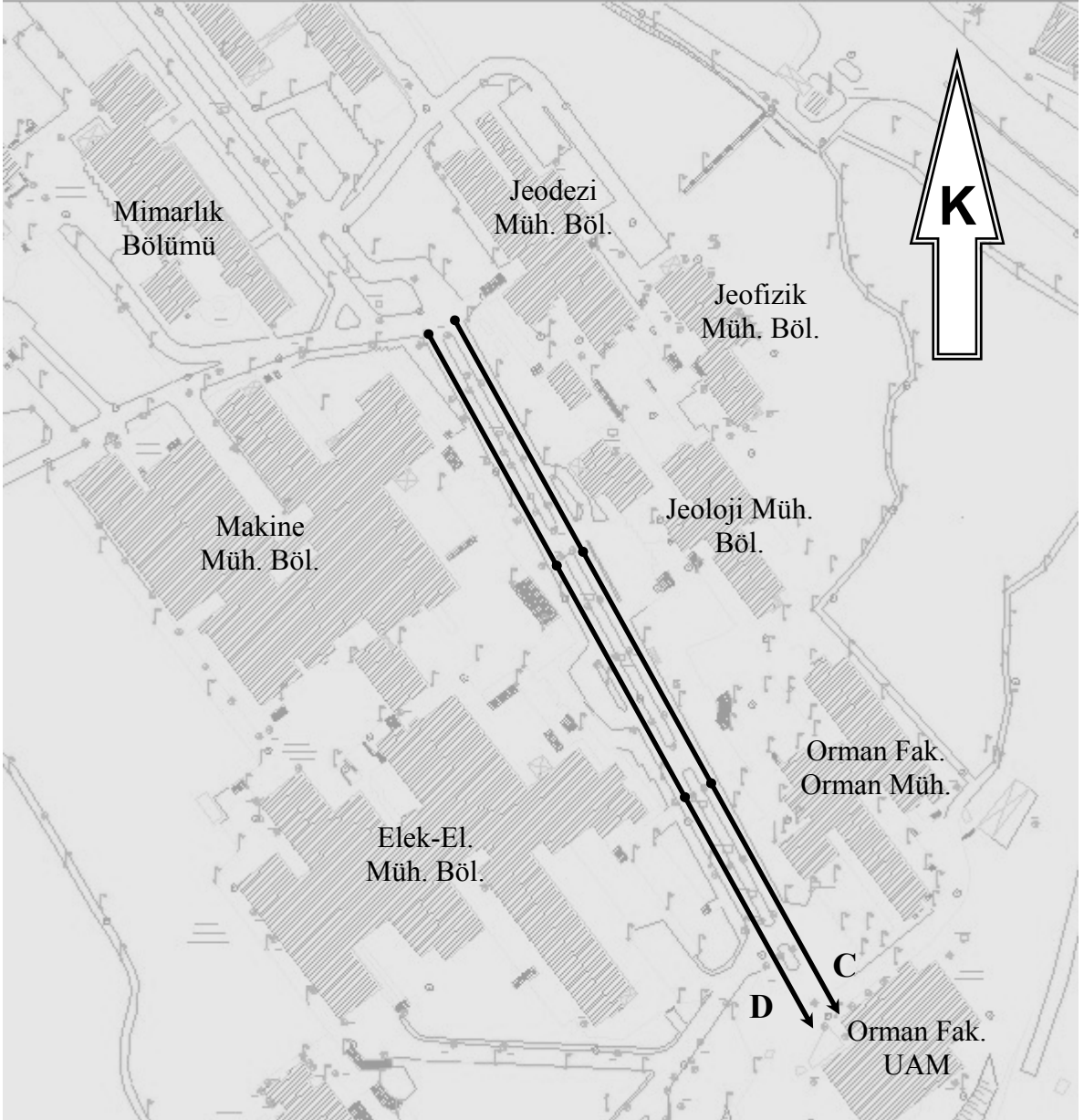
Ölçü alımında doğrultu boyu uzun olduğu için her doğrultu kendi arasında yaklaşık 100 er metrelik aralıklara bölünmüştür. Bunlar A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, D1, D2 ve D3 şeklinde adlandırılmıştır.

Alınan ölçülerde aranan kanalizasyon kanallarının hiperbolik belirtilerinin elde edilmesi beklenmektedir. Bu nedenle yanal olaylar pek dikkate alınmamıştır.

Daha önce belirtildiği gibi araziden elde edilen yer radarı kesitleri yeraltının görüntüsünü tam bir şekilde vermesi için iyi bir veri işlem aşamasından geçirilmelidir. Yer radarı arazi ölçümlerinde elde edilen veriler, her ne kadar sismik verilere benzese de, gerek uzaysal ve gerekse zamansal örnekleme aralıkları açısından farklılık göstermektedir. Ayrıca, sismikteki gibi atış kaydı yerine genelde ortak açılım ölçüleri alınmaktadır. Dolayısıyla, sismik verilere uygulanan veri işlem adımları, önceki bölümde değinildiği gibi yer radarı verilerine uygulamak için düzenlenmiş ve geliştirilmiştir.



Şekil 51. KTÜ Yerleşkesinin Kuzey-Batı bölümü. Siyah koyu oklar A ve B ölçü doğrultularını göstermektedir



Şekil 52. KTÜ Yerleşkesinin Güney-Doğu bölümü. Siyah koyu oklar C ve D ölçü doğrultularını göstermektedir

2.5.1.1. Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinden Aletsel Etkilerin Giderilmesi

Yer radarı verilerinde öncelikli sorun çok düşük frekanslı (WOW) olayların ve doğru akım (DC) bileşenin ortadan kaldırılmasıdır. Bunun için önerilen işlem öncelikle izlerin DC bileşenin belirlenip, tüm verilerden bu oranda bir sabitin çıkarılmasıdır. DC bileşeni, her izin ortalaması alınarak bulunur. Başka bir yöntem ise dewow işlemi uygulayarak hem DC bileşenin hem de wow etkisinin ortadan kaldırılmasıdır. DEWOW işlemi, veriden zaman yönünde seçilen uzunlukta kayan bir pencere üzerindeki verilerden hesaplanan ortalama süzgeç değerlerinin çıkarılmasıyla gerçekleştirilir. DEWOW işleminin diğer bir

adı ise zaman yönünde ortalama çıkarma süzgecidir. Bu yönüyle varyans süzgecine benzemektedir.

DC süzgeci SAMBAT yazılımında aşağıdaki işlev komutu ile uygulanabilir,

$$A1 = okdcf(A1);$$

ve dewow işlevi ise yine aynı şekilde,

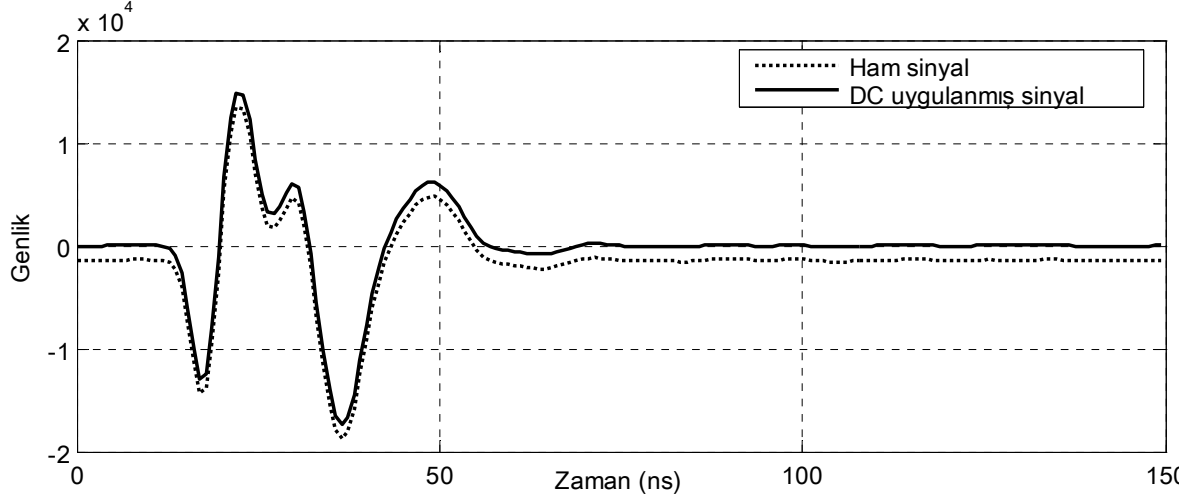
$$A1 = okdewow(A1);$$

komutu ile uygulanabilir.

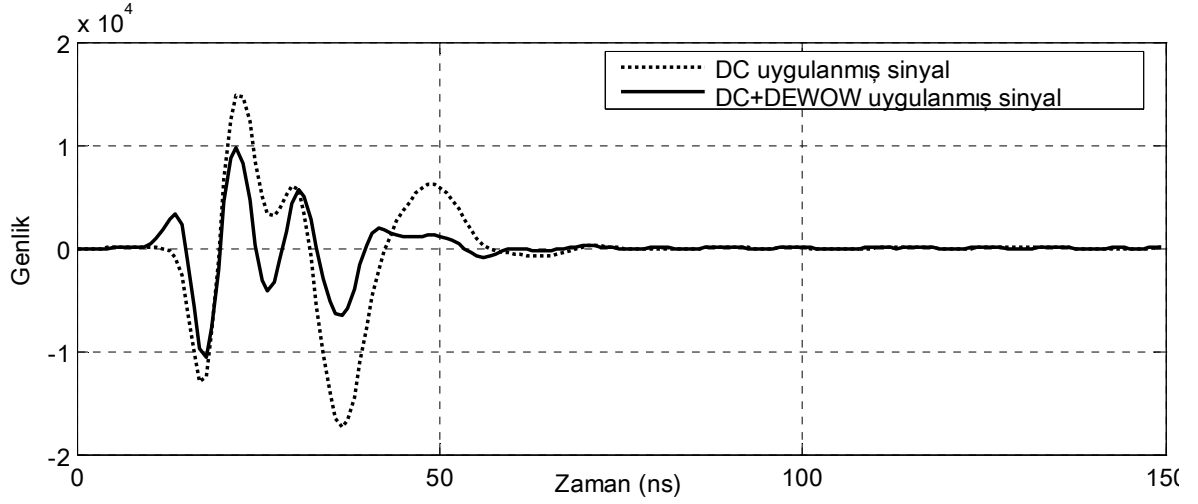
Bir izin DC süzgeci uygulanarak genlik eksenini yönünde kaydırılması Şekil 53'te ve düşük frekanslı olayların süzülmesi ise Şekil 54'te görülmektedir. Özellikle 30.ns'lerde yerel bir genlik düşüşünün sıfır eksenine çekildiği görülmektedir.

Yer radarı verilerine ilk uygulanan işlemlerden biriside sıfır zamanı düzeltmesidir. Veri işleme girmeden önce yer radarı sinyallerinin fiber optik kablo boyunca aldığı yolu ve yer radarı ölçü aletinin ısınma etkisinden kaynaklanan gecikme düzensizliklerini ortadan kaldırmak gerekir. Bunun için ilk gelen dalgaların geliş zamanları belirlenerek zaman yönünde bu oranda bir kaydırma yapılır. Böylelikle geçikmeler sıfırlanmış olur. Bu yönüme "sıfır zamanı düzeltmesi" denir.

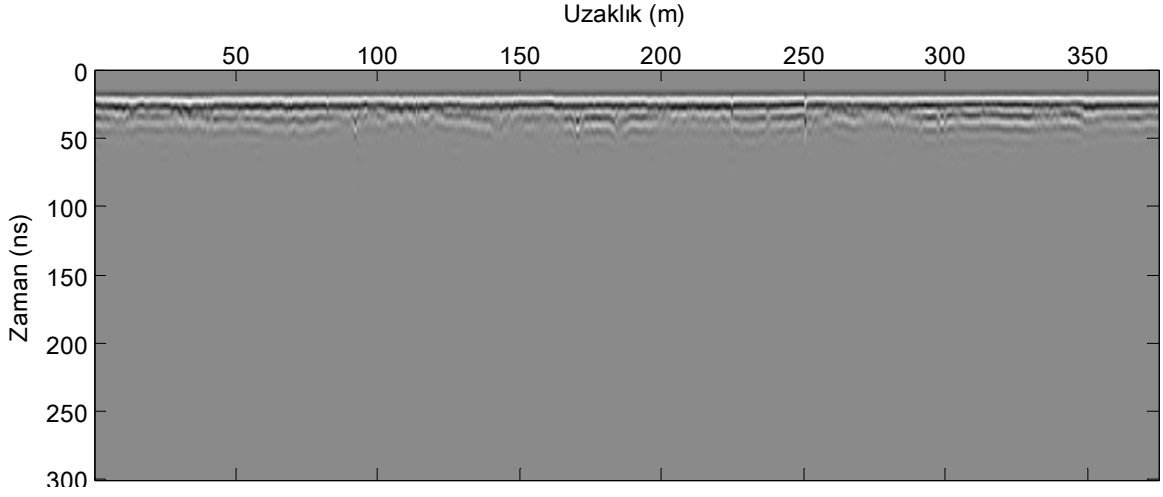
Şekil 55'te KTÜ yerleşke alanı içerisinde A doğrultusunda alınmış ham yer radarı kesiti görülmektedir. Görüldüğü gibi kesitin ilk kısımları veya doğrudan gelen olaylar dışında başka bir olay seçilememektedir. Aynı şekilde sıfır zamanı düzeltmesi uygulandıktan sonra kesite DC ve DEWOW işlemi uygulandığında gerçekleşen değişiklik gözle görülemez (Şekil 56). Yinede ileriki veri işlem aşamalarının sağlıklı çalışması için bu veri işlem aşamalarının uygulanması zorunludur.



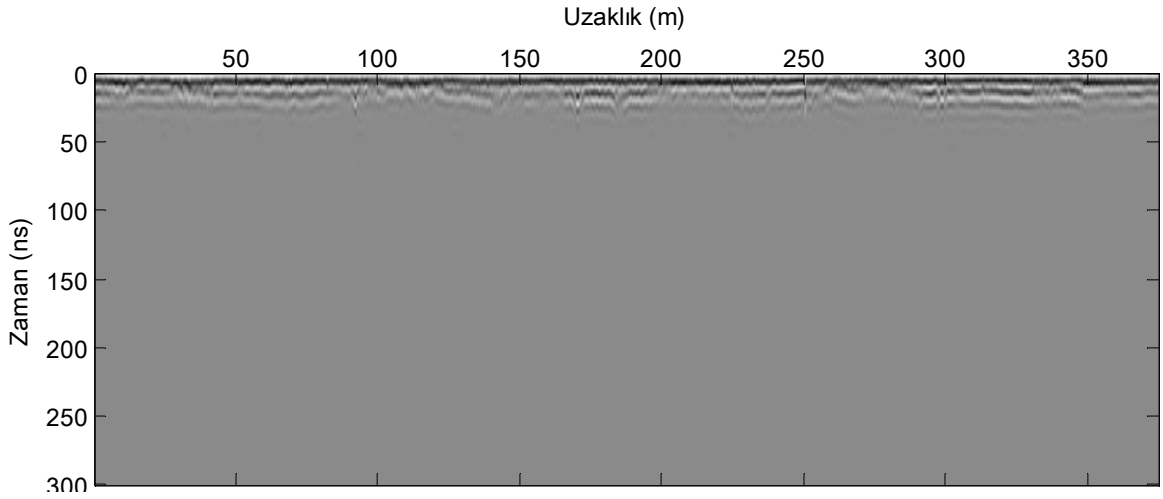
Şekil 53. Bir yer radarı izinin ham sinyali ile DC süzgeci uygulanmış sinyalin karşılaştırılması



Şekil 54. DC süzgeci uygulanmış bir yer radarı izi ile DC+DEWOW süzgeci uygulanmış izlerin karşılaştırılması



Şekil 55. A doğrultusundaki ham yer radarı kesiti



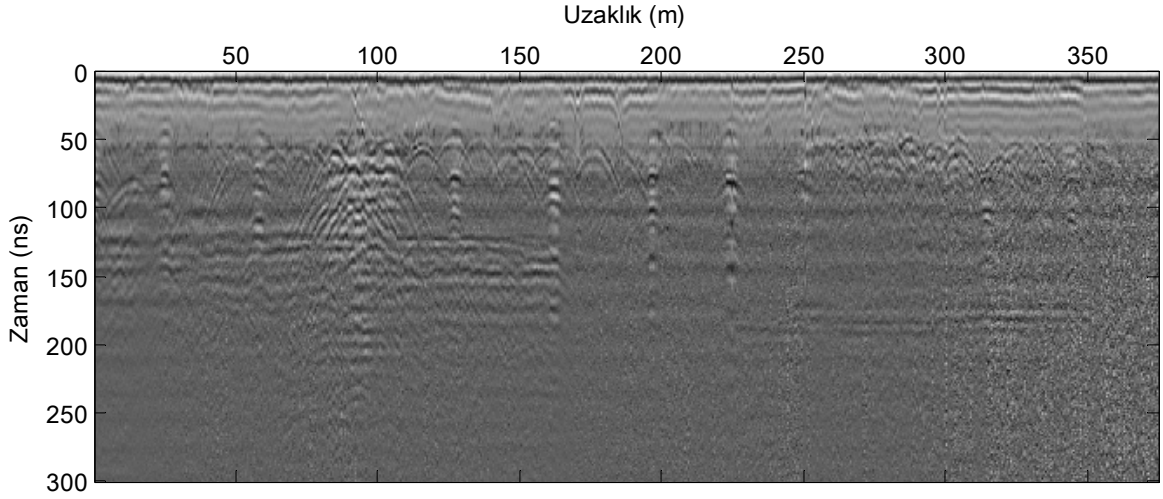
Şekil 56. A kesitine sıfır zamanı, DC + DEWOW süzgeci uygulanması sonucu elde edilen kesit

2.5.1.2. Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinin Genlik Düzeltmeleri

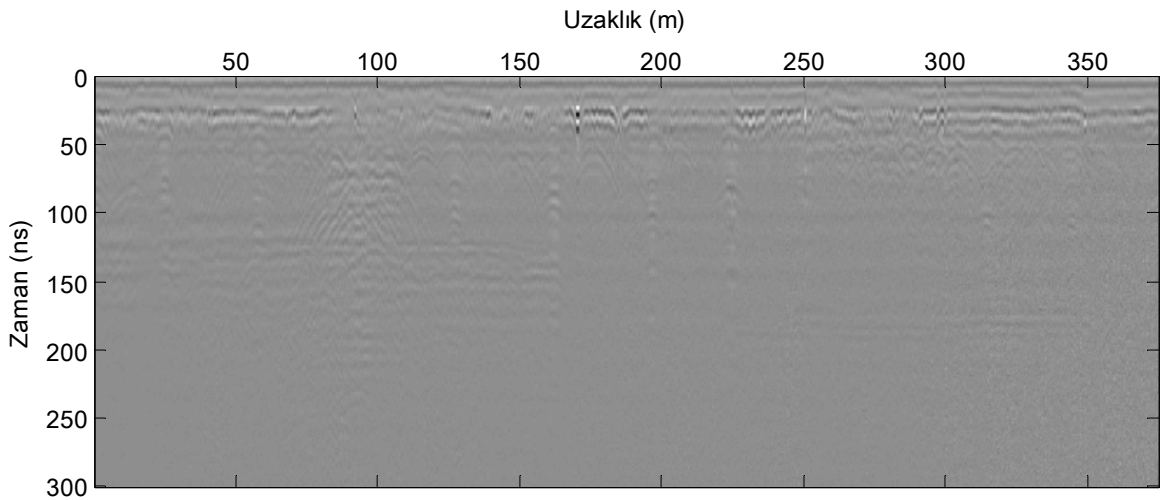
DEWOW işleminden sonra verilere açılımdan ve sönümlemeden kaynaklanan etkiyi yok etmek için değişik genlik düzeltmeleri uygulanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta genlik işlecini hesaplarken ortalama kare değerlerinin sıfır çıkmamasıdır. Aksi takdirde uygulama sıfıra bölme hatası verir. Gerçi arazi verilerinde böyle bir durumla karşılaşmak pek olası gözükmemekle birlikte, yapay verilerde bu durumun gözlenmesi olağandır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için tüm değerlere çok küçük bir sabit değer eklenir. Önceki bölümde değinildiği gibi AGC işlemi verilerdeki genlikleri bir tür dengelemekle birlikte gürültülerin sinyalleri bastırmasına ve dolayısıyla sinyal gürültü oranının azalmasına neden olabilmektedir. AGC bazen olmayan olayları da varmış gibi

gösterebilir. Şekil 57’de A kesitine uygulanan AGC işlemiyle genliklerde bir iyileşme gözlenirken ilk gelen dalgalardan sonraki 40 ns’lik bölgede bir gölgelenme görülmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için AGC pencere boyu küçültülebilir. Bu durumda da gürültüler oldukça artacaktır. Bunun yerine rmsAGC yöntemi akıllıca bir karar olarak düşünülebilir (Şekil 58). Şekil 58’de görüldüğü gibi kesitte gölgelenme sorunu çözülürken aynı zamanda yanal süreksizlikler de yitirilmektedir. Ayrıca görüntü ayrırlılığı da azalmıştır.

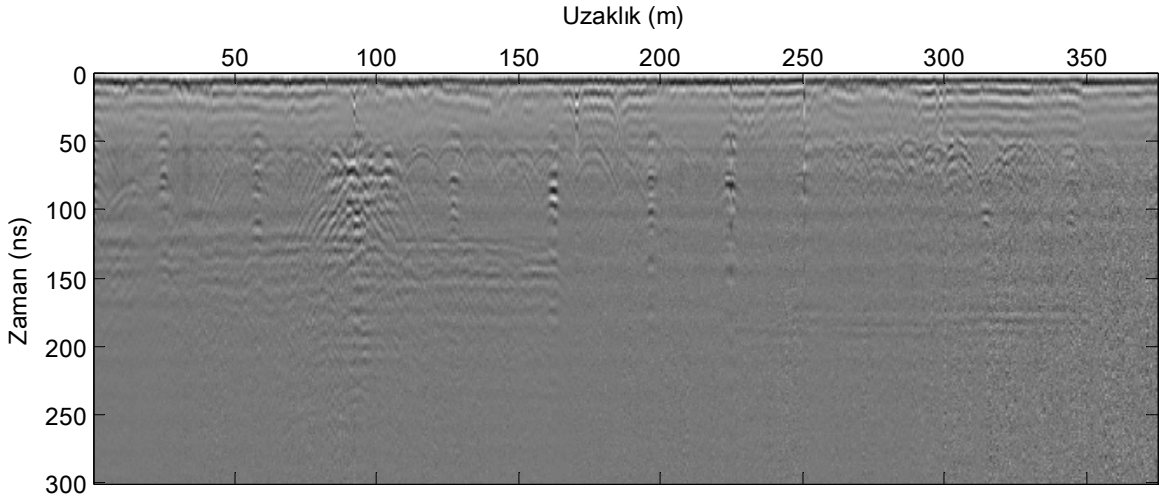
AGC işlemi yerine yanal süreksizlikleri ortaya çıkaracak bir yöntemi (PGC) tercih etmek yerinde bir karar olabilir (Şekil 59). PGC yönteminde AGC’ye göre bölgesel genlik sorunları ortadan kalkmış gibi gözükmektedir.



Şekil 57. Pencere boyutu 50 olan AGC uygulanmış A kesiti



Şekil 58. Pencere boyutu 50 olan rmsAGC uygulanmış A kesiti

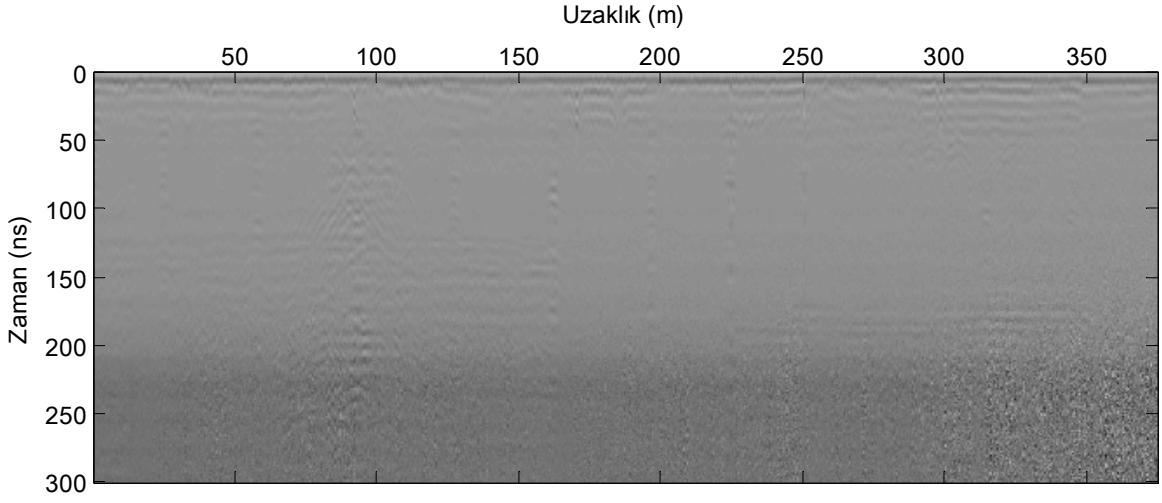


Şekil 59. Pencere boyutu 50 olan PGC uygulanmış A kesiti

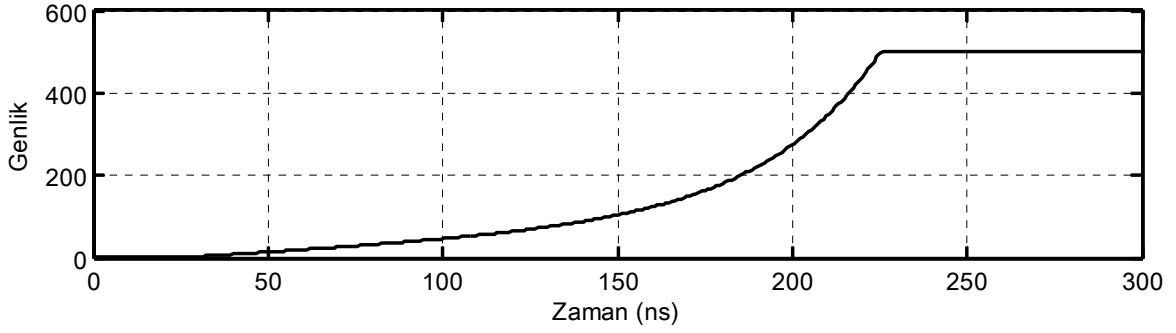
Yer radarı uygulamalarının genlik ayarlamaları konusunda daha çok SEC işlemi öncelik kazanmaktadır. Uygulamada açılım ve sönümlenme etkisi giderilmeye çalışılmaktadır. Bilindiği gibi EM dalgaları sonsuz bir ortamda küresel olarak yayılmaktadır. Dolayısıyla kürenin yarıçapı büyüdükçe küre yüzeyindeki EM dalga genliği düşmektedir. Bu durum açılım etkisini doğurmaktadır. Diğer bir etki ise yeraltında yayılan EM dalgalarının, ortamın özelliğine ve yayılan dalganın frekansına bağlı olarak sönümlenerek enerjisinin bir kısmını kaybetmesidir. Bu iki etkiyi gidermek için geliştirilen SEC düzeltmesi oldukça iyi sonuç vermektedir. Yalnız tek sakınca SEC işlemi için seçilecek parametrelerin tespitinde yaşanmaktadır. SAMBAT yazılım paketinde SEC işlemi uygulamak için,

$$A1 = \text{oksec}(c1, 0.5, 0.03, 30, 500);$$

komutunu yazmak yeterli olacaktır. A1 kesitine yukarıdaki komut uygulanarak Şekil 60'taki kesit elde edilmiştir. Burada kullanılan düzeltme işleci Şekil 61'de verilmektedir. Şekil 60'tan görüldüğü gibi SEC yöntemiyle genlik düzeltme işlemi ilk 200 ns'de farklı devam eden zamanlarda farklı bir etki göstermiştir. SEC işlecinin parametreleri seçilirken etkileşimli bir program yardımıyla seçilmelidir. Bu ise veri işleme zaman kaybettirecektir. Dolayısıyla, daha uygun ve kolay bir yöntem nasıl uygulanabilir? Soruna verilecek en basit yanıt, diğer kolay yöntemlerle değişik uygulama seçeneklerini denemek olacaktır. Örneğin AGC pencere boyutunu büyük tutmak belki iyi karar gibi gözükabilir. Yalnız hava ve yer dalgalarının etkisindeki sığ alan verilerinin genlikleri düşük kalacağı için uygun olmayabilir. Ayrıca kullanıcı tarafından seçilen süzgeç katsayıları ile bir genlik düzeltmesine gidilebilir. Oysa bu da pek kolay gözükmemektedir.

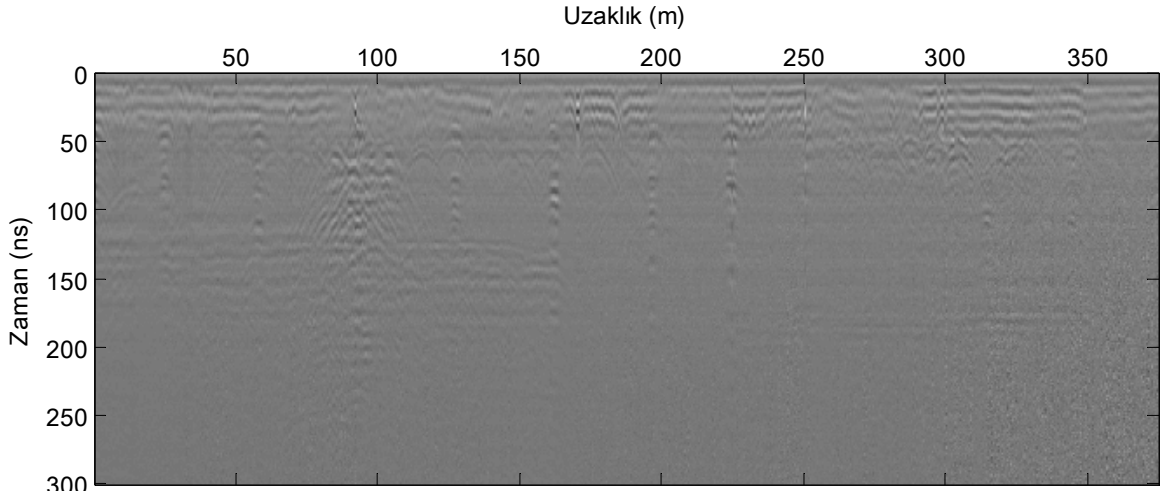


Şekil 60. Yukarıda verilen parametrelere göre SEC uygulanmış A kesiti

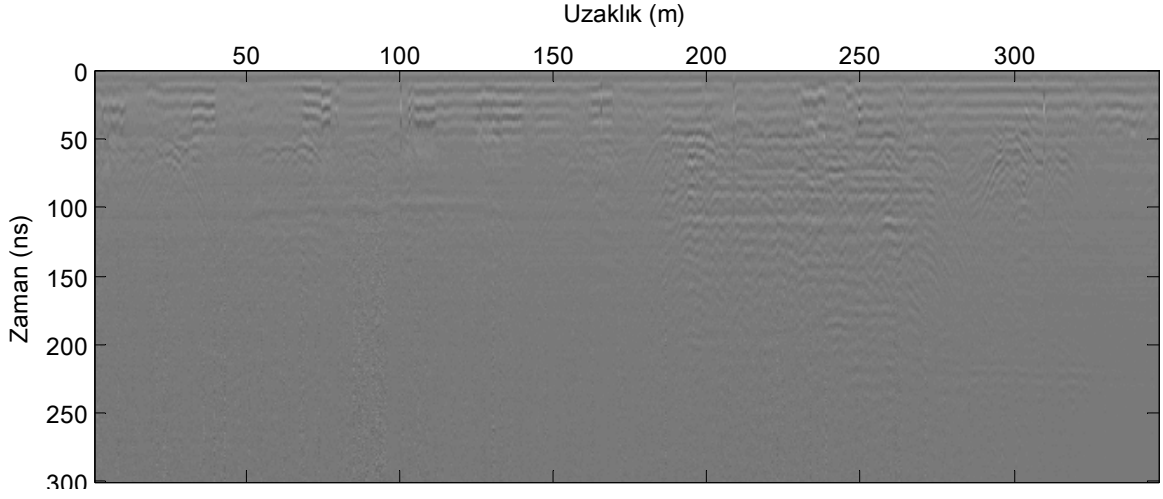


Şekil 61. SEC işlemi için seçilen kazanç işlevi

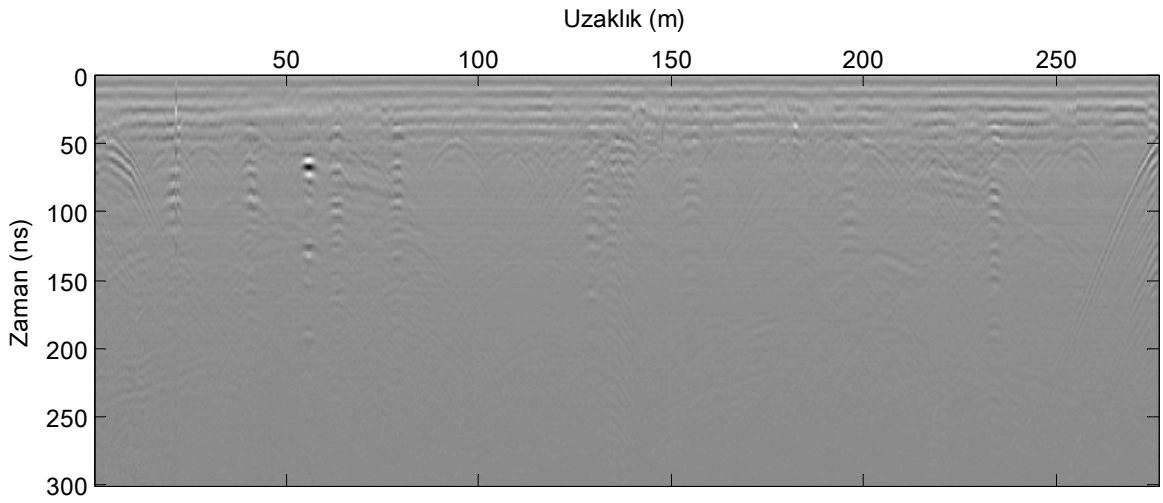
Sonuç olarak, YZD yönteminin bu sorunlara çözüm getirmesi beklenmektedir. Ölçü alınan tüm doğrultuların YZD işlemi sonucundaki kesitleri Şekil 62-65'te gösterilmektedir. Bu düzeltme işleminde veride istenmeyen olaylar ortaya çıkmamıştır. Ayrıca verideki yüksek frekanslı gürültülerde (özellikle ileri zamanlardaki) azalma olduğu görülmektedir. Verideki doğrusal olaylar ve yeraltındaki nesnelere belirtileri daha belirgin hale gelmiştir. Şekil 62 ve Şekil 63'teki kesitlerde parlaklık değeri normal gözükürken, Şekil 64'te parlaklık değeri artmış, Şekil 65'te parlaklık değeri azalmıştır. YZD işlemi sonucunda ilk gelen dalgalarda zayıflama gözlenirken tüm kesitlerde görüntüsel ayrımlılık değeri azalmıştır (Şekil 62-65).



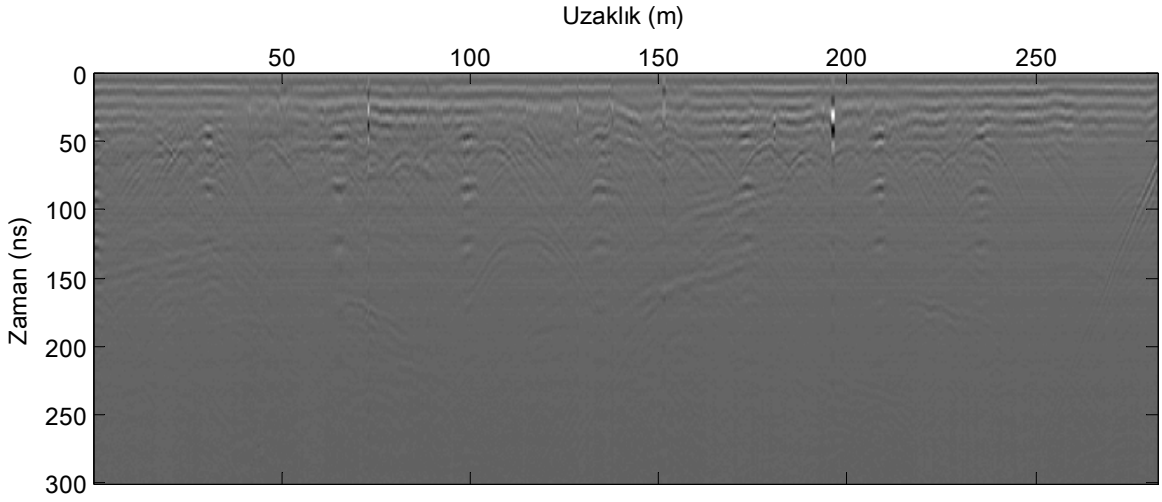
Şekil 62. A doğrultusunda YZD uygulanmış kesit



Şekil 63. B doğrultusunda YZD uygulanmış kesit



Şekil 64. C doğrultusunda YZD uygulanmış kesit



Şekil 65. D doğrultusunda YZD uygulanmış kesit

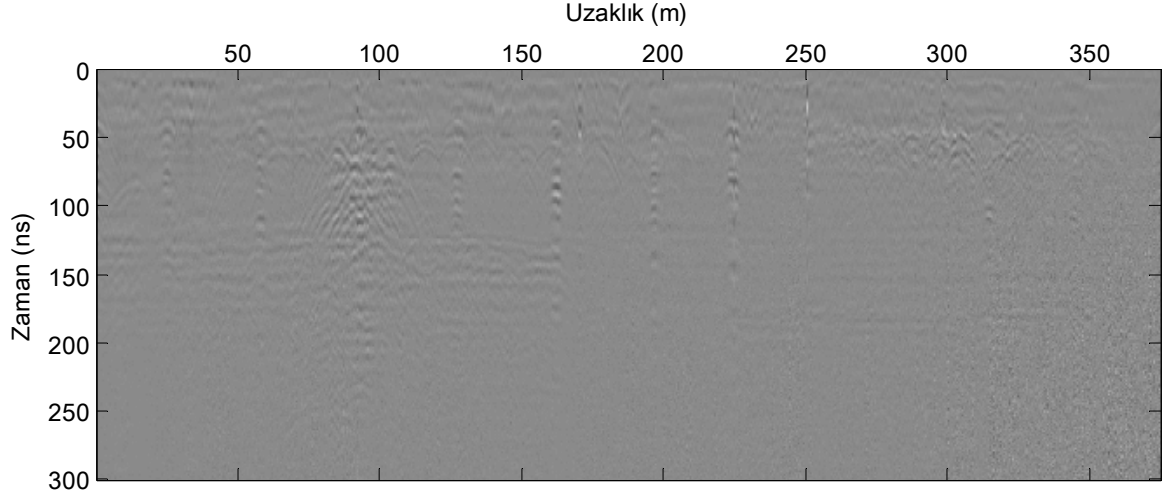
2.5.1.3. Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinde Doğrusal Yanal Olayların Süzülmesi

Genlik düzenlemesinden sonra, yer radarı verilerinde sık karşılaşılan diğer bir sorun ise, hava ve yer dalgalarının sığ yansımaları kapatmasıdır. Bunun yok edilmesi için uygulanan en yaygın ve hızlı yöntem, ortalama iz çıkarma işlemidir. İster tüm izlerin uzaysal yöndeki ortalaması alınır ve elde edilen bu iz tüm izlerden çıkarılır, isterse belli sayıda iz seçilerek elde edilen ortalama iz diğerlerinden çıkarılır. Bu uygulamada sadece hava ve yer dalgaları değil aynı zamanda yatay yönde süreklilik gösteren olaylar (tabakalar) da yok edilebilir. Bazen bu durum, pratikte işe yarayabilir. Eğer aradığınız şey bir gömü ise yanal süreklilikler işinize pek yaramaz. Yalnız yeraltı topografyası size lazımsa, o durumda bu yöntemi kullanmak tehlikeli olabilir. Bu durumda önerilen yöntem, uygulanan bu yöntemin belli bir zaman aralığında uygulanmasıdır. Aynı uygulama yanal yönde (uzaysal yönde) yüksek geçiren bir süzgeç kullanarak da gerçekleştirilebilir. Bu yöntem de oldukça etkilidir. Aynı şekilde FK ortamında eğim süzgeci ve Radon veya eğim yığılması (slant stack) ortamında atma (mute) yöntemi gibi işlemlerde pratikte uygulanmaktadır. Eğim yığılması süzgeci işleminde rho süzgecinin iyi uygulanması gerekir. Aksi takdirde ters eğim yığılması veride alçak frekanslı istenmeyen sonuçlar doğurabilir.

