

2006 - 90



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

**SAĞLIK ALGILAMA VE YER RADARI YÖNTEMLERİNİN
BİRLİKTE KULLANILDIĞI BİR METODOLOJİ
GELİŞTİRİLMESİ**

72822

PROJE NO: ÇAYDAG - 103Y129

**Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri
Araştırma Grubu**

Environment, Atmosphere, Earth and Marine Sciences
Research Grant Group

**KAYA SÜREKSİZLİKLERİNİN KARAKTERİZASYONU İÇİN
UZAKTAN ALGILAMA VE YER RADARI YÖNTEMLERİNİN
BİRLİKTE KULLANILDIĞI BİR METODOLOJİ
GELİŞTİRİLMESİ**

72822

PROJE NO: ÇAYDAG - 103Y129

**PROF. DR. CELAL KARPUZ
DOÇ. DR. ŞEBNEM DÜZGÜN
YRD. DOÇ. DR. SELMA KADIOĞLU
DR. GÜLSEV ALDAŞ
ARAŞ. GÖR. ARMAN KOÇAL**

**TEMMUZ 2006
ANKARA**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada kaya süreksizliklerini karakterize eden Uzaktan Algılama (UA) ve Yer Radarı (GPR) yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir metodoloji geliştirilmiştir. Metodolojinin geliştirilmesi için Ankara Gölbaşı Andezit Taş Ocakları seçilmiştir. Önce bu bölgenin 15 km² alanındaki uydu görüntüsü ve görüntüden çizgisellik haritası elde edilmiş ve arkasından süreksizlik doğrultuları belirlenmiştir. Çizgisellik haritalarının doğruluğunun karşılaştırılması için LINECOMP olarak isimlendirilen bir yazılım geliştirilmiştir. Arazi gözlem ve ölçümleri ile de süreksizlik doğrultularının doğruluğu kontrol edilmiştir. Ayrıca 15 Mart 2004 – 15 Mart 2006 tarihlerini kapsayan iki yıllık proje süresi içerisinde değişik tarihlerde jeofizik yöntemlerinden sismik kırılma ve yer radarı ölçümleri ile süreksizliklerin derinlikle devamlılıkları araştırılmıştır. Yer radarı yönteminde süreksizliklerin doğrultularına ek olarak eğim yönü ve eğim açıları da belirlenmiştir. Yer radarı ve uzaktan algılama ölçümleri sonuçları da yine LINECOMP aracılığı ile karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür.

Bu proje TÜBİTAK'ın desteği ile yürütülmüştür. TÜBİTAK'a ve araştırmanın değişik aşamalarında yardımlarını esirgemeyen ÇAYDAG çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz.

Prof. Dr. Celal Karpuz

Proje Yöneticisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
TABLOLAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışma Alanı ve Yöntem.....	4
2. PROJEDEKİ BİLİMSEL GELİŞMELER VE SONUÇLAR.....	4
2.1. Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Sonuçları.....	4
2.1.1. Giriş.....	4
2.1.2. Çizgisellik Haritası Oluşturma Yöntemleri.....	6
2.2. Doğruluk Analizleri.....	8
2.2.1. Doğrultunun Doğrulanması (Gül Diyagramı Karşılaştırmaları).....	9
2.2.2. Konum ve Uzunluğun Doğrulanması (Geliştirilen Yöntem ve Yazılım).....	10
2.2.2.1. Geliştirilen Yazılımın Özellikleri.....	10
2.3. Jeoloji ve Jeofizik Çalışmaları.....	17
2.3.1. Gölbaşı Andezit Taşocakları Genel Jeolojisi.....	17
2.3.2. Jeofizik Çalışma Bölgelerinin Belirlenmesi.....	19
2.3.2.1. Profillerin Konumları.....	19
2.3.3. Sismik Kırılma Çalışmaları.....	22
2.3.3.1. Sismik Kırılma Verilerinin Toplanması.....	22
2.3.3.3. Kırılma Verilerine Ait 2-B Hız Kesitleri.....	24
2.3.4. Yer Radarı Çalışmaları.....	25
2.3.4.1. Yer Radarı Verilerinin Toplanması, İşlenmesi ve Yorumlanması İle İlgili Genel Bilgi.....	25
2.3.4.2. Yer Radarı Verilerinin Toplanması.....	31
2.3.4.3. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi ve Yorumlanması.....	33
2.3.4.4. Hürmat Deresi 100MHz Radar Profileri Üzerinde Belirlenen Kırıkarn Üç Boyutlu (3B) Modellenmesi.....	48
2.3.5. Hürmat Deresi Kırılma Mikrotremor (ReMi) Çalışması.....	51

2.4. Otomatik Çizgisellik Haritaları ile El ile Sayısallaştırılan Çizgisellik Haritasının Bütünleştirilmesi	56
2.5. Jeofizik (GPR) Çalışması ile Belirlenen Süreksizliklerin Otomatik ve El ile Oluşturulan Çizgisellikler ile Karşılaştırılması	58
2.6. Kaya Süreksizliklerinin Uzaktan Algılama ve Yer Radarı ile Karakterizasyonu için Geliştirilen Metodoloji	63
2.7. Arazide Model Doğrulama (Arazi Çalışması)	65
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
4. KAYNAKLAR.....	66

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Kuramsal dispersiyon eğrisine karşılık gelen derinlik ve S-dalgası hız parametreleri.....	56
Tablo 2. Otomatik oluşturulan çizgisellik haritalarının eşik parametreleri, toplam çizgisellik uzunlukları ve toplam çizgisellik sayıları.....	56
Tablo 3. 1 Tolerans değeri ile el ile oluşturulan çizgisellik haritası ile örtüşen hücre yüzdelere göre otomatik oluşturulan çizgisellik sayıları.....	58
Tablo 4. Otomatik Oluşturulan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 0 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları.....	60
Tablo 5. Otomatik Oluşturulan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 1 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları.....	60
Tablo 6. Otomatik Oluşturulan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 2 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları.....	60
Tablo 7. Otomatik Oluşturulan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 3 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları.....	61
Tablo 8. Otomatik Oluşturulan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 4 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları.....	61
Tablo 9. El ile sayısallaştırılan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 4 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları.....	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Arazinin renkli görüntüsü.....	5
Şekil 2. Otomatik olarak bulunturulmuş çizgisellik haritası.....	7
Şekil 3. Arazinin el ile sayısallaştırılarak oluşturulmuş çizgisellik haritası.....	8
Şekil 4. Otomatik olarak bulunan çizgisellik haritasının Gül Diyagramı.....	9
Şekil 5. El ile sayısallaştırılan çizgisellik haritasının Gül Diyagramı.....	10
Şekil 6. LINECOMP programının çalışmasının akış şeması.....	11
Şekil 7. LINE ADRESS örnek matrisi ve çıktısı.....	12
Şekil 8. LINE COMPARE örnek matrisi ve çıktısı.....	13
Şekil 9. LINE COMPARE alt programında tolerans uygulamasının örneği.....	14
Şekil 10. Örnek sınıflandırma haritası.....	16
Şekil 11. Süreksizliklerin doğrultularını gösteren gül diyagramı.....	16
Şekil 12. Gölbaşı Andezit Taşocakları Genel Jeoloji Haritası.....	17
Şekil 13. Akabe Taşocakları.....	18
Şekil 14. Akabe Taşocakları.	18
Şekil 15. Akabe Taşocakları.	18
Şekil 16. Hurmat Deresi Deneme Ocağı ve Çevresi.....	19
Şekil 17. Hurmat Deresi Deneme Ocağı.	19
Şekil 18. Akabe Taş Ocaklarından Hurmat Deresi Boyunca Genel Görünüş.....	19
Şekil 19. a) Profil 1, b) Profil 2.	20
Şekil 20. Profil 3.	21
Şekil 21. Profil4.	21
Şekil 22. Sismik Kırılma Profili Veri Toplama Düzeneği.....	22
Şekil 23. Hürmat Deresi Profil 1 üzerinde toplanan kırılma verilerine ait 2-B hız kesiti....	24
Şekil 24. Hürmat Deresi Profil 2 üzerinde toplanan kırılma verilerine ait 2-B hız kesiti....	24
Şekil 25. Büvez Deresi Profil 3 üzerinde toplanan kırılma verilerine ait 2-B hız kesiti.....	25
Şekil 26. Yer radarı verilerine uygulanan veri-işlem akış diyagramı.....	27
Şekil 27. Yer radarı verisinde gürültü frekansların süzgeçlenmesi a) Ham yer radarı sinyali. b) Uygun süzgeçlenmiş sinyal. c) Yanlış süzgeçlenmiş sinyal.....	28
Şekil 28. a) Doğru süzgeçlenmiş radagram, b) Yanlış süzgeçlenmiş radagram.....	29
Şekil 29. Şekil 27 deki radagramlara aynı genlik kazanç fonksiyonunun uygulanması a) Doğru süzgeçlenmiş radagram , b) Yanlış süzgeçlenmiş radagram.....	29
Şekil 30. Hiperbol çakıştırma ile hız belirleme.	29
Şekil 31. Aynı radagramın aynı renkler kullanılarak farklı genlik-renk fonksiyonları kullanılarak görüntülenmesi.	30
Şekil 32. Paralel 2B verilerin birbirleri ile ilişkilendirilerek görünür 3B veri bloğunun elde edilmesi.	31
Şekil 33. 25 MHz, topografyası eklenmiş, işlenmemiş Profil 1 radagramı.....	33
Şekil 34. 25 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürmat Deresi Profil 1 radagramı.	34
Şekil 35. 25 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1 radagramının topografyasının eklenmiş hali.....	34
Şekil 36. 25 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1 radagramı.....	35
Şekil 37. Hürmat deresi üzerindeki 100MHz kapalı sistem antenler için paralel profiller..	35
Şekil 38. Profil 1-D.'nin ayrıntı görüntüsü.....	36
Şekil 39. Profil 1-B üzerinde 100 MHz kapalı sistem anten (Mala Geoscience) ile veri toplanırken.....	36
Şekil 40. 100 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürmat Deresi Profil 1-A	37

	radagramı.....	
Şekil 41.	100 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1-A radagramının.topografyasının eklenmiş hali.....	37
Şekil 42.	100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-A radagramı.....	38
Şekil 43.	100 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1-B radagramının.topografyasının eklenmiş hali.....	38
Şekil 44.	100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-B radagramı.....	39
Şekil 45.	100 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1-C radagramının.topografyasının eklenmiş hali.....	39
Şekil 46.	100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-C radagramı.....	40
Şekil 47.	100 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1-D radagramının.topografyasının eklenmiş hali.....	40
Şekil 48.	100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-D radagramı.....	41
Şekil 49.	25 MHz, topografyası eklenmiş, işlenmemiş Profil 2 radagramı.....	41
Şekil 50.	25 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürmat Deresi Profil 2 radagramı.....	42
Şekil 51.	25 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 2 radagramının.topografyasının eklenmiş hali.....	42
Şekil 52.	25 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 2 radagramı.....	43
Şekil 53.	25 MHz, topografyası eklenmiş, işlenmemiş Büvez Deresi Profil 3 radagramı.	43
Şekil 54.	25 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürmat Deresi Profil 3 radagramı.....	44
Şekil 55.	25 MHz, işlenmiş Büvez Deresi Profil 3 radagramının.topografyasının eklenmiş hali.....	44
Şekil 56.	25 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Büvez Deresi Profil 3 radagramı.....	45
Şekil 57.	250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 1 ve 2 ye ait radagramlar.....	46
Şekil 58.	250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 3 ve 4 e ait radagramlar.....	46
Şekil 59.	250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 5 ve 6 ya ait radagramlar.....	47
Şekil 60.	250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 7 ve 8 e ait radagramlar.....	47
Şekil 61.	250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 9 ve 10 a ait radagramlar.....	48
Şekil 62.	Hürmat Deresi (Profil 1) üzerinde 100MHz kapalı anten ile toplanmış ve işlenmiş ve uzaydaki konumlarına uygun olarak konuşlandırılmış profiller.....	49
Şekil 63.	Şekil 60 üzerinde radagramların (radar kesitlerinin) kaldırılmış hali.....	50
Şekil 64.	Hürmat Deresi 100 MHz radar profilleri üzerinde belirlenen kırıkların üç boyutlu görüntüsü.....	51
Şekil 65.	Arazide alınan ReMi kayıtlarından elde edilen p-f (yavaşlık-frekans) düzleminde elde edilen spektral oran haritası.....	54
Şekil 66.	Ölçülen (kırmızı renkli noktalar) ve kuramsal olarak hesaplanan (düz mavi çizgi) dispersiyon eğrileri.....	55

Şekil 67. Kuramsal değerlerden hesaplanan 1-boyutlu S-dalgası hız modeli.....	55
Şekil 68. Hürmat deresi bölgesinde GPR ve UA çizgisellikleri.....	59
Şekil 69. 1 ve 2 Toerans Değer ile yapılan karşılaştırmanın temsili şekli.....	62
Şekil 70. Kaya süreksizliklerinin uzaktan algılama ve yer radarı ile karakterizasyonu için geliştirilen metodolojinin akım şeması.....	64
Şekil 71. Arazi çalışmasında belirlenen süreksizlik sistemlerinin kutupsal dağılımı.....	65

KAYA SÜREKSİZLİKLERİNİN KARAKTERİZASYONU İÇİN UZAKTAN ALGILAMA VE YER RADARI YÖNTEMLERİNİN BİRLİKTE KULLANILDIĞI BİR METODOLOJİ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada kaya süreksizliklerini karakterize eden Uzaktan Algılama (UA) ve Yer Radarı (GPR) yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir metodoloji geliştirilmiştir. Önce, yüksek çözünürlüğe (1 metre) sahip IKONOS uydu görüntüleri aracılığı ile seçilen alanın (Ankara Gölbaşı Taşocakları) otomatik olarak çizgisellik haritaları elde edilmiştir. Çizgisellik haritasının doğruluğunu kontrol etmek için, bu alanda yaygın olarak kullanılan el ile oluşturulan çizgisellik haritasından yararlanılmıştır. Bu doğruluk karşılaştırması, Java ortamında geliştirilen LINECOMP isimli yazılımla gerçekleştirilmiştir. Sonra, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak süreksizlik konumları (doğrultuları) ve yerleri belirlenmiştir. Daha sonra, yer radarı (GPR) aracılığı ile çalışılan alanda seçilen paralel profiller boyunca ölçümler alınarak bu süreksizliklerin üç boyutlu modellenmesi yapılmış, yer altındaki devamlılıkları da hem doğrultu hem eğim yönü ve eğim açısı cinsinden belirlenmiştir. GPR ve UA aracılığı ile belirlenen süreksizlik doğrultularının doğruluklarının karşılaştırılması da yine LINECOMP aracılığı ile yapılmıştır. Geliştirilen metodolojinin doğruluğu arazide süreksizlik ölçümleri ile doğrulanmıştır.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ROCK DISCONTINUITY CHARACTERIZATION BY THE COMBINED USE OF REMOTE SENSING (RS) & GROUND PENETRATING RADAR (GPR)

ABSTRACT

In this study, a methodology has been developed for the characterization of rock discontinuities by the combined use of Remote Sensing (RS) and Ground Penetrating Radar (GPR). First, by utilizing the high resolution (1 meter resolution) IKONOS satellite images of the selected area (Ankara, Gölbaşı district quarries), the automatic lineament maps were obtained. The accuracy of the automatic lineament maps were assessed by using the manually extracted lineament map. A software developed called LINECOMP, coded in Java, for the comparison and assessment of the obtained automatic and manually extracted lineament maps. As a result, the orientations (strikes) and the locations of the discontinuities have been determined by using Geographic Information Systems (GIS). Later on, Ground Penetrating Radar (GPR) measurements have been carried out along the parallel profiles at the selected site, to check the extent of those discontinuities with depth. By 3D modeling of the measured results, the strikes, dip directions and dip amounts of those discontinuities have been determined. The developed software, LINECOMP was again utilized for the accuracy assessment of the determined discontinuities by both GPR and RS. The accuracy of the developed methodology was verified by field discontinuity measurements.

1. GİRİŞ

Madencilikte ve jeoteknikte hakim süreksizlik sistemlerinin önemi çok büyüktür. Örneğin, tasarım aşamasındaki bir maden ocağının stabilite problemlerinin incelenmesi için öncelikle sahadaki süreksizlik sistemlerinin ayrıntılı olarak incelenmesi gereklidir. Aynı şekilde işletilmekte olan bir ocağın ilerideki aşamaların planlaması için de jeolojik yapı çok önemlidir.

Günümüzde uzaktan algılama sistemleri; jeolojik, jeoteknik vb mühendislik araştırmaları için, kolaylık ve yüksek başarı oranları açısından son yıllarda yönelinmekte olan bir alandır. Dolayısıyla, uydu görüntüleri kullanarak belirli bir arazideki hakim süreksizlik sistemlerinin haritalandırılması konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar da giderek artmaktadır. Çünkü böyle çalışmalar zaman ve maliyet bakımından birçok avantajlar sağlamaktadır. Diğer taraftan, süreksizlik sistemlerinin büyük boyutlu arazi çalışmaları ile belirlenmesi de zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu nedenlerle uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak süreksizliklerin saptanması madencilikte hem tasarım hem de işletme aşamalarında maliyeti düşürmede oldukça etkili bir yöntem olacaktır.

Literatürde düşük çözünürlükte uydu görüntüsü kullanılarak maden işletmelerine kıyasla daha büyük araziler için UA yöntemi ile süreksizliklerin belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışmalar mevcuttur. Fakat yapılan bu çalışmalarda analizlerin güvenilirliğine yönelik bir çalışma yoktur. UA teknikleri kullanılırken güvenirliliğin test edilmesi çok önemlidir. Çünkü uydu görüntüsünün çözünürlüğü sonuçları doğrudan etkileyen en önemli faktördür. Buna ek olarak algılayıcı özellikleri de güvenirliliği etkileyen başka bir etkidir.

UA yöntemi ile süreksizliklerin belirlenmesinde en sık Landsat uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Arazinin büyüklüğü arttıkça ilgilenilen süreksizlik sistemlerinin büyüklüğü de arttığı için Landsat görüntüleri daha çok büyük arazilerde yapılacak analizler için elverişlidir ve düşük çözünürlüğü yeterlidir. Dolayısıyla, bir maden işletme sahasında yapılacak olan çalışmanın daha ayrıntı gerektirmesi nedeniyle de düşük çözünürlükteki uydu görüntülerden yararlanmak çok da başarılı olmayacaktır. Diğer bir deyişle, ilgilenilen arazisinde daha küçük olacağı göz önüne alınırsa görüntü kalitesinin yüksek olması gerekmektedir. Daha önce böyle bir çalışma yapılmamasına rağmen benzer çalışmalardan edinilen bilgiye göre işletilmekte veya işletilecek olan bir maden ocağında yapılacak süreksizlik incelemesinde kullanılacak olan uydu görüntüsünün yüksek çözünürlükte olması tercih edilmelidir. Bu tip görüntü elde edilebilecek uydu olarak çözünürlükleri 1 metre civarında olan ikonos uydu görüntüleri tercih edilebilir.

Diğer taraftan, yakın yüzey araştırmalarında kullanılmak üzere yüksek frekans elektromanyetik dalga prensibi ile çalışan GPR, gerek kullanım kolaylığı ve maliyeti, gerek yüksek çözünürlük özelliği gerekse de çevreye zarar vermemesi nedeniyle süreksizlik tespiti çalışmalarında kullanılan yaygın bir yöntemdir. Yukarıda da belirtildiği gibi, jeolojik jeoteknik incelemelerde zaman ve maliyet açısından birçok avantaj sağlayan UA sistemlerinin yaygın kullanımı düşünöldüğünde, yukarıdaki şekilde belirlenen süreksizlik sistemlerinin, çalışma alanı içinde rastgele belirlenen profillerde yapılan GPR ölçümleri ile desteklenmesi ve değişik anten konumlandırmalarıyla doğrultularının ve yeraltındaki uzanımlarının belirlenmesi, madencilikte hem tasarım aşamasında hem de işletme aşamasında oldukça etkili bir yöntem olacaktır.

GPR'da kaynak olarak yüksek frekans elektromanyetik dalgaları (radyo dalgaları) kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan frekans aralığı 10 MHz den 2 GHz dir. Frekans seçimi araştırılmak istenen derinliğe göre yapılmaktadır. Bir yer radarı, verici anten, alıcı anten ve kayıtçılardan oluşmaktadır. Verici anten (Transmitter) yatay doğrultuda elektrik alan vektörüne sahiptir ve birkaç nanosaniyeli bir elektromanyetik sinyal üretir. Alıcı anten (Receiver) verici antene aynı yönde veya dik yönde konumlandırılır. Alıcı anten yeraltı derinliklerinden dönen elektromanyetik sinyali algılar ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürölerek sinyal kayıtçı aleti ile kaydedilir Yeraltında farklı dielektrik özelliğe sahip materyellere ulaşan sinyal, materyal üzerinde yansımaya ve saçılmaya uğramakta ve yüzeydeki alıcı anten ve kayıtçı yardımı ile kayıt edilmektedir. Gerekli veri-işlem yöntemleri uygulandıktan sonra yeraltı ile ilgili radar görüntüsü (radargram) elde edilmektedir. Bu görüntü iki boyutlu veya üç boyutlu olarak elde edilebilir ve yorumlanır. Üç boyutlu görüntüleme için uygulama alanı üzerinde paralel hatlar üzerinde ölçümler alınarak alan taranır ve daha sonra bu hatlara ait radar verileri veri-işlem aşamasından sonra üç boyutlu görüntüleme işlemine tabii tutulur. Üç boyutlu radar veri hacmi içinde anomali veren süreksizlik birimi belirlenebilir.

GPR ölçümlerinde 25 MHz'lik anten kullanılması durumunda elde edilecek etki derinliği 30-50m dir. Frekans derinlikle ters orantılıdır. Araştırma derinliği azaldıkça kullanılan frekans değeri artmaktadır. Bu arada frekans arttıkça çözünürlük de artmaktadır. Çözünürlük ise 25 MHz anten kullanıldığında yaklaşık 1m ve 0.5m'dir.

Dolayısıyla, İkonos uydu görüntüleri ve 25 MHz GPR anten kullanılarak yapılacak bütünleşik bir çalışma daha küçük boyutlu jeolojik, jeoteknik ve madencilik çalışmaları için uygun bir ölçüm sistemi olacaktır.

Diğer taraftan, literatür taramasında süreksizlik sistemlerinin belirlenmesine yönelik, UA ve GPR'in beraber kullanıldığı çalışmaların fazla olmadığı görülmüştür. Ayrıca, bu amaca yönelik sadece UA ve CBS tabanlı, madencilik gibi nisbeten daha küçük boyutlu alanları kapsayan çalışmalar için kullanılabilir bir yöntem de rastlanmamıştır*.*

Yukarıda açıklanmaya çalışılan belirlemeler proje önerimizin gerekçesini oluşturmuştur. Bu kapsamda p_roje ekibimizce 2003 yılı ağustosunda TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Gurubuna (YDABAG) yaptığımız "Kaya Süreksizliklerinin Karakterizasyonu İçin Uzaktan Algılama ve Yer Radarı Yöntemlerinin Birlikte Kullanıldığı Bir Metodoloji Geliştirilmesi" isimli proje önerimiz Grup Sekretierliği tarafından Kabul edilmiş ve Mart 2004 tarihinde sözleşme imzalanarak yürürlüğe girmiştir.

Proje önerimiz özetle;_ madencilikte ve jeoteknikte yaygın olarak kullanılan, süreksizliklerin yer ve konumlarının (eğim yönü ve eğim açısının) belirlenmesi için Uzaktan Algılama (UA), Coğrafi Bilgi Sisitemleri (CBS) ve Yer Radarı (GPR) yöntemlerinin birlikte kullanılmasına dayanan bir metodoloji geliştirilmesini amaçlamaktadır. Doğal olarak, geliştirilen metodun güvenilirliğini sağlamak için, arazi gözlem ve ölçümleriyle de desteklenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda amaçlar doğrultusunda beş grupta çalışmalar yapılmıştır. Bunlar;

- a) Süreksizliklerin yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile haritalandırılması ve haritaların doğruluk analizlerinin yapılması.
- b) Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleri ile hakim süreksizlik desenlerinin belirlenmesi
- c) Yüksek çözünürlükteki GPR antenleri aracılığı ile çalışma alanında belirlenen profillerde yapılan ölçümler ile hakim süreksizlik haritalarının bütünleştirilerek arazideki hakim süreksizliklerinin ve yeraltındaki uzanımlarının belirlenmesi.
- d) Arazi çalışmalarını en aza indirecek süreksizlikleri karakterize eden UA, CBS ve GPR temelli metodolojinin geliştirilmesi,
- e) Çalışma alanında mevcut mostra ve/veya taşocağı aynalarından yararlanılarak önerilen metodolojinin güvenilirliğinin saptanması.

1.1 Çalışma Alanı ve Yöntem

Bu amaçla, Ankara Gölbaşı Andezit ocakları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışılan araziye ait uydu görüntüsü İNTA Uzay Sistemleri A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Elde edilen uydu görüntüsü 1 metre çözünürlükte, 8-bit ve renklidir (3 bant). Uydu görüntüsü İNTA tarafından jeokodlandığı için (Precision plus) görüntünün jeokodlanması için ekstra arazi ölçümler gerekmemiştir. Uydu görüntülerinden süreksizliklerin analizinde Geomatica V.8.2.0 yazılımı kullanılmış ve methodun güvenilirlik ve hata analizleri yapılmıştır.

İlk olarak, uydu görüntüsü analiz edilmiş ve mevcut süreksizlikler belirlenmiştir. Bu belirleme hem elle hem de yazılım aracılığı ile yapılmıştır. İkinci olarak arazi çalışması ile süreksizlik ölçümleri yapılmış ve de süreksizlik olmayan elemanlar tesbit edilmiştir. Daha sonra arazi ölçümleri ile uydudan analiz edilen süreksizlik sistemleri karşılaştırılarak , uydu tesbitinde yanılığa neden olan unsurlar belirlenmiştir. Son olarak da süreksizlikleri tanıtmaya dönük yöntem geliştirilmiştir.

Uzaktan algılama ile çalışılan 15 km² lik alan içinde seçilen profiller boyunca GPR ölçümleri alınmıştır. Birbirine paralel seçilen hatlarda alınan GPR ölçümleri ile,kaya kütlesi içindeki çatlak, kırık, eklem sistemleri gibi süreksizlik özellikleri üç boyutlu olarak belirlenmiştir.Yani, GPR ölçümlerinde , süreksizlikleri yüzeydeki doğrultu izlerine ek olarak eğim açısı ve eğim yönü de belirlenmiştir. Ek olarak, GPR yapılan profillerin bazılarında sismik kırılma ölçümleri de yapılarak büyük boyutlu süreksizlikler hakkında elde edilen bilgiler pekiştirilmiştir.

