

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LABRANDA ANTİK KENTİ YER RADARI ARAŞTIRMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fırat YİĞİT
(602101001)

Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Jeodinamik Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ

ARALIK 2016

İTÜ, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün 602101001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Fırat YİĞİT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Labranda Antik Kenti Yer Radarı Araştırması” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şükrü ERSOY**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yar. Doç. Caner İMREN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Kasım 2016**

Savunma Tarihi : **22 Aralık 2016**

ÖNSÖZ

Tezimde birikimleriyle bana yardımcı olan hocam Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezimde kullanmak üzere bana çalışma imkânını veren Labranda Antik Kenti Kazı Başkanı Olivier Can HENRY'ye, arazi çalışmalarını beraber gerçekleştirdiğimiz Gregory TUCKER'a, mesleki anlamda gelişmemi sağlayan ve bana desteklerini esirgemeyen Yük. Müh. Serkan ÖZÇELİK'e, Yük. Müh. Emre DAMCI'ya ve Yük. Müh. Çağrı İMAMOĞLU'na teşekkür ediyorum.

Sabırla her zaman yanımda duran annem Gülistan YİĞİT'e, kardeşim Nazlı Deniz YİĞİT'e, babam Kemal YİĞİT'e ve çalışmalarımda beni hep motive eden arkadaşlarım Ezgi ER, Burak ERZİNCANLI ve R. Kürşad ERSON'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Kasım 2016

Fırat YİĞİT
(Jeofizik Müh.)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışma Alanı.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	2
2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ	5
2.1. Yer Radarı (GPR) Yöntemi.....	5
2.1.1. Yer radarı kuramı	6
2.1.2. Yer radarı için önemli parametreler	6
2.1.3. Kullanılan ekipman ve özellikleri	8
2.1.4. Görüntüleme yöntemleri	9
2.2. Veri İşlem Aşamaları	10
2.2.1. Verilerin okutulması	10
2.2.2. Bozuk verilerin ayıklanması	11
2.2.3. Dewow	11
2.2.4. Muting.....	13
2.2.5. Statik düzeltme.....	15
2.2.6. Enerji geri kazanımı	17
2.2.7. Arkaplan gürültüsünün süzgeçlenmesi	19
2.2.8. Bant geçişli süzgeçleme	21
2.2.9. F-K süzgeçleme.....	23
2.2.10. 3-B görüntüleme ve kat haritaları oluşturma	25
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	29
3.1. Arazi Çalışmaları	29
3.1.1. Kat haritaları oluşturma.....	31
3.1.2. 1. Alana ait kat haritaları.....	32
3.1.3. 2. Alana ait kat haritaları.....	33
3.1.4. Birleştirilmiş kat haritaları	34
4. SONUÇLAR	37
4.1. 1. Alana Ait Kat Haritalarının Yorumlanması	38
4.2. 2. Alana Ait Kat Haritalarının Yorumlanması	40
4.3. Kat Haritalarının Harita Üzerinde Gösterimi.....	41
4.4. Öneriler	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ.....	47

SEMBOLLER

$\vec{E}$	: elektrik alan şiddet vektörü (V/m)
$\vec{B}$	: manyetik akı yoğunluğu (T)
$\vec{D}$	: elektrik akı yoğunluğu vektörü (C/m ²)
$\vec{H}$	: manyetik alan yoğunluğu vektörü (A/m)
$\vec{J}$	: akım yoğunluğu vektörü (A/m ²)
q	: elektrik yük yoğunluğu; t zaman (Sn)
$\tilde{\sigma}$	: iletkenlik (Siemens/m)
$\tilde{\epsilon}$	: dielektrik sabiti (birimsiz)
$\tilde{\mu}$	: manyetik geçirgenlik (birimsiz)
v	: dalga hızı (m/ns)
c	: ışık hızı (m/ns)
ϵ	: malzemenin dielektrik katsayısı (birimsiz)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Farklı malzemelere göre Dielektrik sabiti, Öziletkenlik, Hız ve Sönümlenme değerleri (Annan, 2003).....	8
Çizelge 2.2 : Kullanılan Sistem Özellikleri (Geophysical Survey Systems, Inc., 2011).....	9

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Labranda Antik Kentinin yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2 : Labranda Antik Kenti'nin yerleşim planının hava fotoğrafı üzerinde gösterimi.....	3
Şekil 1.3 : Hava fotoğrafı üzerinde yer radarı çalışması yapılan alanların gösterimi; mavi renk 1. Alanı, kırmızı renk 2. Alanı temsil etmektedir.	3
Şekil 1.4 : Çalışma yapılan alan üzerinde radar profillerinin gösterimi.	4
Şekil 2.1 : Yer radarı sisteminin genel çalışma görünümü, Reynolds (1997)'dan değiştirilerek alınmıştır.	5
Şekil 2.2 : Merkez frekans ile nüfuz derinliği ve çözünürlük arasındaki ilişki, K dielektrik katsayısı olup 9 alınmıştır (Moorman, 2001).	7
Şekil 2.3: Yer Radarı verilerine uygulanan veri işlem aşamalarının şematik gösterimi	10
Şekil 2.4 : Örnek radar izi, süzgeç uygulanmadan öncesi(a) ve uygulandıktan sonrası(b); kırmızı çizgi veriden çıkartılan wow dalgasını gösterir (Rowell, 2011)..	11
Şekil 2.5 : Dewow işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması	12
Şekil 2.6 : Ham veri üzerinde dewow işleminin gösterimi, ham veri (üstte), dewow işlemi uygulanmış veri (altta). Dewow uygulamasından sonra, izlerin eksen üzerindeki eğimi kaldırıldı, böylece genlik değerleri asıl değerlerine döndürüldü.	13
Şekil 2.7 : Muting işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması	14
Şekil 2.8 : dewow işlemi uygulanmış veri üzerinde muting işleminin gösterimi, dewow işlemi uygulanmış veri (üstte), muting işlemi uygulanmış veri (altta). Muting window parametresi 7 ns olarak veriden okunmuştur. Düşey eksen (zaman eksenı) üzerinde 0-7 ns arasındaki veri silinmiştir.	15
Şekil 2.9 : Statik düzeltme işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması.....	16
Şekil 2.10 : muting işlemi uygulanmış veri üzerinde statik düzeltme işleminin gösterimi, muting işlemi uygulanmış veri (üstte), statik düzeltme işlemi uygulanmış veri (altta). İzlerin ilk varışları zaman eksenı üzerine yerleştirilmiştir.	17
Şekil 2.11 : Enerji geri kazanımı işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması	18

Şekil 2.12 : statik düzeltme işlemi uygulanmış veri üzerinde enerji geri kazanımı işleminin gösterimi, statik düzeltme işlemi uygulanmış veri (üstte), enerji geri kazanımı işlemi uygulanmış veri (altta). İz genliklerindeki sönümlenme etkisi ortadan kaldırılmış, genlikler eşitlenmiştir.....	19
Şekil 2.13 : Arkaplan gürültüsünün süzgeçlenmesinin ReflexW programı üzerinde uygulanması	20
Şekil 2.14 : Enerji geri kazanımı uygulanmış veri üzerinde Arkaplan gürültüsü süzgecinin gösterimi, enerji geri kazanımı işlemi uygulanmış veri (üstte), arkaplan gürültüsü süzgeci uygulanmış veri (altta). Zaman eksenini başlangıcına yakın olan tekrarlı yansımalar veriden çıkartıldı.	21
Şekil 2.15 : Band geçişli süzgeçlemenin ReflexW programı üzerinde uygulanması	22
Şekil 2.16 : Arkaplan gürültüsü süzgeci uygulanmış veri üzerinde band geçişli süzgecin gösterimi, arkaplan gürültüsü süzgeci uygulanmış veri (üstte), band geçişli süzgecin uygulandığı veri (altta). 0-800 Mhz frekans bandındaki veriler tutularak, yüksek frekanslı gürültüler veriden çıkartıldı.	23
Şekil 2.17 : F-K süzgecinin ReflexW programı üzerinde uygulanması (üstte), süzgecin etkileşimli olarak seçilmesine ait görüntü (altta)	24
Şekil 2.18 : Band geçişli süzgeç uygulanmış veri üzerinde F-K süzgecin gösterimi, band geçişli süzgeç uygulanmış veri (üstte), F-K süzgecin uygulandığı veri (altta). Süzgecin uygulanması ile birlikte, zaman penceresinde sonlara doğru artan gürültüler veriden çıkartıldı.	25
Şekil 2.19 : 1 – örnek dalga, 2 – mutlak değeri alınmış dalga, 3 – envelope değeri alınmış dalga (Trinks ve diğ., 2010).	26
Şekil 2.20 Zarf (Envelope) işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması.....	26
Şekil 2.21 : Zarf işlemi uygulanmamış veri (üstte), Zarf işlemi uygulanmış veri (altta)	27
Şekil 3.1 : Arazi çalışmasına ait bir görüntü.....	29
Şekil 3.2 : 1. Alandaki profillerin gösterimi. Profillerin başlangıçları siyah noktalar ile bitişleri ise siyah oklar ile gösterilmiştir.	30
Şekil 3.3 : 2. Alandaki profillerin gösterimi. Profillerin başlangıçları siyah noktalar ile bitişleri ise siyah oklar ile gösterilmiştir.	31
Şekil 3.4 : Alanlardaki profillerin birleştirilmiş hali. Siyah oklar 1. Alana ait verileri, Mavi oklar 2. Alana ait verileri gösterir	31
Şekil 3.5 Yer altını temsil eden küp modelinin görünümü.	32

Şekil 3.6 : 1. Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir.....	33
Şekil 3.7 : 2 Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir.....	34
Şekil 3.8 : Birleştirilmiş alanların kat haritaları; ; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir.	35
Şekil 4.1 : Hava fotoğrafı üzerinde yer radarı çalışması yapılan alanların gösterimi; mavi renk 1. Alanı, kırmızı renk 2. Alanı temsil etmektedir.	37
Şekil 4.2 : 1. Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), derinlikleri gösterir. Yapı izleri kırmızı çizgiler ile yığıntı izleri yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.....	38
Şekil 4.3 : 1. Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c) derinlikleri gösterir. Yapı izleri kırmızı çizgiler ile gösterilmiştir.....	40
Şekil 4.4 : Arkeolojik yapıların 2 m derinliğe ait kat haritası ile birlikte gösterimi. Doğrusal yapılar kırmızı çizgiler ile yığıntılar yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.....	42
Şekil 4.5 : Arkeolojik yapıların harita üzerinde gösterimi. Doğrusal yapılar kırmızı çizgiler ile yığıntılar yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.	43

LABRANDA ANTİK KENTİ YER RADARI ARAŞTIRMASI

ÖZET

Bu çalışmada, arkeolojik bir sit alanı olan Labranda Antik Kenti'nde kazı çalışmalarına yardımcı olmak ve daha sonra yapılacak kazı çalışmalarını yönlendirmek amacıyla jeofizik bir yöntem olan Yer radarı çalışması yapılmıştır. Çalışma yapılacak alanlar önceden belirlenmiş, koordinatları alınmış ve Yer radarı çalışmasının yapılması için uygun hale getirilmiştir. Çalışma alanı 2 alana ayrılmış ve her iki alanda da yer radarı ölçümleri yapılmıştır. 1. Alanda profil aralıkları 0,25 metre, 2. Alanda profil aralıkları 0,5 metre olarak uygulanmıştır. Çalışmada GSSI SIR-3000 kontrol ünitesi ve 400 Mhz merkez frekanslı anten kullanılmıştır. 400 Mhz merkez frekanslı anten ile araştırma derinliği 3,5 metre olmuştur. Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen hem veriler bilgisayar ortamına aktarılarak işlenmiştir. Veri işlem aşamaları için ReflexW programı kullanılmıştır. Program üzerinde dewow, muting, statik düzeltme, enerji geri kazanımı, arkaplan gürültüsünün süzgeçlenmesi, bant geçişli süzgeçleme, f-k süzgeçleme aşamaları uygulanmıştır. İşlenmiş veriler yine ReflexW programı ile kat haritaları oluşturmak için düzenlenmiştir. Kat haritaları üzerinde derinliklere bağlı olarak, yeraltındaki muhtemel yapılar incelenmiştir. Kat haritalarının değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmıştır. Yeraltında olası yapı kalıntılarına ve yıkılmış yapılara ait olabilecek yığıntılara rastlanılmıştır. Çalışmanın sonunda yapı kalıntıları ve yığıntılar harita üzerinde gösterilmiştir.

LABRANDA ARCHAEOLOGICAL SITE GROUND PENETRATING RADAR (GPR) SURVEY

SUMMARY

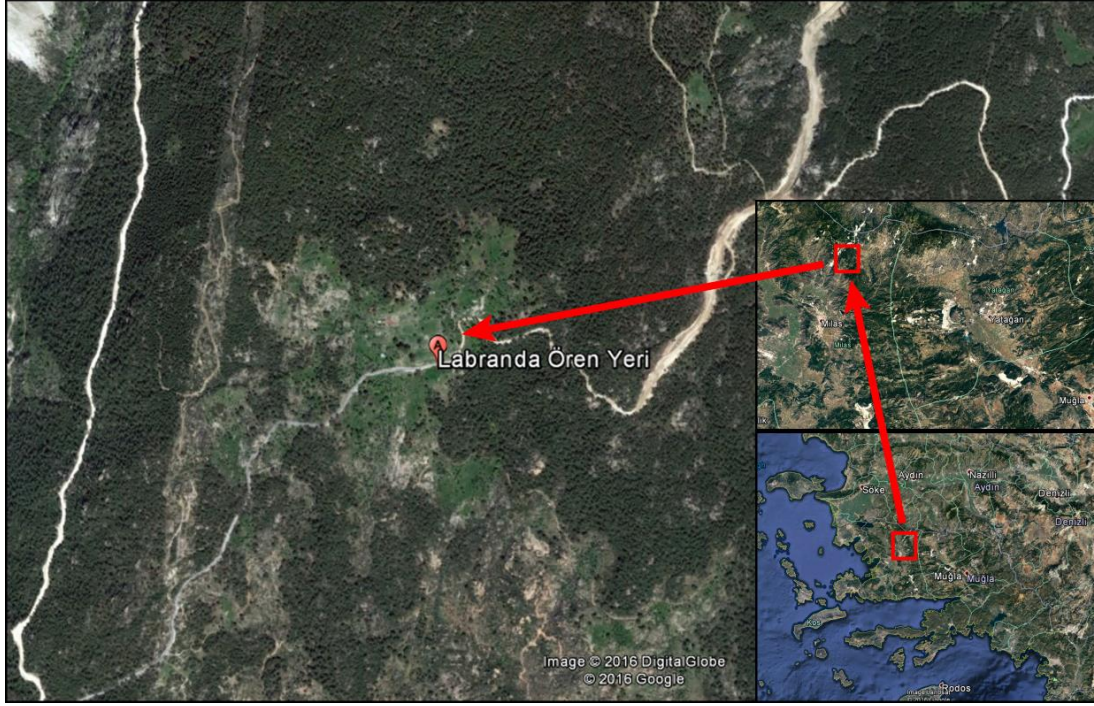
In this Study, Ground Penetrating Radar (GPR) surveys were made in Labranda excavations located in Labranda archaeological site. GPR surveys will help to understand underground and it will lead excavations. Survey area has been located, coordinated and prepared by cleaning obstructions before survey. Area was separated into 2 main field. Profile increments has set 0,25 meters in the 1. field, and 0,5 meters in 2. Field. Survey equipments were GSSI SIR-3000 as control unit with 400 Mhz antenna. Penetration depth was 3,5 meters. After field surveys, raw datas transferred into data processing program ReflexW and processed by using ReflexW. Data processing steps were dewow, muting, static correction, gain, background removal, band-pass filter, and f-k filter in order. And after process, the data has been set to form a cube which represents a model of below surface. The Data also interpolated due to form a better model. Slices represents a certain depth has been made. Thus, structures and remains can be seen better and can be located. In conclusion, all structures and remains was shown on slices on map.

1. GİRİŞ

Günümüzde yeraltını anlamak ve yeraltına ait problemleri çözmek için jeofizik çalışmalar önem kazanmıştır. Fay hatlarının, yer altındaki süreksizliklerin, jeotermal kaynakların, maden araştırmalarının, arkeolojik yapıların, jeolojik katmanların vb. araştırılması için kullanılan çeşitli jeofizik yöntemler vardır. Bu çalışmada, arkeolojik sit alanı olan Labranda Antik Kenti'nde gömülü antik yapıların görüntülenmesi ve gün yüzüne çıkarılmasına yardımcı olabilmek amacıyla Yer radarı (GPR, Ground Penetrating Radar) uygulaması yapılmıştır. Yer radarının diğer jeofizik yöntemlere nazaran hızlı olması ve çalışma yapılan alana zarar vermeden uygulanabilmesi sebebiyle bu çalışma için uygun görülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda veriler değerlendirilip yeraltını temsil eden kat haritası modelleri ortaya konmuştur. Bu modellerin belirlenen ve olası yapılar ile bundan sonra yapılacak kazı çalışmalarına yön vereceği düşünülmektedir.