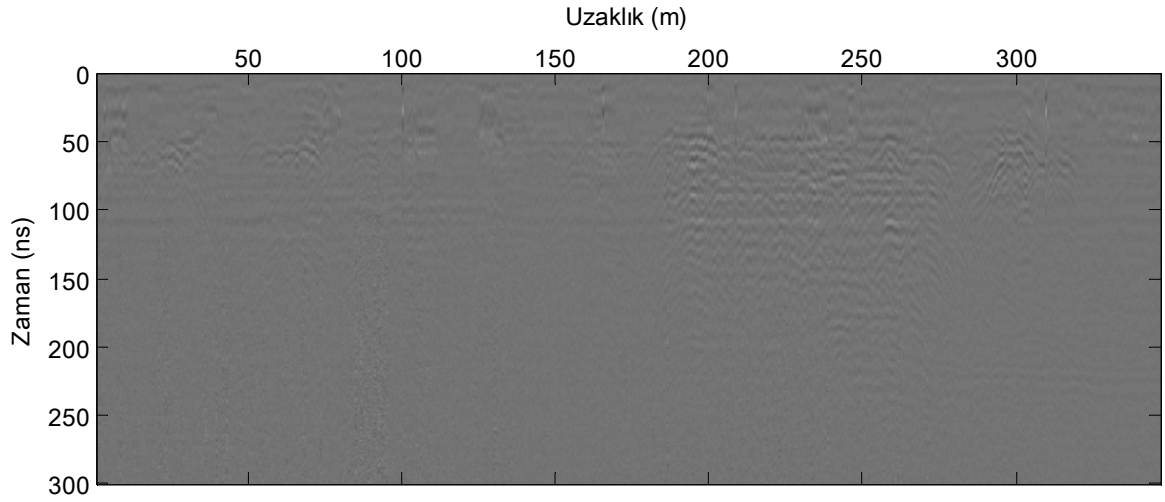
Bu çalışmada, KLT dönüşümü uygulanarak verilerdeki düz olayları tespit etmek ve bu olayları istenilen zaman aralığında veriden çıkararak, yanal sürekliliklerin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu şekilde arazi verilerine yapılan uygulamanın daha sağlıklı olduğu Şekil 66–69’da görülmektedir. Bu şekillerde yanal olayların temizlenmesiyle birlikte sığ olaylar daha belirgin hale gelmiştir. Özellikle 50 ns’den önceki bazı belirtiler

belirginleşmiştir. Şekil 68'deki C kesitindeki parlaklık ise KLT süzgeci sonucunda ortadan kalkmıştır. Şekil 69'daki D kesitinde ise yanal olarak uzanan şerit şeklinde gölgeli yapı KLT süzgeci sonucunda silinmiştir.

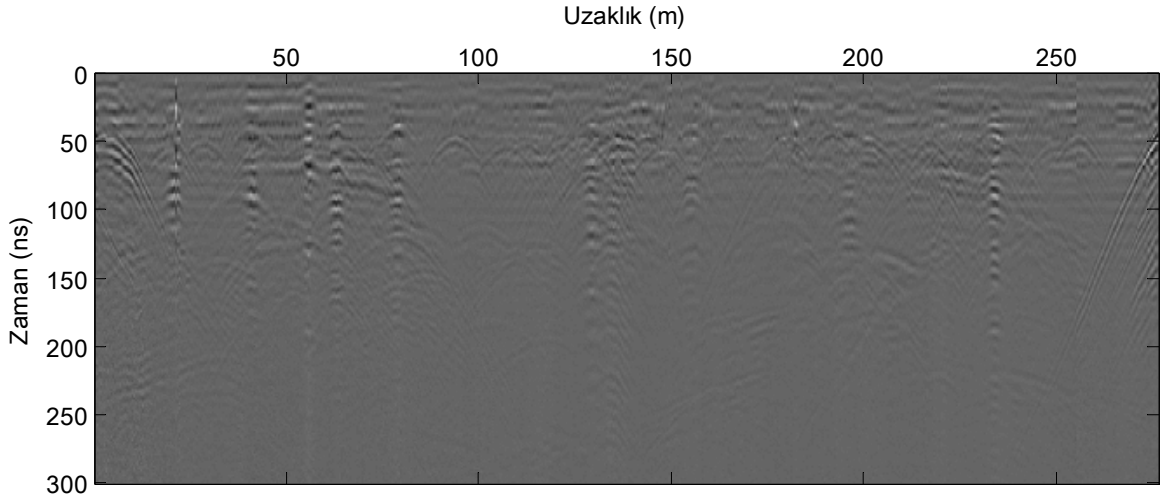
KLT süzgecinin en önemli üstünlüğü sadece tekdüze yanal olayları (hava ve yer dalgaları) temizlenmesi, diğer yanal olayları ve hiperbol tepelerini ise fazla yok etmemesidir.



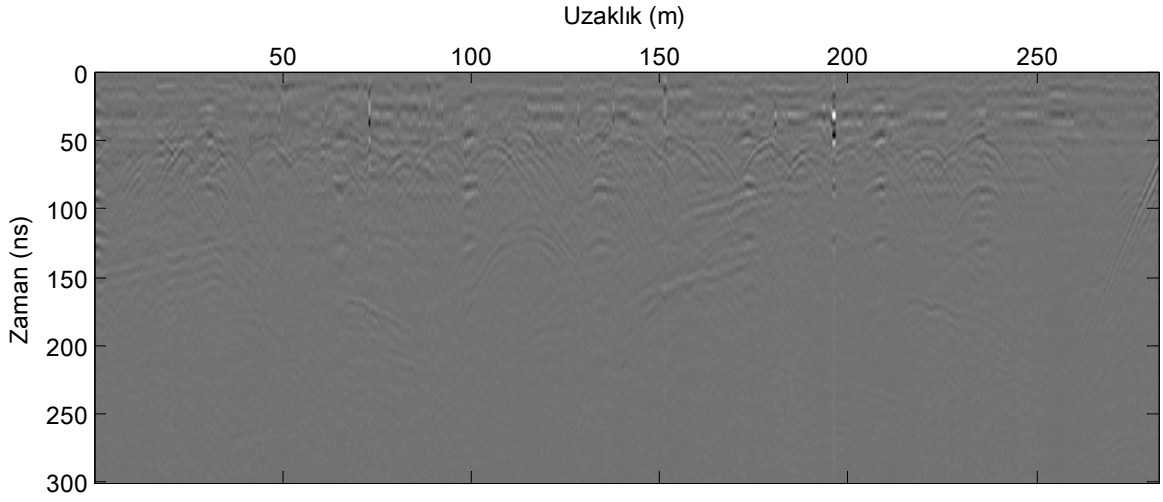
Şekil 66. A doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit



Şekil 67. B doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit



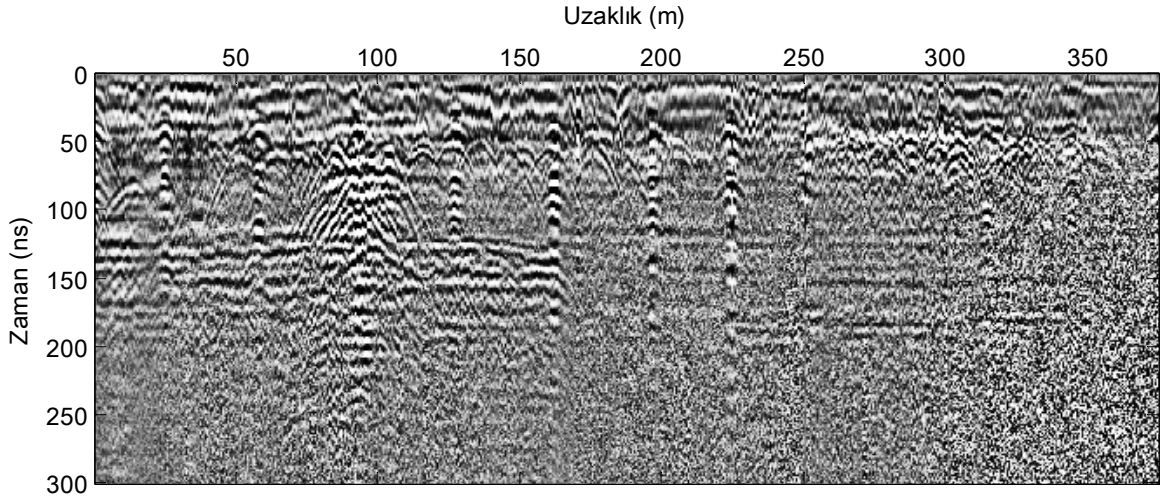
Şekil 68. C doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit



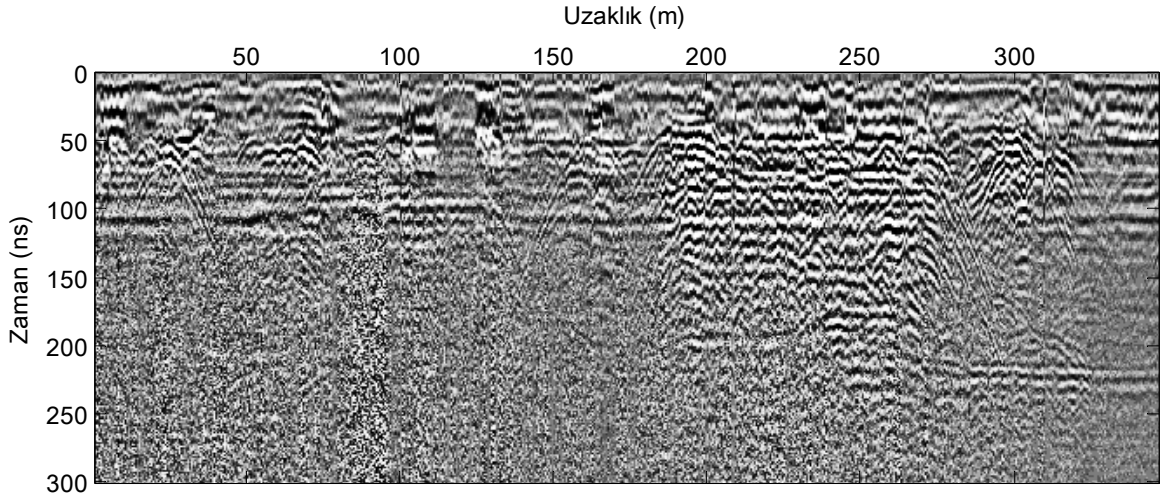
Şekil 69. D doğrultusunda YZD uygulanmış kesiti KLT ile artalan temizlenmiş kesit

2.5.1.4. Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinde Sıklık (Histogram) Eşitlemesi

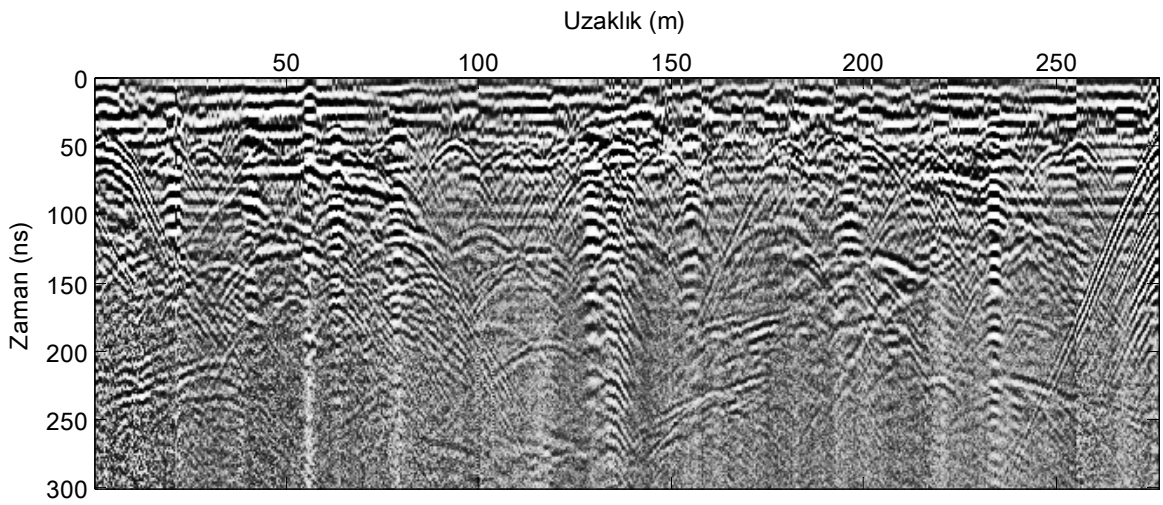
KTÜ yerleşkesi içerisinde ölçülen kesitlere YZD uygulandıktan sonra verilerdeki görüntüsel ayrımlılığın azaldığı görülmekteydi (Şekil 62–65). Dolayısıyla görüntüsel ayrımlılığı ve parlaklığı artırmak için tüm kesitlere sıklık eşitlemesi uygulanmıştır (Şekil 70 –73). Sıklık eşitlemesi sonucunda tüm kesitlerde rasgele gürültüler öne çıkarken (özellikle Şekil 70 ve Şekil 71’de) Şekil 73 ve Şekil 74’te düşey yönde şeritsel gürültülerin oluştuğu görülmektedir.



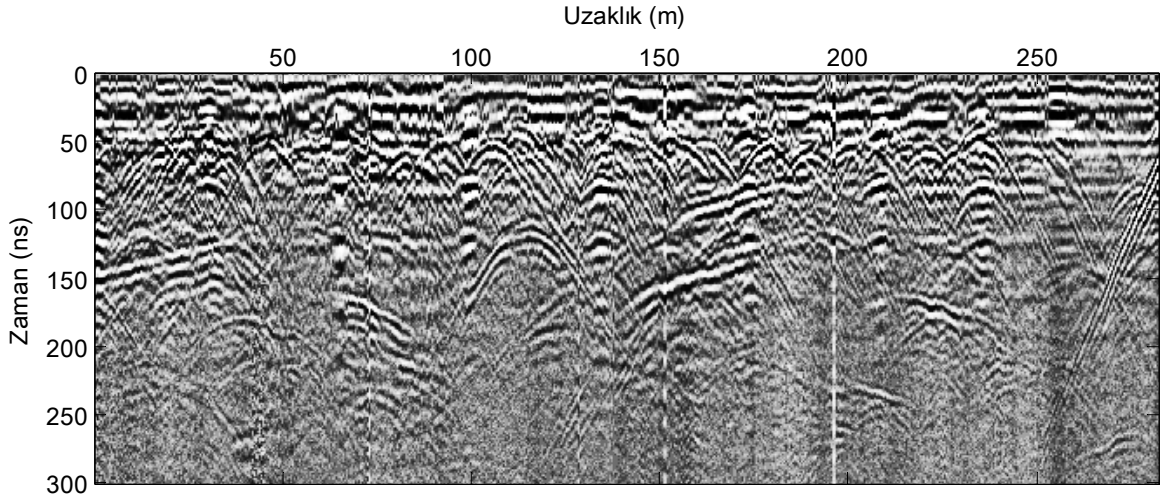
Şekil 70. A kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış



Şekil 71. B kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış



Şekil 72. C kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış



Şekil 73. D kesitine sıklık eşitlemesi uygulanmış

Kesitlerde görüldüğü gibi sıklık eşitlemesi kesitteki çözünürlüğü artırarak veri işlem aşamasında hiperbolların seçimini kolaylaştırmaktadır. Ancak bu işlem yüksek frekanslı rasgele gürültüleri güçlendirerek S/N oranını düşürmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta uyumlu değil rasgele gürültülerin baskın olmasıdır. Rasgele gürültüler ise kesitlerden kolaylıkla temizlenebilir.

2.5.1.5. Yerleşke Alanı Yer Radarı Verisindeki Yüksek Frekanslı Olayların Süzülmesi

Yapılan bu uygulamadan sonra yer radarı arazi verilerinde görülen bir diğer sorun ise, ilerleyen zamanlarda sinyalin sönümlemesinin giderilmesine karşın rasgele gürültünün ön plana çıkmasıdır. Dolayısıyla bu etkinin giderilmesi için zamansal yönde alçak geçiren veya bant geçiren bir süzgeç uygulanması uygun bir yöntemdir. Diğer bir uygulama ise zamansal yönde ortanca veya ortalama süzgeçidir.

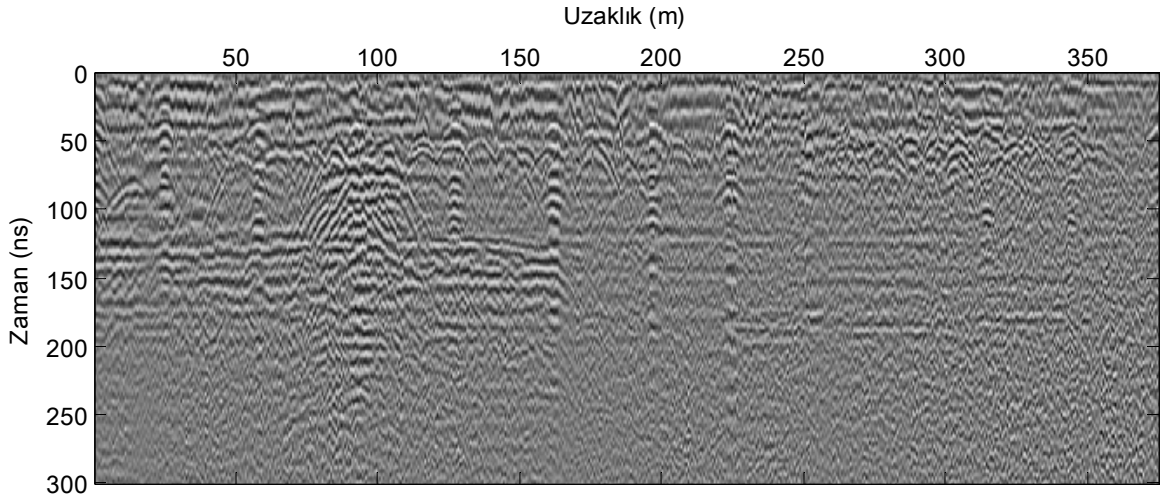
Yer radarı verilerinde bant geçiren bir süzgeç uygularken genelde kullanılan antenlerin merkez frekansının yarısı kadar soldan ve yarısı kadar sağdan bir bant aralığı seçilir. Örneğin merkez frekansı 100 MHz olan bir antende 50 ile 150 MHz aralığı kullanılır [47]. SAMBAT yazılım paketinde bant geçiren süzgeç için,

```
A1 = okfilter(A1, [0.05 0.1 0.3 0.35], [0 1 1 0]);
```

komutunu yazmak yeterli olacaktır.

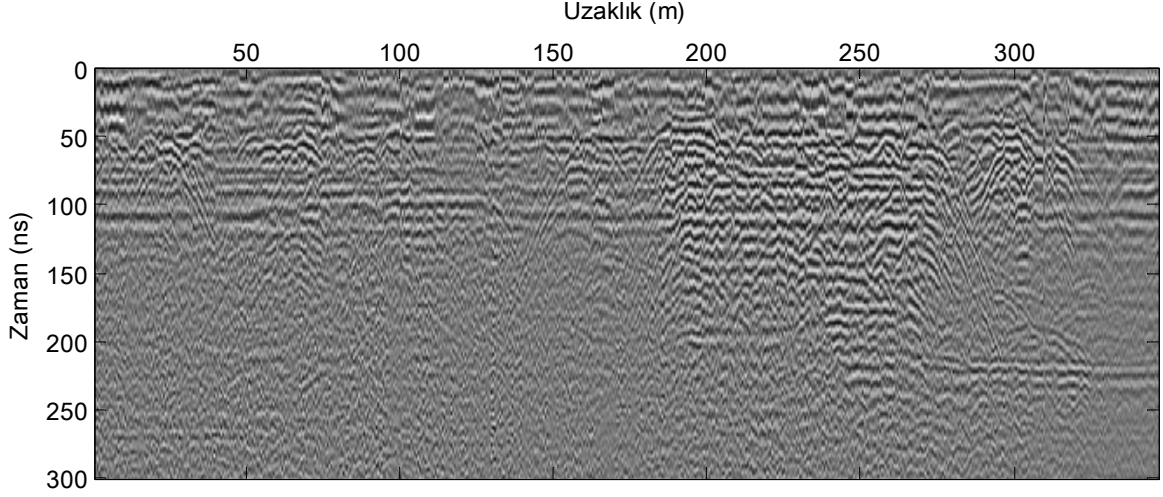
Bu çalışmada bant geçiren bir süzgeç uygulaması kullanılarak Şekil 74–77 elde edilmiştir.

Şekil 74'te A kesitinde yüksek frekanslı gürültüler elenmiş ve olaylar daha açık gözükmektedir. Özellikle 50 ns dolayındaki hiperbolların tepe bölgeleri diğer olaylardan sıyrılmış olarak gözükmektedir. 100 ile 200 ns'ler arasında katmansal bir yapı olduğu tahmin edilen birçok yanal olay gözükmektedir. Ayrıca, kesitlerdeki yer yer düşey yönlü şerit şeklinde olaylar kaldırım kenarlarında bulunan ışıklandırma direklerini göstermektedir. A kesitinin 100. metresinde aşağı yönde uzayan iç içe girmiş hiperbollar Fizik bölümünden Mimarlık bölümüne doğru yola dik ısıtma borularının bulunduğu kanalı göstermektedir.



Şekil 74. A kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi

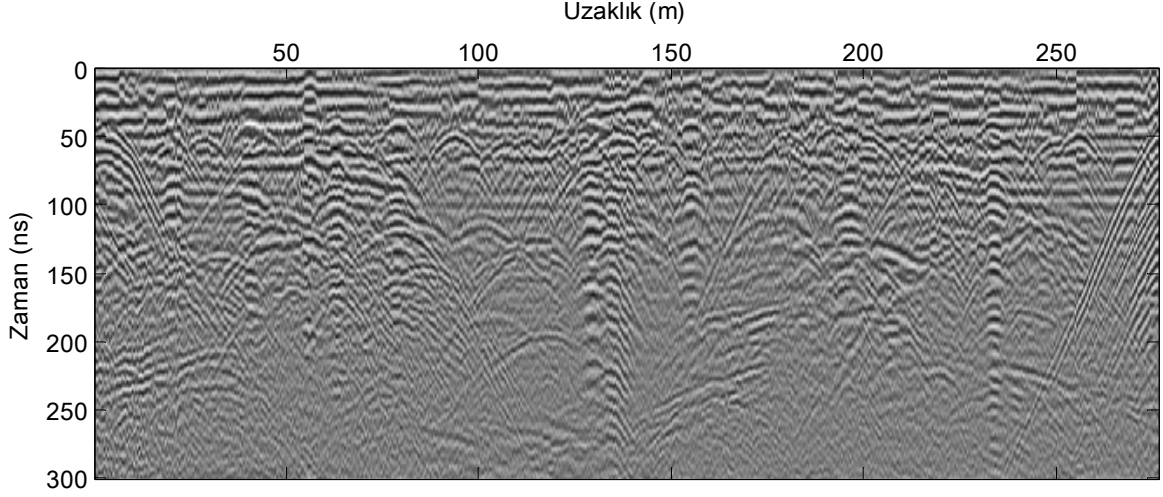
Şekil 75'te B kesitinde de yüksek frekanslı gürültüler elenmiş ve olaylar daha açık gözükmektedir. Özellikle 50 ns dolayındaki hiperbolların tepe bölgeleri diğer olaylardan sıyrılmış olarak gözükmektedir. A kesitinde 100 ile 200 ns'ler arasında görülen yanal olaylar burada 25 ile 125 ns'ler arasında görülmektedir. Dolayısıyla A doğrultusundan B doğrultusuna doğru eğimli bir yapıdan söz edilebilir. B kesitinin 160. metrelerinde özellikle 50 ile 100. ns'ler arasında aşağı yönde uzayan iç içe girmiş hiperbollar Fizik bölümünden İnşaat bölümüne doğru yola dik ısıtma borularının bulunduğu kanalı göstermektedir. 200 ile 250. metreler arasındaki karmaşık olaylar bölgede farklı bir yapının (büyük ihtimalle dolgu malzemesi) varlığını göstermektedir.



Şekil 75. B kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi

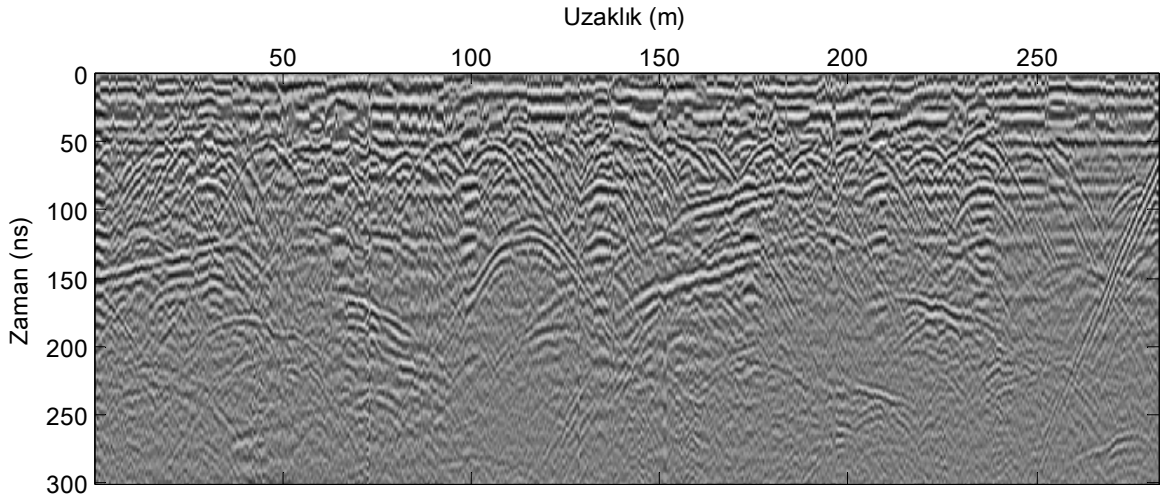
Şekil 76'da C kesitinde yüksek frekanslı gürültüler elenmiş ve olaylar daha açık gözükmemektedir. Özellikle düşey yöndeki şeritsel gürültüler elenmiştir. Bu kesitte A ve B kesitine göre yapısal değişiklikler daha karmaşık gözükmemektedir. Dolayısıyla bu bölgenin faylanmalar olduğu ve bölgenin dolgu malzemesi ile kaplandığı tahmin edilmektedir. C kesitinin 120. metrelerinde aşağı gidildikçe birçok saçılma hiperboluna raslanmaktadır. Bunlar Jeoloji bölümünden Makine bölümüne doğru yola dik ısıtma borularının bulunduğu kanalı göstermektedir. Yaklaşık 170. metrelerde aynı olaylar tekrar gözlenmektedir. Bunlar Orman fakültesinden Elektrik bölümüne giden ısı kanalı göstermektedir. A ve B kesitlerindeki ısı kanallarının etkilerinin daha açık gözükmesinin nedeni, bu kanalların kesitlerindeki ısı kanalları yüzeye daha yakın olmasındandır. C doğrultusunun sonuna gidildikçe kesitte yüzeyden gelen yansımalar tüm zaman boyunca kendini göstermektedir.

Şekil 77'de D kesitinde yüksek frekanslı gürültüler elenmiş ve olaylar daha açık gözükmemektedir. Özellikle düşey yöndeki şeritsel gürültüler elenmiştir. Bu kesitte C kesitinde olduğu gibi yapısal değişiklikler karmaşık gözükmemektedir. Dolayısıyla bu bölgede faylanmalar olduğu ve bölgenin dolgu malzemesi ile kaplandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 76. C kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi

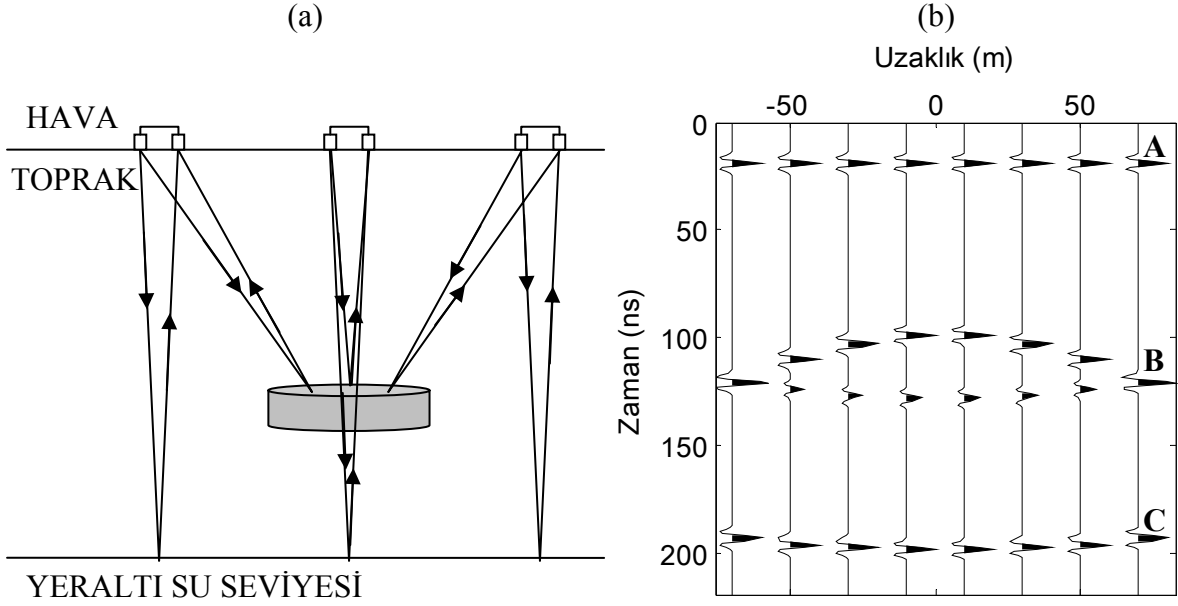
D kesitinin 120. metrelerinde aşağı gidildikçe birçok saçılma hiperboluna raslanmaktadır. Bunlar Jeoloji bölümünden Makine bölümüne doğru yola dik ısıtma borularının bulunduğu kanalı göstermektedir. Yaklaşık 170. metrelerde aynı olaylar tekrar gözlenmektedir. Bunlar Orman fakültesinden Elektrik bölümüne giden ısı kanalı göstermektedir. A ve B kesitlerindeki ısı kanallarının etkilerinin daha açık gözükmesinin nedeni, A ve B kesitlerindeki ısı kanalları yüzeye daha yakın olmasındandır. D doğrultusunun sonuna gidildikçe kesitte yüzeyden gelen yansımalar tüm zaman boyunca kendini göstermektedir.



Şekil 77. D kesitine bant geçiren bir süzgeç uygulanarak çok düşük ve yüksek frekanslı olayların izden temizlenmesi

2.5.1.6. Yerleşke Alanı Yer Radarı Verilerinin Hız Çözümlemesi

Yer radarı verilerinin toplanmasında yaygın olarak COG dizilimi kullanılmaktadır. Bu dizilimin üstünlükleri olmasına rağmen, derinlik dönüşümünde, genlik düzeltmesinde ve göç işleminde gerekli olan hız bilgisi eksikliği vardır. Dolayısıyla uygulamada, COG ölçülerinin yanından CSG (veya diğer bir deyişle CDP) kayıtları alınarak, hız bilgisi elde edilmeye çalışılır. Bu işlem bazen olanaklı olmayabilir. Bunun nedenleri, kullanılan anten bileşenlerinin tek durağan bir düzenek olması, kablo uzunluğunun yetersizliği veya akım derinliği gibi sıralanabilir. Ayrıca CDP ölçü düzeneği COG düzeneğine göre daha masraflı olmaktadır. Bu durumda COG verileri üzerinden hız çözümü yapılabilir mi? COG verilerine hız çözümü yapılabilmenin yolu ortamda bulunan gömülerin sağladığı saçılma hiperbolları olabilir. Bir hiperbolun kolları bize verici anten – gömü – alıcı anten arasında yolculuk yapan EM dalgalarının hızını veya diğer bir deyişle çevre malzemenin hızını verecektir. Şekil 78(a)'da içinde gömülü düşük hızlı nesne bulunan toprak tabakası ve altında yeraltı suyu içeren bir tabakanın olduğu model görülmektedir. Şekilde COG dizilimi kullanılarak alıcı-verici anten çifti, bir gömü ve su tabakasından oluşan düzende yansımalar şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 78(b)'de ise bu modele ait hesaplanan 8 iz gösterilmiştir. Burada A belirtisi yer dalgasını (ilk gelen dalgalar) gösterirken, B saçılması gömünün sağladığı hiperbolu, C ise gömüden geçip su tabakasından olan yansımaları göstermektedir. C hiperbolunun ters yönde oluşması nesneden geçen dalganın yavaşlamasıyla sinyallerin daha geç gelmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 78. (a) COG ölçüleri ile gömülü nesnenin belirlenmesi, (b) gömülü nesnenin verilerde oluşturduğu hiperbollarin görünümü

CDP kayıtlarında açılıma göre değişik sabit hızlarda NMO yapıldıktan sonra çıkan kesitlerin uzaysal yönde yığılması yapılarak elde edilen izlerin oluşturduğu kesit, hız çözümü olarak ifade edilmektedir. Oysa COG ölçü alma düzeneğinde, sabit bir açılım alındığı ve sıfır açılımlı ize yakın bir iz elde edildiği için açılım burada söz konusu olmayacaktır. Bu nedenle normal bir hız çözümü yapmak olanaklı gözükmemektedir.

2.5.1.6.1. Kayan Hız Çözümü

Normal hız çözümü yerine her verici-alıcı noktasının orta noktası olan CMP noktalarını açılım gibi alarak değişken sabit hızlarda NMO yapılsa yer radarı yönteminde hız çözümü soruna çözüm üretilebilir. Bunun için aşağıdaki bağıntı,

$$H(t, v) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau, x - x_0) dx \quad (69)$$

kullanılır. Burada, $\tau = \sqrt{t^2 + (x - x_0)^2 / v^2}$ olarak verilmektedir. Bağıntıda, x değişkeni uzaklığı ifade ettiği için, ölçünün başlangıç noktası (veya hiperbolun tepe noktası) x değerinin sıfır noktası olarak kabul edilmektedir. Bu durumda değişik konumlardaki gömülerin verdiği hiperbolları belirlemek olanaksız olacaktır. Dolayısıyla her hiperbolun tepe noktasını sıfır açılım kabul edip, ona göre hız çözümü yapmak daha uygun olacaktır. Yalnız bu durumda da kesitlerdeki hiperbollarin iyi gözlenebilmesi

gerekmektedir. Kayan hız çözümlemesi işlemini açıklamak için bölüm 2.3.7’de hesaplanan yapay yer radarı kesiti kullanılacaktır. Bu kesitte,

```
[x,t]=okdigit('o');
```

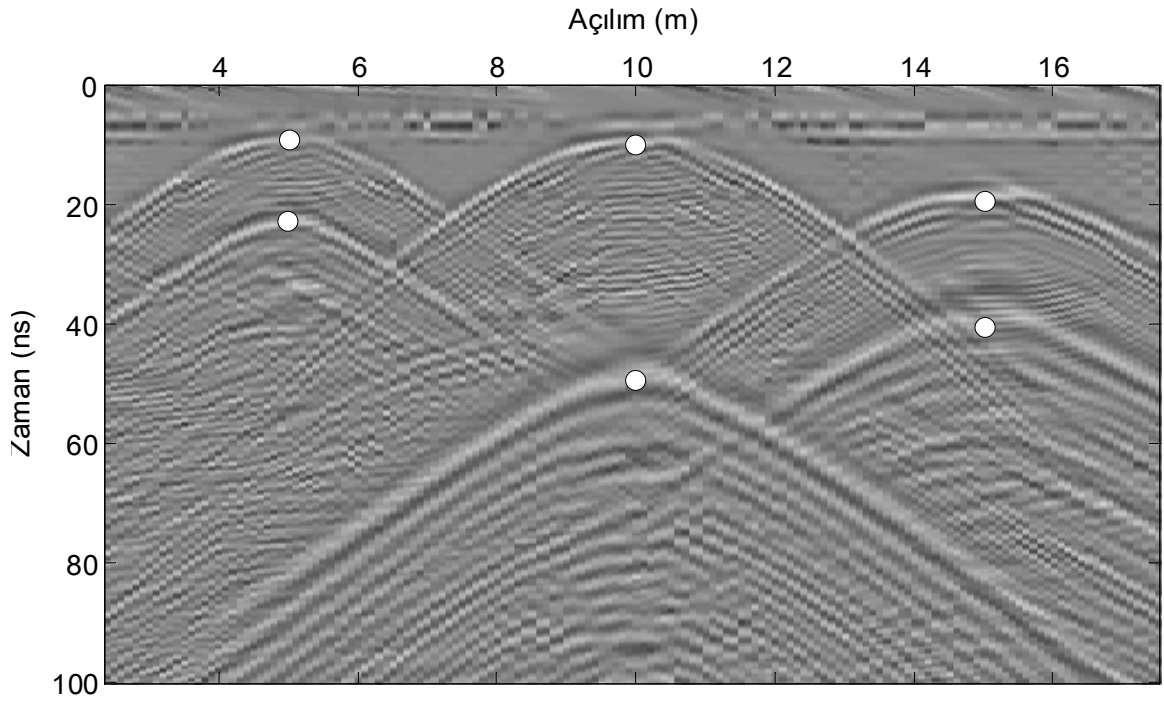
komutu yazılarak, fare yardımıyla hiperbolların tepe noktaları işaretlenir (Şekil 79). Burada x değişkeni

```
[5 5 10 10 15 15]
```

değerlerini verirken, t değişkeni

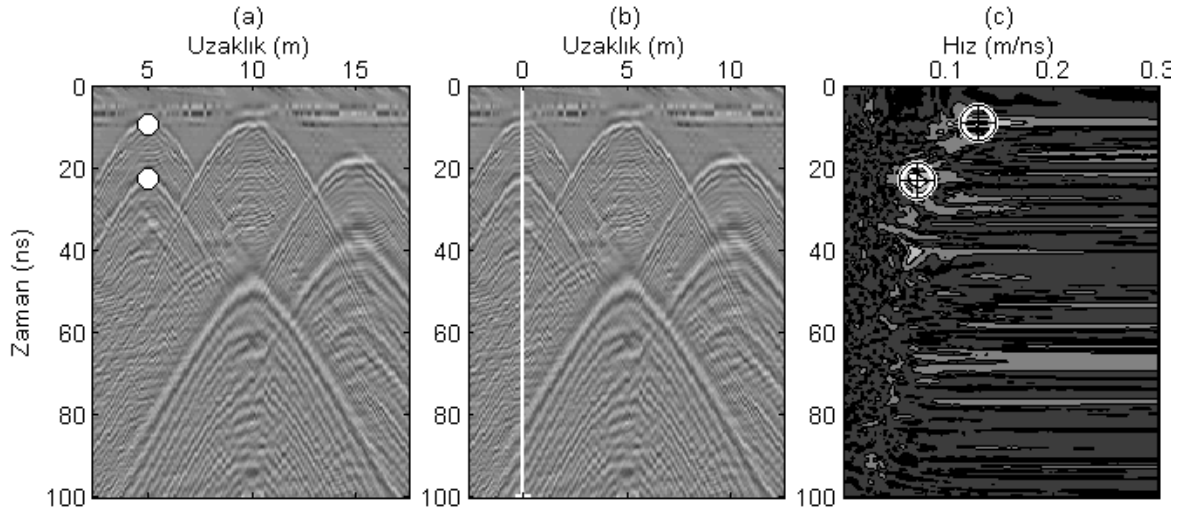
```
[9.1883 23.2500 9.6677 49.2970 18.9360 38.5910]
```

değerlerini vermektedir.