2. PROJEDEKİ BİLİMSEL GELİŞMELER VE SONUÇLAR

2.1 Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Sonuçları

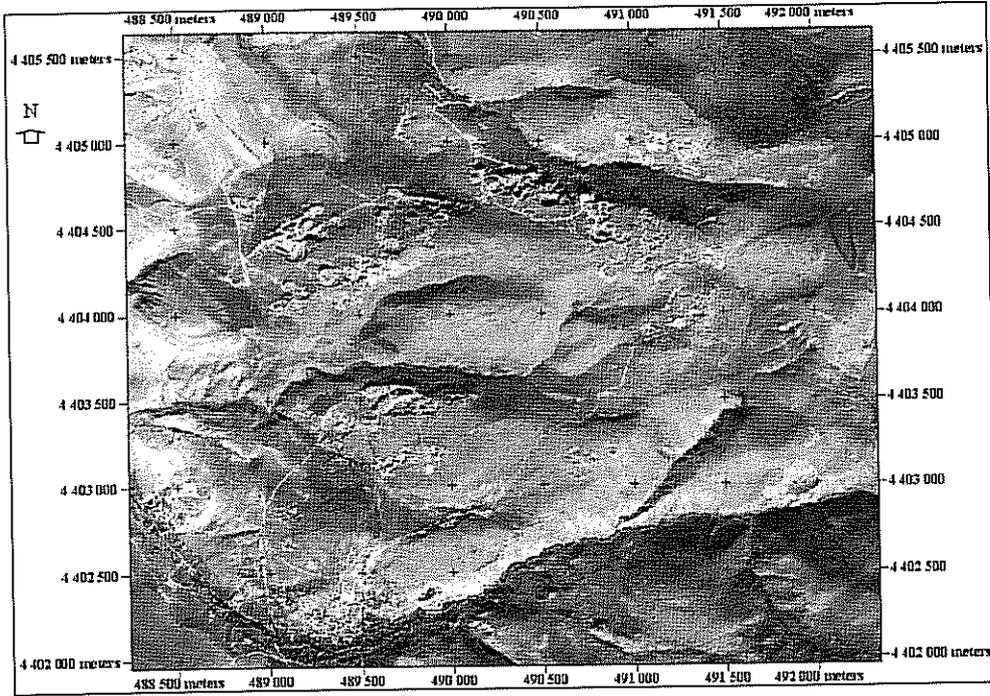
2.1.1 Giriş

Günümüzde uzaktan algılama sistemleri; yer bilimlerinin alanına giren jeoloji,geoteknik vb mühendislik araştırmaları için, kolaylık ve yüksek başarı oranları açısından son yıllarda yönelmekte olan bir alandır. Dolayısıyla,uydu görüntüleri kullanarak belirli bir arazideki hakim süreksizlik sistemlerinin haritalandırılması konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar da giderek artmaktadır. Çünkü böyle çalışmalar zaman ve maliyet bakımından birçok avantajlar sağlamaktadır. Diğer taraftan, süreksizlik sistemlerinin büyük boyutlu arazi çalışmaları ile belirlenmesinin zaman alıcı ve maliyetli olmaları da sözkonusu

olabilir. Bu nedenlerle uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak süreksizliklerin yüzeydeki özelliklerinin saptanması yer bilimleri uygulamalarında oldukça etkili bir yöntem olacaktır.

Bu çalışmada süreksizliklerin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları ile haritalandırılması yapılmıştır. İlk olarak, uydu görüntüsü analiz edilmiş ve mevcut süreksizlikler belirlenmiştir. İkinci olarak arazi çalışması ile süreksizlik ölçümleri yapılmış ve de süreksizlik olmayan elemanlar tesbit edilmiştir. Daha sonra arazi ölçümleri ile uydudan analiz edilen süreksizlik sistemleri karşılaştırılarak , uydu tesbitinde yanılığa neden olan unsurlar belirlenmiştir.

Bu amaçla, Ankara Gölbaşı Andezit ocaklarında. Arazinin işlenmemiş görüntüsü Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Arazinin renkli görüntüsü

Süreksizliklerin belirlenmesi, görüntüdeki çizgiselliklerin belirlenmesi esasına dayanır ki, bunlar, bir görüntüdeki hücre (hücre) değerlerindeki ani değişikliklerle tanınırlar.. İşlenmemiş görüntüde, çizgiselliği oluşturan hücreler koyu, etrafındaki hücreler ise açık renktir. Proje kapsamında kullanılan 8-bit'e karşılık gelen görüntü hücre değerleri 0-255 arasında değişmektedir (0 siyah, 255 beyaz).

2.1.2 Çizgisellik Haritası Oluşturma Yöntemleri

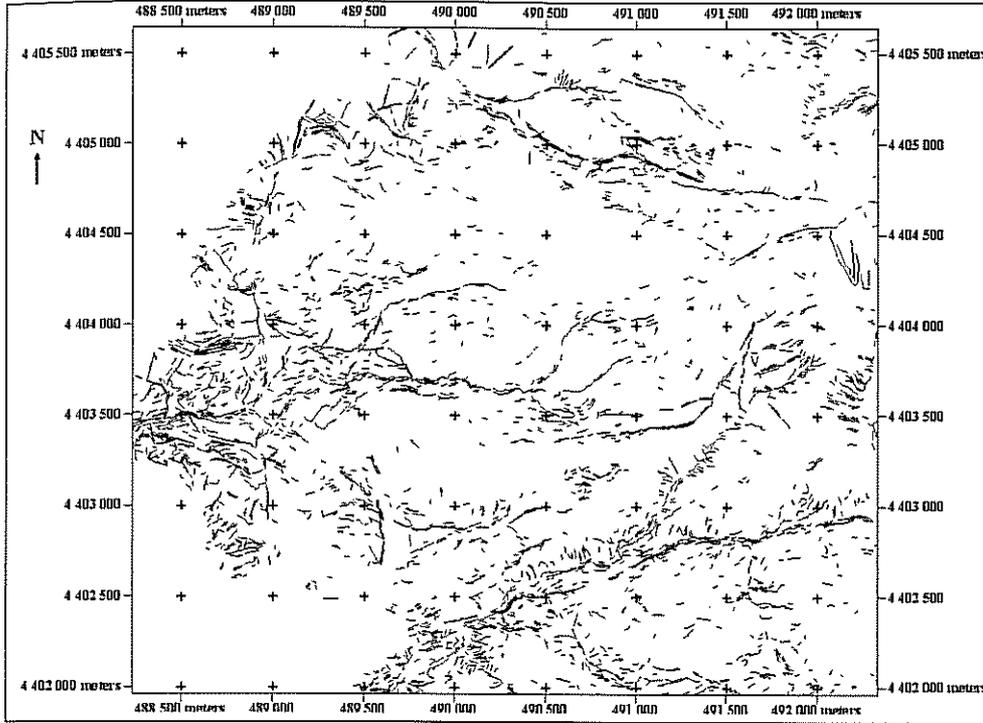
a. Otomatik Oluşturma

Çizgisellik haritalarının otomatik olarak oluşturulması için PCI Geomatica v.8.2 programı kullanılmıştır. Programın algoritması üç ana basamaktan oluşmaktadır. İlk olarak görüntüye Canny Ayırıt Sezimi Algoritması uygulanarak bir ayırıt dayanım görüntüsü oluşturulur. Canny Ayırıt Sezimi Algoritması da üç basamaktan oluşmaktadır. Birincisi, işlenmemiş görüntü üzerinde Gaussian fonksiyonu ile filtre edilir. Bu filtrenin yarıçapı RADI parametresi ile belirlenir. Daha sonra filtrelenen görüntü üzerinde gradyan belirlenir. Son olarak gradyanı yerel maksimum olmayan hücre değerleri ayırıt dayanımı (0) yaparak bastırılır.

İkinci ana basamak, birinci basamaktan elde edilen ayırıt dayanımı görüntüsünün ikili görüntü elde etmek için eşiklenmiş durumudur. Eşik değeri GTHR parametresi ile belirlenir. Görüntü 8-bit'lik olduğu için GTHR değeri 0-255 arasında olmalıdır. Eğer elde edilen görüntüdeki açık hücreler (çizgiselliği belirten) çok dağınıksa GTHR değeri düşürülmelidir. Eğer açık hücreler çok yoğun ise GTHR değeri artırılmalıdır.

Son basamakta, elde edilen ikili görüntüden eğri ayırma işlemi uygulanır. Bu son basamak da yine birçok alt basamaklardan oluşmaktadır. İlk olarak, hücre genişliğinde eğriler çıkarabilmek için ikili görüntüye inceltme algoritması uygulanır. Elde edilecek eğrilerin uzunlukları LTHR parametresi ile belirlenir. LTHR ile belirlenen değer altındaki eğriler ileriki işlemlere katılmaz. Elde edilen hücre bazlı eğriler doğru parçaları uydurularak vektör formuna çevrilir. Maksimum uydurma hatası FTHR parametresi ile belirlenir. Kullanılan program 2 ila 3 arasındaki fraksiyonel değerlerin kullanılmasını önermektedir. Son olarak, ATHR parametresi ile aralarındaki açılar, DTHR parametresi ile aralarındaki uzaklıklar belirlendikten sonra çizgisellikler belirlenir. Belirlenen çizgisellikler vektör formatında saklanır.

Yukarıda verilen yönteme göre oluşturulan örnek bir çizgisellik haritası şekil 2 de verilmiştir.



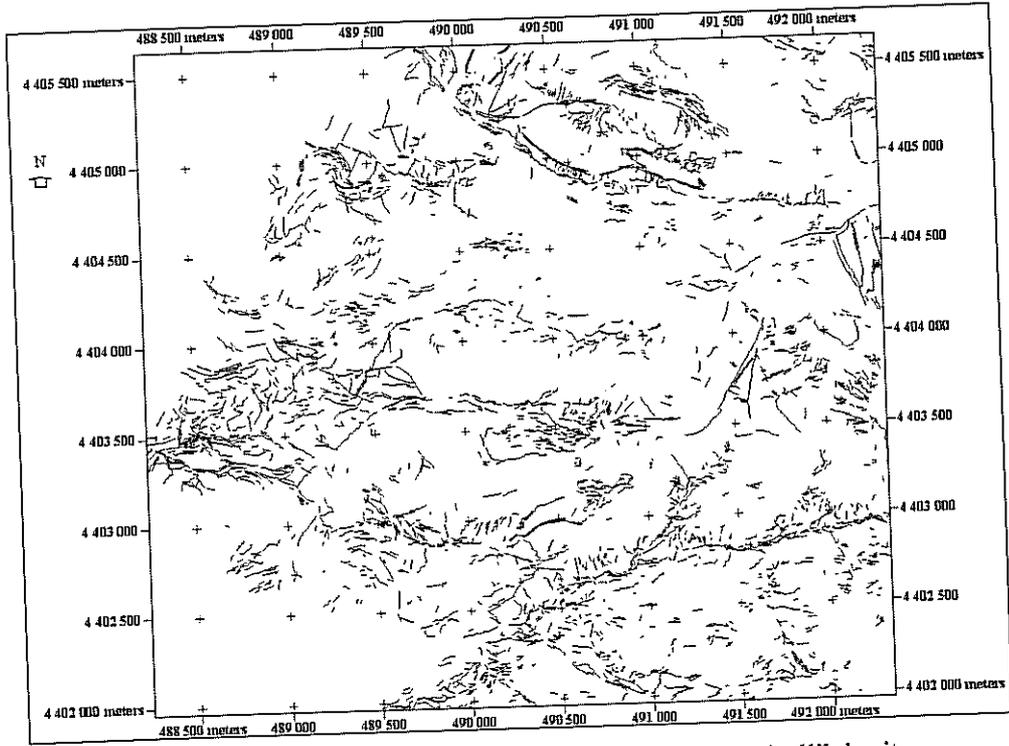
Şekil 2. Otomatik olarak bulunturulmuş çizgisellik haritası

b. El ile Sayısallaştırarak Oluşturma

Uygulama sahasına ait uydu görüntüsü üzerinde geliştirilecek otomatik çizgisellik haritalarının güvenilirliğinin araştırılması için, bu çizgisellik haritalarının değişik yönlerde uygulanan filtreleme tekniklerinin el ile sayısal olarak çizilmesi de yapılmıştır. El ile çizimin referans olarak alınmasıyla, filtrelemeden elde edilen görüntüden ve ayrıca işlenmemiş görüntüden süreksizlik olamayacak yol, tarla, arazi sınırları yada yapay olarak oluşmuş ve komşu hücre değerlerinde büyük farklar yaratacak herhangi bir oluşumun göz ile farkedilip çizgisellik olarak alınmaması sağlanmaktadır. Böylece sonuç olarak hazırlanan çizgisellik haritaları süreksizlik olarak algılanabilecek oluşumları başarı yüzdesi yüksek bir şekilde belirtmektedir. Elde edilen sonuçlar otomatik olarak oluşturulacak çizgisellik haritalarına referans olarak kullanılmıştır.

El ile sayısallaştırılan çizgisellik ayırma işleminde literatürde en başarılı olarak gözlemlenen (Süzen ve Toprak, 1998) Sobel filtreleri kullanılmıştır. Kuzey – Güney (K-G), Doğu – Batı (D-B), Kuzeydoğu – Güneybatı (KD-GB), Kuzeybatı – Güneydoğu (KB-GD) doğrultularında kullanılan Sobel filtreleri uygulandıktan sonra elde edilen görüntüden çizgisellikler programda sayısal olarak çizilmiştir.

Proje arazisinde yapay çizgisellikler oluşturabilecek yol, ev, tarla sınırı gibi şekiller olduğundan, (bunlar arazi çalışmaları sırasında tesbit edilmişlerdir) el ile oluşturulan çizgisellik haritasında ilgi alanı dışında kalacak bu şekiller silinmiştir. Bu sebeple çizgisellik haritasında kuzeybatı ve güneybatı bölümleri boş görünmektedir. Buna ek olarak taşocağı yolları da uydu görüntüsü üzerinden rahatlıkla anlaşıldığı için onlar da silinmiştir. Otomatik ve el ile oluşturulan çizgisellik haritalarının karşılaştırılmasında doğruluğu etkilememesi için otomatik olarak oluşturulan haritalar, el ile çizilen harita ile üst üste çakıştırılarak ilgi alanları dışındaki çizgisellikler silinmiştir. Şekil 3 de arazinin el ile çizilmiş çizgisellik haritası verilmiştir.



Şekil 3. Arazinin el ile sayısallaştırılarak oluşturulmuş çizgisellik haritası

2.2 Doğruluk Analizleri

Oluşturulan çizgisellik haritalarının doğruluğunun belirlenmesi bu haritaların uygulamada kullanımının etkinliğinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu nedenle otomatik yolla elde edilen çizgisellik haritası elle elde edilen harita referans alınarak doğrulanmıştır. Ayrıca bu doğrulama işlemi arazi çalışmaları ile de desteklenmiştir.

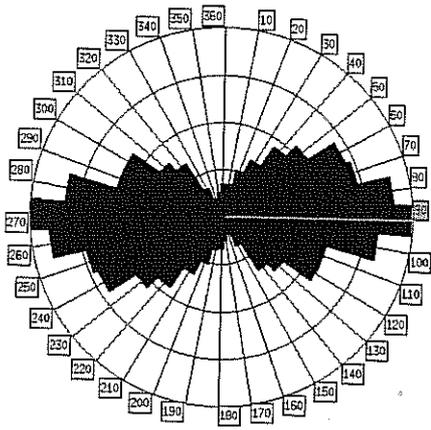
Haritadaki bir çizgiselliğin doğruluğunun belirlenmesi, çizgiselliğe ait aşağıda verilen üç unsurun kontrolü ile mümkündür:

1. Doğrultu
2. Konum
3. Uzunluk

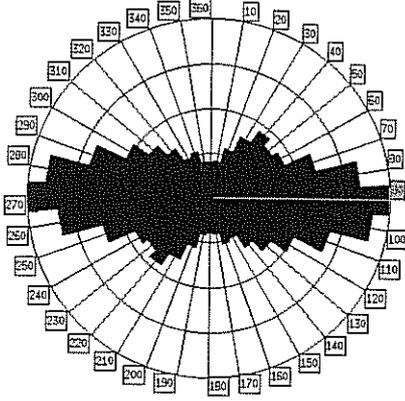
Bu çalışmada haritadaki çizgiselliklerin doğrulanması için gül diyagramları kullanılmıştır. Konum ve uzunluğun doğruluğu için ise üç aşamalı bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemde kullanılan algoritmalar kodlanarak bir yazılım geliştirilmiştir.

2.2.1 Doğrultunun Doğrulanması (Gül Diyagramı Karşılaştırmaları)

Elde edilen çizgisellik haritalarının güvenilirliğinin bulunması için ilk olarak, çizgiselliklerinin doğrultuları karşılaştırılmıştır. Otomatik olarak oluşturulmuş çizgisellik haritalarından gül diyagramları oluşturulmuştur. Değişik parametreler ile elde edilen süreksizlik yönelimleri birbirleriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, el ile elde edilen süreksizlik yönelimleri ile otomatik olarak bulunan süreksizlik yönelimlerinin ortalama değerinin de yine birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 4-5). Böylece yüksek çözünürlükte uydu görüntüsü ile elde edilen süreksizlik haritaları ve bu haritaların güvenilirliğine dair yapılan çalışmalar başarı ile tamamlanmıştır.



Şekil 4. Otomatik olarak bulunan çizgisellik haritasının Gül Diyagramı



Şekil 5. El ile sayısallaştırılan çizgisellik haritasının Gül Diyagramı

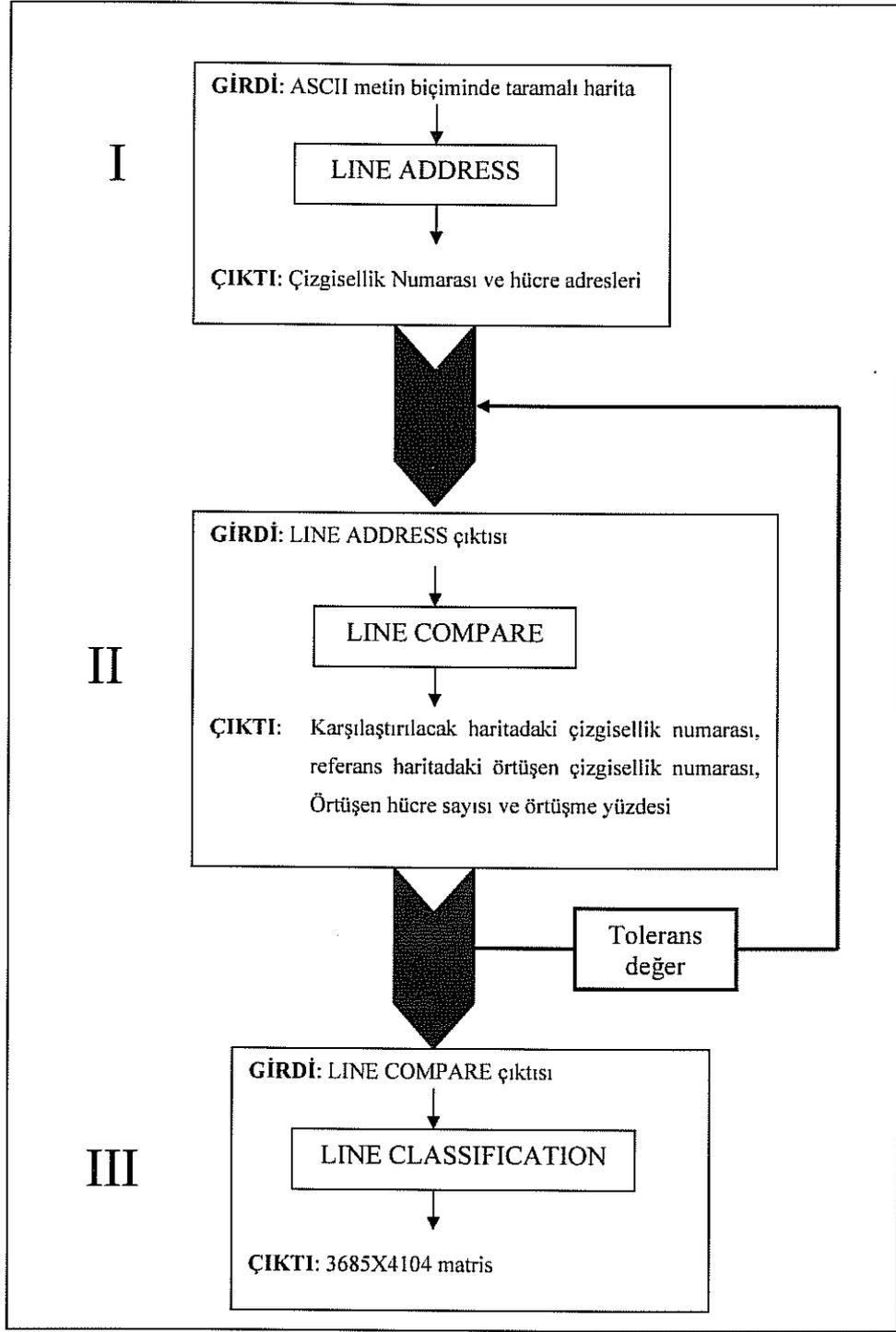
2.2.2 Konum ve Uzunluğun Doğrulanması (Geliştirilen Yöntem ve Yazılım)

2.2.2.1 Geliştirilen Yazılımın Özellikleri

Java ortamında geliştirilen ve LINECOMP adı verilen yazılım aracılığı ile, çizgiselliklerin konumsal karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle çizgisellikleri oluşturan hücrelerin adreslerini belirlenmiştir. Adres belirlenmesi için, uzaktan algılama ile elde edilen süreksizlik haritaları vektör biçiminde saklanmıştır. Daha sonra, vektör biçimindeki haritaların hücresel (taramalı/raster) biçime dönüştürülmesi işlemi yapılmıştır. Vektör tabakalarını hücresel biçime çevirmede TNT mips programı kullanılmıştır. Hücresel biçime çevirme işleminde çizgisellikleri oluşturan hücrelere 10 sayısal değeri, çizgisellikleri oluşturan hücrelerin dışındaki hücrelere ise 0 değeri verilmiştir. Bu yazılımda, elde edilen hücresel biçimdeki çizgisellik haritası 3685 x 4104 (sıra x sütun) hücreden oluşmaktadır. Her hücrein 3685 x 4104 boyutundaki matrisinde bir i,j adresi vardır (i = sıra, j = sütun).

LINECOMP yazılımı üç ana modülden oluşmaktadır. Birinci kısmın adı LINE ADDRESS olup bu bölümde çizgisellikleri oluşturan hücrelerin adresleri depolanmakta ve bu adresler ayrı bir dosyaya kaydedilmektedir. İkinci kısım, LINE COMPARE adında olup, burada iki çizgisellik haritasının hücre adresleri temel alınarak adresler karşılaştırılmakta ve örtüşme yüzdeleri yine ayrı bir dosyaya kaydedilmektedir. Üçüncü kısımda ise, LINE CLASSIFICATION, çizgisellik haritalarının örtüşme yüzdelerine göre sınıflandırılması yapılmaktadır.

Şekil 6 da LINECOMP programının çalışmasını gösteren akış şeması verilmektedir.



Şekil 6. LINECOMP programının çalışmasının akış şeması

LINECOMP yazılımının alt bölümlerinin çalışmaları algoritmalar ve örnekler şeklinde aşağıda açıklanmaktadır.

A. LINE ADDRESS Modülünün Algoritması

LINE ADDRESS, sırasıyla;

- 1 – Görüntü matrisini taramaya başlar,
- 2 – 10 değerindeki ilk hücreyi yakalar ve adresini Çizgisellik 0_ = $[i_1, j_1]$ olarak kaydeder
- 3 – $[i_1, j_1]$ olarak kaydedilen hücrenin komşu hücrelerini tarar ve 10 değeri olan hücrenin adresini “Çizgisellik_0” a; Çizgisellik_0 = $[i_1, j_1], [i_2, j_2]$ olarak ekler
- 4 – İkinci ve üçüncü basamakları başka bir 10 değeri bulamayınca kadar tekrarlar
- 5 – Kaydedilen ilk hücreden matrisin geri kalanını taramaya devam eder
- 6 – Bulunan toplam çizgisellik sayısını ve bunları oluşturan hücre adreslerini ayrı bir dosyaya kaydeder

LINE ADDRESS, kesişen çizgisellikleri tek bir çizgisellik gibi algılar. Şekil 5 de örnek olarak 8x6 büyüklüğünde bir matrisdeki çizgisellik ve çıktı dosyası gösterilmiştir.

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	10	0	0	0	10	0
2	0	0	0	10	0	10	0	0
3	0	0	0	0	10	0	0	0
4	0	0	0	10	0	10	0	0
5	0	0	10	0	0	0	10	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0

ÇIKTI

Çizgisellik_1
[1,3][2,4][3,5][4,4][5,3][2,6]
[1,7][4,6][5,7]

Şekil 7. LINE ADDRESS örnek matrisi ve çıktısı

Şekil 7 de görüldüğü gibi, LINE ADDRESS 8x6 ebatlarındaki matrisi $i=1, j=1$ noktasından taramaya başlar. Çizgisellikleri temsil eden 10 değeri bulununcaya kadar birinci satırı aramaya devam eder. $i=1, j=3$ noktasında ilk çizgisellik hücreni bulur ve çıktı dosyasına Çizgisellik_1 adında bir satır girer ve bunu oluşturan hücrelerin adreslerini yazmaya başlar. İlk nokta olarak [1,3] girilir ve değeri 10 olan çizgisellik hücrenin komşu

hücre değerleri taranır. İkinci olarak $i=2, j=4$ adresindeki hücre değeri bulunur ve ilk noktada olduğu gibi Çizgisellik_1 = [1,3][2,4] şeklinde hücre adreslerini sıralamaya devam eder. Bu şekilde hiç bir komşu hücrede 10 değeri bulunmayana kadar program devam eder. Bunun devamında matrisin geri kalanı, çizgiselliği tanımlayan ilk hücreden devam eder. ancak daha önce adresi kaydedilen bir 10 değeri bulunursa o gözardı edilir.

B. LINE COMPARE Modülünün Algoritması

- 1 – Karşılaştırılacak olan matrisdeki ilk çizgisellik referans matrisdeki bütün çizgisellikler ile karşılaştırılır ve en çok örtüşme olan çizgisellik seçilir
- 2 – Örtüşen çizgisellik numarası, hücre sayısı, referansdaki çizgisellik numarası, örtüşen hücre sayısı ve örtüşme yüzdesini ayrı bir dosyaya kaydedilir
- 3 – Aynı işlem karşılaştırılacak matrisdeki son çizgisellik karşılaştırıncaya kadar devam eder. Referans haritadaki bir çizgisellik, karşılaştırılacak haritada birden daha fazla çizgiselliği kapsadığı durumlarda ise, herbir çizgisellik için ayrı ayrı karşılaştırılır. Bu durumu tanımlayan örnek şekil 8 de verilmiştir.