1.1. Çalışma Alanı

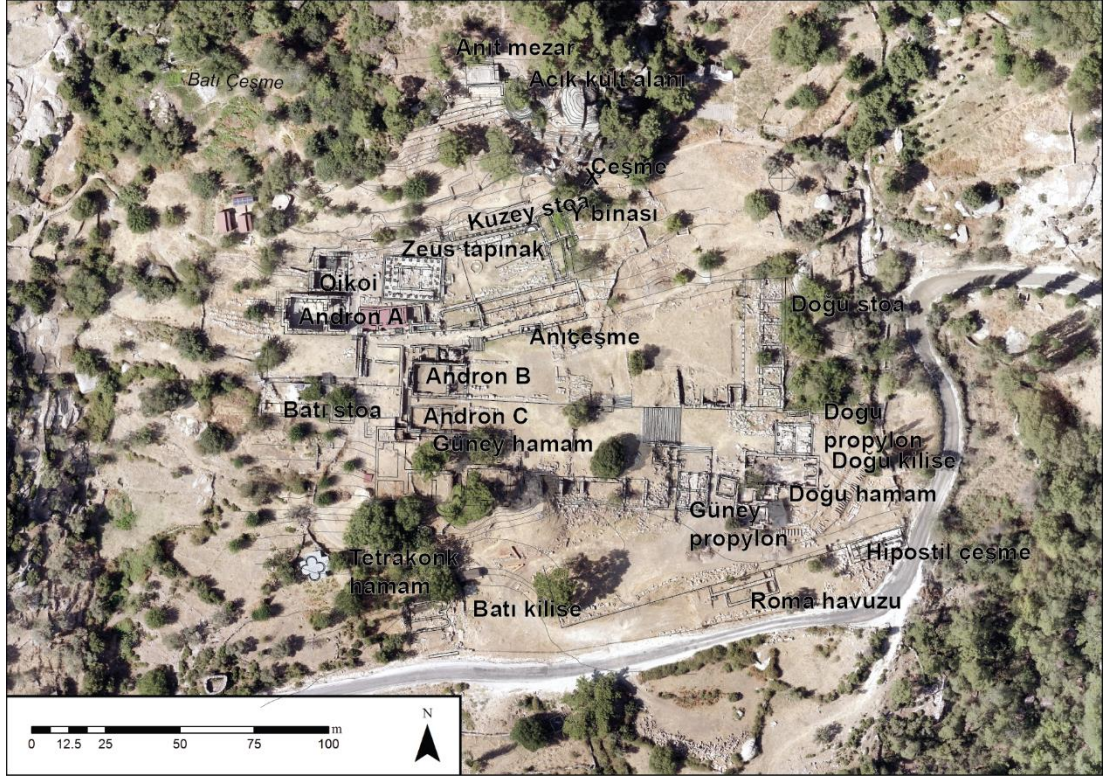
Bu tezde yapılan çalışmalar, Muğla ilinin, Milas ilçesi sınırları içerisinde yer alan, Labranda Antik Kenti'nde yapılmıştır. Kent, Milas'ın kuzeydoğusunda yer alır ve 15 km'lik bir tali yol ile ulaşılır. Labranda Antik Kenti, antik çağda Karya olarak adlandırılan bölgenin kutsal alanı ve hac yeri olarak bilinir. M.Ö. 4. Yüzyılda en şaşalı dönemini yaşayan Labranda'nın tarihi M.Ö. 7. Yüzyıla kadar dayanır. Karya, M.Ö. 546 yılından itibaren Pers İmparatorluğuna bağlandı. M.Ö. 4. Yüzyılda yerel bir hanedan olan Hekatomnos vali (strap) olarak atandı. Labranda, Hekatomnos ve oğulları döneminde Batı Karya'daki en önemli kutsal alan olmuştur. Rahipler tarafından yönetilen bağımsız bir kutsal alan olan Labranda'da bir köy yerleşimine dair bir bulgu yoktur. Karyalılar, tanrıların onuruna düzenlenen şölen ve kutlamalar için Labranda'ya geliyordu. Kurban şölenleri, vadiye bakan büyük pencerelere sahip geniş ziyafet salonlarının yer aldığı Andron (erkek salonları) adı verilen binalarda gerçekleştirilirdi. Labranda, sıra dışı ziyafet tesisleriyle diğer antik kutsal alanlardan ayrılır (Hellström, 2007). Labranda'nın yer bulduru haritası Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



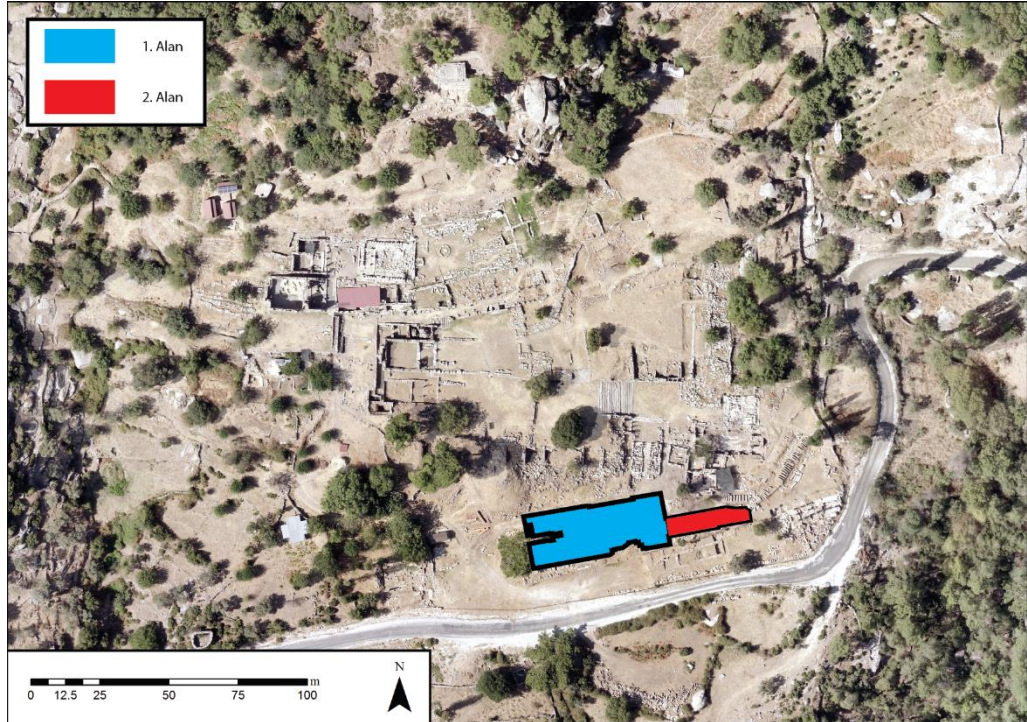
Şekil 1.1 : Labranda Antik Kentinin yer bulduru haritası

1.2. Çalışmanın Amacı

Labranda Antik Kenti'nde ortaya çıkarılacak yeni yapıların tespiti amacıyla Yer Radarı (GPR, Ground Penetrating Radar) çalışması yapılmıştır. Çalışmaların yapılacağı alanlar önceden belirlenmiş ve yer radarı çalışması için uygun hale getirilmiştir. Labranda'nın yerleşim planı hava fotoğrafı üzerinde Şekil 1.2'de ve çalışma yapılan alan Şekil 1.3'te gösterilmiştir. Belirlenen alanlarda Yer Radarı çalışması ile yer altındaki yapıların ortaya konması ve bunların oluşturulacak kat haritaları ve 3 boyutlu görüntüler ile gösterilmesi hedeflenmiştir. Kat haritalarının yapıları olabildiğince doğru temsil edebilmesi için hem arazi çalışmalarında hem de daha sonradan uygulanacak veri-işlem ve görüntüleme çalışmalarının titizlikle yapılması önem arz etmektedir. Veri-işlem aşamalarından sonra, görüntüleme çalışmaları yapılmış, bunlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.



Şekil 1.2 : Labranda Antik Kenti'nin yerleşim planının hava fotoğrafı üzerinde gösterimi



Şekil 1.3 : Hava fotoğrafı üzerinde yer radarı çalışması yapılan alanların gösterimi; mavi renk 1. Alanı, kırmızı renk 2. Alanı temsil etmektedir.

Çalışma kentin güney kısmında yer alan giriş kapısının (Propylon) önündeki terasta (Şekil 1.4) yapılmıştır. Bu bölgenin seçilmesinin amacı, bir alt terasta yer alan Roma havuzuna ait drenaj hattının devamlılığını görmek ve olası diğer yapıları tespit etmektir.



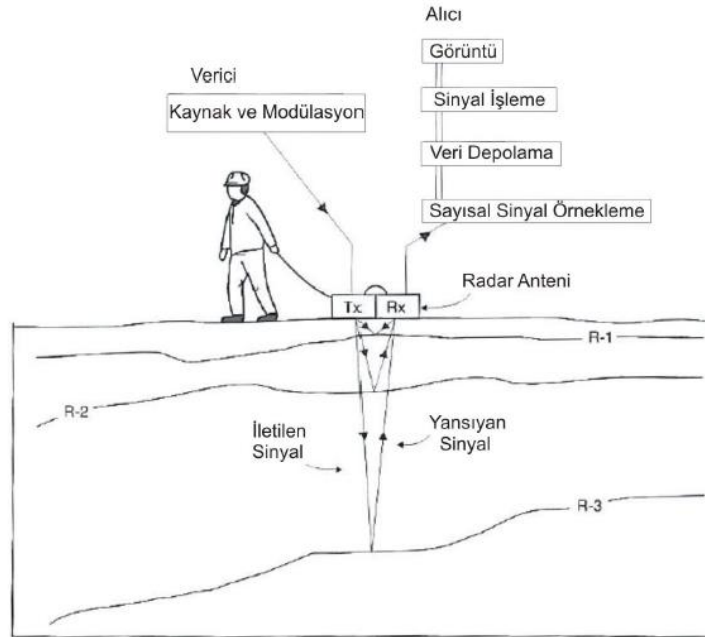
Şekil 1.4 : Çalışma yapılan alan üzerinde radar profillerinin gösterimi.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Labranda Antik Kenti'nde, kazı çalışmalarına yol gösterecek bir jeofizik çalışma yapılması planlanmıştır. Çalışma yüzeyinin ve araştırma derinliğinin yer radarı için uygun olması ve hızlı çalışabilmesi düşünüldüğünde uygulanması en uygun çalışma yöntemi Yer radarı olarak kararlaştırılmıştır.

2.1. Yer Radarı (GPR) Yöntemi

Yer radarı yöntemi, diğer jeofizik yöntemlere göre oldukça yeni bir yöntem olarak bilinir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte yöntem de gelişmiş, sığ derinliklerde tahribat yaratmadan yüksek çözünürlüklü veri elde edilebilmesi nedeniyle de oldukça değerlendirilmiştir. Elektromanyetik (EM) bir yöntem olan Yer radarı, sabit pozisyonlara sahip bir alıcı ve bir verici ile çalışır. Verici antenin yeraltına gönderdiği yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yeraltındaki ortamdan ve katmanlardan yansımalarını alıcı anten kaydeder (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Yer radarı sisteminin genel çalışma görünümü, Reynolds (1997)'dan değiştirilerek alınmıştır.

2.1.1. Yer radarı kuramı

Yer radarı dalgaları elektromanyetik dalgalar ve Maxwell denklemlerinin matematiksel tanımı ile malzeme içerisindeki yayılımına bağlı olan aşağıdaki denklemler ile ifade edilir.

$$\bar{\nabla} \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\bar{\nabla} \times \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{D} = q \quad (2.3)$$

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{B} = 0 \quad (2.4)$$

Burada, $\bar{E}$ elektrik alan şiddet vektörü (V/m); $\bar{B}$ manyetik akı yoğunluğu (T); $\bar{D}$ elektrik akı yoğunluğu vektörü (C/m²); $\bar{H}$ manyetik alan yoğunluğu vektörü (A/m); $\bar{J}$ akım yoğunluğu vektörü (A/m²); q elektrik yük yoğunluğu; t zaman (Sn) gösterir.

Maxwell denklemlerinde elektromanyetik alan ile malzeme arasındaki ilişkiler incelenir (Denklem (2.5), (2.6) ve (2.7)).

$$\bar{J} = \tilde{\sigma} \bar{E} \quad (2.5)$$

$$\bar{D} = \tilde{\epsilon} \bar{E} \quad (2.6)$$

$$\bar{B} = \tilde{\mu} \bar{H} \quad (2.7)$$

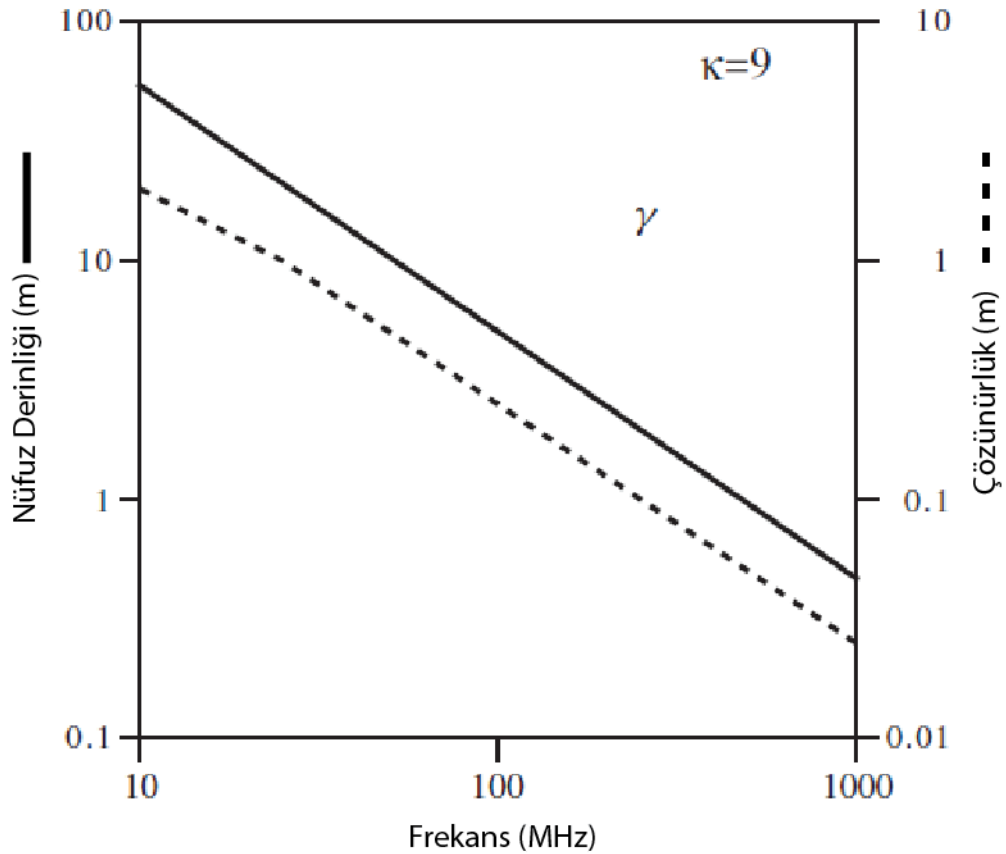
Burada, $\tilde{\sigma}$ iletkenlik (Siemens/m); $\tilde{\epsilon}$ dielektrik sabiti (birimsiz); $\tilde{\mu}$ manyetik geçirgenlik (birimsiz) gösterir (Annan, 2009).

2.1.2. Yer radarı için önemli parametreler

Yer radarı yöntemi uygulanırken elektromanyetik dalganın nüfuz derinliği ve çözünürlüğü önemlidir. Yer radarı için nüfuz derinliği 3 önemli etkene bağlıdır; 1) yansımaya yüzeylerinin sayısı ve bu yansımaya yüzeyleri arasındaki dielektrik kontrast, 2) sinyalin yer altındaki soğrulması ve 3) kullanılan antenin merkez frekansı (Moorman, 2001).

Elektromanyetik dalganın yer altındaki yayılımı sırasında nüfuz ettiği malzemenin iletkenliği ve dielektrik katsayısı önemli rol oynarken, manyetik geçirgenliği görece önemsizdir (Annan, 2009).

Kullanılan antenin merkez frekansı, araştırma derinliğine göre seçilir. Farklı merkez frekansa sahip antenler farklı derinliklere nüfuz edebilirken, çözünürlüğü de etkiler. Antenin merkez frekansı ile nüfuz derinliği arasında ters orantı vardır. Yani, kullanılan merkez frekans artarken, nüfuz derinliği düşer ve tam tersi olarak da merkez frekans düşerken, nüfuz derinliği artar. Merkez frekans ile çözünürlük arasında ise doğru orantı vardır. Merkez frekans arttıkça çözünürlük artar (**Hata! Yer işareti adı verilmemiş.**).



Şekil 2.2 : Merkez frekans ile nüfuz derinliği ve çözünürlük arasındaki ilişki, K dielektrik katsayısı olup 9 alınmıştır (Moorman, 2001).

Yer içine nüfuz eden dalganın hızı malzemenin dielektrik katsayısına bağlıdır (2.8).

$$v = c/\sqrt{\epsilon} \quad (2.8)$$

Burada, v dalganın hızı (m/ns), c ışık hızı (m/ns), ϵ malzemenin dielektrik katsayısı (birimsiz) gösterir (Robinson ve diğ., 2013).

Yeraltındaki malzeme içerisinde yol alan elektromanyetik dalganın hızının malzeme özellikleri ile birlikte değişimi Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Farklı malzemelere göre Dielektrik sabiti, Öziletkenlik, Hız ve Sönümlenme değerleri (Annan, 2003)

Malzeme	Dielektrik Sabiti	İletkenlik (mS/m)	Hız (m/ns)	Sönümlenme (dB/m)
Hava	1	0	0,3	0
Damıtılmış su	80	0,01	0,033	0,002
Taze su	80	0,5	0,033	0,1
Deniz suyu	80	30000	0,01	1000
Kuru kum	3-5	0.01	0,15	0,01
Doymuş kum	20-30	0,1-1,0	0,06	0,03-0,3
Kireçtaşı	4-8	0,5-2	0,12	0,4-1
Şeyl	5-15	1-100	0,09	1-100
Silt	5-30	1-100	0,07	1-100
Kil	4-40	2-1000	0,06	1-300
Granit	4-6	0,01-1	0,13	0,01-1
Tuz	5-6	0,01-1	0,13	0,01-1
Buz	3-4	0,01	0,16	0,01

2.1.3. Kullanılan ekipman ve özellikleri

Çalışmada kullanılan yer radarı aleti GSSI TerraSIRch SIR-3000’dir. Bu çalışmada 400 Mhz merkez frekanslı anten kullanılmıştır. Kullanılan sistemin teknik özellikleri Çizelge 2.2 :’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Kullanılan Sistem Özellikleri (Geophysical Survey Systems, Inc., 2011).

Sistem	GSSI TerraSIRch SIR-3000
Hafıza	2 GB
İz Özellikleri	256 örneklemede 220 iz/sn 512 örneklemede 120 iz/sn
Örnekleme Seçenekleri	256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192 örnekleme
Zaman Skalası	Kullanıcı seçenekli 0-8000 nanosaniye
Enerji Kazanımı	Manuel ya da otomatik 5 noktaya kadar yapılabilir
Süzgeçler	Alçak geçirgenli ve yüksek geçirgenli süzgeçler; Stack; Arkaplan gürültüsü süzgeçleme
Boyut	31,5 x 22 x 10,5 cm
Anten	400 Mhz merkez frekanslı
Ortalama Derinlik	0-4 m
Ağırlık	5 kg
Boyut	30 x 30 x 17 cm

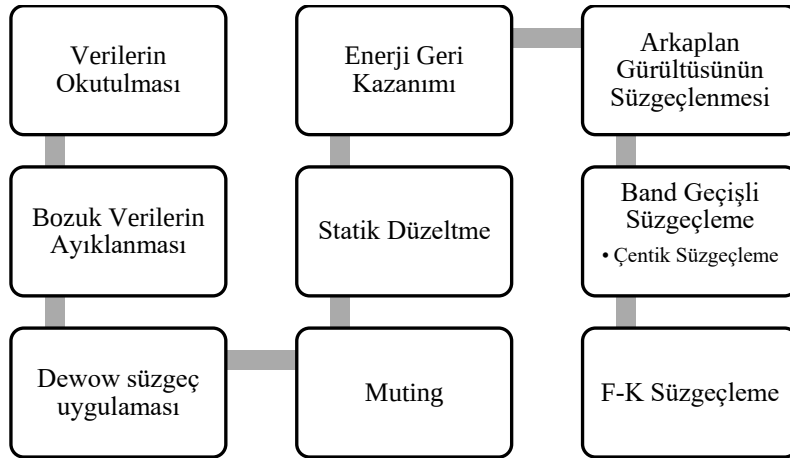
2.1.4. Görüntüleme yöntemleri

Arazide yapılan ölçümlerde, profillerin belirli bir geometride ayarlanması sonucunda elde edilen radargramlar kullanılarak yer altını temsil eden 3 boyutlu bir model oluşturulabilir. Bu model elde edilirken radargramlar arasında ara değer atama (interpolasyon) yapılarak modelin kalitesi artırılır. Geometri oluştururken dikkat edilmesi gereken husus, birbirine paralel alınan ölçümler arasındaki mesafenin fazla olmamasıdır. Mesafe ne kadar düşük olursa, ara değer atama işlemi daha az yapılacağından model yer altını daha iyi temsil eder. Bu anlamda, profiller arasında 25 cm aralık olması idealdir. Arazi koşulları göz önüne alındığında bu mesafenin daha kısa tutulması durumunda hem çalışmayı arazide gerçekleştirmenin zorluğu artacak, hem de çalışmanın süresi uzayacaktır. Aksi olarak, mesafenin daha fazla olması arazi çalışma süresinin kısalmasına yol açarsa da bu daha fazla ara değer atanacağı, dolayısı ile yorumun veriden baskın hale geleceği anlamına gelmektedir. Bunu yapmak verinin yapaylaşmasına yol açar ve oluşturulacak yer altı modelinin sağlıklı olması beklenmez.

Arazi çalışmaları sonucunda bilgisayar ortamında elde edilen yer altı modeli istenilen derinliklere ait olarak bir kesit halinde gösterilebilir ve bu gösterimin o derinliği yaklaşık olarak temsil ettiği söylenebilir.