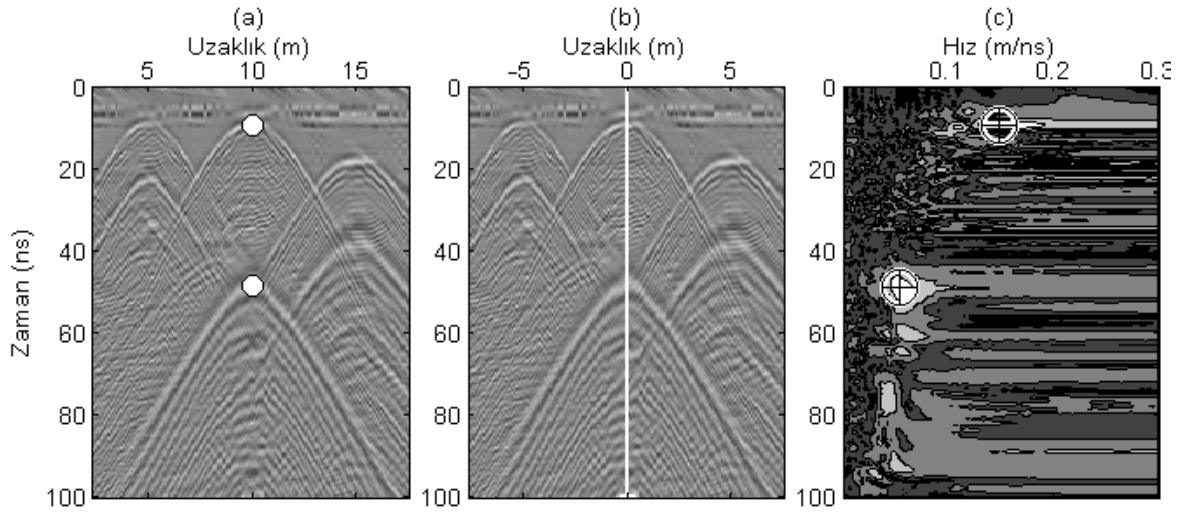
Şekil 79. Tepe noktası seçilmiş üç hiperboldan oluşan yapay yer radarı kesiti

Uygulamada yapay yer radarı kesitinin uzaklık değerlerini 5 metre sağa kaydırılarak açılımda değişiklik yapılmasıyla sıfır noktası birinci hiperbolun tepe noktasına getirilmiştir. Dolayısıyla birinci hiperbol ve aşağısındaki görüntüsü için hız çözümlemesi bu şekilde yapılabilir (Şekil 80). Hız çözümlemesi sonucunda hiperbolları temsil eden hız kapanımlarından hiperbolların hızları sırasıyla 0.13 m/ns ve 0.07 m/ns olarak bulunmuştur (Şekil 80(c)).



Şekil 80. Uzaklığı 5 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü

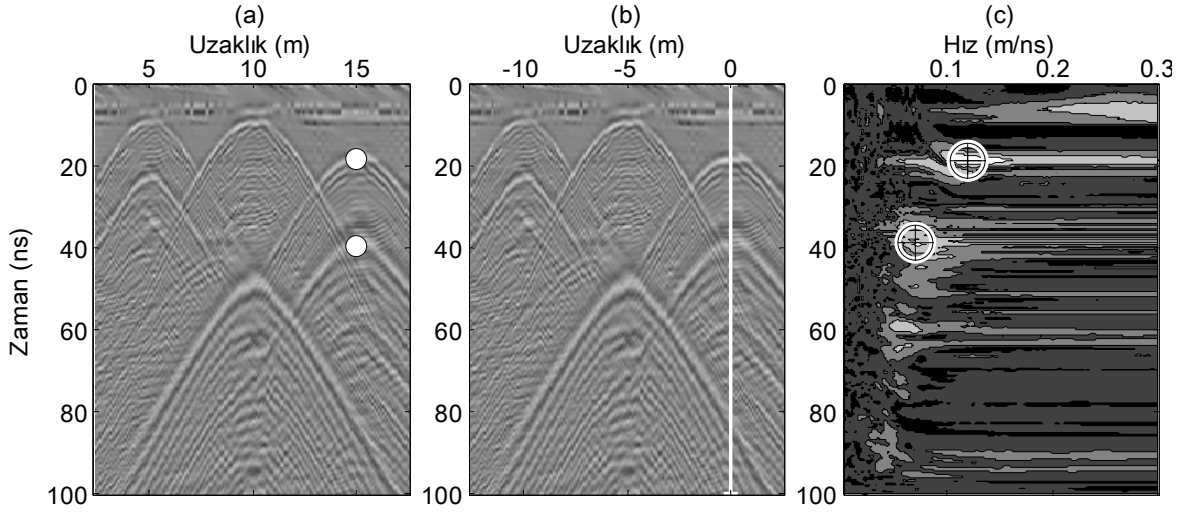
Daha sonra yapay yer radarı kesitinin uzaklık değerlerini 10 metre sağa kaydırarak açılımda değişiklik yapılmasıyla sıfır noktası ikinci hiperbolun tepe noktasına getirilmiştir. Bu durumda ikinci hiperbol ve aşağısındaki görüntüsü için hız çözümü yapılabilir (Şekil 81). Hız çözümü sonucunda hiperbolları temsil eden hız kapanımlarından hiperbolların hızları sırasıyla 0.15 m/ns ve 0.06 m/ns olarak bulunmuştur (Şekil 81(c)).



Şekil 81. Uzaklığı 10 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü

Son olarak yapay yer radarı kesitinin uzaklık değerlerini 15 metre sağa kaydırarak açılımda değişiklik yapılmasıyla sıfır noktası üçüncü hiperbolun tepe noktasına getirilmiştir. Dolayısıyla üçüncü hiperbol ve aşağısındaki görüntüsü için hız çözümü yapılabilir (Şekil 82). Hız çözümü sonucunda hiperbolları temsil eden hız

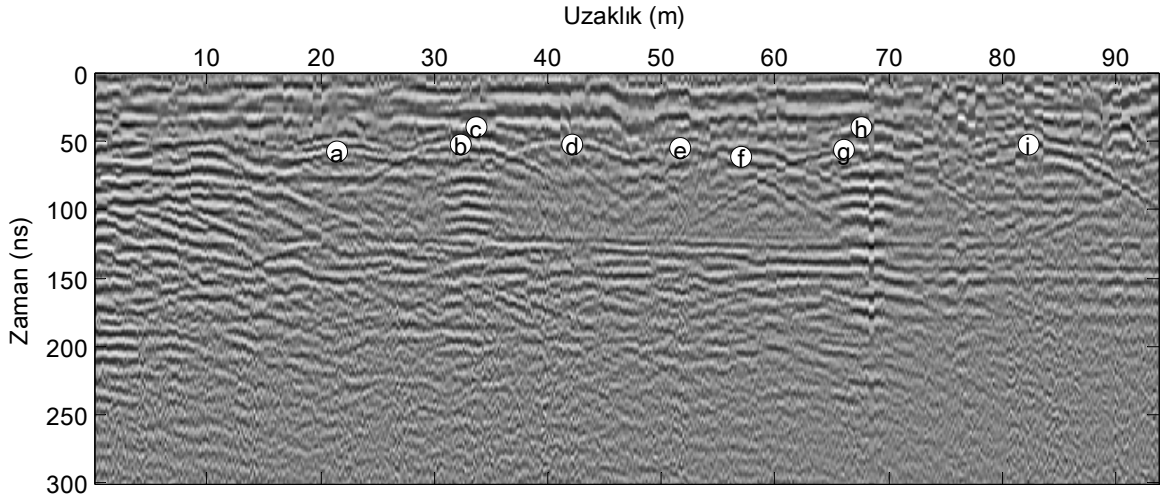
kapanımlarından hiperbolların hızları sırasıyla 0.12 m/ns ve 0.07 m/ns olarak bulunmuştur (Şekil 82(c)).



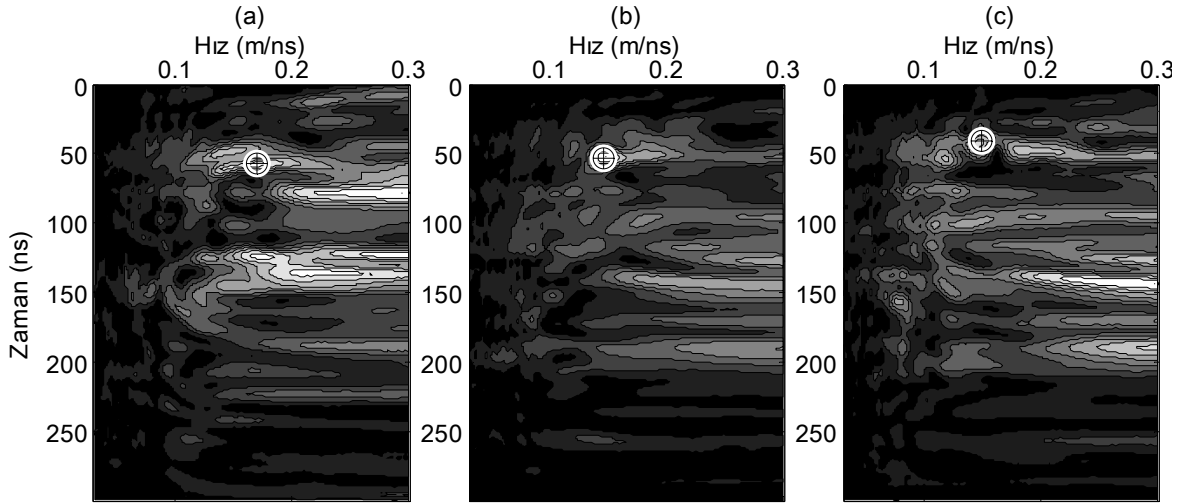
Şekil 82. Uzaklığı 15 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü

Aynı yöntem, KTÜ yerleşkesinden elde edilen işlenmiş kesitlere uygulanmıştır. Kesitlerde konum ve zaman bilgileri, elle belirlenerek hiperbolların tek tek hız çözümlenmeleri yapılmıştır. Uygulamada hızlar belirlenirken hiperbolların zaman bilgileri yardımcı bilgi olarak kullanılmakta ve her seferinde sadece tek bir hiperbola ait hız bilgisi elde edilmektedir. Ayrıca hız çözümü yaparken uzaysal boyuttaki tüm veriler değil belli bir pencere seçilerek pencere içerisine düşen veriler hız çözümlemesine katılmaktadır. Bunun öncelikli nedeni diğer güçlü sinyallerin hiperbolun oluşturacağı kapanımı bozmasını veya bastırmasını engellemektir.

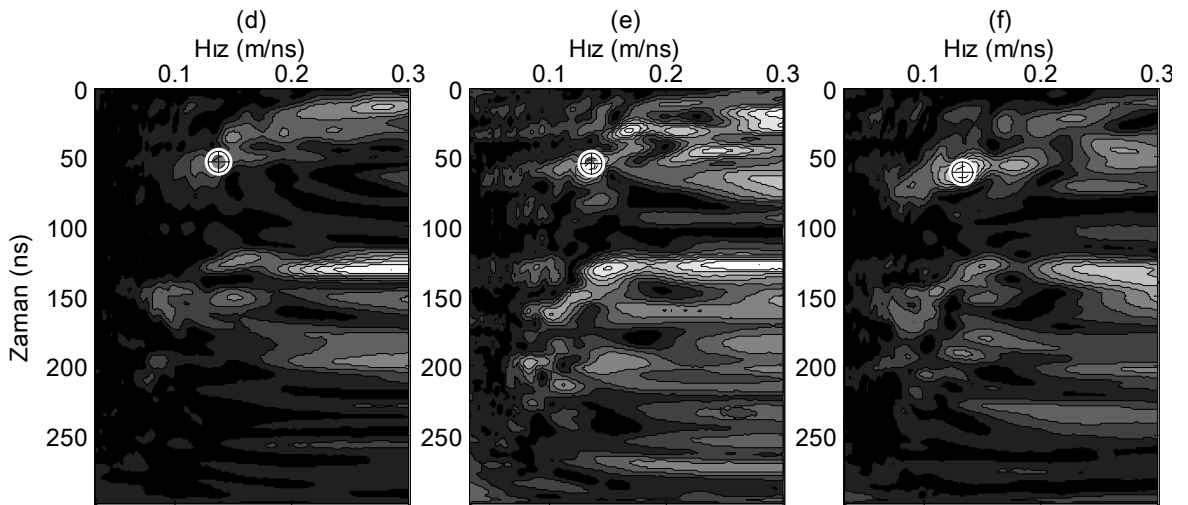
KTÜ yerleşkesinden elde edilen kesitlerin hız çözümü için uzunlukları fazla olduğundan kesitler parçalara bölünerek incelenmiştir. Örnek olarak Şekil 83'de A2 kesitindeki hiperbolların yerleri fare yardımıyla seçilip her biri için hız çözümlenmeleri yapılmıştır (Şekil 84–86). Bu şekillerdeki hız çözümlenmelerinde farklı konumlarda daha güçlü kapanımlar varken yalnızca işaretlenen hiperbolun zaman eksenini bilgileri göz önünde tutularak seçim yapılmıştır.



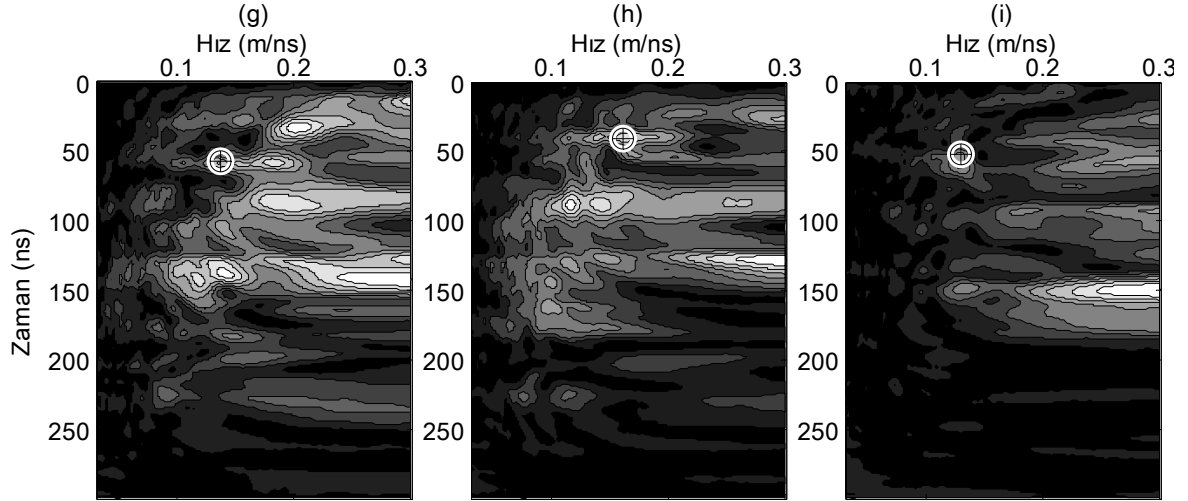
Şekil 83. A2 kesitindeki hiperbolların belirlenmesi



Şekil 84. A2 kesitindeki a, b ve c hiperbollarının hız çözümü

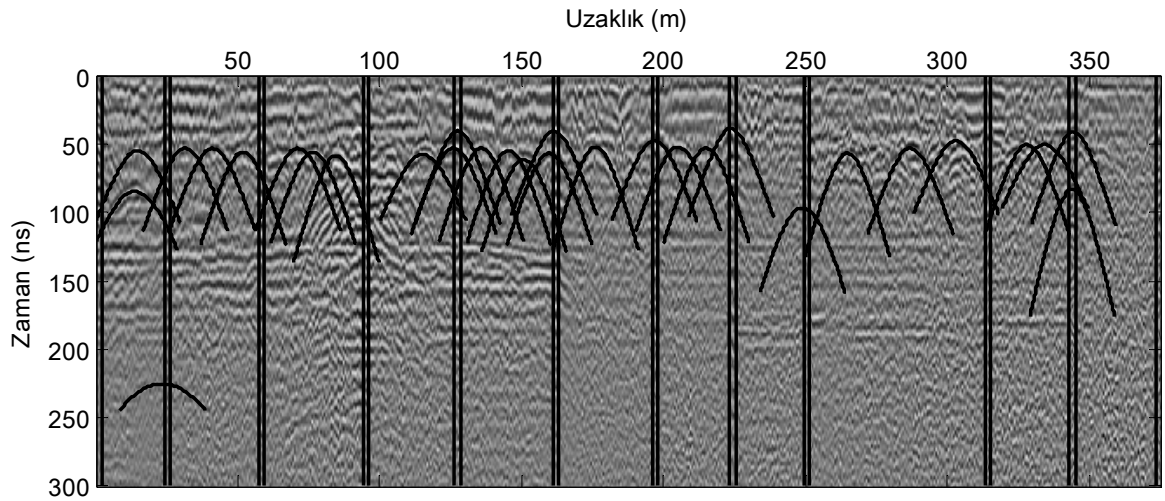


Şekil 85. A2 kesitindeki d, e ve f hiperbollarının hız çözümü



Şekil 86. A2 kesitindeki g, h ve i hiperbollarının hız çözümlemesi

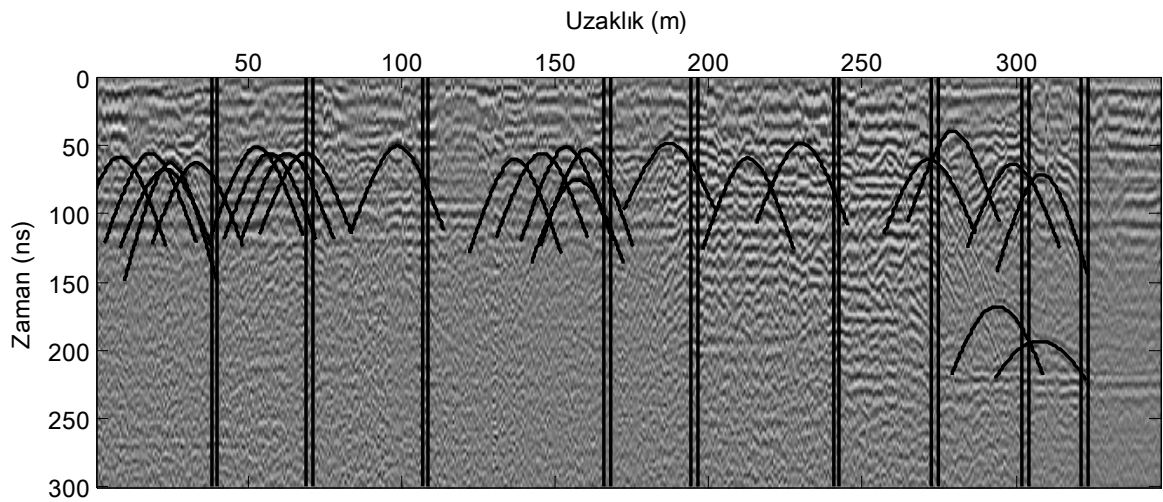
Tüm kesitlerden elde edilen kapanımlardan hız, zaman ve konum bilgileri bulunmuştur. Bulunan bu hızlar kullanılarak kesitte hiperbollar çizilmiş ve çakışma olup olmadığı karşılaştırılarak seçimin doğruluğu ispatlanmıştır (Şekil 87–90). Ölçü sahasında bulunan ışıklandırma direklerinden kaynaklanan düşey yöndeki sütun şeklindeki süreksizlikler yerleri dikey çizgi çiftleriyle gösterilmiştir (Şekil 87–90). Elde edilen hız, zaman ve konum bilgileriyle bunlardan elde edilen derinlik bilgileri Tablo 3–6’da verilmiştir.



Şekil 87. A kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi

Tablo 3. A kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri

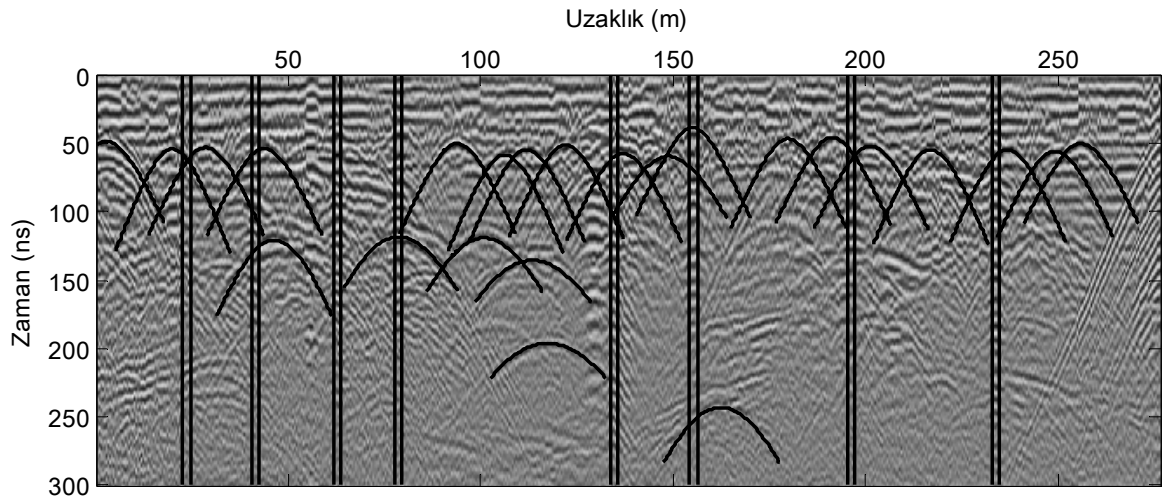
Konumlar (m)	Zamanlar (ns)	Hızlar (m/ns)	Derinlikleri (m)
13,8480	84,6700	0,1579	6,6826
14,7920	54,7860	0,1622	4,4431
23,6060	225,0300	0,1572	17,6896
31,5810	52,9750	0,1485	3,9337
41,1290	52,9750	0,1510	3,9996
51,9370	55,6920	0,1361	3,7890
71,2430	52,9750	0,1504	3,9832
76,4890	55,6920	0,1367	3,8063
84,6740	58,4080	0,1218	3,5559
115,2080	57,5030	0,1697	4,8783
126,0150	52,9750	0,1460	3,8680
127,4840	40,2970	0,1491	3,0049
135,7730	52,9750	0,1373	3,6373
145,4270	54,7860	0,1348	3,6934
150,7780	61,1250	0,1323	4,0446
159,8020	56,5970	0,1367	3,8681
161,3760	40,2970	0,1603	3,2304
176,0650	52,0700	0,1292	3,3645
196,7361	47,5420	0,1585	3,7670
205,0250	52,0700	0,1485	3,8665
214,9930	52,9750	0,1367	3,6206
223,7020	38,4860	0,1566	3,0135
248,8850	96,4420	0,1193	5,7513
264,7290	56,5970	0,1249	3,5336
286,8685	52,9750	0,1460	3,8680
302,9220	47,5420	0,1678	3,9888
328,0000	50,2580	0,1429	3,5912
334,1910	50,2580	0,1815	4,5607
343,8440	82,8580	0,0963	3,9878
344,2640	41,2030	0,1479	3,0468



Şekil 88. B kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi

Tablo 4. B kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri

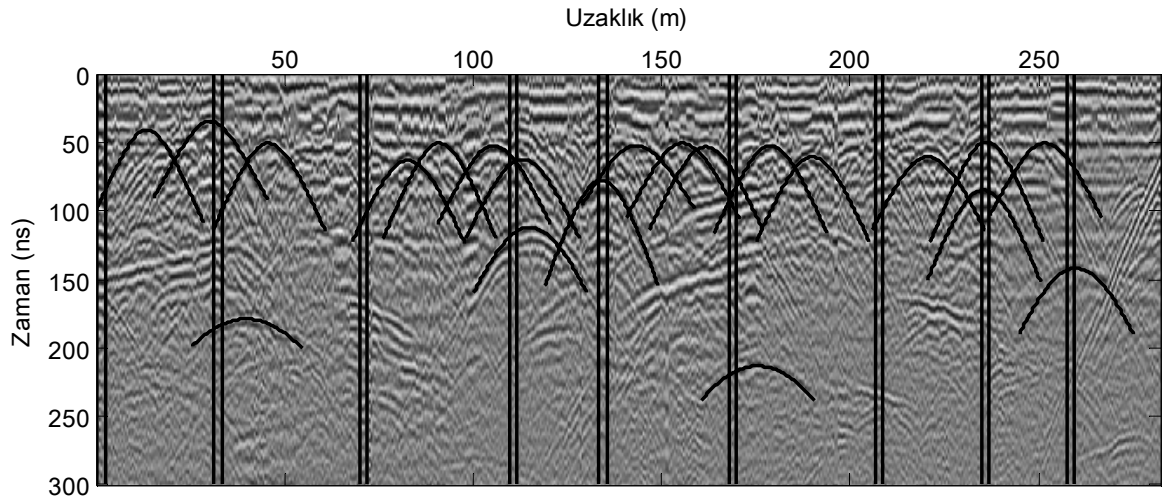
Konumlar (m)	Zamanlar (ns)	Hızlar (m/ns)	Derinlikleri (m)
7,8656	58,4080	0,1379	4,0284
17,8660	55,6920	0,1392	3,8756
22,9140	67,4640	0,1423	4,7997
24,3710	62,9360	0,1112	3,4989
33,0120	62,9360	0,1404	4,4191
52,6230	51,1640	0,1448	3,7038
56,7980	55,6920	0,1435	3,9970
62,5260	55,6920	0,1435	3,9970
68,4490	55,6920	0,1498	4,1702
98,4630	50,2580	0,1504	3,7789
136,7600	60,2200	0,1317	3,9661
145,5080	55,6920	0,1442	4,0143
153,5750	51,1640	0,1379	3,5288
157,0750	74,7080	0,1317	4,9203
160,0880	52,9750	0,1348	3,5713
187,1090	48,4470	0,1771	4,2907
212,7700	59,3140	0,1342	3,9803
230,1690	48,4470	0,1554	3,7634
271,8680	60,2200	0,1523	4,5842
279,6440	39,3920	0,1523	2,9987
294,0300	167,9800	0,1075	9,0247
299,2790	63,8420	0,1404	4,4827
307,9300	193,3400	0,1379	13,3347
308,5130	71,0860	0,1193	4,2392



Şekil 89. C kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi

Tablo 5. C kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri

Konumlar (m)	Zamanlar (ns)	Hızlar (m/ns)	Derinlikleri (m)
2,7831	48,4470	0,1566	3,7934
19,9040	53,8810	0,1267	3,4144
28,6700	52,9750	0,1442	3,8184
43,8310	53,8810	0,1435	3,8670
46,4090	120,8900	0,1168	7,0594
78,8970	118,1800	0,1442	8,5184
93,9568	50,2580	0,1442	3,6226
100,9777	119,0800	0,1442	8,5833
106,3470	58,4080	0,1292	3,7740
112,0250	54,7860	0,1373	3,7616
113,5740	135,3800	0,1566	10,6003
117,6010	196,0500	0,1454	14,2528
122,1430	51,1640	0,1386	3,5446
137,1140	57,5030	0,1392	4,0016
148,8840	59,3140	0,1753	5,1980
155,0790	38,4860	0,1541	2,9655
162,5130	243,1400	0,1031	12,5339
179,9620	46,6360	0,1473	3,4340
191,4225	45,7310	0,1510	3,4527
201,3340	52,0700	0,1491	3,8829
216,9250	54,7860	0,1348	3,6934
236,9550	54,7860	0,1373	3,7616
249,2410	55,6920	0,1435	3,9970
256,0550	50,2580	0,1554	3,9040



Şekil 90. D kesitindeki hiperbolların ve direklerin işaretlenmesi

Tablo 6. D kesitindeki hiperbolların gösterdiği olayların konumları, hızları ve derinlikleri

Konumlar (m)	Zamanlar (ns)	Hızlar (m/ns)	Derinlikleri (m)
13,5760	40,4600	0,1490	3,0139
30,3130	33,9580	0,1784	3,0287
39,9970	178,8500	0,1659	14,8383
45,8920	50,2580	0,1454	3,6538
82,8390	62,9360	0,1411	4,4386
91,1550	50,2580	0,1373	3,4507
105,5890	52,0700	0,1547	4,0287
113,1760	62,0310	0,1467	4,5484
115,1780	111,8400	0,1317	7,3658
134,1450	77,4250	0,1124	4,3524
143,5240	52,0700	0,1821	4,7412
155,6420	50,2580	0,1622	4,0759
161,8590	52,9750	0,1498	3,9668
175,6630	213,2600	0,1417	15,1063
178,9300	52,0700	0,1442	3,7532
190,0994	60,2200	0,1404	4,2283
220,7640	60,2200	0,1547	4,6592
235,4110	84,6700	0,1199	5,0760
236,2540	49,3530	0,1336	3,2963
251,7440	50,2580	0,1628	4,0915
259,9630	141,7200	0,1193	8,4515

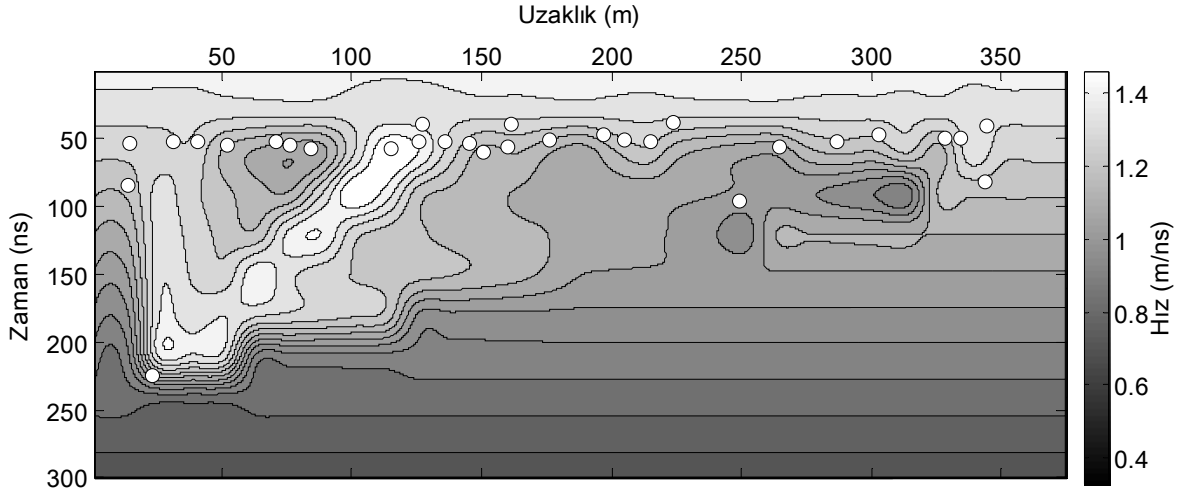
Elde edilen hız bilgilerine göre kesitlerin ayrı ayrı tahmini hız haritaları çıkarılarak derinlik dönüşümü yapılabilir. Bunun için belirlenen hız değerleri arasında bir ilişki kurularak hız haritaları çıkarılmıştır (Şekil 91–94). Hiperbol hızlarından, derinlik arttıkça EM hızlarında azalma olduğu görülmektedir. Hızlardaki bu azalmayı doğrusal bir işlev yardımıyla hız haritalarına yansıtıldığında hiperbol hızları ile doğrusal hızlardaki değişimler rahatlıkla gözlenebilir. Hız haritalarında hiperbol hızları ile doğrusal hızlar arasında bazı doğrultularda bir uyum gözlenirken, bazılarında tam bir uyumsuzluk görülmektedir. Bu uyumsuzluklar yorumcuya katkı sağlayabilir.

Şekil 91’de 50 ns dolayında duran hiperbollar atık kanallarını gösterirken özellikle 100. metrelerde kapanımların düzensizleştiği yerler Mimarlık bölümü önündeki ısı kanalını göstermektedir. En aşağıdaki kapanım ise iptal atık kanalını göstermektedir.

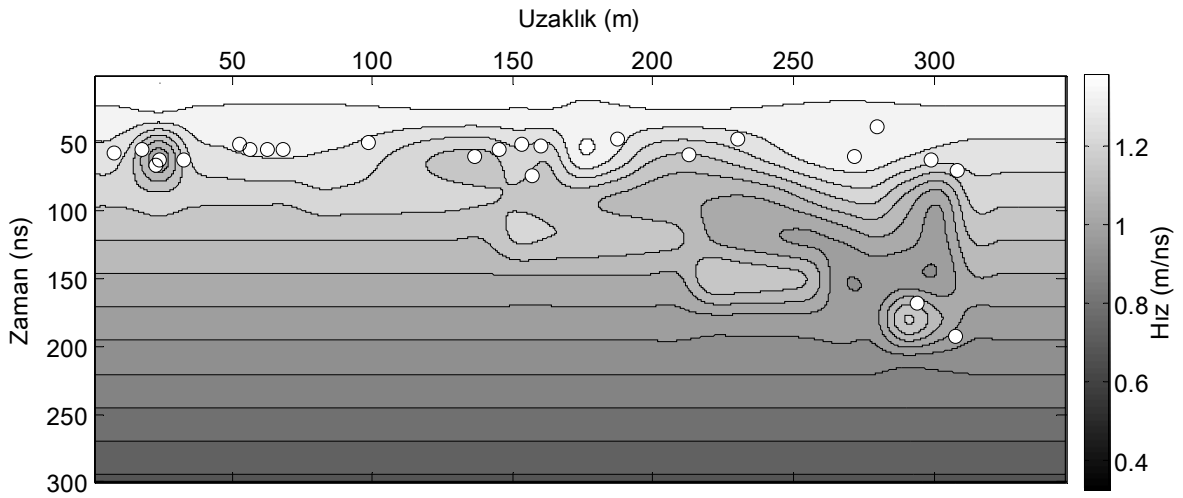
Şekil 92’de 50 ns dolayında duran hiperbollar atık kanallarını gösterirken özellikle 300. metrelerde kapanımların düzensizleştiği yerler Fizik bölümüne giden ısı kanalını göstermektedir.

Şekil 93’de 50 ns dolayında duran hiperbollar atık kanallarını gösterirken 100 ile 150. meterler arasındaki kapanımlar Jeoloji bölümünden Makine bölümüne giden ısı kanalını göstermektedir. Yine aynı şekilde 150 ile 200 metreler arasındaki kapanımlar ise Orman fakültesinden Elektrik bölümüne giden ısı kanalını göstermektedir.

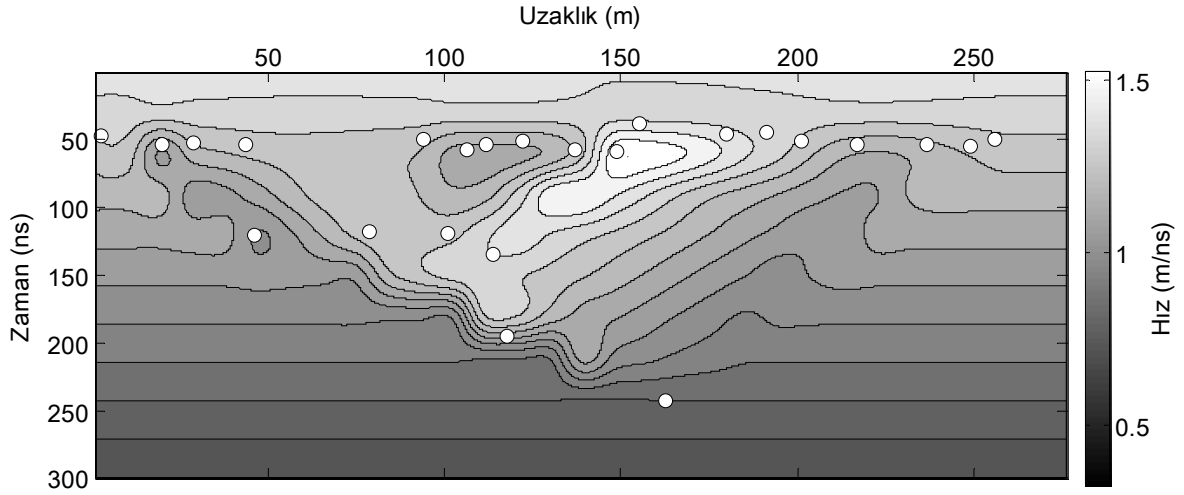
Şekil 94’de 50 ns dolayında duran hiperbollar atık kanallarını gösterirken 100 ile 150. meterler arasındaki kapanımlar Jeoloji bölümünden Makine bölümüne giden ısı kanalını göstermektedir. Yine aynı şekilde 150 ile 200 metreler arasındaki hiperbollar ise Orman fakültesinden Elektrik bölümüne giden ısı kanalını göstermektedir. Ayrıca 250 metre dolaylarındaki kapanımlar ise İktisadi ve İdari Bilimler fakültesine giden ısı ve atık kanallarını göstermektedir.



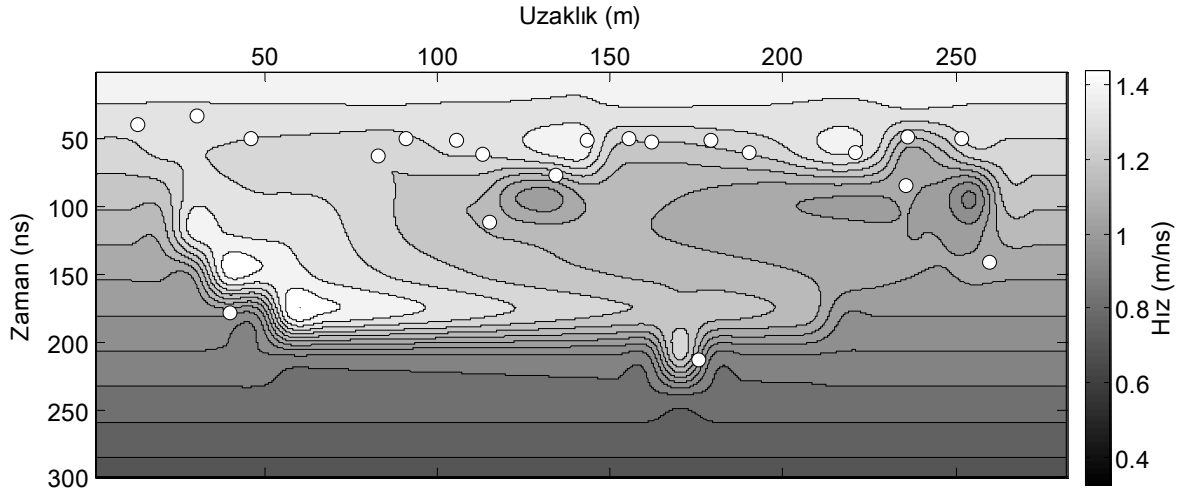
Şekil 91. A kesitinin hız haritası



Şekil 92. B kesitinin hız haritası



Şekil 93. C kesitinin hız haritası



Şekil 94. D kesitinin hız haritası

2.5.1.6.2. Düşey ve Yatay Hız Çözümlemesi

Kayan hız çözümü, seçilen x değerlerine göre hız çözümü yaptığı için veri işlemeye büyük oranda sorumluluk ve iş yüklemektedir. Oysa her x noktasında hız çözümü yapmak sorunun çözümüne katkı sağlayabilir. Bu ise birçok hız kesitinin incelenmesine ve işlenmesine neden olacağı için veri işlem maliyetini artıracığından pek uygun olmayacaktır. Bunun yerine elde edilen kesitleri zamansal ve hızsal yönde toplayarak iki ayrı kesit elde edilmesi buradan hızların bulunması ve nesnelerin yerinin bulunmasında yorumlamayı daha kolay hale getirmektedir. Bu çalışmada, zamansal yönde hız kesitlerinin toplanması işlemine “Düşey Hız Çözümü (DHÇ)” ve hızsal yönde hız

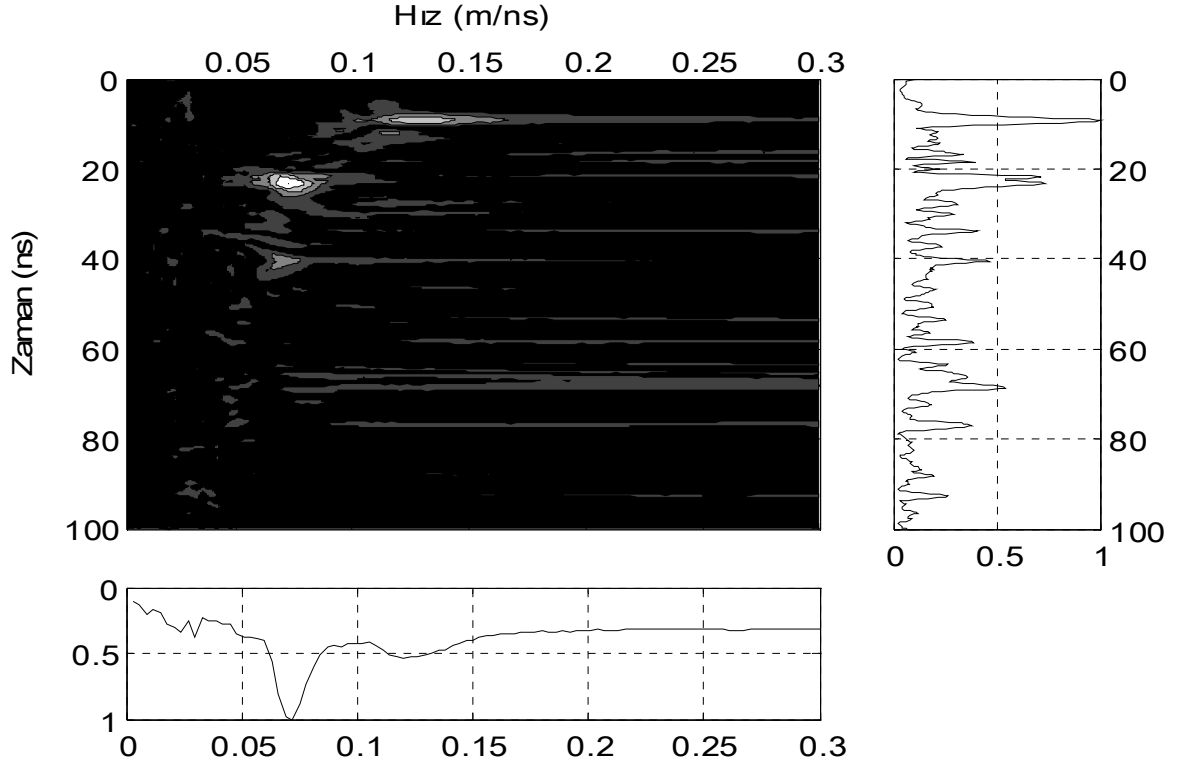
kesitinin toplanmasıyla elde edilen kesite ise “Yatay Hız Çözümlemesi (YHÇ)” olarak adlandırılmıştır. Uygulamanın matematiksel ifadesi,

$$H_h(t, y) = \int_0^{0.3} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau, x) dx dv \quad (70)$$

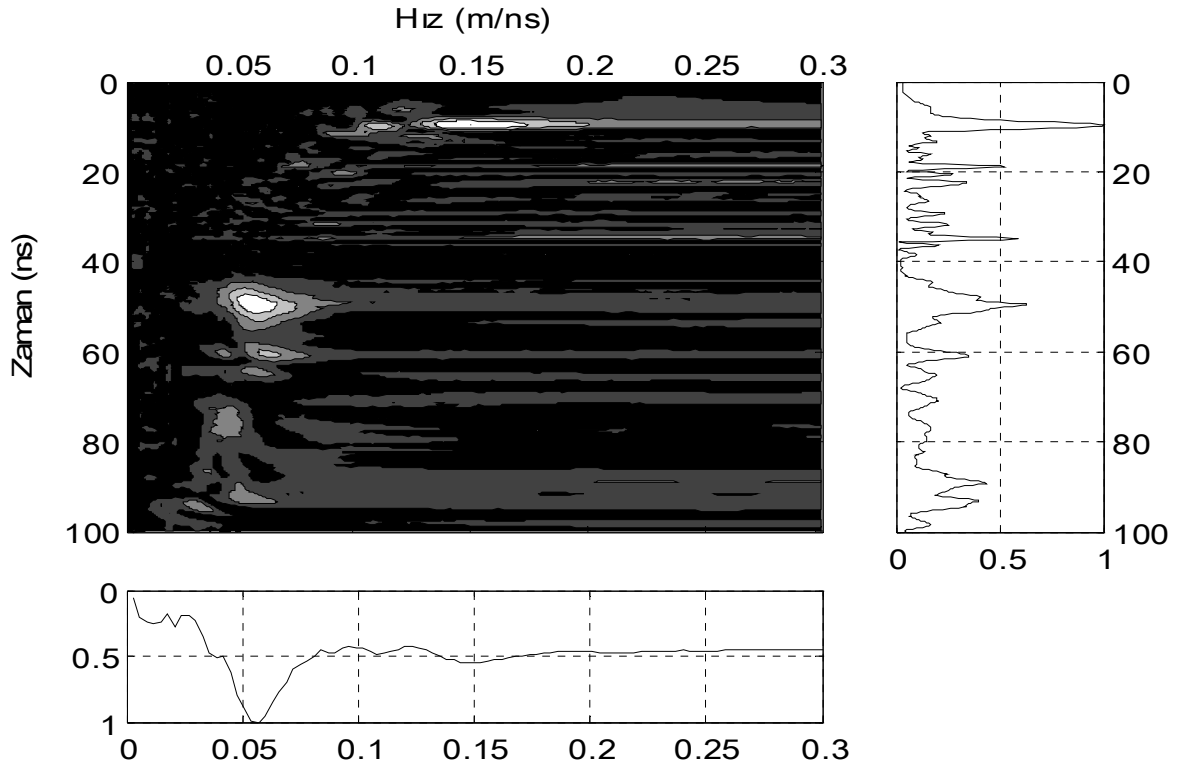
$$H_v(v, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau, x) dx dt \quad (71)$$

dir. Burada $\tau = \sqrt{t^2 + (x - y)^2 / v^2}$, düzeltme zamanını, y her seferinde çözümleme yapılacak x noktasını göstermektedir. $H_h(t, y)$ yatay hız çözümlemesini, $H_v(v, y)$ düşey hız çözümlemesini göstermektedir.