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">j</td> <td style="width: 10%;">1</td> <td style="width: 10%;">2</td> <td style="width: 10%;">3</td> <td style="width: 10%;">4</td> <td style="width: 10%;">5</td> <td style="width: 10%;">6</td> <td style="width: 10%;">7</td> <td style="width: 10%;">8</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">i</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">1</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">2</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">3</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">4</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">5</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">6</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> </table> <p>Referans Matris</p>		j	1	2	3	4	5	6	7	8		i									1		0	0	10	0	0	0	0	0	2		0	0	0	10	0	0	0	0	3		0	0	0	0	10	0	0	0	4		0	0	0	0	0	10	0	0	5		0	0	0	0	0	0	10	0	6		0	0	0	0	0	0	0	10	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">j</td> <td style="width: 10%;">1</td> <td style="width: 10%;">2</td> <td style="width: 10%;">3</td> <td style="width: 10%;">4</td> <td style="width: 10%;">5</td> <td style="width: 10%;">6</td> <td style="width: 10%;">7</td> <td style="width: 10%;">8</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">i</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">1</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">2</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">3</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">4</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">5</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">6</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> </table> <p>Karşılaştırılacak Matris</p>		j	1	2	3	4	5	6	7	8		i									1		0	0	10	0	0	0	0	0	2		0	0	0	10	0	0	0	0	3		0	0	0	0	10	0	0	0	4		0	0	0	0	0	0	0	0	5		0	0	0	0	0	0	10	0	6		0	0	0	0	0	0	0	10
	j	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																																								
	i																																																																																																																																																																
1		0	0	10	0	0	0	0	0																																																																																																																																																								
2		0	0	0	10	0	0	0	0																																																																																																																																																								
3		0	0	0	0	10	0	0	0																																																																																																																																																								
4		0	0	0	0	0	10	0	0																																																																																																																																																								
5		0	0	0	0	0	0	10	0																																																																																																																																																								
6		0	0	0	0	0	0	0	10																																																																																																																																																								
	j	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																																								
	i																																																																																																																																																																
1		0	0	10	0	0	0	0	0																																																																																																																																																								
2		0	0	0	10	0	0	0	0																																																																																																																																																								
3		0	0	0	0	10	0	0	0																																																																																																																																																								
4		0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																								
5		0	0	0	0	0	0	10	0																																																																																																																																																								
6		0	0	0	0	0	0	0	10																																																																																																																																																								
<p>ÇIKTI</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Çizgisellik No</th> <th>Hücre Sayısı</th> <th>Referansdaki Çizgisellik No</th> <th>Örtüşen Hücre Sayısı</th> <th>Örtüşme Yüzdesi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>300</td> </tr> </tbody> </table>		Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referansdaki Çizgisellik No	Örtüşen Hücre Sayısı	Örtüşme Yüzdesi	1	3	1	3	200	2	2	1	2	300																																																																																																																																																	
Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referansdaki Çizgisellik No	Örtüşen Hücre Sayısı	Örtüşme Yüzdesi																																																																																																																																																													
1	3	1	3	200																																																																																																																																																													
2	2	1	2	300																																																																																																																																																													

Şekil 8. LINE COMPARE örnek matrisi ve çıktısı

Karşılaştırılan iki haritada ufak hücre sapmalarını gözardı edebilmek ve örtüşmeye ne kadar yaklaşıldığını görebilmek için programa (LINE COMPARE) “tolerans değeri” seçeneği eklenmiştir. Kullanıcı tarafından belirlenen tolerans değeri referans haritasındaki çizgisellik hücrelerini belirten 10 değerinin etrafındaki değeri 0 olan boş hücreleri de 10 yaparak karşılaştırmada kullanılır. Böylelikle kullanılan tolerans değere göre örtüşmenin ne kadar yakın olduğu anlaşılır. Şekil 9’da örnek olarak 8x6 matrisinde 1 tolerans değeri ile örtüşme tanımlanmıştır.

j \ i	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	10	10	10	0	0
2	0	0	0	10	10	10	10	0
3	0	0	0	10	10	10	10	10
4	0	0	0	0	10	10	10	10
5	0	0	0	0	0	10	10	10
6	0	0	0	0	0	10	10	10

Referans Matris

j \ i	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	10	0	0	0	0
3	0	0	0	0	10	0	0	0
4	0	0	0	0	0	10	0	0
5	0	0	0	0	0	10	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0

Karşılaştırılacak Matris

Şekil 9. LINE COMPARE alt programında tolerans uygulamasının örneği

Şekil 9’da görülen açık renk 10 değerleri çizgisellikleri tanımlayan hücre değerlerini temsil etmektedir. Koyu renk olan 10 değerleri ise tolerans değeri 1 olduğu zaman çizgiselliğin çevresindeki hücreleri temsil etmektedir. Bu örnekteki karşılaştırmanın sonucu, tolerans değeri 0 olduğu zaman % 0 olan örtüşme, tolerans değeri 1 iken % 100 e çıkmıştır.

C. LINE CLASSIFICATION Modülünün Algoritması

Örtüşme yüzdeleri belirlendikten sonra, örtüşen çizgisellikleri görüntüde görmek doğruluk analizinde çok önemlidir. Bunun için, LINE COMPARE çıktısı, örtüşme yüzdesine göre LINE CLASSIFICATION modülü ile sınıflandırılır. Bunun için;

1- 3685 x 4104 ebatlarında bütün değerleri 0 olan bir matris oluşturulur,

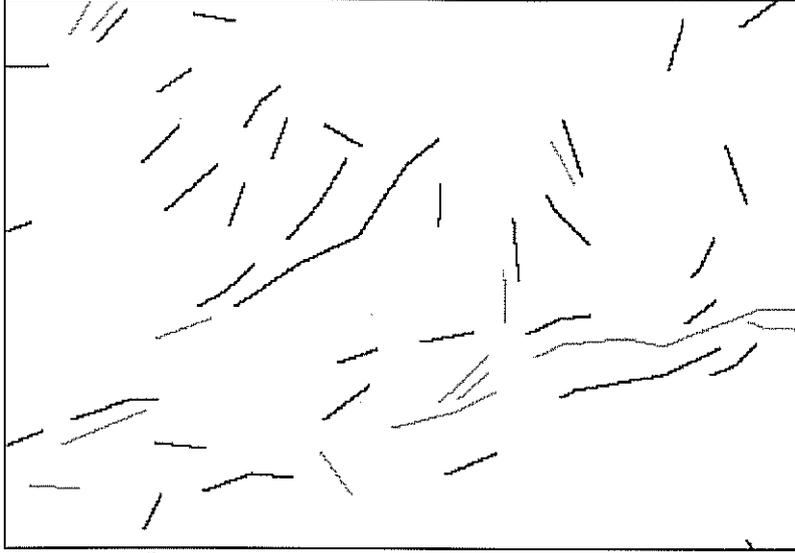
2- % 0 örtüşme, referans haritası ile verilen tolerans değeri içinde örtüşen çizgisellik olmadığını gösterir ve onu oluşturan hücreler 1 değeri ile tekrar matrise (3685 x 4104) yerleştirilir (örtüşmeyen çizgisellikler),

- 3- % 100 örtüşme, referans haritası ile verilen tolerans değer içinde tam örtüşme olduğunu gösterir ve onu oluşturan hücreler 2 değeri ile matrise yerleştirilir (mükemmel örtüşen çizgisellikler),
- 4- % 0 - % 100 arasındaki örtüşme, çizgiselliklerin verilen tolerans değer içinde referansdakinden daha uzun olduğunu gösterir ve onu oluşturan hücreler 3 değeri ile matrise yerleştirilir (uzun çizgisellikler),
- 5- % 100 den büyük olan örtüşme, referansdaki çizgiselliklerin daha uzun olduğunu gösterir ve onu oluşturan hücreler 4 değeri ile matrise yerleştirilir (kısa çizgisellikler).
- 6- Oluşturulan matris ASCII metin formatında kaydedilir.

Kaydedilen dosya hücresel formatta TNT mips programına aktarılmaktadır. Bu programdan, yukarıdaki kriterlere göre belirlenen çakışma yüzdelerine denk gelen her ayrı değerdeki hücreye değişik bir renk atanmaktadır. Dolayısı ile atanan her renk çakışmalara karşı gelen ve sınıflandırılan çizgisellikleri gösterir. Bu renkler, atandığı hücre numaraları ve karşı gelen örtüşme durumları aşağıda belirtilmiştir:

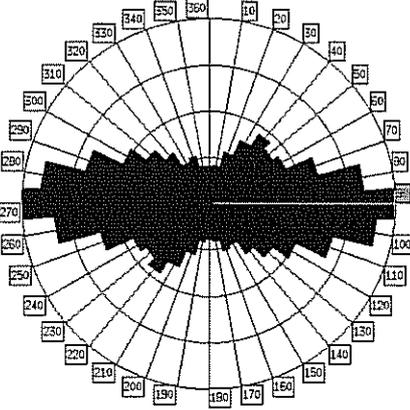
	Beyaz	→ Hücre değeri = 0 (çizgisellik olmayan hücreler)
	Kırmızı	→ Hücre değeri = 1 (örtüşmeyen çizgisellikler)
	Siyah	→ Hücre değeri = 2 (mükemmel örtüşen çizgisellikler)
	Yeşil	→ Hücre değeri = 3 (uzun çizgisellikler)
	Mavi	→ Hücre değeri = 4 (kısa çizgisellikler)

Örnek sınıflandırma haritası şekil 10 da verilmiştir



Şekil 10. Örnek sınıflandırma haritası

Bulunan çizgisellik haritasından süreksizlikler belirlenmiştir ve son işlem olarak, bunlar süreksizlik sistemleri cinsinden ifade edilmiştir. Bu belirleme sonucu, süreksizliklerin doğrultularını gösteren gül diyagramı şekil 11 de verilmiştir.



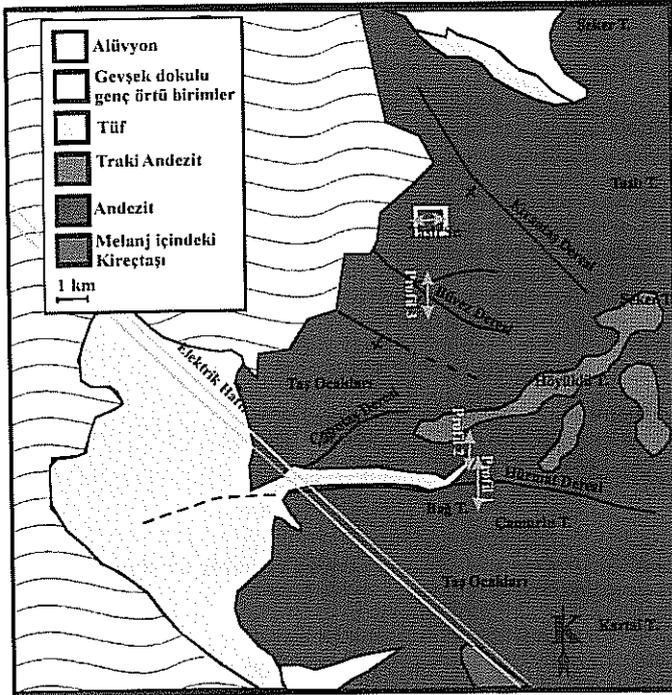
Şekil 11. Süreksizliklerin doğrultularını gösteren gül diyagramı

Şekil 11 de görüldüğü gibi süreksizliklerin doğrultuları D-B, K 80° B, K 70° D ağırlıklıdır.

2.3 Jeoloji ve Jeofizik Çalışmaları

2.3.1 Gölbaşı Andezit Taşocakları Genel Jeolojisi

Çalışma sahasının genel jeoloji haritasının hazırlanması, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU tarafından tamamlanarak, birimler ayrıntılı olarak tanımlanmış ve 1/25000 ölçekli harita üzerine işlenmiştir (Şekil 12). Sayın Kadioğluna bu katkıları nedeniyle ekibimiz çok teşekkür eder. Bu sahada çalışma alanı olarak belirlenen yerler; Akabe Taş Ocakları girişi arka tepesi (489212E 4402332N, 1234m), Hürmat Deresi (490557E 4401728N, 1285m) ve Büvez Deresi (489981E 4405348N, 1310 m) dir. Çalışma alanından bazı görüntüler şekiller 13-18 da verilmiştir.

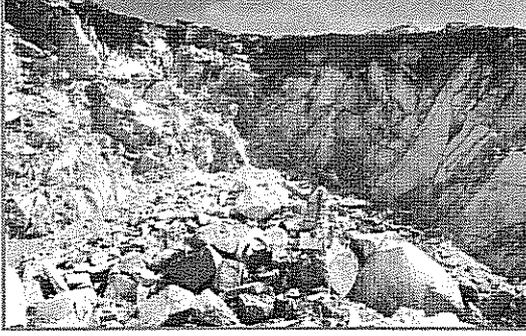


Şekil 12. Gölbaşı Andezit Taşocakları Genel Jeoloji Haritası

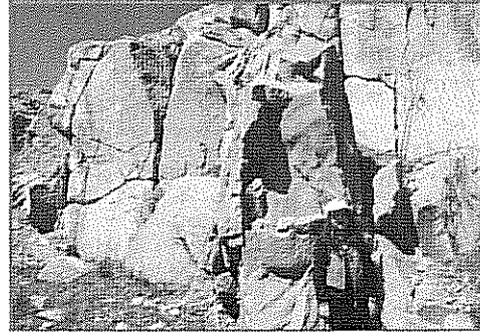
Akabe Taş Ocakları Girişi Arka Tepesi

Bölge genel olarak porfiro alkalitik dokulu andezitlerden oluşmaktadır. Andezitler genel olarak gri ve pembe renklidir. Pembe renkli kısımlar daha çok yüzlek veren birimin üst

seviyelerinde görünmektedir. Aynı zamanda kırık ve çatlak düzlemlerinin yüzey kısımlarına yakın zonlar boyunca demiroksitlenme görülmektedir. Kızıl kahverengi özelliğindeki kayaç, gelen çözeltilerin etkisiyle süreksizliğe yakın olan zonlar boyunca gözlenmektedir. Süreksizliklerden uzaklaştıkça kayacın rengi kızıl kahve renginden gri ve koyu griye doğru geçiş sergilediği açıkça gözlenmektedir.



Şekil 13. Akabe Taşocakları.



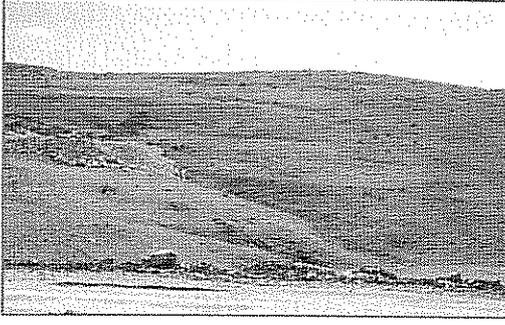
Şekil 14. Akabe Taşocakları.



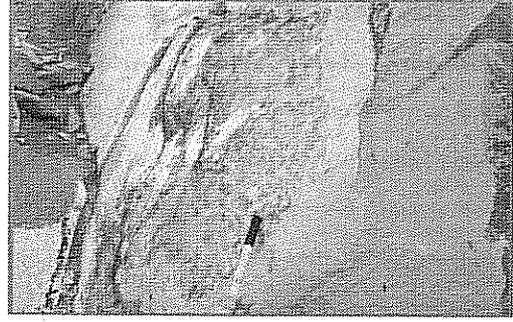
Şekil 15. Akabe Taşocakları.

Hürmat Deresi ve Büvez Deresi

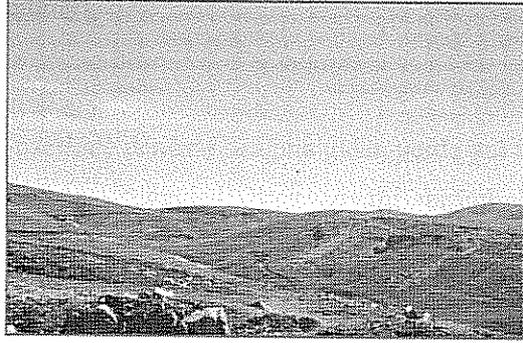
Dere boyunca bölge faylanmış, alt kısımlarda tüfler çıkmaktadır. Bu derenin Bağtepe eteğine doğru traki andezit bileşimindeki kayaçlar hidrotermal alterasyon sonucu fay doğrultusu boyunca önemli derecede killeşmişlerdir. Killeşmeler daha çok sarımsı yeşil renge ve bentonit bileşiminde gözlenmektedir. Tipik olarak hidrotermal oluşumdur. Yer yer mangan oluşumu da gözlenmiştir.



Şekil 16. Hurmat Deresi Deneme Ocağı ve Çevresi.



Şekil 17. Hurmat Deresi Deneme Ocağı.



Şekil 18. Akabe Taş Ocaklarından Hurmat Deresi Boyunca Genel Görünüş.

2.3.2 Jeofizik Çalışma Bölgelerinin Belirlenmesi

Çalışma profilleri jeoloji ve uzaktan algılama verilerine dayanılarak belirlenmiştir (Şekil 12). Ancak sahanın çok engebeli olması ve taş ocaklarına giden yolların dışında herhangi bir ulaşım yolunun olmayışı profil yerlerinin ve sayısının seçiminde etkili olmuştur. Şekil 12 de profiller belirtilmiştir. Profil 1, 2 ve profil 3 üzerinde Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde bulunan Pulse EKKO100A (Sensor and Software) radar sistemi ve 40-50m derinliğe kadar bilgi sunabilen 25 MHz açık anten ile yer radarı ölçümleri alınmıştır. Ayrıca Bu profiller üzerinde yine Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde bulunan 24 kanallı ABEM TERRALOC MK6 kırılma aleti ve ilgili teknik donanımları kullanılarak kırılma verileri toplanmıştır.

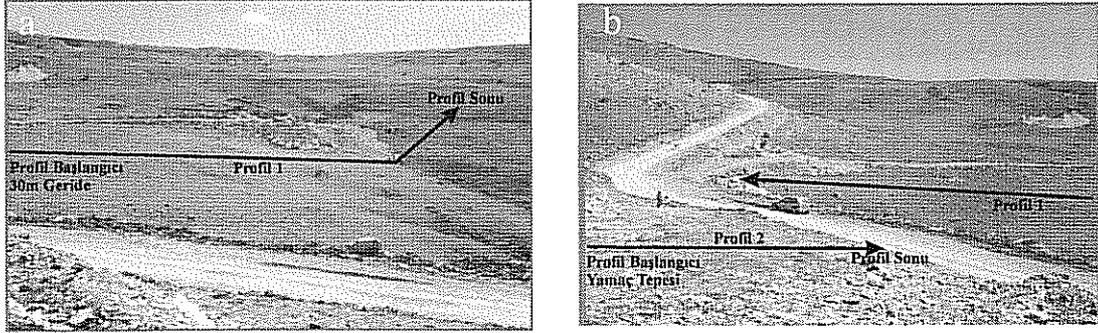
Profil 1 bölgesinde kırıkların değişimini incelemek amacıyla Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde bulunan RAMAC CU II (Mala Geoscience) radar sistemi ve projemizden alınan, yaklaşık 15-20m derinliğe kadar bilgi sunabilen yüksek çözünürlüklü

100 MHz kapalı anten kullanılarak paralel dört profil üzerinde radar verileri toplanmıştır. Profil 4 olarak adlandırılan Taşlı Sr profili için ulaşım zorluğu ve aletlerin hem elektronik hassasiyeti hem de büyüklüğü dikkate alınarak, amaca yönelik yaklaşık 8-10m derinliğe kadar bilgi sunabilen oldukça yüksek çözünürlüklü RAMAC CU II (Mala Geoscience) radar sistemi ile uyumlu 250 MHz kapalı sistem anten ile paralel profil ölçümleri toplanabilmiştir. Yine Profil 1 üzerinde kırılma mikrotremor (ReMi) çalışması yapılmış ve bu proje kapsamında satın alınan SeisOpt REMI V.2.0 programı ile değerlendirilmiştir. Bu proje kapsamında yapılan tüm jeofizik çalışmaların ayrıntıları sırasıyla aşağıda sunulmaktadır.

2.3.2.1 Profillerin Konumları

Profil 1

Hürmat Deresi üzerinde deneme ocağına giden yerde yol üstünde traki andezit birimli Höyükli Tepenin Bağtepe eteğinden başlayıp tuf birimi kesen yola kadar devam etmektedir.(Şekil 19)



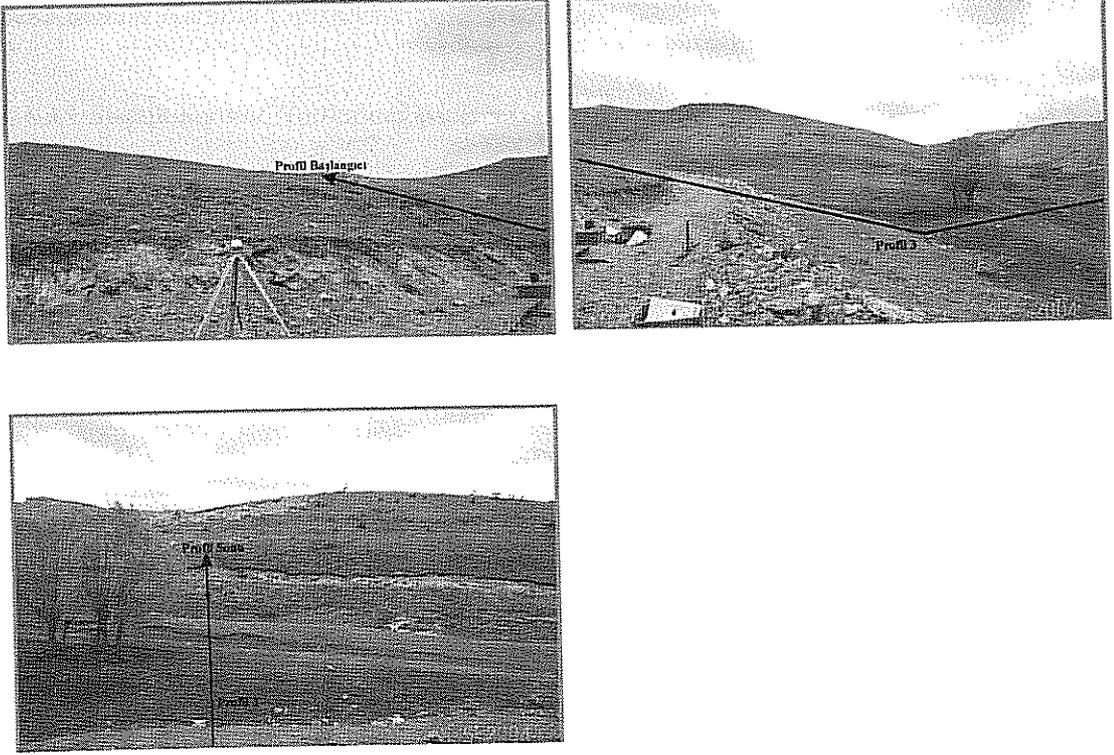
Şekil 19. a) Profil 1, b) Profil 2.

Profil 2

Hürmat deresi üzerinde deneme ocağına giden yerde yol altından başlayıp karşı Çamurlu Tepe'nin yarısına kadar uzanmaktadır (Şekil 19)

Profil 3

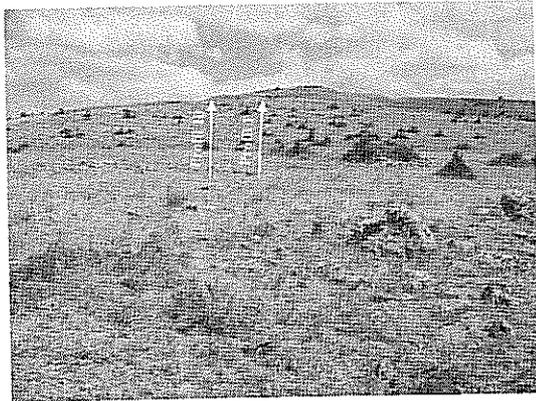
Büvez Deresi üzerinde Nallıncıkaya Sr. Yamacından başlayıp Taşocaklarının bulunduğu tepenin yarısına kadar uzanmaktadır (Şekil 20).



Şekil 20. Profil 3.

Profil 4

Taş ocaklarının aktif işletim yaptığı Taşlı Sırtı Bölgesindedir. Bu bölge genel olarak Büvez deresi ile Kırankaş deresi arasında kalan bir sırttır (Şekil 21).



Şekil 21. Profil4.

2.3.3 Sismik Kırılma Çalışmaları

2.3.3.1 Sismik Kırılma Verilerinin Toplanması

Profil 1, profil 2 ve profil 3 üzerinde, Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde bulunan 24 kanallı ABEM TERRALOC MK6 kırılma aleti ve ilgili teknik donanımları kullanılarak kırılma verileri toplanmıştır. Tipik bir sismik kırılma profili veri toplama düzeneği şekil 22 de, sismik kırılma hız kesitleri ise şekiller 21-23 da verilmiştir.



Şekil 22. Sismik Kırılma Profili Veri Toplama Düzeneği

Tüm profillerde veri toplama düzeneği aynıdır. Öncelikle profil boyunca jeofonlar sabit aralıklarla yer içine gömülerek yerleştirilir. Her bir jeofon + / - uçları örtülecek şekilde bir ucu alete bağlı olan, jeofonlardan gelen sinyali alete ileten ana kabloya bağlanır. Alet açılır ve gerekli parametreler seçilir. Yere yollanan enerji kaynağı bir beton levha üzerine balyozun birkaç kez düşey vurulması ile sağlanır. Kaynak noktaları (atış noktaları) rastgele olmayıp belirli bir atış düzeni içindedir. Genellikle 5 atışlı düzen içinde ölçümler alınır. Çok geniş profil açılımları için ara atışlar yapılarak veri güçlendirilmesi yapılabilir. İlk kaynak noktası ilk jeofondan yaklaşık profil boyunun yarısı veya daha az uzaklıkta ölçümü yapan grup tarafından belirlenir. Bu kaynak noktasındaki atışa 'Dış Normal Atış' adı verilmektedir. İkinci atış noktası ilk jeofon üzerinde veya onun çevresinde olur. Bu atışa 'Normal Atış' adı verilir. Üçüncü atış noktası Profilin orta noktası olan 12. ve 13. jeofonlar arasındadır ve 'orta atış' olarak adlandırılır. 24. jeofon üzerinde veya çevresinde 4. atış gerçekleştirilir ve 'Ters Atış' adını alır. 5. atış noktası 24. jeofona göre, ilk jeofondan dış normal atış uzaklığı ile aynı uzaklıktadır ve 'Dış Ters Atış' adını alır. Arazi durumu ve amaca göre gerektiğinde atış uzaklıklarındaki dengeyi bozmayacak şekilde ara atışlar yapılabilir. Sismik kırılma çalışmalarında jeofon aralıkları 10m olarak alınan profillerimizde 6. ve 7. jeofonlar arası ve 18. ve 19. jeofonlar arası ara atışlar ilave edilmiştir.

Veriler Seismic Exploration geophysics (SEG)'in standart dosyalarından biri olan SG2 tür ekli dosyalar olarak kaydedildiler. Bu dosyalarda veri üzerinde baş dalgaları varış

zamanları okunarak uzaklık-zaman değerleri kaydedilmiştir (Tür Eki FIR olarak aktarılmıştır).

Ölçüm yapılan profillere ait parametreler:

Profil 1

Profil boyu: 230m

Jeofon aralığı: 10m

Zaman örnekleme aralığı: 0.100msn

Biz sismik izdeki örnekleme sayısı: 2048

Atış sayısı: 7

Dış normal atış ile jeofon uzaklığı: 45m

Normal atış ile jeofon uzaklığı: 5m

Profil konumu: Hürmat Deresi üzerinde deneme ocağına giden bölgede yol altından başlayıp deneme ocağının hemen altından geçip Çamurlu Tepe'nin yarısında son bulur.

Profil 2

Profil boyu: 115m

Jeofon aralığı: 5m

Zaman örnekleme aralığı: 0.100msn

Biz sismik izdeki örnekleme sayısı: 1024

Atış sayısı: 5

Dış normal atış ile jeofon uzaklığı: 30m

Normal atış ile jeofon uzaklığı: 1m

Profil konumu: Hürmat Deresi üzerinde deneme ocağına giden bölgede Höyüklü tepe'den başlayıp yamaç aşağı iner ve hemen yol üstünde son bulur.

Profil 3

Profil boyu: 230m

Jeofon aralığı: 10m

Zaman örnekleme aralığı: 0.100msn

Biz sismik izdeki örnekleme sayısı: 2048

Atış sayısı: 7

Dış normal atış ile jeofon uzaklığı: 40m

Normal atış ile jeofon uzaklığı: 5m

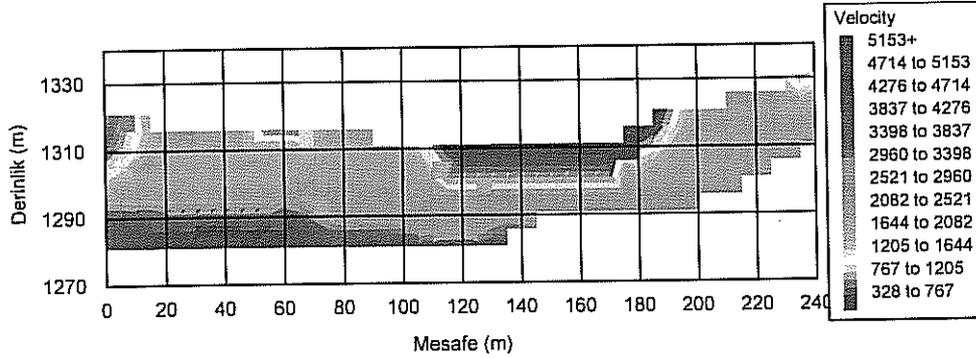
Profil konumu: B÷vez Deresi üzerinde Nallihan Sırtı tarafından başlayıp yol üzerinden geçerek taş ocaklarının bulunduğu karşı yamacın yarısında son bulur.

2.3.3.2 Kırılma Verilerinin İşlenmesi

Sismik kayıtlar üzerinden ilk varış zamanları okunduktan sonra bu değerler Prof. Dr. Ahmet T. BAŞOKUR tarafından hazırlanmış 'REF3' programına aktarılmıştır. Bu program ile iki boyutlu ters çözüm işlemi sonucu sismik hız kesitinin elde edilmesini sağlayan A.U. Jeofizik Mühendisliği Bölümünce satın alınan 'SeisOpt@2D V3.5' programı için gerekli olan giriş dosyaları oluşturulmuştur. Son olarak ise 'SeisOpt@2D V3.5' programı ile iki boyutlu yer altı hız görüntülemesi elde edilerek var olan kırık, çatlak sınırları belirlenmiştir.

