
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

KUATERNİYON VEKTÖRÜ KULLANILARAK YER ALTI ELEKTRİKSEL HARİTASININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Uğurhan KUTBAY

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2014

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Uğurhan KUTBAY

23.06.2015

KUATERNİYON VEKTÖRÜ KULLANILARAK ELEKTRİKSEL YER ALTI HARİTASININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ

(Doktora Tezi)

Uğurhan KUTBAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2015

ÖZET

Bu çalışmada, özellikle jeofizik mühendislerinin yeraltı haritalaması için kullandığı elektriksel rezistivite tomografi prototip cihazının üretimi gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme algoritmalarıyla bu görüntülerin jeofizik mühendislerinin daha rahat değerlendirmesini sağlayacak yaklaşımlar da ayrıca incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında 24 elektrotlu rezistivite tomografi cihazı Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı SANTEZ programı kapsamında gerçekleştirilmiş ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından cihazın doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Wenner Ölçüm Metodu kullanılarak, 24 elektrot dizililiminde 84 ölçüm elde edilmiştir. Bu doğrulama çalışmasına ilaveten, yeraltındaki metal kütlelerin tespiti amacıyla saha testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda farklı akım ayarları için elektriksel yeraltı kesit görüntüleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu kesit görüntülerine çeşitli görüntü işleme algoritmaları uygulanmış olup jeofizik mühendislerinin saha testlerinde kesit analizlerini kolaylaştıracak algoritmalar incelenmiştir. Bu algoritmalardan tez kapsamından geliştirilen "Gelişmiş Renkli Görüntü Bulanık C-Mean" ve "Kuaternion Tabanlı Çıkıntı Haritalama" algoritmaları kesit profillerine uygulanmış ve optimum yöntem araştırılmıştır. Ayrıca geleneksel algoritmalardan "Bulanık C-Mean" ve "K-Means" geliştirilen algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Geliştirilen algoritmalarda renkli görüntülerin kullanılabilir olmasının çok boyutlu uzayda çalışma avantajı sağladığı görülmüştür.

Bilim Kodu	:	905.1.035
Anahtar Kelimeler	:	Elektriksel Rezistivite Tomografisi, Yeraltı Elektriksel Kesit Görüntüsü, Görüntü İşlemede Kümeleme Algoritmaları
Sayfa Adedi	:	75
Danışman	:	Doç. Dr. Fırat HARDALAÇ

ELECTRICAL UNDERGROUND MAP MODELING AND ANALYSIS USING QUATERNION VECTOR

(Ph. D. Thesis)

Uğurhan KUTBAY

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2015

ABSTRACT

In this study, production of electrical resistivity tomography prototype device which is especially used by geophysical engineers for underground mapping was carried out. By using image processing algorithms, these images were also examined to provide geophysical engineers more comfortable evaluation approaches. Within the scope of this study, 24-electrode resistivity tomography device was carried out under the Science, Industry and Technology Ministry's SANTEZ program and the device was validated by the General Directorate of Mineral Research and Exploration. Using Wenner Measurement Method in the combination of 24 electrodes, 84 measurements were obtained. In addition to this validation study, field tests were also performed for the detection of the metal mass under the ground. Underground electrical section images were created as a result of these tests for different current settings. This obtained cross-sectional images were also investigated using a variety of image processing algorithms which is facilitating the cross-sectional analysis of the geophysical engineer's field tests. The two algorithms developed under this thesis, "Advanced Color Image Fuzzy C-Mean" and "Quaternion Based Saliency Mapping", were applied to the cross-sectional profile and the optimum method was investigated. Also traditional algorithms "Fuzzy C-Mean" and "K-means" were compared with the developed algorithms. It was seen that the ability of using colored images in these developed algorithms provides the advantage of working in a multi-dimensional space.

Science Code	:	905.1.035
Key Words	:	Electrical Resistivity Tomography, Underground Electrical Section Imaging, Clustering Algorithms in Image Processing
Page Number	:	75
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Fırat HARDALAÇ

TEŞEKKÜR

Lisansüstü çalışmalarım boyunca beni destekleyen Doç. Dr. Fırat HARDALAÇ'a, tez çalışmalarımda değerli bilgileriyle katkıda bulunan Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA ve Prof. Dr. Ferda Nur ALPASLAN'a sonsuz teşekkürlerimi bildiririm. Ayrıca tez çalışmamda desteklerini esirgemeyen Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü personellerinden Jeofizik Müh. Serdar TOSUNER ve Jeofizik Yüksek Müh. Hasan YEMEN'e teknik katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını destekleyen Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na da ayrıca teşekkür ederim. Bugüne gelmemde katkıları olan, annem Cemile KUTBAY'a, babam Hür Uğur KUTBAY'a, kardeşim Ayşe KUTBAY'a ve özellikle hayat arkadaşım N. Hande KUTBAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET…….. iv

ABSTRACT……... v

TEŞEKKÜR……... vi

İÇİNDEKİLER……... vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ…… ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ……. x

RESİMLERİN LİSTESİ……..... xii

SİMGELER VE KISALTMALAR…… xiii

1. GİRİŞ..... 1

2. GELİŞTİRİLEN ERT PROTOTİPİ VE ÖZELLİKLERİ……..... 5

2.1. Resiztivite Ölçümü..... 9

2.1.1. Wenner ölçüm metodu…….. 9

2.2. Sistemin Çalışma Prensibi..... 11

3. METOT VE MATERYAL…….. 15

3.1. Bulanık C-Mean Kümelemesi (BCM) 15

3.2. K-Means Kümelemesi..... 16

3.3. Gelişmiş Renkli Görüntü Bulanık C-Mean Kümelemesi (GRG_BCM)..... 18

3.4. Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalaması 19

3.4.1. Renkli görüntülerin Kuaterniyon gösterimi…….. 19

3.4.2. Çıkıntı haritalaması…….. 22

4. BULGULAR…….. 25

4.1. ERT Çıktıları..... 25

4.2. Saha Çalışmaları..... 29

4.3. Görüntü İşleme Sonuçları 25

4.3.1. BCM (Bulanık C-Mean) algoritması…….. 31

Sayfa

4.3.2. K-Means algoritması……..... 35

4.3.3. GRG-BCM algoritması…….. 39

4.3.4. Kuaterniyon tabanlı çıkıntı haritalaması…….. 45

5. SONUÇ VE ÖNERİLER……... 49

5.1. ERT Cihazının Ürettiği Verilerin Analizi 49

5.2. Saha Çıktılarının Analizi..... 49

5.3. Görüntü İşleme Algoritmalarının Analizi 50

5.4. Çalışmanın Genel Değerlendirmes 52

KAYNAKLAR……... 53

EKLER…….. 65

EK-1. 21.04.2014 tarihli 11.00. 05-900-268 numaralı MTA raporu ……... 66

ÖZGEÇMİŞ…….. 72

DİZİN…….. 74

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. ERT rezistivite değerleri 26

Çizelge 4.2. 100 mA üyelik fonksiyonu minimizasyon sonuçları 31

Çizelge 4.3. 50 mA üyelik fonksiyonu minimizasyon sonuçları 33

Çizelge 4.4. 100 mA K-Means küme merkezleri ve piksel dağılımları 35

Çizelge 4.5. 50 mA K-Means küme merkezleri ve piksel dağılımları 38

Çizelge 4.6. 100 mA sonuçları GRG-BCM küme merkezleri 37

Çizelge 4.7. 100 mA sonuçları GRG-BCM üyelik fonksiyonu değişimi 40

Çizelge 4.8. 50 mA sonuçları GRG-BCM küme merkezleri 42

Çizelge 4.9. 50 mA sonuçları GRG-BCM üyelik fonksiyonu değişimi 42

Çizelge 5.1. Yöntemlerin hız ve başarı bakımından kıyaslanması 52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Rezistivite ölçümü 9

Şekil 2.2. Wenner ölçümü..... 10

Şekil 2.3. Sistem blok diagramı 11

Şekil 2.4. Dokunmatik ekran blok şeması..... 12

Şekil 2.5. 24-Elektrot Wenner ölçüm dizimi ve rezistivite ölçümü..... 14

Şekil 3.1. BCM algoritmasının akış şeması 16

Şekil 3.2. K-Means algoritmasının akış şeması 17

Şekil 3.3. Geliştirilen GRG-BCM algoritmasının akış şeması 19

Şekil 3.4. Soldan ve sağdan uygulanan Kuaterniyon maskeleri 22

Şekil 4.1. Bozuk veri noktaları eğrileri..... 28

Şekil 4.2. MTA testi yeraltı elektriksel kesiti: a) ERT ham görüntüsü b) ERT hesaplanan görüntü c) Evirme görüntüsü 29

Şekil 4.3. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti 30

Şekil 4.4. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti 30

Şekil 4.5. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve BCM algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Küme 1 c) Küme 2 d) Küme 3 32

Şekil 4.6. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve BCM algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Küme 1 c) Küme 2 d) Küme 3 34

Şekil 4.7. 100mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve K-Means algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Gri alan görüntüsü c-i) K-Means kümeleri 36

Şekil 4.8. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve K-Means algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Gri alan görüntüsü c-i) K-Means kümeleri 38

Şekil 4.9. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve GRG-BCM algoritması sonuçları: a)Ham görüntü b-E) GRG-BCM kümeleme sonuçları 41

Şekil 4.10. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve GRG-BCM algoritması sonuçları: a)Ham görüntü b-E) GRG-BCM kümeleme sonuçları 44

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.11. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve Kuaterniyon filtresi algoritması: a)Ham görüntü b) Kuaterniyon filtresi sonucu 45

Şekil 4.12. 100 mA Kuaterniyon filtresi görüntülerine uygulanmış çıkıntı haritalaması sonuçları: a) Çıkıntı haritalaması uygulanan profil b) 3-Boyut çıkıntı haritası..... 46

Şekil 4.13. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve Kuaterniyon filtresi algoritması: a) Ham görüntü b) Kuaterniyon filtresi sonucu 46

Şekil 4.14. 50 mA Kuaterniyon filtresi görüntülerine uygulanmış çıkıntı haritalaması sonuçları: a)Çıkıntı haritalaması uygulanan profil b) 3-Boyut çıkıntı haritası..... 47

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. ADC ve filtrelerin bulunduğu devre kartı 5