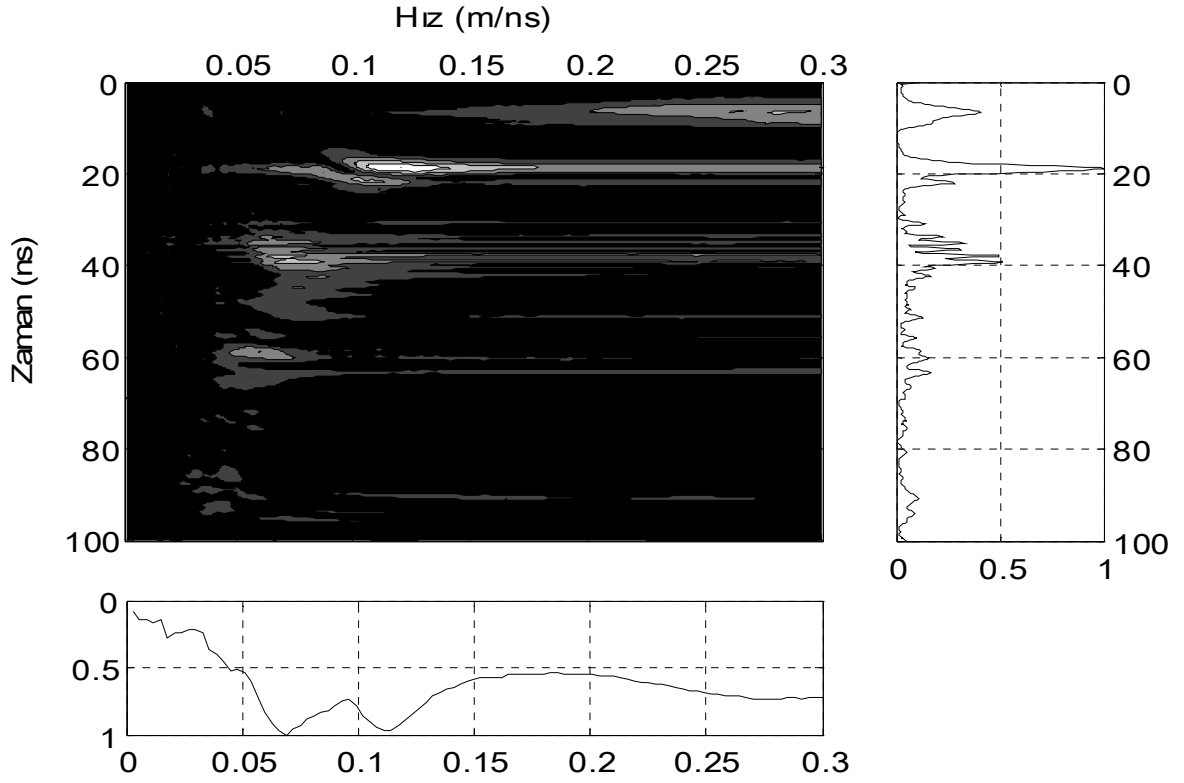
Düşey ve Yatay Hız Çözümlemesini daha iyi açıklamak için 2.3.7’de hesaplanan yapay yer radarı kesiti örnek olarak ele alınırsa, daha önce hesaplanmış olan hız kesitlerinin (Şekil 95–97) düşey ve yatay yönde toplanmasıyla elde edilen izler Şekil 98-99’da gösterilmiştir. Yapay yer radarı kesitindeki hiperbollarla ilgili Şekil 98 ve Şekil 99’da sırasıyla Düşey Hız Çözümü kesiti ve Yatay Hız Çözümü kesiti verilmiştir. Yatay Hız Çözümü kesitinde hiperbolların kapanımları belirgin bir şekilde ortaya çıkarırken, Düşey Hız Çözümü kesitinde ise kapanımlarda aşağı doğru sarkmalar görülmektedir. Bunun öncelikli nedeni hiperbolların yataya yaklaştırılmasıyla yatay yönde toplamada düzgün kapanımlar elde edilmesidir. Bu yöntemlerin en büyük sakıncası ise yanal ve özellikle düşey olayların kapanımlarda doğru sonuç vermesini önlemesidir. Yinede yorumlama açısından bakılırsa olumlu bir sonuç olarak görülebilir.



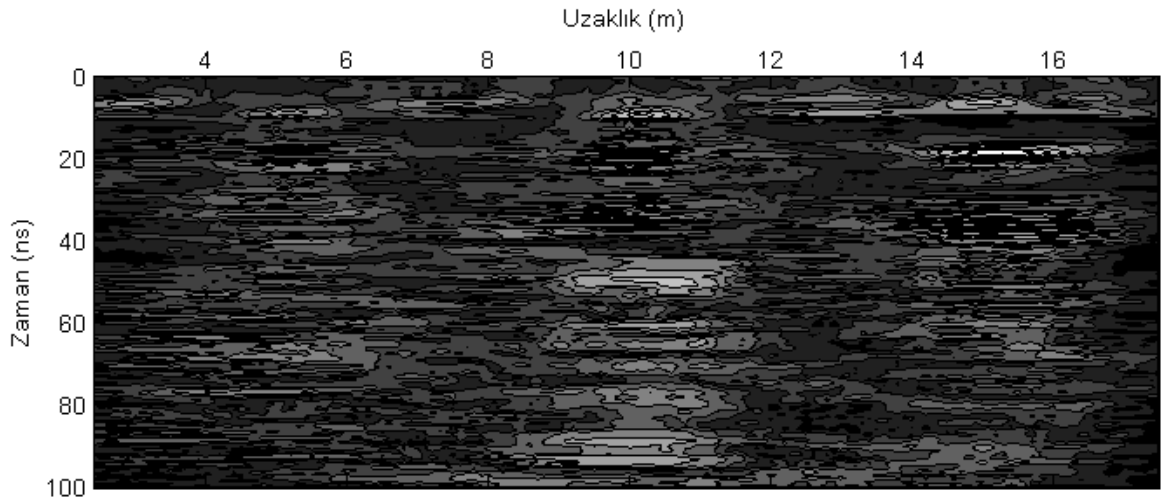
Şekil 95. Uzaklığı 5 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü ve onun düşey yönde toplanması ve yatay yönde toplanmasından elde edilen izler



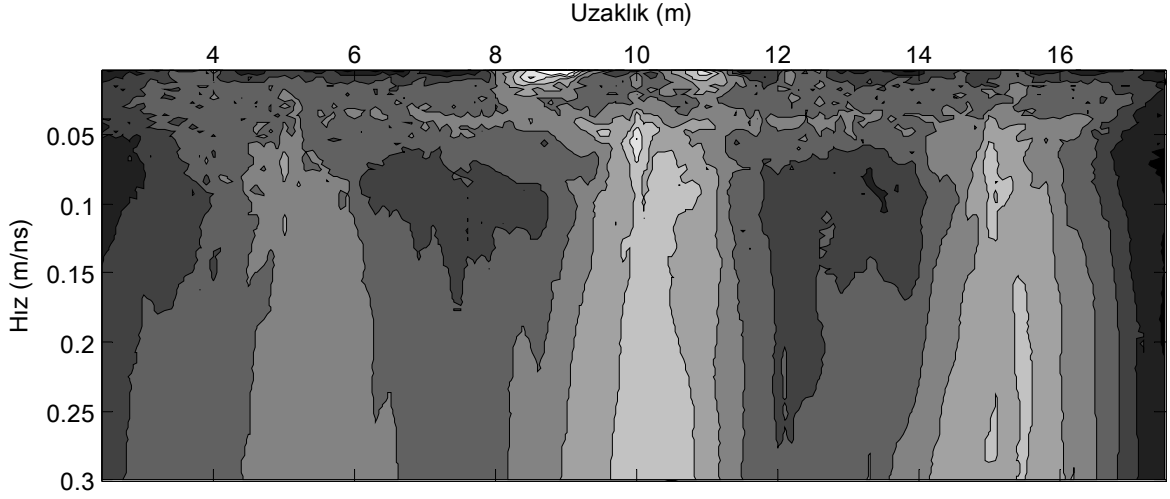
Şekil 96. Uzaklığı 10 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü ve onun düşey yönde toplanması ve yatay yönde toplanmasından elde edilen izler



Şekil 97. Uzaklığı 15 m. kaydırılan yer radarı kesitinin normal hız çözümü ve onun düşey yönde toplanması ve yatay yönde toplanmasından elde edilen izler



Şekil 98. Yapay yer radarı kesitinin Yatay Hız Çözümü



Şekil 99. Yapay yer radarı kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi

Düşey ve yatay hız çözümlemeleri saha kesitlerine uygulandığında, beklenen sonucu elde etmek biraz zor gözükmektedir. Buna rağmen yanal doğrusal olayların özellikle yatay hız çözümlemelerinde güçlü bir belirti göstermesi dikkat çekicidir. Ayrıca farklı yapı sınırlarının daha rahat yorumlanmasında da ipuçları vermektedir. Düşey hız çözümlemesi özellikle yüksek hızlarda yatay hız çözümlemesini destekler özellik göstermektedir. Bunun nedeni yüksek hızlarda yanal olaylar fazla bir değişim göstermemesiyle hız toplamlarının değerinin yüksek çıkmasıyla kapanımların baskın hale gelmesidir.

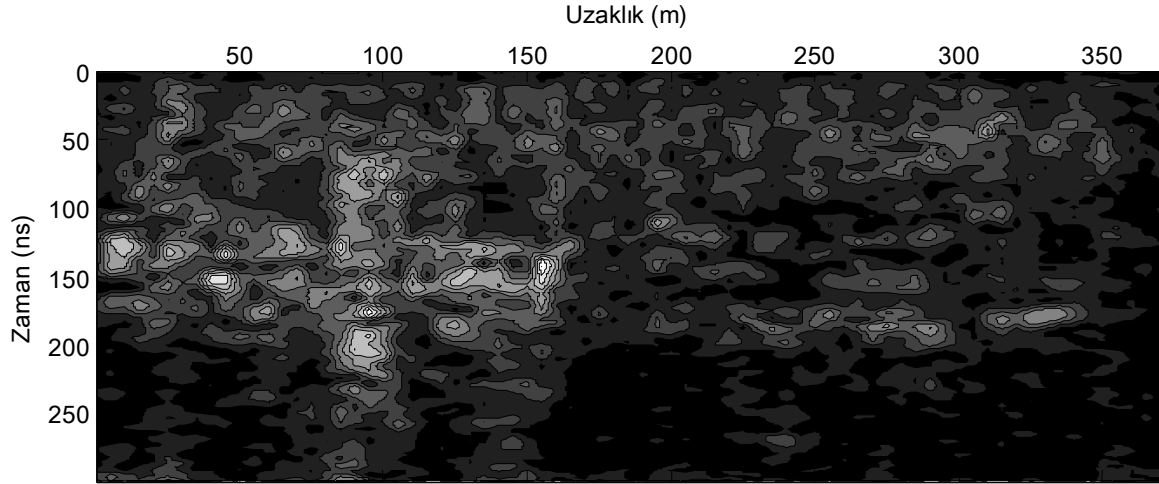
Düşey hız çözümlemelerinde kapanımların düşük hızlara doğru kayması saçılmaların fazla olduğunu ve bu saçılmalar tek düze değil bir grup şeklinde görülmektedir. Bu ise özellikle saçılmış cevherleşmelerin belirlenmesinde kullanılabilir bir yöntem olabilir. Ayrıca kutuplaşma bulunan bölgelerin belirlenmesinde önemli ipuçları verebilir.

Şekil 100'de 150 ns dolayındaki kapanımlar 160. metrelere kadar sürmektedir. Bu ise bize bölgede farklı bir oluşumun varlığını göstermektedir. Aynı belirti Şekil 101'de de görülmektedir. 90. metrelerde düşey yöndeki kapanımlar o bölgede bir ısı kanalını varlığını ortaya koymaktadır. Aynı belirti Şekil 101'de de görülmektedir. Şekil 101'deki bu kapanım yaklaşık 0.1 m/ns'ye kadar gelmektedir.

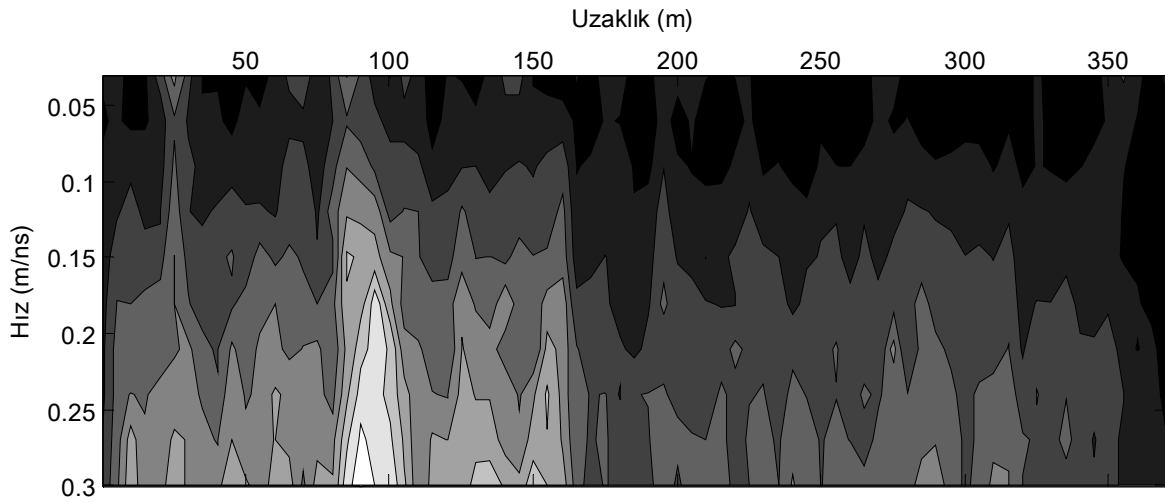
Şekil 102'de 100 ns dolayındaki kapanımlar 200 ile 250 metreler arasında güçlenmektedir. Yanal yöndeki kapanımları bir tabaka olarak değerlerdirsek son kapanımlar ısı kanalını göstermektedir. Aynı belirti Şekil 103'de de görülmektedir. Şekil 103'deki bu kapanım yaklaşık 0.1 m/ns'ye kadar gelmektedir.

Şekil 104 ve 106'daki kapanımlar Şekil 100 ve 102'dekilere göre biraz daha karmaşık görülmektedir. Ayrıca, şekillerde daha fazla kapanım görülmektedir. Şekil 104'de 140. metrelerde bir kapanım görülmektedir. Bu kapanım Jeoloji bölümü önündeki ısı kanalı girişinin etkisi olabilir..

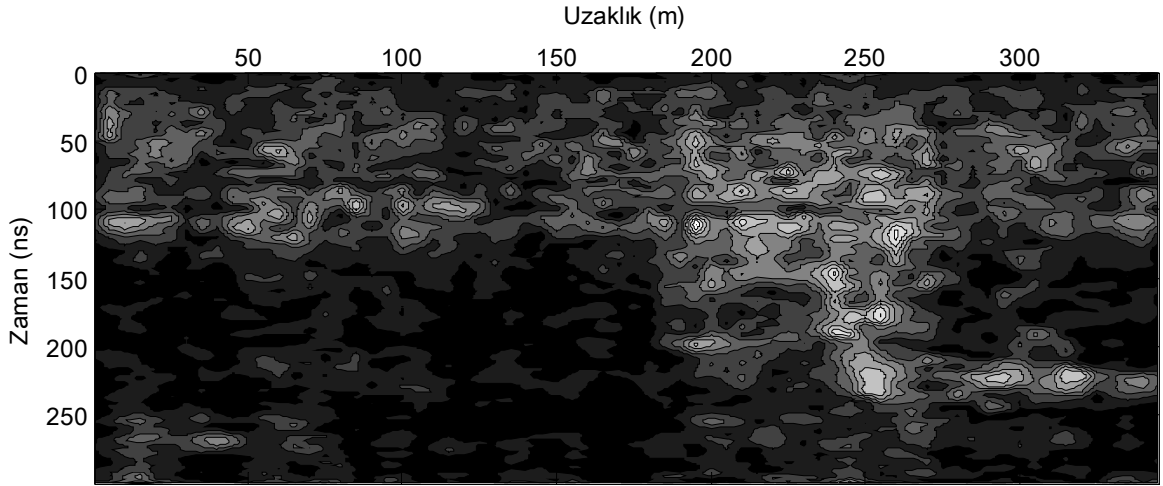
Şekil 100, 102, 104 ve 106'larda 50 ns. dolayındaki kapanımlar yol dik doğrultudaki atık kanallarını göstermektedir.



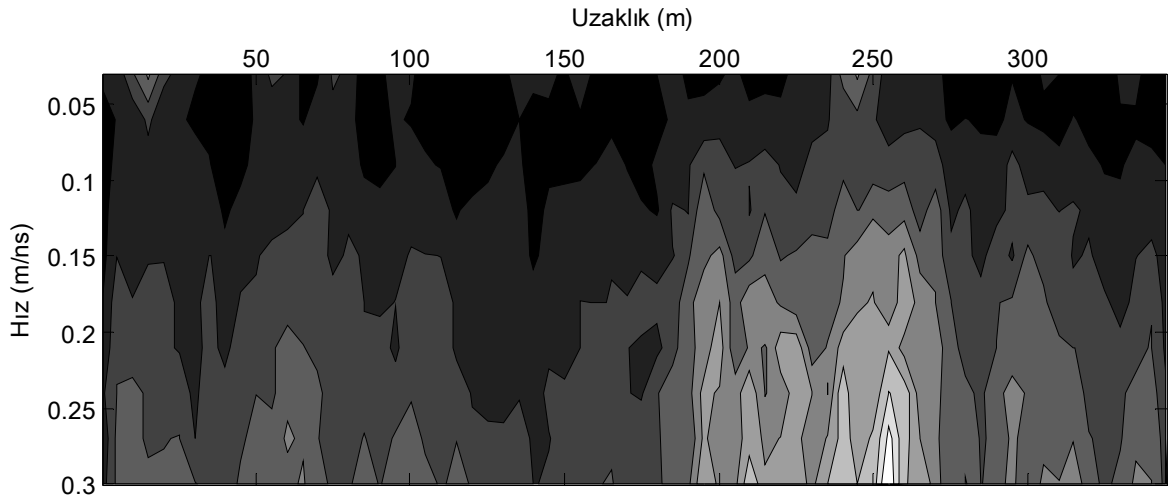
Şekil 100. İşlenmiş A kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi



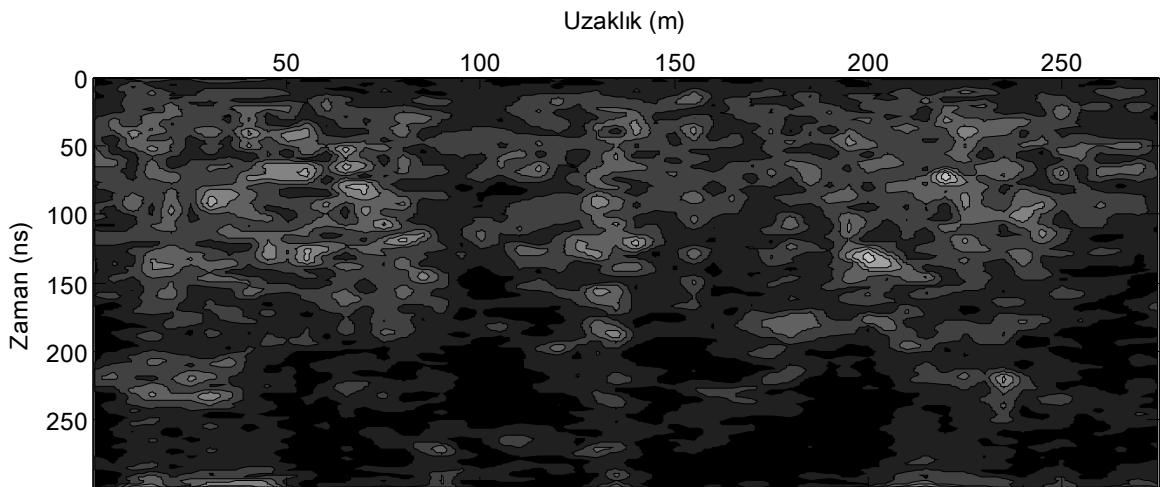
Şekil 101. İşlenmiş A kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi



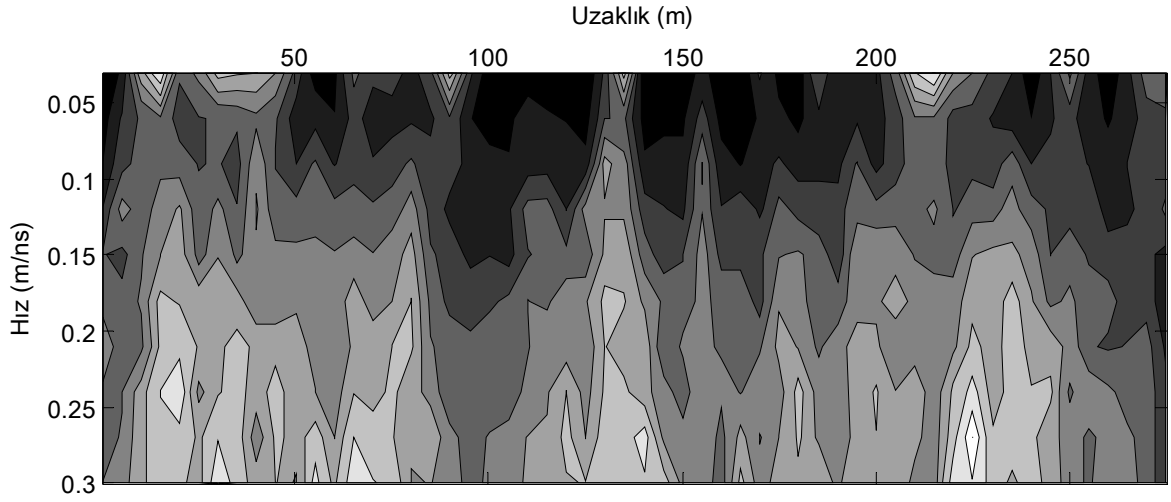
Şekil 102. İşlenmiş B kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi



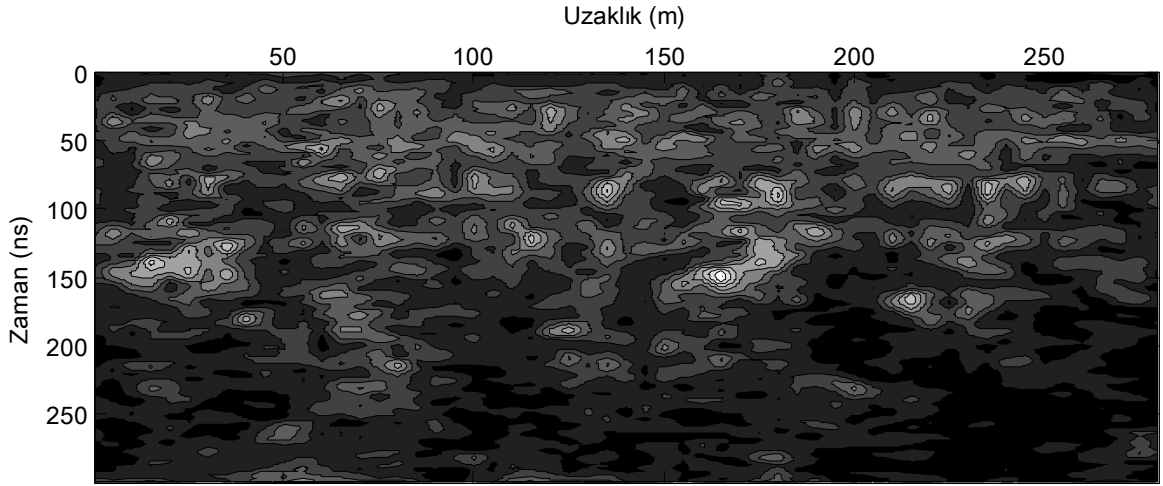
Şekil 103. İşlenmiş B kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi



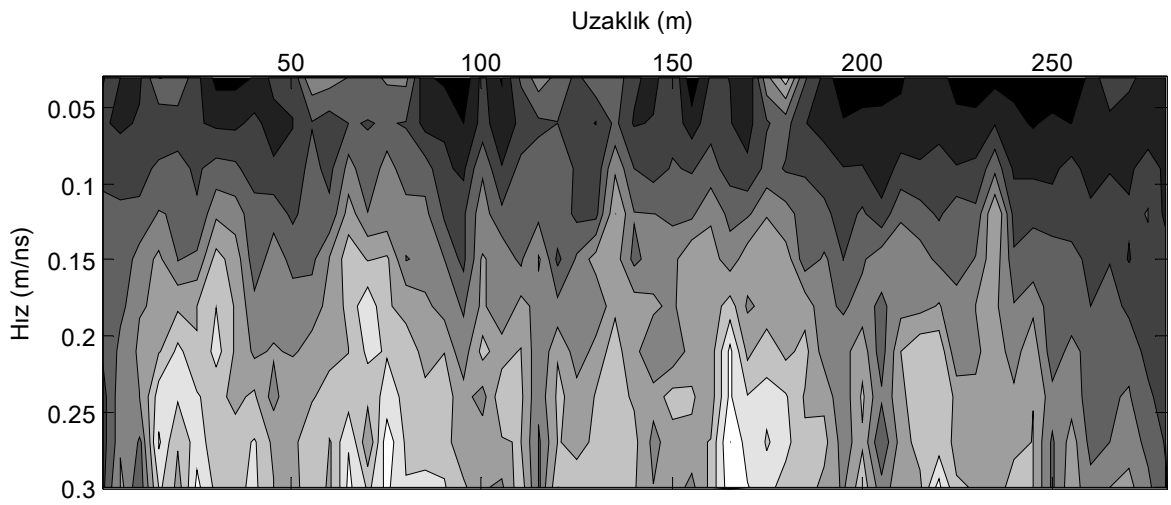
Şekil 104. İşlenmiş C kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi



Şekil 105. İşlenmiş C kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi



Şekil 106. İşlenmiş D kesitinin Yatay Hız Çözümlemesi



Şekil 107. İşlenmiş D kesitinin Düşey Hız Çözümlemesi

2.5.2. Heyelan Çalışması

2.5.2.1. Heyelan Bölgesinin Tanımlanması

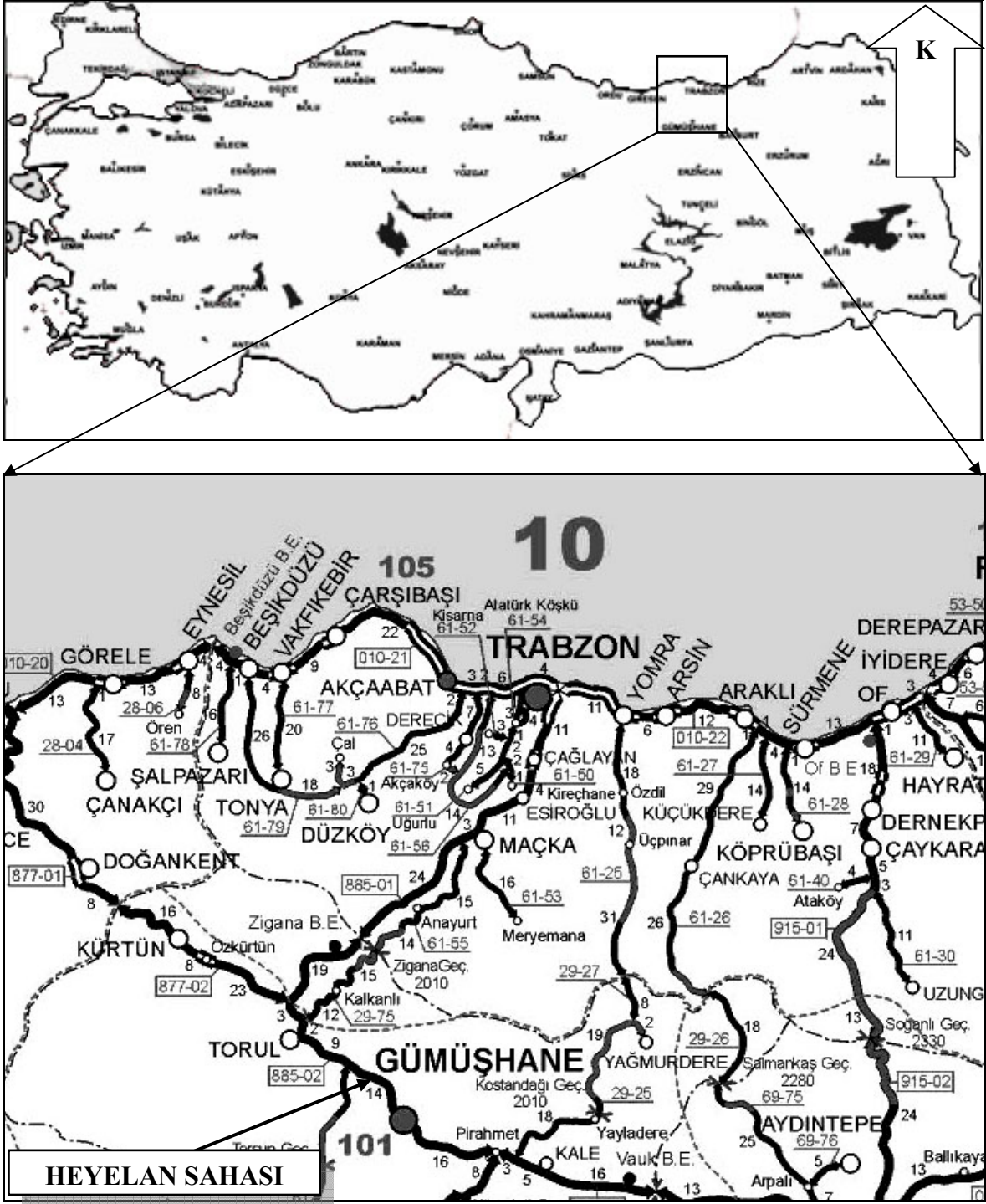
Yer radarı arazi verilerinin işlenmesi, veri işleminde yeni yaklaşımların denenmesi ve yer radarı verileri ile sığ yeraltının belirlenmesi amacıyla diğer bir uygulama Mescitli heyelanında (Gümüşhane) yapılmıştır. Heyelan Gümüşhane-Trabzon karayolunun yaklaşık 10. km'sinde meydana gelmiştir. Heyelan nedeniyle yörede ulaşım uzun zamandır tali yoldan yapılmaktadır. Tali yolun ağır yük araçları için uygun olmaması nedeniyle ulaşımın bir tünelle yapılması kararlaştırılmış ve tünel açılmasına başlanmıştır. Ancak devam etmesi olası heyelanın vadiyi kapatma olasılığı vardır. Yörede yapılan jeolojik incelemelere ek olarak, yamaçtaki problemin belirlenmesi ve çözümüne katkı sağlamak amacıyla yer radarı uygulaması yapılmıştır.

Amaçlardan birisi heyelanın yeraltı yapısını belirlemek, diğeride hâkim çatlak doğrultularını belirleyerek yamacın hareket yönünü ortaya koymaktır. Bu durum tünelin güvenliği için son derece önemlidir. Zira yamaç kuzeydoğu yönünde hareket ederse, vadide bulunan tünel su yatağı görevi yapacaktır.

Arazide ölçüler ortak açılım düzeninde dik bakışık anten düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümlerde RAMAC/GPR aleti ile 100 MHz kalkansız antenler kullanılmıştır. Ortak açılımda antenler arası birer metre, örnekleme frekansı 1182 MHz seçilmiştir. Uzaysal örnekleme aralığı ortalama 0.1 metre seçilerek sürekli ölçü düzeni kullanılmaya çalışılmıştır.

Ölçüm sırasında, inceleme alanında gözle görülür çatlaklara, kırıklara ve kaya kopmalarına rastlandı. Bölgenin dik bir eğime ($\sim 65^\circ$) sahip olmasının yanı sıra, yamaç molozunun çok olması, bölgede ölçü almayı zorlaştırdığı gibi ölçü alacak araştırmacıların can güvenliğini de tehlikeye sokmaktaydı. Ayrıca ölçü alınan mevsime bağlı olarak bölgede toprak (yamaç molozu) donmuş durumdaydı. Dolayısıyla bölgede ölçü alınabilecek ve heyelan bölgesi hakkında bilgi verebilecek uygun bölgeler seçilerek ölçüler alınmıştır.

Şekil 108'de bölgenin 1/25.000'lik topoğrafik haritası verilmiştir [49]. Harita üzerinde heyelan bölgesi işaretlenmiştir. Şekil 109'da heyelan bölgesinde A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F' ve G-G' ölçü doğrultuları işaretlenmiştir.



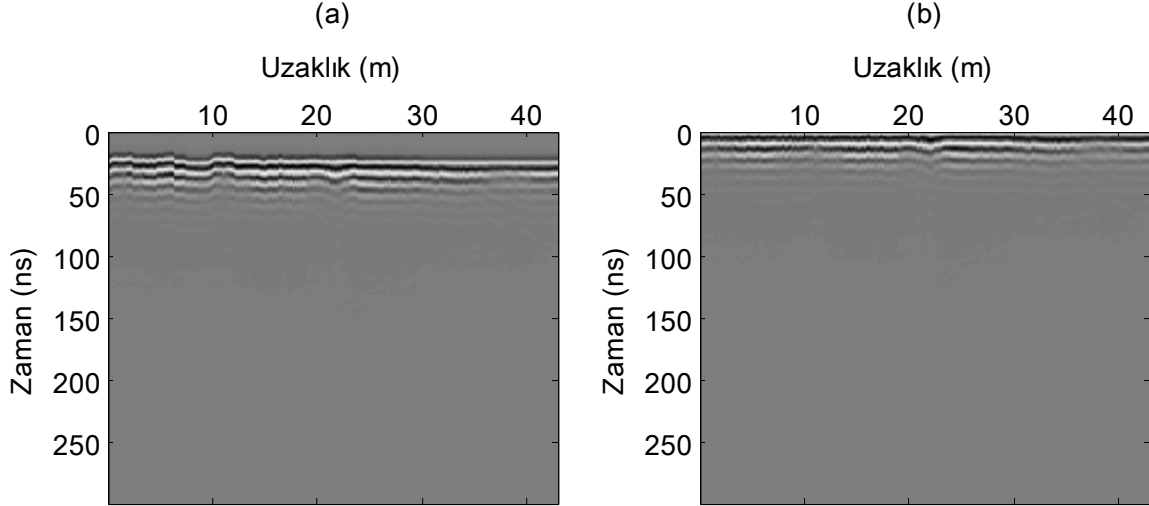
Şekil 108. Gümüşhane ili, Mescitli beldesi Bal Kayası mevkinin 1/25.000 topoğrafik haritası [49]



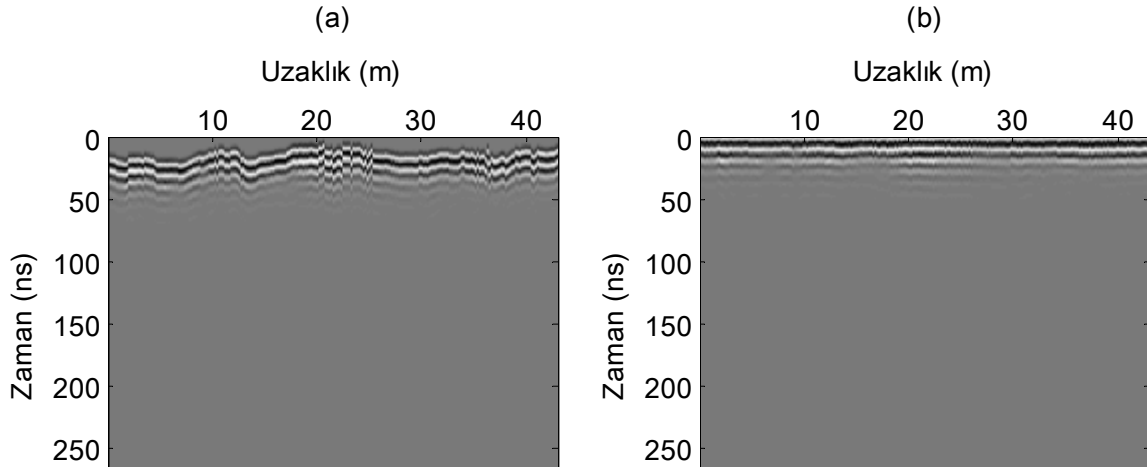
Şekil 109. İnceleme alanında heyelan oluşan yamacın görünümü ve yer radarı ölçü doğrultuları [49]

2.5.2.2. Yer Radarı Verilerinde Aletsel Etkilerin Giderilmesi

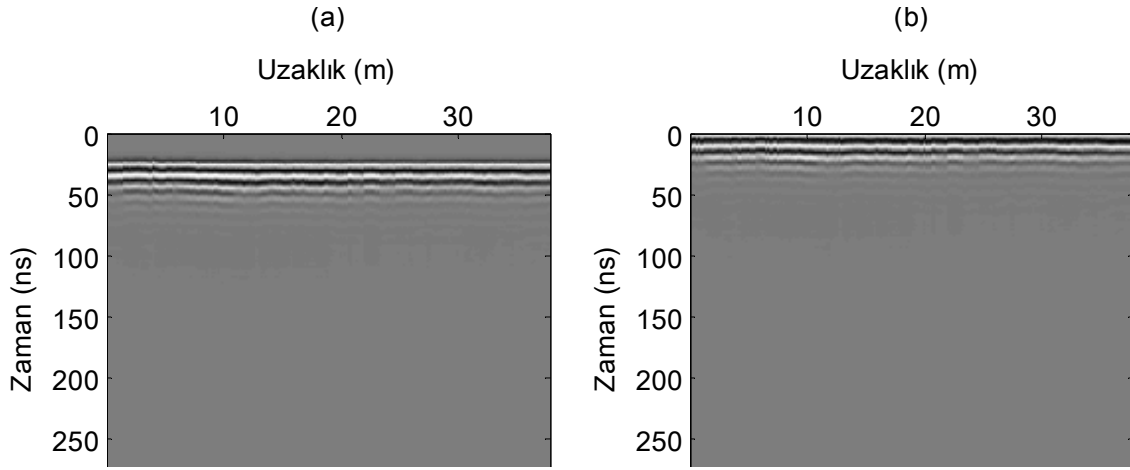
Arazi verilerinin işlenmesine girmeden önce yer radarı sinyallerinin fiber optik kabloda aldığı yoldan ve yer radarı ölçü aletinin ısınma etkisinden kaynaklanan gecikme düzensizliklerini ortadan kaldırmak gerekir. Ayrıca, burada da daha önce yapıldığı gibi veri işlem aşamasına girmeden kaydın DC bileşenini ortadan kaldırmak gerekir [45]. Şekil 110-116’larda heyelan bölgesinde ölçülen tüm kesitlerin sıfır zamanı ve DC seviyesi ayarlandıktan sonraki durumları görülmektedir. Özellikle Şekil 111 ve Şekil 113’da ilk varış zamanlarında büyük kaymalar olduğu görülmektedir. Eğer bu kaymalar düzeltilmeden veri işlem aşamasına girilirse özellikle yanal olayların temizlenmesinde ve diğer süzgeçlerde sorunlar yaşanabilir. Hatta yorumlama aşamasında kesitteki bu olaylar fay düzlemleri olarak belirlenebilir.