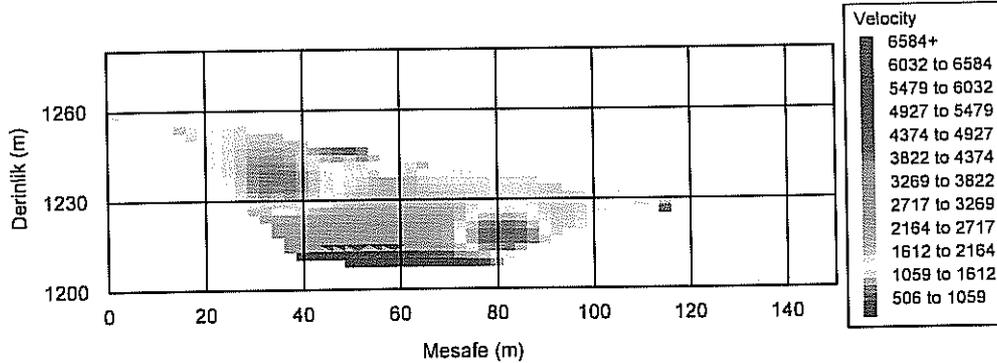
2.3.3.3 Kırılma Verilerine Ait 2-B Hız Kesitleri

Hürmat Deresi Profil 1:



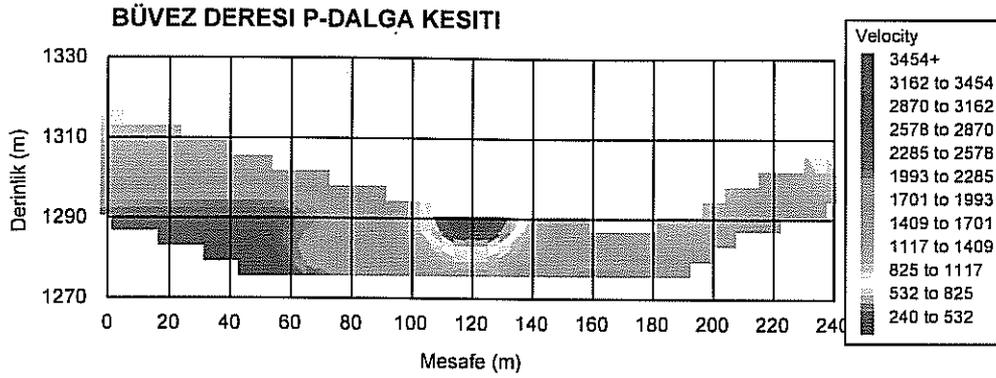
Şekil 23. Hürmat Deresi Profil 1 üzerinde toplanan kırılma verilerine ait 2-B hız kesiti.

Hürmat Deresi Profil 2:



Şekil 24. Hürmat Deresi Profil 2 üzerinde toplanan kırılma verilerine ait 2-B hız kesiti.

Büvez Deresi Deresi Profil 3:



Şekil 25. Büvez Deresi Profil 3 üzerinde toplanan kırılma verilerine ait 2-B hız kesiti.

2.3.4 Yer Radarı Çalışmaları

2.3.4.1 Yer Radarı Verilerinin Toplanması, İşlenmesi ve Yorumlanması İle İlgili Genel Bilgi

Yer radarı (GPR) yöntemi, yakın yüzey araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik, jeofizik yöntemdir (Daniels, 1989). Radar yönteminde verici anten ile yer içine yüksek frekans elektromanyetik dalga sinyal olarak yollanır, yer içinde ilerleyen dalgalar anomali verecek herhangi bir nesne ile karşılaşırlarsa yansıma veya saçılmaya uğrarlar. Tekrar yukarıya çıkan saçılmış dalgalar alıcı antenler tarafından kaydedilirler. Ölçümler genellikle bir profil üzerinde, önceden belirlenmiş ölçüm noktalarında alınır. Bir alan üzerinde çalışıldığında, arazide paralel profiller kullanılarak ölçümler alınır ve sonuçlar üç boyutlu olarak görüntülenebilirler (Kadioğlu, 2003).

GPR yöntemi başlıca **yapısal araştırmalarda** toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında (Davis and Annan, 1989), yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde (Kadioğlu, 2003), fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında (Aldaş ve diğ., 2003; Slater and Niemi, 2003; Green et al., 2003), yeraltı karstik boşluklarının aranmasında (Kadioğlu, 2004; Kadioğlu ve Ulugergerli, 2005), yeraltı su seviyesinin tespitinde (Bano et al., 2000; Dannowski and Yaramancı, 1999; Aspron and Aigner, 1999; Harari, 1996, Benson, 1995), yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında (Changryol et al., 2000) kullanılır. Bununla birlikte **arkeolojik çalışmalarda** tapınak, mezar, duvar, temel ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında (Saka ve diğ., 2003; Cezar et al., 2001; Sambuelli, et al., 1999, Hruska and Fuchs, 1999), **metalik meteryal arama çalışmalarda** yeraltında gömülü boru, boru hattı,

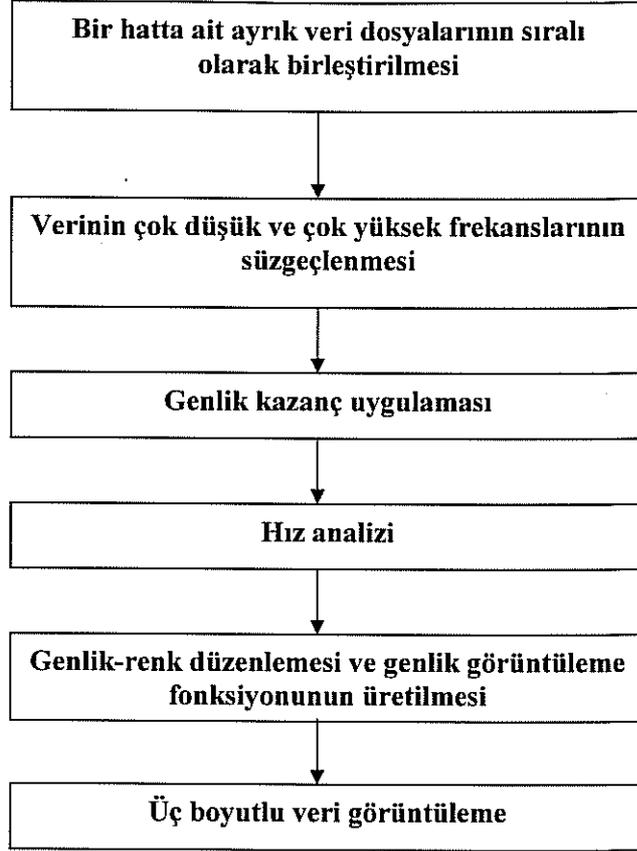
su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının tespitlerinde (Kadioğlu and Daniels, 2002; 2004), **zemin araştırmalarında, tünel araştırmalarında** karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağıamlık tespitinde, galeri içinde bozunmuş zon ve cevher aramada, galeri ilerleme yönü tespitlerinde (Kadioğlu ve diğ., 2003; Cardelli, et al., 2002) ve yeraltındaki **insan kalıntılarını aramada** (Hammon III et al., 2000) kullanılmaktadır.

2.3.4.1.1 Yer Radarı Veri-İşlem Aşamaları

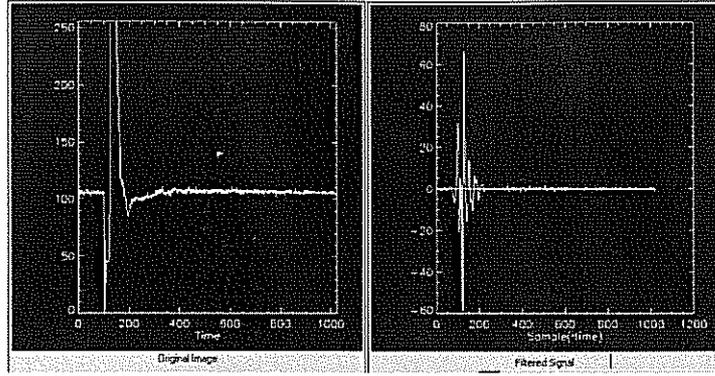
Yer radarı verilerine uygulanan işlemler sırasıyla aşağdaki akış diyagramı ile özetlenebilir (şekil 26). Öncelikle bir profile ait veri dosyaları sırasıyla birleştirilerek tek bir dosyaya aktarılır (yada istenirse ayrıık olarak tek tek her bir dosya için işlemler tekrarlanma suretiyle veri işlenebilir).

Yer radarı verilerinde çok dūřük frekanslı gürültüler gerçek olayları örtmektedir. Buna 'wow' etkisi denir. Bu etkiyi gidermek amacıyla yapılan süzgelemeye 'dewow' adı verilir. Yine çok yüksek frekanslı sinyaller özellikle jeolojik modeli ortaya çıkarma amaçlı çalışmalarda gerçek veriyi gizlemektedir. Bu nedenle yüksek frekanslarında süzgeçlenmesi gerekmektedir. Yorumcu isterse her iki süzgeçleme işlemini band geçişli bir süzgeç uygulayarak yapabilir. şekil 27 ve şekil 28 doğru süzgelemenin önemini vurgulamaktadır.

Radar verisi zamanla çok hızlı sönümlendiği için derinlerden gelen genlik bilgisi yüzeye yakın bölgelere göre daha zayıf olmaktadır.

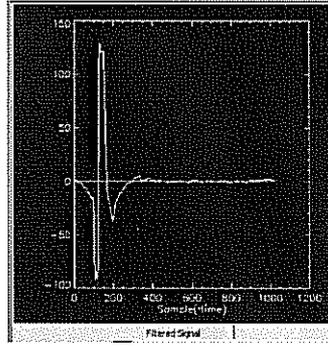


Şekil 26. Yer radarı verilerine uygulanan veri-işlem akış diyagramı



(a)

(b)

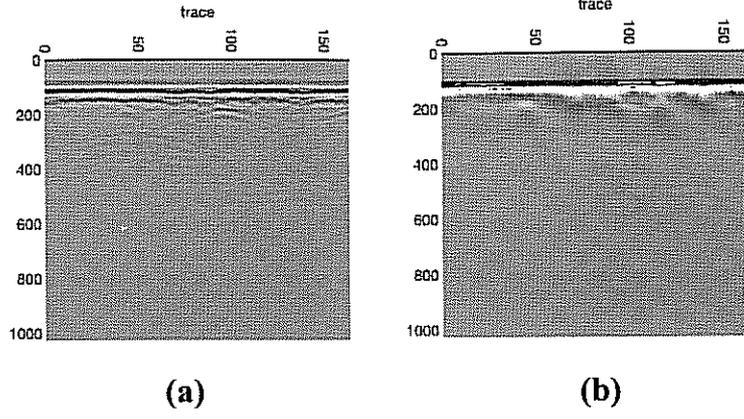


(c)

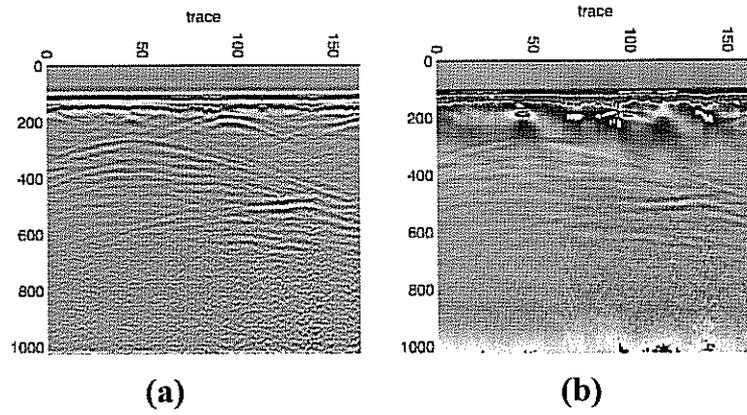
Şekil 27. Yer radarı verisinde gürültü frekansların süzgeçlenmesi a) Ham yer radarı sinyali. b) Uygun süzgeçlenmiş sinyal. c) Yanlış süzgeçlenmiş sinyal.

Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla veriye genlik kazanç düzeltmesi uygulanır. Kazanç fonksiyonunun seçimi yorumcuya göre değişir. Burada yüzeyden derinlere doğru lineer olarak artan bir genlik kazanç fonksiyonu seçildi ve veriye uygulandı. Şekil 29 Genlik kazanç uygulamasının bir örneğini göstermektedir.

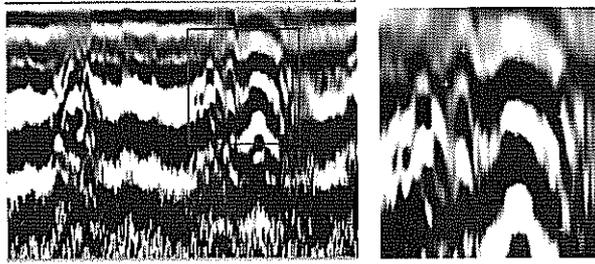
Veri üzerindeki hiperbollerden yararlanarak hiperbol çakıştırma işlemi ile saçılmayı meydana getiren olayın hızı hesaplanabilir. Şekil 30 radagram üzerindeki bir hiperbolün tepe noktası ve yan açılımı üzerindeki bir noktanın işaretlenmesi suretiyle belirtilen hiperbole neden olan olaya ait hızın belirlenmesini göstermektedir.



Şekil 28. a) Doğru süzgeçlenmiş radagram, b) Yanlış süzgeçlenmiş radagram.

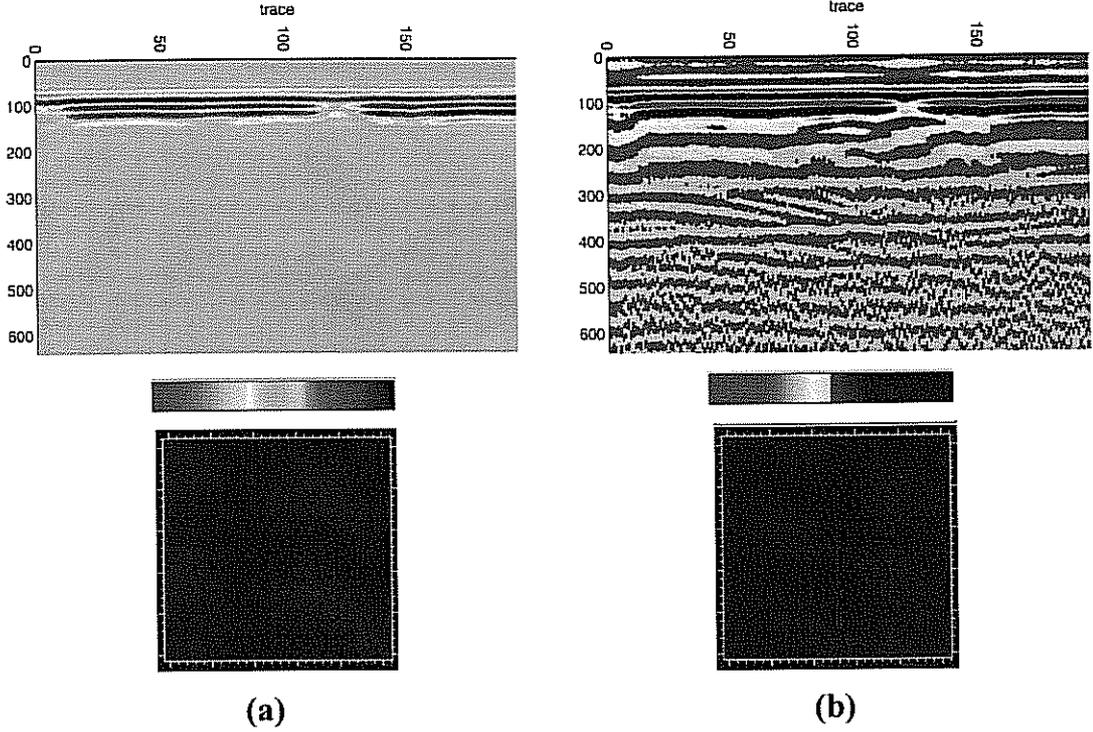


Şekil 29. Şekil 27 deki radagramlara aynı genlik kazanç fonksiyonunun uygulanması a) Doğru süzgeçlenmiş radagram , b) Yanlış süzgeçlenmiş radagram.



Şekil 30. Hiperbol çakıştırma ile hız belirleme.

Yine ortak orta nokta CMP (Common Mid Point) veya geniş açı yansıma ve kırılma WARR (Wide Angle Reflection and Refraction) ölçüm sistemi kullanılarak elde edilen yansıma hiperbolü çakıştırma işlemi ile de hız belirlenebilir (Kadıoğlu, 2003).

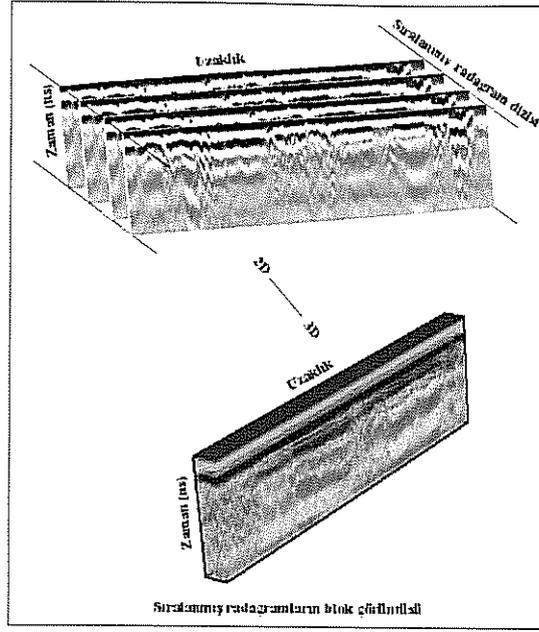


Şekil 31. Aynı radagramın aynı renkler kullanılarak farklı genlik-renk fonksiyonları kullanılarak görüntülenmesi.

İlerleyen elektromanyetik dalga yansıma veya saçılmaya neden olan bir nesne veya bir arayüze çarptığında genlik bilgisi o nesnenin özelliğini taşıyan yansıma katsayısı ile ölçeklenir. Bu durum radagram üzerinde olayın veya nesnenin tanımlanmasına yardımcı olmaktadır.

Bir olayı görüntüleme ve baskın hale getirebilme amacıyla genlik-renk görüntüleme fonksiyonu düzenlenir (Şekil 31). Bu tamamen yorumcunun düzenlediği bir fonksiyondur. Süzgeçleme ve genlik kazanç uygulamasından sonra doğru yorum için en etkin olan genlik-renk görüntüleme fonksiyonudur.

2B veri-işlemi tamamlanmış birbirine paralel profillerin başlangıç ve bitiş noktaları eşitlendikten sonra profiller arka arkaya sıralanarak 3B görüntü elde edilir (Şekil 32). 3B tüm blok istenirse alt bloklara ayrılabilir veya yastık bloklar oluşturulabilir. Bunun yanında zaman dilimleri, iz dilimleri ve profil dilimleri görüntülenebilir (Kadıoğlu, 2003).



Şekil 32. Paralel 2B verilerin birbiri ile ilişkilendirilerek görünür 3B veri bloğunun elde edilmesi.

2.3.4.2 Yer Radarı Verilerinin Toplanması

Bu proje kapsamında öncelikle Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne ait olan, yaklaşık 40-50m derinliğe kadar bilgi sunması açısından PulseEKKO100A sistemi (Sensors and Software) ile uyumlu 25MHz açık sistem anten ile profil 1, profil 2 ve profil 3 üzerinde veriler toplanmıştır. Arazi topografyası oldukça engebeli olduğu için Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne ait olan Rascal marka 8 kanallı çift frekanslı GPS sistemi ile her ölçüm noktası üzerinde topografya konumları ölçülmüştür. Ayrıca Profil 1 üzerinde ve kendisine paralel üç profil üzerinde 15-20m derinliğe kadar bilgi sunabilen 100 MHz kapalı tip, RAMAC CU II (Mala Geoscience) yer radarı sistemine uyumlu anten ile ölçüm alınmıştır.

Topografya genel olarak uygun görülmesine rağmen, veri toplama amaçlı gidildiğinde 25 MHz ile ölçüm yaptığımız zamandaki profil hattı özellikle 120.m den sonra çok bozulmuştur. Daha önceden açılmış olan küçük deneme ocağı büyütülmüş ve profilimiz üzerinde bir göl alanı oluşmuştur. Bu nedenle Profil 1 tam olarak tamamlanamamıştır. Bu profile Profil1-A adı verilmiştir. Yine 16m aralıklarla profil 1-A'ya paralel sırasıyla profil1-B,

Profil 1-C ve profil 1-D adlı 3 profil üzerinde veri toplanmıştır. Ancak yol yapımı sırasında dökülmüş taşların oluşturduğu yığının düzensiz oluşu ve sonunda bir suni bir göl havzasının varlığı profil başlangıç ve bitiş noktalarının aynı olmasını engellemiştir. Bunun yanında paralel profiller üzerinde düzensiz, ince, dereden daha küçük su kanalı şeklinde ve kırık topografyasını arazi üzerinde yaklaşık olarak gösteren olaylar mevcuttur. Bu kanallardan geçerken çoğu kez anten atlatılmak zorunda kalınmıştır.

Son olarak Profil 4 olarak adlandırılan Taşlı Sr profili için yaklaşık 8-10m derinliğe kadar bilgi sunabilen oldukça yüksek çözünürlüklü RAMAC CU II (Mala Geoscience) radar sistemi ile uyumlu 250 MHz kapalı sistem anten ile paralel 10 profil ölçüm yapılabilmektedir.

25 MHz anten ile veri toplama parametreleri

Ölçüm aralığı: 1m

Toplam zaman penceresi: 1024 ns

Merkez frekansı: 25 MHz

Antenler arası Uzaklık: 4m

Sinyal Voltajı: 1000 V

Sinyal yığma sayısı: 32

100 MHz anten ile veri toplama parametreleri

Ölçüm aralığı: 10 cm

Toplam zaman penceresi: 512 ns

Merkez frekansı: 100 MHz

Antenler arası Uzaklık: 50 cm

Sinyal yığma sayısı: 1

250 MHz anten ile veri toplama parametreleri

Ölçüm aralığı: 10 cm

Toplam zaman penceresi: 512 ns

Merkez frekansı: 250 MHz

Antenler arası Uzaklık: 36 cm

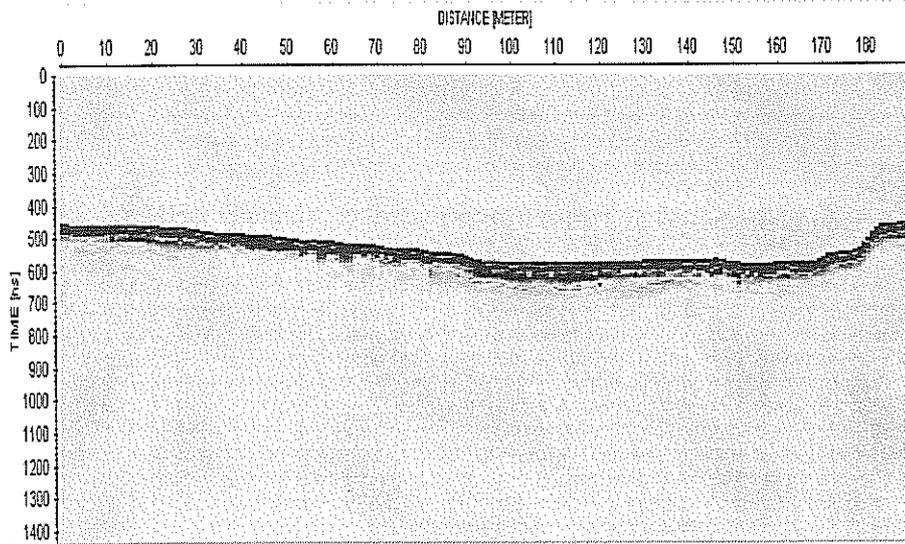
Sinyal yığma sayısı: 1

2.3.4.3 Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi Ve Yorumlanması

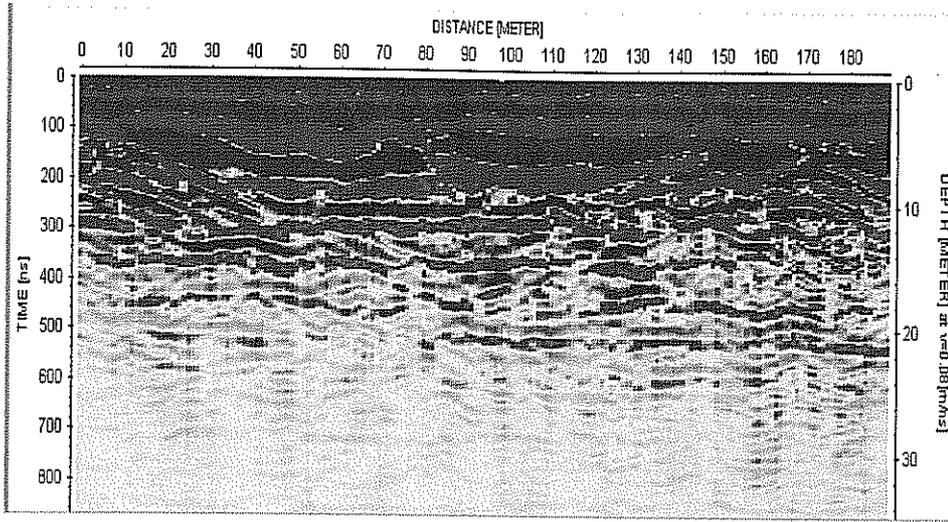
Veri-işlem aşaması Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde var olan PulseEKKO-Pro (Sensors and Software) ve Reflexw v3.5 (Mala-Geoscience) programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle veri kaybını önlemek amacıyla bir profil üzerinde arada bir sıralı dosya adları verilerek kaydedildi ve veri-işlem aşamasında tek bir dosyada birleştirilmiştir. Topografya bilgisi veriler üzerine eklenmiştir. Veri-başlangıç zamanı düzenlemesi uygulanmıştır. Çok alçak frekansların etkisi dewow işlemi ile giderilmiştir. Daha sonra alt band geçişli süzgeç uygulanmıştır. Hız analizi uygulaması sonucu andezit birimi olarak tanımlanan tabakanın hızı yaklaşık 0.08 m/ns olarak belirlenmiş ve saçılmaların toplanması işlemi (diffraction stack) uygulanmıştır. Hız değerine bağlı olarak ortalama derinlik bilgisi 25MHz anten için 30m ve 100MHz anten için 20m olarak bulundu. Radagramlara en son topografya bilgisi eklenmiştir. Aşağıda sırasıyla her bir profile ait topografyası eklenmiş işlenmemiş radagramlar, veri-işlemi tamamlanmış ve topografyası eklenmiş radagramlar ve kırıkların ve son olarak tabaka sınırlarının işlendiği radagramlar sunulmuştur(Şekiller 33-36).