Resim 2.2. Güç kontrol kartı 6

Resim 2.3. Kontrol kartı 7

Resim 2.4. 7” Dokunmatik panel 7

Resim 2.5. 24-elektrot Wenner dizilimi sağlayan kartlar 8

Resim 2.6. Gerçekleştirilen prototip 12

Resim 4.1. Yeraltına gömülen metal kütle 30

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
m	metre
mA	miliamper
V	Volt
Ω	Ohm
$\mathbf{T_{BCM}}$	Amaç Fonksiyonu
u_{ik}^{m}	Üyelik Fonksiyonu
d_{ik}^{2}	Öklid Mesafesi
v_i	Küme Merkezi
x_k	k Numaralı Piksel Değeri
w_x	X Pikselinin Ağırlığı
dist(.)	Mesafe Fonksiyonu
o_k	k Numaralı Kümenin Merkezi
$\vec{q}$	Kuaternion Vektörü
$\bar{I}(.)$	Kuaternion Vektörü Uygulanmış Görüntü
ECi	Etkinlik Katsayısı
map_i	i Numaralı Harita

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ADC	Analog/Sayısal Çevirici
AGH	Ani Göz Hareketi
AR-GE	Araştırma Geliştirme
BCM	Bulanık C-Mean
DC	Doğru Akım
Eİ	Elektromanyetik İndüksiyon
ERT	Elektriksel Rezistivite Tomografisi
GRG-BCM	Gelişmiş Renkli Görüntü Bulanık C-Mean

Kısaltmalar	Açıklamalar
MTA	Maden Tetkik ve Arama
RGB	Kırmızı, Yeşil, Mavi
RMS	Root Mean Square (Kakekök Ortalama)
TBA	Temel Bileşen Analizi
USB	Evrensel Seri Veriyolu
VGA	Video Grafik Dizisi
YR	Yeraltı Radarı

1. GİRİŞ

Yeraltı haritalamasında, Elektriksel Rezistivite Tomografi (ERT) yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır [1-6]. ERT yöntemlerinde, toprağa çakılan iki paslanmaz çelikten üretilen elektrot aracılığı ile sabit akım uygulanır. Aynı eksende toprağa çakılan farklı iki elektrottan daha önceden akım uygulanan elektrotlar sebebiyle oluşan gerilim farkı ölçülür. Bu ölçümler çok elektrotlu ERT cihazlarında farklı derivasyonlarda ve farklı ölçüm katmanları için gerçekleştirilerek yeraltının elektriksel haritası, hem daha hızlı bir şekilde hem de daha iyi bir çözünürlükte çıkarılabilmektedir [7].

Yeraltı haritalaması, yeraltı boru hatlarının tespitinde [8], toprak yapısının incelenmesinde [9], kalkerli arazilerde çökmelerin incelenmesinde [10], nehir yatağının incelenmesinde [11], akarsu yataklarının incelenmesinde [12], madencilikte [13-16], antropolojik çalışmalarda [17-19] ve yeraltı sularının incelenmesi [20] gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca donmuş toprak koşullarında da çalışabilmesi sebebiyle ERT birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [21].

ERT, sayısal bilgisayarların üretilmesi ve renkli yeraltı haritalaması yapılmasının öncesinde, 1930'lu yıllarda Langer [22] ve Slichter [23] tarafından maden aramalarında kullanılmaya başlanılmıştır ve toprağın ilk defa matematiksel modelleri araştırılmıştır. ERT'nin iki tabakalı basit durum denkleminin çözülmesini ilk defa Tikhonov [24] sağlamıştır. Tikhonov'un 1940'larda Rus jeofizikçilerle ortak çalışmalarıyla bilgisayar yardımı olmadan büyük bakır yatakları keşfedilmiştir ve bu çalışmalarından dolayı 1953 yılında Tikhonov'a Sovyetler Birliği Devlet Ödülü verilmiştir [25]. Bilgisayarların nümerik problemleri daha rahat çözebileceği seviyeye gelindiğinde, Loke ve Barker [26, 27] nümerik metotlarla yeraltının haritalamasını gerçekleştiren metotları geliştirmiştir.

Gerçekleştirilen bu literatür çalışmalarının ışığında, tez çalışmasında yeraltı haritalamasında kullanılacak sistemin ve yazılımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında yeraltı renkli haritasını 2D çıkaran ERT cihazı üretimi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen ERT cihazı 24 elektrottan oluşan çok elektrotlu bir sisteme sahiptir. Bu sistem, toplamda yedi katmanda 84 ölçüm yapabilen, elektrotlardan elde edilen veriler için ön yükseltme ve filtreleme işlemi gerçekleştirebilen bir sistemdir. Ayrıca, yeraltı rezistivite değerinin doğrulanması için saniyede 7 ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu ölçüm değerlerinin

ortalaması alınmıştır. Elde edilen rezistivite değerleri, RES2DINV® programının işleyebileceği bir ".dat" dosyası üretmektedir. Bu dosyanın alınabilmesi için sistemde bir USB bağlantı noktası da bulunmaktadır.

Oluşturulan ERT sistemi dokunmatik bir ekrana sahiptir. Bu dokunmatik panel aracılığıyla toprağa verilen maksimum akım değeri ve elektrot aralıkları seçilebilmektedir. Sistem kurulduktan sonra dokunmatik panel üzerinden "BAŞLAT" butonuna basılmasıyla beraber sistem ölçümleri almaya başlar. Sistemde bir hatanın tespit edilmesi veya ölçümün durdurulmasının istenmesi durumları için "DURAKLAT" butonu da bulunmaktadır. Ölçüm tamamlandığında USB bağlantı noktasından bir bellek yardımıyla mevcut rezistivite değerlerini içeren ".dat" dosyası dokunmatik panel üzerinden "Sonucu USB Diske Kopyala" butonu aracılığıyla aktarılabilmektedir. Ayrıca dokunmatik ekran üzerinden anlık ölçüm yapılan dizilim seçilebilmekte ve o dizilimdeki rezistivite değerleri de ekran üzerinden okunabilmektedir.

Oluşturulan ".dat" dosyası ve RES2DINV® bilgisayar programı aracılığıyla 2D kesit görüntüsü oluşturulmaktadır. Elde edilen kesit görüntüsü renkli bir yeraltı haritasını temsil etmektedir. Kaydedilen bu yeraltı haritasının görüntüsüne daha sonra jeofizik mühendislerinin ERT incelemesine yardımcı bazı görüntü işleme algoritmaları da uygulanmıştır. Kümeleme ve çıkıntı haritalaması [28-31] yöntemleriyle bu görüntü işleme algoritmalarından BCM [32-34], K-Means [35-39] ve tez kapsamında geliştirilen Gelişmiş Renkli Görüntü Bulanık C-Mean Kümelemesi (GRG-BCM) ve Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalaması yöntemleri yeraltı kesitlerine uygulanmıştır.

GRG-BCM yöntemi, Bulanık C-Mean'i temel alan bir algoritmaya sahip bir algoritma olarak tasarlanmıştır. Burada kullanılan yeraltı profili renkli görüntü olduğundan dolayı 3 boyutlu renk uzayında kümeleme için geliştirilmiştir.

Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalaması algoritmasında ise elde edilen renkli yeraltı görüntülerinin, dört boyutlu Kuaterniyon Vektörü [40-42] kullanılarak filtrelemesi gerçekleştirilmiş ve çıkıntı haritalaması [43-47] ile de yeraltı görüntülerinde gömülü metal objenin tespiti gerçekleştirilmiştir.

Bu yöntemde öncelikle resimler dört boyutlu Kuaterniyon matrisinde incelenmiştir. Kuaterniyon matrisindeki resim dosyaları "RGB" olarak bu matrise salt Kuaterniyon olarak

aktarılmıştır. Kuaterniyon matrisinin bu özelliğinden dolayı, 4 boyutlu vektöre aktarılmış yeraltı görüntüleri renkli olarak işlenebildiğinden kenar çıkarma işlemi daha başarılı olmaktadır [48, 49].

Gerçekleştirilen çalışma için Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'ndan "1064.STZ.2011-2" kod numaralı SANTEZ programı kapsamında destek alınmıştır. Alınan bu destek sayesinde ERT cihazı gerçekleştirilmiş ve elde edilen yeraltı kesit görüntüleri için sınıflandırma yapan bilgisayar yazılımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, cihazın ürettiği parametreler Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından test edilmiş ve cihazın uygun parametreler ürettiğine dair rapor da cihazın doğrulaması adına alınmıştır.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde, ERT cihazı ve çalışma prensipleri incelenmiştir. Bu bölümde, rezistivite kavramı detaylı olarak incelenmiş, ölçüm metotları detaylandırılmıştır. Ayrıca, gerçekleştirilen ERT cihazının çalışma prensibi de irdelenmiştir.

Buna ilaveten tezin ikinci bölümünde, gerçekleştirilen arazi çalışmalarından bahsedilmiş ve bu arazi çalışmalarında gerçekleştirilen deney ve ölçümler detaylandırılmıştır. Özellikle cihazla gerçekleştirilen testlerde kullanılan Wenner dizilimi sonuçları da ayrıca analiz edilmiştir. SANTEZ projesi kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında cihazın toprak altındaki metal objelere duyarlılığı açısından testler de gerçekleştirilmiş ve sonuçlar da bu bölümde gösterilmiştir.

Cihazdan elde edilen verilerin doğruluğun ispatı için MTA test sahasında ölçümlere de ikinci bölümde yer verilmiştir. Veriler MTA Jeofizik Daire Başkanlığınca Jeofizik Mühendisleri tarafından incelendiğinde, cihazın uygun veriler ürettiği tespit edilmiş ve raporlanmıştır (Bkz. EK-1). Yapılan testler ve veriler de bu bölümde detaylandırılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde bilgisayar tabanlı çalışmalarda kullanılan materyal ve metotlar detaylı olarak irdelenmiştir. Bu bölümde bulanık C-Mean Algoritması, K-Means Algoritması, GRG-BCM ve Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalama algoritmaları matematiksel olarak detaylandırılmış ve akış şemaları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ERT sistemine ait parametreler ve bütün bulgular incelenmiştir. Ayrıca elde edilen elektriksel kesit görüntülerine uygulanan renkli görüntü işleme yöntemlerinden kümeleme ve çıkıntı haritalamasına ait bulgular da bu bölümde gösterilmiştir. Bu

sınıflandırma ve kümeleme sonucunda elde edilen görüntülere göre toprak içerisinde gömülü metal kütlenin tespitinin jeofizik mühendisleri tarafından kolaylaştırılması hedeflenmiştir.