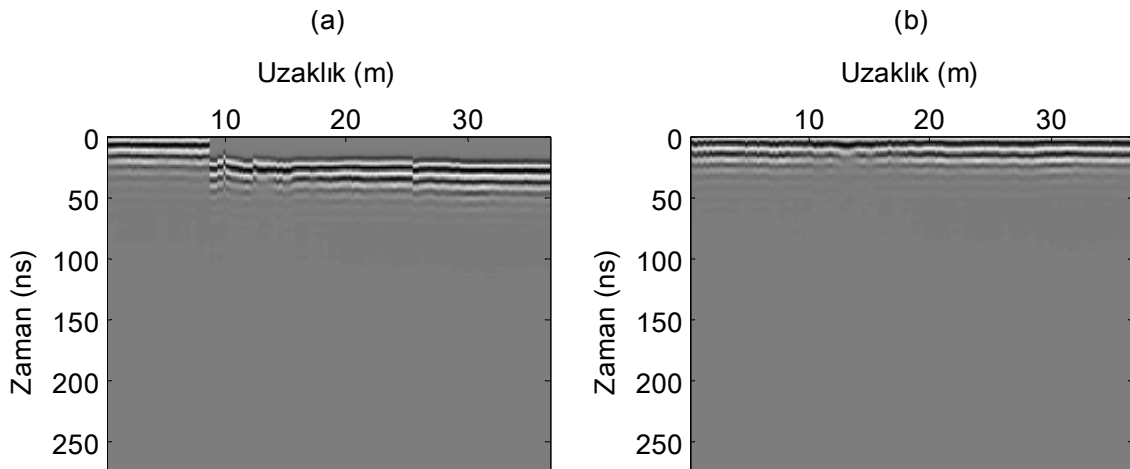
Şekil 110. Heyelan alanından elde edilen A-A’ doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti



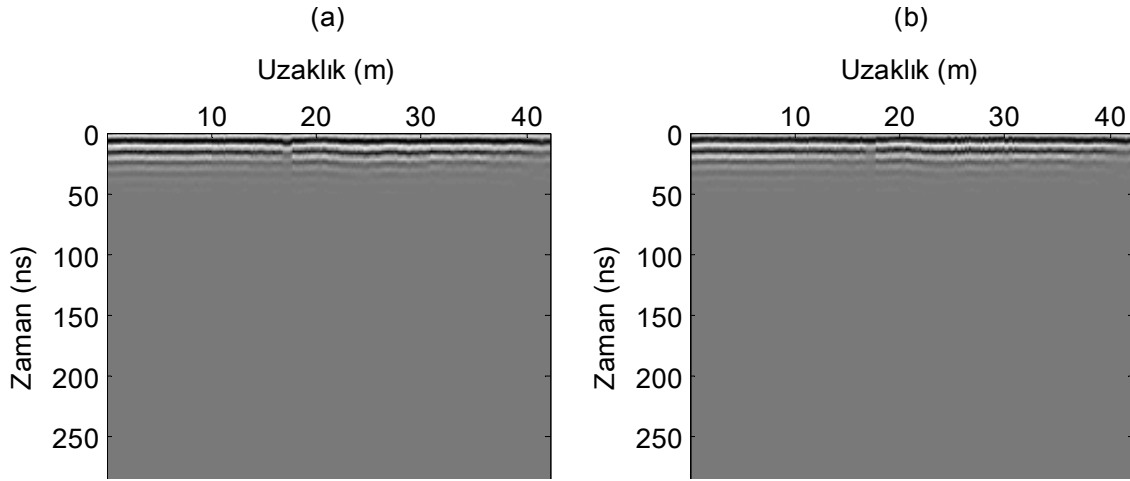
Şekil 111. Heyelan alanından elde edilen B-B' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti



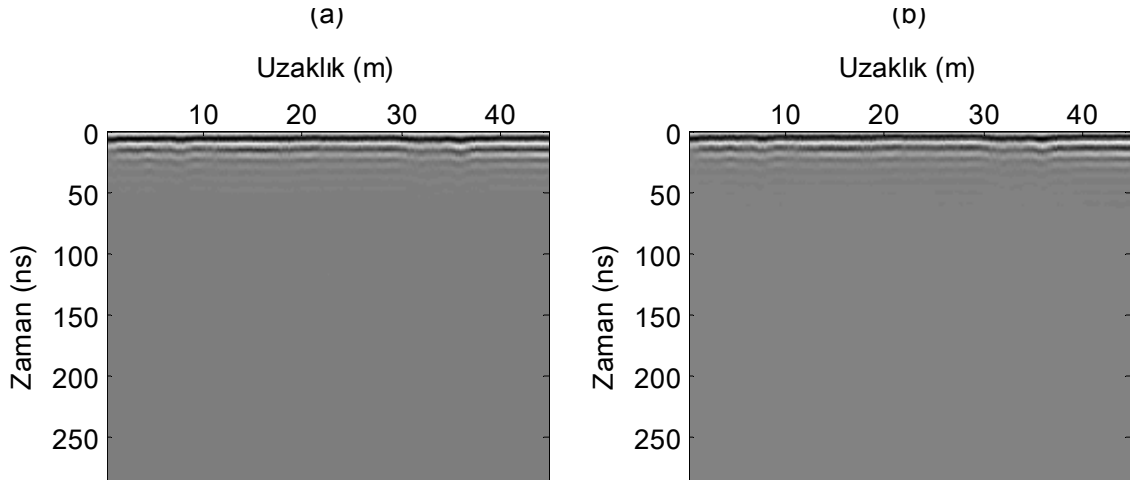
Şekil 112. Heyelan alanından elde edilen C-C' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti



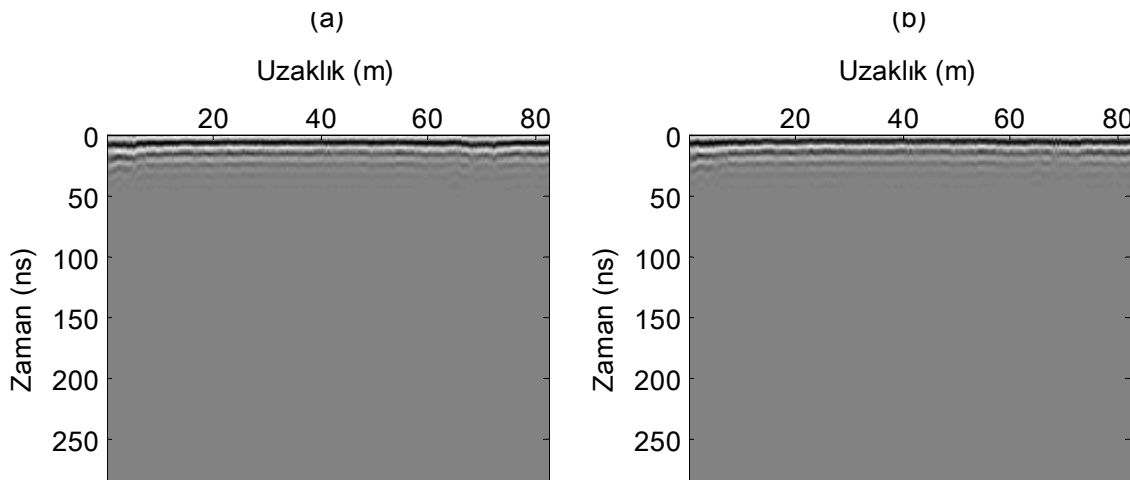
Şekil 113. Heyelan alanından elde edilen D-D' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti



Şekil 114. Heyelan alanından elde edilen E-E' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti



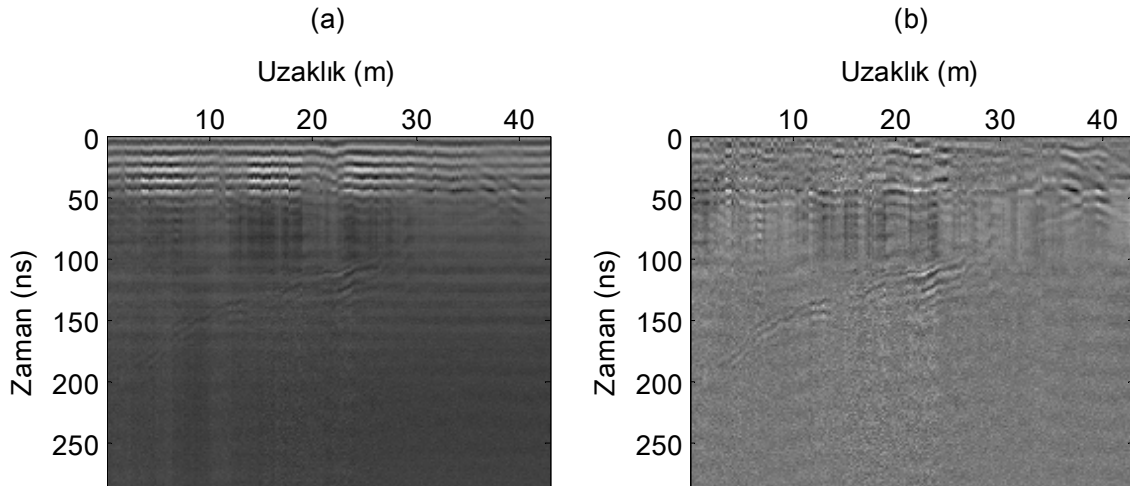
Şekil 115. Heyelan alanından elde edilen F-F' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti



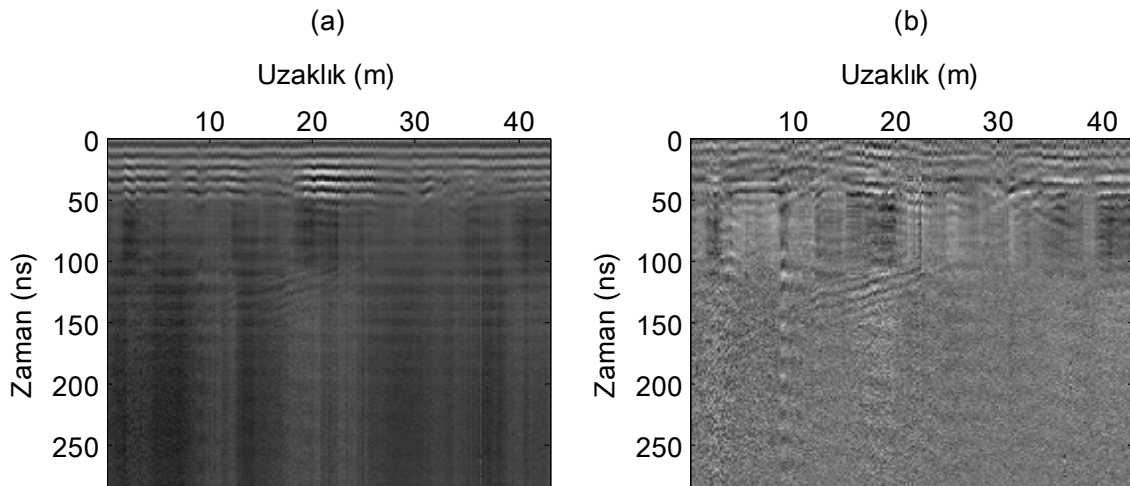
Şekil 116. Heyelan alanından elde edilen G-G' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) ham veri; (b) sıfır zamanı ve DC seviye ayarlaması yapılmış yer radarı kesiti

2.5.2.3. Heyelan Verilerinin Genlik Düzeltmesi ve Yanal Olayların Temizlenmesi

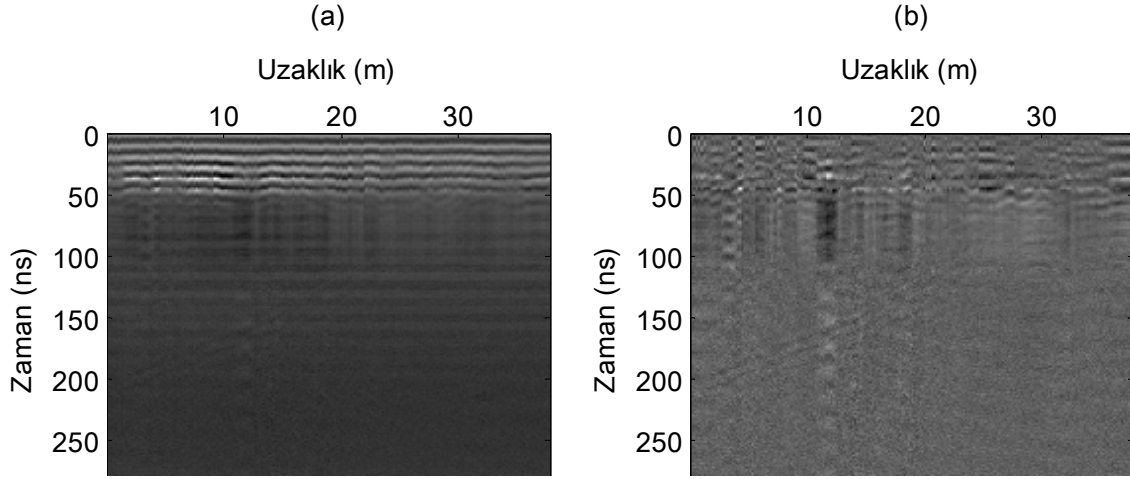
Sıfır zamanı düzeltmesi yapılmış ve DC bileşeni temizlenmiş arazi kesitlerinin genliklerini ayarlamak için YZD genlik düzeltmesi uygulanmış ve ardından da yanıl olayları ortadan kaldırmak için KLT süzgeci kullanılmıştır. Elde edilen her doğrultuya ait kesitler Şekil 117–123'te görülmektedir. Şekiller incelendiğinde YZD genlik düzeltmesi tüm izlerde tek bir işleç kullandığı için kesitlerdeki yanıl yöndeki süreksizlikler ortaya çıkarmıştır. Bu süreksizlikler büyük bir öbek şeklinde ise bunlar KLT süzgeci sonucunda ortadan kaldırılmaktadır.



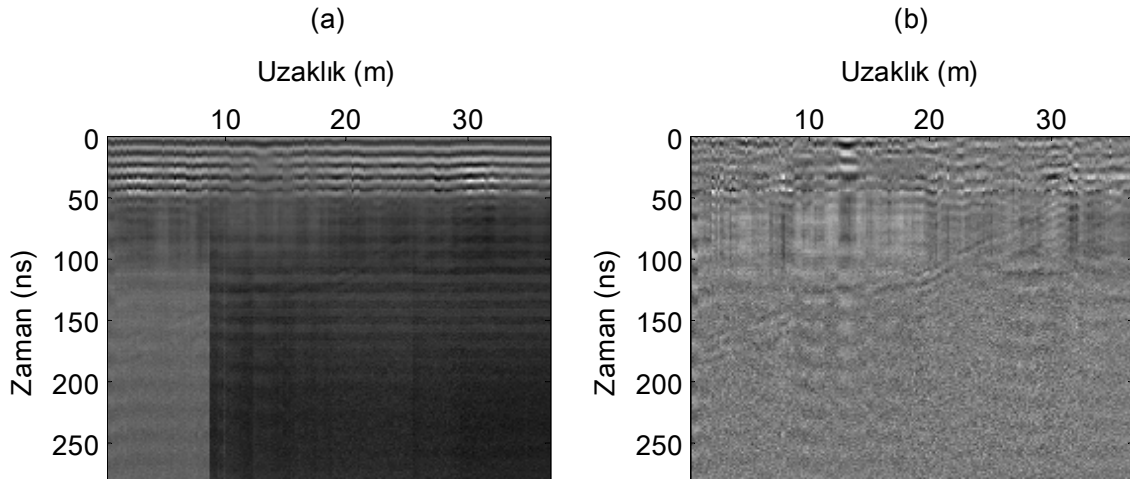
Şekil 117. A-A' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit



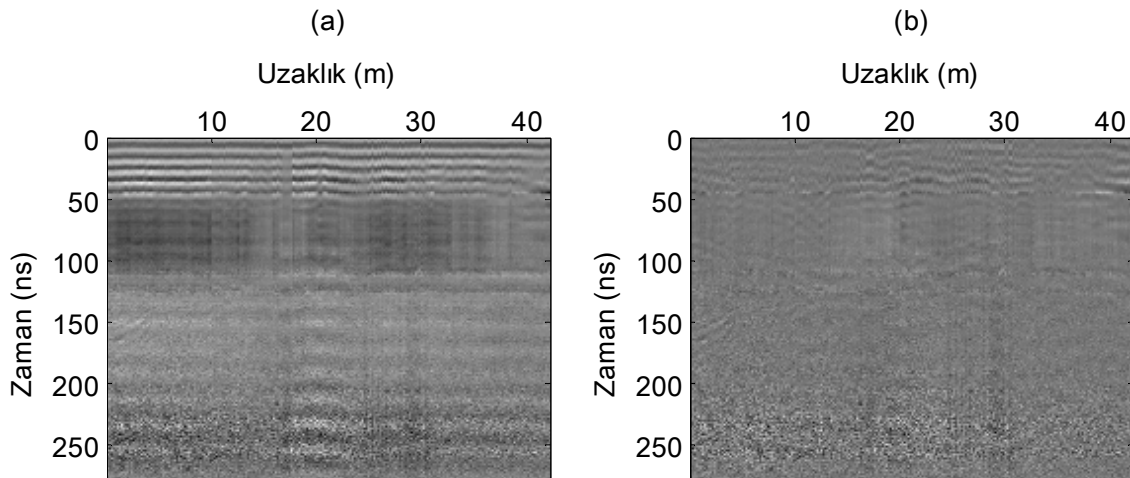
Şekil 118. B-B' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit



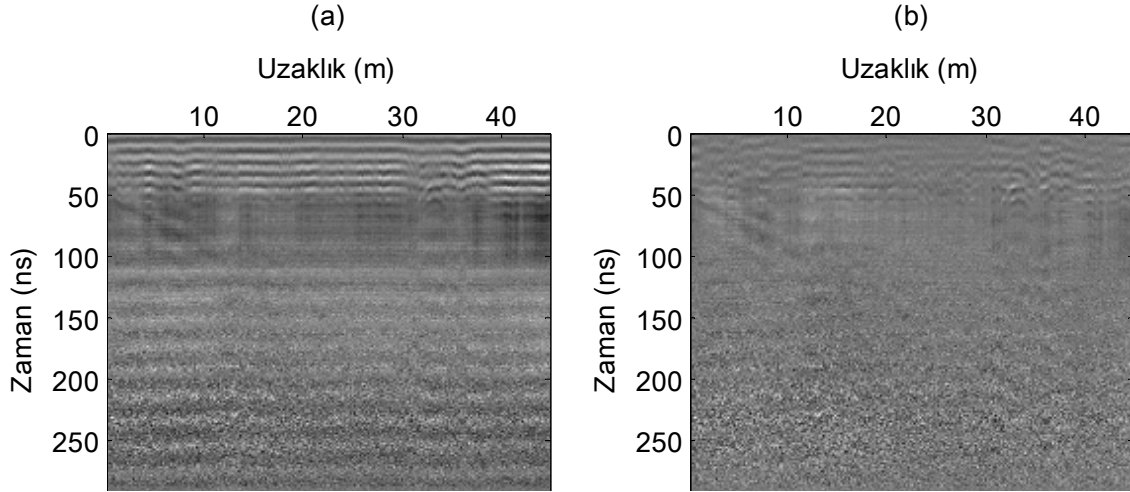
Şekil 119. C-C' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit



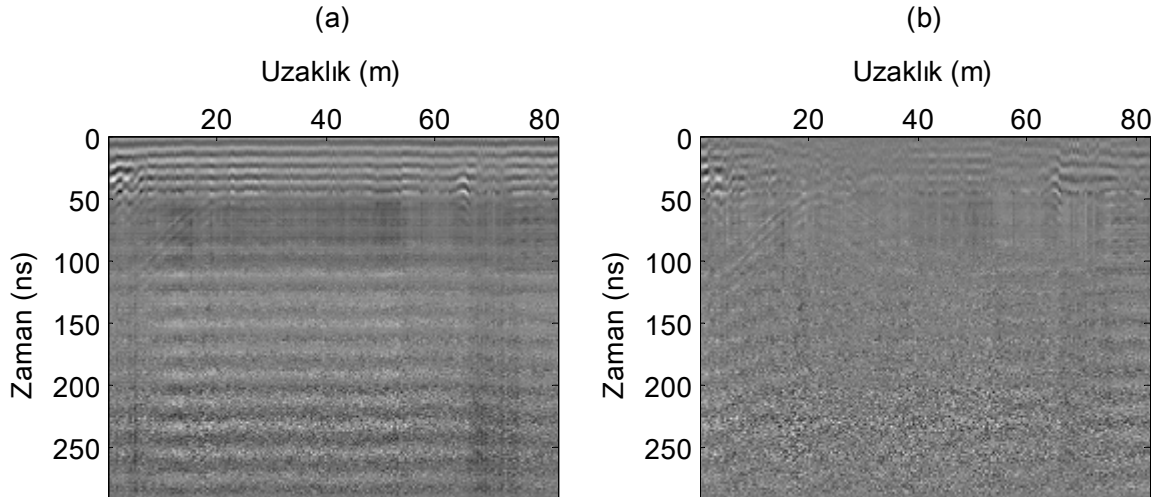
Şekil 120. D-D' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit



Şekil 121. E-E' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit



Şekil 122. F-F' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit

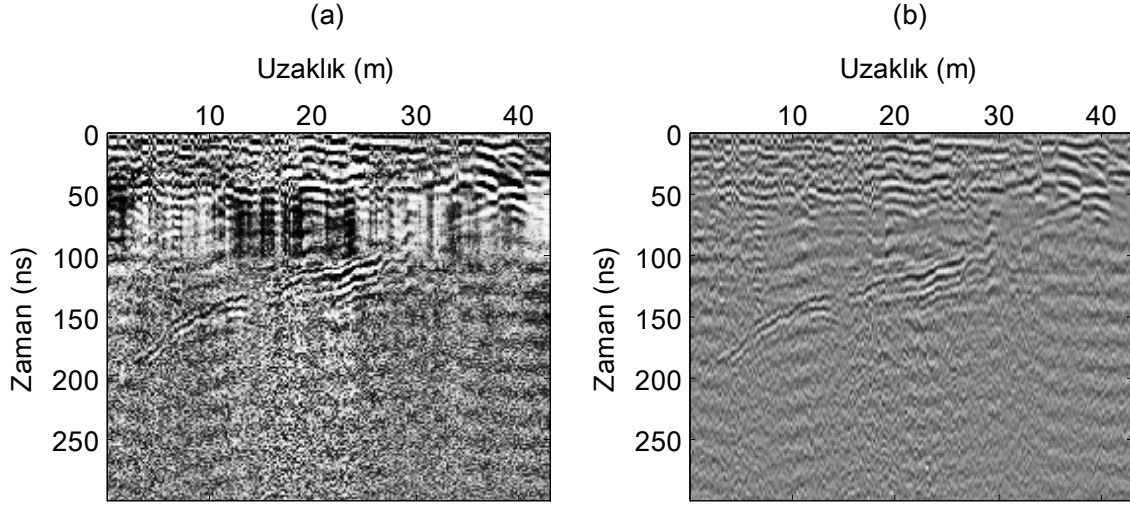


Şekil 123. G-G' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) YZD uygulanmış kesit; (b) KLT uygulanmış kesit

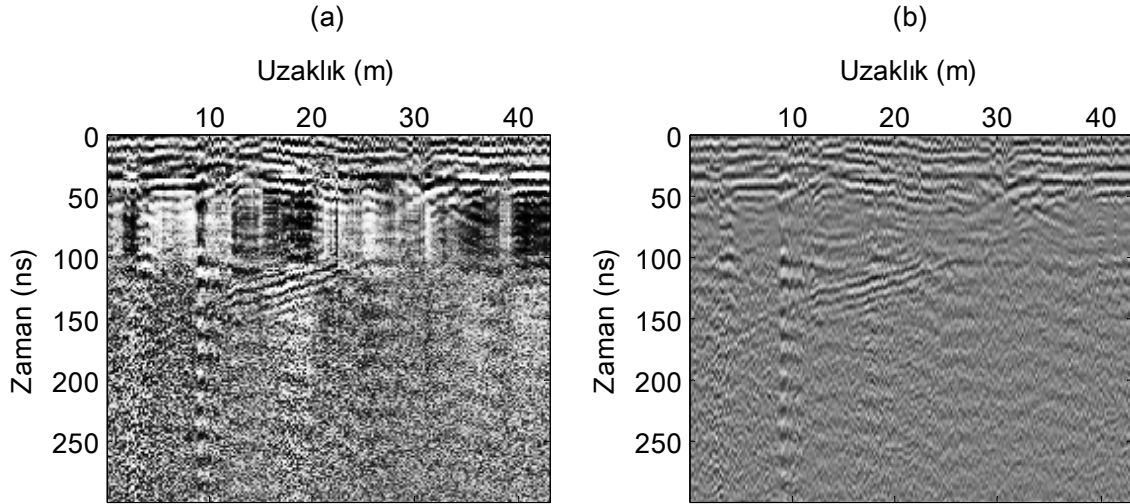
2.5.2.4. Heyelan Alanı Verilerine Sıklık Eşitlemesi ve Frekans Süzgeci Uygulaması

Arazi verilerinde sıfır zamanı ve DC bileşeni temizlendikten sonra uygulanan YZD genlik düzeltmesi ve KLT süzgeci kesitlerde gözle görülür bir iyileşme sağlamıştır. Ancak, YZD genlik düzeltmesi diğer genlik düzeltmelerine göre yanıl olayları korumasına rağmen ayrırlılıkta büyük sorunlara neden olmaktadır. Görüntü ayrırlılık sorununu ortadan kaldırmak için ise kesitlere önceki bölümde de değinildiği gibi görüntü işlemede bilinen bir yöntem olan sıklık eşitlemesi uygulanmıştır. Sıklık eşitlemesi istatistiksel bir yöntem olması nedeniyle diğer ayrırlılık yöntemlerine göre daha çok başarı gösterirken aynı zamanda rasgele gürültülerin büyük oranda artmasına neden olmaktadır. Bu sorun ise bant

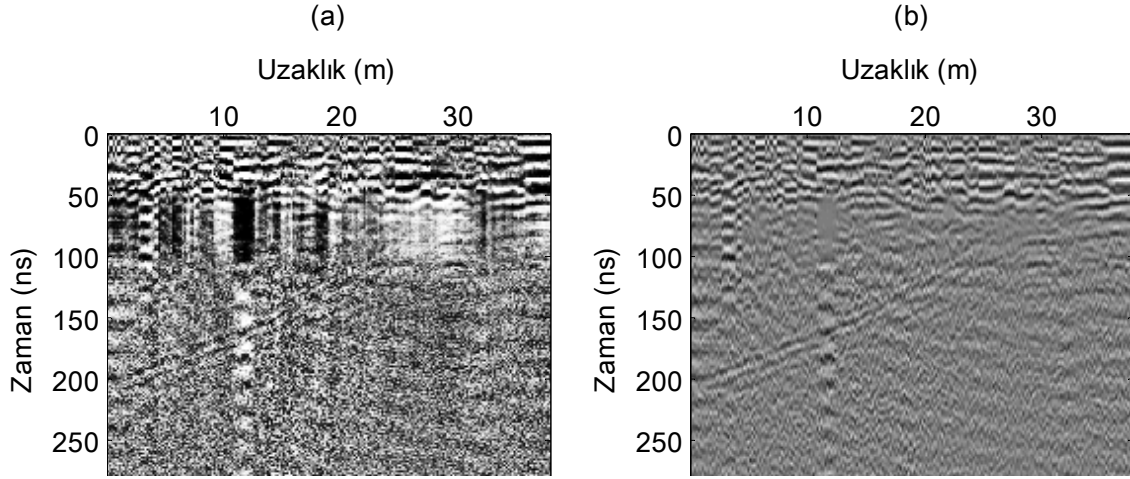
geçiren bir frekans süzgeci yardımıyla çözülebilmektedir (Şekil 124–130). Bu uygulamadan sonra elde edilen kesitlerde ana kayanın belirtisi ortaya çıkmıştır. Ancak, G-G' kesitinde yapılan yer radarı ölçüleriyle ana kayanın bulunduğu derinliğe inilememiştir. Yalnızca kesitte yeraltında bulunan bir nesneden (büyük olasılık bir kaya) kaynaklanan saçılma hiperbolu görülmektedir.



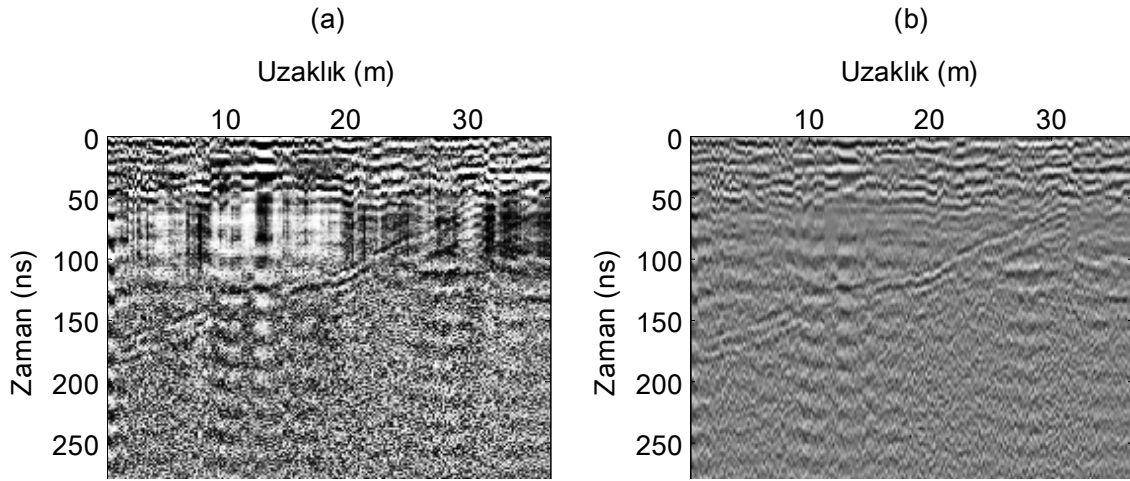
Şekil 124. A-A' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit



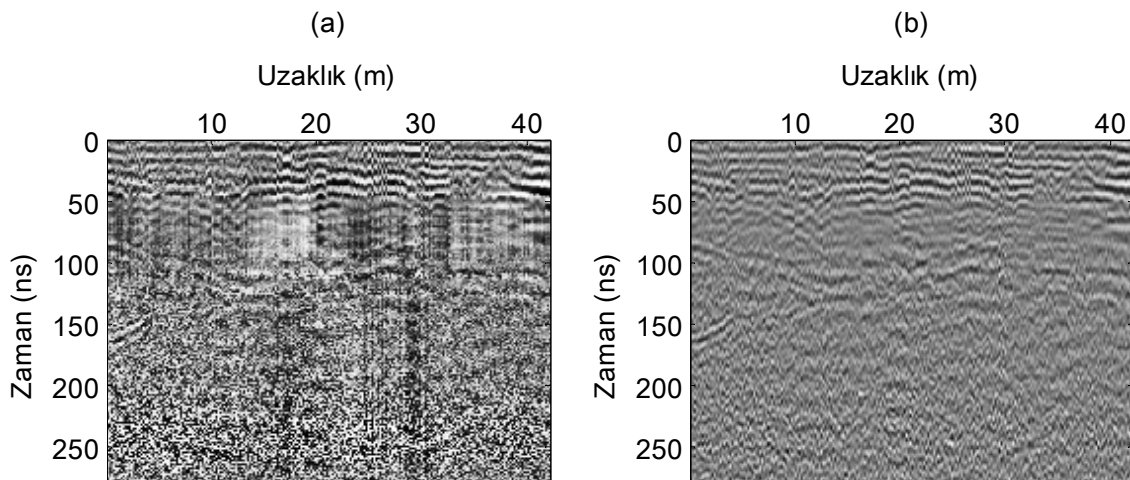
Şekil 125. B-B' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit



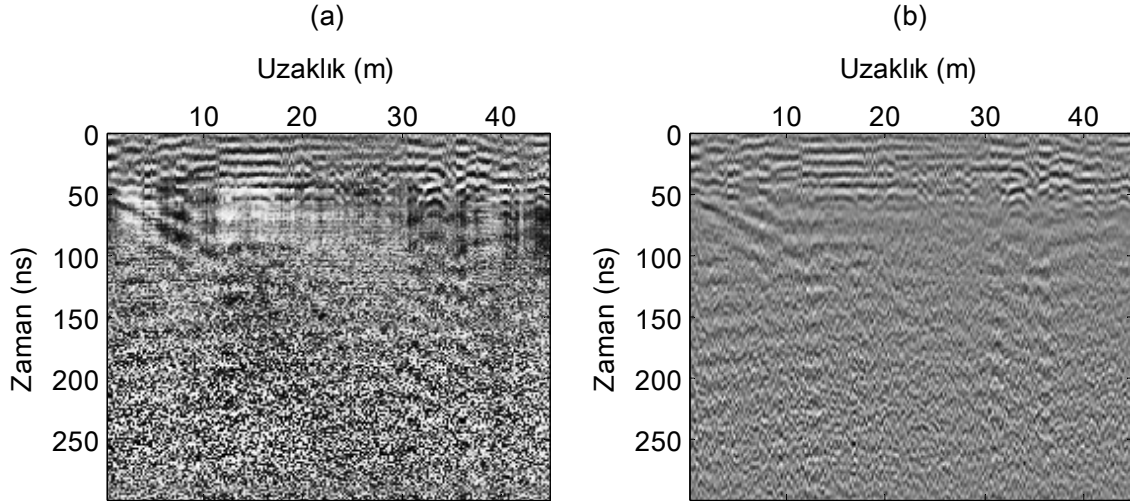
Şekil 126. C-C' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit



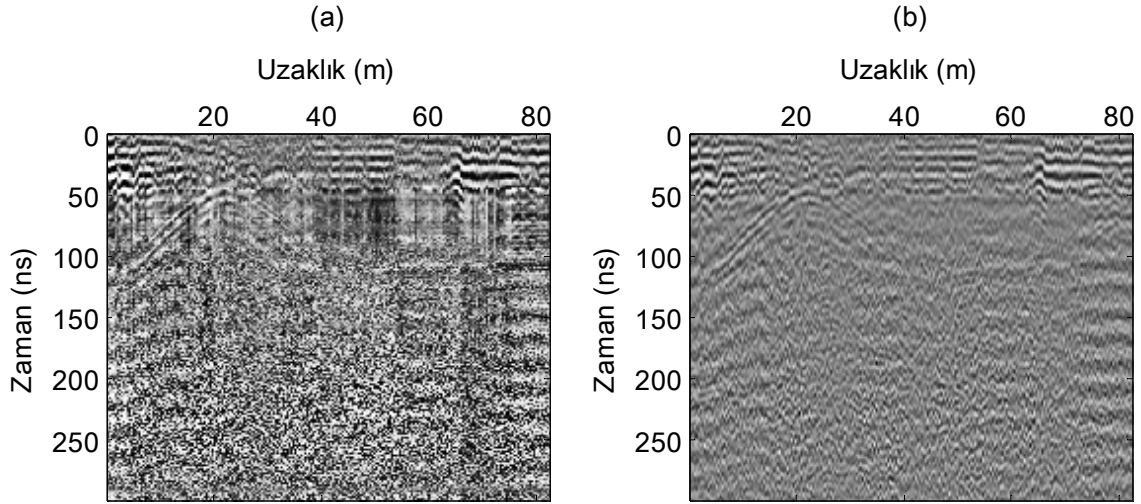
Şekil 127. D-D' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit



Şekil 128. E-E' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit



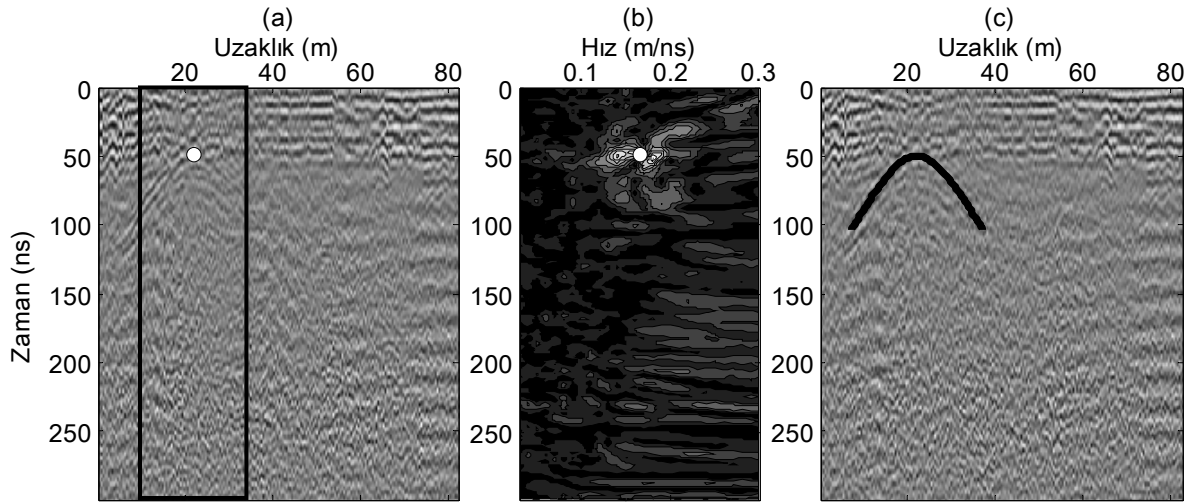
Şekil 129. F-F' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit



Şekil 130. G-G' doğrultusundaki yer radarı kesiti; (a) sıklık eşitlemesi uygulanmış kesit; (b) bant geçiren frekans süzgeci uygulanmış kesit

2.5.2.5. Heyelan Alanındaki Ortamın Hızının Belirlenmesi

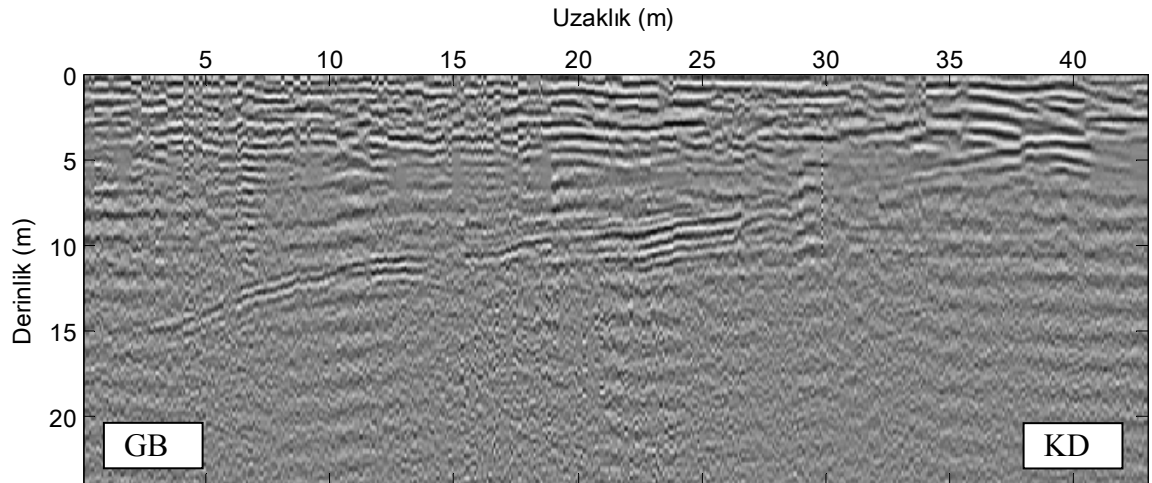
Arazide ölçülen kesitlerde derinlik dönüşümü yapmak için yamaç molozunun hızının bilinmesine gerek duyulmaktadır. Bu amaçla, G-G' kesitinde yamaç molozu altında kalan bir nesneden kaynaklanan hiperbolik yapı kullanılarak hız çözümlenmesi yapılmıştır. G-G' kesitindeki hiperbolun tepe noktası fare yardımıyla seçilerek, bölgenin 15 m solundan 15 m sağına kadarlık bölge seçilerek hız çözümlenmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda yamaç molozunun hızının ortalama 0.16 m/ns olarak belirlenmiştir (Şekil 131).