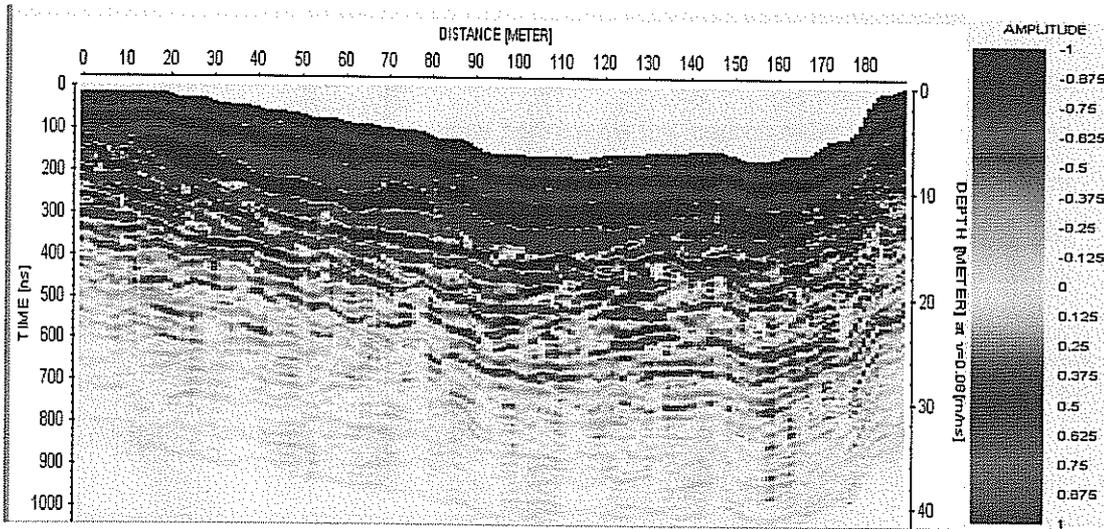
25 MHz Anten ile Hürmat Deresi Profil 1:



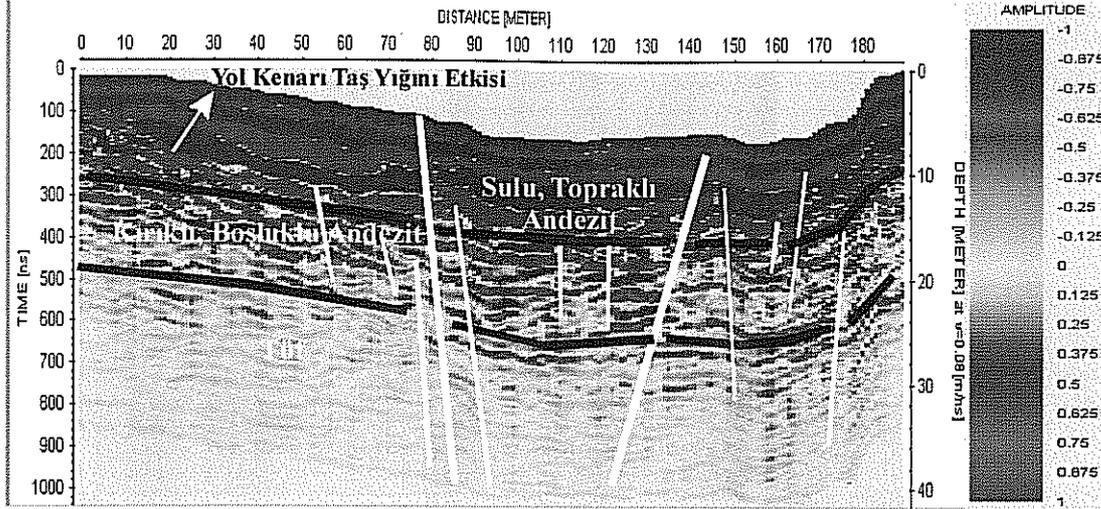
Şekil 33. 25 MHz, topografyası eklenmiş, işlenmemiş Profil 1 radagramı.



Şekil 34. 25 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürmat Deresi Profil 1 radagramı.



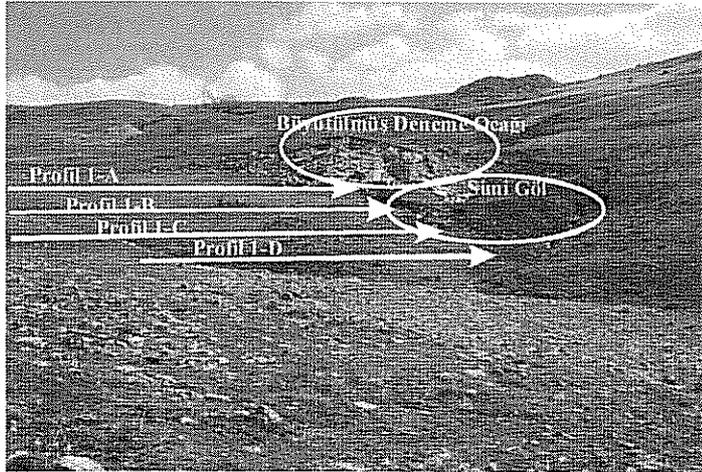
Şekil 35. 25 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1 radagramının topografyasının eklenmiş hali.



Şekil 36. 25 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1 radogramı.

Hürmat deresi boyunca taşocaklarına giden yol üzerinde uzaktan algılama veri yorumunda ve jeolojik çalışmalar sonucunda belirlenmiş fay hattının radar yöntemi ve kırılma yöntemi ile desteklenmesi amacıyla, Hürmat deresi üzerinde deneme ocağına giden yerde yol altından başlayıp karşı Çamurlu Tepe'nin yarısına kadar uzanan profil 1'in paralel profilleri şekil 37'de, 1D ve 1B profillerinin ölçüme hazırlanması şekil 38 ve 39'de profiller üzerinde toplanan radar verisi ve sonuçları şekiller 41-48'de gösterilmektedir.

100 MHz Anten ile Hürmat Deresi Profil 1-A:



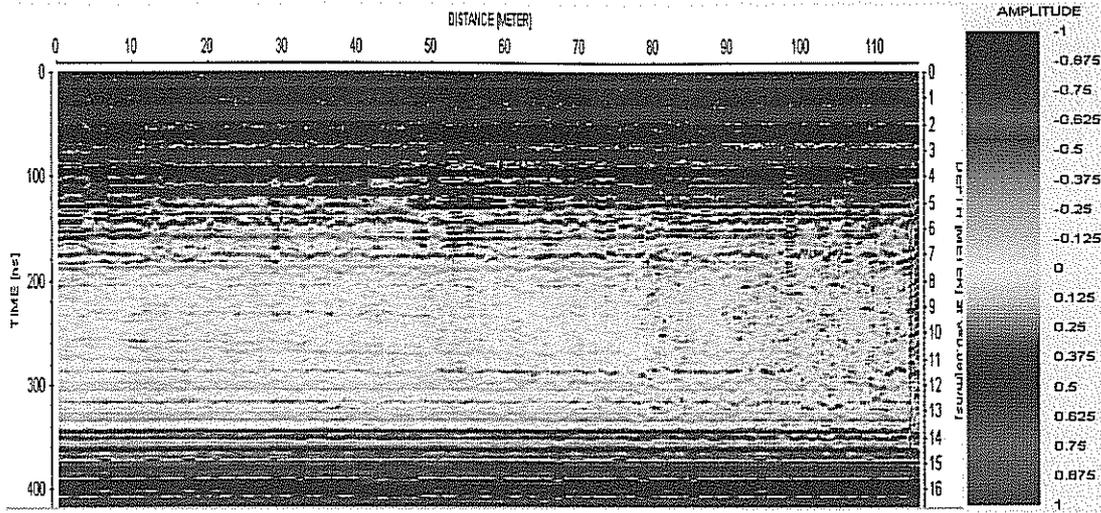
Şekil 37. Hürmat deresi üzerindeki 100MHz kapalı sistem antenler için paralel profiller.



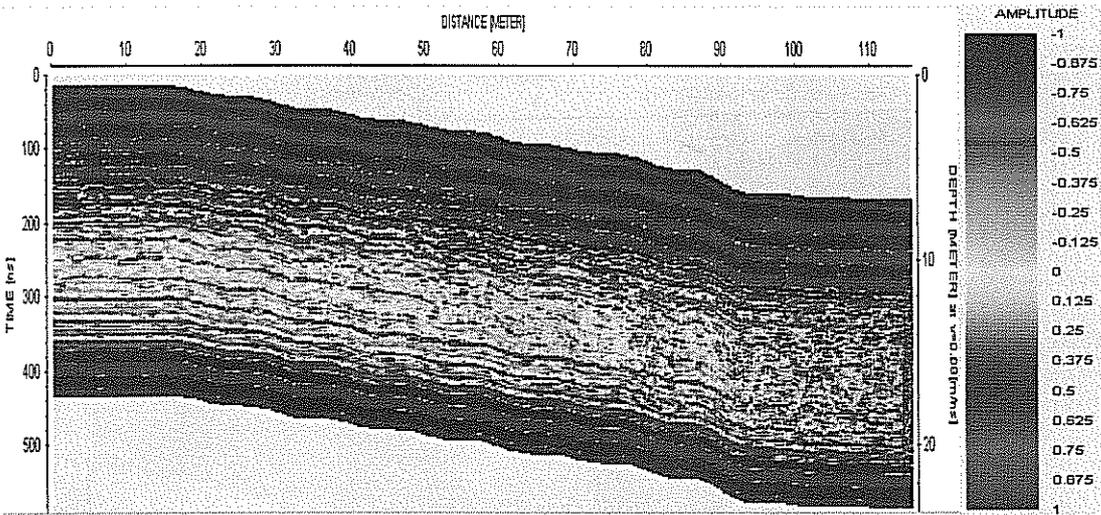
Şekil 38. Profil 1-D.'nin ayrıntı görüntüsü



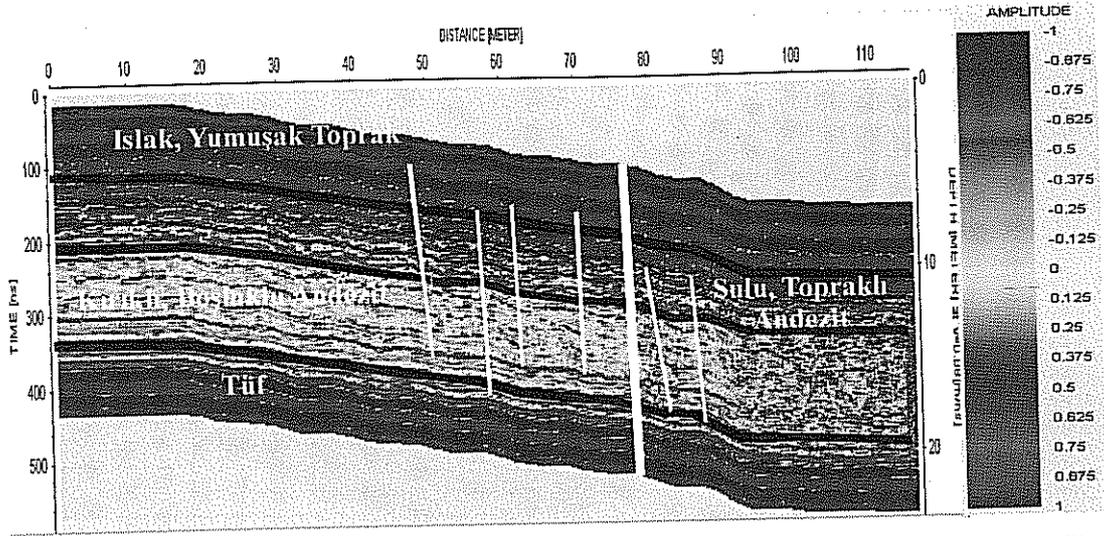
Şekil 39. Profil 1-B üzerinde 100 MHz kapalı sistem anten (Mala Geoscience) ile veri toplanırken.



Şekil 40. 100 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürrmat Deresi Profil 1-A radagramı.

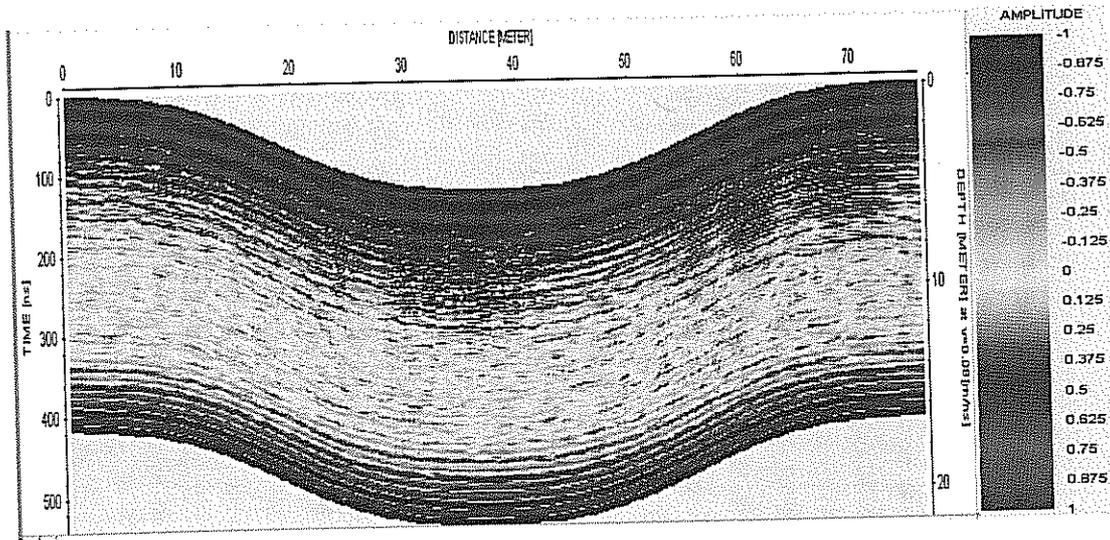


Şekil 41. 100 MHz, işlenmiş Hürrmat Deresi Profil 1-A radagramının topografyasının eklenmiş hali.

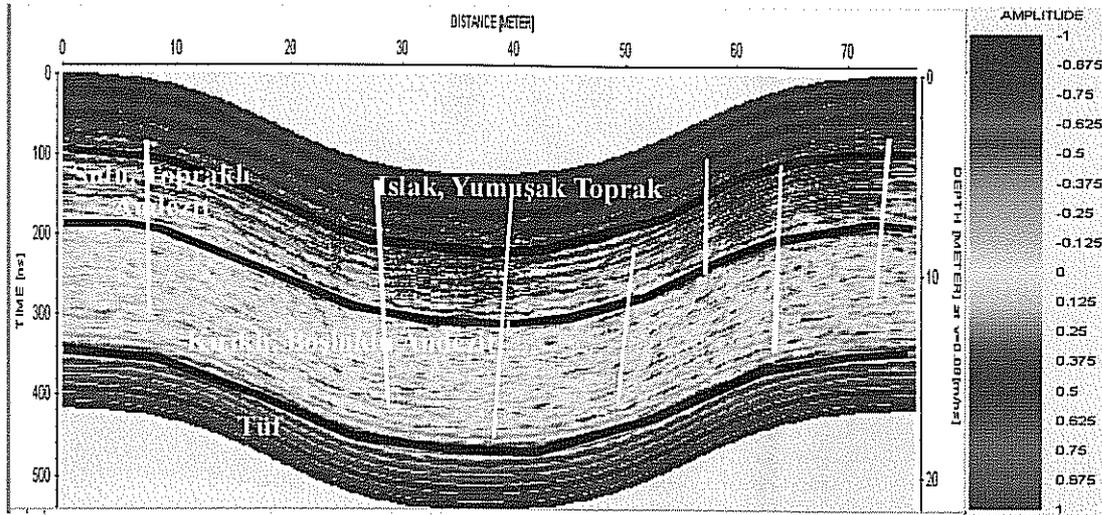


Şekil 42. 100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-A radagramı.

100 MHz Anten ile Hürmat Deresi Profil 1-B:

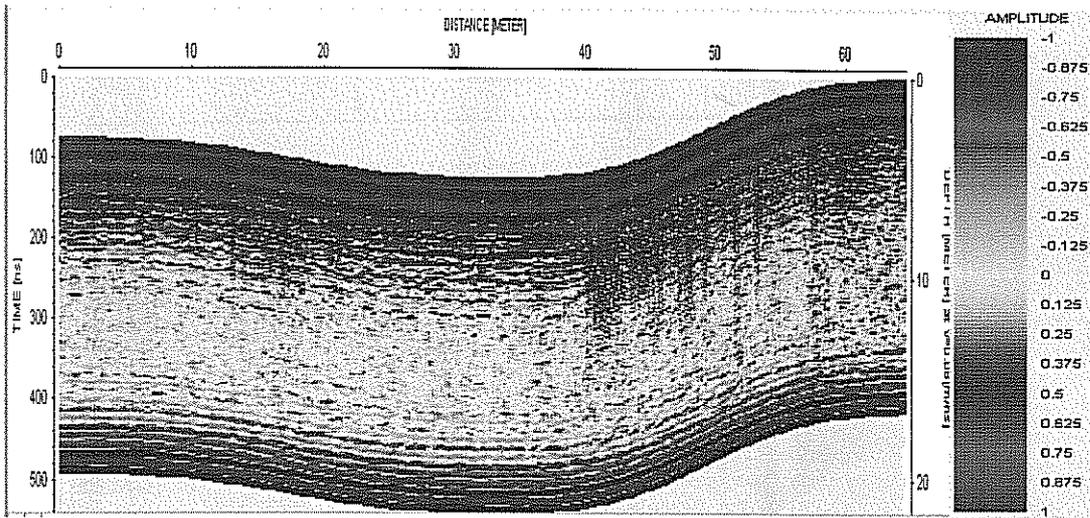


Şekil 43. 100 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1-B radagramının topografyasının eklenmiş hali.

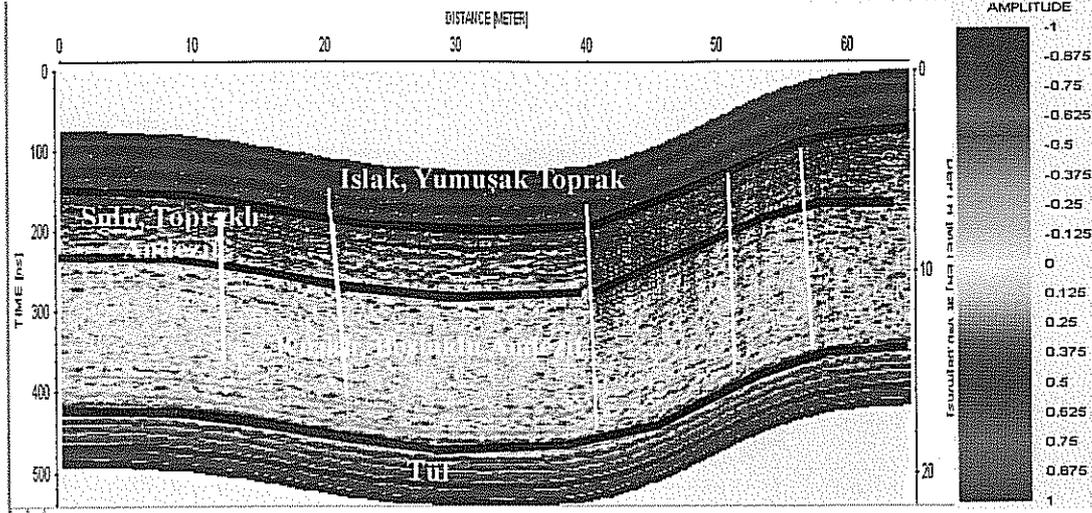


Şekil 44. 100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-B radagramı.

100 MHz Anten ile Hürmat Deresi Profil 1-C:

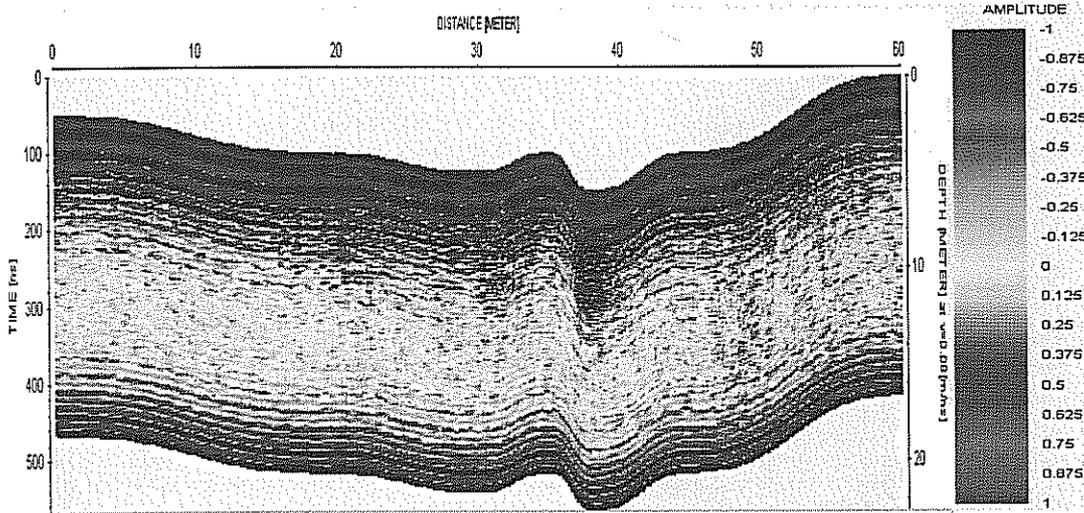


Şekil 45. 100 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1-C radagramının topografyasının eklenmiş hali.

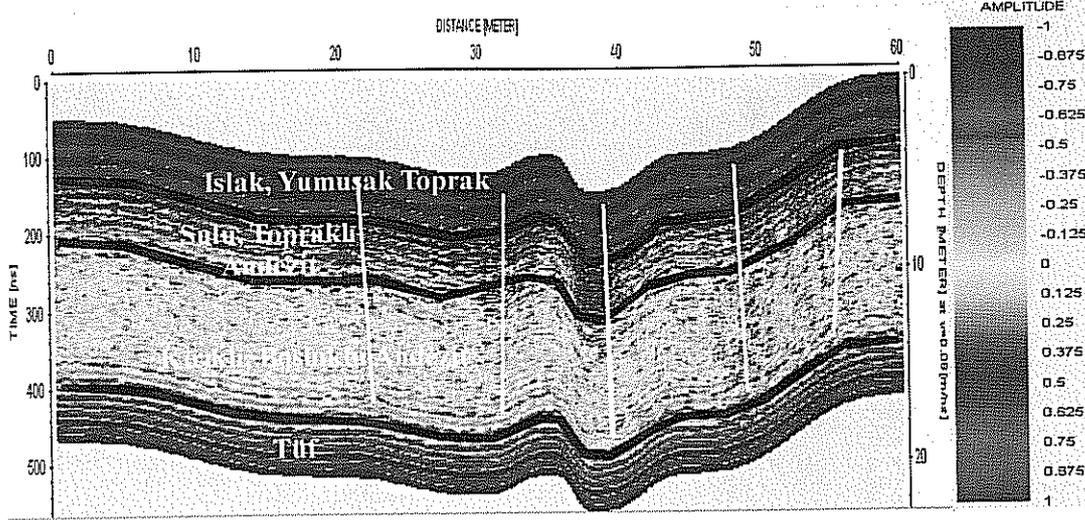


Şekil 46. 100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-C radagramı.

100 MHz Anten ile Hürmat Deresi Profil 1-D:



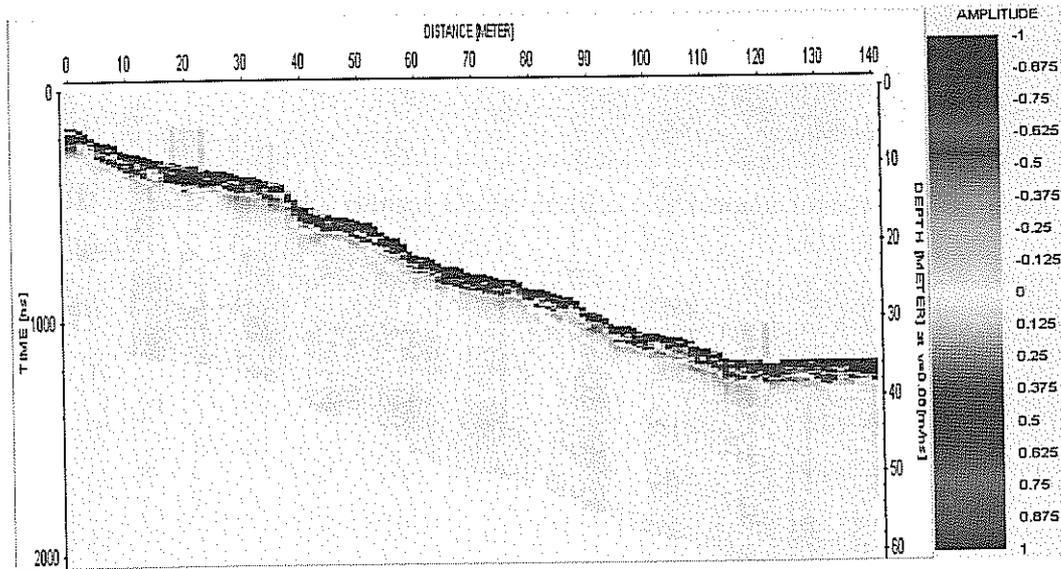
Şekil 47. 100 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 1-D radagramının topografyasının eklenmiş hali.



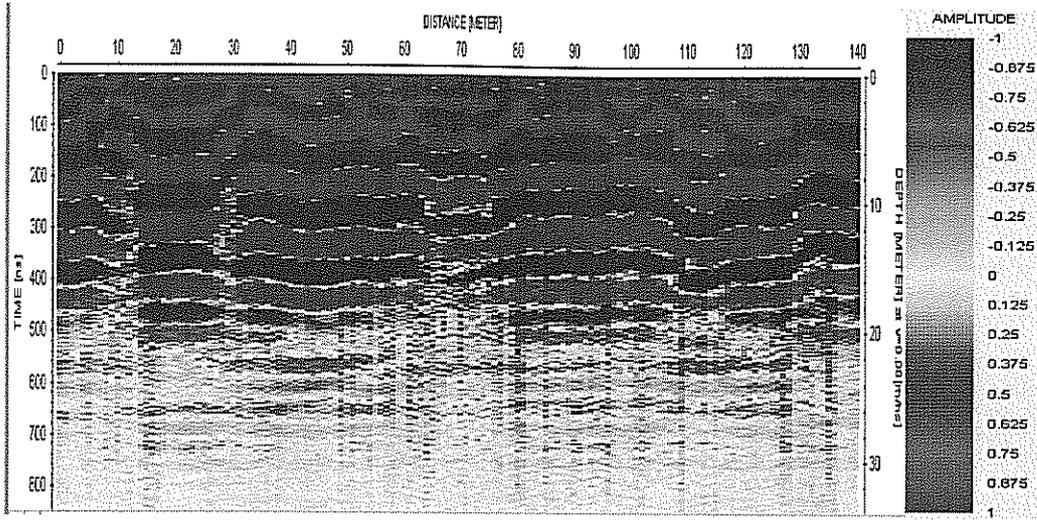
Şekil 48. 100 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hürmat Deresi Profil 1-D radogramı.

25 MHz Anten ile Hürmat Deresi Profil 2:

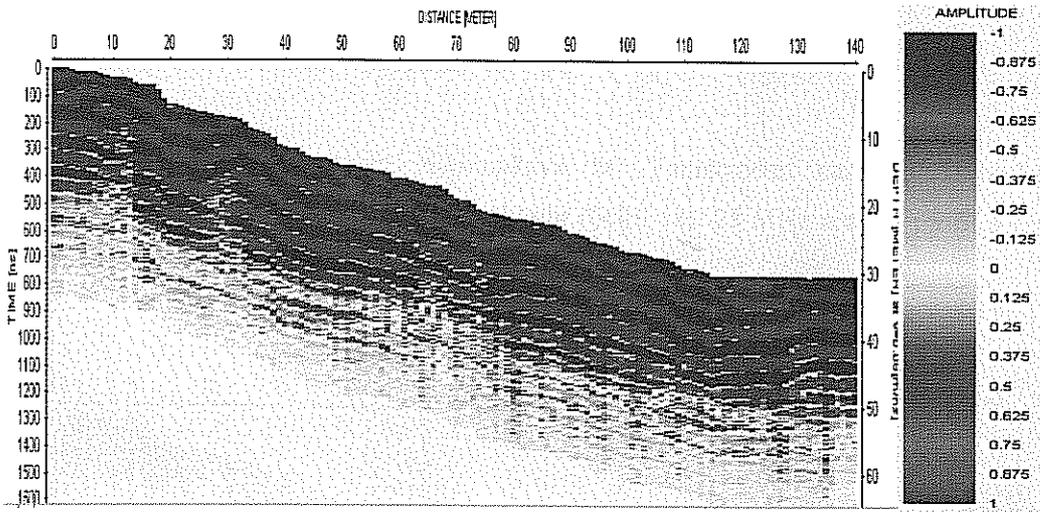
Profil 2, Hürmat Deresi üzerinde deneme ocağına giden yerde yolun sol tarafındaki Höyükli Tepeden başlayıp yola kadar devam etmektedir (Şekil 19). Profil2 'ye ait ölçüm sonuçları Şekiller 49-52 de verilmiştir.