2.2. Veri İşlem Aşamaları

Arazi çalışmasında elde edilen düşey kesitlerin (Radargram) yorumlanması için bir dizi veri işlem aşamasından geçirilerek, veri kalitesinin artırılması gerekmektedir. Radargramların veri kalitesi ilk olarak arazi ölçümleriyle başlar. Yer radarı yöntemi arazide, alıcı ve verici antenin yüzey üzerinde belirli bir doğrultuda sürüklenmesiyle uygulanır. Çalışmanın yapılacağı arazinin, yüzey üzerinde bulunan irili ufaklı kayalardan, bitki örtüsünden ve anten hareketini engelleyebilecek olası diğer cisimlerden arındırılmış olması gerekir. Aksi durumlarda, bir doğrultu üzerinde ölçü alınırken antenin istenmeyen (yerden yükselmesi, yanlara yalpalaması gibi) hareketleri veriye gürültü olarak etki eder. Arazi koşullarının yer radarı yöntemini uygulamak için elverişli olması, çözülmek istenen probleme uygun ekipman seçimi ve seçilen ekipmanların arazide doğru kullanımı bu anlamda önem taşır. Veri işlem aşamalarında ilk olarak dikkat edilmesi gereken husus, uygulanacak süzgeçlerin seçimi ve bu süzgeçlerin doğru sıralama ile kullanılmasıdır. Önerilen veri işlem adımlarının bazıları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Yer Radarı verilerine uygulanan veri işlem aşamalarının şematik gösterimi

2.2.1. Verilerin okutulması

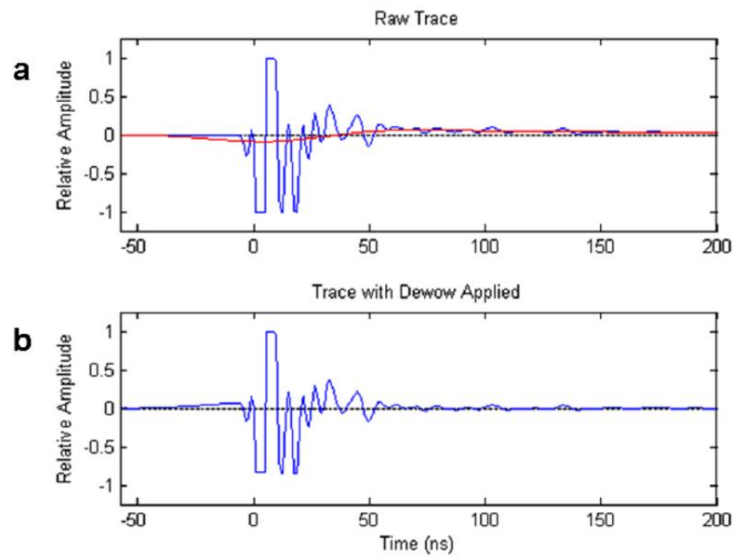
Kullanılan kontrol ünitesi'nden (GSSI SIR-3000) veriler alınarak bilgisayar ortamına aktarılır. Kontrol ünitesinin veriler için kullandığı uzantı RADAN formatındadır. Bilgisayar ortamına aktarılan ham veriler ReflexW yer radarı veri-işlem yazılımı ile açılır. Veriler yazılıma aktarıldıktan sonra, veri uzantısı yazılımın kendi kullandığı DAT formatına çevrilir.

2.2.2. Bozuk verilerin ayıklanması

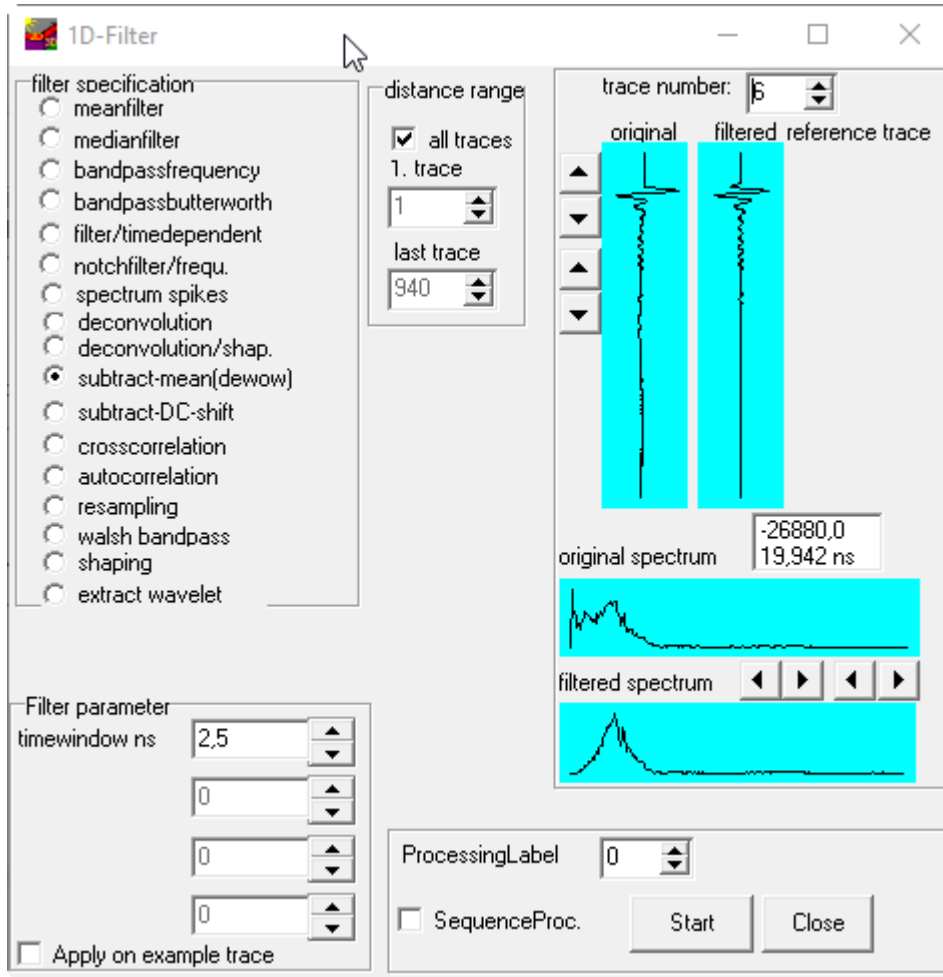
Arazi çalışmasında veriler toplanırken, kötü hava koşulları, kötü arazi koşulları ve aletsel donanımdan dolayı ortaya çıkabilecek yüksek ya da düşük genlikli gürültüler veriye kaydedilebilir. Yazılımda, ham verilere bakılırken bu gürültüler değerlendirilir ve eğer bu gürültüler veriden süzgeçleme sırasında atılamayacak durumda ise veri- işlem aşamasına sokulmaz ve yorumlanmaz.

2.2.3. Dewow

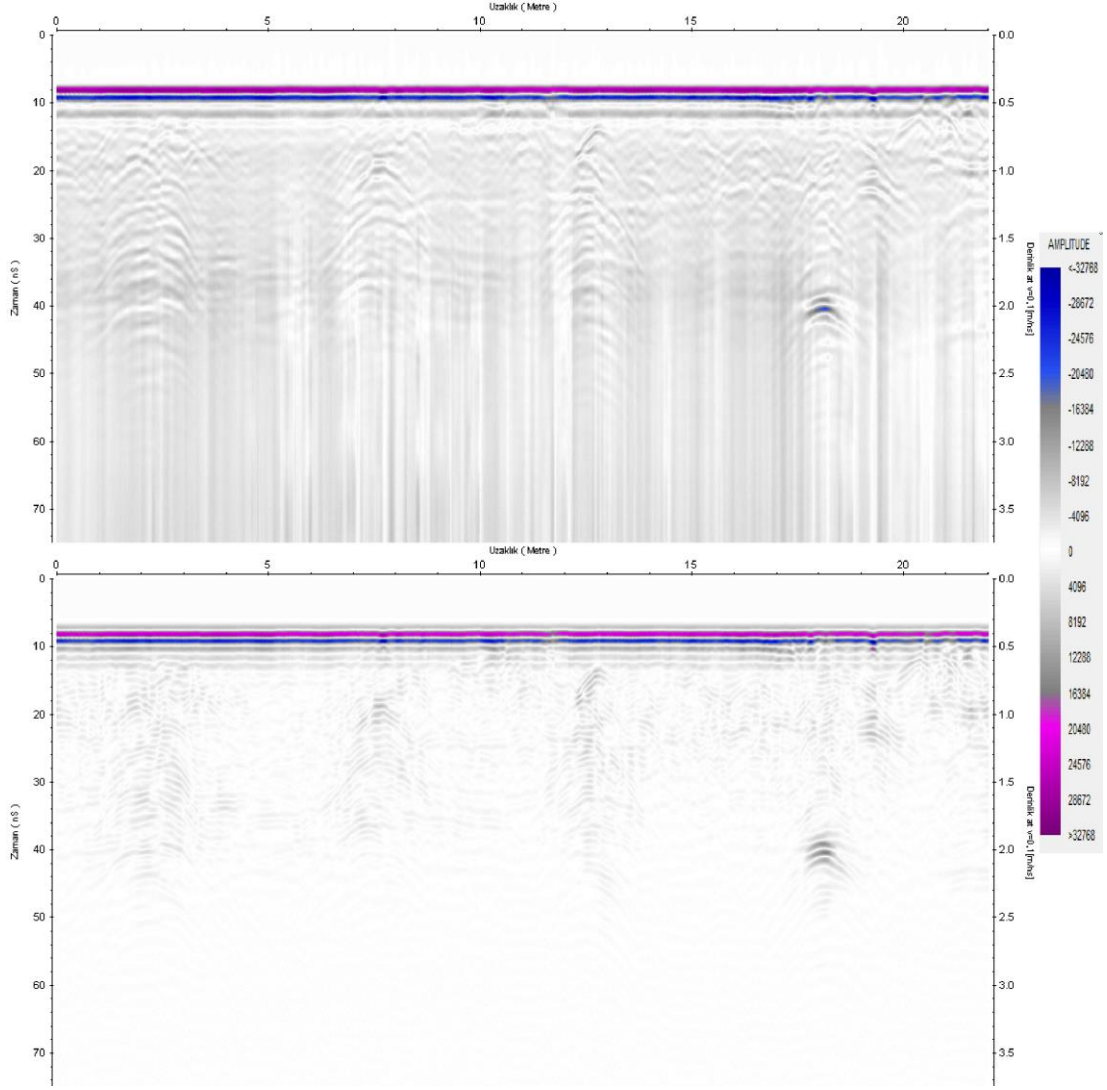
Dewow süzgeci, kaydedilen verideki, her bir iz üzerinde, birbirinden bağımsız olarak, düşük frekanslı doğru akım (DA) bileşeninin veriden ayrılması işlemidir. DA bileşeni, “wow” dalgası ya da düşük frekanslı dalga olarak da adlandırılabilir. Bu bileşen, veriye eksen üzerinde bir eğim kazandırır. Bu eğimin giderilmesi için dewow süzgeci uygulanır (Annan, 2009). Dewow işlemi uygulanan örnek radar izi Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Örnek radar izi, süzgeç uygulanmadan öncesi(a) ve uygulandıktan sonrası(b); kırmızı çizgi veriden çıkartılan wow dalgasını gösterir (Rowell, 2011). Dewow işleminin ReflexW programında uygulama gösterimi Şekil 2.5’te ve örnek veri üzerinde gösterimi Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Dewow işlemi için anten merkez frekansına denk gelen periyod (ns), zaman penceresi (timewindow, ns) parametresi kullanılır ve verideki her bir ize birbirinden bağımsız olarak uygulanır.



Şekil 2.5 : Dewow işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması

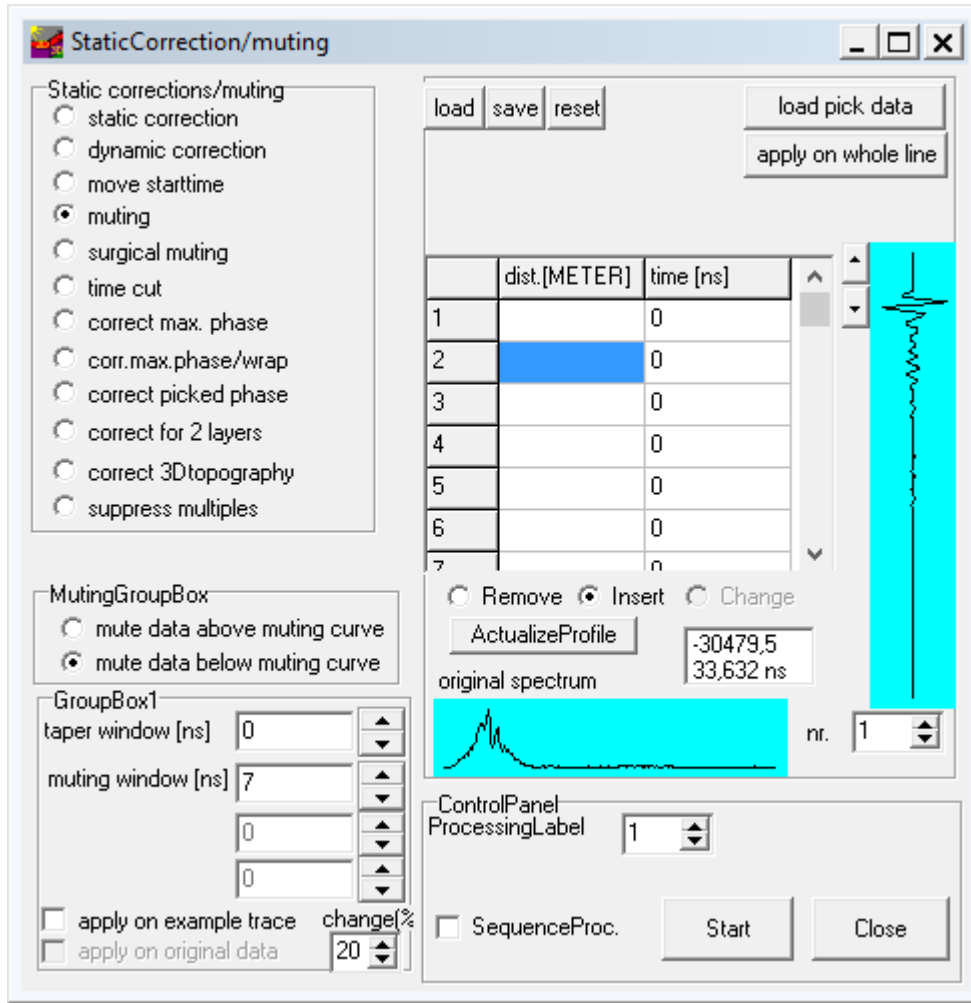


Şekil 2.6 : Ham veri üzerinde dewow işleminin gösterimi, ham veri (üstte), dewow işlemi uygulanmış veri (altta). Dewow uygulamasından sonra, izlerin eksen üzerindeki eğimi kaldırıldı, böylece genlik değerleri asıl değerlerine döndürüldü.

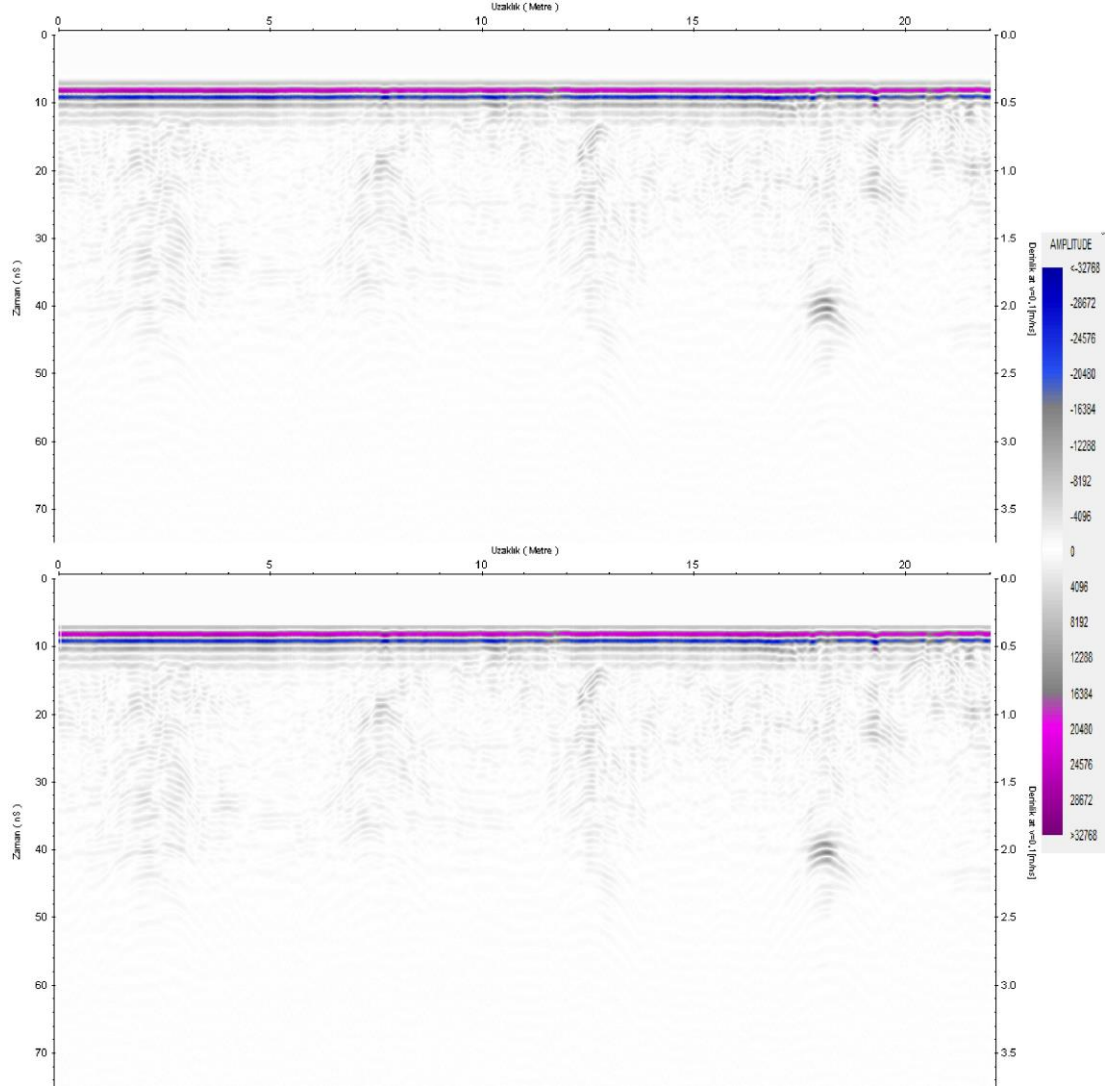
2.2.4. Muting

Verici anten sinyal göndermeye başladığı anda, alıcı anten de sinyali kaydetmeye başlar. Verici antenden gönderilen sinyalin alıcı antene ilk ulaşma anına kadar geçen sürede kayıt edilen gürültüyü veriden atmak için uygulanan süzgeç, muting süzgecidir. İlk kayıt zamanları veriden okunur ve zaman ekseninde o ana kadar olan kayıt edilmiş olan izler veriden atılır.

Muting işleminin ReflexW programında uygulama gösterimi Şekil 2.7’de ve örnek veri üzerinde gösterimi Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Muting window parametresi, program üzerinde izlerin başlangıç zamanı okunarak belirlenmiştir. Farklı antenler kullanıldığında farklı parametreler girmek gerekebilir.