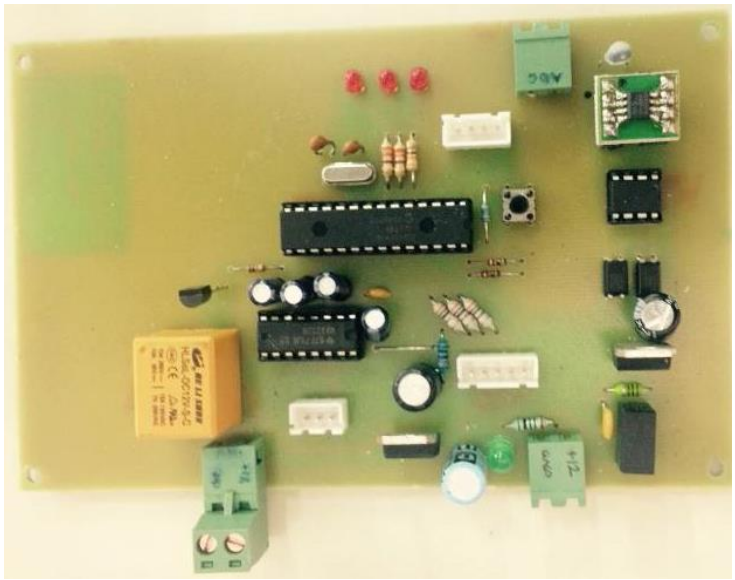
Son bölümde ise gerçekleştirilen cihaz, geliştirilen algoritmalar ve uygulamaların sonuçları değerlendirilmiş ve yorumlaması gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması neticesinde, ülkemizde yerli üretimi olmayan ERT cihazı üretiminin önü açılmış ve jeofizik mühendislerinin yeraltı kesit görüntülerini analiz kolaylığı açısından kullanabileceği algoritmalar araştırılmış ve yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Üretilen ERT prototip sayesinde ülkemiz AR-GE'sine pozitif katkıda bulunulmuş ve gerçekleştirilen yazılım sayesinde jeofizik mühendislerinin işini kolaylaştıracak hibrit yaklaşımlar geliştirilmiştir. Ayrıca bu hibrit sistem sayesinde arazilerde çalışma kolaylığı, kullanılan modern komponentler sayesinde de daha hassas bir ölçüm sağlanmıştır.

2. GELİŞTİRİLEN ERT PROTOTİPİ VE ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, 24 elektrotlu Elektriksel Rezistivite Tomografi prototipi gerçekleştirilmiş, kullanılan yöntemler detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca MTA (Maden Tetkik ve Arama) Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen analizler sonucunda cihazın doğru veriler ürettiği tespit edilmiştir. Wenner dizilim metodu için sistem tasarlanmış, geliştirilen sistemde elektrotlardan alınan veriler için önyükseltme ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiş, alınan yeraltı sinyalleri için ".dat" uzantılı dosya oluşturulmuştur. Elde edilen ".dat" dosyasının harici bir bellek ile elde edilmesi için USB bağlantı noktası da üretilen prototip cihaza eklenmiştir. Geliştirilen çok elektrotlu ERT cihazında, diğer mevcut ERT cihazlarına ek olarak, dokunmatik ekran üzerinden akım ve elektrot aralığı değiştirilebilme özelliği de bulunmaktadır.

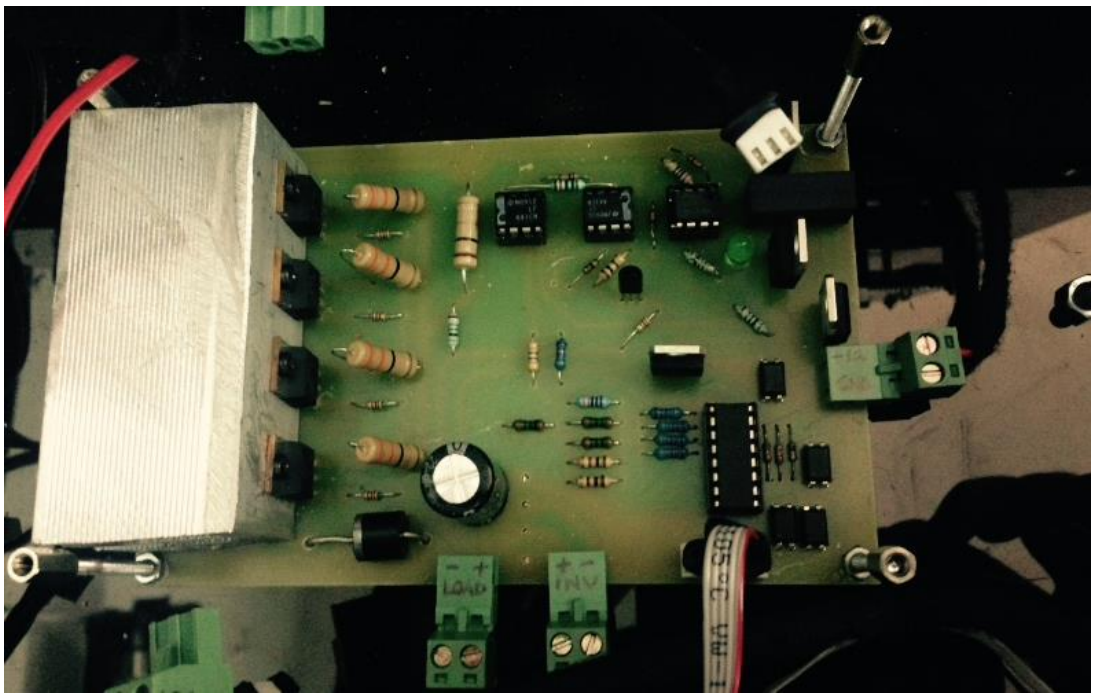
Tez kapsamında geliştirilen ERT cihazı donanımsal olarak ADC (Analog/Digital Converter) ve filtrelerin bulunduğu devre kartı (Bkz. Resim 2.1), toprağa darbeli olarak sabit akımı veren ve ayarlayan güç kartı (Bkz. Resim 2.2), dokunmatik paneli ve diğer donanımsal işlemleri kontrol edebilen kontrol kartı (Bkz. Resim 2.3), 7" boyutunda dokunmatik panel ekran (Bkz. Resim 2.4) ve Wenner diziliminde elektrot konfigürasyonunu sağlayan kartlar mevcuttur (Bkz Resim 2.5).



Resim 2.1. ADC ve filtrelerin bulunduğu devre kartı

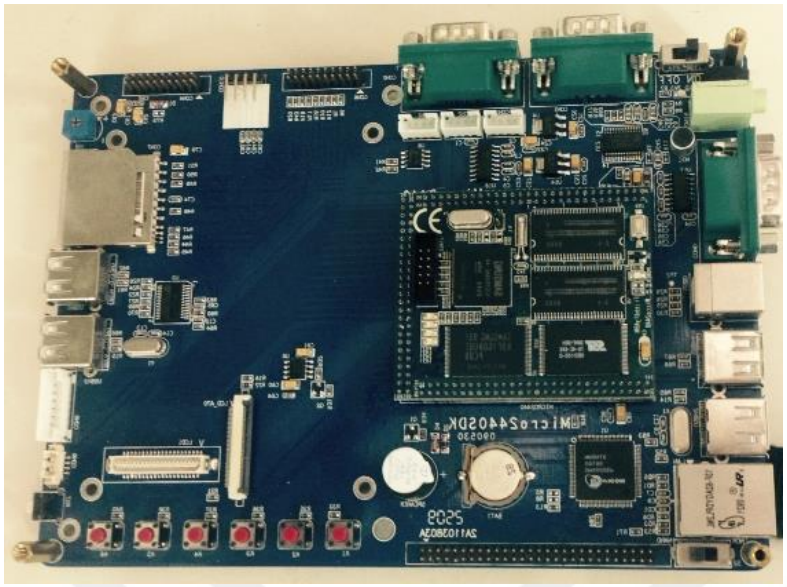
Resim 2.1'de görülen filtre kartında, ERT cihazından elde edilen analog rezistivite değerleri analog olarak devre kartına iletilir. Elde edilen bu analog sinyaller iki katlı alçak geçiren filtreden geçirildikten sonra ADC çevrimine tabi tutulur. Elde edilen ölçüm değerleri bu kartta mevcut mikrodenetleyici yardımıyla dizilimin ilgili ölçüm dizisindeki alana kaydedilir.

Resim 2.2'de görülen güç kartı, DC-DC çeviriciden elde edilen 310V'luk gerilim, güç yarıiletkenleri yardımıyla toprağa sabit akım verecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca yarıiletkenlerin aşırı ısıdan dolayı bozulmalarını engellemek için uygun soğutucular da bu yarıiletkenlere bağlanmıştır.



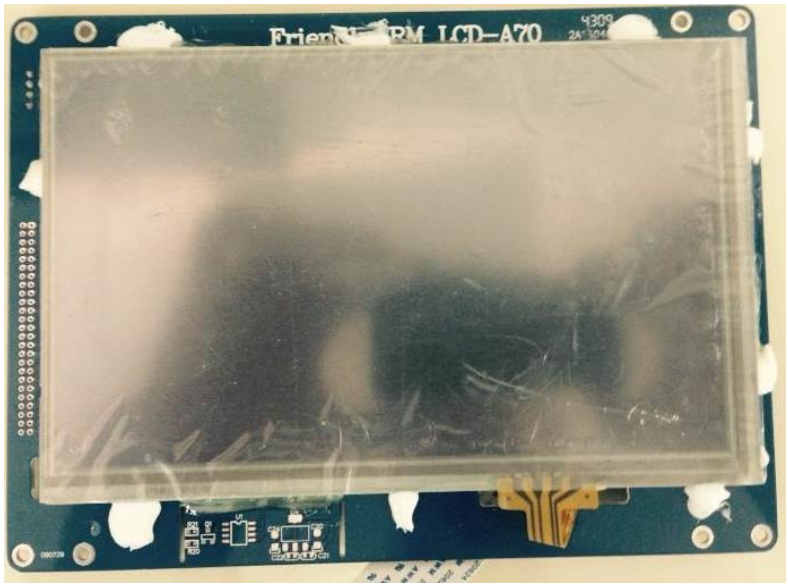
Resim 2.2. Güç kontrol kartı

Resim 2.3'te gösterilen ana kontrol kartında; 32-bit ARM mimarisine sahip bir mikrodenetleyici kart üzerinden dokunmatik panel ve diğer donanım cihazlarının kontrolü sağlanmıştır. Mikrodenetleyici kartın çevre birimlerinden; VGA çıkışı üzerinden dokunmatik ekran bağlantısı, USB üzerinden verilerin alınabileceği USB veri noktası ve rezistivite değerlerinin alındığı seri port cihaz tasarımında kullanılmıştır.