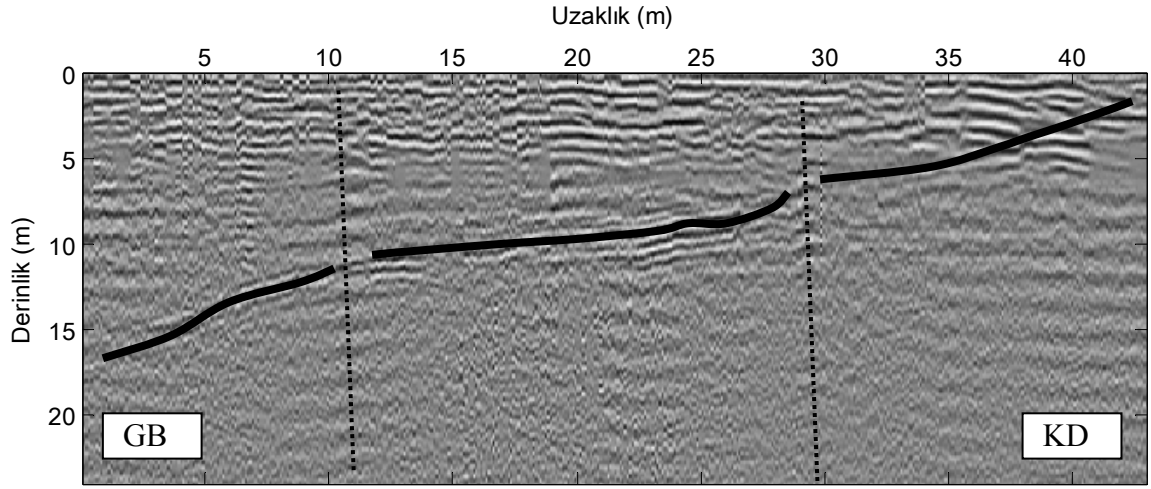
Şekil 131. G-G' doğrultusundaki yer radarı kesitinde hız belirlenmesi, (a) 22. m dolaylarındaki hiperbolun tepe noktasının seçimi, (b) 7-37m'ler arasındaki bölgenin hız çözülmesinin kapanım görüntüsü, (c) seçilen hızın hiperbola göre doğrulanması

Elde edilen kesitler hesaplanan hız değeri kullanılarak derinlik kesitine çevrilmiş ve yorumlanmıştır (Şekil 132–145).

Şekil 132'de A-A' kesitinin yorumlanmamış, Şekil 133'de ise yorumlanmış kesiti görülmektedir. Şekil 132'de yol kenarında 15 metre derinlikten başlayan ana kaya kayalara yaklaştıkça 3–4 metreye kadar inmektedir. Şeklin 10 ve 30. metrelerinde düşey atımlı normal faylanma görülmektedir.

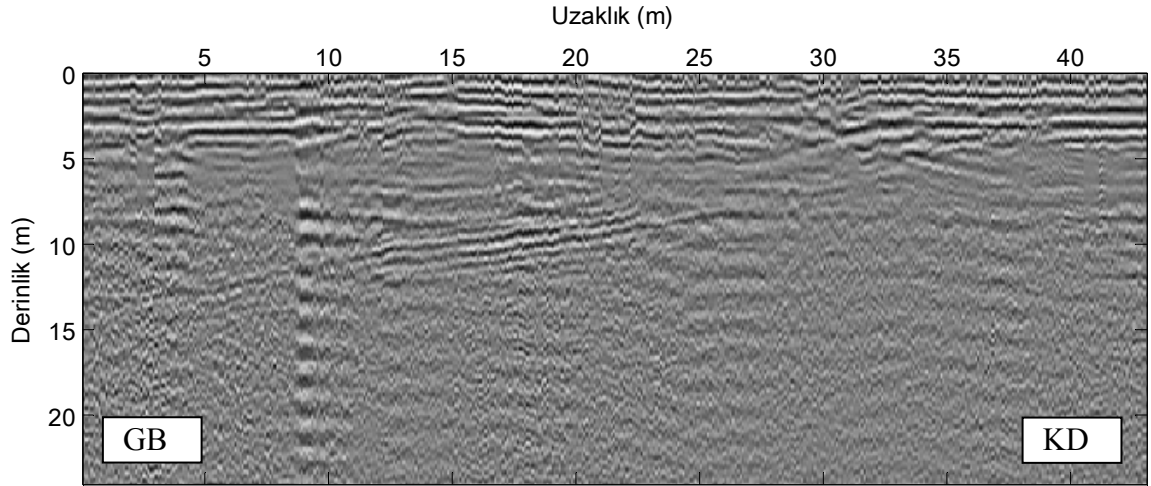


Şekil 132. A-A' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü

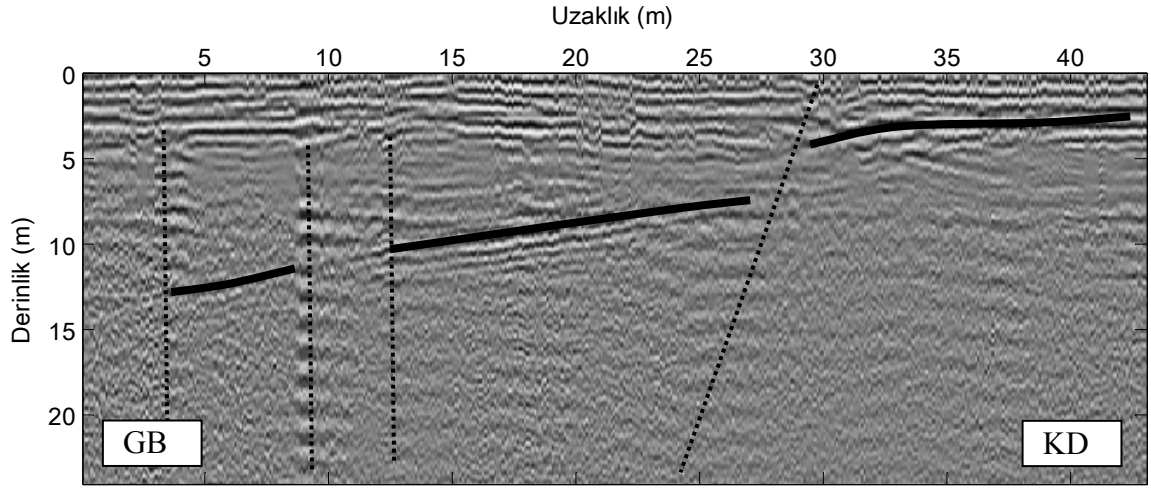


Şekil 133. A-A' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması

Şekil 134'te B-B' kesitinin yorumlanmamış, Şekil 135'te ise yorumlanmış kesiti görülmektedir. Şekil 135'te yol kenarında 14 metre derinlikten başlayan ana kaya, yüzeylenmiş kayalara yaklaştıkça 3-4 metreye kadar sığlaştığı görülmektedir. Şeklin 10, 12 ve 30. metrelerinde düşey atımlı normal faylanmalar görülmektedir.

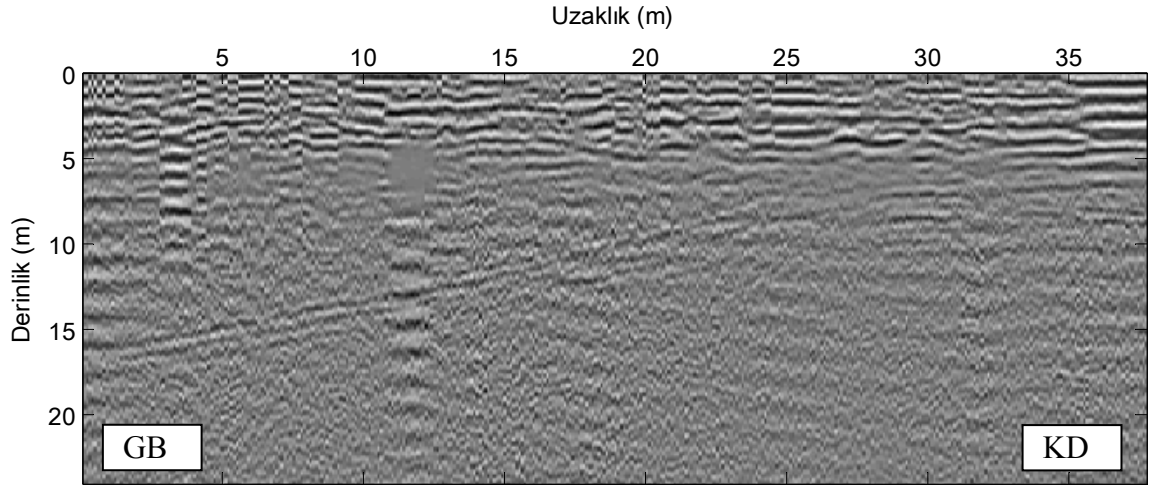


Şekil 134. B-B' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü

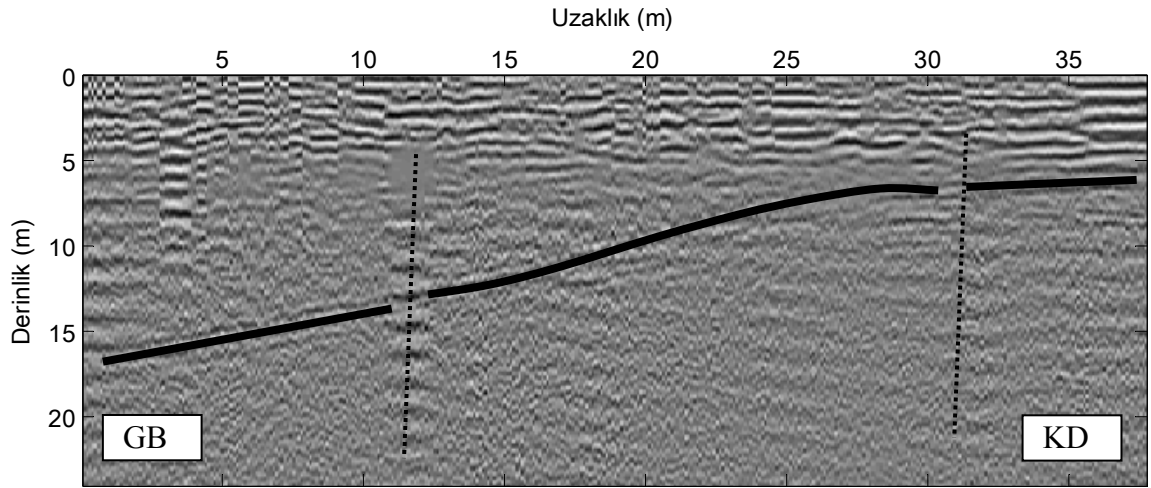


Şekil 135. B-B' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması

Şekil 136'da C-C' kesitinin yorumlanmamış, Şekil 137'de ise yorumlanmış kesiti görülmektedir. Şekil 137'de yol kenarında 16 metre derinlikten başlayan ana kaya, yüzeylenmiş kayalara yaklaştıkça 5-6 metreye kadar sığlaştığı görülmektedir. Şeklin 12 ve 30. metrelerinde düşey atımlı normal faylanmalar görülmektedir.

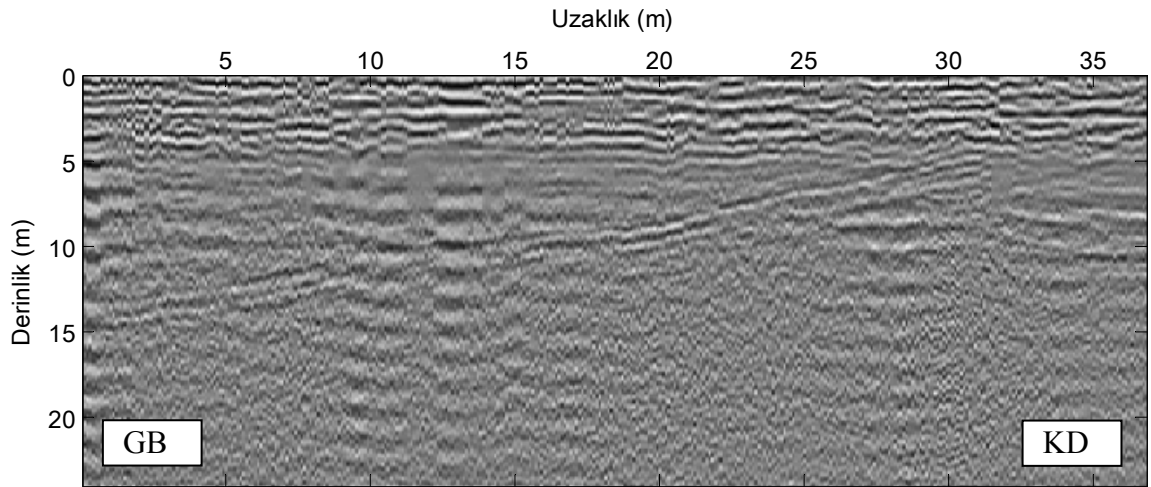


Şekil 136. C-C' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü

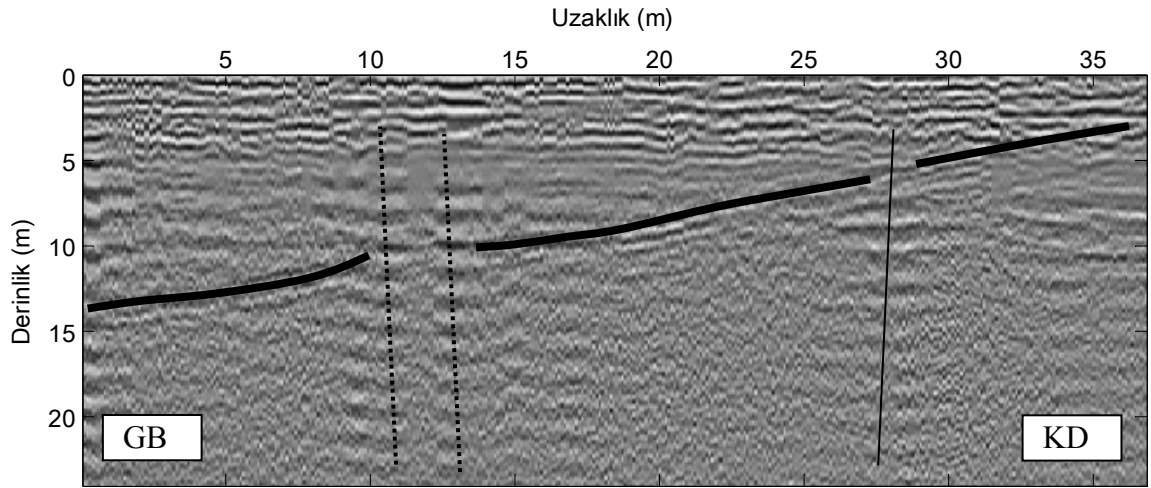


Şekil 137. C-C' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması

Şekil 138'de D-D' kesitinin yorumlanmamış, Şekil 139'da ise yorumlanmış kesiti görülmektedir. Şekil 139'da yol kenarında 12 metre derinlikten başlayan ana kaya yüzeylenmiş kayalara yaklaştıkça 2-3 metreye kadar sığlaştığı görülmektedir. Şeklin 10, 12 ve 27. metrelerinde düşey atımlı normal faylanmalar görülmektedir.

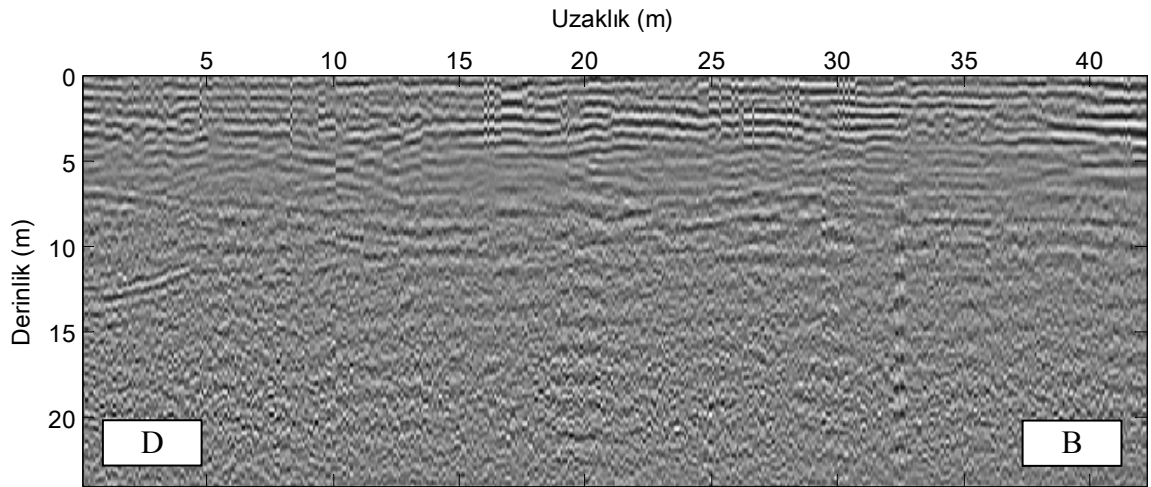


Şekil 138. D-D' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü

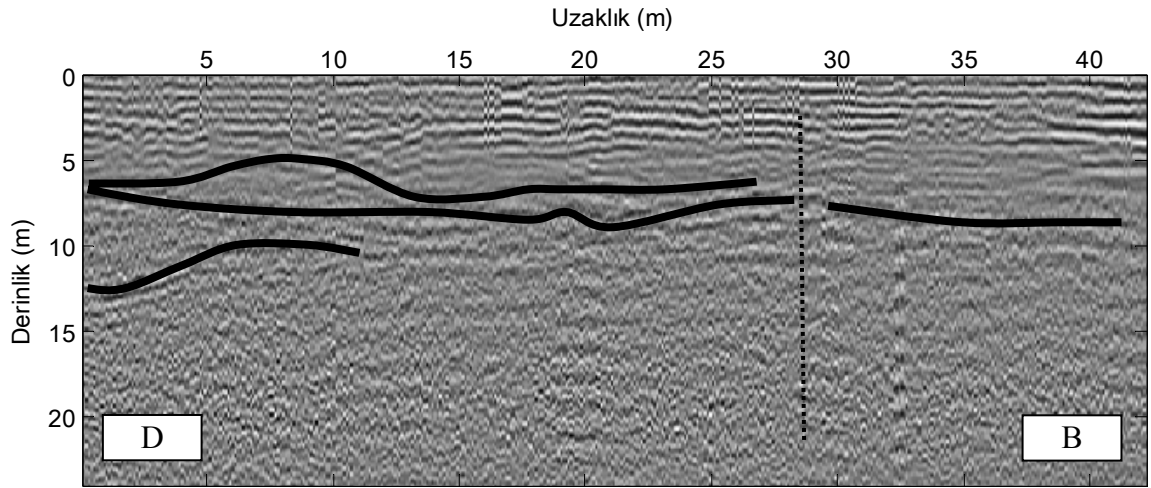


Şekil 139. D-D' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması

Şekil 140'ta E-E' kesitinin yorumlanmamış, Şekil 141'de ise yorumlanmış kesiti görülmektedir. Şekil 141'de diğer doğrultulara çaprazlama bir doğrultu seçildiği ve yola yaklaşık paralel alındığı için ana kayanın derinliği 7-8 metre dolaylarını görülmektedir. Şeklin 27. metresinde düşey atımlı normal faylanmalar görülmektedir.

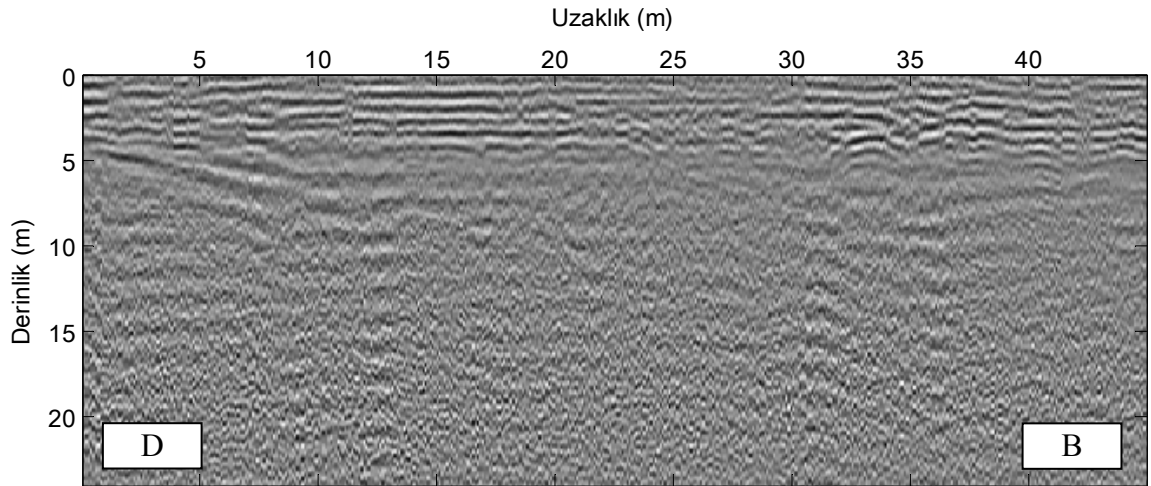


Şekil 140. E-E' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü

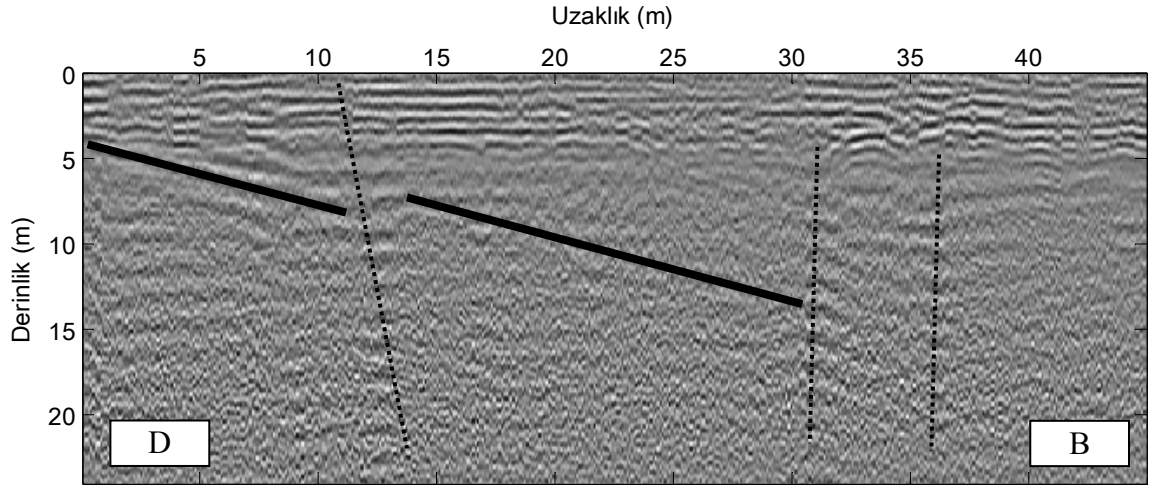


Şekil 141. E-E' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması

Şekil 142'de F-F' kesitinin yorumlanmamış, Şekil 143'te ise yorumlanmış kesiti görülmektedir. Şekil 143'te ölçüler yol üzerinden alınmıştır. Şekilde 10. meterlerde bir ters faylanma görülürken 30 ve 35. metrelerde düşey atımlı normal faylanmalar görülmektedir. 30. metreden sonra ana kayadan belirti alınamamaktadır. Ayrıca bölgede yapılan sondajlarda F-F' kesitini F' noktasında bir sondaj çalışması yapılmış ve 15 metre inildiği halde ana kayaya ulaşılamamıştır.

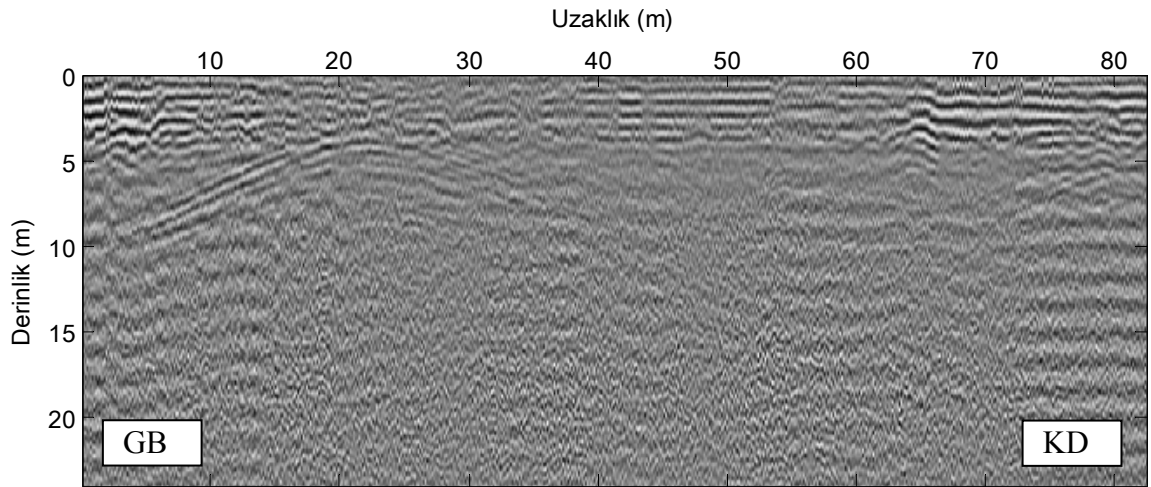


Şekil 142. F-F' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü

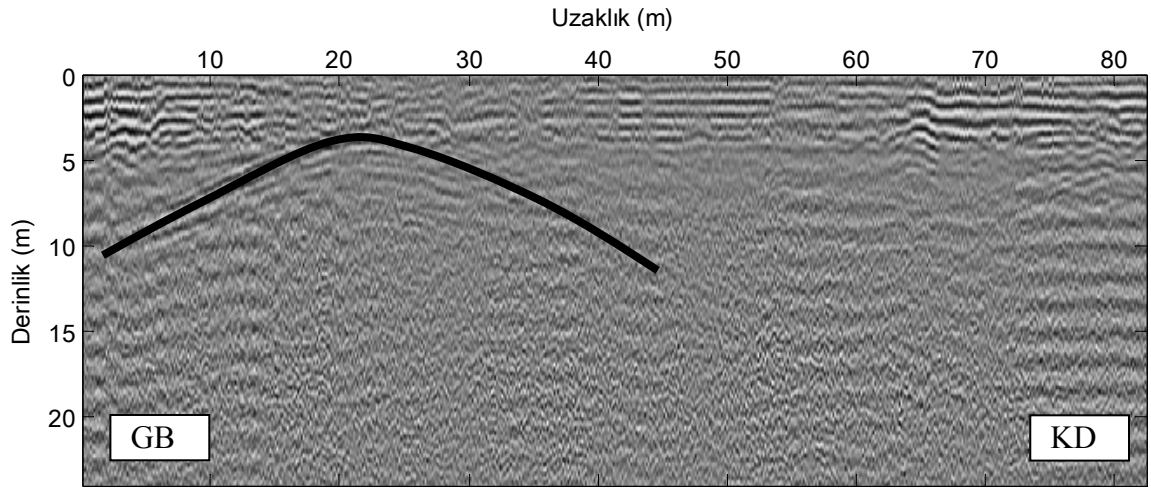


Şekil 143. F-F' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması

Şekil 144'te G-G' kesitinin yorumlanmamış, Şekil 145'de ise yorumlanmış kesiti görülmektedir. Şekil 145'te ölçüler G-G' doğrultusunda yol üzerinde alınmıştır. Şekilde 22. meterlerde büyük olasılıkla bir kayadan kaynaklanan hiperbol belirtisi görülmektedir. Ancak bu kesitte ana kayadan kaynaklanan bir belirti görülmemektedir.

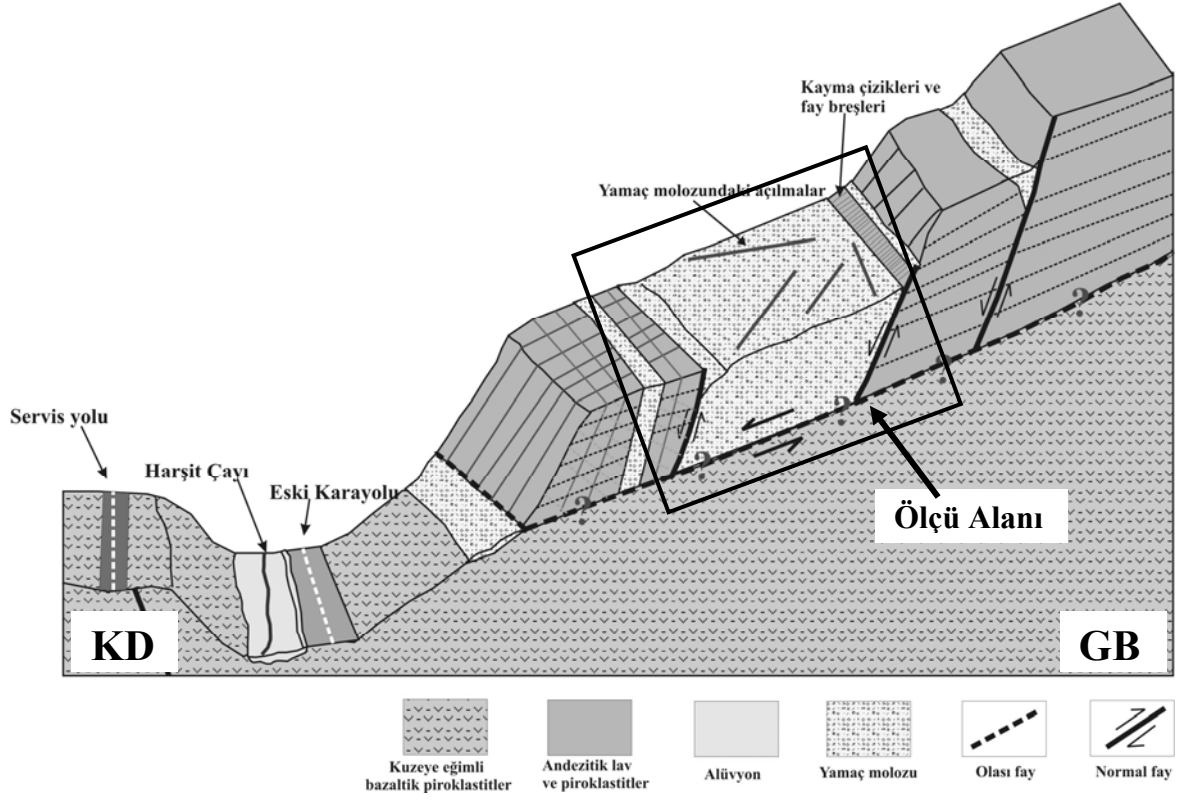


Şekil 144. G-G' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanmamış görüntüsü

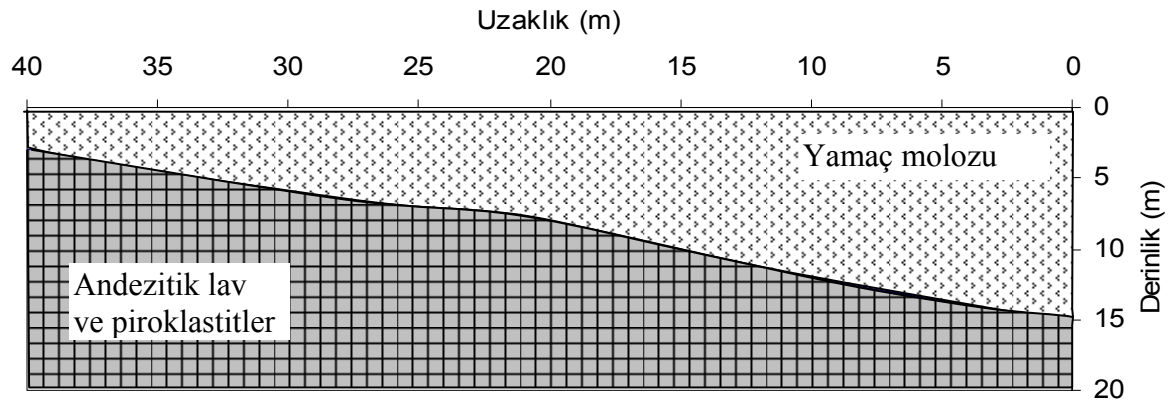


Şekil 145. G-G' derinlik kesiti ve ana kayanın yorumlanması

Heyelan sahasında, daha önce yapılan incelemeler sonunda elde edilen G-G' doğrultusuna ve kestirilen heyelan düzlemine paralel GB→KD yönünde alınan jeolojik kesit Şekil 146'da görülmektedir [49]. Yorumlanan yer radarı kesitlerine göre ölçü alanındaki yamaç molozunun bulunduğu blokun derinlik bilgisi bulunarak ortalama bir derinlik kesiti çizilmiştir (Şekil 147). GB'dan KD'ya doğru kalınlığı azalan bir kütle olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla, heyelan oluşabilecek kayma düzlemi yalnızca yamaç molozu için düşünülebilir. Andezitik lav içerikli kütlenin kaymaya katılıp katılmadığı daha geniş ölçümlerle araştırılabilir.



Şekil 146. G-G' doğrultusuna paralel ve tüm yamaç boyunca alınan jeolojik kesit [49]



Şekil 147. Heyelan bölgesindeki ölçü alanının ana kaya derinlik kesiti

3. BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, var olan veri işlem tekniklerine alternatif olabilecek yeni yaklaşımlar ele alınmıştır. Bu yaklaşımlarda YZD yöntemi genlik düzeltmesinde enerji dağılımı için iyi sonuç verirken görüntü ayrımlılığında azalmaya neden olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için sıklık eşitlemesi uygulanmış ve genlik yönündeki enerji dağılımı dengelenmiştir. Sıklık eşitlemesi sonucunda yüksek frekanslı gürültüler ortaya çıkmış bunlar bant geçişli süzgeç yardımıyla temizlenmiştir.

Ele alınan diğer bir yöntem ise hız çözümlemesidir. Bilindiği gibi hız çözümlemesi CDP verilerine uygulanırken burada COG verilerine uygulanmıştır. Bunun için her hiperbolun tepe noktası seçilmiş ve sıfır noktası buraya kaydırılarak hiperbolun temsil ettiği hız bilgisi elde edilmiştir. Ayrıca hiperbol seçimi yapılmadan tüm açılımlarda hız çözümlemesi yapılarak düşey ve yatay yönde toplanmasıyla düşey ve yatay hız çözümlemesi yapılmıştır. Bu çözümlemenin yorumlamada büyük kolaylıklar sağladığı görülmektedir.

Yerleşke alanından toplanan verilere uygulanan veri işlem aşamalarının sonucunda elde edilen kesitlerdeki hiperbollar işaretlenerek tek tek yapılan hız çözümlemelerinde hiperbolların hızları belirlenmiş ve her hiperbolun temsil ettiği nesnenin derinliği bulunmuştur. Hiperbolların genelde 3–4 m derinliğinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon kanallarının bu derinlikten geçtiği söylenebilir. Diğer derinliklerde ısıtma kanallarının varlığından söz edilebilir. Ayrıca düşey yönde sütun şeklinde bazı süreksizlikler gözlenmiştir. Bu süreksizlikler ölçü sahasında bulunan ışıklandırma direklerinden kaynakladığı belirlenmiş ve bunların yerleri işaretlenmiştir. Ölçü sahası boyunca binalar ölçü doğrultusuna paralel olduğu için bunların etkileri kesitlerde yanal olaylar olarak görülmektedir. Fakat Orman UAM binası ölçü doğrultusuna dik olduğu için özellikle C ve D kesitlerinde eğimli doğrusal olaylara rastlanmıştır.

Mescitli heyelan verilerine bölüm 2.5.2’de belirtilen veri işlem aşamaları uygulandıktan sonra G-G’ kesitinde belirlenen hiperbol için hız çözümlemesi yapılmış ortamın hızı yaklaşık 0.16 m/ns olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu hız değeri elektromanyetik dalganın buz içindeki ilerleme hızını göstermektedir [48]. Dolayısıyla bölgedeki zeminin donmuş olması özellikle yamaç molozunun hızının 0.16m/ns olmasına

neden olduğu düşünölmektedir. Bir anlamda zeminin donmuş olması ana kayanın tesbit edilmesinde oldukça yararlı olmuştur.

Heyelan bölgesinde alınan ölçülerin kısmi bir ölçü bölgesinde olduğundan heyelan hakkında genel bir yargıya varmak için yeterli gözükmemektedir. Yinede kayma yönü ve andezitik lav içerikli yapı ile yamaç molozu arasındaki ilişki hakkında bir ön bilgi verilmektedir.

4. İRDELEME VE ÖNERİLER

Yer radarı için geliştirilen yazılımda, veri işlem aşamaları için hazırlanan kütüphanenin uygulama ve eğitim amaçlı kullanılabileceği düşünülmektedir. Daha sonraları bu yazılıma diğer jeofizik yöntemlerinin de eklenmesi düşünülebilir.

Veri işlem teknikleri uygulanırken, istenilen olaya göre bir teknik seçilmelidir. Örneğin, sizin için yeraltı yapısı önemliyse ona göre veri işlem teknikleri, sadece gömülü nesnelere önemliyse ona göre veri işlem teknikleri kullanılmalıdır. Ayrıca ince tabakalı yapılarla veya ince borularla ilgileniyorsanız o zaman ayrımlılık üzerine veri işlem teknikleri kullanılmalıdır.

Ölçümler sırasında araştırılan derinliğe göre zamansal ve uzaysal örnekleme aralığı seçilmeli ve ona göre değişik frekanslarda antenler kullanılmalıdır.

Mecbur kalmadıkça ıslak zeminlerde ölçü alınmamalı. Islaklık aranan malzemenin elektriksel özelliklerini etkileyeceği için yanlış sonuçlar çıkabilir.

Sürekli ölçü alınırken ölçü alan kişi ile antenlerin hareket hızının eşit olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü konum belirleyicisi ölçü alan kişinin hareketine göre ayarlanmıştır. Eğer antenler ölçü alan kişiyle paralel hareket etmiyorsa o zaman konum belirlemede sapmalar olabilir.

Ölçü alırken çevre yüzeydeki nesnelere ölçü karnesine not edilmesi ihmal edilmemelidir. Böylelikle veri işlem aşamasından sonra kesitlerin yorumlanması daha kolay ve gerçekçi olur.

Yanal doğrusal olayları (artalan) temizlerken yeraltında istenen yatay tabaka bilgisinin yok olmaması için artalan temizleme işleminin belli zaman aralıklarında uygulanması önerilmektedir.

Geleneksel genlik düzeltme yöntemleri, rasgele gürültüleri şişirerek verilerin iyi okunmasını engellemektedir. Bu gürültüler yüksek frekanslı olduğunda bunları frekans süzgeçleri ile yok etmek olanaklı olurken, sinyal ile aynı frekansa sahip gürültüleri ayıklamak o kadar da kolay olmamaktadır. Belki de SEC genlik düzeltmesi bu sorun için çözüm olabilir. Fakat bu yöntemin parametrelerini belirlemek deneyimsiz bir veri işlemci için oldukça güç olmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada önerilen YZD yöntemi, hem istenmeyen olayları şişirmemekte hem de kullanıcıya herhangi bir iş düşürmemektedir.