Şekil 2.7 : Muting işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması

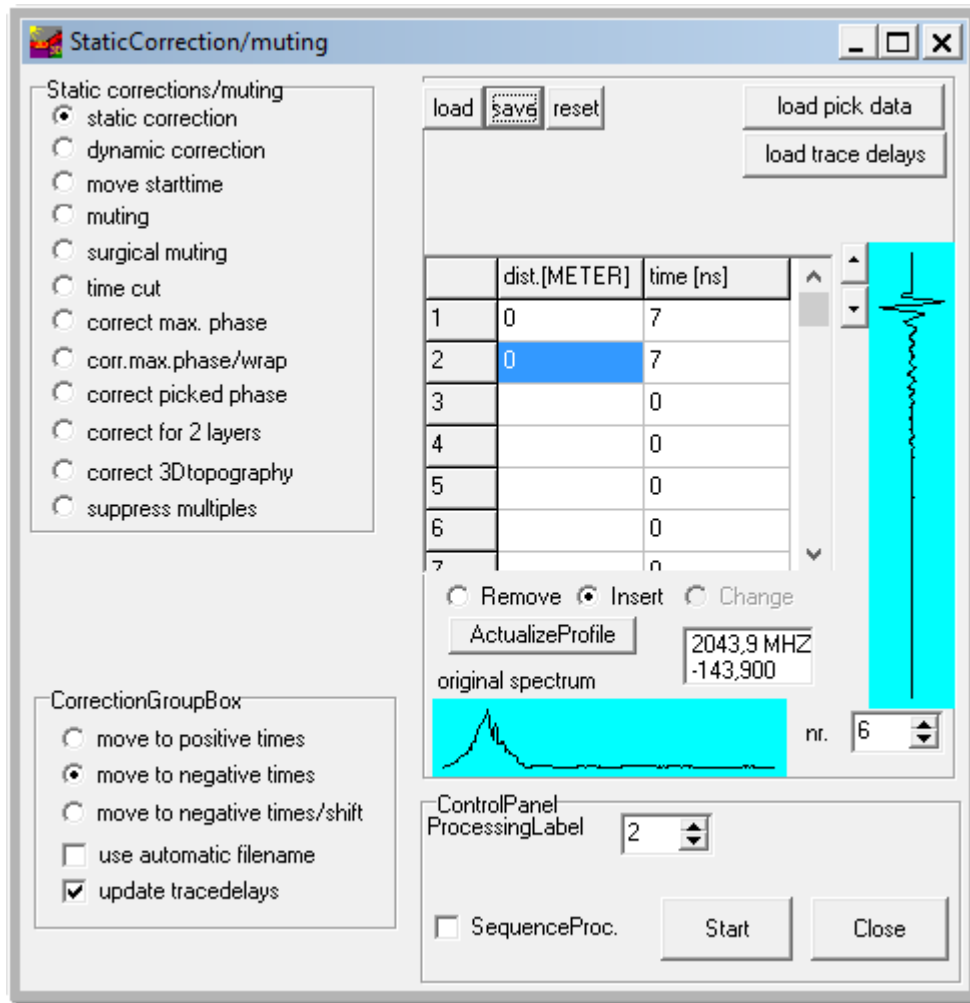


Şekil 2.8 : dewow işlemi uygulanmış veri üzerinde muting işleminin gösterimi, dewow işlemi uygulanmış veri (üstte), muting işlemi uygulanmış veri (altta). Muting window parametresi 7 ns olarak veriden okunmuştur. Düşey eksen (zaman eksenini) üzerinde 0-7 ns arasındaki veri silinmiştir.

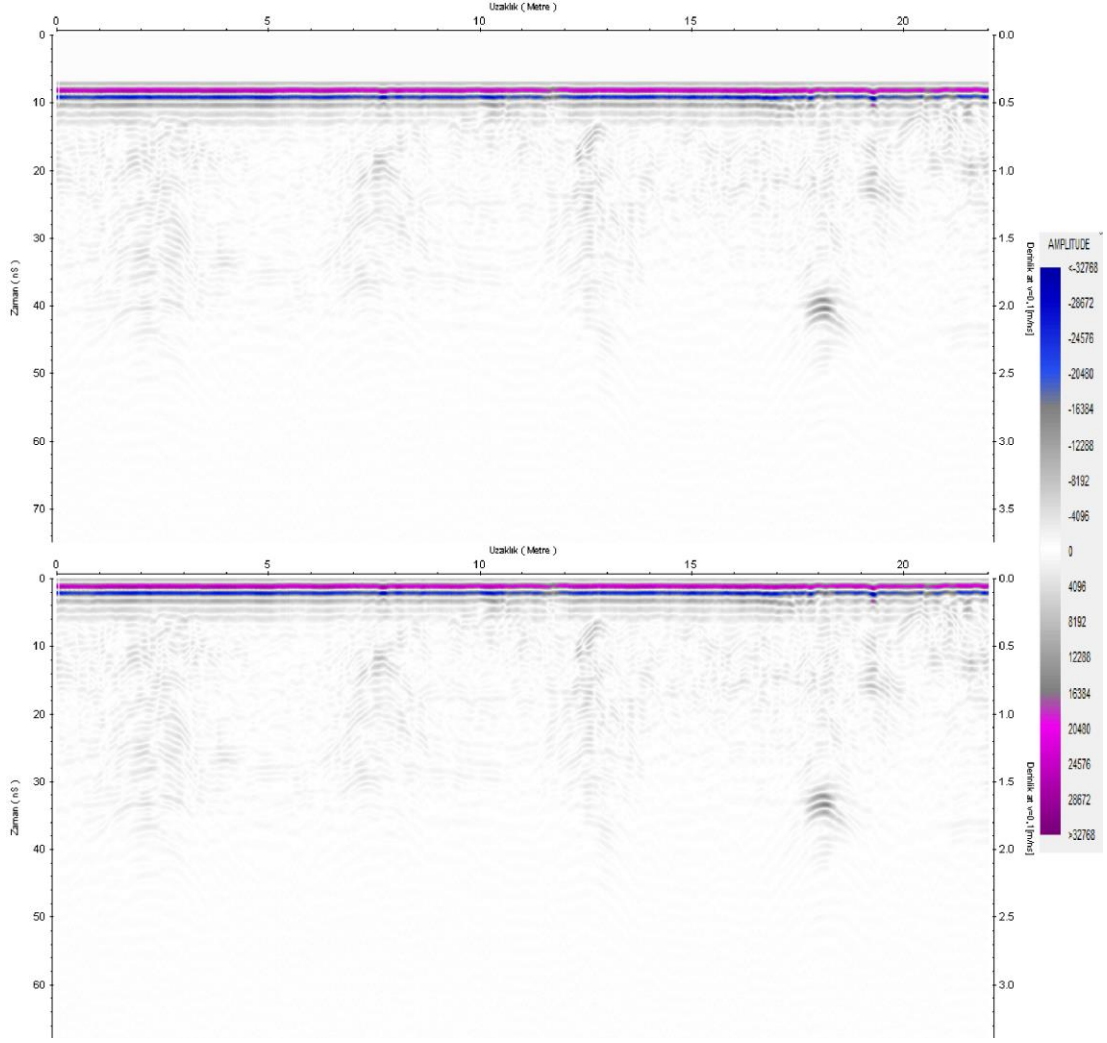
2.2.5. Statik düzeltme

Muting işlemi yapıldıktan sonra, verideki ilk varışlar ile kayıt başlangıcı arasında kalan zaman boşluğun ortadan kaldırılması işlemi statik düzeltme olarak adlandırılır. İzlerin offset aralığı sıfıra indirgenir. Böylece izlerin başlangıcı ile kayıt süresi birbiri üzerine denkleştirilir.

Statik düzeltme işleminin ReflexW programında uygulama gösterimi Şekil 2.9’de ve örnek veri üzerinde gösterimi Şekil 2.10’de gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Statik düzeltme işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması

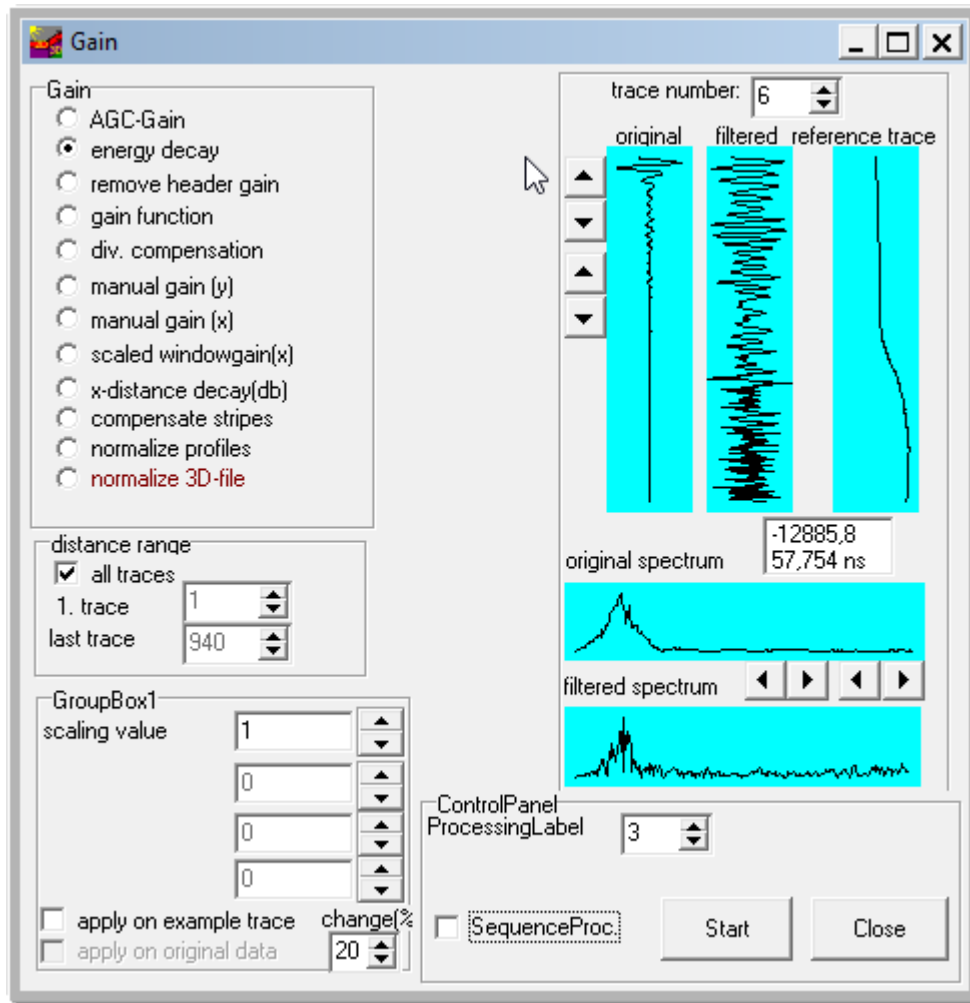


Şekil 2.10 : muting işlemi uygulanmış veri üzerinde statik düzeltme işleminin gösterimi, muting işlemi uygulanmış veri (üstte), statik düzeltme işlemi uygulanmış veri (altta). İzlerin ilk varışları zaman eksenine üzerine yerleştirilmiştir.

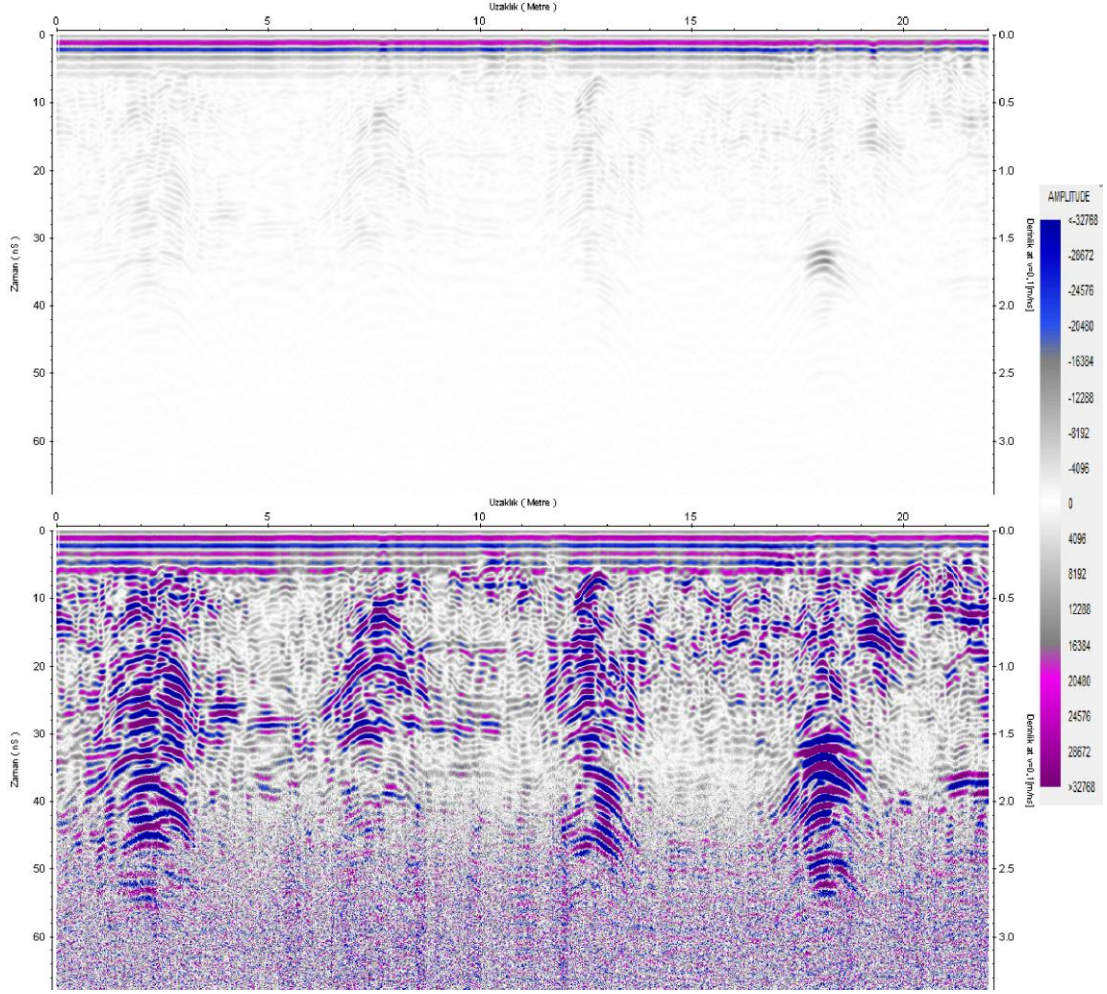
2.2.6. Enerji geri kazanımı

Yer altındaki radar sinyalleri mesafe kat ettikçe soğrulur. İzlere baktıkça, genliklerindeki bu sönümlenme nedeniyle, yüzeye yakın yerlerdeki dalga genliği ile derinlerdeki dalga genliği arasında büyük fark vardır. Bu fark yüzünden, bu genlikleri beraber görüntülemek çok zordur. Bu sebeple Gain (kazanım) işlemi uygulanarak her bir veri izindeki enerji kaybı telafi edilir ve böylece dalga genliklerindeki fark ortadan kaldırılır (Annan, 2003). Bu yöntemle enerjinin geri kazanımı denir.

Statik düzeltme işleminin ReflexW programında uygulama gösterimi Şekil 2.11’de ve örnek veri üzerinde gösterimi Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Enerji geri kazanımı işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması

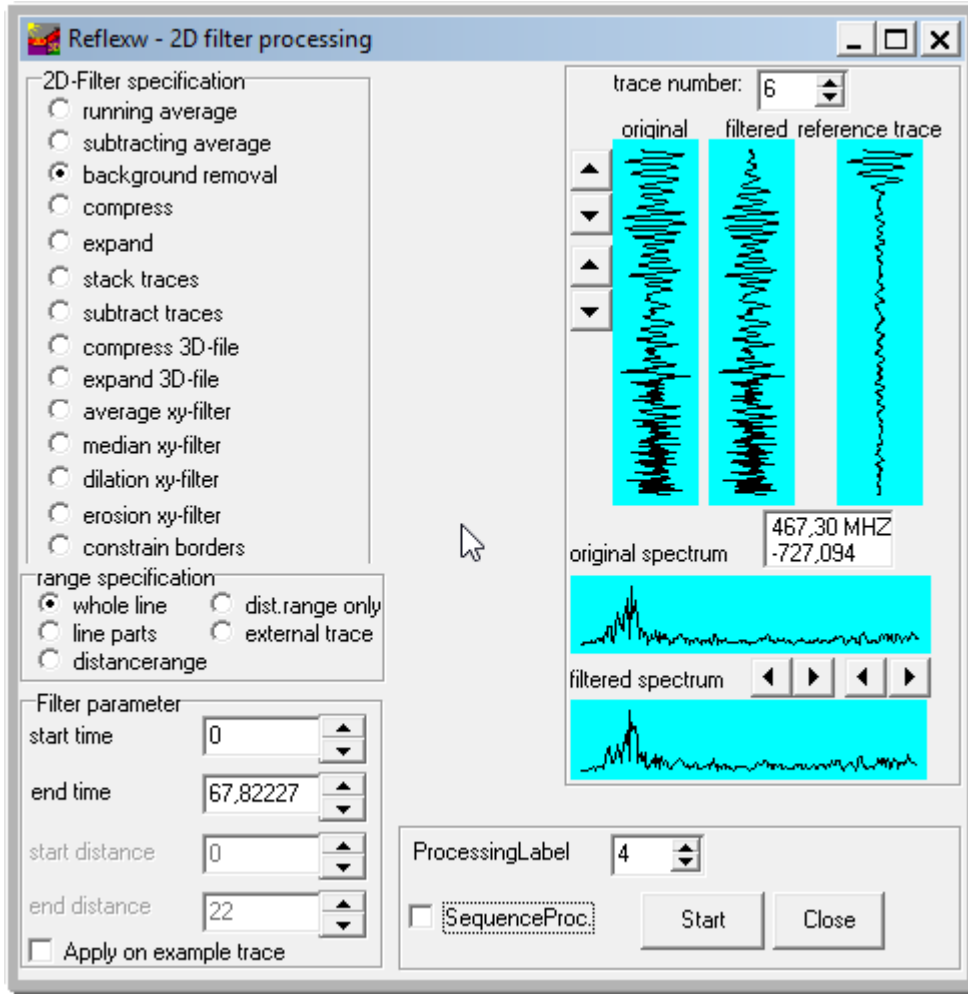


Şekil 2.12 : statik düzeltme işlemi uygulanmış veri üzerinde enerji geri kazanımı işleminin gösterimi, statik düzeltme işlemi uygulanmış veri (üstte), enerji geri kazanımı işlemi uygulanmış veri (altta). İz genliklerindeki sönümlenme etkisi ortadan kaldırılmış, genlikler eşitlenmiştir.