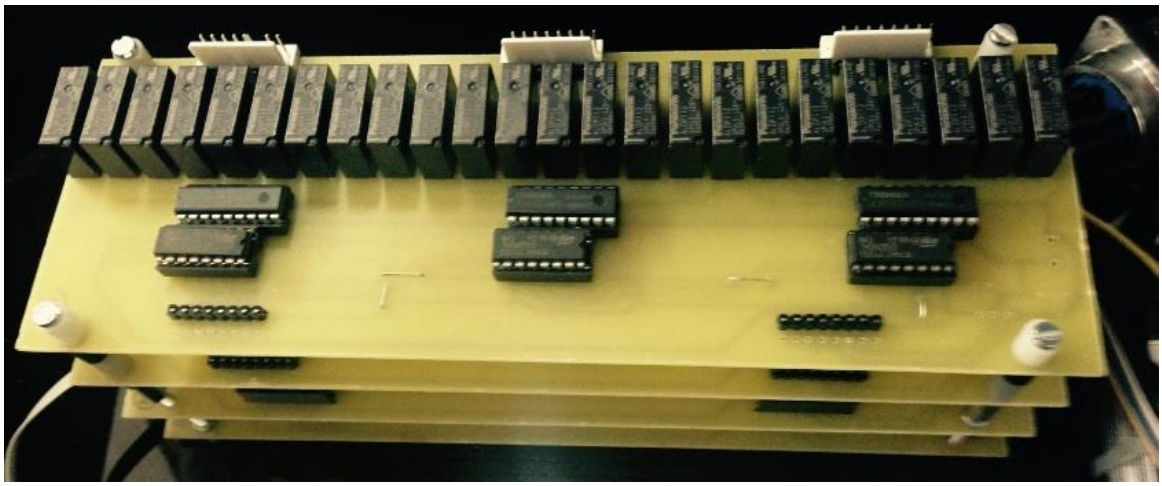


Resim 2.3. Kontrol kartı

Resim2.4'te görülen dokunmatik panel 7 inç ekran boyutunda VGA görüntüye ve kapasitif dokunmatik paneline sahiptir. Ayrıca bu panel, kullanılan ana mikrodenetleyici karta uyumlu olarak seçilmiştir. Mevcut ekran seçimi, jeofizik mühendislerinin rahatça arazi ortamında kullanabileceği şekilde yapılmıştır. Özgün bir arayüz ekran tasarımı da jeofizik mühendislerinin rahatça kullanılabileceği şekilde tez kapsamında gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 2.7).



Resim 2.4. 7" Dokunmatik panel



Resim 2.5. 24-elektrot Wenner dizilimi sağlayan kartlar

Resim 2.5'teki kartlar Wenner dizilimi ölçümü sırasında hangi elektrotların kullanılacağını belirleyen yapıda tasarlanmıştır. Bu dört tane kart sırasıyla alttan üste Wenner diziliminde A, M, N, B olacak şekilde oluşturulmuştur.

Resim 2.6'da oluşturulan cihaz 24 elektrotlu Wenner dizilimine sahiptir. Maksimum 250 mA akım kapasitesindedir. Dokunmatik panel üzerinden akım ve elektrot aralıkları seçilebilmektedir. Elde edilen gerilim ve rezistivite değerleri ile 84 ölçüm sonucu Wenner dizilimine göre oluşturulmaktadır.

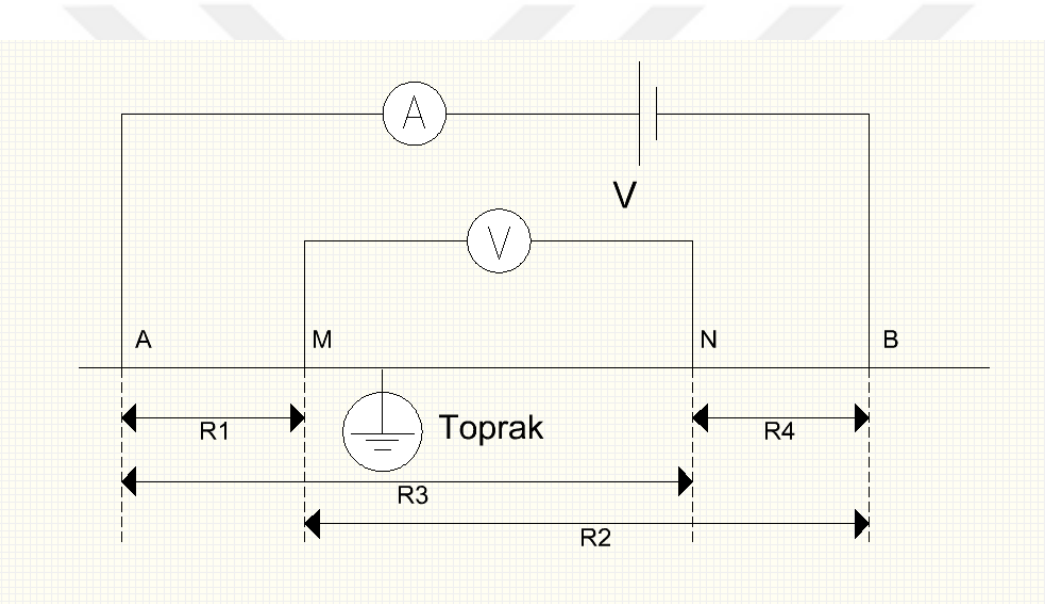


Resim 2.6. Gerçekleştirilen prototip

2.1. Rezistivite Ölçümü

Rezistivite ölçümü Wenner [50-58], Schlumberger [59-67], Dipol [68-70] vb. birçok yöntemle elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında uygulama kolaylığı, ölçüm hızı gibi sebeplerden dolayı Wenner rezistivite ölçüm metodu kullanılmıştır.

Rezistivite ölçümü için en basit haliyle 4 elektrotlu Şekil 2.1'de görüldüğü gibi yeterli olmaktadır. Şekil 2.1 incelendiğinde "AB" noktalarından sabit akım (maksimum 250mA-sabit 310V(DC)) gönderilmektedir. "MN" noktalarından ise gerilim ölçümü yapılmaktadır. Gerilim ölçümü saniyede 7 kez tekrarlanmaktadır. Bu değerlerin ortalaması, elde edilen gerilim olarak ".dat" uzantılı dosyaya yerleştirilmektedir.



Şekil 2.1. Rezistivite ölçümü

Yukarıdaki derivasyonda yapılan dört nokta ölçümlerinde ölçülen toprak direnci Eş. 2.1'deki gibidir.

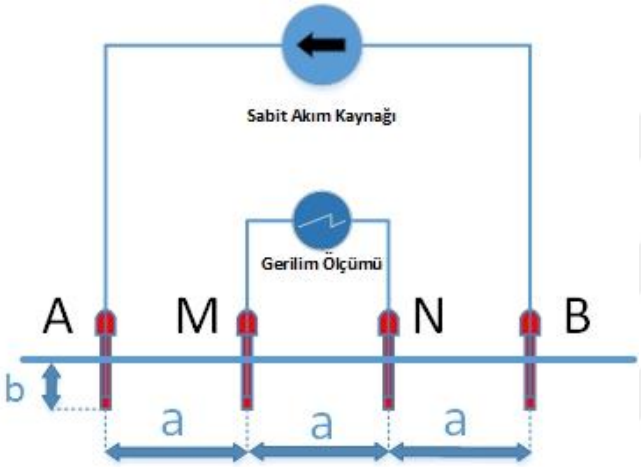
$$z_a = \frac{V}{I} * \frac{2\pi}{(\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2}) - (\frac{1}{r3} - \frac{1}{r4})} \tag{2.1}$$

2.1.1. Wenner ölçüm metodu

Elektriksel rezistivite yöntemlerinin kullanılması ile yapılan ölçümler; yeraltının jeolojik iskeletinin haritalanması, yeraltı suyu kirlenmesinin egemen olduğu kesimlerin belirlenmesi, yeraltındaki tutturulmamış yani gevşek çökel malzemenin yeri ve kalınlığı ile sağlam temel

kayaçların bulunduğu derinliğin belirlenmesinde ve özellikle metalik veya metalik olmayan mineralizasyon (cevherleşme) alanlarının saptanmasında kullanılır [71, 72].

Wenner ölçümü Şekil 2.2'de görüldüğü üzere eşit elektrot aralıklarında gerçekleştirilmektedir. Sabit elektrot mesafesinin avantajı, matematiksel olarak işlem yükünü azaltmasıdır. Oluşturulan sistemde 24 elektrot olduğu göz önüne alındığında bu durumun toplam 7 katmanda 84 Wenner ölçümü için mikroişlemciye önemli bir avantaj oluşturduğu aşikârdır.