YZD yöntemi sadece COG ortamında uygulanmaktadır. CMP veya CSG ortamlarında bu yöntem yetersiz kalmaktadır. Nedeni ise YZD'nin tüm izlerde aynı oranda genlik kaybı olmasını varsaymasıdır. YZD işlemi uyguladıktan sonra verilerdeki görüntüsel ayrımlılık oranı düştüğünden görüntüsel ayrımlılığı artırmak için sıklık eşitlemesi uygulamak yerinde bir karar olur. Bu durumda ise yüksek frekanslı rasgele gürültüler baskın olmaya başlayacaktır. Bu rasgele gürültüler ise frekans süzgeçleri ile temizlenebilir. Sonuç olarak, YZD uygularken sıklık eşitlemesi ve frekans süzgeci üçlemesini art arda uygulamak gerekmektedir.

COG ölçümleriyle elde edilen kesitlerde hız bilgisini elde etmek oldukça güç gözükmektedir. Kesitlerdeki hiperbolları tek tek belirleyip hız çözümlemesi yapmak bir çözüm gözükse de, sonuçta elle yapılan bir müdahale olduğundan otomatik hız belirlemede sorunlar çıkarabilir. Bunun için frekans ortamında çalışmak yerinde bir karar olabilir.

Bilindiği gibi farklı konumlarda ve farklı zamanlarda bulunan aynı hızlı hiperbollar genlik spektrumunda aynı konumda bulunmaktadırlar. Dolayısıyla hız bilgisi genlik spektrumundan belirlenebilmektedir. Ancak hız bilgisinin temsil ettiği konum-zaman ikilisinin bilgisi faz spektrumunda saklıdır. Faz spektrumundan bu bilgileri ayıklamak için faz spektrumunu düzgünleştirmek ve konum-zaman bilgisini elde etmeye çalışmak, verilerdeki hız bilgisini elde etmekte işlem zamanını büyük oranda azaltacağı düşünülmektedir.

Düşey ve yatay hız çözümlemeleri hiperbolardan çok diğer olayları öne çıkarması nedeniyle bir tür hiperbol süzgeci gibi kullanılabilir.

Hız çözümlemeleriyle ilgili daha fazla çalışma yapılması, kullanıcıya gerek kalmadan herhangi bir araca takılan bir yer radarı aleti ile otomatik arama yapılmasını ve yeraltının görüntülenmesi sağlanabilir. Bu ise özellikle askeri açıdan plastik mayınların yerini operasyon sırasında hızlı bir şekilde belirlenmesinde büyük yararlar sağlayabilir. Veri işlem aşamalarında yapay zekâ kullanılmasıyla birlikte geliştirilen yöntemler ciplere yerleştirilerek otomatik aramalar yaptırılabilir.

Gümüşhane ili Mescitli beldesindeki heyelan bölgesinde ilkbaharla birlikte yağışların artmasına paralel olarak heyelanın etkinliğinin artacağı beklenmelidir. Bu bölgede ek ölçülerle kayma düzlemi iyi belirlenebilirse heyelanın önlenmesi ve tahliye edilmesi gündeme gelebilir. Alınacak önlemler sayesinde büyük ekonomik zararda önlenmiş olacaktır.

G-G' kesitinden anlaşılacağı gibi eldeki olanaklarla (100 MHz yer radarı anteni) ana kayaya inmek güç gözükmektedir. Bölgede kayma düzleminin kesin olarak belirlenmesi için düşük frekanslı yer radarı antenleri kullanılarak ölçü alınabilir veya diğer jeofizik yöntemlerinden yararlanılabilir. Alınacak ek ölçüler ile kayma düzleminin yönü ve hacmi hesaplanabilir. Ayrıca alınacak önlemler daha sağlıklı seçilebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Stern, W., Versuch Einer Elektrodynamischen Dickenmessung von Gletschereis, Ger. Beitr. zur Geophysik, 23 (1929) 292-333.
2. Stern, W. und Grundlagen, U., Methodik und Bisherige Ergebnisse Elektrodynamischer Dickenmessung von Gletschereis, Z. Gletscherkunde, 15 (1930) 24-42.
3. Buderer, R., The Invention That Changed the World, Simon & Schuster, New York, 1996.
4. Simmons, G., Strangway, D.W., Bannister, L., Baker, R., Cubley, D., La Torraca, G. and Watts, R., The surface electrical properties experiment, in Lunar Geophysics, Z.Kopal and D.W.Strangway, eds., Dordrecht, D.Reidel, (1972) 258-271.
5. Morey, R.M., Continuous subsurface profiling by impulse radar: in Proc.Eng.Foundation Conf.on Subsurf.Explor.for Underground Excavation and Heavy Constr., Henniker, NH, 8/11-16/74, Am.Soc.Civil Engrs., (1974) 213-232.
6. Olhoeft, G.R., Maximizing the information return from ground penetrating radar, J. Applied Geophysics, 43 (2000) 175-187.
7. Daniels, D.J., Surface-Penetrating Radar, IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6, London, 1996.
8. Kruk, J. V. D., Three-dimensional imaging of multi-component ground penetrating radar data, PhD thesis, Delft University of Technology, <http://borneo.mp.tudelft.nl/~jvdkruk>, Delft, 2001.
9. Buttkus, B., Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics, Springer, Berlin, 2000.
10. Toft, P., The Radon Transform, Theory and Implementation, PhD thesis, Technical University of Denmark, Lyngby, 1996.
11. Anxing, Z., Yansheng, J. and Wenbing W., Signal-to-noise Ratio Enhancement in Multichannel GPR Data via the Karhunen-Loève Transform, Progress In Electromagnetics Research Symposium, August 2005, Hang Zhou, China, 22-26.
12. Poularikas, A., The Transforms and Applications Handbook, CRC Press, LLC, 2000.
13. Yılmaz, Ö., Seismic Data Processing, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, 1987.
14. Turner, G., Propagation deconvolution. In: P. Hanninen and S. Autio, Editors, Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar, Geological Survey of Finland (1992) 85-93.

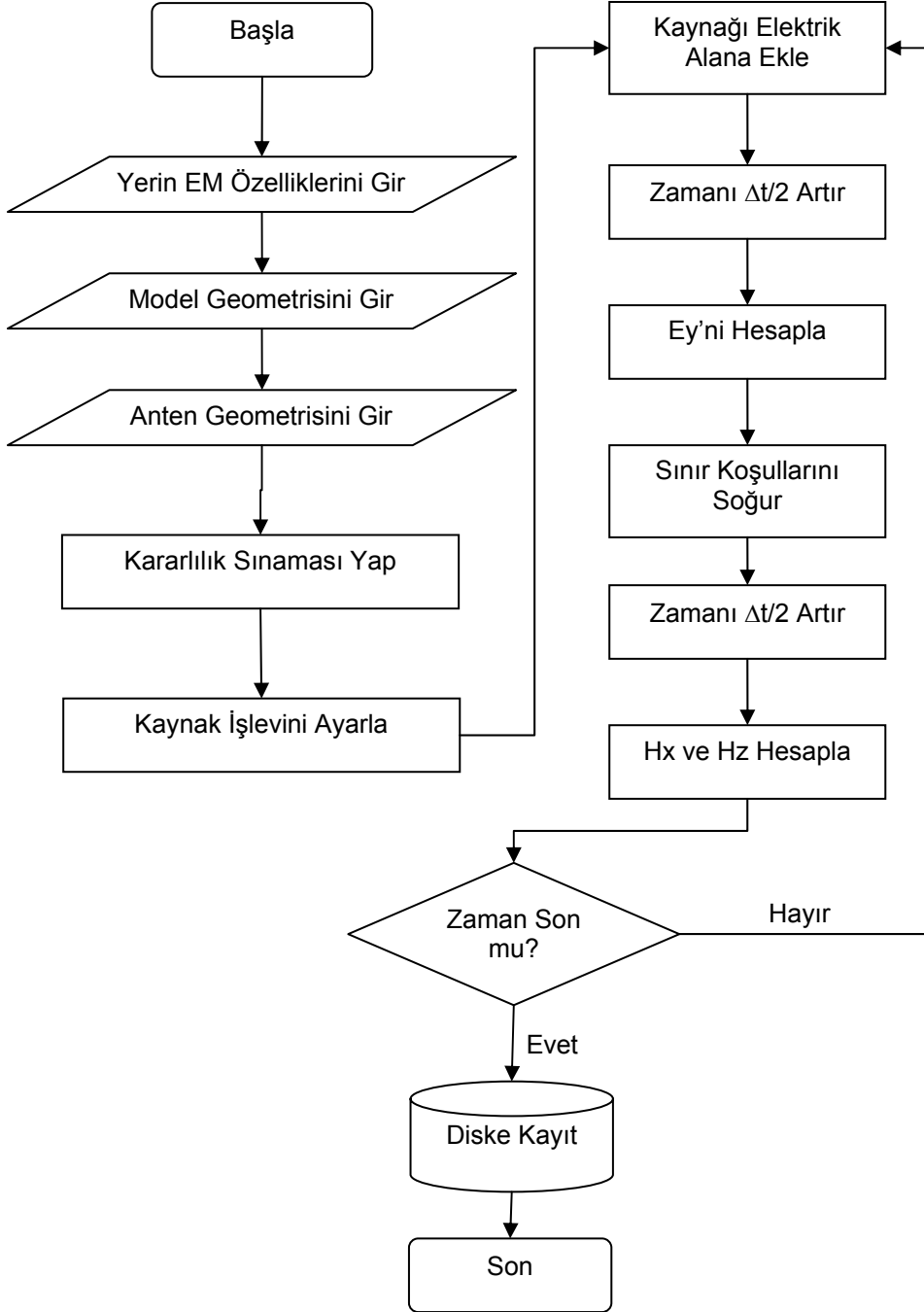
15. Turner, G., Subsurface radar propagation deconvolution. Geophysics, 59 (1994) 215–223.
16. Todoeschuck, J.P., LaFlèche, P.T., Jensen, O.G., Judge, A.S. and Pilon, J.A., Deconvolution of ground probing radar data. In: J. Pilon, Editor, Ground Penetrating Radar, Geological Survey of Canada, 90, 4 (1992) 227–230.
17. Gottsche, F.M., Stolte, C., and Nick, K.P., Two-sided deconvolution: a method to improve the temporal resolution in radar data. In: Extended Abstracts of 56th Meeting of European Association of Exploration Geophysicists (1994) 40-49.
18. Porsani, M.J. and Ursin, B., Mixed-phase deconvolution of seismic and ground-penetrating radar data. In: Annual Meeting Abstracts, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK (1996) 1603–1606.
19. Neves, F.A., Roulston, M.S. and Miller, J.A., Source signature deconvolution of ground penetration radar data. Revista Brasileira de Geofísica 13, 2 (1995) 143–153.
20. Moran, M.L., Greenfield, R.J., Arcone, S.A. and Delaney, A.J., Delineation of a complexly dipping temperate glacier bed using short-pulse radar arrays. Journal of Glaciology 46 (2000) 274–286.
21. Xia, J., Franseen K., Miller D., Weis V. and Byrnes, P. Improving ground-penetrating radar data in sedimentary rocks using deterministic deconvolution, Geophysics, 54,1 (2003) 15-33.
22. Win_EKKO User's Guide, Sensors & Software, 2001.
23. Dascalu, M. and Franti, E.D., Computing system processing of GPR sounding profiles, International Semiconductor Conference, 28 Sept.-2 Oct 2003.
24. Sheriff, R.E., Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics. Society of Exploration Geophysics, P.O. Box 702740, Tulsa, Oklahoma, 74170-2740, 1984.
25. Annan, A.P., Transmission dispersion and GPR. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2 (1996) 125–136.
26. Kunz, K.S. and Luebbers, R.J., The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics, CRC Press, Inc., Boca Raton, 1993.
27. Yee, K.S., “Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell’s Equations in Isotropic Media,” IEEE Transaction on Antenna and Propagation, AP-14, 3 (1966) 302-307.
28. Wang, T. and Tripp, A.C., Simulation of EM Wave Propagation in Three-Dimensional Structures by a Finite Difference Method, Proc. Symp. on App. Of Geophys. To Engn and Environ. Probs., 1 (1994) 737-755.
29. Taflove, A. and Brodwin, M.E., Numerical Solution of Stead-State Electromagnetic Scattering Problems using the Time-Dependent Maxwell’s Equations, IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, MTT-23, 8, (1975).

30. Kunz, K.S. and Luebbers, R.J., *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press Inc., Boca Raton, 1993.
31. Tirkas, P.A., and Demarest, K.R., Modeling of thin Dielectric Structures using the Finite-Difference Time-Domain Technique, IEEE Transactions on Antenna and Propagation, AP-39, 9 (1991) 1338-1344.
32. Britt, C.L., Solution of Electromagnetic Scattering Problems Using Time Domain Techniques, IEEE Transaction on Antenna and Propagation, 37, 9 (1989) 1181-1192.
33. Maloney, J.C., and Smith, G.S., The Use of Surface Impedance Concept in the Finite Difference Time-Domain Method, IEEE Transaction an Antenna and Propagation, 40, 1 (1992) 38-48.
34. Taflove, A., Umashankar, K., Beker, B., Harfoush, F. and Yee, K., Detailed FDTD Analysis of Electromagnetic Fields Penetrating Narrow Slots and Lapped Joints in Thick Conducting Screens, IEEE Transactions on Antenna and Propagation, AP-36, 2, (1988) 247-257.
35. Taflove, A., *Computational Electrodynamics-The Finite-Difference Time-Domain Method*, Boston: Arctect House, 1995.
36. Mur, G., Absorbing Boundary Conditions for the Finite Difference Approximation of the Time-Domain Electromagnetic-Field Equation, IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility, EMC-23, 4 (1981).
37. Mei, K.K. and Fang, J., Superabsorption –a Method to Improve Absorbing Boundary Conditions, IEEE Transaction on Antenna and Propagation, AP-40, 9 (1992) 1001-1010.
38. Chew, W.C., *Waves and Fields in Inhomogeneous Media*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
39. Buechler, D.N., Roper, D.H., Durney, C.H. and Christensen, D.A., Modeling sources in the FDTD formulation and their use in quantifying source and boundary condition error, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 43, Apr. (1992) 810-814.
40. Davidson, D.B., and Ziolkowski, R.W., Body-of-revolution finite-difference time-domain modeling of space-time focusing by a three-dimensional lens, Opt. Soc. Am., A Optics Image Sci. Vision, 11, 4 (1994) 1471-1490.
41. Huang, Z., *A Numerical Ground Penetrating Radar Simulator*, PhD, School of The University of Kansas, Kansas, 1996.
42. Helbig, K., Fifty years of amplitude control, Geophysics, 63, 2 (1998) 750-762.
43. Daniels, D.J., Gunton, D.J. and Scott, H.F., Introduction to subsurface radar. IEE Proceedings, 135 (1988) 278–320.

44. Overmeeren, R. A., Radar facies of unconsolidated sediments in The Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology, Journal of Applied Geophysics, 40, 1-3 (1998) 1-18.
45. Liu, L. and Li, Y., Identification of liquefaction and deformation features using ground penetrating radar in the New Madrid seismic zone, USA, Journal of Applied Geophysics, 47, 3-4 (2001) 199-215.
46. Annan, A.P., Practical Processing of GPR Data. Proceedings of the Second Government Workshop on Ground Penetrating Radar, Mississauga, ON, 1999.
47. Moldoveanu, M., Stewart, R.R., and Aitken J. A., Shallow imaging using ground penetrating radar (GPR) in a carbonate environment in Belize, Central America: CREWES Research Report, 14 (2002).
48. Reppert, P. M., Morgan, F. D. and Toksöz, M. N., Dielectric constant determination using ground-penetrating radar reflection coefficients, Journal of Applied Geophysics 43 (2000) 189–197.
49. Eyüpoğlu, Y., Livaoğlu, R., Şirin, A., Bektaş, O., Gelişli, K., Maden, N., Coruhlu, Y., E., ve Yücel, C., Tektonik Kontrollü Aktif Heyelanlara Bir Örnek: Mescitli Heyelanı ve Gümüşhane İli İçin Potansiyel Tehlikesi, (KD Türkiye); Ön Bulgular, 1. Heyelan Sempozyumu, 30 Kasım – 02 Aralık 2006, Trabzon.
50. Liao, Z. P., Wong, H. L., Yang, B. P. and Yuan, Y. F., A transmitting boundary for transient wave analysis. Scientia Sinica, A, 27 (1984) 1063–1076.
51. Davis, J. L., and Annan, A. P., Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical prospecting, 37 (1989) 531–551.

6. EKLER

Ek 1. Yer Radarı Benzetiminin Akış Şeması



Ek 2. SAMBAT Yazılımındaki İşlevlerin Kullanım Yönergeleri

OKABSHW : segy giriş değişkenindeki key başlığını mutlak değerini alır

Sözdizimi:

```
dataout = okabshw(datain, key)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy yapısındaki veri değişkeni
key         : başlık deyimi
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısındaki veri değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [dataout] = okabshw(datain, 'offset')

segy değişkenin 'offset' başlığının mutlak değerini alır

//-----

OKACOR : girişteki segy verisinin öz ilişkisini hesaplar

Sözdizimi:

```
dataout = okacor(datain, normal, sym)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
normal      : sıfır olamayan ile değerle normalize eder.
= 0         : normalize yok
= 1         : normalize eder
sym         : simetrik veri elde etmek için
= 0         : verinin sağ tarafını verir
= 1         : her iki tarafında verir
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [dataout] = okacor(datain, 1, 0)

giriş verisinin öz ilişkisini normalize ederek veririr
sadece artı yönü verir

//-----

OKADDEVENT : segy yapısındaki veriye istenilen türde bir eğri ekler

Sözdizimi:

```
dataout = okaddevent(datain, ftype, t0, vel, source)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
mtype       : zaman kayması cinsi
= 'nmo'     : nmo (hiberbolik) kayma
```

```

                = 'lmo'          : lmo (doğrusal) kayma
t0              : başlangıç zamanı
vel            : eğrinin hızı
source         : kaynak fonksiyonu değerleri

Çıkış unsurları:
  dataout      : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
  ...

Kullanım 1: d2 = okaddevent(d1, 'nmo', 0.1, 1500, okwavelet(3, -1/10:0.001:1/10, 10))
  d1 verisine, 0.1 sn de 1500 hızındaki bir hiperbol ekler ve bunu
  d2 veri değişkeni olarak verir.

```

```
//-----
```

OKADDNOISE : verilen bir segy yapısındaki veriye rastgele gürültü ekler

```

Sözdizimi:
  dataout = okaddnoise(datain, sn, noise, freq, amps)

Giriş unsurları:
  datain      : segy yapısındaki veri değişkeni
  sn          : sinyal gürültü oranı
  noise       : gürültü cinsi
              = 'gauss'   : n(0, 1) normal dağılımdan gürültü ekler
              = 'flat'    : ortalaması sıfır olan düzgün dağılım gürültüsü ekler
  freq        : süzgeçleme için frekans aralıkları
  amps        : verilen frekansların genlikleri

Çıkış unsurları:
  dataout     : segy yapısındaki veri değişkeni

Uyarılar :
  ...

Kullanım 1: d2 = okaddnoise(d1, 20, 'gauss', [0.1 0.15 .45 .50], [0 1 1 0]);
  d1 verisine 0.1 nyquist ve 0.5 nyquist aralığında S/N oranı 20 olan
  normal bir gauss gürültüsü ekler.

```

```
//-----
```

OKAGC : otomatik kazanç düzeltmesi uygular.

```

Sözdizimi:
  [dataout] = okagc(datain, n, dim)

Giriş unsurları:
  datain      : segy yapısındaki veri değişkeni
  n           : AGC uygulanacak verinin pencere boyu
  dim         : AGC uygulama yönü
              = 1      : Zamansal yönde
              = 2      : Uzaysal yönde
              = 3      : Zamansal-Uzaysal iki boyutlu

Çıkış unsurları:
  dataout     : segy yapısında bir veri değişkeni

```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: `d2 = okagc(d1, 100, 1)`
`d1` isimli segy veri yapısında 100 örneklilik pencereler içinde zamansal kazanç düzeltmesi uygular.

//-----

OKAMP : verilen karmaşık segy değişkenini istenilen moda çevirir

Sözdizimi:

`dataout = okamp(datain, mode)`

Giriş unsurları:

`datain` : segy biçimindeki veri değişkeni
`mode` : verilecek çıkış cinsi
 = 'amp' : complex segy verisinin mutlak genliğini verir
 = 'env' : complex segy verisinin mutlak genliğini verir
 = 'phase' : complex segy verisinin fazını verir
 = 'angle' : complex segy verisinin fazını verir
 = 'real' : complex segy verisinin gerçel kısmını verir
 = 'imag' : complex segy verisinin sanal kısmını verir
 = 'conj' : complex segy verisinin eşleniğini verir

Çıkış unsurları:

`dataout` : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: `d2 = okamp(d1, 'amp')`
 karmaşık segy değişkeninin mutlak (normu) değerini verir.

//-----

OKAVE : ortalama süzgeçi uygular ortalaması yazılır.

Doğrusal olmayan bir süzgeç işlemi uygular

Sözdizimi:

`[dataout] = okave(datain, n, dim)`

Giriş unsurları:

`datain` : segy biçimindeki veri değişkeni
`n` : ortalaması alınacak verinin pencere boyu
`dim` : ortalama süzgeci uygulanacak yön
 = 1 : Zamansal yönde
 = 2 : Uzaysal yönde
 = 3 : Zamansal-Uzaysal iki boyutlu

Çıkış unsurları:

`dataout` : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :

...

Kullanım 1: `d2 = okave(d1, 5, 1)`
`d2` isimli segy veri yapısında 5 örnek penceresi ile

ortalama süzgeci uygular.

//-----

OKBFILT : segy değişkenine butterworth süzgeçi uygular

Sözdizimi:

dataout = okbfilt(datain, n, wn, ftype)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 n : süzgeç derecesi
 wn : kesim frekansı ($0 < wn < 1$)
 ftype : süzgeç türü
 = 'low' : alçak geçiren
 = 'high' : yüksek geçiren
 = 'bandpass' : band geçiren
 = 'bandstop' : band durduran

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d1 = okbfilt(datain, 7, 0.4, 'low')

7. dereceden kesim frekansı 0.4 nyq olan
 alçak geçiren bir süzgeç uygular

Kullanım 2: d1 = okbfilt(datain, 7, [0.2 0.6], 'bandpass')

7. dereceden kesim frekansı 0.2 ila 0.6 nyq olan
 bant geçiren bir süzgeç uygular

//-----

OKBIT : segy yapısındaki verinin verilen bitini hesaplar.

Sözdizimi:

[dataout] = okbit(datain, bit)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 bit : 0 ile 7 arasında bir tam sayı

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir veri değişkeni

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okbit(d1, 3)

d1 isimli segy yapısındaki verinin 3. bitini hesaplar.

//-----

OKBMOD : modelleme için gerekli model yapıyı oluşturur

Sözdizimi:

```
[model, y] = okbmod(mode, x, z, v)
```

Giriş unsurları:

```
mode                : çizim biçimini belirler
  = '.'             : nokta koyar
  = 'o'            : sadece küçük daire
  = '-'            : sadece çizgi çizer
  = '-o'           : hem nokta koyar hemde çizgi çizer
x                   : x yönündeki ızgara değerleri
z                   : z (derinlik) yönündeki ızgara değerleri
v                   : sırasıyla kullanılacak hızlar
```

Çıkış unsurları:

```
model              : XxZ model matrisini oluşturur
Y                  : y yönündeki tabaka sınır değerler
```

Uyarılar :

modeli çizerken yukarıdan aşağıya doğru çizin. yeni çizilen her model aşağısındaki tabakayı yok eder!

Kullanım 1: [model, xy] = okbmod('-o', [1:200], [1:200], [2000 2500 3000 3500 4000]);
işaretleme yaparken hem daire koyar hemde çizgi çizer

//-----

OKCHW : segy değişkenin başlıkları arasında aritmetik işlemler yapar

Sözdizimi:

```
dataout = okchw(datain, hw1, hw2, hw3, a, b, c, d)
```

Giriş unsurları:

```
datain            : segy biçimindeki veri değişkeni
hw1               : hesaplanılacak başlık
hw2               : hesap için kullanılacak birinci başlık
hw3               : hesap için kullanılacak ikinci başlık
a                 : eklenecek sayı
b                 : birinci başlık katsayısı
c                 : ikinci başlık katsayısı
d                 : bölüm katsayısı
```

Çıkış unsurları:

```
dataout          : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

```
hw1 = (a+b*hw2+c*hw3)/d
```

Kullanım 1: d1 = okchw(d1, 'offset', 'gx', 'sx', 0, 1, -1, 1);
başlık içinde offset değerini gx ve sx kullanılarak hesaplanıyor

Kullanım 2: d1 = okchw(d1, 'cdp', 'gx', 'sx', 0, 1, 1, 2);
başlık içinde cdp değerini gx ve sx kullanılarak hesaplanıyor

//-----

OKCONTOUR : segy yapısındaki verileri eşyükselti eğrileri şekilde çizer

Sözdizimi:

```
okcontour(datain, x, t, tf, nl)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : çizilecek segy yapısındaki veri değişkeni.
x           : x koordinatı (verilmediğinde değerini başlıktan alır)
t           : t koordinatı (verilmediğinde değerini başlıktan alır)
tf          : eş yükselti türü
            = 0      : sadece çizgiler
            = 1      : içi renklendirilmiş
nl          : eş yükselti sayısı
```

Çıkış unsurları:

...

Uyarılar:

...

Kullanım 1: okcontour(dl);

```
seg y biçimindeki dl değişkenindeki verilerin
eşyükselti eğrilerini çizer
```

//-----

OKCONV : seg y değişkeni ile verilen bir dizinin evrişimini hesaplar

Sözdizimi:

```
dataout = okconv(datain, filt)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : seg y biçimindeki veri değişkeni
filt        : süzgeç dizisi
            eğer süzgeç dizisi satır ise satır yönünde
            eğer süzgeç dizisi sütun ise sütun yönünde
            eğer süzgeç iki boyutlu ise iki boyutlu
            evirişim uygular
```

Çıkış unsurları:

```
dataout      : seg y yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

```
bu evirişimde fft kullanıldığı için süzgeç boyutu değişmemektedir.
```

Kullanım 1: d2 = okconv(dl, suz)

```
seg verisini suz dizisi ile evirişime sokar
```

//-----

OKCOUNTKEY : seg y değişkenindeki başlıkların numaralandırır

Sözdizimi:

```
dataout = okcountkey(datain, hw1, hw2, asc)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : seg y biçimindeki veri değişkeni
hw1         : seg y değişkenindeki herhangi başlık
hw2         : seg y değişkenindeki herhangi başlık
asc         : artım miktarı
```

```

= 0      : hw2 'in aynı olduğunda yerde artmasın
          farklı olduğu yerde artsın
= 1      : hw2 'in aynı olduğunda yerde artsın
          farklı olduğu yerde artmasın

```

```

Çıkış unsurları:
  dataout      : segy yapısında bir değişken

```

```

Uyarılar :
  ...

```

```

Kullanım 1: d1 = okcountkey(d1, 'cdp', 'cdp', 0);
            başlık içinde cdp değeri farklı olanları bir artırır

```

```

Kullanım 2: d1 = okcountkey(d1, 'cdpt', 'cdp', 1);
            başlık içinde cdp değeri aynı olanlarda cdpt bir artırır

```

```

//-----

```

```

OKDEWOW : ortalama silme süzgeci
          dewow işleminde ve artalan silme işleminde kullanılır.
          Ayrıca DC kaydırma içinde kullanılabilir.

```

```

Sözdizimi:
  [dataout] = okdewow(datain, n, dim)

```

```

Giriş unsurları:
  datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
  n           : süzgeç uygulanacak verinin pencere boyu
  dim        : süzgeç uygulanacak yön
              = 1      : Zamansal yönde
              = 2      : Uzaysal yönde
              = 3      : Zamansal-Uzaysal iki boyutlu

```

```

Çıkış unsurları:
  dataout      : segy yapısında bir bir veri değişkeni

```

```

Uyarılar :
  ...

```

```

Kullanım 1: d2 = okdewow(d1, 10, 1)
            d1 isimli segy yapısındaki veriden 10 örneklilik pencere boyuyla
            ortalama silme süzgeci uygular

```

```

//-----

```

```

OKDIGIT : işaretçi ile girilen değerlerin koordinatlarını verir

```

```

Sözdizimi:
  [Xi, Yi] = okdigit(mode)

```

```

Giriş unsurları:
  mode      : çizim biçimini belirler
              = '.'    : nokta koyar
              = 'o'    : sadece küçük daire
              = '-'    : sadece çizgi çizer
              = '-o'   : hem nokta koyar hemde çizgi çizer

```


Çıkış unsurları:

Xi : x yönündeki değerler
Yi : y yönündeki değerler

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [Xi, Yi] = okdigit('-or')

işaretleme yaparken hem daire koyar hemde çizgi çizer
ayrıca r unsuru ile kırmızı çizmesi sağlanır

//-----

OKDIPFILT : segy değişkenine FK oratımdan eğim süzgeçi uygular

Sözdizimi:

[dataout] = okdipfilt(datain, slopes, amps, bias)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
slopes : eğim dizisi
amps : eğim dizisine karşılık gelen genlikler
bias : eğime eklenecek sabit

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okdipfilt(d1, [0.7 0.8 1.2 1.3], [1 0 0 1], 0)

0.8 ile 1.2 eğimleri arası sıfırlanır 0.7-0.8 ve 1.2-1.3 arası geçiş olur

//-----

OKDIVCOR : küresel açılma düzeltmesi uygular.

Sözdizimi:

[dataout] = okdivcor(datain, trms, vrms)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
vrms : düzeltme uygulanacak hızlar
trms : hızlara karşılık gelen zamanlar

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okdivcor(d1, [1100 1320 2450], [1.23 2.3 3.4])

d1 değişkenindeki küresel açılma etkisini giderir.

//-----

OKDMOTX: Verilen bir segy yapısındaki veriden yeni veri oluşturur.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okdmotx(datain)
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy biçimindeki veri değişkeni
```

Çıkış unsurları:

```
dataout         : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

DMO işlemi uygulamak için verinizin COG ortamında olması gerekir.

Kullanım 1: d2 = okdmotx(d1)

d1 segy değişkeninin DMO işlemini yapar.

//-----

OKEDIT : segy değişkenindeki başlıklara toplu atama yapar

Sözdizimi:

```
dataout = okedit(datain, hw1, hv1);
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy yapısında bir veri
hw1             : metin tipinde başlık metni
hv1            : başlık değerleri
```

Çıkış unsurları:

```
dataout         : segy yapısında veri kümesi
```

Uyarılar :

Veri ataması yaparken atanılacak verilerin boyu atacak verilerin boyuna eşit olmalıdır.

Kullanım 1: d2 = okedit(d1, 'sx', 10:10:100)

d1 isimli segy veri yapısında d1.sx değişkeninin değerlerine 10:10:100 değerlerini atama yapar.

//-----

OKEXP : izleri zaman eksenin exponansiyeli göre düzenler.

Sözdizimi:

```
dataout = okexp(datain, nt, ntmin, dt)
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy biçimindeki veri değişkeni
nt              : çıkış izinin örnek sayısı
ntmin          : ilgilenilen en düşük zaman indisi
dt             : örnekleme zaman aralığı
```

Çıkış unsurları:

```
dataout         : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: `d2 = okexp(d1, 1024, 100, 0.004)`
 1024 örnek boyutunda zamana eksenin exponansiyeli alınmış izler

//-----

OKFDMOD2 : merkezi sonlu farklar ile akustik dalga benzetimi yapar.

Sözdizimi:

`[dataout] = okfmod2(dvv, tmax, sxloc, szloc, rxloc, rzloc)`

Giriş unsurları:

`dvv` : hız ve yoğunluk düzeyi
`tmax` : toplam kayıt zamanı
`sxloc` : kaynağın x konumu (konumları)
`szloc` : kaynağın z konumu (konumları)
`rxloc` : alıcının x konumları
`rzloc` : alıcının z konumları

Çıkış unsurları:

`dataout` : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: `d2 = okfmod2(dvv, 0.5, 100, 10, 10:10:200, 10*ones(1, 21))`
 500 msn lik bir zaman diliminde kaynak noktası (100, 10) olan bir akustik dalga alanı yayılmaktadır. Toplam 21 alıcı 10 metre derinliklerde bu alanın genliklerini kayıt ediyor.

//-----

OKFDTD: Maxwell denklemlerini kullanarak EM dalgalarının benzetimini yapar

Sözdizimi:

`dataout = okfdtd(ermod, mrmod, w, T, sxloc, szloc, rxloc, rzloc)`

Giriş unsurları:

`ermod` : permitivite düzeyi
`mrmod` : permablite düzeyi
`w` : kaynak hakim frekansı (MHz)
`T` : veri kayıt zamanı (ns)
`sxloc` : vericinin x eksenini boyunca konumları
`szloc` : vericinin z eksenini boyunca konumları
`rxloc` : alıcıların x eksenini boyunca konumları
`rzloc` : alıcıların z eksenini boyunca konumları

Çıkış unsurları:

`dataout` : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

eğer birden çok verici konumu girerseniz birden çok atış kaydı benzetimi yapar. Bu durumda bunlara karşılık gelen vericiler ise dizey şeklinde gelmektedir.

Kullanım 1: `[dataout] = okfdtd(a, ones(200,300), 10, 1, 15, 3, 2:0.1:28, 2*ones(1, 27));`
 okbmod ile oluşturulmuş yeraltı modeli (a) nın verilen aralılarda benzetimini yapar.

```
//-----
```

OKFEGRAV: sonlu elemanlar yöntemiyle iki boyutlu gravite belirtisini hesaplar

Sözdizimi:

```
[dataout] = okfegrav(model, dx, dz, x, z)
```

Giriş unsurları:

```
model          : göreceli yoğunluk bulunan bir dikdörtgen model dizeyi
dx             : modelde x yönündeki ızgara aralığı
dz            : modelde z yönündeki ızgara aralığı
x             : x eksenindeki ölçü noktası
z            : z eksenindeki ölçü noktası
```

Çıkış unsurları:

```
dataout        : çeşitli noktalardaki yerçekimi (gravite) belirtileri
```

Uyarılar :

```
...
```

```
Kullanım 1: d2 = okfegrav(a, 1, 1, -100:200, zeros(1, 301))
            301 noktada yerçekimi belirtisi hesaplar
```

```
//-----
```

OKFFT : segy değişkenin Fourier Dönüşümünü gerçekleştirir
geri dönen değer karmaşık bir segy veri dizisidir.

Sözdizimi:

```
dataout = okfft(datain, n, dim)
```

Giriş unsurları:

```
datain        : segy biçimindeki veri değişkeni
n            : çıkış dizisini boyu
dim          : dönüşüm uygulama yönü
              = 1 : zamansal yönde fourier dönüşümü
              = 2 : uzaysal yönde fourier dönüşümü
              = 3 : zamansal-uzaysal iki boyutlu fourier dönüşüm
```

Çıkış unsurları:

```
dataout        : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

```
veri boyunu seçerken tek yönlüler için bir değer
iki boyutlular için iki değerli bir dizi girmelisiniz.
```

```
Kullanım 1: [dataout] = okfft(datain)
            segy değişkeninin Fourier dönüşümünü uygular
```

```
//-----
```

OKFFTDECON : verilen kaynak sinyali ile Fourier ortamında ters evrişim yapar.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okfftdecon(datain, src)
```

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
src : kaynak sinyali

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okfftdecon(d1, s1)

d1 segy yapısındaki verinin s1 kaynak sinyali yardımıyla
ters evirişimini yapar.

//-----

OKFFTSHIFT : segy değişkeninin sıfır frekansını merkeze taşır.
genelde fourier ortamındaki verilere uygulanır.

Sözdizimi:

[dataout] = okfftshift(datain, dim)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
dim : kaydırılacak frekansın yönünü verir
= 1 : zamansal yönde
= 2 : uzaysal yönde
= 3 : zamansal-uzaysal yönde iki boyutlu

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okfftshift(d1, 1)

zamansal yönde sıfır frekansını merkeze çeker

//-----

OKFILTER : segy değişkenine sıfır fazlı bir süzgeç uygular

Sözdizimi:

dataout = okfilter(datain, freq, amps, dim)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
freq : süzülecek frekanslar (N_y de, $0.0 < \text{freq} < 1.0$)
amps : frekanslara karşılık gelen genlikler
dim : süzgecin yönü
= 1 : zamansal yönde
= 2 : uzaysal yönde
= 3 : zamansal-uzaysal iki boyutlu

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [dataout] = okfilter(datain, [0.1 0.15 0.45 0.5], [0 1 1 0])
0.15 nyq ile 0.45 nyq frekansı arasında band geçiren bir süzgeç uygular

//-----

OKFLIP : segy değişkenini istenilen yönde döndürmek için kullanılır

Sözdizimi:
[dataout] = okflip(datain, flip);

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
flip : döndürme yönü
= 2 : sağdan sola doğru
= 3 : yukarıdan aşağıya doğru
= 1 : saat yönünde
= 0 : transpozu
= -1 : saatin ters yönünde

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
...

Kullanım 1: dd = okflip(dl, 2)
dl segy değişkenini sağdan sola doğru döndürür

//-----

OKFRAC : segy değişkenine türev integral ve faz kayması uygular

Sözdizimi:
[dataout] = okfrac(datain, power, sgn, phasefac)

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
power : türev veya integral derecesi (= 0 sadece faz kayması)
sgn : jw önüne gelecek işaret (1 veya -1)
phasefac : pi nin katsayısı olacak şekilde faz kayması

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :
...

Kullanım 1: [dd] = okfrac(dd, 1, -1, 0)
sıfır faz kaymalı türev işlemi uygulanır

//-----

OKGABOR : Gabor dönüşümünü uygular, zaman-frekans ekseninde incelenir

Sözdizimi:

```
[dataout] = okgabor(datain, freq, alpha)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
freq        : ilgilenilen frekans dizisi
alpha       : süzgeç yumuşaltma (azalım) oranı
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okgabor(d1, 0.2:0.05:0.6, 0.5)

...

//-----

OKGAIN : bir çok çeşit genlik düzenlemesi yapar.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okgain(datain, tpow, epow, gpow, trap, clip, qclip, scale, bias, pbal)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
tpow        : t^tpow ile veri çarpılır.
epow        : exp(epow*t) ile veri çarpılır.
gpow        : ölçeklenmiş verinin işaretli gpow ncu kuvvetini alır
trap        : mutlak değeri trap ı aşan tüm değerleri sıfırlar
clip        : mutlak değeri clip i aşan değeri işaretli clip e eşitlenir
qclip       : mutlak değeri qclip. değeri aşan değeri qclip.
              değerine eşitler (0 < qclip < 1 ).
scale       : ölçeklendirme etmeni
bias        : kaydırma etmeni
qbal        :
              = 1 : qclip. değeriyle tüm değerler bölünür ve 1 aşanlar kesilir
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir veri değişkeni
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okgain(d1, 2, 0.1)

```
(t^2)*exp(0.1*t)*iz şeklinde genlik düzenlemesi yapar.
```

//-----

OKHILB : segy değişkenine hilbert dönüşümü uygular

Sözdizimi:

```
dataout = okhilb(datain)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
```

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

Hilbert dönüşü sonucu veri karmaşık veri olur,
veri içinde gerçel ve sanal kısımlar karmaşık iz
şeklinde mevcuttur.

Kullanım 1: dd = okhilb(datain)

...

//-----

OKHIST : segy yapısındaki verinin belli bir alıktaki histogramını hesaplar

Sözdizimi:

[dataout] = okhist(datain, e, dim)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
e : histogram aralığı
dim : histogram alınacak verinin yönü
= 1 : zamansal yönde histogram
= 2 : uzaysal yönde histogram
= 3 : zamansal-uzaysal iki boyutlu histogram

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir veri değişkeni

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okhist(d1, -3:0.1:3)

d1 isimli segy yapısındaki verinin -3 ile 3 arasında 0.1 aralıklara bölünmüş
histogramını hesaplar.

//-----

OKIFFT : segy değişkenindeki verilerin ters Fourier dönüşümünü yapar

Sözdizimi:

dataout = okifft(datain, n, dim)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
n : çıkış dizisini boyu
dim : dönüşüm uygulama yönü
= 1 : zamansal yönde ters fourier dönüşümü
= 2 : uzaysal yönde ters fourier dönüşümü
= 3 : zamansal-yzaysal iki boyutlu ters fourier dönüşüm

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

veri boyunu seçerken tek yönlüler için bir değer
iki boyutlular için iki değerli bir dizi girmelisiniz.

Kullanım 1: d2 = okifft(d1)

d1 in ters fourier dönüşümünü alır

//-----

OKIMAGE : segy verilerini görüntü biçiminde çizer

Sözdizimi:

okimage(datain, x, t)

Giriş unsurları:

datain : çizilecek segy yapısındaki veri değişkeni.
 x : çiziminizin uzaklık (x) koordinatlarını belirler
 verilmediği durumlarda değerlerini başlıktan alır
 t : çiziminizin zaman koordinatlarını belirler
 verilmediği durumlarda değerlerini başlıktan alır

Çıkış unsurları:

...