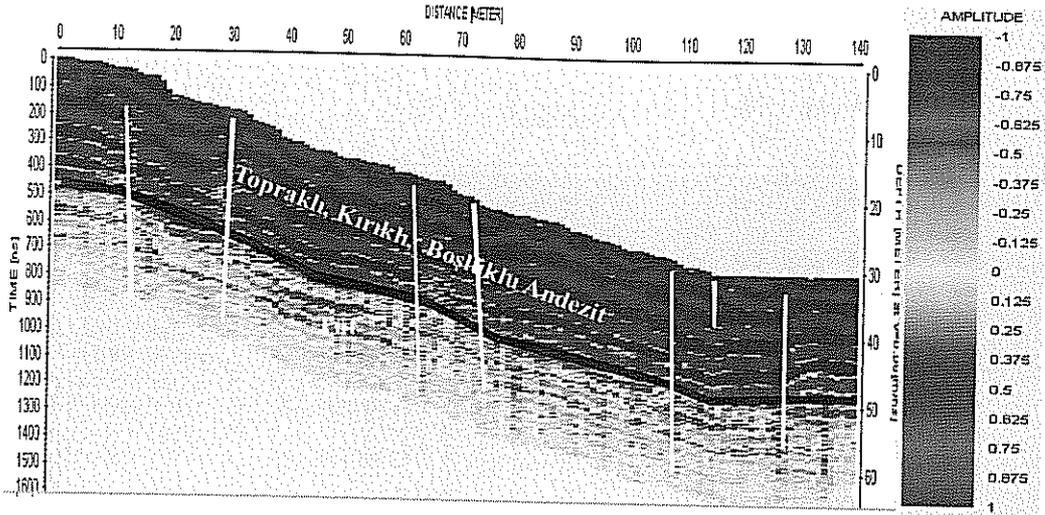
Şekil 49. 25 MHz, topografyası eklenmiş, işlenmemiş Profil 2 radogramı.



Şekil 50. 25 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürmat Deresi Profil 2 radogramı.



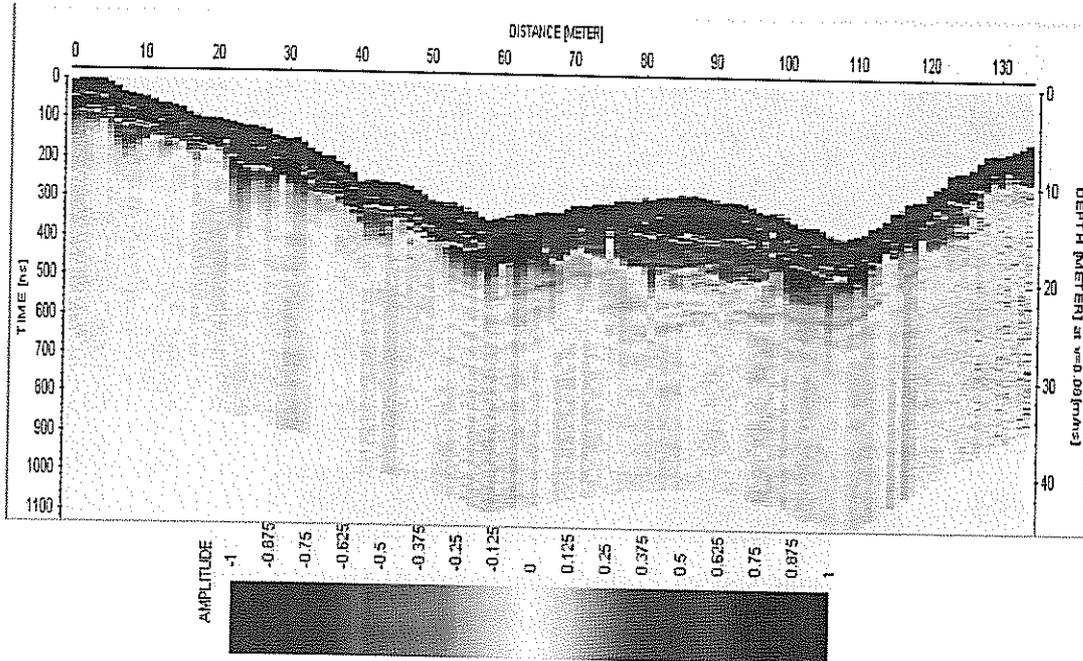
Şekil 51. 25 MHz, işlenmiş Hürmat Deresi Profil 2 radogramının topografyasının eklenmiş hali.



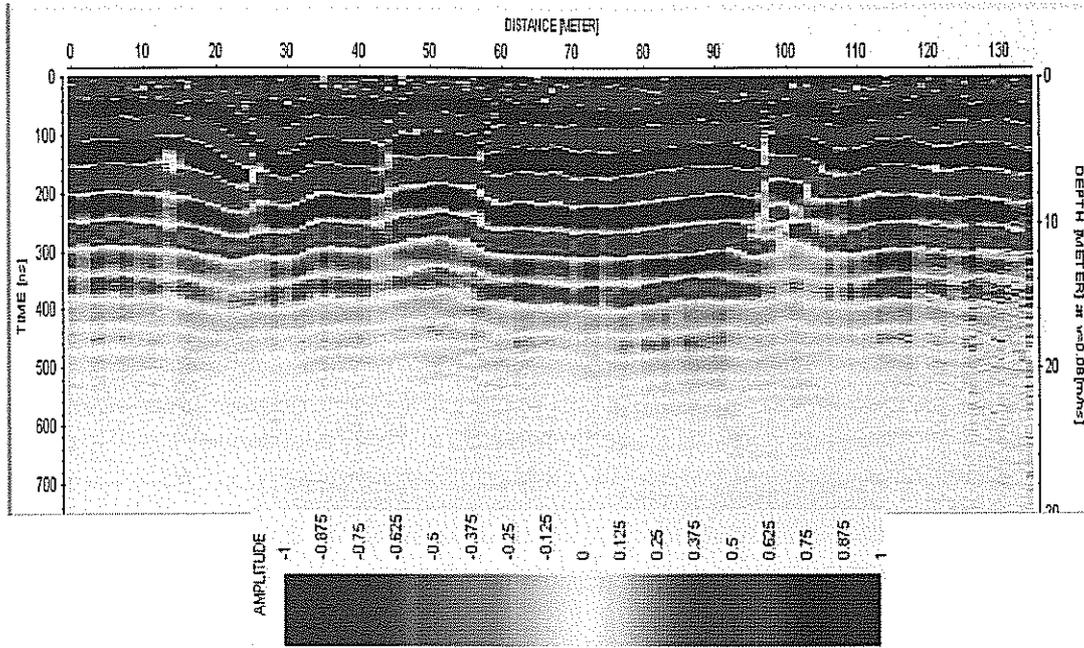
Şekil 52. 25 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Hümat Deresi Profil 2 radagramı.

25 MHz Anten ile Büvez Deresi Profil 3:

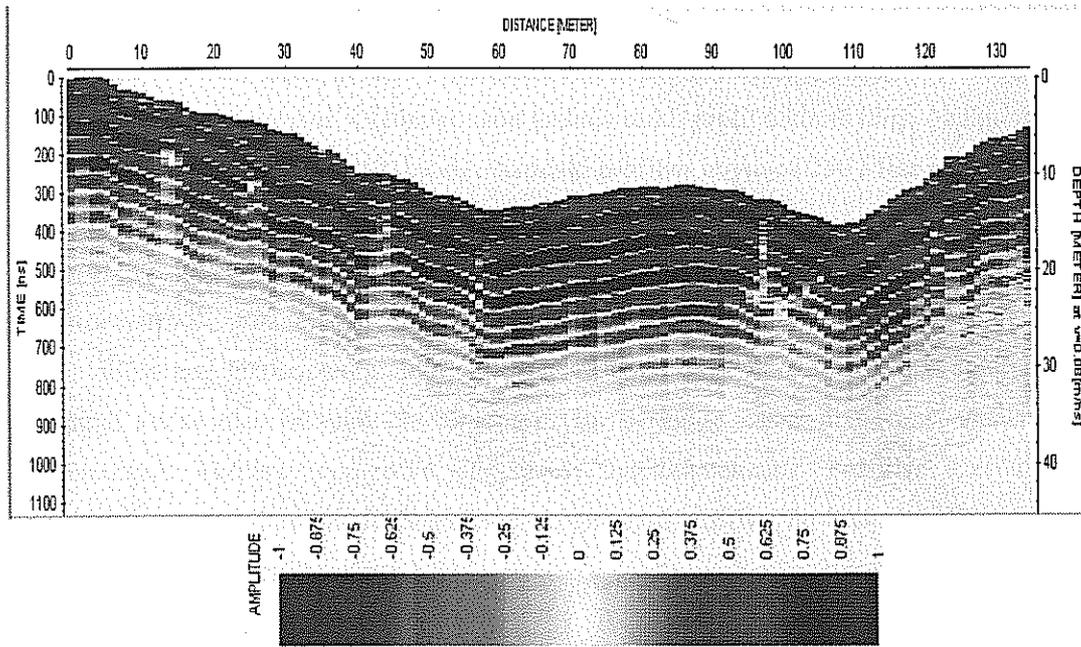
Büvez Deresi üzerinde Nallıncıkaya Sr. Yamacından başlayıp Taşocaklarının bulunduğu tepenin yarısına kadar uzanmaktadır (Şekil 18). 25 MHz antenle profil 3 boyunca alınan ölçümler şekiller 53-56 de verilmiştir.



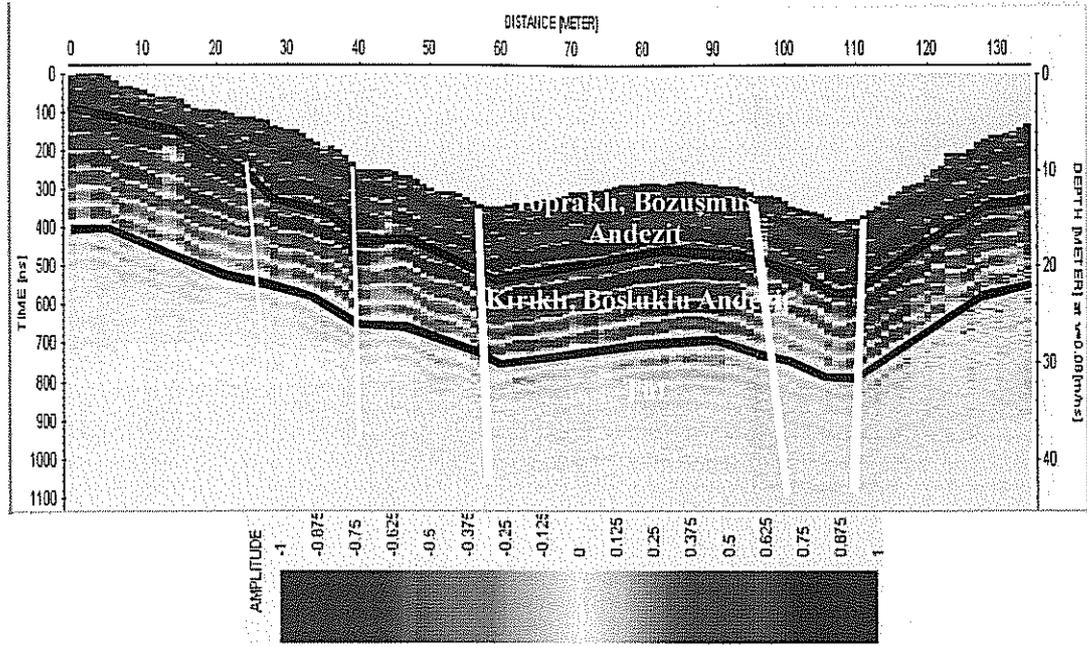
Şekil 53. 25 MHz, topografyası eklenmiş, işlenmemiş Büvez Deresi Profil 3 radagramı.



Şekil 54. 25 MHz, veri-işlem aşamaları tamamlanmış Hürrat Deresi Profil 3 radogramı.



Şekil 55. 25 MHz, işlenmiş Büvez Deresi Profil 3 radogramının topografyasının eklenmiş hali.

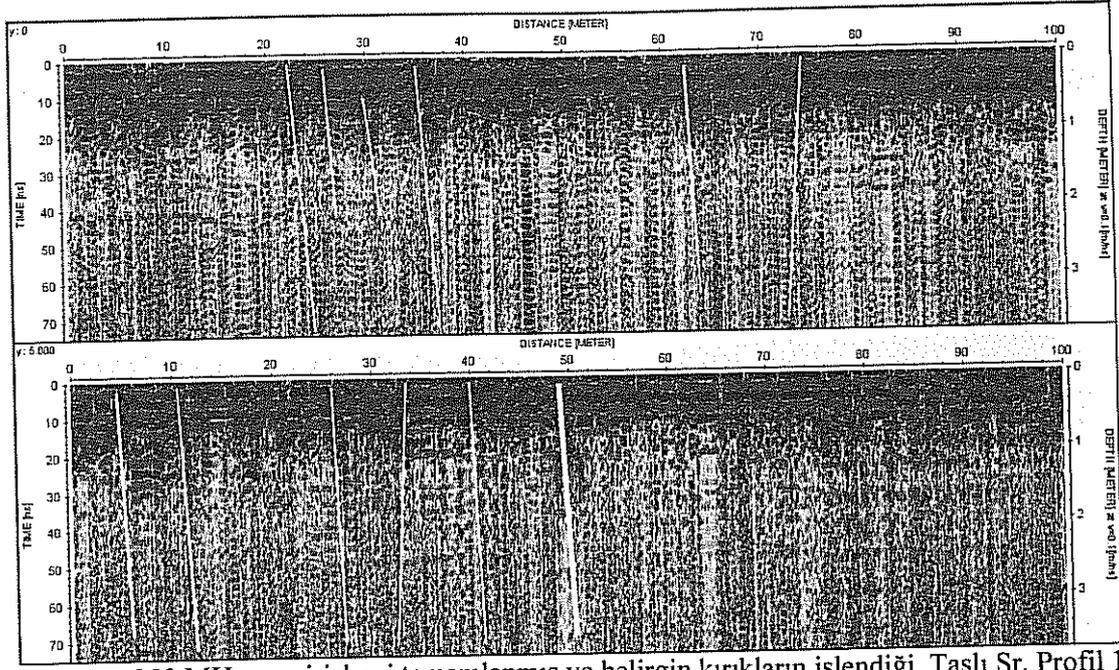


Şekil 56. 25 MHz, tabaka sınırlarının ve belirgin kırıkların işlendiği Büvez Deresi Profil 3 radagramı.

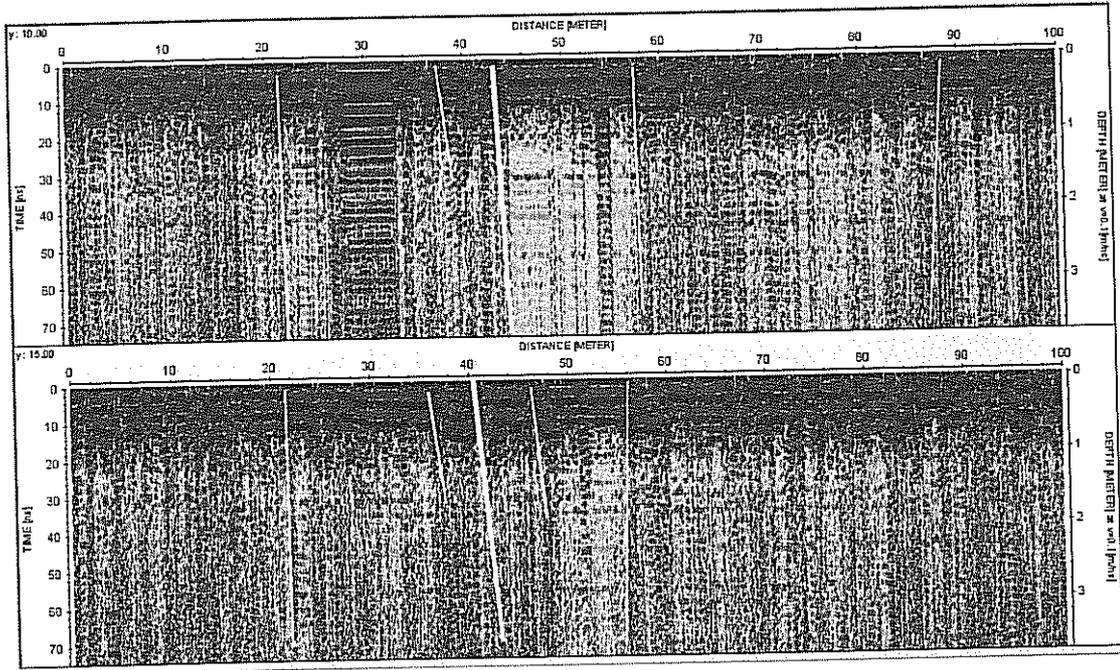
250 MHz Anten ile Taşlı Sr. Profil 4

Sırt üzerinde D-B yönünde (Şekil 22), 100 m uzunluklarında, birbirine paralel, toplam on profil ölçümü alınmıştır. Ölçümler sabit anten aralıklı profil ölçümü olup, ölçüm aralığı 10 cm, toplam zaman penceresi 193 ns dir. Buradaki profiller boyunca 250 MHz antenle yapılmış ölçüm sonuçları şekiller 57-61 da verilmiştir.

Hız analizi sonucu elektromanyetik dalganın ilerleme hızı 0.1 m/ns olarak bulunmuştur. Bu hız ile araştırma derinliği 8.8m olarak belirlenmiştir. Bu derinliğe kadar birim değişmesi gözlenmediği için kırıkları gösterebilmek amacıyla radagramların 3.8 m derinliğe kadar olan bölümü ele alınmıştır. Bu derinliğe kadar bozmuş andezit birimi gözlenmiştir. Verilere topografya düzeltmesi uygulanmamıştır. Profiller üzerinde zayıf kırıklar ve derinlik boyutunda doğrultuları beyaz renk çizgiler ile belirtilmiştir. Etkin kırık daha kalın olarak belirtilmiştir.

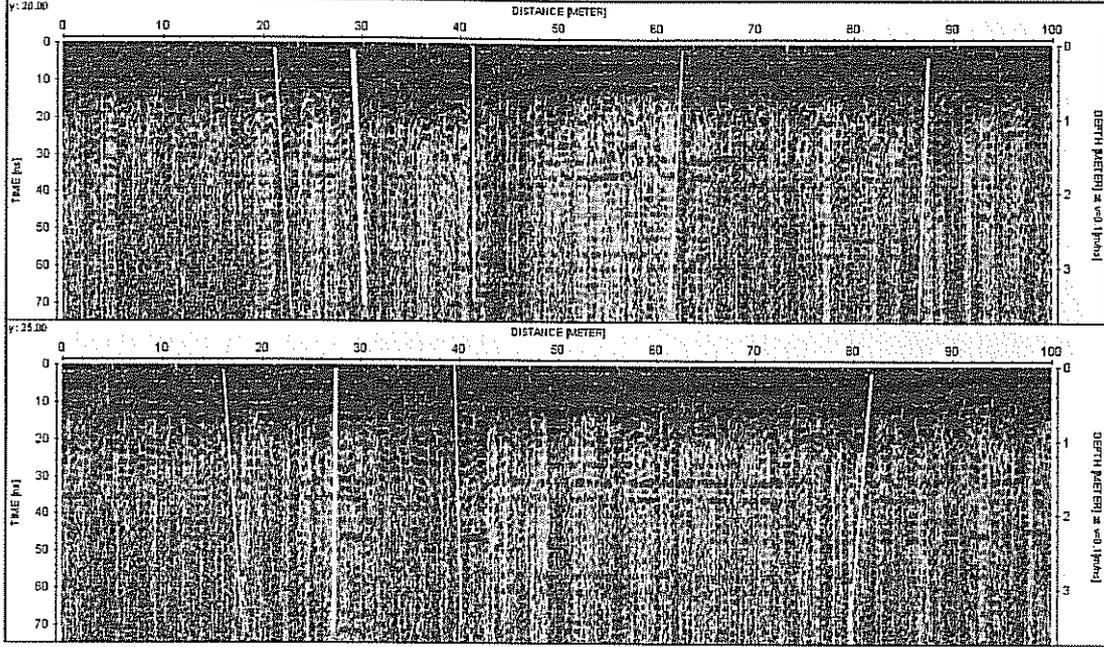


Şekil 57. 250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 1 ve 2 ye ait radagramlar.

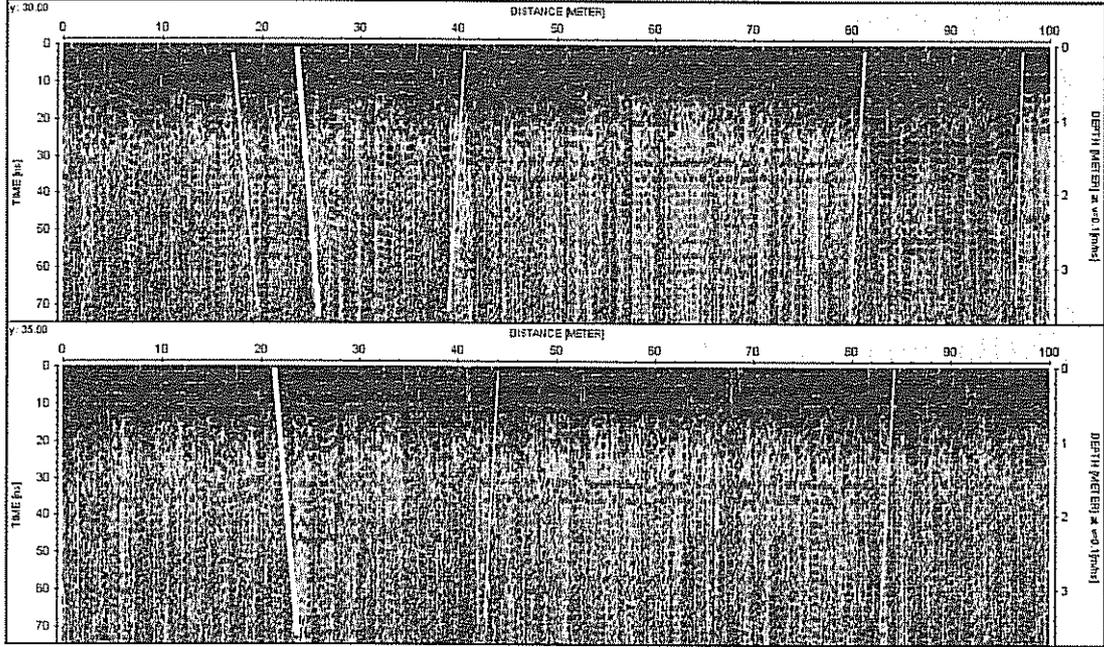


Şekil 58. 250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 3 ve 4 e ait radagramlar.

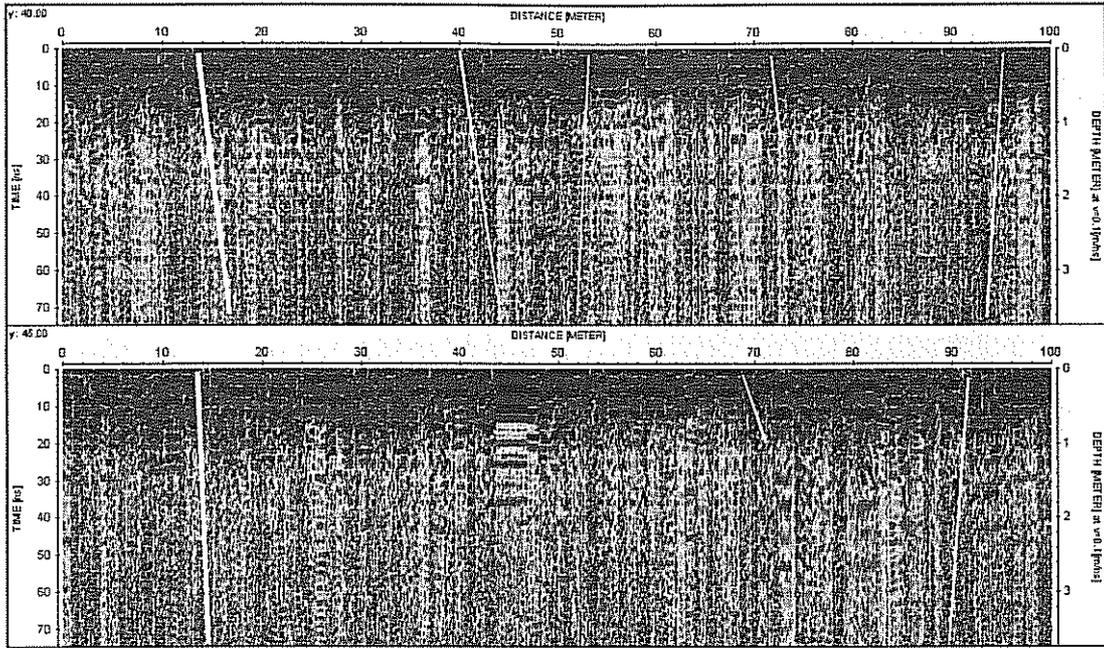
Profillerin hepsinde ortak görüntü; alanın kuru, aşırı kırıklanmış, çok parçalı andezit biriminden oluşmasıdır. Bu nedenle boyu 1m ve daha küçük olan ince kırıklar profiller üzerine işlenmemiştir.



Şekil 59. 250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 5 ve 6 ya ait radagramlar.



Şekil 60. 250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 7 ve 8 e ait radagramlar.

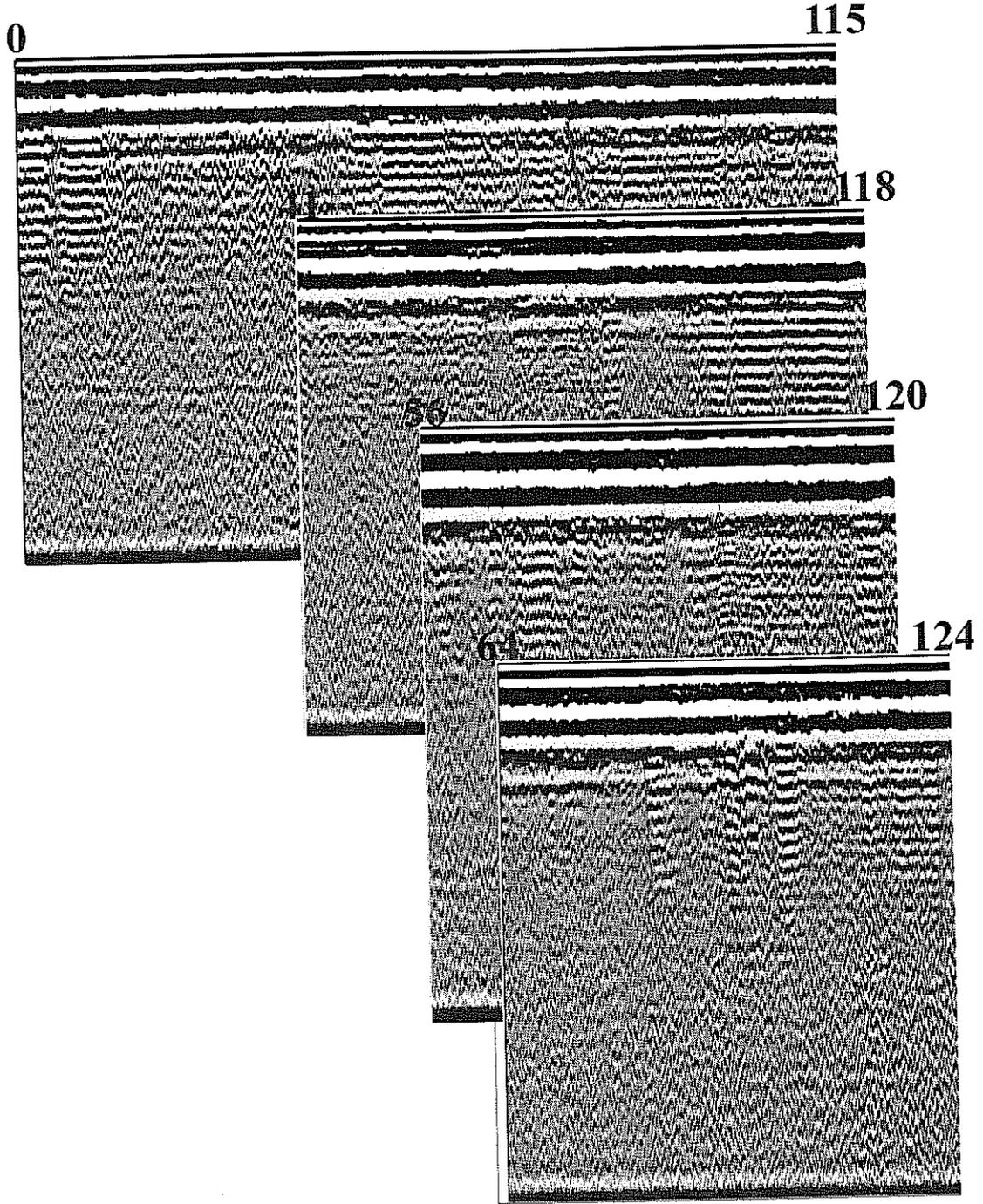


Şekil 61. 250 MHz , veri-işlemi tamamlanmış ve belirgin kırıkların işlendiği, Taşlı Sr. Profil 9 ve 10 a ait radagramlar.