Şekil 2.2. Wenner ölçümü

Wenner ölçümüne göre "MN" noktaları arasındaki rezistivite Eş. 2.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$z_a = \frac{V}{I} * 2\pi a \tag{2.2}$$

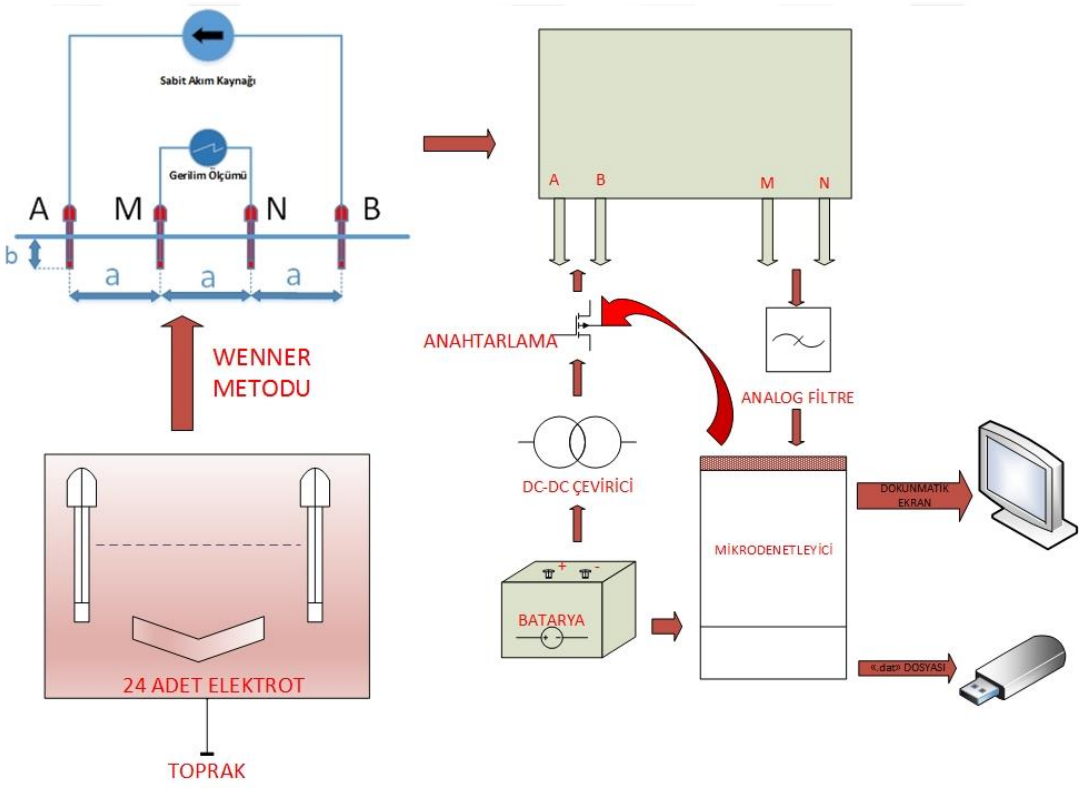
Toprağa sabitlenen elektrotların uzunluğu da göz önüne alınırsa rezistivite denklemi Eş. 2.3'teki gibi şekillenir [73].

$$z_a = \frac{V}{I} * \frac{4\pi a}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \tag{2.3}$$

Burada, V toprağa verilen gerilimi, I akımı, a elektrotlar arasındaki mesafeyi, b ise elektrotun toprağa gömülü parçasının uzunluğunu göstermektedir.

2.2. Sistemin Çalışma Prensibi

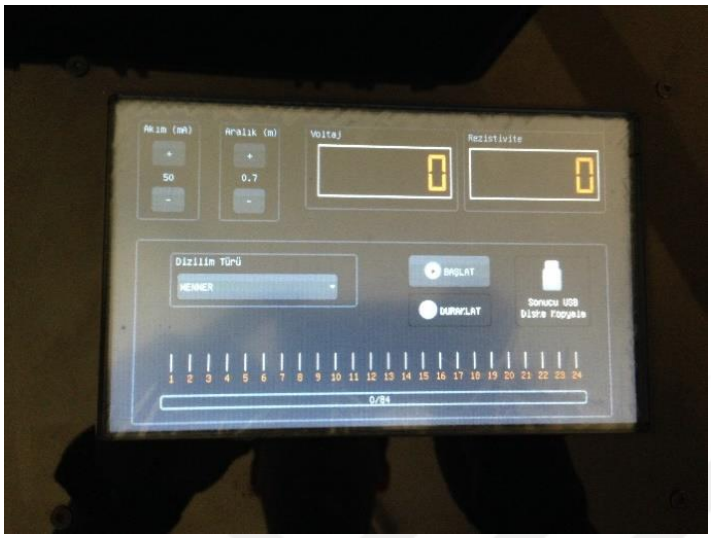
Şekil 2.3‘te yer alan sistem blok diyagramında, 24 adet çelik elektrotun Wenner Dizilimine göre yerleştirildiği ve sistemin prototip cihazına bağlandığı görülmektedir. Elektrotlar sırası ile değiştirilerek bütün eşit aralık kombinasyonları ile 84 adet ölçüm gerçekleştirilir. Bu ölçümü gerçekleştirmek için “AB” noktalarından bataryadan alınan 12V DC gerilim, DC-DC çevirici ile 310V DC gerilime çevrilerek toprağa istenilen miktarda akım darbeli olarak verilir. Daha sonra “MN” uçlarından elde edilen gerilim topraktan gelen parazitleri engellemek için analog filtreden (50Hz) geçirilir. Okunulan ΔV değerleri yardımıyla Eş. 2.3’e göre empedanslar hesaplanır.



Şekil 2.3. Sistem blok diagramı

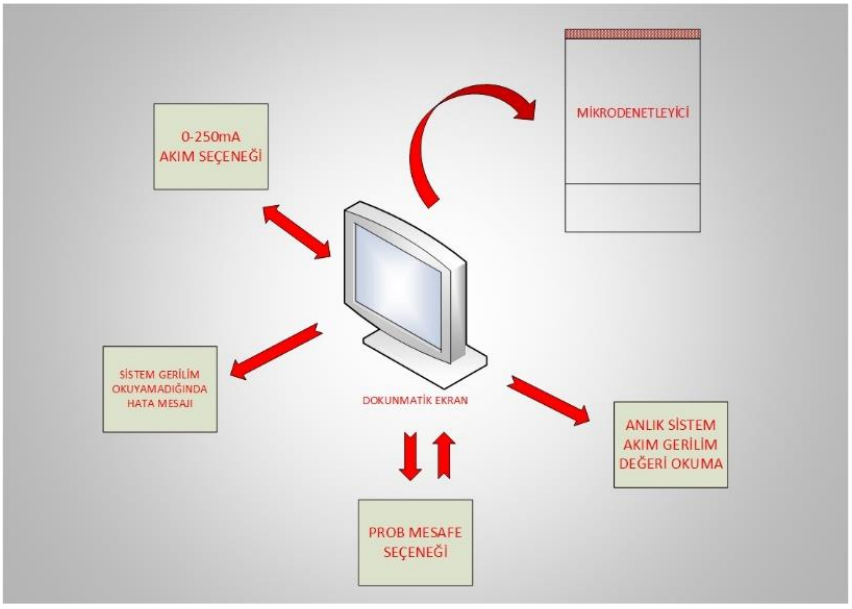
Dokunmatik ekran geliştirilen yeraltı tomografi cihazının giriş parametrelerini ayarlamak ve elde edilen sonuçların gösterildiği panel olarak kullanılmak üzere Resim 2.7’deki gibi tasarlanmıştır. Dokunmatik ekran, toprağa verilen maksimum akım ayarının, elektrot aralıklarının ve dizilim türünün değiştirilebildiği bir “combobox” ekranı içermektedir. Ayrıca, ilgili ölçüm yapılan noktaların gerilim ve rezistivite değerleri de anlık olarak incelenebilmektedir. Dokunmatik ekran üzerine, sistem kurulduktan sonra ölçümün başlatılmasını sağlayan bir Başlat butonu ve gerektiği yerde sistemin çalışmasının

duraklatılmasını sağlayan bir Duraklat butonu eklenilmiştir. Sistem çalışmasını tamamladığında oluşturulan ".dat" uzantılı dosyayı diske kopyalamaya yarayan bir "Sonucu USB Diske Kopyala" butonu da panel üzerinde mevcuttur.



Resim 2.7. Dokunmatik ekran görüntüsü

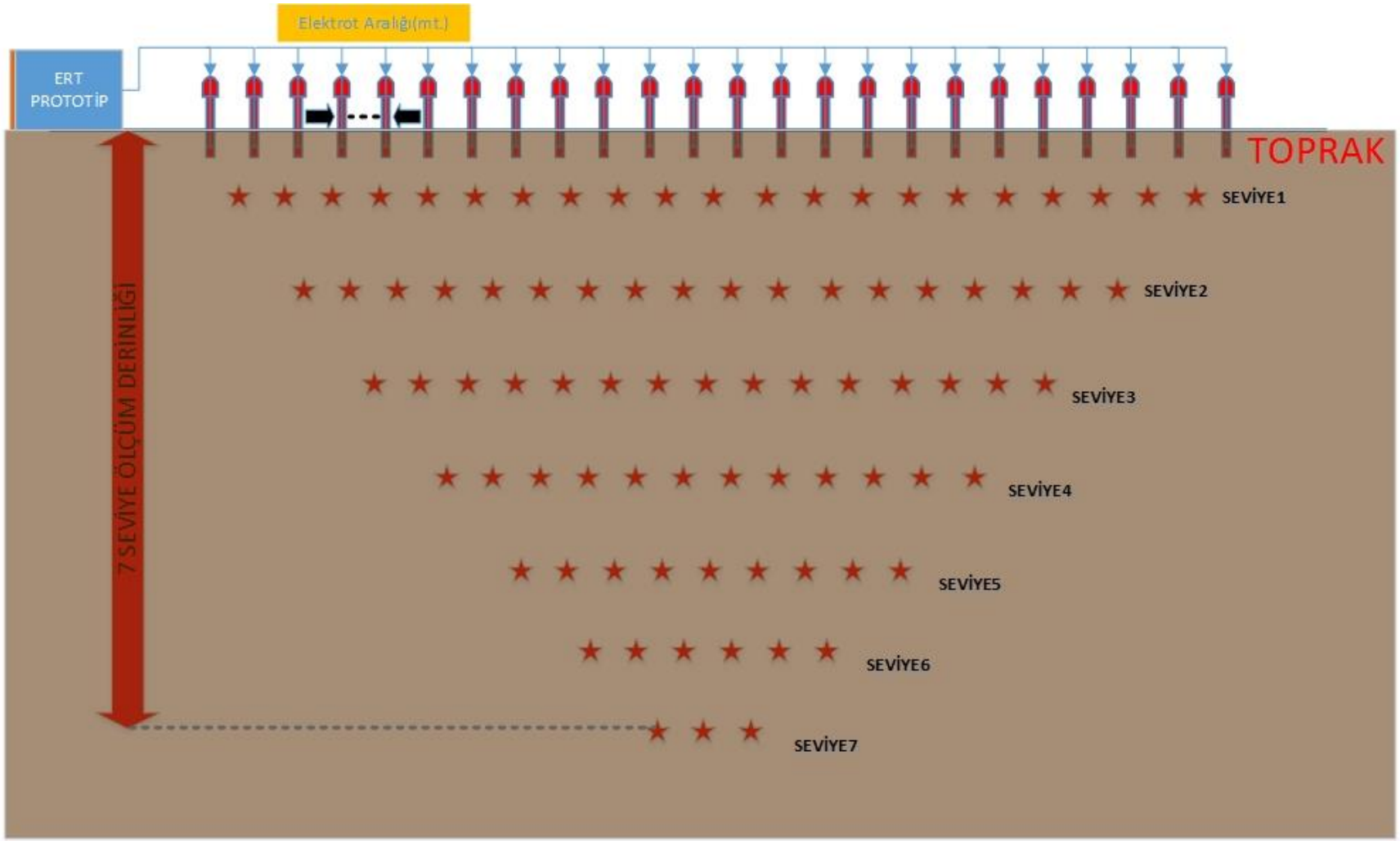
Şekil 2.4'te yer alan ekran blok şemasında görüldüğü üzere dokunmatik paneli kontrol eden mikrodenetleyici bulunmaktadır. 0-250mA arasında akım ayarı bu panelden seçilebilmektedir. Ayrıca sistem üzerinden sistemde bağlantı kablolarının zarar görmesi, elektrotun toprakla bağlantısının yeterince sağlanamaması vb. durumlarda ekrana hata mesajı verilebilmekte ve bu sayede hatalı ölçüm yapılması da engellenmektedir.