Uyarılar:

...

Kullanım 1: okimage(d1);

seg y yapısındaki d1 değişkenindeki verileri
 gri renk ölçeğiyle boyar.

//-----

OKINTVEL : yağma hızlarından ara hızları elde eder.

Sözdizimi:

[vi, h] = okintvel(vs, t0)

Giriş unsurları:

vs : yağma hızları
 t0 : yağma hızlarına karşılık gelen zamanlar

Çıkış unsurları:

vi : ara hızlar
 h : ara hızlara karşılık gelen yükseklikler

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [vi, h] = okintvel([1200 1750 2340], [1.23 2.3 3.4])
 verilen yağma hızlarından ara hızları elde eder

//-----

OKIRADON : segy değişkenine ters Radon dönüşümü uygular

Sözdizimi:

dataout = okiradon(datain, theta)

Giriş unsurları:

datain : seg y biçimindeki veri değişkeni

```

theta                : dönüşüm uygulanacak acılar (derece)

Çıkış unsurları:
  dataout            : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
  ...

Kullanım 1: d2 = okiradon(d1, 0:179)
           0 dan 179 e kadar derecelerdeki ters radon dönüşümünü verir

//-----

OKKEYWORD : key değişkeni ile verilen başlık ifadesinin açıklamasını verir

Sözdizimi:
  keyout = okkeyword(key)

Giriş unsurları:
  key                : başlık değeri

Çıkış unsurları:
  keyout            : başlık bilgisi

Uyarılar :
  ...

Kullanım 1: a = okkeyword('cdp')

//-----

OKKILL : segy değişkeninde verilen izi ortadan kaldırır

Sözdizimi:
  [dataout] = okedit(datain, trace_no);

Giriş unsurları:
  datain            : segy biçimindeki veri değişkeni
  trace_no          : silinecek iz numarası

Çıkış unsurları:
  dataout            : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
  ...

Kullanım 1: dd = okkill(d1, 12)
           d1 segy değişkeninde 12. izi siler

//-----

OKKLT: Verilen bir segy yapısındaki verinin Karhunen-Loève süzgeçi uygular
      NMO yapılmış CMP verilerine uygulanır.
      Doğrusal olayları ortaya çıkarmakta oldukça yararlıdır.

Sözdizimi:
  dataout = okklt(datain, p)

```

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 p : KL süzgecinde kullanılacak özdeğerlerin sayısı

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 p değişkeni kesitteki iz sayısından küçük olmalıdır.

Kullanım 1: d2 = okklt(d1, 4)
 d1 segy yapısındaki verinin 4 özdeğer kullanılarak alınmış
 Karhunen-Loève dönüşümü

//-----

OKLOG : izlerin zaman eksenin logaritmasına göre düzenler

Sözdizimi:
 dataout = oklog(datain, ntau, ntmin)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 ntau : çıkış izlerinin örnek sayısı
 ntmin : ilgilenilen en düşük zaman indisi

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = oklog(datain, 1000)
 1000 örnek boyutunda zaman eksenin logaritması alınmış izler

//-----

OKLSDECON : en küçük kareler yöntemi ile ters evirişim yapar.

Sözdizimi:
 [dataout] = oklsdecon(datain, src)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 src : kaynak sinyali

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = oklsdecon(d1, s1)
 d2 verisini s1 kaynak sinyali yardımıyla
 ters evirişiminin yapılması.

```
//-----
OKMAX : iz iz yerel/genel en büyük en küçük ve mutlak en büyük değerleri bulur
```

Sözdizimi:

```
[trmax, trmin, trabs] = okmax(datain)
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy biçimindeki veri değişkeni
```

Çıkış unsurları:

```
trmax          : segy değişkenin izlerdeki en büyük değerlerini verir
trmin          : segy değişkenin izlerdeki en küçük değerlerini verir
trabs          : segy değişkenin izlerdeki mutlak en büyük değerlerini verir
```

Uyarılar :

```
...
```

Kullanım 1: [trb, trk, trm] = okmax(d1)

```
d1 değişkenin en küçük, en büyük ve mutlak en büyük değeri verir.
```

```
//-----
```

```
OKMEAN : segy verisinin ortalama değerlerini verir
```

Sözdizimi:

```
[trmean, glmean] = okmean(datain, pwr)
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy biçimindeki veri değişkeni
pwr              : izin kuvvetinin ortalamasını bulur
= 1              : ortalama genlik
= 2              : ortalama enerji
```

Çıkış unsurları:

```
dataout         : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

```
...
```

Kullanım 1: [dtr] = okmean(d1, 1)

```
...
```

```
//-----
```

```
OKMEDIAN : zaman yönünde ortanca (medyan) süzgeçi uygular
```

Sözdizimi:

```
dataout = okmedian(datain, n, dim)
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy biçimindeki veri değişkeni
n                : süzgeç (pencere) boyu
dim              : süzgeç yönü
= 1              : zamansal yönde ortanca uygulanması
= 2              : uzaysal yönde ortanca uygulanması
= 3              : zamansal-uzaysal yönde ortanca uygulanması
```

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = okmedian(datain, 3)
 pencere boyu 3 olan bir ortanca süzgeç uygular
 olan kısmını ayıklar.

//-----

OKMIX : segy değişkenine ağırlıklı kayan ortalama süzgeci uygular

Sözdizimi:
 dataout = okmix(datain, mix,dim)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 mix : uygulanacak ağırlıklar
 dim : süzgeç uygulama yönü
 = 1 : zamansal yönde süzgeç uygulama
 = 2 : uzaysal yönde süzgeç uygulama
 = 3 : zamansal-uzaysal iki boyutlu süzgeç uygulama

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = okmix(d1, [0.6 1 1 1 0.6])
 d1 değişkeninde zamansal yönde ağırlıklarını kayan
 ortalama süzgeci uygular.

//-----

OKMUTE : segy değişkeninde tanımlanan polygon çivarını sıfırlar

Sözdizimi:
 dataout = okmute(datain, xmute, tmute, key, taper, mode)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 xmute : uzaysal konumlar
 tmute : zamansal konumlar
 key : uzaysal konumun başlık türü
 = 'offset' : açılım değeri
 = 'gx' : alıcı konum değeri
 = 'tracl' : iz numarası
 = ...
 ntaper : törpü boyu
 mode : verilecek çıkış cinsi
 = 0 : verilen poligonun üst kısmını atar (öntanımlı)
 = 1 : verilen poligonun alt kısmını atar
 = 2 : verilen poligonun alt ve üst kısmını verilen
 : uzunlukta atar

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = okmute(d1, [15 70 125], [0.1 0.5 0.2], 'offset')
 15 70 125 açılıma karşılık 0.1 0.5 0.2 zaman değerlerinin
 oluşturduğu çizginin üzerini sıfırlar.

//-----
 OKNAN : segy değişkeninde NaN değerlerini verilen değerle değiştirir

Sözdizimi:
 dataout = oknan(datain, tval)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 tval : NaN değeri ile değiştirilecek değer

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: dd = oknan(d1, 0.0)
 d1 segy değişkeninde tüm NaN değerlerini 0.0 ile değiştirir

//-----
 OKNMO : Verilen bir segy yapısındaki veriye NMO işlemi uygular.

Sözdizimi:
 dataout = oknmo(datain, vnmo, tnmo, cdp, sgn, smute)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 vnmo : hız değerleri
 tnmo : hızlara karşılık gelen zaman değerleri
 cdp : cdp numaraları
 sgn : NMO nun yönü
 = -1 : ters NMO
 = 1 : düz NMO
 smute : mute yapılacak uzama miktarı
 0 <= smute <1

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: [dataout] = oknmo(datain, [1000 2000], [0.1 0.24], 1, 0.5)
 hızları 0.1 de 1000, 0.24 de 2000 olan bir düz NMO işlemi uygular
 uzamanın 2 katına çıktığında atma yapsın

```
//-----
OKNORMALIZE : segy değişkenindeki verileri verilen yonteme gore normalize eder

Sözdizimi:
    dataout = oknormalize(datain, mode, it0, it1)

Giriş unsurları:
    datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
    mode        : uygulanacak yöntem
                 = 'rms'      : karekök ortalama kareye göre
                 = 'max'     : en büyük değere göre
                 = 'med'     : ortanca değere göre
    it0         : normalizasyonun uygulanacağı en küçük zaman
    it1         : normalizasyonun uygulanacağı en büyük zaman

Çıkış unsurları:
    dataout     : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: [dataout] = oknormalize(datain, 'rms', 0.1, 1.2)
    0.1 sn ile 1.2 sn arasındaki verileri rms yöntemine göre normalize eder
```

```
//-----
OKNULL : tüm değerleri sıfır olan bir segy yapısında yeni veri oluşturur.

Sözdizimi:
    [dataout] = oknull(nt, ntr, dt);

Giriş unsurları:
    nt          : izdeki örnek sayısı
    ntr         : toplam iz sayısı
    dt          : örnekleme aralığı

Çıkış unsurları:
    dataout     : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: d1 = oknull(512, 32, 0.004)
    512 örnekli 32 kanallı tüm değerleri sıfır olan bir oluşturur
    örnekleme aralığı 0.004 sn.
```

```
//-----
OKOP : segy verilerine matematiksel işlemler uygular.

Sözdizimi:
    [dataout] = okop(datain, op)

Giriş unsurları:
    datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
    op          : uygulanacak işlemi ismi
                 = 'ssqrt'   : işaretli karekök
```

```

= 'sqr'      : kare
= 'ssqr'    : işaretli kare
= 'sgn'     : işaret işlevi
= 'exp'     : üstel
= 'slog'    : işaretli doğal logaritma
= 'slog10'  : işaretli logaritma
= 'cos'     : cosinüs
= 'sin'     : sinüs
= 'tan'     : tanjant
= 'cosh'    : kosinüs hiperbolik
= 'sinh'    : sinüs hiperbolik
= 'tanh'    : tanjant hiperbolik
= 'db'      : 20 * slog10(data)
= 'neg'     : eksi değeri
= 'posonly' : sadece artı değerleri geçirir
= 'negonly' : sadece eksi değerleri geçirir

```

...

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: [dd] = okop(dd, 'slog')
 dd segy verisine işaretli logaritma işlemi uygular

//-----

OKOP2 : segy verilerine iz iz aritmetik işlemler uygular.

Sözdizimi:
 [dataout] = okop2(datain1, datain2, op)

Giriş unsurları:
 datain1 : segy biçimindeki veri değişkeni
 datain2 : segy biçimindeki veri değişkeni
 op : uygulanacak işlemi ismi
 = 'sum' : verilen iki veriyi toplar
 = 'diff' : verilen iki veriyi çıkarır
 = 'prod' : verilen iki veriyi çarpar
 = 'quo' : verilen iki veriyi böler
 = 'ptsum' : verilen bir veri ile bir izi toplar
 = 'ptdiff' : verilen bir veri ile bir izi çıkarır
 = 'ptprod' : verilen bir veri ile bir izi çarpar
 = 'ptquo' : verilen bir veri ile bir izi böler

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :
 op, quo ve ptquo olduğunda sıfıra bölme olacağı durumlarda
 sonucu sıfır olarak gönderir

Kullanım 1: d2 = okop(d1, d2, 'sum')
 d1 segy değişkeni ile d2 segy değişkenini iz iz toplar.

//-----

OKPASTE : matris biçiminde verilen veriyi segy biçimine çevirir.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okpaste(datain)
```

Giriş unsurları:

```
datain : matris biçimindeki veri değişkeni
```

Çıkış unsurları:

```
dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni
```

Uyarılar :

Kullanım 1: d2 = okpaste(d1)

d1 isimli matrisi d2 isimli segy yapısındaki veriye çevirir.

//-----

OKPEF : önkestirimli Wiener süzgeçi (ters evrişim) uygular

Sözdizimi:

```
dataout = okpef(datain, minlag, maxlag, mincorr, maxcorr, pnoise)
```

Giriş unsurları:

```
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
minlag : önkestirim süzgeci için en küçük zaman noktası (sn)
maxlag : önkestirim süzgeci için en büyük zaman noktası (sn)
mincorr : özilişkinin işleme koyacağı en küçük zaman noktası (sn)
maxcorr : özilişkinin işleme koyacağı en büyük zaman noktası (sn)
pnoise : eklenecek gürültü seviyesi (prewhiting)
```

Çıkış unsurları:

```
dataout : segy yapısında bir değişken
wieners : süzgeç katsayıları
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [dataout] = okpef(datain, 0.65, 1.4, 0.1, 2.3)

0.65 ile 1.4 sn ler arasındaki veriden önkestirim süzgeç işleci bulunur ve bu işleç yardımıyla verini 0.1 ile 2.3sn ler arasında önkestirimli ters evrişim uygular.

//-----

OKPGC : programlanan kazanç düzeltmesi uygular.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okpgc(datain, n, dim)
```

Giriş unsurları:

```
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
n : kazançtaki pencere boyutu
dim : PGC uygulanacak yön
= 1 : zamansal yönde
= 2 : uzaysal yönde
= 3 : zamansal-uzaysal yönde
```

```

Çıkış unsurları:
    dataout          : segy yapısında bir veri değişkeni

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: d2 = okpgc(d1, 100, 1)
            pencere genişliği 100 olan bir PGC işlemini zaman yönünde uygular

//-----

OKPICKER : verilen konumda bir kesit üzerine doğrular çizer
           yorumlama aşamasında oldukça yararlı olur

Sözdizimi:
    [Xi, Yi] = okpicker(mode, c)

Giriş unsurları:
    mode          : çizim biçimini belirler
    = '.'         : nokta koyar
    = 'o'         : sadece küçük daire
    = '-'         : sadece çizgi çizer
    = '-o'        : hem nokta koyar hemde çizgi çizer
    c             : c.Xi, c.Yi biçiminde işaretleme konumları

Çıkış unsurları:
    Xi           : x yönündeki değerler
    Yi           : y yönündeki değerler

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: [Xi, Yi] = okpicked('-o')
            işaretleme yaparken hem daire koyar hem de çizgi çizer

//-----

OKPLANE : ortak açılım verisi oluşturur

Sözdizimi:
    dataout = okplane(dip, len, ct, cx, nt, ntr, dt, offset, taper)

Giriş unsurları:
    dip          : düzlem eğimleri (ms /iz)
    len          : düzlem uzunluğu (iz olarak)
    ct           : düzlemin orta noktası (örnek)
    cx           : düzlemin orta noktası (iz)
    nt           : toplam örnek sayısı
    ntr          : toplam iz sayısı
    dt           : örnekleme aralığı
    offset       : açılım uzunluğu
    taper        : törpüleme seçeneği
    = 0          : törpü yok
    = 1          : törpü var

Çıkış unsurları:

```

```

        dataout                : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: d2 = okplane([0 4 8], [48 48 48], [127 127 127], [31 31 31])
    ...

//-----

OKRADON : segy değişkenine Radon dönüşümü uygular

Sözdizimi:
    dataout = okradon(datain, theta)

Giriş unsurları:
    datain                : segy biçimindeki veri değişkeni
    theta                 : dönüşüm uygulanacak acılar (derece)

Çıkış unsurları:
    dataout                : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: d2 = okradon(d1, 0:179)
    0 dan 179 e kadar derecelerdeki radon dönüşümünü verir

//-----

OKRANGE : segy değişkeni içerisinde key başlık değişkenin
        en küçük ve en büyük değerlerini verir

Sözdizimi:
    [maxkey, minkey] = okrange(datain, key)

Giriş unsurları:
    datain                : segy biçimindeki veri değişkeni
    key                   : başlık değişkeni

Çıkış unsurları:
    maxkey                : key başlık değişkenin en büyük değeri
    minkey                : key başlık değişkenin en küçük değeri

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: [out1, out2] = okrange(d1, 'cdp')
    d1 segy değişkenindeki başlıkların en küçük ve en büyük değerini verir

//-----

OKREADDT1 : gpr PulseEKKO verilerini segy verisi olarak okur

Sözdizimi:
    dataout = okreaddt1(filename)

```

```

Giriş unsurları:
    filename           : okunacak dosyanın adı

Çıkış unsurları:
    dataout           : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
    ...

Kullanım 1: d1 = okreaddt1('LINE1.dtl')
            LINE1 dosyalarının içindeki pulseekko verilerini okur

```

```
//-----
```

```
OKREADRAMAC : gpr RAMAC verilerini segy verisi olarak okur
```

```

Sözdizimi:
    dataout = okreadramac(filename_rd3, filename_rad)

Giriş unsurları:
    filename_rd3       : uzantısı *.rd3 olan dosyanın adı
    filename_rad       : uzantısı *.rad olan dosyanın adı

```

```

Çıkış unsurları:
    dataout           : segy yapısında bir değişken

```

```

Uyarılar :
    ...

```

```

Kullanım 1: dd = okreadramac('Profile16.rd3', 'Profile16.rad')
            Profile16 dosyalarının içindeki ramac verilerini okur

```

```
//-----
```

```
OKREADSEGY : İsmi verilen dosyadan segy biçimindeki verileri okur
            ve bunları segy yapısındaki bir değişkene aktarır. Veri ve
            başlıklar data_range ile verilen headerword un sınırları
            içinde kalan kısmını ayıklar.
```

```

Sözdizimi:
    okreadsegy(filename, machineformat, headerword, data_range)

```

```

Giriş unsurları:
    filename           : segy dosya adı
    machineformat      : aşağıda seçenekleri verilmiştir
        = 'b'         : IEEE ondalıklı sayısı (big-endian byte sırasıyla)
        = 'l'         : IEEE ondalıklı sayısı (little-endian byte sırasıyla)
        = 'n'         : Makinenin sayısal biçimi (MATLAB'de öntanımlıdır).
    headerword         : segy biçimindeki verilerin verilen başlık cinsindekileri
okur
    data_range         : headerword başlığının seçilecek aralığını belirler
    Çıkış unsurları:
    dataout           : segy yapısında bir değişken

```

```

Uyarılar :
    ...

```

```

Kullanım 1: [dataout] = okreadsegy('data', 'n', 'cdp', 500:550)

```

başlık içinde cdp kelmesiyle verilen 500 den 550 kadar olan kısmını okur.

Kullanım 2: [dataout] = okreadsegy('data')
verilen dosyanın sonuna kadar olan herşeyi okur.

//-----

OKREDUCE : segy değişkeninde verilen hızdan aşağısını sıfırlar
mute benzer bir işlem yürütür.

Sözdizimi:
dataout = okreduce(datain, rv)

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
rv : indirgeme hızı

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
burada uzaklık olarak offset değeri dikkate alınır.

Kullanım 1: d1 = okreduce(d1, 330)
hızı 330 olan doğrusal çiziginin altında kalan kısımları sıfırlar

//-----

OKREMAVE : ortalama silme süzgeci
dewow işleminde ve artalan silme işleminde kullanılır.
Ayrıca DC kaydırma içinde kullanılabilir.

Sözdizimi:
[dataout] = okremave(datain, n, dim)

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
n : süzgeç uygulanacak verinin pencere boyu
dim : süzgeç uygulanacak yön
= 1 : Zamansal yönde
= 2 : Uzaysal yönde
= 3 : Zamansal-Uzaysal iki boyutlu

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :
...

Kullanım 1: d2 = okremave(d1, 10, 1)
d1 isimli segy yapısındaki veriden 10 örneklik pencere boyuyla ortalama silme süzgeci uygular

//-----

OKRESAMP : segy değişkenini yeniden örnekler

Sözdizimi:

```
[dataout] = okresamp(datain, nt, dt)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
nt          : yeni değişkenin veri uzunluğu
dt         : yeni değişkenin veri aralığı
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

```
...
```

Kullanım 1: d2 = okresamp(d1, 1000, 0.001)

d1 segy değişkeninde her izde 1 ms aralığında 1000 örnek oluşturur

```
//-----
```

OKRTT: Verilen bir segy yapısındaki verinin Radial Trace dönüşümü uygular

Sözdizimi:

```
[dataout] = okrtrt(datain, vel, off, sgn, t0, x0)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
vel         : dönüşüm için hız dizisi
off         : açılım dizisi
sgn         : işlem yönü
            = 1      : düz ışın dönüşümü uygular
            = -1     : ters ışın dönüşümü uygular
t0          : dönüşümün zamansal ışın merkezi
x0          : dönüşümün uzaysal ışın merkezi
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

```
...
```

Kullanım 1: d2 = okrtrt(d1, 500:50:3000)

verilen hızlarda radyal iz dönüşümü yapar.

```
//-----
```

OKGAIN : $(\alpha \cdot t) + \exp(\beta \cdot t)$ şeklinde genlik düzeltmesi yapar.
açılım ve sönümlenme etkisini gidermek için kullanılır.

Sözdizimi:

```
[dataout] = oksec(datain, alpha, beta, maxgain)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
alpha       : doğrusal zaman katsayısı
beta        : üstel zaman katsayısı
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir veri değişkeni
```

Uyarılar :
...

Kullanım 1: $d2 = \text{oksec}(d1, 0.03, 0.001, 200)$
d1 segy değişkenine bir genlik kazancı uygular

//-----

OKSHAPE: dalgacık biçimlendirmesi uygular

Sözdizimi:
dataout = okshape(datain, w, d, nshaper, pnoise)

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
w : biçimlendirilecek dalgacık
d : istenen dalgacık
nshaper : süzgecin boyu
pnoise : eklenecek gürültü seviyesi (prewhiting)

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir değişken
shaper : uygulanan süzgeç

Uyarılar :
...

Kullanım 1: $d2 = \text{okshape}(d1, w, d, 500, 0.001)$
d1 segy değişkeninde w dalgacığının d dalgacığına dönüştürür.

//-----

OKSHIFT : zaman boyutunda kaydırma veya pencereleme yapar

Sözdizimi:
dataout = okshift(datain, tmin, tmax)

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
tmin : en küçük zaman (sn)
tmax : en büyük zaman (sn)

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
...

Kullanım 1: $d2 = \text{okshift}(d1, 0.05, 0.8)$
0.05 sn ile 0.8 arasını gösterir verinin olmadığı yerlere sıfır koyar

//-----

OKSORT : segy değişkenini verilen başlıklara göre sıralar

Sözdizimi:

```
dataout = oksort(datain, hw1, hdt1, hw2, hdt2)
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy biçimindeki veri değişkeni
hw1             : sıralanacak birinci öncelikli başlık
hdt1           : birinci öncelik türü
               = 1      : artan sıralama
               = -1     : azalan sıralama
hw2            : sıralanacak ikinci öncelikli başlık
hdt2           : ikinci öncelik türü
               = 1      : artan sıralama
               = -1     : azalan sıralama
```

Çıkış unsurları:

```
dataout        : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = oksort(d1, 'cdp', 1, 'offset', -1)

cdp yi artan sırada cdp si eşit olanları offset lerini azalan sırada sıralar

Kullanım 2: d2 = oksort(d1, 'offset', 1, 'cdp', 1)

offset i artan sırada offset i eşit olanları cdp lerini artan sırada sıralar

//-----

OKSPECFK : segy değişkenin 2 boyutlu genlik spektrumunu verir

Sözdizimi:

```
dataout = okspecfk(datain)
```

Giriş unsurları:

```
datain          : segy biçimindeki veri değişkeni
```

Çıkış unsurları:

```
dataout        : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: dd = okspecfk(datain)

...

//-----

OKSPIKE : küçük bir darbe verisi oluşturur.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okspike(ix, it, nt, dt, ntr, offset)
```

Giriş unsurları:

```
ix             : darbenin oluşturulacağı x koordinatı
it            : darbenin oluşturulacağı t koordinatı
nt           : izdeki örnek sayısı
dt          : örnekleme aralığı
ntr         : iz sayısı
offset      : iz aralığı
```


Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir veri değişkeni

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: dd = okspike([12 32 44], [120 180 360], 1000, 0.001, 64, 50)
 12. 32. 44. izlerin 120 180 360 zamansal örnekelerine bir ekleyerek
 64 izlik 1000 örnekli yapay bir veri oluşturur

//-----

OKSTACK : segy değişkenini verilen başlık doğrultusunda toplar

Sözdizimi:
 dataout = okstack(datain, key, normpow)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 key : başlık ismi
 normpow : toplamada normalize kuvveti

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = okstack(d1, 'cdp', 1)
 aynı cdp numaralı izler toplanır.

//-----

OKSTATIC : segy yapısındaki verinin yükseklik seviyesi düzeltmesi yapar.

Sözdizimi:
 [dataout] = okstatic(datain, hdrs, sgn, welev, swelev, selev, gelev)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 hdrs : seviye düzeltmenin seçenekleri
 = 0 : zaman kaydırmaları başlıklara işlenmişse
 = 1 : aşağıdaki seçeneklere göre zaman kaydırmasını hesaplar
 sgn : zaman kaydırması bayrağı
 = 1 : normal zaman kaydırması
 = -1 : ters zaman kaydırması (benzetim çalışmalarında)
 welev : ayrılmış tabaka hızı
 swelev : alt ayrılmış tabaka hızı
 selev : kaynakların yükseklikleri
 gelev : alıcıların yükseklikleri

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: $d2 = okstatic(d1, 0, 1)$
 düzeltmeler başlıklar işlenmiş, sadece normal zaman kaydırmaları yapılır

//-----

OKINTVEL : eğimli ara hızlardan yağma hızlarını elde eder.

Sözdizimi:

[vi, h] = okstkvel(vi, t0, dip)

Giriş unsurları:

vi : ara hızlar
 h : ara hızlara karşılık gelen yükseklikler

Çıkış unsurları:

vs : yağma hızları
 t0 : yağma hızlarına karşılık gelen zamanlar

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [vi, h] = okintvel([1200 1750 2340], [1.23 2.3 3.4])
 verilen yağma hızlarından ara hızları elde eder

//-----

OKSTRIP : Verilen bir segy yapısındaki veriyi bir matrise çevir
 bu matris yatay yönde uzaklık ve atış sırasını vermekte
 düşey yönü ise zaman veya derinlik birimini göstermektedir.

Sözdizimi:

dataout = okstrip(datain)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni

Çıkış unsurları:

dataout : matris biçiminde bir veri

Uyarılar :

...

Kullanım 1: $d2 = okstrip(d1)$
 d1 segy değişkeninin verileri ayıklar

//-----

OKTALWANI : yoğunluğu ve geometrisi verilen çokgenin iki boyutlu gravite belirtisi hesaplar

Sözdizimi:

[dataout] = oktalwani(den, xx, zz, x, z)

Giriş unsurları:

den : çokgenin göreceli yoğunluğu (gr/cm³)
 xx : çokgenin x eksenli noktaları
 zz : çokgenin z eksenli noktaları
 x : ölçü noktalarının x konumları

z : ölçü noktalarının z konumları

Çıkış unsurları:
dataout : çeşitli noktalardaki yerçekimi (gravite) belirtileri

Uyarılar :
...

Kullanım 1: d2 = oktalwani(2.6, [20 30 10], [-10 -20 -20], -100:200, zeros(1, 301))
301 noktada yerçekimi belirtisi hesaplar

//-----

OKTAPER : verilen boylarda izilerin başlangıç ve sonlarını törpülüyerek sıfırlar

Sözdizimi:
dataout = oktaper(datain, tbegin, tend, ttaper)

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
tbegin : başlangıçtaki törpü boyu (sn)
tend : sondaki törpü boyu (sn)
ttaper : törpü cinsi
= 1 : doğrusal
= 2 : sinüs
= 3 : cosinüs
= 4 : gaussian (+/-3.8)
= 5 : gaussian (+/-2.0)

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
...

Kullanım 1: dd = oktaper(datain, 0.02, 0.02, 1)
baştan 0.02 sn ve sondan 0.02 sn lik kısımlar törpülenir

//-----

OKTAUP : Verilen bir segy yapısındaki veriden yeni veri oluşturur.

Sözdizimi:
dataout = oktaup(datain, option, p, x)

Giriş unsurları:
datain : segy biçimindeki veri değişkeni
option : eğim yığılması yöntemi
= 1 : ileri fk eğim yığılması
= 2 : ileri tx eğim yığılması
= -1 : ters fk eğim yığılması
= -2 : ters tx eğim yığılması
p : ışın değişkeni (yavaşlık)
x : uzaysal konumlar (m)

Çıkış unsurları:
dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [dataout] = oktaup(d1, 2, -0.002:0.0001:0.002, -1000:100;:1000)
konumları -1000 den 1000 e kadar olan ve yavaşlığı -0.002 den 0.002 e
kadar olan segy yapısındaki d1 değişkenine zaman ortamında taup
dönüşümü uygular

//-----

OKTSQ : izleri zaman eksenin karesi olacak şekilde uzatmak

Sözdizimi:

dataout = oktsq(datain, tmin, dtout, flag)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
tmin : dönüşüm yapılacak en küçük zaman(sadece ileri dönüşümde)
dtout : dönüşüm yapılmış verinin örnekleme aralığı(sadece ters
dönüşümde)
sgn : dönüşüm türü
= 1 : ileri dönüşüm (zamandan zaman kareye)
= -1 : ters dönüşüm (zaman kareden zamana)

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: dd = oktsq(d1, 0.02, 0.004, 1)
d1 verisine 20 ms sonraki verileri zaman karesi haline getirir

//-----

OKTVBAND : zaman değişimli bant geçiren süzgeçleme

Sözdizimi:

dataout = oktvband(datain, tf, f)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni
tf : zaman noktaları (sn)
f : zaman noktalarına karşılık gelen köşe frekansları

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = oktvband(d1, [0.2 1.5], [10 12.5 20 22.5; 10 12.5 40 42.5])
...

//-----

OKVAR : segy değişkenine varyans süzgeci uygular

Sözdizimi:

```
[dataout] = okvar(datain, n, dim)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
n           : varyans süzgeci uygulanacak verinin boyu
dim         : süzgec uygulanacak yön
            = 1      : zamansal yönde
            = 2      : uzaysal yönde
            = 3      : zamansal-uzaysal iki boyutlu
pwr        : ortalama çıkarma kuvveti
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir veri değişkeni
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okvar(d1, 3, 1)

d1 isimli segy yapısındaki verinin 5 örneklı pencere kullanarak zamansal yönde varyans süzgeci uygular

//-----

OKVELAN : Verilen bir segy yapısındaki veriyi verilen hız aralıklarında çözümlemesini yapar.

Sözdizimi:

```
dataout = okvelan(datain, vel, pwr)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
vel         : analiz edilecek hızlar
pwr        : hız verisini kuvveti
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: [dataout] = okvelan(datain, 1500:50:4500, 3)

seg y değişkenini 1500:50:4500 aralıklarında hız çözümlemesi yapar hız analizinin küpü alınır

//-----

OKVIBRO : segy biçiminde bir sweep sinyali oluşturur

Sözdizimi:

```
dataout = okvibro(sweep, f1, f2, tv, taper, t1, t2, phz, fseg, tseg, swconst);
```

Giriş unsurları:

```
sweep      : sinyal türü
            = 1      : doğrusal
            = 2      : doğrusal parçalı
```

```

= 3      : her oktavda desibel
= 4      : her herzt'deki desibel
= 5      : t-kuvveti
f1, f2   : başlangıç ve bitiş frekansı
tv       : zaman boyutu (sinyal uzunluğu)
taper    : törpülenme türü
= 1      : doğrusal
= 2      : sinüs
= 3      : cosinüs
= 4      : gaussian (+/-3.8)
= 5      : gaussian (+/-2.0)
t1, t2   : başlangıç ve bitiş törpüleme miktarı
phz      : başlangıç fazı
fseg     : frekans parçası
tseg     : zaman parçası
swcost   : sweep sabiti
Çıkış unsurları:
  dataout      : segy yapısında bir değişken
Uyarılar :
  ...
Kullanım 1: [dataout] = okvibro(1, 10, 50)
            başlık içinde cdp kelmesiyle verilen 500 den 550 kadar

```

```
//-----
```

OKVLENGTH : farklı uzunluktaki izleri aynı uzunluğa ayarlar

Sözdizimi:

```
dataout = okvlength(datain, ns)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
ns          : ayarlanacak uzunluk
```

Çıkış unsurları:

```
dataout      : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

```
ns iz boyundan büyükse sizin sonuna sıfırlar eklenir
```

Kullanım 1: dd = okvlength(datain, 500)

```
tüm izlerin örnek sayısını 500 yapar
```

```
//-----
```

OKWAVELET : istenilen türde kaynak dalgacığı oluşturur

Sözdizimi:

```
data = okwavelet(wtype, t, pf);
```

Giriş unsurları:

```
wtype      : dalgacık türü
= 1        : sinc
= 2        : kare dalgacık
= 3        : ricker dalgacığı
= 4        : gauss dlagacığı
t          : dalgacık zamanı
pf         : merkez frekansı
```

Çıkış unsurları:

data : kaynak dalgacığı

Uyarılar :

...

Kullanım 1: src = okwavelet(3, -0.1:0.001:0.1, 10)

ricker tipli merkez frekansı 10 Hz olan bir dalgacık üretir.

//-----

OKWELLREF : kuyu logu verilerini zamanda yansıma katsayılarına çevirir

Sözdizimi:

dataout = okwellrf(dvr, dtout, ntr)

Giriş unsurları:

dvr : üç sütünlü (derinlik, hız, yoğunluk) veri

dtout : çıkışın örnekleme aralılığı

ntr : çıkışın iz sayısı

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okwellrf(dvr, 0.001, 4)

dvr ile derinlik hız ve yoğunluk değerlerine karşılık yansıma katsayılarını verir.

//-----

OKWIENER : en küçük kareler yöntemi ile ters evirişim yapar.

Sözdizimi:

[dataout] = oklsdecon(datain, src)

Giriş unsurları:

datain : segy biçimindeki veri değişkeni

src : kaynak sinyali

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir bir veri değişkeni

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = oklsdecon(d1, s1)

d2 verisini s1 kaynak sinyali yardımıyla ters evirişiminin yapılması.

//-----

OKWIGGLE : segy yapısındaki verileri salınımlı şekilde çizer

Bu program sütunları pozitif kısımları dolu izler gibi

kendi x koordinatlarını ortalatacak şekilde çizer.

Sözdizimi:

```
olcek = okwiggle(datain, x, t, type, scale)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : çizilecek segy yapısındaki veri değişkeni.
type        : eğer 1 ise izleri salınımlı çizer
              eğer 2 ise izlerin artı kısımlarını dolu çizer
              eğer 3 ise izler hem salınımlı hemde dolu çizer
              varsayılan değeri 3 tür. eksi işaretliler ise
              ters polariteli çizer.
scale       :ölçek etmenidir.
```

Çıkış unsurları:

```
olcek       : daha sonra çizilecek verilerde aynı ölçek kullanılması
              istendiğinde kullanılır
```

Uyarılar:

İlk çizimde en büyük mutlak değere karşılık gelen iki çizimi ölçeklemek için birinciden geri dönen değer yakalanır, ikinci çizim için beşinci değişken olarak kullanılır.

Kullanım 1: `olcek = okwiggle(d1, x, t);`

genliği aralğının 1.5 katı olan 3. tip salınımlı ve dolu izler çizer

Kullanım 1: `okwiggle(d1, x, t, 3, 1.5);`

genliği aralğının 1.5 katı olan 3 tip salınımlı ve dolu izler çizer

//-----

OKWIND : Verilen bir segy yapısındaki veriden yeni veri oluşturur.
bu yeni veri yine segy formatında olup verilen headerword sınırları içinde kalan kısmını ayıklar.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okwind(datain, headerword, data_range)
```

Giriş unsurları:

```
datain      : segy biçimindeki veri değişkeni
headerword   : segy biçimindeki verilerin verilen başlık
              cinsidekileri seçer
data_range   : yukarıda verilen headerword başlığının
              seçilecek aralığını belirler
```

Çıkış unsurları:

```
dataout     : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: `[dataout] = okwind(datain, 'cdp', 500:550)`

başlık içinde cdp kelmesiyle verilen 500 den 550 kadar olan kısmını ayıklar.

Kullanım 3: `[dataout] = okwind(datain, 'sx', 100:200)`

verilen değişkende sx (kanağın konumu) değeri 100 ile 200 arasında kalan tüm izleri ayıklar.


```
//-----
```

OKWRITESEGY : ismi verilen dosyaya segy biçimindeki verileri yazar.

Sözdizimi:

```
okwritesegy(filename, datain, machineformat)
```

Giriş unsurları:

```
filename      : segy dosya adı
datain        : segy yapısında bir değişken
machineformat : aşağıda seçenekleri verilmiştir
    'b'        : IEEE ondalıklı sayısı
                (big-endian byte sırasıyla)
    'l'        : IEEE ondalıklı sayısı
                (little-endian byte sırasıyla)
    'n'        : Makinenin sayısal biçimi
                (MATLAB çalışırken bu öntanımlıdır).
```

Çıkış unsurları:

...

Uyarılar :

...

Kullanım 1: okwritesegy('data.segy', d1, 'n')

d1 segy yapısındaki veri değişkenini data.segy dosyasına yazar

```
//-----
```

OKXCOR : segy değişkeni ile filt dizisini çapraz ilişkiye sokar.

Sözdizimi:

```
dataout = okxcor(datain, filt, vibroseis)
```

Giriş unsurları:

```
datain        : segy biçimindeki veri değişkeni
filt          : çapraz ilikiye sokulacak dizi
vibroseis     :
    = 0        : normal dizi
    = 1        : vibroseis dizisi
```

Çıkış unsurları:

```
dataout      : segy yapısında bir değişken
```

Uyarılar :

...

Kullanım 1: d2 = okxcor(d1, [0.5 1 -0.5], 0)

seg y değişkenini 0.5, 1, -0.5 dizisi çapraz ilişkiye sokar

```
//-----
```

OKYZD : yığılmış zarfsal genlik düzeltmesi uygular.

Sözdizimi:

```
[dataout] = okydz(datain, n, dim)
```

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 n : YZD uygulanacak verinin pencere boyu
 dim : YZD uygulama yönü
 = 1 : Zamansal yönde
 = 2 : Uzaysal yönde

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir veri değişkeni

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = okyzd(d1)
 d1 isimli segy yapısındaki veriye YZD genlik düzeltmesi uygular.

//-----

OKZERO : segy değişkeninde belirtilen aralıktaki değerleri sıfıra eşitlet

Sözdizimi:
 dataout = okzero(datain, trace_no, tmin, tmax)

Giriş unsurları:
 datain : segy biçimindeki veri değişkeni
 trace_no : sıfırlanacak iz numaraları
 tmin : sıfırlanacak en küçük zaman
 tmax : sıfırlanacak en büyük zaman

Çıkış unsurları:
 dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :
 ...

Kullanım 1: d2 = okzero(d1, [12 15], 0.1, 0.12)
 d1 segy değişkeninin 12. ve 15. izin 0.1 ila 0.12 sn ler arasındaki değerleri sıfırlar.

//-----

OKZEROSYN : sıfır açılımlı yapay bir kesit oluşturur.
 tüm tekrarlı yansımaları yinelemeli algoritma ile yapılmıştır.

Sözdizimi:
 [dataout] = okzerosyn(vel, den, heig, nt, dt, src, multip)

Giriş unsurları:
 vel : düşey tabakaların hızları
 den : düşey tabakaların yoğunlukları
 heig : düşey tabakaların yükseklikleri
 nt : yapay izdeki örnek sayısı
 dt : yapay izin zamansal örnekleme aralığı
 src : yapay izde kullanılacak kaynak işlevi
 multip : tekrarlı yansıma olup olmadığı
 = 0 : tekrarlı yansıma yok
 = 1 : tekrarlı yansıma var
 = 2 : sınırlı tekrarlı yansıma var
 ntr : istenen iz sayısı

Çıkış unsurları:

dataout : segy yapısında bir değişken

Uyarılar :

heig değişkeni vel ve den değişkenlerinden boyut uzunluğu olarak
bir eksik olur.

Kullanım 1: d2 = okzerosyn([1000 2000 3000], [2 2 2], [100 100 100], 500, 0.001, src);
verilen değerlere göre 500 örneklik tekrarlıksız yapay iz oluştur.

//-----

ÖZGEÇMİŞ

Orhan KESEMEN, 1971 yılında, Iğdır'da doğdu. Lise öğrenimini 1989'da Iğdır Lisesinde tamamladı. Lisans öğrenimini, 1998'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümünde birincilikle tamamladı. Yüksek Lisans öğrenimini, Ocak 2002'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında, Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ danışmanlığında, "Ters Evrişim Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Tam Ters Evrişim Yöntemi" adlı Yüksek Lisans tezi ile tamamladı.

1999–2001 yıllarında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim dalında Araştırma Görevlisi, 2001'den beri Enformatik (Bilişim) Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Prof. Dr. Abdugafur RAHİMOV'la birlikte yazdığı "Adım Adım LATEX" adlı bir kitabı bulunmaktadır.

Enformatik Bölümünde yürütülen, E-Üniversite Projesi bünyesinde, Öğrenci Bilişim Sistemi modülünün tasarımını, yazılımını ve yönetimini üstlenmiştir. Halen aynı bölümde birçok projede yazılım uzmanı olarak görev yapmaktadır.

Evli olup, bir çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.