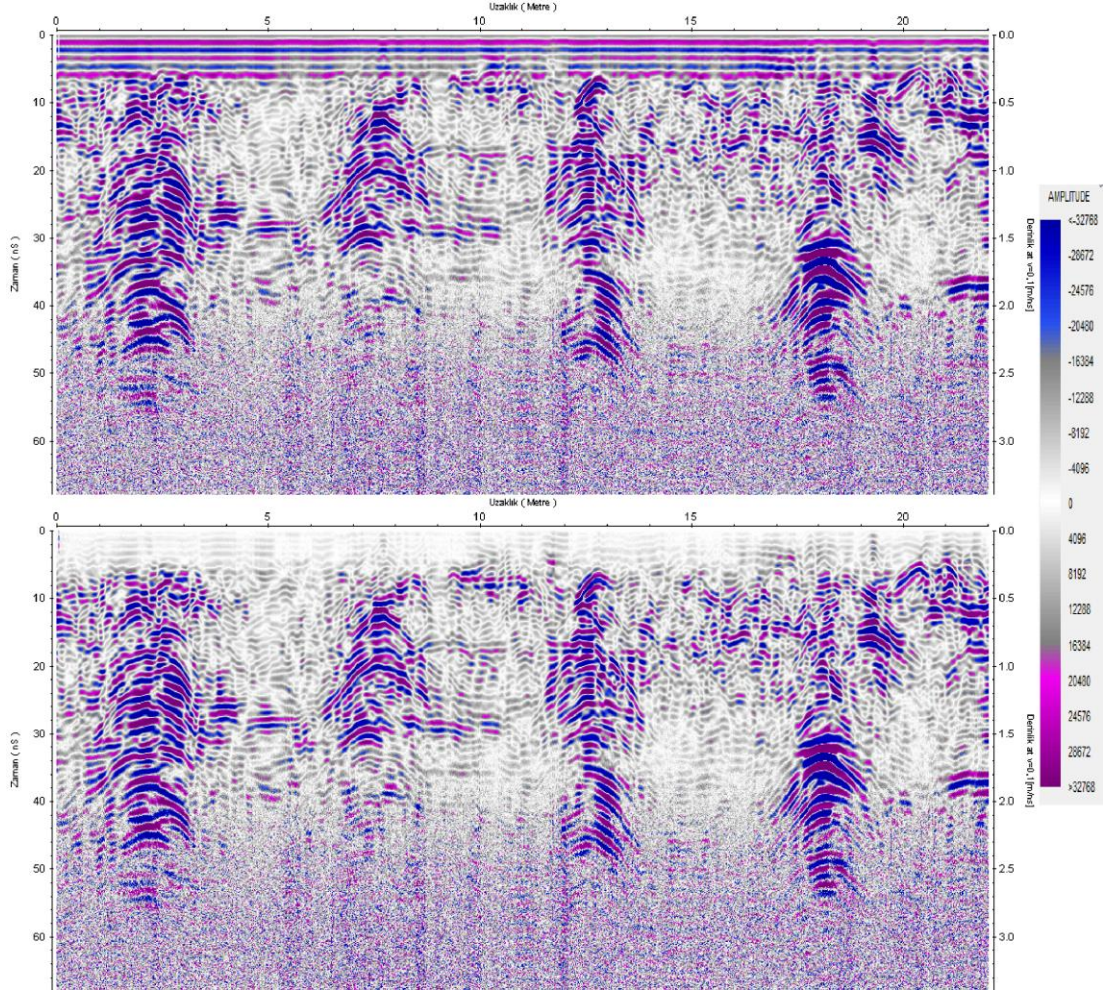
2.2.7. Arkaplan gürültüsünün süzgeçlenmesi

Vericiden çıkan dalganın tekrarlı yansımaları sonucu meydana gelen ve kayıt edildiğinde, yer altından gelen veriyi oldukça baskılayan gürültüler, 2 boyutlu yüksek geçirgenli süzgeç yardımı ile ya da ortalama izin veriden ayrılması ile gerçekleştirilir (Annan, 2003). Bu işlem ile sığ derinliğe ait olan veriler görünür hale getirilir.

Arkaplan gürültüsünün süzgeçlenmesinin ReflexW programında uygulama gösterimi Şekil 2.13'te ve örnek veri üzerinde gösterimi Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : Arkaplan gürültüsünün süzgeçlenmesinin ReflexW programı üzerinde uygulanması



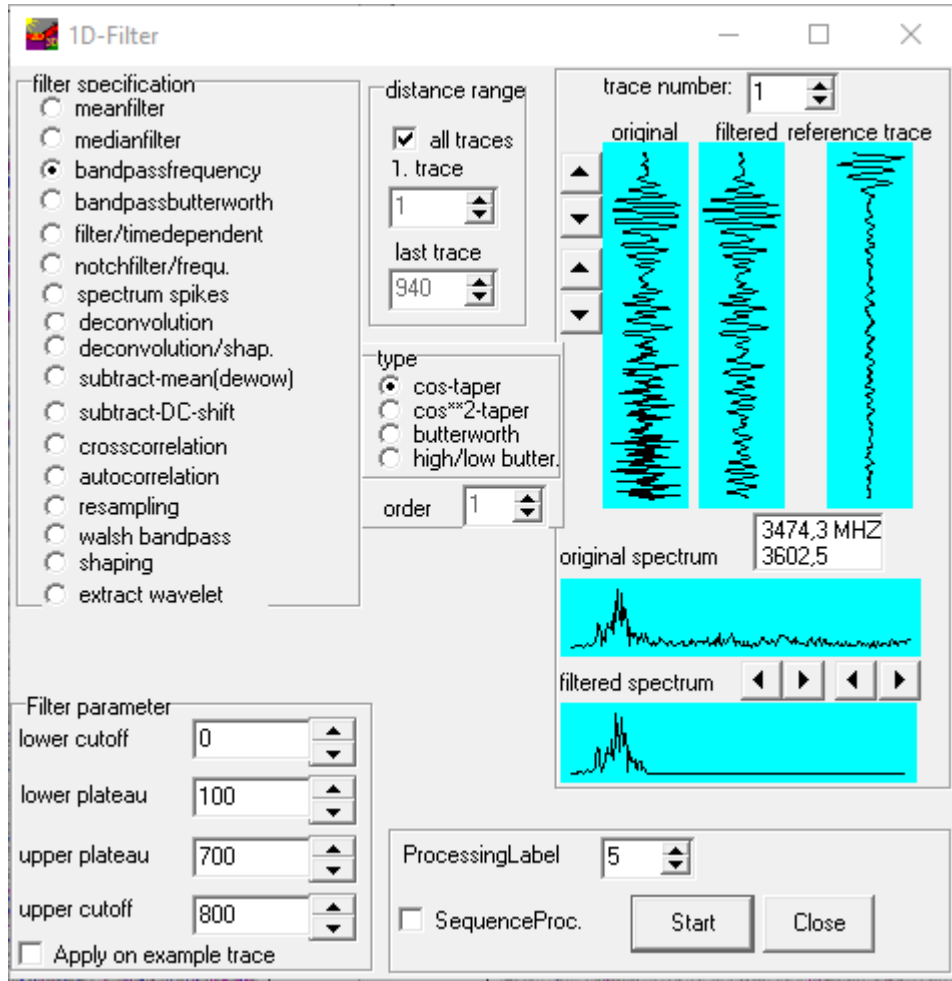
Şekil 2.14 : Enerji geri kazanımı uygulanmış veri üzerinde Arkaplan gürültüsü süzgecinin gösterimi, enerji geri kazanımı işlemi uygulanmış veri (üstte), arkaplan gürültüsü süzgeci uygulanmış veri (altta). Zaman eksenine başlangıcına yakın olan tekrarlı yansımalar veriden çıkartıldı.

2.2.8. Bant geçişli süzgeçleme

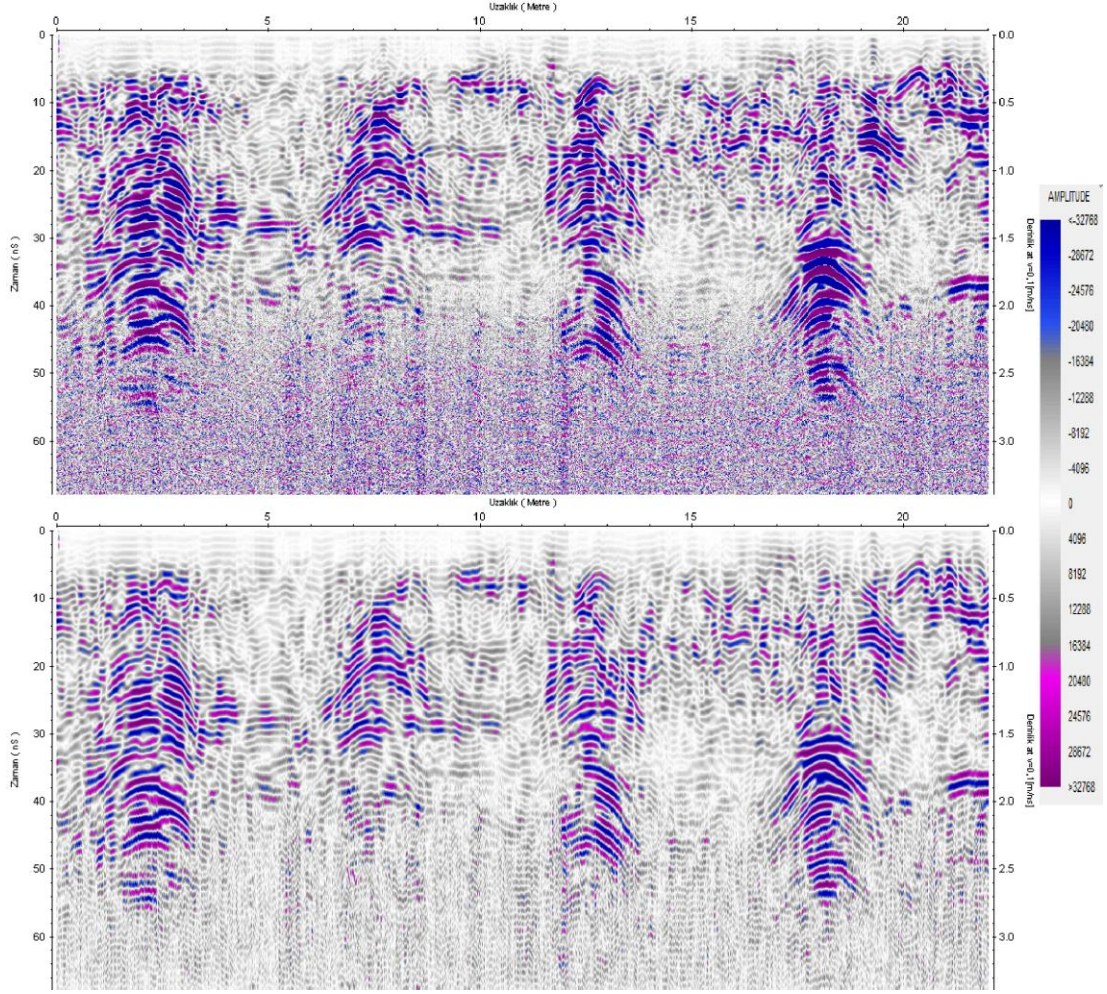
Radar sinyalleri yer altındaki katman geçişlerinde ve saçıcı bir yüzle karşılaştığında, yansıyan ve saçılan dalgaların frekansı ölçüm için kullanılan anten merkez frekansından uzaklaşır ve veriye gürültü olarak geri döner. Verideki yüksek ya da düşük frekanslı gürültülerin ayrılması amacıyla bant geçişli süzgeç kullanılır.

Saçıcılardan yansıyan ve kaydedilen bazı dalgaların frekansı, merkez frekans bandından uzaklaşmaz ve bu sebeple bant geçişli süzgeç ile veriden ayıklanamaz. Bu gürültünün genliği de yüksek olabilir. Veriden ayırmak için, çentik (notch) süzgeç kullanılır.

Bant geçişli süzgecin ReflexW programında uygulama gösterimi Şekil 2.15'te ve örnek veri üzerinde gösterimi Şekil 2.16'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Band geçişli süzgeçlemenin ReflexW programı üzerinde uygulanması

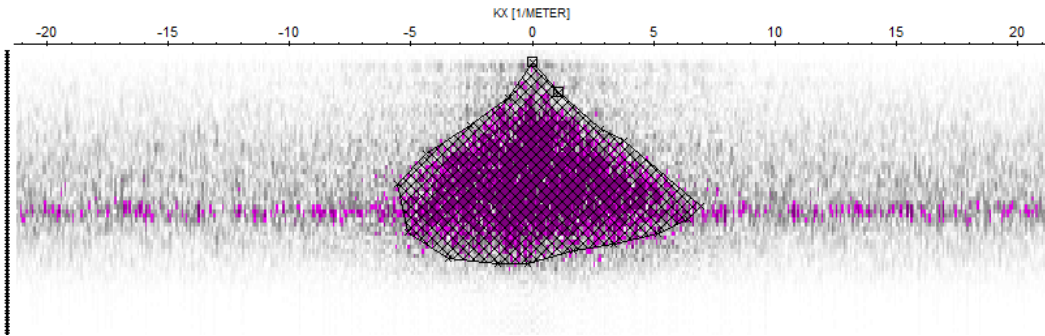
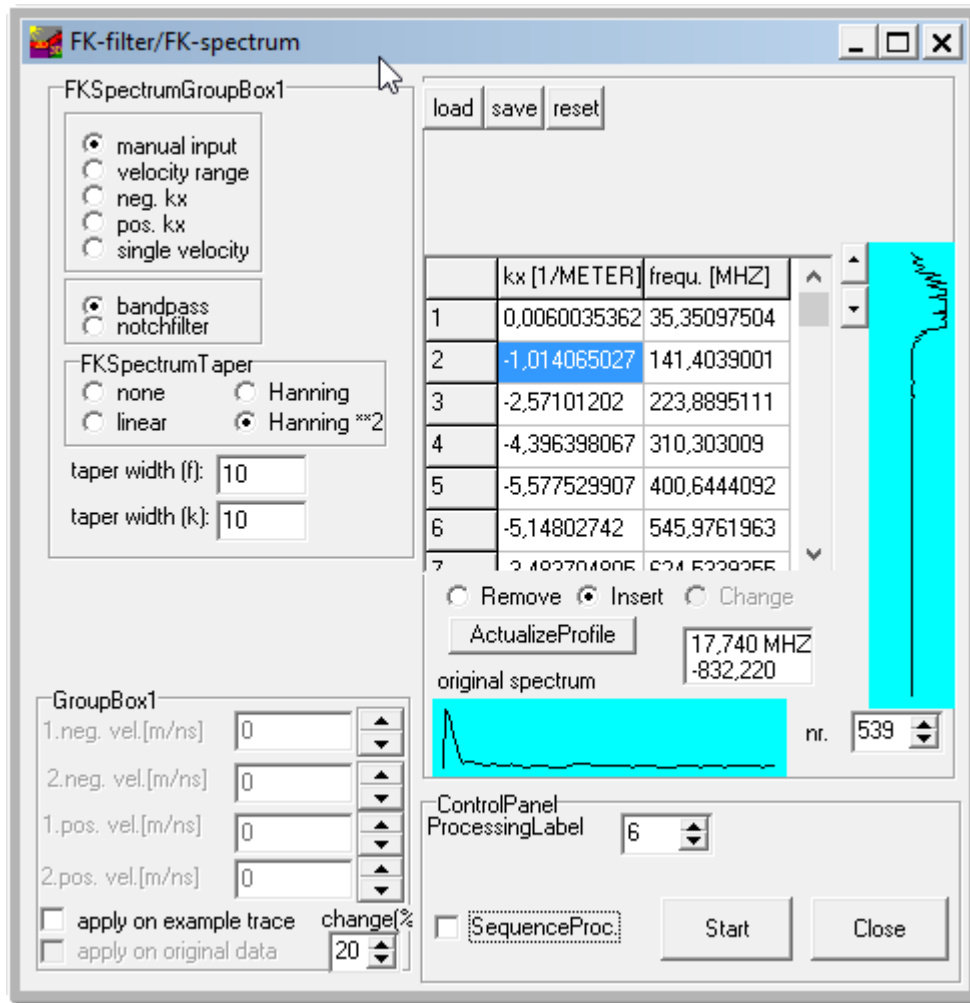


Şekil 2.16 : Arkaplan gürültüsü süzgeci uygulanmış veri üzerinde band geçişli süzgecin gösterimi, arkaplan gürültüsü süzgeci uygulanmış veri (üstte), band geçişli süzgecin uygulandığı veri (altta). 0-800 Mhz frekans bandındaki veriler tutularak, yüksek frekanslı gürültüler veriden çıkartıldı.

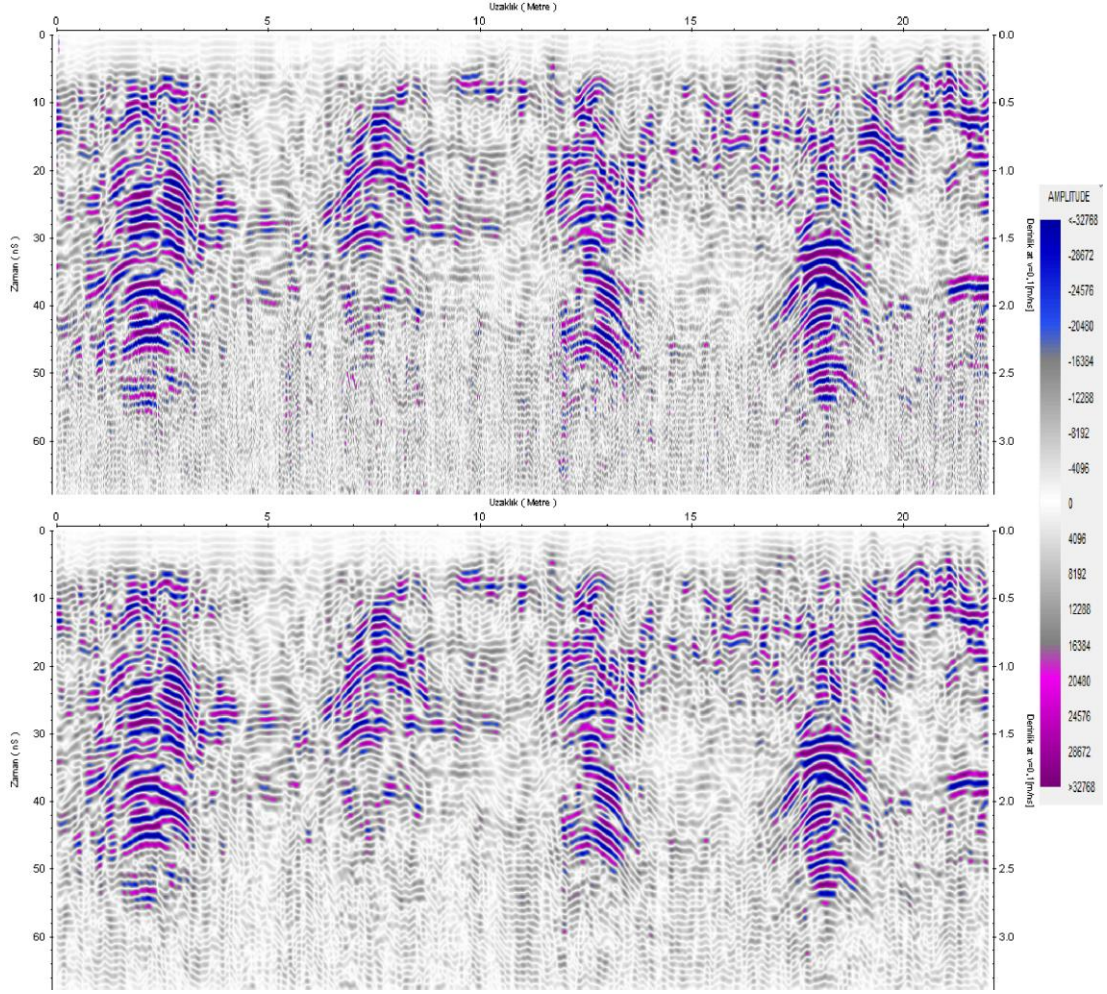
2.2.9. F-K süzgeçleme

Zaman ortamında toplanan veri, 2 boyutlu Fourier Transformu kullanılarak frekans dalga sayısı (F-K) ortamına geçirilir. F-K ortamına geçirilen veri, bu ortamda süzgeçlenerek gürültüler veriden atılır.