Şekil 2.4. Dokunmatik ekran blok şeması

Şekil 2.5 incelendiğinde 24 elektrotlu ERT cihazının Wenner dizilimine göre kullanımı görülmektedir. 24 elektrot içeren 7 seviyeli ERT Wenner diziliminde, birinci seviyede 21, ikinci seviyede 18, üçüncü seviyede 15, dördüncü seviyede 12, beşinci seviyede 9, altıncı seviyede 6 ve yedinci seviyede 3 ölçüm olmak üzere toplamda 84 ölçüm gerçekleştirilmektedir.

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi hesaplanan 84 adet değer ".dat" dosyası olarak RES2DINV® formatına göre yazdırılır. Elde edilen dosya cihaz üzerindeki USB bağlantı noktasından bellek üzerine alınır ve elde edilen dosya RES2DINV® programı ile yeraltının elektriksel profil Evirme Modeli 'ne göre kesit görüntüsü oluşturulur.



Şekil 2.5. 24-Elektrot Wenner ölçüm dizimi ve rezistivite ölçümü

3. METOT VE MATERYAL

Yeraltı görüntülemesinde Yeraltı Radarı [74-78] (YR), Elektromanyetik İndüksiyon [79-82] (Eİ), ERT gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ERT metoduyla yeraltı görüntüleri bazı jeofizik programları sayesinde elde edilebilmektedir. Bu yeraltı görüntülerinin kullanılmasıyla, yeraltı görüntülerinin incelenmesi ve yorumlanması jeofizikçiler için oldukça güç ve zahmetli bir iştir. Bu tez kapsamında geliştirilen ERT cihazına ek olarak bu görüntülerin analiz kolaylığı da ayrıca amaçlanmıştır. Bu bağlamda çeşitli görüntü işleme algoritmaları kullanılarak yeraltı görüntülerinin sınıflandırılması da ayrıca gerçekleştirilmiştir.

3.1. Bulanık C-Mean Kümelemesi (BCM)

Bulanık C-Mean algoritması işlem kolaylığı ve güvenilirliği sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır [83-86]. Geleneksel Bulanık C-Mean (BCM) ikinci dereceden amaç fonksiyonunu minimize etme prensibi ile çalışır [87] ve Eş. 3.1'deki gibi gösterilmektedir.

$$J_{FCM} = \sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{m} d_{ik}^{2} \tag{3.1}$$

Bu formülde u_{ik}^{m}, $[0,1]$aralığında üyelik fonksiyonudur. Bu üyelik, k numaralı pikselin (x_k) derecesini, $k \in [1,n]$ aralığında i numaralı kümede temsil etmektedir. Kümeleme ise $[1,c]$ aralığında temsil edilmek üzere toplam c adettir. Eş. 3.1'de d_{ik}^{2}, x_k ile i numaralı küme merkezi (v_i) arasındaki mesafenin karesini temsil etmektedir ve Eş. 3.2'de gösterilmektedir.

$$d_{ik}^{2} = \left\| x_k - v_i \right\| \tag{3.2}$$

Bulanık küme teorisi üyelik fonksiyonunun her piksel için $\sum_{i=1}^{c} u_{ik} = 1$ olmasını amaçlamaktadır. BCM üyelik fonksiyonunu (u_{ik}^{m}) ve küme merkezini (v_i) kullanarak yerel minimumlara ulaşmayı Eş. 3.3 ve Eş. 3.4'teki gibi hedefler.

$$u_{ik}^{*} = \left\{ \sum_{j=1}^{c} \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}} \right)^{2/(m-1)} \right\}^{-1} \quad \forall i \in [1,c] \; and \; k \in [1,n] \tag{3.3}$$

$$v_i^* = \frac{\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{m} x_k}{\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{m}} \; \forall i \in [1, c] \tag{3.4}$$

BCM algoritmasının akış şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu geleneksel kümeleme metodunda belirlenen iterasyon adımında bu işlem gerçekleşmektedir. Küme merkezleri her iterasyon adımında güncellenerek üyelik fonksiyonu hesaplanmaktadır.

BCM Algoritması

Gerek ve Yeter Şart: Bulanıklık faktörü *m*, *C* adet küme için *m*>1 şartını sağlamalıdır.
1: Küme merkezinin başlangıç parametreleri rassal olarak belirlenir.
2: for k=1:n
3: Her kümenin merkezi için üyelik değerini (u_{ik}^{m}) hesapla
4: $u_{ik}^{m} = \left\{ \sum_{j=1}^{c} \left(\frac{d(x_k c_i^{(m-1)})}{d(x_k c_j^{(m-1)})} \right) \right\}^{-1}$
5: Küme merkezlerini c_i^{m} üyelik fonksiyonu $v_i^{m} = \frac{\sum_{k-1}^{n} u_{ik}^{m} x_k}{\sum_{k-1}^{n} u_{ik}^{m}}$ ile güncelle
6: end
7: v_i , *i* numaralı kümenin en güncel merkezidir. u_{ik} da üyelik derecesinin son değeridir.
NOT: k, adım sayısı ve n de maksimum iterasyon sayısıdır.

Şekil 3.1. BCM algoritmasının akış şeması

3.2. K-Means Kümelemesi

K-Means kümelemesi güvenilirliği sebebiyle birçok çalışmada kullanılmıştır [88-90]. K-Means kümelemesinde Öklid mesafesi [91, 92] kullanılarak kümeler oluşturulmaktadır.

K-Means kümelemesi ilk defa Mac Queen [93] tarafından geliştirilmiştir. K-Means algoritmasında öğretmensiz öğrenme kullanılır ve hata fonksiyonunun en aza indirilmesini öngören *k* adet sınıf oluşturulur [94].

K-Means kümelemesi seçilen veri kümesinde *k* adet küme merkezi oluşturulur. Daha sonra Öklid Mesafesi kullanılarak en yakın kümeye yerleştirilir. Sınıflandırma derecelerine göre yeni küme merkezleri oluşturulur. Kümeleme sonuçlarına istinaden, küme merkezi yeniden hesaplanır. Aritmetik ortalama kullanılarak yeni küme merkezleri güncellenir. Yeni merkeze göre bütün örnekler tekrar sınıflandırılır. Sınıflandırma işlemi kümelerdeki örneklerin başka

bir kümeye geçmediği tespit edilene kadar iteratif işlemlere Şekil 3.2'deki akış diyagramında olduğu gibi tekrar edilir [95].

K-Means Algoritması

1: while degisim==true
2: o_k değerini güncelle
3: k adet küme ve merkezini oluştur
4: $dist(x, o_k)$ hesapla
5: $J = \min(\sum_{k}\sum_{x \in c_k} w_x dist(x, o_k))$ minimizasyonunu gerçekleştir.
6: *x* verisini *J* minimum olduğu kümeye ata
7: end
NOT: degisim, *x* verisinin kümeler arasındaki değişimidir.

Şekil 3.2. K-Means algoritmasının akış şeması

x adet verinin *k* adet kümeye bölünmesi *J* fonksiyonunun minimizasyonu ile Eş. 3.5'teki gibi gösterilir.

$$J = \min(\sum_{k}\sum_{x \in c_k} w_x dist(x, o_k)) \tag{3.5}$$

Eğer hesaplanan veri, en yakın kümenin merkezine yakın kümede sınıflandırılırsa; *J* değeri minimum olur. *x* numaralı veri, *k* numaralı kümede sınıflandırılırsa; minimum *J* değerini elde etmek için *x* değerinin ağırlığı (w_x) güncellenerek $dist(x, o_k)$ optimize edilir. Burada, $dist(.)$ mesafe fonksiyonunu, *x* piksel değerini, o_k ise *k* numaralı kümenin merkezini temsil etmektedir. *k* adet küme ise Eş. 3.6'daki gibi gösterilir.

$$c_k = (c_{k,1}, c_{k,2}, ..., c_{k,n}) \tag{3.6}$$

Mesafe fonksiyonu $dist(.)$ *k* adet küme için Öklid mesafesi kullanılarak Eş. 3.7'deki gibi hesaplanır.

$$dist(x_j^i, o_k) = \sqrt{(x_{j,1}^i - o_{k,1})^2 + (x_{j,1}^i - o_{k,2})^2 + ... + (x_{j,n}^i - o_{k,n})^2} \tag{3.7}$$

3.3. Gelişmiş Renkli Görüntü Bulanık C-Mean Kümelemesi (GRG-BCM)

GRG-BCM algoritması bu tez kapsamında renkli yeraltı kesitlerinin kümelemesini amaçlayan yeni bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Maksimum 200 iterasyon adımında bütün R, G ve B renk uzayında kümeleme amaçlanmıştır.

GRG-BCM algoritması bulanık kümeleri kullanarak RGB renk uzayındaki bir kesit görüntüsünün kümelemesini amaçlamıştır. BCM algoritmasında kümeleme işlemi sadece gri renk uzayında gerçekleştirilebildiğinden dolayı, yeraltı kesit görüntülerinin incelemesinde yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple GRG-BCM algoritması geliştirilmiş ve ERT cihazının ürettiği yeraltı kesit görüntülerine bu yeni algoritma uygulanmıştır.