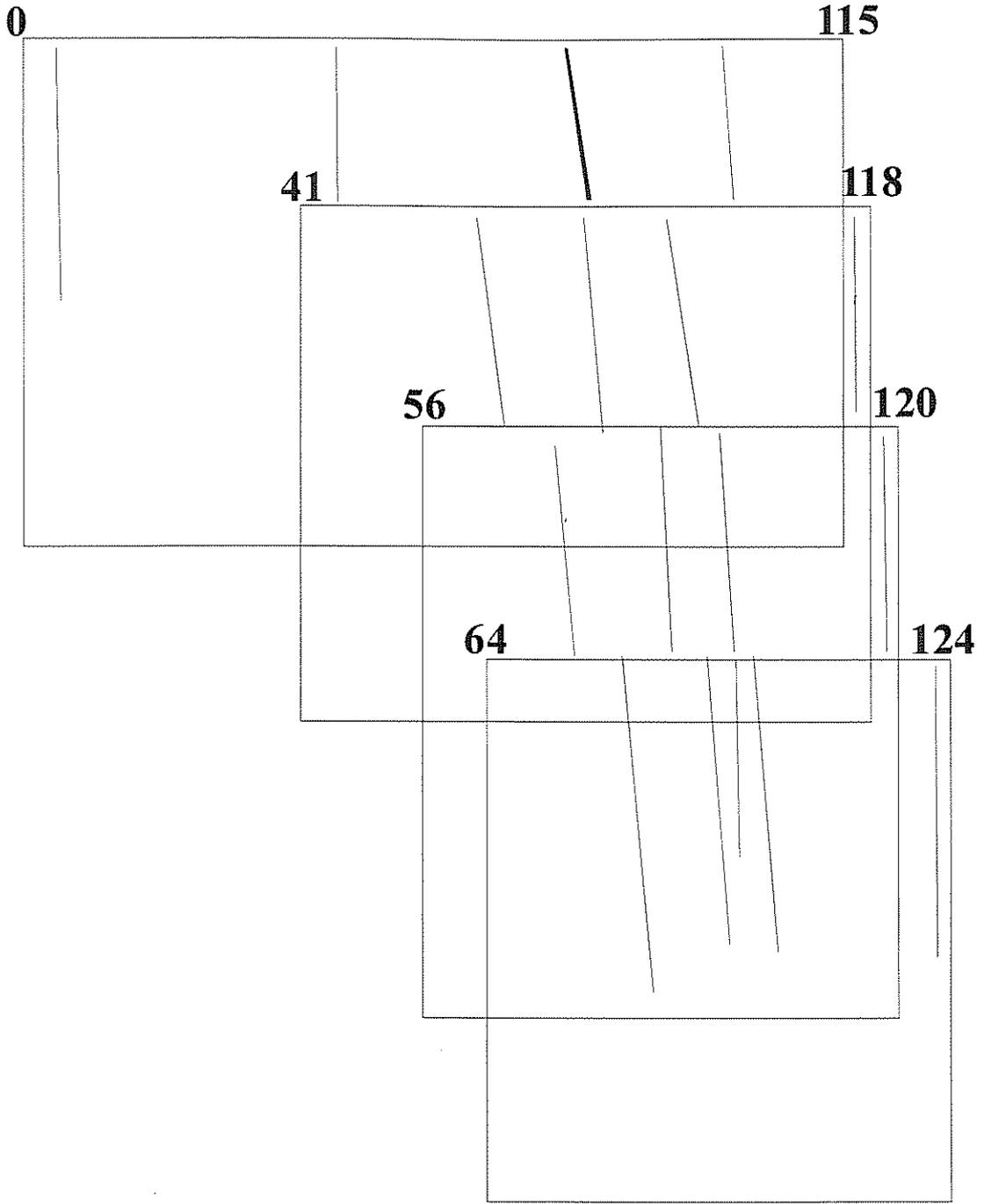
Tüm profiller ortak değerlendirildiğinde, belirlenen zayıf kırıkların çoğu düzenli bir şekilde sola doğru yani harita üzerinde batıya doğru sırt üzerindeki topografyayı destekleyecek şekilde kaymaktadır.

2.3.4.4 Hürmat Deresi 100MHz Radar Profileri Üzerinde Belirlenen Kırıkların Üç Boyutlu (3B) Modellenmesi

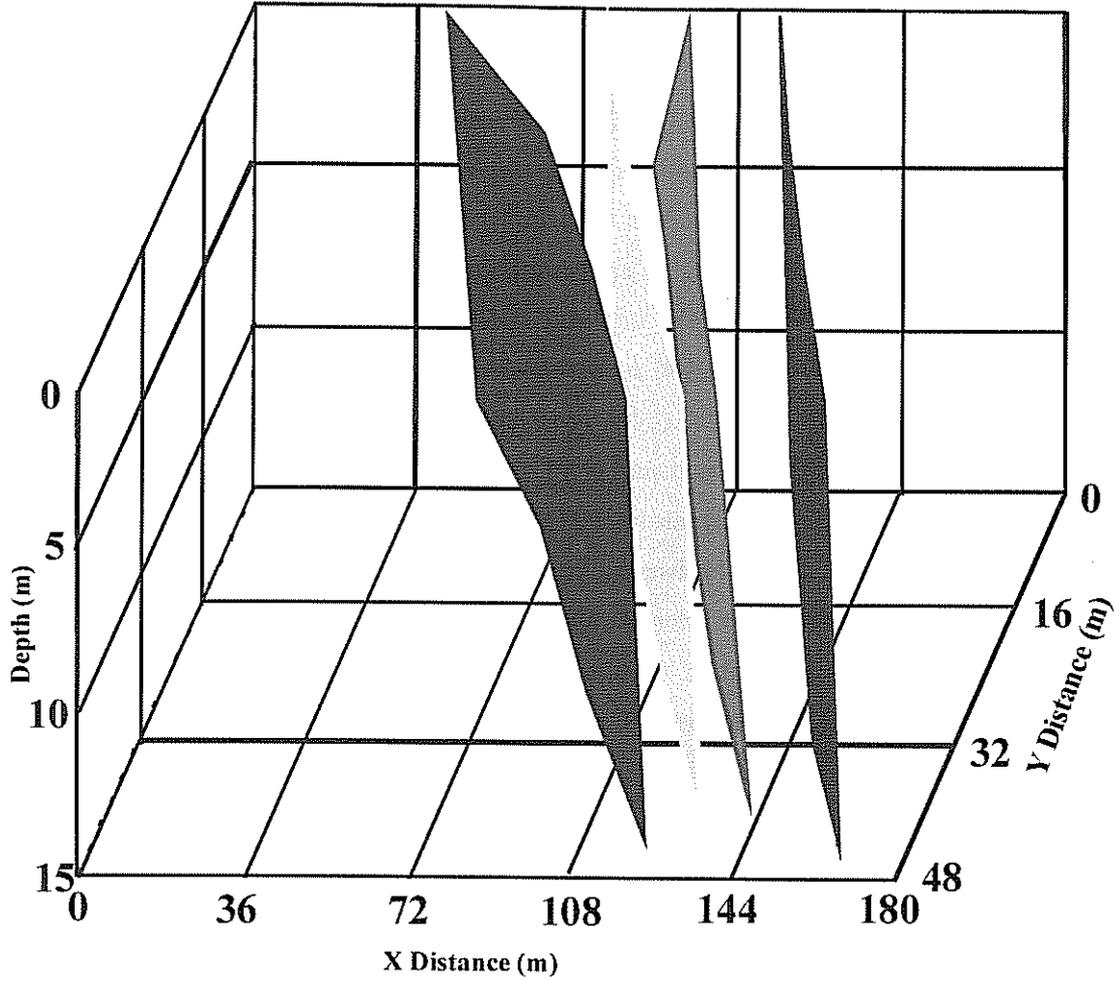
Öncelikle üzerinde kırıkları belirlenmiş radar profilleri birbirlerine göre gerçek konumlarında yerleştirilmiştir (Şekil 62). Kırıkların uzaydaki konumlarının daha iyi anlaşılabilmesi için aynı düzenek içinde profiller kaldırılmıştır (Şekil 63). Her bir profildeki kırıkların devamlılığı, ve uzaydaki konumu X profil yönü doğrultusundaki uzaklık, Y profil artış yönü doğrultusundaki uzaklık ve üçüncü boyut derinlik olmak üzere üç boyutlu blok üzerinde kırık düzlemleri gösterilmiştir (Şekil 64).



Şekil 62. Hürmat Deresi (Profil 1) üzerinde 100MHz kapalı anten ile toplanmış ve işlenmiş ve uzaydaki konumlarına uygun olarak konuşlandırılmış profiller.



Şekil 63. Şekil 60 üzerinde radagramların (radar kesitlerinin) kaldırılmış halı.



Şekil 64. Hürmat Deresi 100 MHz radar profilleri üzerinde belirlenen kırıkların (Şekil 4.39) üç boyutlu görüntüsü.

2.3.5 Hürmat Deresi Kırılma Mikrotremör (ReMi) Çalışması

Sismolojide özellikle uzun periyotlu yüzey dalgaları ve bunların faz hızı, grup hızı ve sönümlenme karakteristikleri vasıtasıyla dünyanın kabuk ve üst manto yapıları incelenebilmektedir (Aki and Richards, 1980). Uygulamalı jeofizikte yeraltının dinamik özelliklerini belirlemek için yakın yüzey P ve S dalgası hız değişiminden yararlanılmaktadır. Dinamik özelliklerin belirlenmesinde özellikle S (makaslama) dalgası değeri önem kazanmaktadır (Kramer, 1996).

Yeryüzünde deprem olmaksızın meydana gelen serbest salınımlar titreşimcik (mikrotremör) olarak adlandırılır. Titreşimciklerin genlikleri genellikle çok küçüktür.

Yerdeğiştirmeler 10^{-4} ile 10^{-2} mm arasında değişir (Okada, 2003). Titreşimciklerin periyotları ise 0.05-2 s arasında değişir.

ReMi yönteminde ise bu gürültü (titreşimcik) kayıtlarının kullanılması ile yer altının 100 m derinliğe kadar 1-B S dalga hızının belirlenmesi esasına dayanır (Louie, 2001). Yöntemin esasını sismolojide yüzey dalgası olarak tanımlanan Rayleigh dalgasının dispersiyon özelliği ve uzun dalga boylarının kısa dalga boylarına göre daha derine nüfuz etmesi ilkesi oluşturur (Xia et al., 1999; Lay and Wallace, 1995). Dispersiyon Rayleigh dalgası faz hızlarının frekansın bir fonksiyonu olarak değişim göstermesi durumudur. Frekans arttıkça faz hızı azalmaktadır (Lay and Wallace, 1995). Yüksek frekanslı alıcılar görece daha kısa profillerde ve daha sığ araştırmalarda buna karşın düşük frekanslı alıcılar görece daha uzun profillerde ve daha derin araştırmalarda kullanılırlar (Rucker, 2003).

Bu yöntemde arazide ölçü alma işlemi geleneksel sismik kırılma ekipmanları olan düşey salınlı alıcılar (jeofonlar) ve 12-24 kanallı sismik kayıt cihazı kullanılarak geręekleřtirilir. Açımda her bir alıcı arası mesafe 8-20 m arasında olmakla birlikte 8 Hz frekanslı alıcılar kullanılarak 200 m' lik profille 100 m derinliğe etkili bir şekilde inilebilir (Louie, 2001).

ReMi yönteminde veri-işleme iki temel aşamadan oluşmaktadır. Birincisi spektral hız analizi, ikincisi ise Rayleigh faz hızı dispersiyon işaretlemesidir. Yöntemin son işleminde ise araziden elde edilen dispersiyon eğrisiyle kuramsal olarak hesaplanan dispersiyon eğrisi karşılaştırılarak yeraltının derinliğe göre 1-Boyutlu S dalgası hız yapısı elde edilir (Pullammanappallil et al., 2003). Spektral hız analizinin temelini aşağıda verilen p-tau (p- τ) dönüşümü oluşturur. Bu dönüşüm genlik bilgisiyle beraber uzaklık-zaman ortamındaki çoklu sismogramdan oluşan sismik kaydı, yine genlik bilgisiyle beraber işın parametresi p (görünür hızın tersi; slowness) ve kesme zaman tau ortamına aktarır (Louie, 2001). p-tau (p- τ) dönüşümü, uzaklık-zaman ortamındaki sismik kesitin verilen bir eğim p_0 ve kesme zaman τ_0 için bütün genliklerin toplamını iğerir ve (p_0, τ_0) noktasına karşılık gelen değerlerin toplamını p- τ ortamında gösterir (Robinson, 1983). p-tau (p- τ) dönüşümü $A(x,t)$ sismik kaydı ve x mesafe, t zamanı göstermek üzere basit çizgi entegralidir (Louie, 2001).

$$A(p, \tau) = \int_x A(x, t = \tau + p.x) dx$$

Burada doğrunun eğimi olan $p = dt/dx$ x yönündeki görünür hızın tersini gösterir ve yavaşlık olarak adlandırılır. Uygulamada, x değerleri dx aralıkları ile n adet değişken

değerine ayrıklaştırılır ve herhangi bir değişken değeri $x = j \cdot dx$ olarak gösterilir. Aynen bunun gibi zaman değerleri de $t = i \cdot dt$ olarak ayrıklaştırılır ve dt değerleri genellikle 0.001 ile 0.01 s aralığında bir değer alır. Böylelikle ayrık p - τ dönüşümü negatif ve pozitif $p = p_0 + l \cdot dp$ değerleri ve $tau = k \cdot dt$ için

$$A(p = p_0 + l \cdot dp, tau = k \cdot dt) = \sum_{j=0, n-1} A(x = j \cdot dx, t = i \cdot dt = tau + p \cdot x)$$

olarak verilir. Burada, $p_0 = -p_{max} \cdot p_{max}$ ve p_{max} değeri bulunacak olan minimum hızın tersini gösterir. p_{max} değeri genellikle 200 m/s ve duruma göre 100 m/s veya daha düşük bir değer kullanılabilir. dp değeri 0.0001-0.0005 s/m aralığında seçilir ve $2 \cdot np$ tane yavaşlık adımında $-p_{max}$ ile p_{max} aralığını kapsayacak şekilde ayarlanır. Bu analiz enerjinin kırılma alıcı profili boyunca her iki yönden geldiği varsayımına dayanır. Hesaplama genlik değerleri örneklenen zaman noktalarının arasına düştüğü zaman doğrusal interpolasyon yapılır.

Bir sonraki adımda ise hesaplanan $A(p, tau)$ içindeki her p - tau izinin tau doğrultusunda ayrık Fourier dönüşümü alınır:

$$F_A(p, f = m \cdot df) = \sum_{k=0, m-1} A(p, tau = k \cdot dt) e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot m \cdot df \cdot k \cdot dt}$$

Güç spektrumu ise $F_A(p, f)$ ile kendisinin karmaşık eşleniği ile çarpımına eşittir.

$$S_A(p, f) = F_A^*(p, f) \cdot F_A(p, f)$$

Burada * simgesi karmaşık eşleniği ifade eder. Güç spektrumu alınmasının nedeni kırılma alıcı profili boyunca düz ve ters yönlerdeki (p - tau) dönüşümlerinin toplamını hesaplamaktır. Böylelikle düz ve ters yönlerdeki toplam enerji $|p|$ eksenine aktarılmış olur ve yavaşlık eksenini $p = 0$ civarında katlanıp toplanmış şekli aşağıdaki gibi verilir :

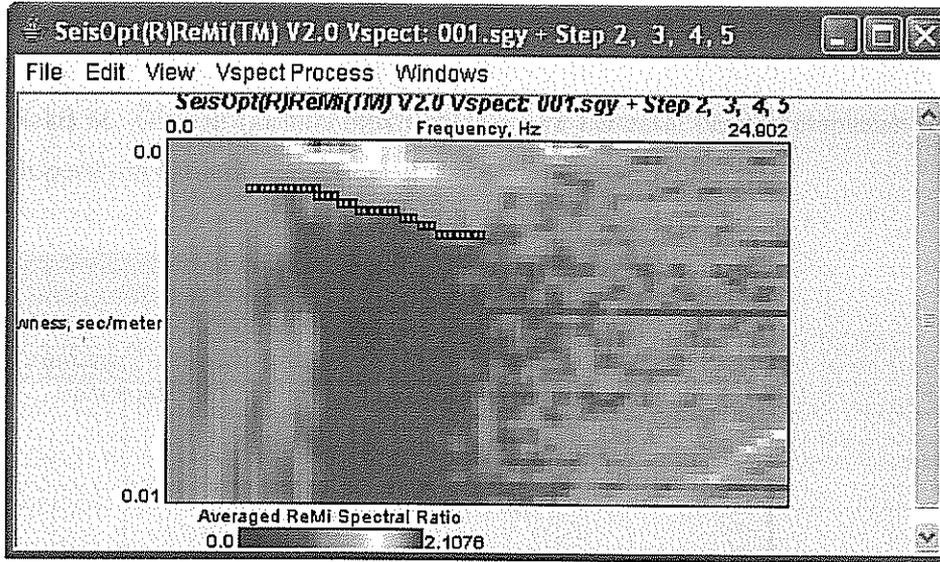
$$S_A(|p|, f) = [S_A(p, f)]_{p \geq 0} + [S_A(-p, f)]_{p < 0}$$

p - tau (p - τ) ve Fourier dönüşümünün ardışık uygulanması ile uzaklık-zaman (x - t) bölgesindeki sismik kayıt p -frekans (p - f) bölgesinde hesaplanmış olur. Burada ışın parametresi p bu kayıtlar için yavaşlığın yatay bileşenidir. Uygulamada birden fazla kayıt alınır ve her bir sismik kaydın p - f spektrumları üst üste toplanır :

$$S_{toplani}(|p|, f) = \sum_n S_{An}(|p|, f)$$

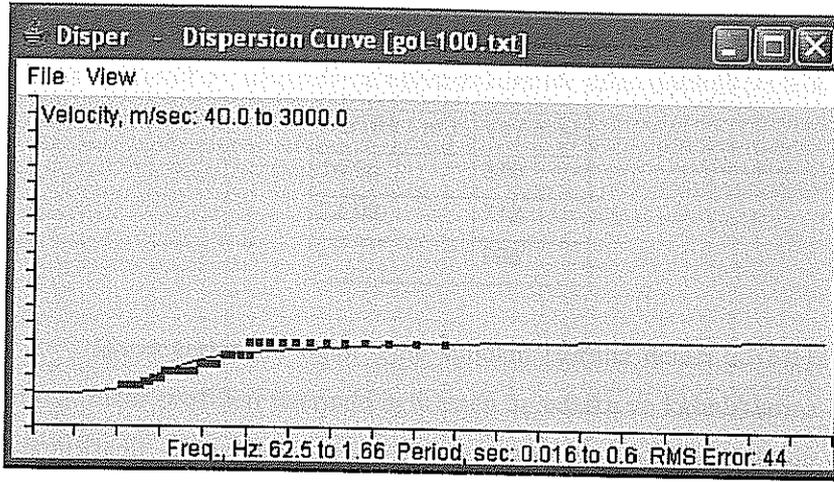
Böylelikle yavaşlık-frekans (p-f) çözümlenmesi bir yere ait bütün sismik kayıtları kullanarak bir adet güç spektrumu üretir ve (p-f) eksenlerine göre çizilir (Louie, 2001).

Arazide ölçü alınırken alıcı (jeofon) aralığı dx=5 m seçilmiş ve profil boyu 115 m olmuştur. Veri örnekleme aralığı dt=2 ms ve kayıt boyu T=32768 ms olarak belirlenmiştir.



Şekil 65. Arazide alınan ReMi kayıtlarından elde edilen p-f (yavaşlık-frekans) düzleminde elde edilen spektral oran haritası. Spektral genliklerdeki yüksek farklılıklar göz önüne alınarak dispersiyon eğrisi belirlenmiştir (içi boş siyah kare kutular).

Şekil 65 de Hürmat deresi Gölbaşında alınan 5 adet ReMi kayıtlarının önce ayrı ayrı hesaplanıp daha sonra birleştirilen güç spektrumu sonucu görülmektedir. Şekil 66 de ise ölçülen (kırmızı renkli noktalar) ve kuramsal olarak hesaplanan (düz mavi çizgi) dispersiyon eğrileri verilmiştir. Şekil 67 de ise kuramsal olarak hesaplanan dispersiyon eğrisine karşılık gelen 1-boyutlu yeraltı S-dalgası hız modeli görülmektedir. Buradaki amaç ölçülen ve kuramsal dispersiyon eğrilerinin mümkün olduğunca çakışmasını sağlamaktır. Ayrıca yeraltına ait derinlik ve S-dalga hızları Tablo 1’ de verilmiştir.



Şekil 66. Ölçülen (kırmızı renkli noktalar) ve kuramsal olarak hesaplanan (düz mavi çizgi) dispersiyon eğrileri.

Disper - Model Profiles

File View

Add Layer Delete Layer

Density, g/cc	Shear Velocity, m/sec
2.0	370.0
14.964370546318289	
2.0	712.0
22.090261282660332	
2.0	986.0
	V30=513.0 NEHRP C

Şekil 67. Kuramsal değerlerden hesaplanan 1-boyutlu S-dalgası hız modeli.

Tablo 1. Kuramsal dispersiyon eğrisine karşılık gelen derinlik ve S-dalgası hız parametreleri.

Derinlik (m)	Vs (m/s)
14.96	370
22.09	712
-	986

Bu değerler ara rapor 2 de sunulan Hürmat deresi 25 MHz ve 100 MHz anten ile alınan radar profilleri üzerinde belirlenen üç tabaka ve kalınlıklarına oldukça yakın bir sonuç vermektedir. Yüzeydeki düşük S dalga hızı radar sonuçlarında da belirtildiği gibi Hürmat deresi bölgesinin gevşek zon olduğunu göstermektedir.

2.4. Otomatik Çizgisellik Haritaları ile El ile Sayısallaştırılan Çizgisellik Haritasının Bütünleştirilmesi

Jeofizik çalışmaları ile karşılaştırılacak olan otomatik oluşturulmuş çizgisellik haritasının belirlenmesi için LINECOMP programı kullanılmıştır. En iyi örtüşmeyi sağlayan otomatik çizgisellik oluşturma parametreleri, deneme yanılma yöntemi ile oluşturulan toplam 29 harita ile, bunlara referans olacak el ile oluşturulan çizgisellik haritasının karşılaştırılması sonucu bulunmuştur. Otomatik oluşturulan çizgisellik haritaları, bunları oluştururken kullanılan eşik değerler, toplam çizgisellik uzunlukları ve toplam çizgisellik sayıları Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Otomatik oluşturulan çizgisellik haritalarının eşik parametreleri, toplam çizgisellik uzunlukları ve toplam çizgisellik sayıları

ÇİZGİSELLİK NO	PARAMETERELER					UZUNLUK (m)	SAYI
	RADI	GTHR	LTHR	FTHR	ATHR		
1	5	20	10	2	20	112195	2883
2	5	20	20	2	20	122827	3056
3	5	20	15	2	20	165649	5404
4	5	20	25	2	20	89641	1901
5	5	30	15	2	20	104321	3312
6	5	30	20	2	20	74361	1887

7	5	40	15	2	20	69366	2265
8	12	40	25	2	20	117572	2368
9	12	20	25	3	20	210940	4418
10	12	20	25	3	30	252699	4846
11	12	20	25	3	40	298381	5468
12	12	30	20	3	30	245697	5235
13	12	30	30	3	20	135713	2415
14	12	30	25	3	20	172840	3520
15	12	30	20	3	20	225425	5213
16	12	40	25	3	20	139668	2776
17	12	50	25	3	20	115504	2256
18	12	40	20	3	20	181198	4101
19	12	50	20	3	20	147397	3271
20	12	40	15	3	20	235470	5986
21	12	50	15	3	20	189130	4692
22	12	60	15	3	20	153974	3752
23	12	60	20	3	20	120410	2589
24	12	60	25	3	20	95778	1833
25	12	100	15	3	20	78245	1807
26	7	20	25	2	20	140652	2496
27	7	30	20	2	20	135568	2736
28	9	30	20	2	20	145870	3410
29	9	30	25	2	20	150876	3258

El ile oluşturulan çizgisellik haritasında toplam 3065 çizgisellik mevcuttur ve toplam boyları 130040 metredir. Otomatik olarak oluşturulan çizgisellik haritalarından, toplam sayısı el ile oluşturulan çizgisellik sayısının \pm %10 aralığında olan lar LINECOMP programı ile detaylı (doğrultu, lokasyon ve uzunluk cinsinden) karşılaştırılmıştır. Bu aralığa giren Tablo 2’de verilen çizgisellik numarası 1, 2, 5, 16, 19, 27, 29 olan çizgisellik haritaları LINECOMP programı ile el ile oluşturulan çizgisellik haritası ile karşılaştırılıp, en iyi örtüşmeyi sağlayan harita belirlenmiştir. Tolerans değeri 1 alınarak yapılan karşılaştırmada, otomatik oluşturulan çizgisellik haritaları örtüşen hücrelerine göre örtüşme yüzdeleri Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3. 1 Tolerans değeri ile el ile oluşturulan çizgisellik haritası ile örtüşen hücre yüzdelere göre otomatik oluşturulan çizgisellik sayıları

Çizgisellik No	Çizgisellik Sayısı	Örtüşmeyen çizgisellik sayısı	Mükemmel örtüşen çizgisellik sayısı	Uzun çizgisellik sayısı	Kısa çizgisellik sayısı	Örtüşmeyen çizgisellik yüzdesi
1	2883	1630	6	1010	237	56,54
2	3056	1703	11	1071	271	55,73
5	3312	2093	10	1056	150	63,19
16	2776	1873	2	855	46	67,47
19	3271	2266	2	936	67	69,28
27	2736	1720	7	920	89	62,87
29	3258	2009	9	1083	157	61,66

Bu sonuçlara göre 2 nolu çizgisellik haritası hem mükemmel örtüşen hem örtüşmeyen çizgisellikler açısından en iyi sonucu vermiştir ve radar profillerinden bulunan süreksizlikler ile karşılaştırmada kullanılacak referans olarak belirlenmiştir.