F-K süzgecinin ReflexW programında uygulama gösterimi Şekil 2.17’de ve örnek veri üzerinde gösterimi Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



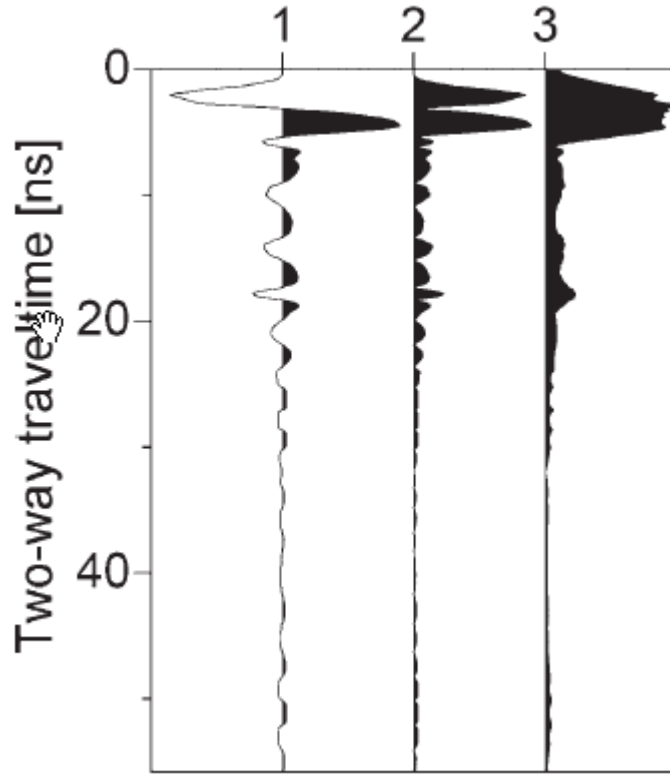
Şekil 2.17 : F-K süzgecinin ReflexW programı üzerinde uygulanması (üstte), süzgecin etkileşimli olarak seçilmesine ait görüntü (altta)



Şekil 2.18 : Band geçişli süzgeç uygulanmış veri üzerinde F-K süzgecin gösterimi, band geçişli süzgeç uygulanmış veri (üstte), F-K süzgecin uygulandığı veri (altta). Süzgecin uygulanması ile birlikte, zaman penceresinde sonlara doğru artan gürültüler veriden çıkartıldı.

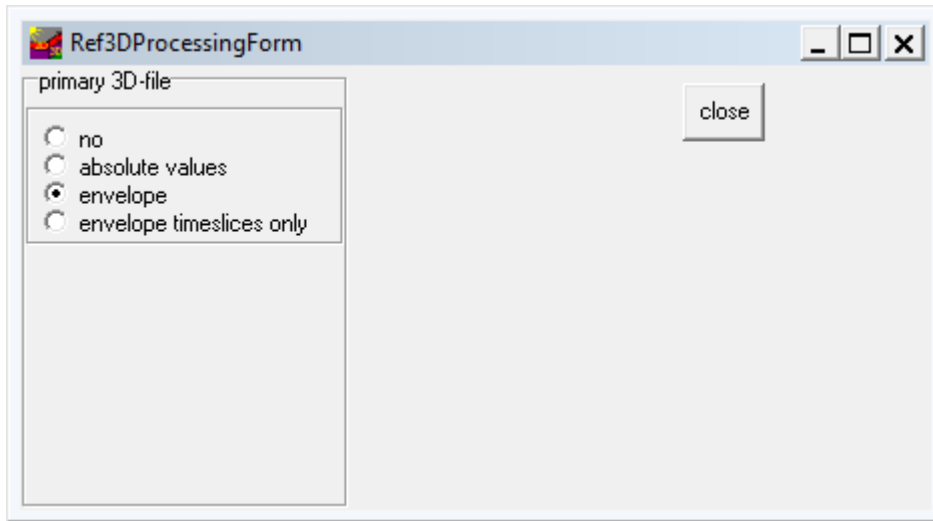
2.2.10. 3-B görüntüleme ve kat haritaları oluşturma

Veri işlem aşamalarından geçirilen veriler, eğer geometrik bir sistem içerisinde yer alıyorsa, yer altını temsil eden bir model oluşturmak için kullanılır. Bilgisayar ortamında oluşturulan bu modelden kesitler alınarak, yeraltındaki istenilen derinliği temsil eden kat haritaları oluşturulur. Yeraltındaki arkeolojik yapılardan yansıyan dalgaların genliği yükselir. Modeller oluşturulurken, dalgaların genlik değerlerinden yararlanılır. Dalgaların genliği hem negatif hem de pozitif değerlere sahip olduğundan, görüntülemeyi iyileştirmek ve sadece pozitif değerleri kullanmak için dalganın envelope (zarf) değerleri (Şekil 2.19) kullanılır. Bu sayede kat haritalarında, yüksek genliğe sahip noktalar daha ayrıntı edici olacaklardır. Şekil 2.20’de Zarf işleminin ReflexW programı üzerinde nasıl uygulandığı gösterilmiştir.

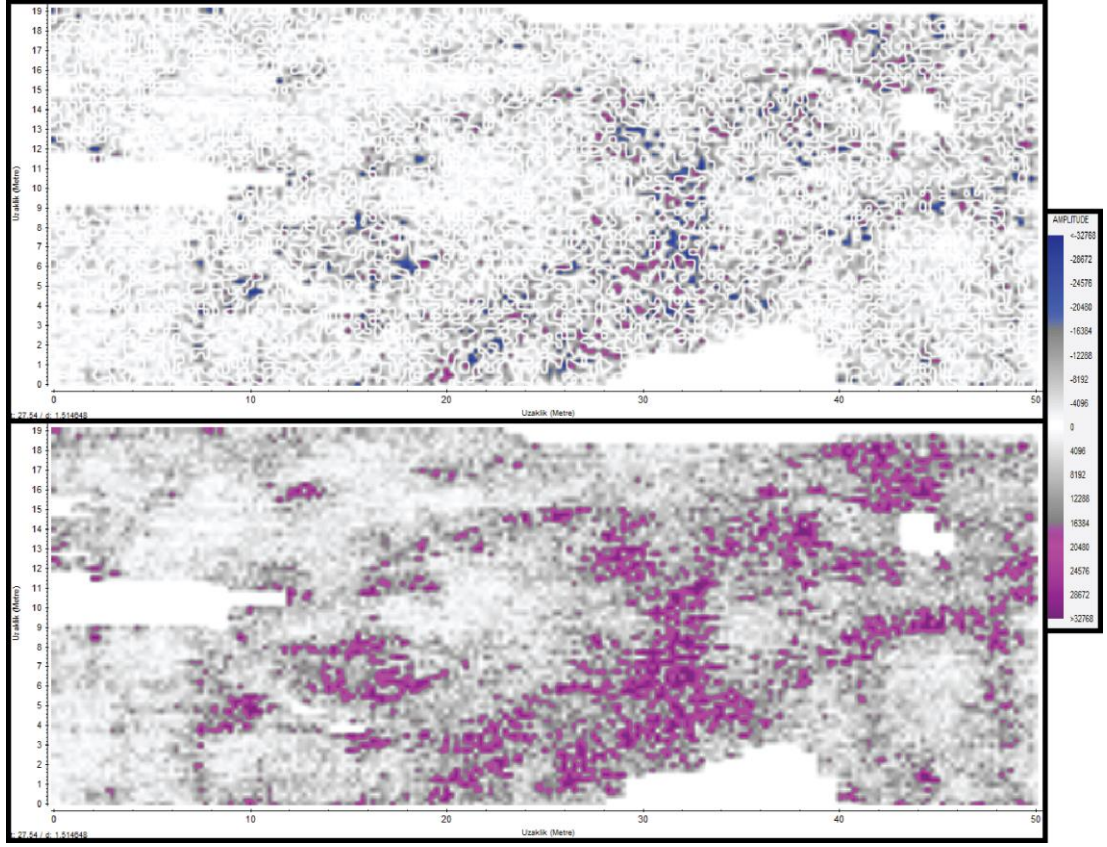


Şekil 2.19 : 1 – örnek dalga, 2 – mutlak değeri alınmış dalga, 3 – envelope değeri alınmış dalga (Trinks ve diğ., 2010).

Oluşturulan kat haritasında kullanılan zarf değeri uygulanmış veri ile uygulanmamış veri arasındaki karşılaştırmanın daha rahat anlaşılabilmesi için örnek kat haritası Şekil 2.21 üzerinde gösterilmiştir. Şekil üzerinde de görüleceği üzere, zarf işlemi uygulandıktan sonra, kat haritasında görülen yapılar daha net olarak ortaya çıkmışlardır.



Şekil 2.20 Zarf (Envelope) işleminin ReflexW programı üzerinde uygulanması



Şekil 2.21 : Zarf işlemi uygulanmamış veri (üstte), Zarf işlemi uygulanmış veri (altta)

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Labranda Antik Kenti'nde yer altında bulunan olası yapıları ortaya çıkarmak ve kazı çalışmalarına yön vermek amacıyla Yer radarı yöntemi ile çalışma yapılmıştır. Kazı alanında belirlenen alanda yapılan arazi çalışmaları sonucunda elde edilen yer radarı verileri, veri işlem aşamalarından geçirildikten sonra kat haritaları elde edilmek üzere düzenlenmiştir.

3.1. Arazi Çalışmaları

Labranda Antik Kenti'nin güney kapısı (Propylon) önünde yer alan teras alanında çalışma yapılmıştır. Kat haritaları oluşturmak için profiller birbirine paralel olarak düzenlenmiştir.

Teras üzerinde yer radarı çalışması yapılmak üzere 2 alan seçilmiş, araziye çalışmaya uygun hale getirmek için arazi üzerindeki büyüklü küçüklü taşlar toplanmış ve otlar ayıklanmıştır. Şekil 3.1'de arazi çalışmasına ait bir görüntü gösterilmiştir.

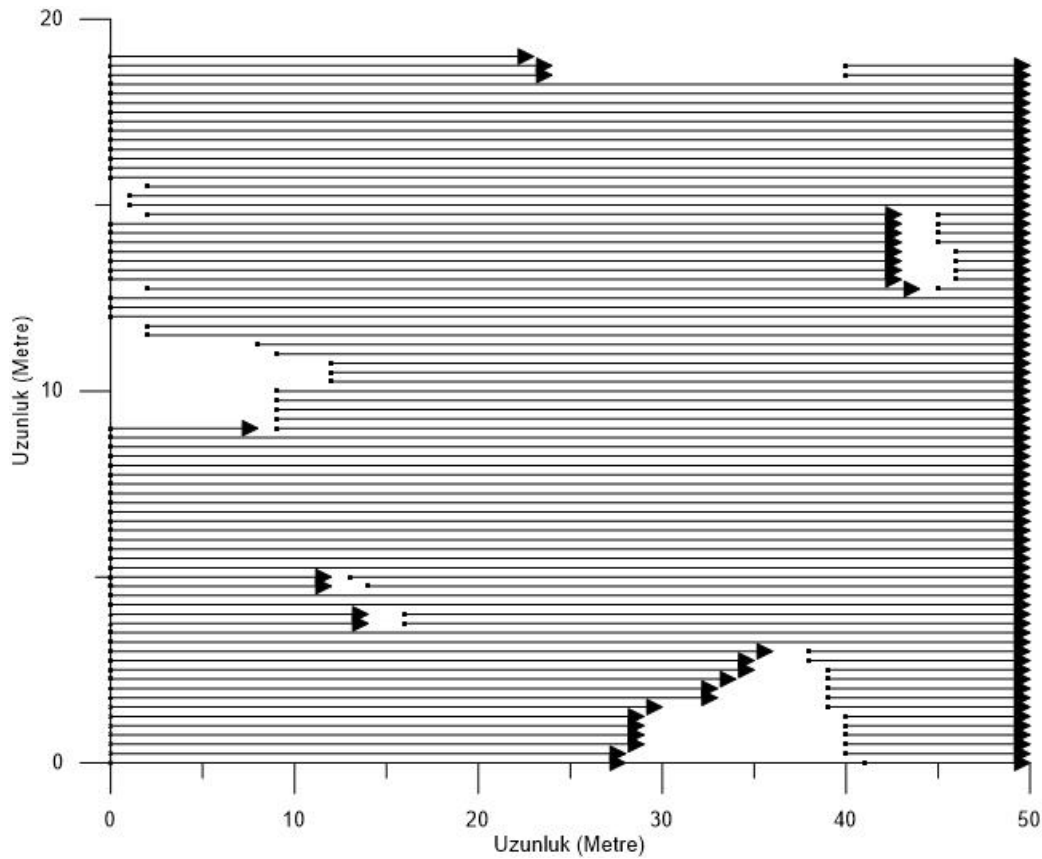


Şekil 3.1 : Arazi çalışmasına ait bir görüntü

1. alanda yapılan çalışmalarda profil aralığı 0,25 m olarak belirlenmiş, 106 profil boyunca toplam 3557 metre veri alınmıştır. Profiller 50 metreye 19 metre boyutlarında bir bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 3.2). Alan üzerinde profillerin geçmediği bazı bölgeler bulunmaktadır. Bu bölgeler ağaçlar ve büyük kayalardan dolayı ölçü alınamayan yerlerdir.

2. alanda yapılan çalışmalarda profil aralığı 0,5 m olarak belirlenmiştir. Alanda toplam uzunluğu 387 metre olan 14 profil veri alınmıştır. 6,5 metreye 30 metre boyutlarındaki alanda ölçülen profiller Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

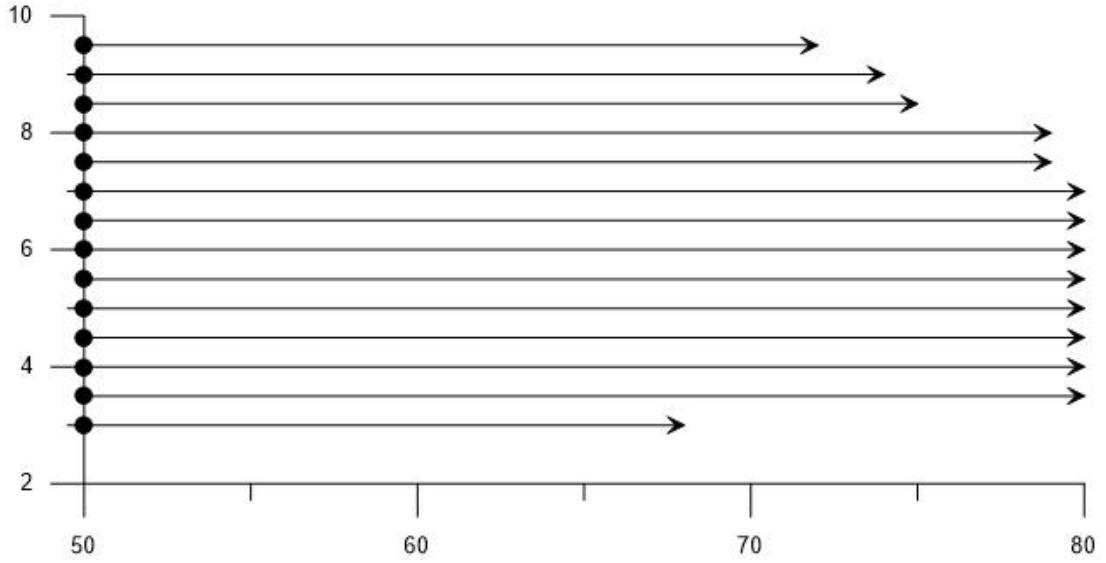
2. alanda profil aralığı, yüzeydeki gömülü büyük taşlar sebebiyle, 0,25 m yapılamadığından dolayı birbirine bitişik olmasına rağmen tek bir alan olarak çalışılamamıştır. 2 alan, bu sebepten dolayı arazi çalışması ayrı yapılmış, sonuçlar daha sonra birlikte değerlendirilmiştir.



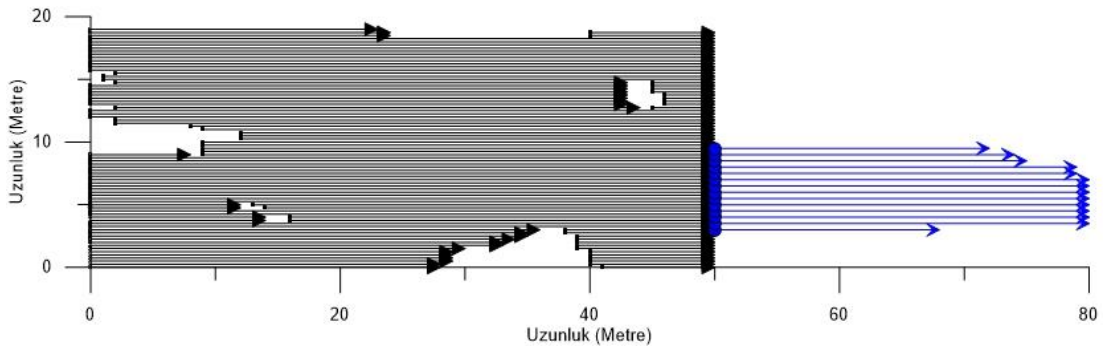
Şekil 3.2 : 1. Alandaki profillerin gösterimi. Profillerin başlangıçları siyah noktalar ile bitişleri ise siyah oklar ile gösterilmiştir.

Alanlardaki profiller birleştirilmiş olarak Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Alanların gösterimi için koordinat düzlemi oluşturulurken, alanın güneydoğu köşe koordinatı

(0,0) olarak seçilmiştir. Bütün veriler bu koordinat düzlemi esas alınarak yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3 : 2. Alandaki profillerin gösterimi. Profillerin başlangıçları siyah noktalar ile bitişleri ise siyah oklar ile gösterilmiştir.

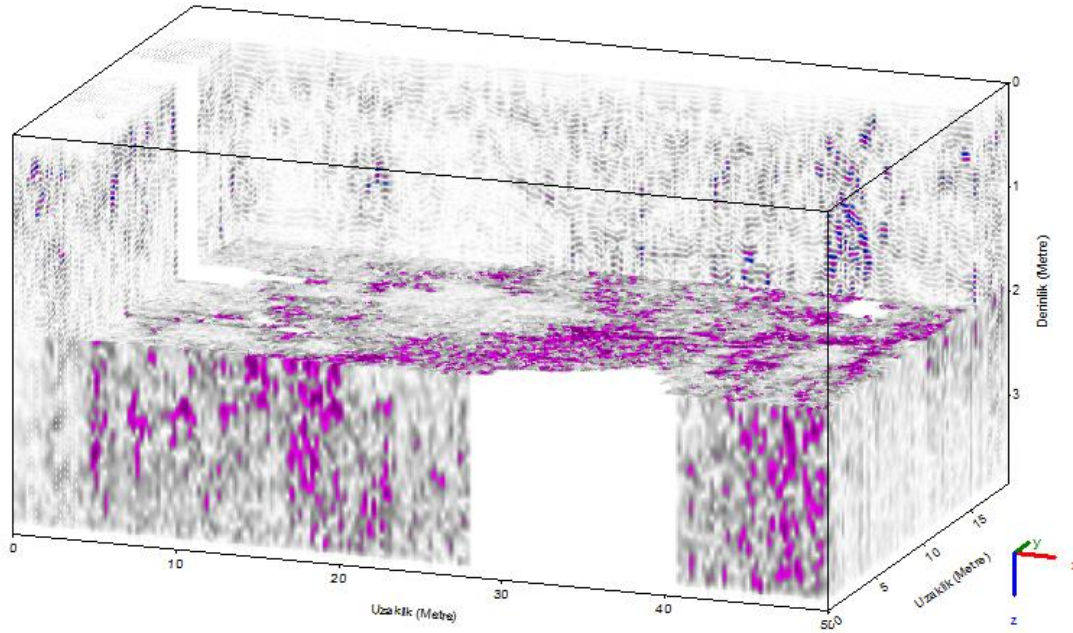


Şekil 3.4 : Alanlardaki profillerin birleştirilmiş hali. Siyah oklar 1. Alana ait verileri, Mavi oklar 2. Alana ait verileri gösterir

3.1.1. Kat haritaları oluşturma

Arazide elde edilen veriler, yatay kat haritaları oluşturmak için bilgisayar ortamında koordinat düzlemine bağlı olarak (Şekil 3.4) birleştirilmiştir. Her profilin başlangıç ve bitiş koordinatları programa girilerek profillerin geometrileri program üzerinde tanımlanmıştır. Profillerdeki her bir veri, temsil ettiği noktaya atandıktan sonra, profiller arasındaki (0,25m) boşluğa ara değer atama (interpolasyon) yöntemi ile yapay veri eklenmiştir. Bu veriler ile alanının yer altı görünümünü temsil eden küp (Şekil 3.5) oluşturulmuştur. Oluşturulan küp üzerinde istenilen derinliğe ait olacak şekilde

yatay kesit elde edilebilir, böylece yatay kat haritaları oluşturulabilir. Çalışma yapılan 2 alan için de ayrı ayrı kat haritaları oluşturulmuş ve yorumlanmıştır.