GRG-BCM metodunda RGB renk uzayı kullanılmaktadır. Bu metot BCM algoritmasını temel alan bir algoritma yapısında gerçekleştirilmiştir. Üyelik fonksiyonu ve küme merkezleri her R, G ve B renk kanalları için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Küme merkezleri, üyelik fonksiyonu ve küme merkezlerinin hesabı sırasıyla Eş. 3.8, Eş. 3.9 ve Eş. 3.10'da gösterilmektedir.

$$d^2_{ik(R,G,B)} = \left\| x_{k(R,G,B)} - v_{i(R,G,B)} \right\| \tag{3.8}$$

$$u^*_{ik(R,G,B)} = \left\{ \sum_{j=1}^{c} \left(\frac{d_{ik(R,G,B)}}{d_{jk(R,G,B)}} \right)^{2/(m-1)} \right\}^{-1} \quad \forall i \in [1,c] \; and \; k \in [1,n] \tag{3.9}$$

$$v^*_{i(R,G,B)} = \frac{\sum_{k=1}^{n} u^{m}_{ik(R,G,B)} x_{k(R,G,B)}}{\sum_{k=1}^{n} u^{m}_{ik(R,G,B)}} \; \forall i \in [1,c] \tag{3.10}$$

Burada $u^*_{ik(R,G,B)}$ (üyelik fonksiyonu) her piksel için RGB renk uzayında hesaplanmaktadır. Bu fonksiyon, üyelik fonksiyonunu her RGB renk kanalında ayrı ayrı hesaplamaktadır. Bu eşitlikte (Bkz. Eş. 3.9); *c*, *n* adet pikselin içine yerleştirileceği kümeyi temsil etmektedir. $d_{ik(R,G,B)}$, x_k pikseli ile v_i küme merkezi arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. $v^*_{i(R,G,B)}$, ise her kümenin ilgili renk uzayındaki *c* kümesindeki uzaklığını göstermektedir.

GRG-BCM algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Amaçlanan metot c^3 adet kümeyi istenilen maksimum iterasyon adımı için gerçekleştirir. Küme merkezleri de, üyelik fonksiyonunun her adımı ve her renk alanı için iteratif olarak güncellenir.

GRG-BCM Algoritması

Gerek ve Yeter Şart: Bulanıklık faktörü *m*, *C* adet küme için *m*>1 şartını sağlamalıdır.
1: Küme merkezinin başlangıç parametreleri rassal olarak R, G ve B renk alanları için belirlenir.
2: for k=1:n
3: Her kümenin merkezi için üyelik değerini (u_{ik}^{m}) hesapla
4: $u_{ik(R,G,B)}^{m} = \left\{ \sum_{j=1}^{c} \left(\frac{d_{ik(R,G,B)}}{d_{jk(R,G,B)}} \right)^{2/(m-1)} \right\}^{-1}$ hesabını tüm R, G ve B alanları için gerçekleştir.
5: Küme merkezlerini $c_{i(R,G,B)}^{m}$, üyelik fonksiyonu $v_{i(R,G,B)}^{m} = \frac{\sum_{k=1}^{n} u_{ik(R,G,B)}^{m} x_{k(R,G,B)}}{\sum_{k=1}^{n} u_{ik(R,G,B)}^{m}}$ ile güncelle
6: end
7: $v_{i(R,G,B)}$, *i* numaralı kümenin en güncel merkezidir. $u_{ik(R,G,B)}$ da üyelik derecesinin son değeridir.
8: c^3 adet kümeyi bütün RGB eşleri için uygula.
NOT: k, adım sayısı ve n de maksimum iterasyon sayısıdır.

Şekil 3.3. Geliştirilen GRG-BCM algoritmasının akış şeması

3.4. Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalaması

3.4.1. Renkli görüntülerin Kuaterniyon gösterimi

4-boyutlu Kuaterniyon Vektörleri, geometrik işlem gerektiren görüntü işleme tekniklerinde sıklıkla kullanılırlar. Renkli görüntüler morfolojik özellikler operatörlerinin ve renk noktalarının toplam sıralamasını gerektirir [96]. Kuaterniyonun bu sıralama özellikleri bir vektör halinde temsil edilebilir ve bu yüzden renkli morfolojik operatörlerin özelliklerinin tanımlanmasında kullanılabilir.

Di Zenzo [97] renk gradyenlerinin üç boyutlu alanda gösterilebileceğini irdelemiştir. Daha sonra Sochen ve Zeevi [98]; Sochen, Kimmen ve Malladi [99] de piksel koordinatlarını ve temsil edilen renk alanlarını da ekleyerek 5-boyutlu [$x, y, R, G, B \in \Re^5$] Öklid olmayan bir alandan bahsetmişlerdir. İlk renkli Kuaterniyon görüntü ise Sangwine [100] tarafından Kuaterniyon Fourier dönüşümü ile gerçekleştirilmiştir.

Renkli Kuaterniyon gösterimi

RGB noktalarının sabit kısımlarının seçimi renk Kuaterniyonu olarak gösterilebilir. RGB sınıfındaki renk Kuaterniyonu hiperkompleks alanda $q \in H$ olacak şekilde Eş. 3.11'deki gibi gösterilebilir.

$$q = a + bi + cj + dk \tag{3.11}$$

Bu formülde *a, b, c* ve *d* gerçel sayıları; *i, j* ve *k* da ortogonal Kuaterniyon Vektörleri temsil etmektedir. Kuaterniyon ortogonal vektörler birbiri cinsinden Eş. 3.12'deki gibi temsil edilebilir.

$$\begin{aligned} i * j &= k \\ j * k &= i \\ k * i &= j \\ i^2 = j^2 &= k^2 = -1 \end{aligned} \tag{3.12}$$

Kuaterniyon Vektörlerin değişme özelliklerinin olmamasından dolayı ($j * k \neq k * j$) sadece $k * j = -i$ şeklinde temsil edilebilir. Buna ek olarak Kuaterniyon Vektörlerin ortogonal özeliği kullanılarak Eş. 3.13'teki gibi gösterilebilir.

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1 \tag{3.13}$$

Kuaterniyon özellikleri

i) Kuaterniyon Vektörü, skaler ve vektörel olarak iki kısımda Eş. 3.14'te tanımlanabilir.

$$q = s(q) + v(q) \tag{3.14}$$

ii) Kuaterniyon Vektörünün genliği Eş. 3.15'te olduğu gibi hesaplanabilir.

$$|q| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2} \tag{3.15}$$

iii) Kuaterniyon Vektörü Eş. 3.16'da olduğu gibi kutupsal olarak da gösterilebilir.

$$q = |q| e^{\mu\phi} \tag{3.16}$$

Eğer μ özvektörünün açısı ϕ ile gösterilirse, özvektör açısı $0 < \phi \leq \pi$ aralığında Eş. 3.17'de olduğu gibi gösterilebilir.

$$\mu = V(q)/|V(q)| \tag{3.17}$$

iv) Kuaterniyon Vektörü $a = 0$ durumunda, Kuaterniyon Vektörü salt-Kuaterniyon olarak tanımlanır (RGB renk alanlarında görüntü için bu şekilde kullanılmaktadır).

v) Euler ve De Moivre formülleri Kuaterniyon Vektörüne uygulanırsa $e^{\mu\phi}$, Eş. 3.18'deki gibi temsil edilebilir.

$$e^{\mu\phi} = \cos(\phi) + \mu\sin(\phi) \tag{3.18}$$

vi) Kuaterniyon Vektörünün eşleniği Eş. 3.19'da olduğu gibi tanımlanabilir.

$$\bar{q} = a - bi - cj - dk \tag{3.19}$$

Kuaterniyon konvolüsyonu kullanarak filtreleme

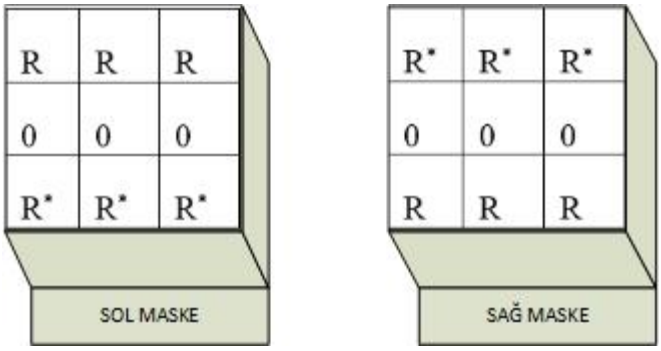
Kuaterniyon konvolüsyonu RGB renk alanındaki resmin salt–Kuaterniyonu olarak Eş. 3.20'deki gibi tanımlanabilir.

$$I = q_{RGB} = Ri + Gj + Bk \tag{3.20}$$

Renkli bir görüntünün Kuaterniyon Vektöründe gösterimi, sol ve sağ dairesel konvolüsyonu kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu dairesel konvolüsyon işlemi bir çeşit Kuaterniyon maskelemesi olarak Eş. 3.21'de olduğu gibi tanımlanabilir.

$$\bar{I}(n,m) = \sum_{x=-X}^{X} \sum_{y=-Y}^{Y} h_L(x,y) I(n - x \bmod N,\ m - y \bmod M) h_R(x,y) \tag{3.21}$$

Burada $\bar{I}(.)$ filtrelenmiş görüntüyü, $I(.)$ ise herhangi bir müdahale edilmemiş orijinal resmi göstermektedir. *N, M* resmin boyutlarını; h_L ve h_R ise soldan ve sağdan yapılacak maskeyi temsil etmektedir. Soldan ve sağdan uygulanan maskeler ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Soldan ve sağdan uygulanan Kuaterniyon maskeleri

Şekil 3.4'te maskelerin içerisinde gösterilen R ve R^* Eş. 3.22'deki gibi temsil edilebilir [101].

$$R = Se^{u\pi/4} = S(\cos\pi/4 + u\sin\pi/4)$$
$$R^* = conj(R) \tag{3.22}$$

Bu formülde u salt-Kuaterniyonun birim vektörüdür. S ise oran faktörünü göstermektedir ve Eş. 3.23'te verilmiştir.

$$u = (i + j + k)/\sqrt{3}$$
$$S = 1/\sqrt{6} \tag{3.23}$$

3.4.2. Çıkıntı haritalaması

Çıkıntı haritalaması sayısal görüntüdeki önemli noktaların gösterilmesindeki işlemleri tanımlamaktadır. Çıkıntı haritası kavramı önemli bölgelerin gösterimi için bilgisayar tabanlı çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır [102-104]. Özellikle hayvanlarda, çıkıntı haritalaması işlemi günlük yaşam ortamlarında, uykularında sıklıkla kullanılır ve bu işleme "Ani Göz Hareketi (AGH)" denilmektedir [102]. Bu işlemi hayvanlar hayatta kalmak için kullanırlar.