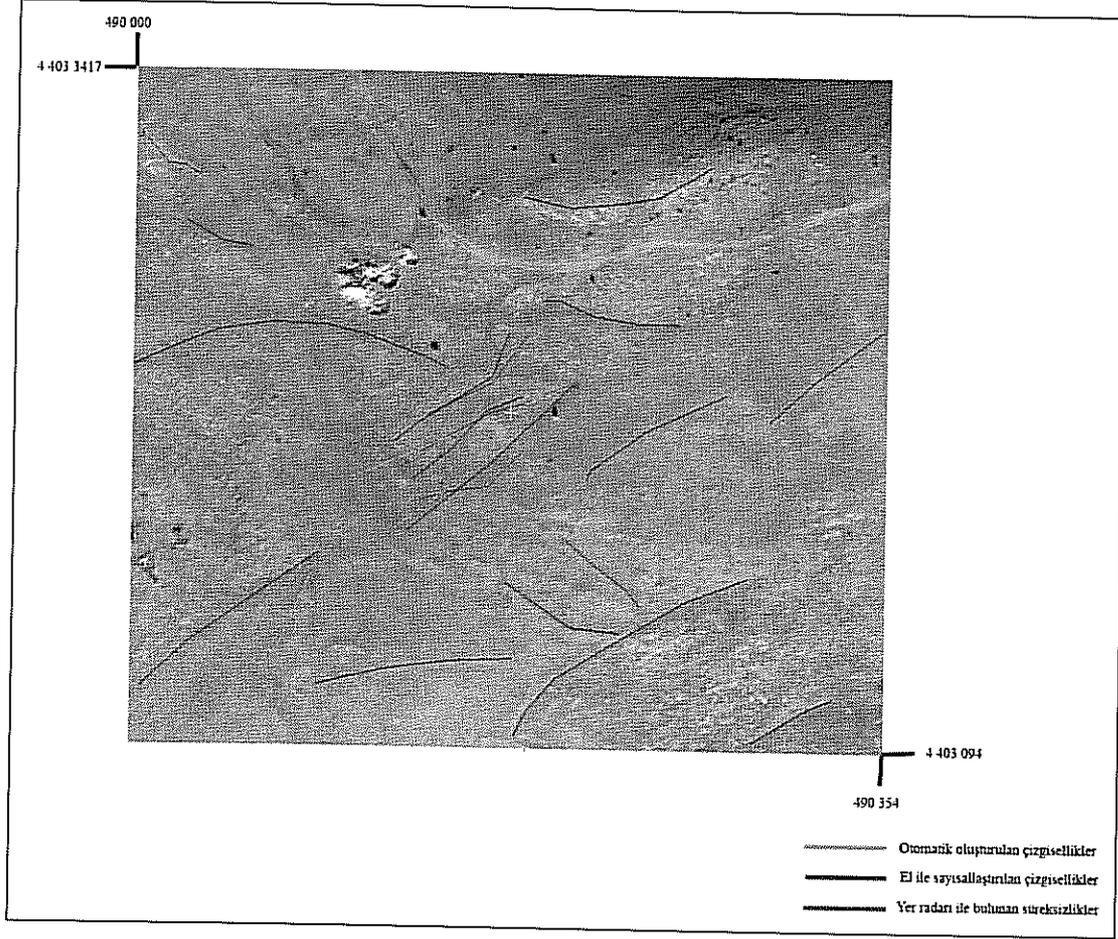
2.5 Jeofizik (GPR) Çalışması ile Belirlenen Süreksizliklerin Otomatik ve El ile Oluşturulan Çizgisellikler ile Karşılaştırılması

Aynı bölgede uzaktan algılama ve GPR yöntemleriyle süreksizlik (çizgisellik) doğrultularının belirlenmesinden sonra yapılması gereken ilk işlem, öncelikle bu iki yöntemle göre bulunan çizgiselliklerin birbirleriyle ne ölçüde örtüştüğünün belirlenmesidir. Doğrultu uyumluluğunun belirlenmesinden sonra ise, GPR ölçümlerine dayanarak süreksizliklerin derinlikle konumlarının (eğim yönü ve eğim açısı) belirlenmesi yapılmıştır.

Her iki yöntemle göre, süreksizlik doğrultu örtüşmesinin belirlenmesinde de yine daha önce geliştirilmiş olan (Otomatik ve elle çizgisellik örtüşme oranlarının belirlenmesinde geliştirilmiş olan) LINECOMP programı kullanılmıştır.

Bu amaçla, Jeofizik (GPR) çalışmaları ile Hürmat deresi bölgesinde belirlenen süreksizliklerle, uzaktan algılama otomatik olarak belirlenen 2 nolu çizgisellik haritası karşılaştırılması örnek olarak açıklanmıştır. Ayrıca doğrusalığın kontrolü amacıyla el ile oluşturulan çizgisellik haritasında buluna çizgisellikler de aynı lokasyonda gösterilmiştir.

Hürmat deresi civarına karşı gelen UA-CBS ve GPR çizgisellikleri Şekil 68'da işaretlenmiştir.



Şekil 68. Hürmat deresi bölgesinde GPR ve UA çizgisellikleri

Karşılaştırma işleminde kullanılmak amacıyla geliştirilen LINECOMP yazılımının özelliklerinden (daha önce ayrıntılı açıklandığı için) burada ayrıca bahsedilmeyecek, sadece bu bölge için yapılan işlemler ve onların özelliklerinden bahsedilecektir.

Seçilen Hürmat deresi alanında oluşturulan matris boyutu 354 x 323 olarak belirlenmiştir. Karşılaştırmada GPR çizgiselliği referans olarak alınmıştır.

Önce, karşılaştırma için oluşturulan matristen LINE ADDRESS modülü ile çizgiselliklerin hücre adresleri belirlenmiştir. İkinci olarak, belirlenen hücre adreslerini kullanarak karşılaştırma yapan LINE COMPARE modülü % 100 örtüşmeyi sağlayacak tolerans değerini bulana kadar tekrarlanmıştır. Böylelikle otomatik oluşturulan çizgisellik haritasındaki çizgisellikler ile radar uygulamalarından elde edilen verilerle CBS ortamında oluşturulan çizgiselliklerin ne kadar farklılık gösterdiği belirlenmiştir. LINE COMPARE

modülü ile değişik tolerans değerleri ile yapılan karşılaştırmaların sonuçları Tablo 4-8 de verilmiştir.

Tablo 4. Otomatik Oluşturulan izgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 0 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları

Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referans Haritadaki izgisellik No	rtşen Hücre Sayısı	rtşen Hücre Yüzdesi
3	64	2	2	3
4	54	3	1	2
5	59	4	2	3

Tablo 5. Otomatik Oluşturulan izgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 1 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları

Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referans Haritadaki izgisellik No	rtşen Hücre Sayısı	rtşen Hücre Yüzdesi
3	64	2	13	20
4	54	3	21	39
5	59	4	15	25

Tablo 6. Otomatik Oluşturulan izgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 2 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları

Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referans Haritadaki izgisellik No	rtşen Hücre Sayısı	rtşen Hücre Yüzdesi
3	64	2	26	41
4	54	3	36	67
5	59	4	27	46

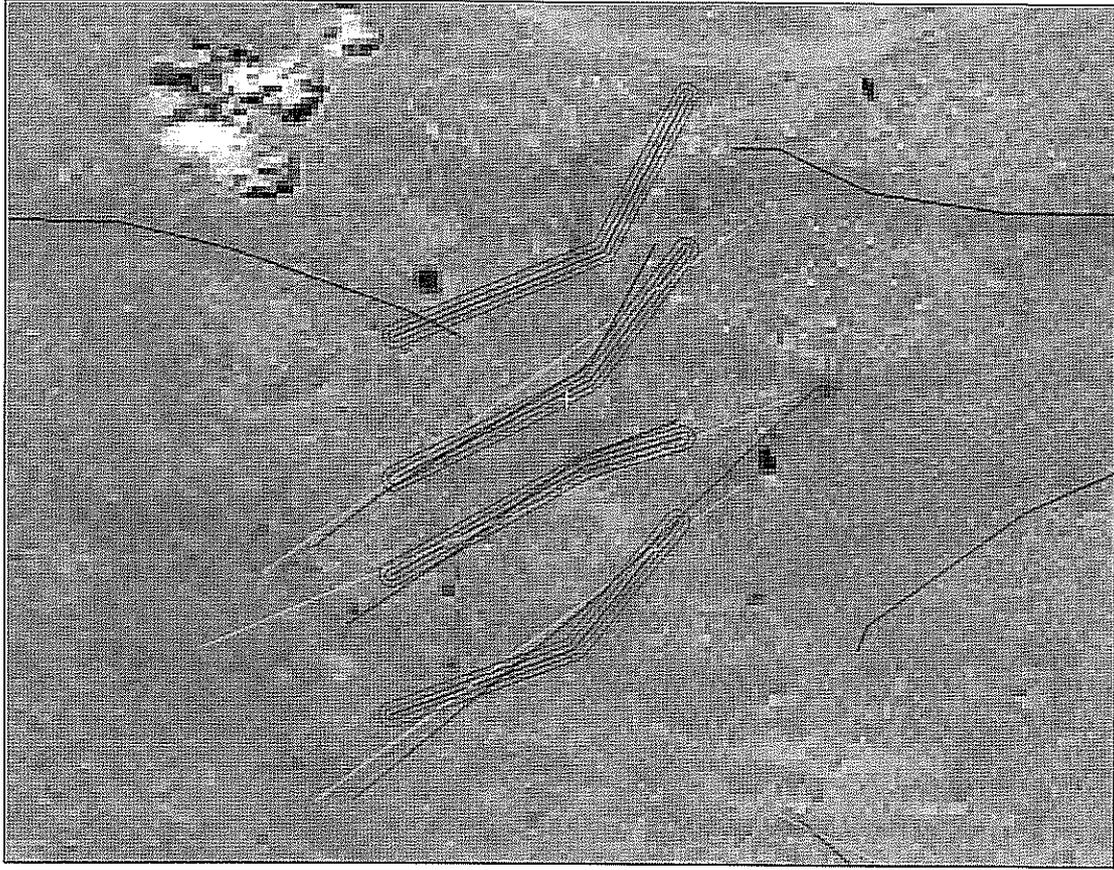
Tablo 7. Otomatik Oluşturulan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 3 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları

Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referans Haritadaki Çizgisellik No	Örtüşen Hücre Sayısı	Örtüşen Hücre Yüzdesi
3	64	2	36	56
4	54	3	54	100
5	59	4	38	64

Tablo 8. Otomatik Oluşturulan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 4 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları

Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referans Haritadaki Çizgisellik No	Örtüşen Hücre Sayısı	Örtüşen Hücre Yüzdesi
3	64	2	51	80
4	54	3	54	100
5	59	4	49	83

Yukarıdaki tablolardan da anlaşılacağı üzere, tolerans değer sıfırken yapılan karşılaştırmada örtüşen hücre yüzdeleri yüzde 3 civarı çıkmıştır. Tolerans değeri artırılınca (yükseltince), referans haritadaki (yer radarı ile bulunan) çizgisellikleri oluşturan hücrelerin etrafındaki alanı da artırdığı ve tolerans değeri kadar hücreyede referans çizgiselliği özelliği atandığı için, tolerans değer arttırıldıkça örtüşme yüzdesi de artmaktadır. Tolerans değerleri 1 ve 2 için karşılaştırılan alanlar şekil 69 de verilmiştir.



Şekil 69. 1 ve 2 Toerans Değer ile yapılan karşılaştırmanın temsili şekli

Aynı şekilde, radar profillerinden elde edilen çizgisellikler ile el ile sayısallaştırılan çizgisellik haritası da karşılaştırılmıştır. Otomatik çizgisellik haritasına referans olarak kullanılan el ile sayısallaştırılan çizgisellik haritasında 4 tolerans değeri ile daha iyi bir örtüşme sağlanmıştır. Örtüşme sonuçları Tablo 9 da verilmiştir.

Tablo 9. El ile sayısallaştırılan Çizgisellik Haritasının Radar Uygulaması ile Bulunan Süreksizliklerle 4 Tolerans Değeri ile karşılaştırma sonuçları

Çizgisellik No	Hücre Sayısı	Referans Haritadaki Çizgisellik No	Örtüşen Hücre Sayısı	Örtüşen Hücre Yüzdesi
6	64	2	56	88
8	54	3	54	100
10	59	4	50	85

2.6 Kaya Süreksizliklerinin Uzaktan Algılama ve Yer Radarı ile Karakterizasyonu için Geliştirilen Metodoloji

Kaya süreksizliklerinin uzaktan algılama ve yer radarı ile karakterizasyonu için bir metodoloji geliştirilmiştir. Akım şeması Şekil 70'da verilen bu metodolojinin temel özellikleri şunlardır:

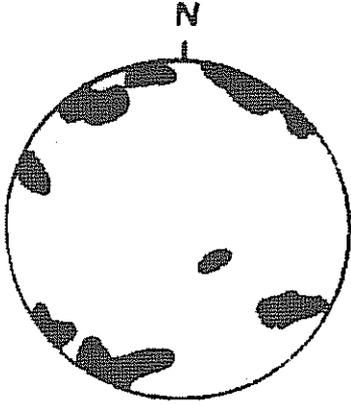
1. Uzaktan algılama (1 metre hassasiyeti olan IKONOS uydu görüntüsünün PCI Geomatica v.8.2 yazılım programı kullanarak) yöntemleri ile değişik çizgisellik parametreleri ile çizgisellik haritası oluşturulması
2. Oluşturulan çizgisellik haritasının doğruluğunu belirlemek amacıyla ya arazinin daha önceden hazırlanan yapısal jelojik haritasından yararlanılır veya bu çalışmada olduğu gibi, yaygın olarak kullanılan ve yönlü filitreler yardımıyla bulunan "el ile sayısallaştırılarak oluşturulan çizgiselleik haritalarından" yararlanılır.
3. Bu karşılaştırma işlemi için Java ortamında geliştirilmiş LINE COMP isimli yazılım kullanılmıştır.
4. Referans haritası karşılaştırması sonrası doğruluğu belirlenmiş çizgisellik haritasının, arazide (yerinde) doğrudan süreksizlik ölçümleri ile kontrol edilmesi. Bunun için ya klasik pusula ve/veya mostra fotoğraflanması yöntemleri kullanılabilir.
5. Diğer taraftan, Yer radarı (GPR) ile profil boyunca ve paralel profillerle derinliğe göre süreksizlik ölçümleri yapılır.
6. Paralel profil ölçümleri üç boyutlu programlanarak süreksizlikleri hem doğrultu (çizgisellik) hemde eğim yönü ve eğim açısı cinsinden belirlenir.
7. GPR ölçümleriyle belirlenen büyük boyutlu süreksizliklerin bir başka jeofizik yöntemi ile, örneğin, sismik yöntemle doğruluğu araştırılır.
8. Son aşamada, jeofizik (GPR) yöntemiyle doğruluğu belirlenen çizgiselliklerle UA-CBS ile belirlenen çizgiselliklerin karşılaştırması yapılır. Bu karşılaştırma işlemi için yine geliştirilmiş olan LINE COMP yazılımı kullanılır.
9. Bu şekilde süreksizliklerin doğrultuları UA ve GPR ile belirlenmiş olur.
10. Süreksizliklerin derinliklerdeki konumları (eğim yönü ve eğim açısı) GPR ile belirlenir.

2.7 Arazide Model Doğrulama (Arazi Çalışması)

Uydudan alınan görüntülerden elde edilen süreksizlik doğrultularının doğrulukları çalışılan arazide bulunan mostra ve taşocağı aynalarında yapılan ölçümlerle de kontrol edilmiştir.

Arazide klasik yöntemle (pusula) yapılan süreksizlik ölçümlerinden elde edilen süreksizliklerin doğrultuları Şekil 71 de görüldüğü gibi D-B, K 70° D ve K 50° D olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar hem el ile sayısallaştırılan hem de otomatik olarak oluşturulan çizgisellik haritaları sonucu bulunan ve gül diyagramlarında gösterilen süreksizliklerle uyum içindedir. Üçüncü olarak belirlenen K 50° D süreksizliğinin uydudan alınan ve Şekil 5 de gösterilen K 40° D ile aynı süreksizlik sistemi olduğu yorumu yapılmıştır.

Yer radarı çalışmalarında bir ana süreksizliğin doğrultusu K 56° ± 3° D, eğim açısı ve yönü 80° KB olarak belirlenmiştir. Buradan görüldüğü gibi tesbit edilen bu ana süreksizlik arazi çalışmalarından elde edilen üçüncü set ile uyum içindedir.



Şekil 71. Arazi çalışmasında belirlenen süreksizlik sistemlerinin kutupsal dağılımı

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TUBİTAK YDABAG tarafından desteklenmiş olan bu proje kapsamında, kaya süreksizliklerinin uzaktan algılama ve yer radarı ile karakterizasyonu için bir metodoloji geliştirilmiştir. Metodolojinin geliştirilmesi için Ankara Gölbaşı civarı taş ocakları seçilmiştir. Uzaktan algılama verileri, 1 metre hassasiyeti olan IKONOS uydu görüntüsünden alınmıştır. Veriler, PCI geomatica yazılım programı kullanarak çizgiselliğe çevirilmiş ve çizgisellik haritası oluşturulmuştur. Çizgisellik haritasındaki süreksizlik olmayan çizgiselliklerin ayıklanması için yaygın olarak kullanılan yönlü filtre yardımıyla bulunan el

ile oluşturulan çizgisellik haritasından yararlanılmıştır. İki haritanın karşılaştırılması amacıyla LINECOMP yazılımı geliştirilmiştir. Bu karşılaştırma sonrası iki haritanın % ... lerde uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, arazide bizzat süreksizlik ölçümleriyle de süreksizliklerin doğrultuları control edilmiştir.

Diğer taraftan, seçilen bölgede Yer radarı(GPR) ölçümleri de yapılarak belirlenen süreksizlikler karşılaştırılmış ve büyük ölçüde (% ...) birbiri ile uyumlu bulunmuştur.

Dolayısıyla her iki yöntemle göre belirlenen süreksizlikler birbiri ile uyumlu bulunmuştur. Bundan sonraki aşamada bu süreksizliklerin derinlerdeki konumları da bilineceğinden, ileriye dönük maden, jeoteknik vb. mühendislikleri için planlama yapma olanağı doğacaktır.

Bu çalışmada önerilen metodolojinin, bundan sonra burada veya başka bölgelerde, daha da gelişmiş alet ölçümleriyle de desteklenerek, geliştirilmesi gereklidir.

4. KAYNAKLAR

- Aki, K., and Richards, P.G.,** *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, W.H. Freeman and Company, San Francisco, (1980) 932 p.
- Aldaş, G.U., Kadioğlu, S., Ulugergerli, E.U.,** The usage of ground penetrating radar (GPR) in designing blast pattern, *Rock Mechanics and Rock Engineering (Basımda)*, (2005).
- Aldaş, G.U., Kadioğlu, S., Ulugergerli, E.U.,** The Effects of Concealed Discontinuities in Blast Design Pattern, 4th Int'l Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists, St. Petersburg-RUSSIA, Abstracts, (2004), p. 6-7.
- Annan, A.P., 2000.** Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Sensors and Software Inc., Canada, (2000).
- Aspiron, U. and Aigner, T.,** Towards realistic aquifer models: Three dimensional georadar surveys of Quaternary gravel deltas (Singen Basin, SW Germany), *Sedimentary Geology*, 129, 281-297, (1999).
- Bano, M., Marquis, G., Niviere, B., Maurin, J.C., Cushing, M.,** Investigating alluvial and tectonic features with ground penetrating radar and analyzing diffractions patterns, *Journal of Applied Geophysics*, 43, 3-41, (2000).
- Benson, A. K.,** Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: Examples of groundwater contaminants, faults, cavities, *Journal of Applied Geophysics*, 33, 177-193, (1995).

- Cardelli, E., Marrone, C. And Orlando, L.,** Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods, *Journal of Applied Geophysics*, 52, 93-102, (2003).
- Cezar, G.S., Rocha, P. L. F., Baurque, A., Costa, A.,** Two Brezilian archeological sites investigated br GPR: Serrano and Morro Grande, *Journal of Applied Geophysics*, 47, 227-240, (2001).
- Changryol, K., Daniels, J. J., Guy, E., Radzevicius, S. J., and Holt, J.,** Residual hydrocarbons in a water-saturated medium: A detection strategy using ground penetrating radar, *Environmental Geosciences*, 7, 4, 169-176, (2000).
- Daniels, J.J.,** Fundamentals of ground penetrating radar, Proceedings of SAGEEP, Golden, Colorado, (1989).
- Dannowski, G., Yaramanci, U.,** Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectric measurements, *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 4, 71-85, (1999).
- Davis, J.L., Annan, A.P.,** Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy, *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551, (1989).
- Dérobert, X., Abraham, O.,** GPR and seismic imaging in a gypsum quarry, *Journal of Applied Geophysics*, 45, 157-169, (2000).
- Grandjean, G., Gourry, J.C.,** GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece), *Journal of Applied Geophysics*, 36, 19-30, (1996).
- Grasmueck, M.,** 3-D ground penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, *Geophysics*, 61, No.4, 1050-1064, (1996).
- Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., Baldwin, J.,** Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit, *Tectonophysics*, 368, 7-23, (2003).
- Hammon III, W., McMechan, G. A., Zeng, X.,** Forensic GPR: Finite difference simulations of responses from buried human remains, *Journal of Applied Geophysics*, 45, 171-186, (2000).
- Harrari, Z.,** Ground penetrating radar (GPR) for imaging stratigrafic features and groundwater in sand dunes, *Journal of Applied Geophysics*, 36, 43-52, (1996).
- Hruska, J., Fuchs, G.,** GRP prospection in ancient Ephesos, *Journal of Applied Geophysics*, 41, 293-312, (1999).
- Kadioğlu, S. and Daniels, J. J.,** A Hybrid 2D/3D Ground Penetrating Radar (GPR) Survey of Brownfield Site Along Lake Street in Chicago, Illinois (USA), International

- Conference on Earth Sciences and Electronics-2002 (ICESE-2002), Vol.2, (2002), pp: 255-261.
- Kadioğlu, S.**, 3D Ground Penetrating Radar-Data Acquisition, Processing, and Interpretation, 14th International Petroleum Congress and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, Ankara-TURKEY, Proceedings, (2003), pp:485-486.
- Kadioğlu, S., Aldaş, G., Candansayar, E., Ulugergerli E.U.,** Çayeli Maden Tünellerindeki Stabilizasyon Çalışmalarında Yer Radarı Uygulaması, Rapor, ÇBİ-Çayeli-RİZE, (2003).
- Kadioğlu, S. and Daniels, J. J.**, Integrated 3D visualization of GPR data and EM-61 data, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Pergamon, Volume 68, (2004), Number 11S, p. A468.
- Kadioğlu, S.**, Yer radarı yöntemi ile karstik boşlukların belirlenmesi, Konferans, DSİ Genel Müdürlüğü Toplantı Salonu, (2004).
- Kramer., S.L.**, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall , Upper Saddle River, NJ., (1996), 643 p.
- Lay, T., and Wallace, T.C.**, Modern Global Seismology, Academic Pres, San Diego, California, (1995) 497 p.
- Louie, J.N.**, Faster, Beter: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 91, p. 347-364, (2001).
- Okada, H.**, The Microtremor Survey Method, Geophysical Monograph Series no. 12, SEG, Tulsa, (2003), Pp: 129
- Orlando L.**, Ground penetrating radar in massive rock: A case history, *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*,7, 265-279, (2002).
- Pullammanappallil, S., Honjas, B., Louie, J., Siemens, J.A. and Miura, H.**, Comparative Study of the Refraction Microtremor Method: Using seismic noise and Standard P-wave refraction equipment for deriving 1D shear-wave profiles, Proceedings of the 6th SEGJ International Symposium, Tokyo, Japan, (2003).
- Robinson, E.A.**, Migration of geophysical data, Broad Oak Pres Limited, East Sussex, England, (1983), Pp: 201.
- Rucker, M.L.**, Applying the refraction microtremor (ReMi) Shear Wave Technique to Geotechnical Characterization, Proceedings of the third international conference on the application of geophysical methodologies and NDT to transportation and infrastructure, Orlando, Florida, USA, (2003).

- Saka, Ö., Önal, K. M., Yıldırım, N., Dönmez, Ş., Kadioğlu, S., Uluggerli, E. U.,** Geophysical Studies in Akalan Castle (Samsun) and an example of geo-radar measurement, Symposium of Geophysics, ISPARTA-TURKEY, Abstracts Book, (2003), Pp: 4.
- Sambuelli, L., Socco, L. V., Brecciaroli, L.,** Acquisition and processing of electric, magnetic and GPR data on Roman site (Victimulae, Salussola, Biella), *Journal of Applied Geophysics*, 41, 189-204, (1999).
- Sayılı, İ.S., Kadioğlu, S., Gündoğdu, N.Y., Kadirioglu, T., Önal, K.M.,** Yozgat-Kargılık Pembe Turmalin İçeren Pegmatit Damarlarının Özellikleri ve Yer Radarı Yöntemi ile Aranması, 57th Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara-TÜRKİYE, Bildiri Özleri Kitabı, (2004), Pp: 112-113.
- Slater, L., Niemi, T.M.,** Ground penetrating radar investigation of active faults along the Dead Sea transform and implications for seismic hazards within the city of Aqaba, Jordan. *Tectonophysics*, 368, 33-50, (2003).
- Süzen, M.L., and Toprak, V.,** Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in central Turkey, *International Journal of Remote Sensing*, 19, 19, 1101-1114, (1998).
- Uluggerli E.U., Kadioğlu, S., Ecevitoglu, B., Akça, İ., Gündoğdu, Y., Dalabasmaz, H., Arısoy, Ö., Köse, Y.,** Dalaman-Akköprü baraj alanında yer radarı yöntemi ile karstik boşlukların belirlenmesi, Rapor, NTF İnş. Lim. Şti- ANKARA, (2004).
- Xia, J., Miller, R.D. and Park, C.B.,** Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves, *Geophysics*, 64, 691-700, (1999).
- Valles, M.G., Urzi C. and Vendrell-Saz M.,** Weathering processes on the rock surface in natural outcrops: the case of an ancient marble quarry (Belevi, Turkey), *Environmental Geology*, DOI 10.1007/s0025, (2002).

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

41
1-66
2006

Proje Kodu: 103Y129
Proje Başlığı: Kaya süreksizliklerinin karakterizasyonu için uzaktan algılama ve yer radarı yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir metodoloji geliştirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof. Dr. Celal Karpuz, Doç. Dr. Şebnem Düzgün, Yrd. Doç. Dr. Selma Kadioğlu, Dr. Gülsev Aldaş, Araş. Gör. Arman Koçal
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İnönü Bulvarı, 06531 ANKARA Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Beşevler, 06100, ANKARA
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15/03/2004 – 15/03/2006
Öz Bu çalışmada kaya süreksizliklerini karakterize eden uzaktan algılama ve yer radarı yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir metodoloji geliştirilmiştir. Önce, yüksek çözünürlüğe (1 metre) sahip IKONOS uydu görüntüleri aracılığı ile çizgisellik haritaları elde edilmiş ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak süreksizlik konumları (doğrultuları) ve yerleri belirlenmiştir. Daha sonra, yer radarı (GPR) aracılığı ile aynı alanda seçilen paralel profiller boyunca ölçümler alınarak bu süreksizliklerin üç boyutlu modellenmesi yapılarak yer altındaki devamlılıkları belirlenmiştir. Metodolojinin doğruluğu arazide ki ölçümlerle doğrulanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Kaya Süreksizlikleri, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Yer Radarı
Projeden Kaynaklanan Yayınlar: Kadioğlu, S., Aldaş, G., Karpuz, C., Duzgun, Ş., Kadioğlu, Y. K., Taşocağı yer seçiminde mühendislik disiplininin önemi: Gölbaşı andezitlerinde bir uygulama, <i>Madencilik dergisi</i> , (2006) Pp.25-34 G.U. Aldaş., S. Kadioğlu & C. Karpuz, Characterisation of Fractures by Ground Penetrating Radar: A Case Study at Gölbaşı Andesites in Turkey, 15 th International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection, (2006)
Bilim Dalı: Maden Mühendisliği
Doçentlik B. Dalı Kodu: 913