Şekil 3.5 Yer altını temsil eden küp modelinin görünümü.

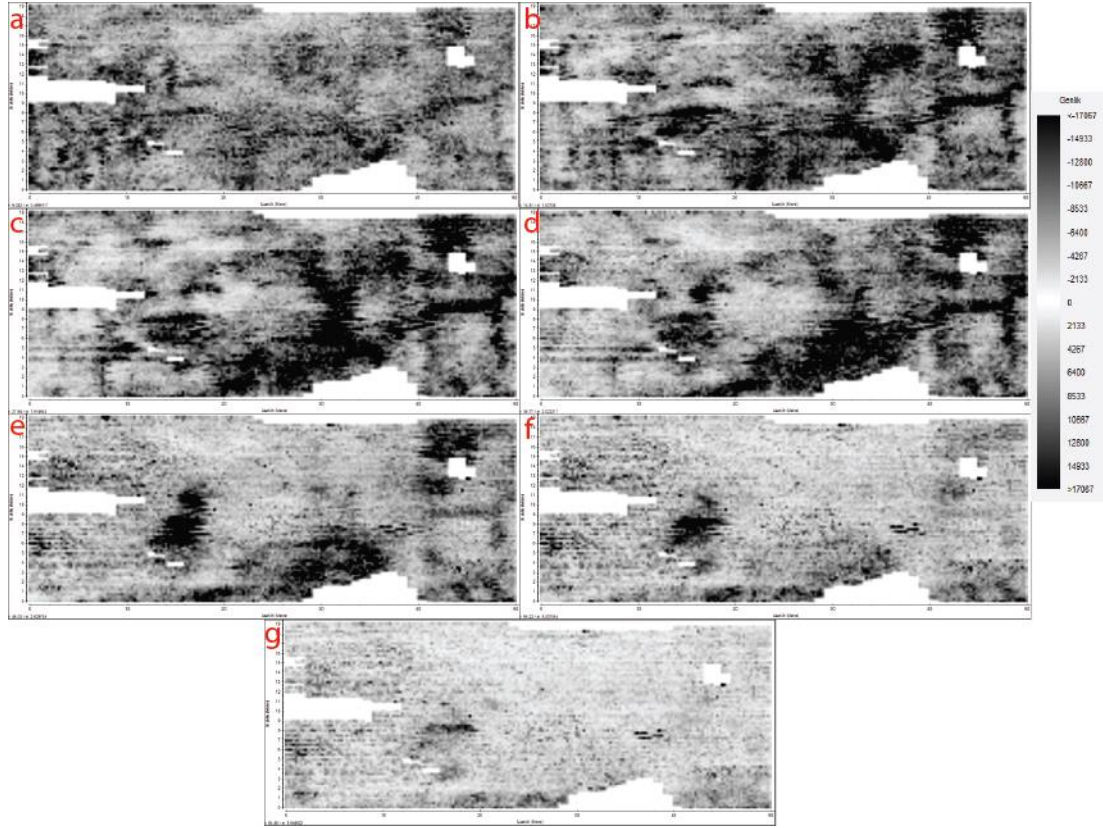
3.1.2. 1. Alana ait kat haritaları

1. alan için oluşturulan kat haritaları Şekil 3.6’te gösterilmiştir. Kat haritaları 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinliklere aittir. Genlik skalasında siyah renkler pozitif genlik değerlerini, beyaz bölgeler ise ölçü alınamayan yerleri gösterir. Kat haritaları oluşturulurken izlerin zarf değerleri alındığından, veride negatif genlik değeri kalmamıştır. Bu sebeple kat haritalarına bakıldığında negatif genlik görülmemektedir.

Kat haritaları incelendiğinde yüksek genlik değerlerinin görüldüğü anomalilerin yeraltındaki antik kalıntılar olduğu düşünülmektedir. Bazı kısımlarda bu yüksek genlikli anomalilerin belirli bir geometriye, yani doğrusallığa sahip olduğu görülse de, bazı kısımlarda bu doğrusallık görülmemektedir. Doğrusallık gösteren anomalilerin yer altındaki yapılara ait olduğu düşünülebilir ve kat haritaları yorumlanırken bu anomaliler özellikle dikkat çeker.

Doğrusallık içermeyen ya da kısmen doğrusallık içeren anomaliler veride önemli yer tutar. Bu anomalilerin, antik kentin yaklaşık 2700 yıllık tarihi düşünüldüğünde,

yıkılmış yapılara ait olduğu yorumlanabilir. Bunlar olasılıkla antik kente ait yapıların yıkılması ile duvar taşlarından oluşan yığıntılardır.

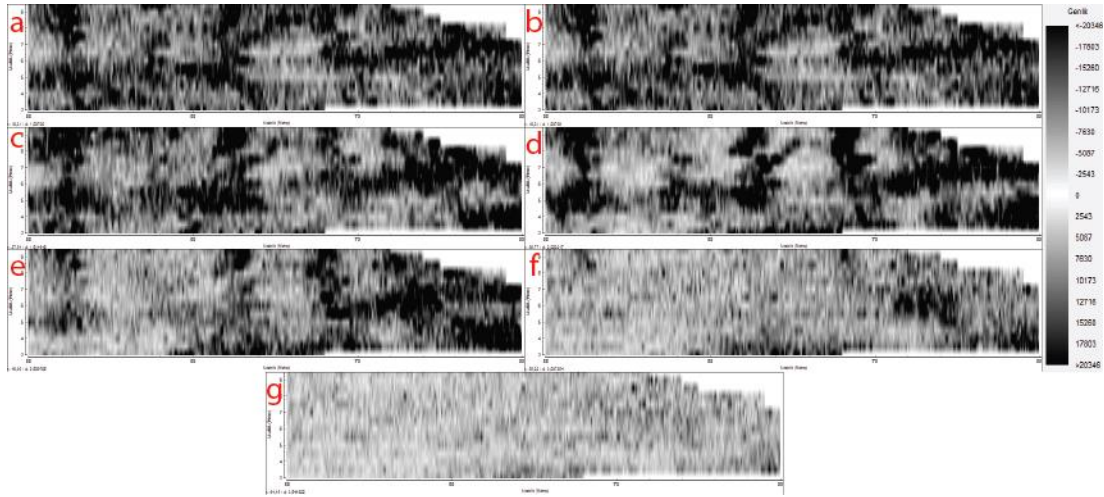


Şekil 3.6 : 1. Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir

3.1.3. 2. Alana ait kat haritaları

2. alan için oluşturulan kat haritaları Şekil 3.7’da gösterilmiştir. Kat haritaları 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinliklere aittir. Renkler için 1. Alan açıklamasına bakınız.

Kat haritaları incelendiğinde yüksek genlik değerlerinin görüldüğü anomalilerin yer altında antik kalıntılar olduğu düşünülmektedir. Bu anomalilerin doğrusalılık içermesi yer altındaki antik yapıların izleri olduğu söylenebilir.

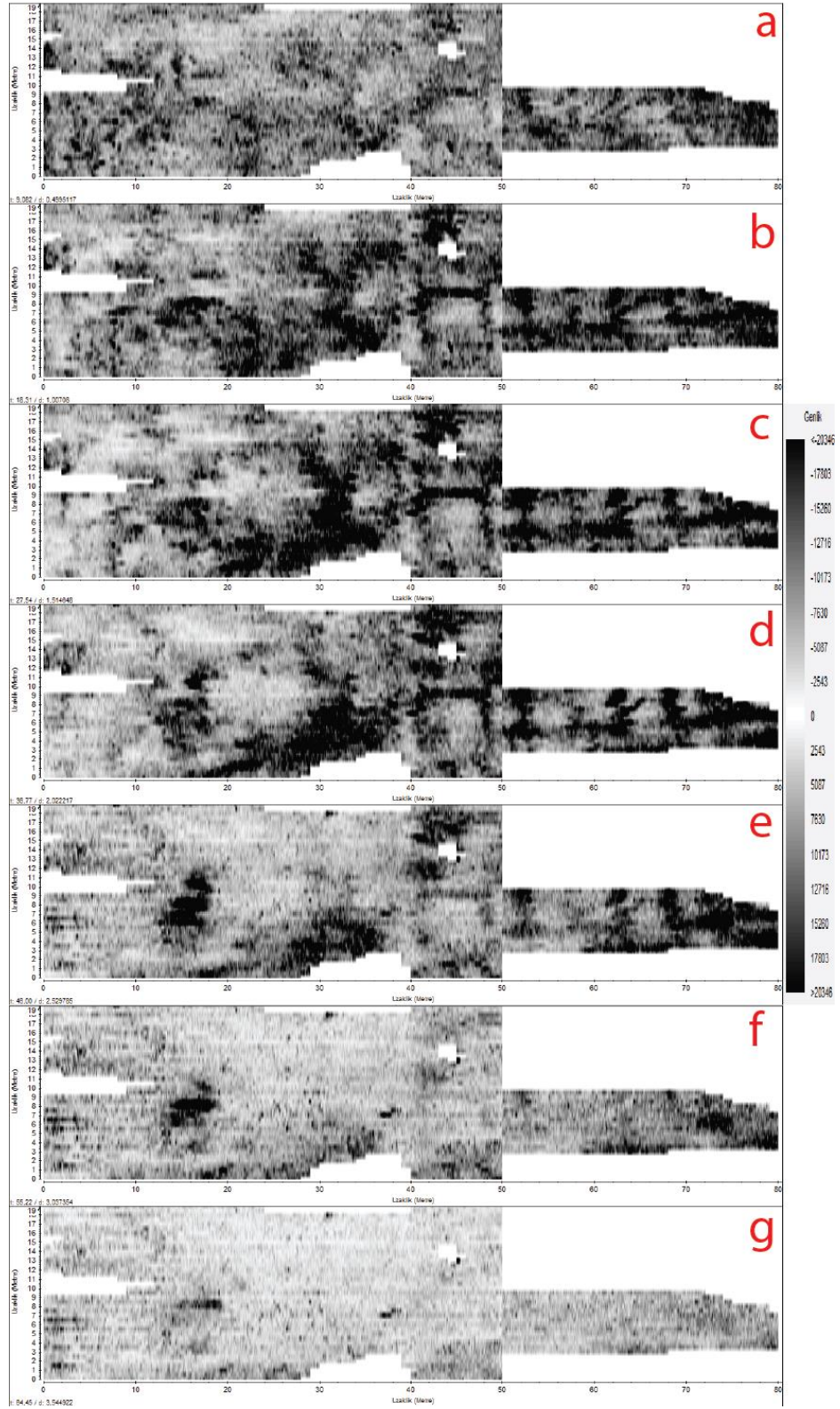


Şekil 3.7 : 2 Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir

3.1.4. Birleştirilmiş kat haritaları

1. Alan ve 2. Alan için oluşturulan kat haritaları birleştirilerek, her iki alan için de elde edilen veriler bir arada değerlendirilmiştir. Bu şekilde kesitlerde görülen yapıların devamlılığının takip edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.8’de gösterilen birleştirilmiş kesitlerde 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinliklere aittir.

Her iki alanda da yapılan çalışmalara genel bakış imkânı sunan kesitler incelenmiş olup, bu inceleme sonunda, arkeolojik yapılara ve onların devamlılığına ait bilgi sahibi olmak istenmiştir. 1. Alana ait profil aralığının 25 cm ve 2. Alana ait profil aralığının 50 cm olması, bu iki verinin birlikte değerlendirilmesi sırasında bir engel teşkil etmemiştir.

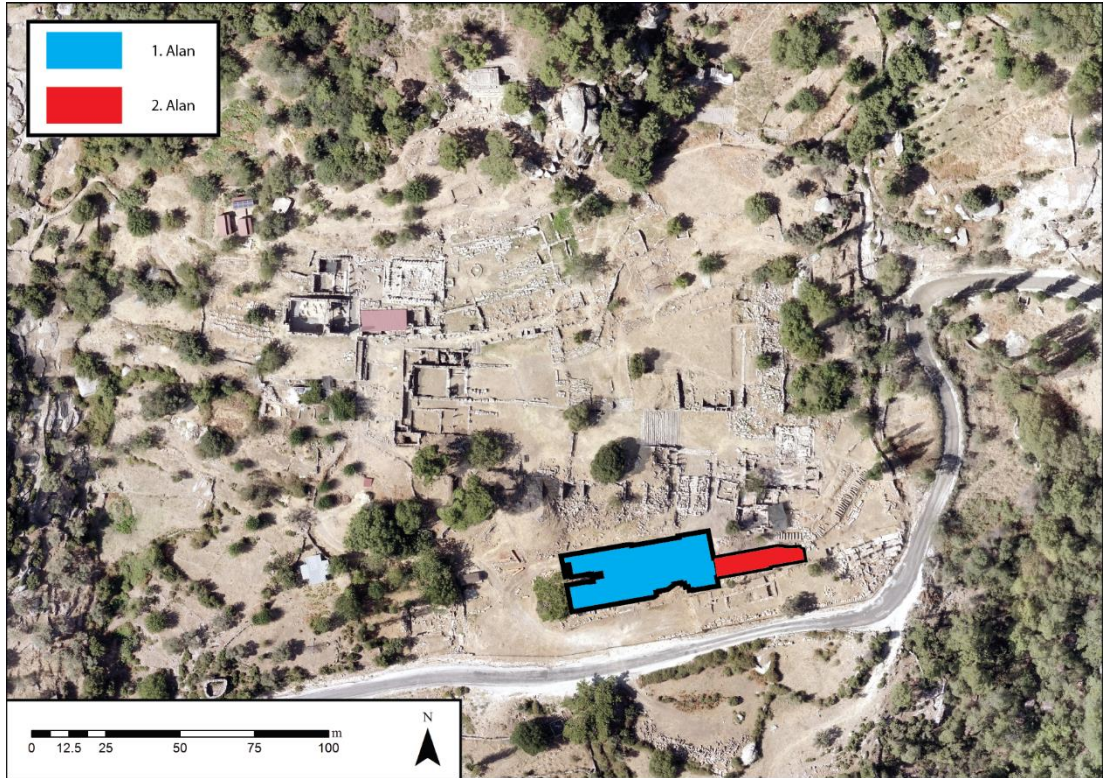


Şekil 3.8 : Birleştirilmiş alanların kat haritaları; ; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f) ve 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir.

4. SONUÇLAR

Yeraltının görüntülenmesi için kullanılan jeofizik bir yöntem olan Yer radarı; arkeolojik sit alanlarında tarihi yapıların ve arkeolojik kalıntıların ortaya çıkarılması amacıyla sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, Muğla ilinin Milas ilçesine 15 km uzaklıkta yer alan Labranda Antik Kenti'nde Yer radarı çalışması yapılmıştır.

Yer radarı çalışması kazı çalışmalarına yön vermek amacıyla, kentte yer alan giriş kapısının (Propylon) güneyindeki terasta belirlenen iki alanda (Şekil 4.1) uygulanmıştır.

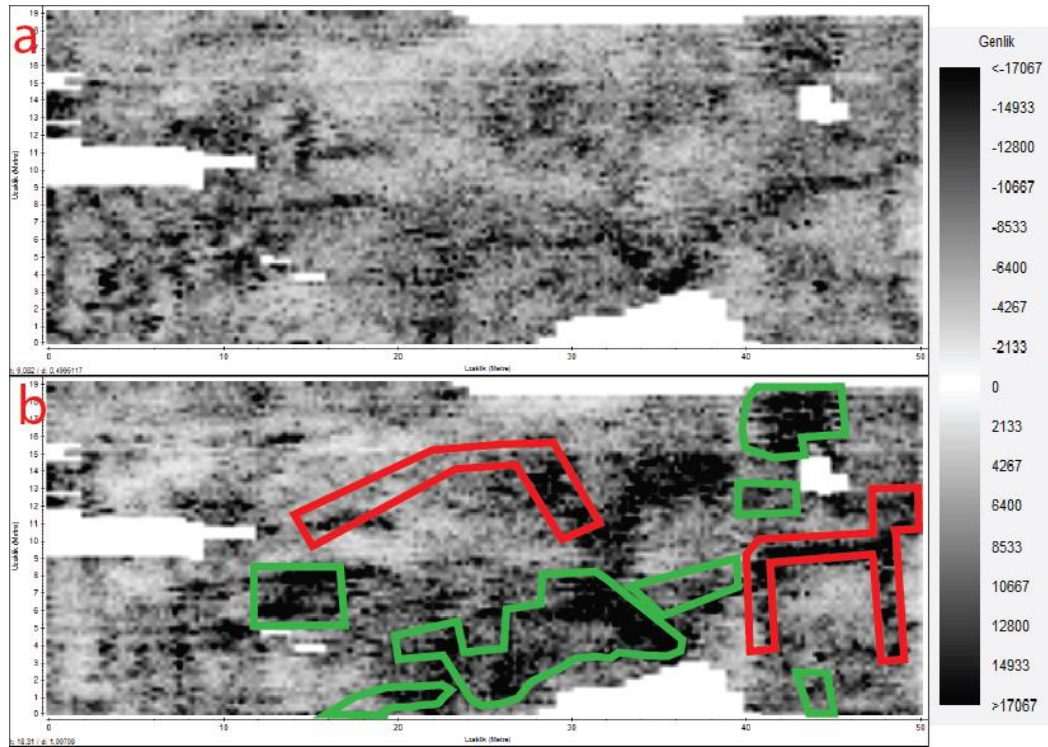


Şekil 4.1 : Hava fotoğrafı üzerinde yer radarı çalışması yapılan alanların gösterimi; mavi renk 1. Alanı, kırmızı renk 2. Alanı temsil etmektedir.

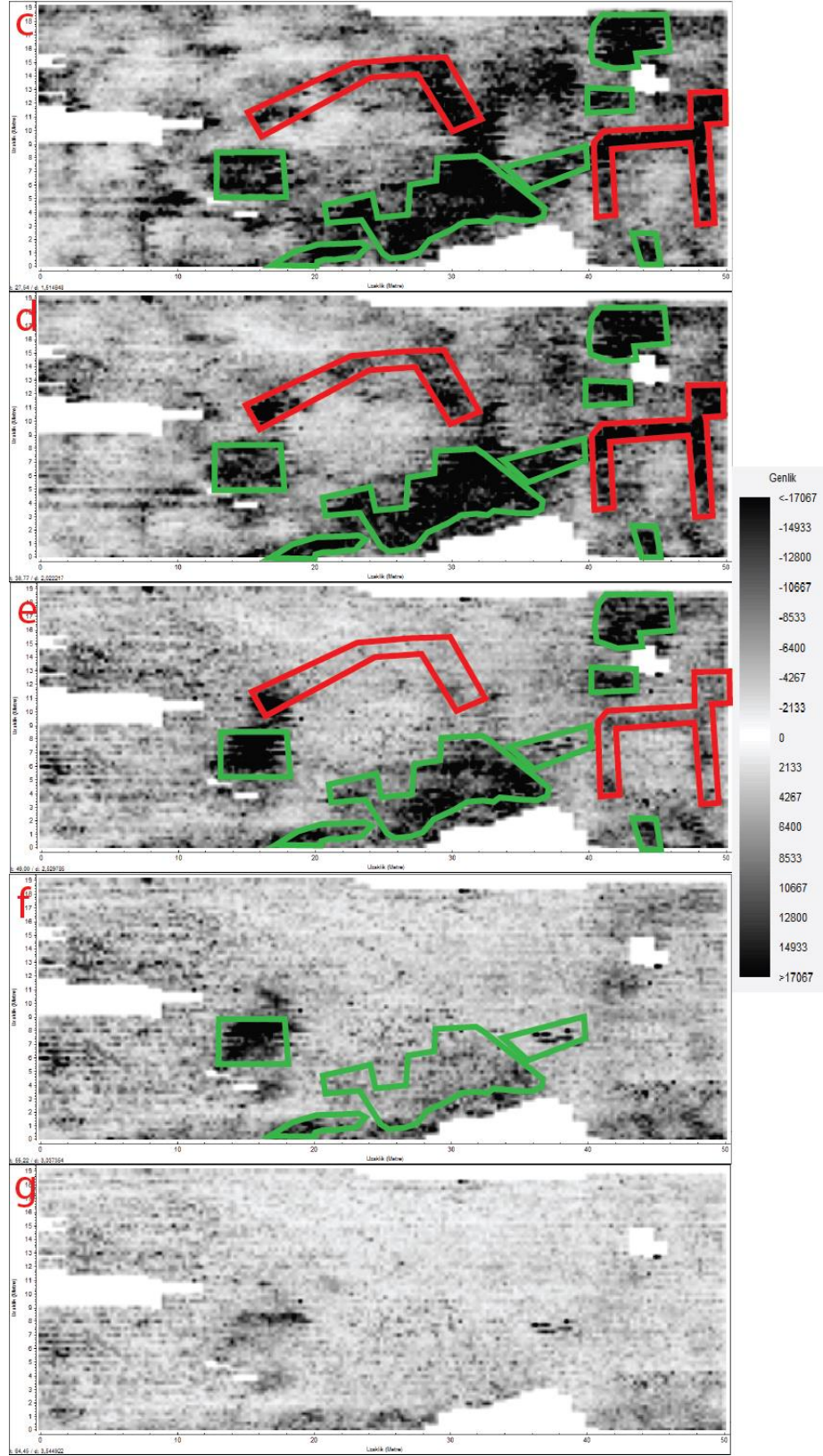
4.1. 1. Alana Ait Kat Haritalarının Yorumlanması

1. Alanda yapılan Yer radarı çalışmalarının sonucunda elde edilen kat haritaları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Kat haritaları incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır;

- Yapı izleri yaklaşık 50 cm derinlikten başlamıştır.
- 1 metre kat haritasında yapı izleri daha net görülmüş ve yapı kalıntılarının alanın güney doğu bölgesinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.2 b).
- 1,5 metre kat haritasında yapı izleri artmış fakat doğrusal olarak görülen yapı izlerinin yanında, arkeolojik yapının devrilmiş taşlarının oluşturduğu yığıntılar görülmüştür (Şekil 4.2 c).
- 2 metre kat haritasında yapıların doğrusal izleri daha net gözlemlenmiştir (Şekil 4.2 d).
- 2,5 metre kat haritasında yığıntıların izleri görülmekte olduğu, fakat doğrusal yapı izlerinin kaybolduğu tespit edilmiştir. Bu aynı zamanda yapıların temel derinliğinin 2,5 metre olduğu sonucunu verir (Şekil 4.2 e).
- 3 metre ve 3,5 metre kat haritalarında yapı izleri ve yansımaları kaybolmuştur (Şekil 4.2 f ve g).



Şekil 4.2 : 1. Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), derinlikleri gösterir. Yapı izleri kırmızı çizgiler ile yığıntı izleri yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.

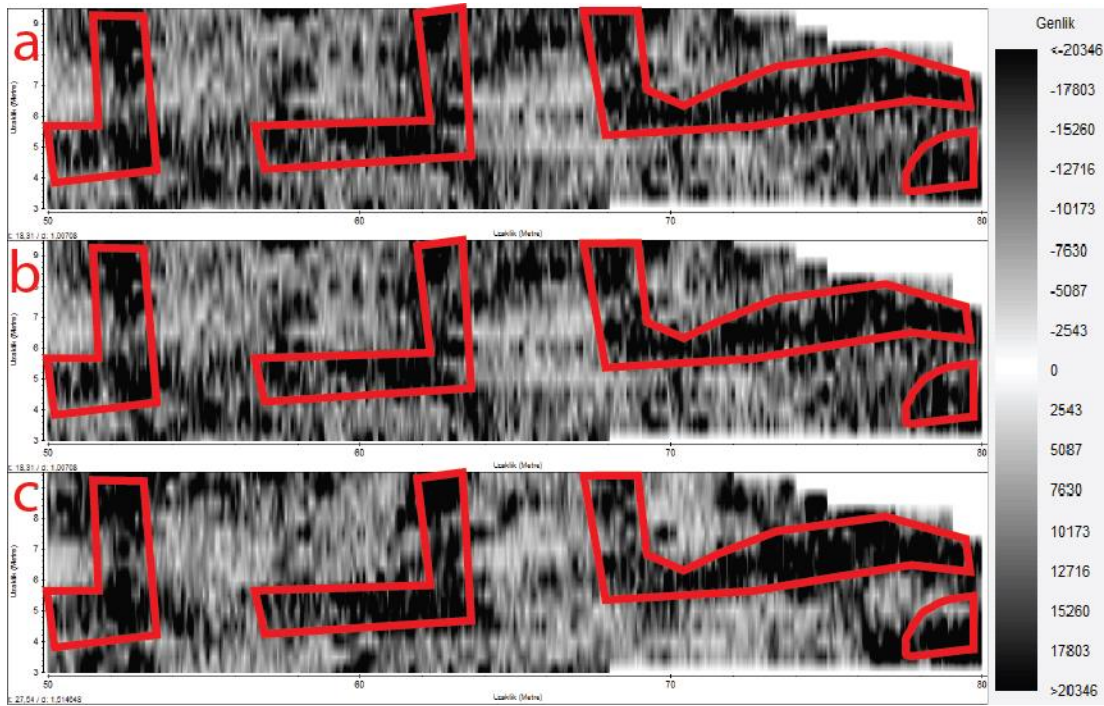


Şekil 4.2 (devam) : 1. Alana ait kat haritaları; 1,5 metre (c), 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f), 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir. Yapı izleri kırmızı çizgiler ile yığıntı izleri yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.

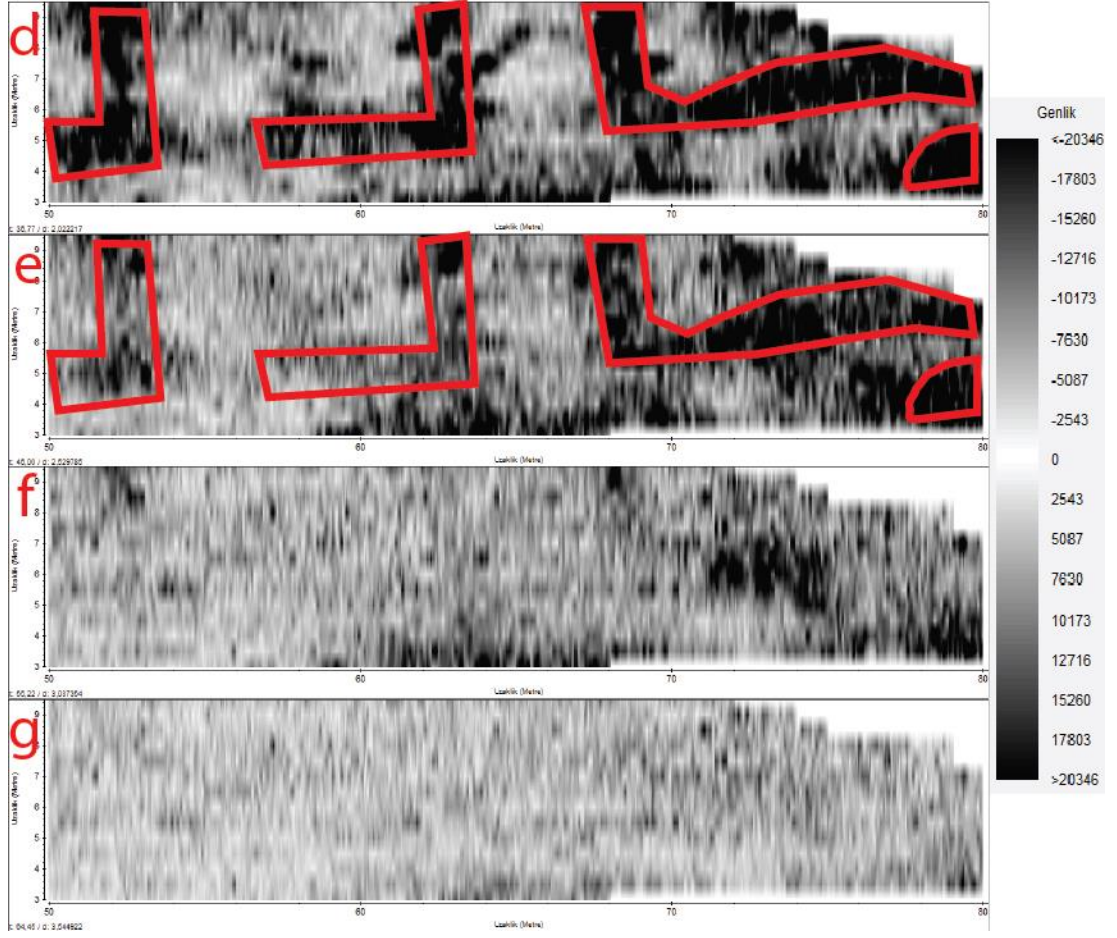
4.2. 2. Alana Ait Kat Haritalarının Yorumlanması

2. Alanda yapılan Yer radarı çalışmalarının sonucunda elde edilen kat haritaları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Kat haritaları incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır;

- Arkeolojik yapıya ait olabilecek doğrusal izler 0,5 metre kat haritasında görülmeye başlanmıştır (Şekil 4.3 a).
- Yapı izleri 2,5 metre derinliğe (Şekil 4.3 b) kadar devam etmiştir, fakat 2,5 metreden sonra (Şekil 4.3 c ve d) izler görülmemeye başlamıştır.
- 2,5 metre derinliğin bu alandaki yapıların temel derinliği olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.3 : 1. Alana ait kat haritaları; 0,5 metre (a), 1 metre (b), 1,5 metre (c) derinlikleri gösterir. Yapı izleri kırmızı çizgiler ile gösterilmiştir.



Şekil 4.3 (devam) : 2 metre (d), 2,5 metre (e), 3 metre (f), 3,5 metre (g) derinlikleri gösterir. Yapı izleri kırmızı çizgiler ile gösterilmiştir.

4.3. Kat Haritalarının Harita Üzerinde Gösterimi

Alanlarda yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen kat haritaları harita üzerinde gösterilerek yapıların geometrilerinin anlaşılması amaçlanmıştır. Her iki alanda da elde edilen kat haritalarının değerlendirilmesi sonucunda, yapıları en iyi gösterdiği düşünülen 2 metrelik kat haritası harita üzerine yerleştirilmiş, kat haritası üzerinde yapılar kırmızı, yığıntılar yeşil çizgiler ile gösterilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Arkeolojik yapıların 2 m derinliğe ait kat haritası ile birlikte gösterimi.

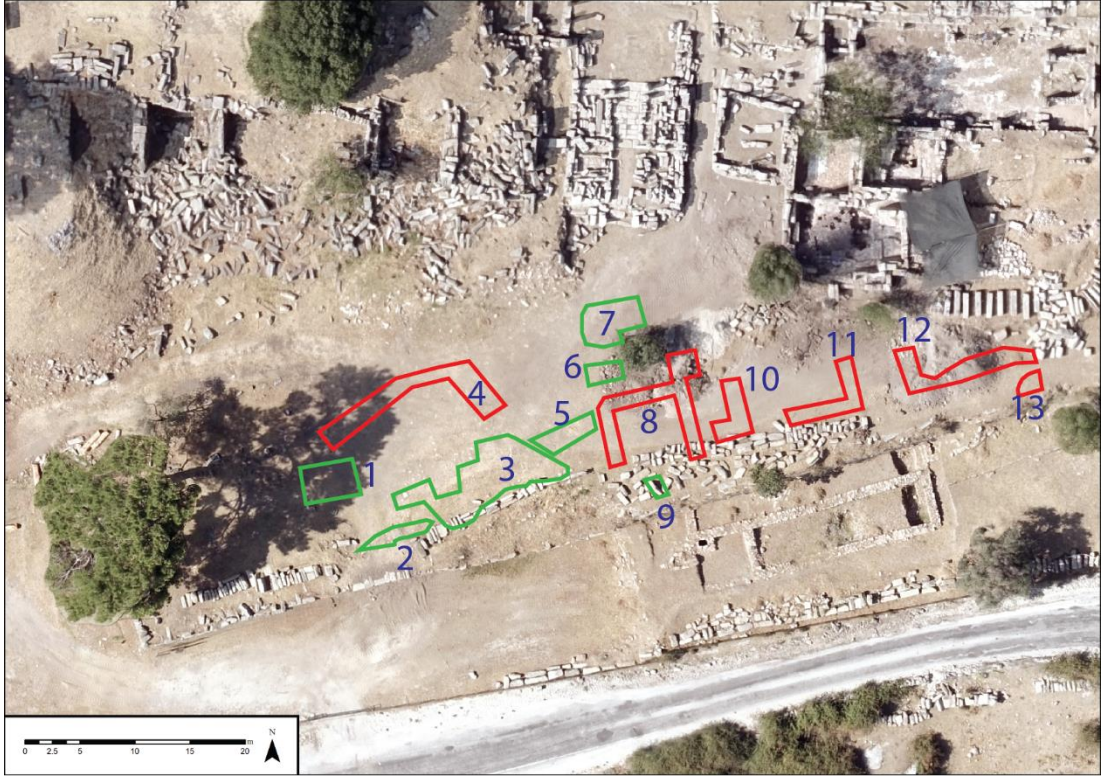
Doğrusal yapılar kırmızı çizgiler ile yığıntılar yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.

Kat haritası ile birlikte gösterilen yapılar, Şekil 4.5 üzerinde kat haritası olmadan, harita üzerinde gösterilmiştir. Yapılar ve yığıntılar numaralandırılarak, yorumların rahat anlaşılması amaçlanmıştır.

1 numaralı yapının, yığıntı olarak değerlendirilen 2, 3, 4 ve 5 numaralı yığıntılar ile birlikte bir binanın unsurları olabileceği, 1 numaralı yapının binanın duvarı olarak yıkılmadan kaldığı, fakat 2, 3, 4 ve 5 numaralı yığıntıların yıkılıp duvar özelliğini kaybettiği düşünülmektedir.

2. Alanda alt terasta yer alan roma havuzuna giden bir drenaj hattı arandı, fakat ortaya çıkan yapılar ile roma havuzu arasında bir bağlantı olmadığı görüldü. 8, 9, 10, 11, 12 ve 13 numaralı yapı izlerinin, roma havuzu ile bir bağlantısı olmaksızın, bir binayı temsil edebileceği, bununla birlikte bu olası binanın bazı duvarlarının yıkıldığı düşünülmektedir.

Çalışma alanında yapılacak kazılar ile ortaya çıkarılacak yapılar, bu alandaki verilerle yapılan yorumları doğrulayabilir.



Şekil 4.5 : Arkeolojik yapıların harita üzerinde gösterimi. Doğrusal yapılar kırmızı çizgiler ile yığıntılar yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.

4.4. Öneriler

Labranda Antik Kenti'nde yapılan Yer radarı çalışmaları sonucunda, çalışılan alanda yer altındaki yapılar gösterilmiştir. Yer radarı çalışması sonuçlarının doğru bir yer altı modeli verebilmesi için;

- Arazide problemin iyi değerlendirilip, problemi çözebilecek ekipmanların doğru seçilmesi
- Arazi çalışmaları için belirlenen alanın çalışma öncesi temizlenmesi, böylece arazi kaynaklı gürültülerin en aza indirilmesi
- Her bir profile ait düşey kesitin (Radargram) ayrı ayrı değerlendirilmesi yerine, belirlenen geometri ile birleştirilip yer altını temsil edebilecek model ile birlikte değerlendirilmesi
- Oluşturulan modele ait kat haritalarının çıkartılması
- Kat haritaları değerlendirildiğinde görülen yapıların doğru yerleştirilmesi için görüntülerin harita üzerinde gösterilmesi, bu vesile ile yanlış bir bölgenin kazılmasının engellenmesi

Önerilir.

KAYNAKLAR

- Annan, A. (2009). Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. H. M. Jol içinde, *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications* (s. 2-40). Elsevier.
- Annan, P. A. (2003). *Ground Penetrating: Radar Principles, Procedures & Applications*. Sensors & Software Inc.
- Cassidy, N. J. (2008). Ground Penetrating Radar Data Processing, Modelling and Analysis. H. M. Jol içinde, *Ground Penetrating Radar Theory and Applications* (s. 141-176). Elsevier.
- Geophysical Survey Systems, Inc. (2011). *SIR System-3000 Manual*. USA: Geophysical Survey Systems, Inc.
- Hellström, P. (2007). *Labraunda Karya Zeus Labraundos Kutsal Alanı Gezi Rehberi*. İstanbul, Türkiye: Ege Yayınları.
- Moorman, B. J. (2001). Ground-Penetrating Radar Applications in Paleolimnology. J. P. Smol, & W. M. Last içinde, *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques* (s. 23-47). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction To Applied And Environmental Geophysics*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Robinson, M., Bristow, C., McKinley, J., & Ruffell, A. (2013). Ground Penetrating Radar. L. Clarke, & J. Nield içinde, *Geomorphological Techniques* (s. Part 1 Section 5.5). London, UK: British Society for Geomorphology.
- Rowell, C. (2011). *Geophysical Analysis of Structures and Flow Geometry of the Blue Dragon Lava Flow, Idaho, USA*. Alberta, USA: University of Calgary.
- Trinks, I., Johansson, B., Gustafsson, J., Emilsson, J., Friberg, J., Gustafsson, C., . . . Hinterleitner, A. (2010). Efficient, large-scale archaeological prospection

using a true three-dimensional ground-penetrating Radar Array system.
Archaeological Prospection Volume 17, 175-186.

ÖZGEÇMİŞ

Fırat YİĞİT, 5.10.1987 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlköğretimini Özel Ar-El ilkokulunda gördü. 1997 yılında girdiği Anadolu Lisesi Sınavı sonucunda Adnan Menderes Anadolu Lisesi'ni kazandı. 7 yıl süren ortaokul ve lise döneminden sonra 2004'te ÖSS'de İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliğini kazandı. 2011'den bu yana İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü öğrencisidir.