Bilgisayar tabanlı çıkıntı haritalaması; makina görmesi [105], bilgi teknolojilerinde [106, 107], veri azaltma [108-110] vb. uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

İlk defa çıkıntı haritalaması Koch ve Ullman [111] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Treisman ve Gelade [112] tarafından geliştirilen "Özellik İliştirme Teorisi" algoritmasıyla birlikte gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar RARE Modeli [102] olarak üç aşamada geliştirilmiş ve uygulanmıştır. İlk adımda, düşük ve orta seviye yönelim özellikleri

tanımlanır. İkinci adımda, çoklu ölçeklendirmeli seyreklik mekanizması uygulanır. Üçüncü aşamada, seyreklik haritası, tekil çıkıntı haritasıyla birleştirilir.

Özellik çıkarımı

Bu aşamada "Temel Bileşen Analizi" (TBA) [113, 114] Kuaterniyon filtresinden edinilen görüntüye uygulanmaktadır [102]. İkinci aşamada, Gabor filtresi [115-117], sekiz açılı olarak Eş. 3.24'teki gibi uygulanır.

$$g(x,y;\lambda,\theta,\phi,\gamma)=\exp\left(-\frac{\left[x\cos(\theta)+y\sin(\theta)\right]^2+\gamma^2\left[-x\sin(\theta)+y\cos(\theta)\right]^2}{2\sigma^2}\right)\cos\left(2\pi\frac{x\cos(\theta)+y\sin(\theta)}{\lambda}+\phi\right) \quad (3.24)$$

Burada, ϕ faz dengelemesini, θ dalga boyu sinüzoidal etkisini gösteren sekiz açıyı (0°; 22,5°; 45°; 67,5°; 90°; 112,5°; 135° ve 157,5°) temsil etmektedir. γ da uzaysal görünüm oranını göstermektedir. Daha sonra elde edilen haritalar etkinlik katsayısına göre sıralanır, birinci basamaktan elde edilen en iyi üç düşük seviye harita ve en iyi üç Gabor filtresi sonucu elde edilir [102].

Çoklu oran seyreklik mekanizması

Çoklu oran seyreklik mekanizması, yoğun ve seyrek kısımlarını gösterir [102]. İlk olarak altı özellik haritası dört farklı açı için oluşturulur. Sonra çapraz oranlar her piksel için Eş. 3.25'te olduğu gibi hesaplanır. Burada n_i, i numaralı histogram çıkıntı değerini; I_j ise j numaralı pikselinin değeridir.

$$P(I_j)=-\log\left(\frac{1}{S*\left|I_j\right|}\sum_{i=1}^{S}n_i\right) \quad (3.25)$$

Birleştirme

Elde edilen altı adet seyreklik haritası tek bir çıkıntı haritası üzerinde Eş. 3.26'daki gibi birleştirilir [102]. Burada EC_i etkinlik katsayısını, map_i i numaralı haritayı temsil etmektedir.

$$S=\sum_{i=1}^{N}EC_i*map_i \quad (3.26)$$

4. BULGULAR

Tezin bu bölümü, geliştirilen ERT cihazının saha testlerinin bir kısmını ve "Metot ve Materyal" bölümünde yer alan algoritmaların uygulamalarını içermektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar bu bölümde ayrıntılı olarak karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. ERT Çıktıları

Saha çalışmalarında prototip cihaz üretildikten sonra, cihazın doğru veriler verip vermediğini tespit etmek amacıyla Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğünde bazı testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda cihazın doğru sonuç verdiği de MTA raporunda açıkça görülmektedir.

MTA raporuna konu olan bu testte MTA'nın yer gösterdiği test alanında, yüzeyde düşük rezistiviteye sahip bir toprak yapısında ölçümler gerçekleştirilmiştir. 150mA sabit akım kaynağı ayarında 24 elektrotlu, 1 metre elektrot aralığına sahip, Wenner Dizilimi'ne göre 84 adet gerilim ve rezistivite sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen bu rezistivite değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

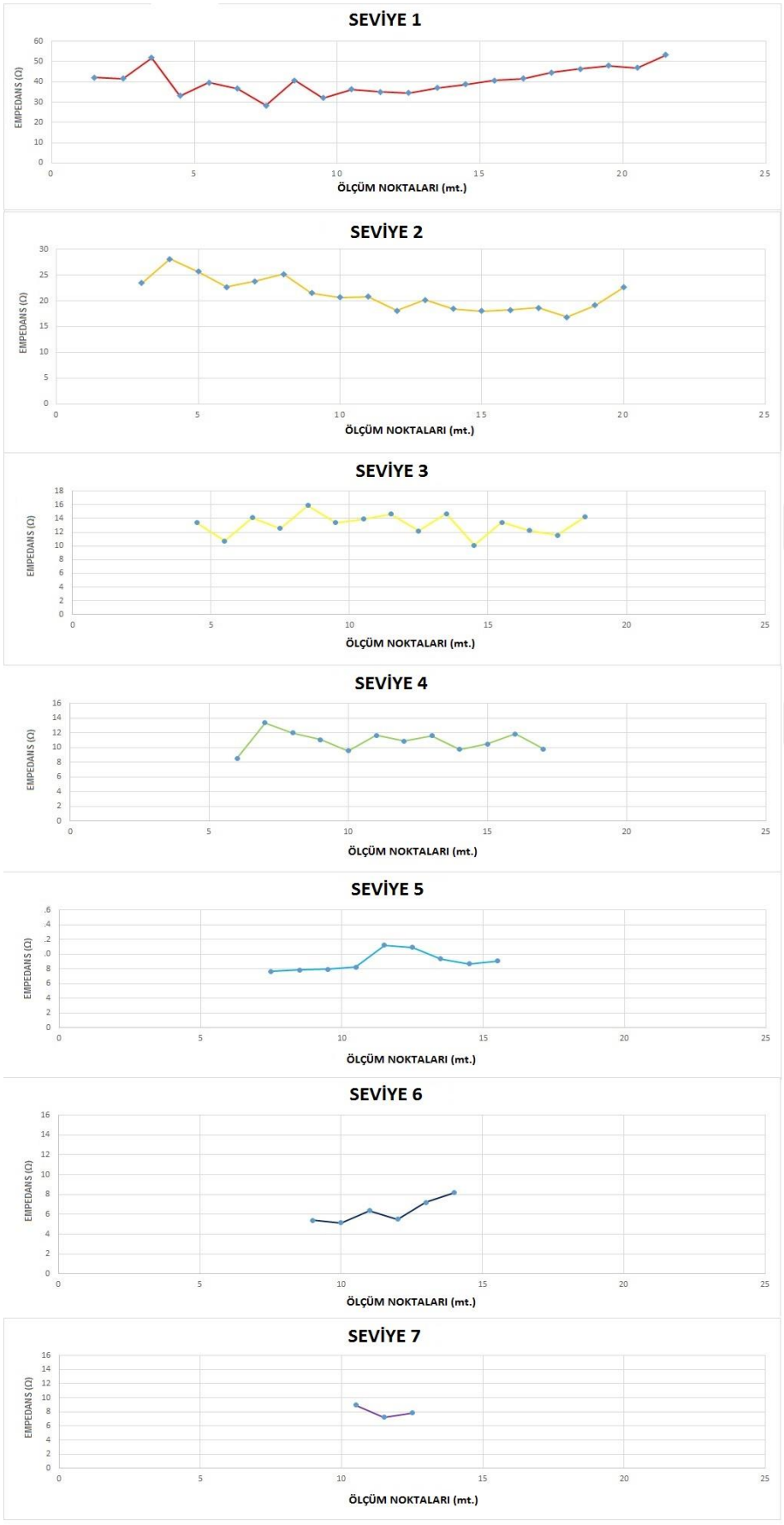
Çizelge 4.1. ERT rezistivite değerleri

1. Seviye		2. Seviye		3. Seviye		4. Seviye		5. Seviye		6. Seviye		7. Seviye	
Elektrot Aralığı (mt.)	Empedans (Ω)	Elektrot Aralığı (mt.)	Empedans (Ω)	Elektrot Aralığı (mt.)	Empedans (Ω)	Elektrot Aralığı (mt.)	Empedans (Ω)	Elektrot Aralığı (mt.)	Empedans (Ω)	Elektrot Aralığı (mt.)	Empedans (Ω)	Elektrot Aralığı (mt.)	Empedans (Ω)
1,5	42,16	3	23,42	4,5	13,39	6	8,54	7,5	7,66	9	5,41	10,5	8,97
2,5	41,62	4	28,14	5,5	10,72	7	13,34	8,5	7,85	10	5,15	11,5	7,23
3,5	51,82	5	25,67	6,5	14,12	8	12,01	9,5	7,97	11	6,36	12,5	7,83
4,5	33,11	6	22,66	7,5	12,58	9	11,05	10,5	8,24	12	5,51		
5,5	39,59	7	23,76	8,5	15,9	10	9,55	11,5	11,2	13	7,19		
6,5	36,62	8	25,16	9,5	13,37	11	11,67	12,5	10,93	14	8,18		
7,5	28,26	9	21,52	10,5	13,9	12	10,9	13,5	9,36				
8,5	40,75	10	20,64	11,5	14,66	13	11,59	14,5	8,69				
9,5	32,12	11	20,8	12,5	12,21	14	9,76	15,5	9,06				
10,5	36,34	12	18,07	13,5	14,69	15	10,49						
11,5	35	13	20,19	14,5	10,08	16	11,86						
12,5	34,57	14	18,46	15,5	13,47	17	9,82						
13,5	37,05	15	18,02	16,5	12,25								
14,5	38,71	16	18,21	17,5	11,58								
15,5	40,78	17	18,62	18,5	14,25								
16,5	41,54	18	16,86										
17,5	44,6	19	19,1										
18,5	46,35	20	22,59										
19,5	47,88												
20,5	46,82												
21,5	53,31												

Ölçüm yapılan test alanı ıslak şist ve kumlu toprakları kapsamaktadır ve özdirenç sonuçları bu toprağın, bu mineralleri içerdiğini göstermektedir. Ikeda ve diğerlerinin [118] yaptığı çalışmalarda da görüleceği üzere, şist alanların $100\,\Omega$ empedans değerlerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu da çalışmada yapılan ölçümün doğruluğunu kanıtlamaktadır. Ölçümlerin sonucunda, test alanının benzer özdirenç sonuçları verdiği de MTA raporunda [EK-1] görülmektedir.

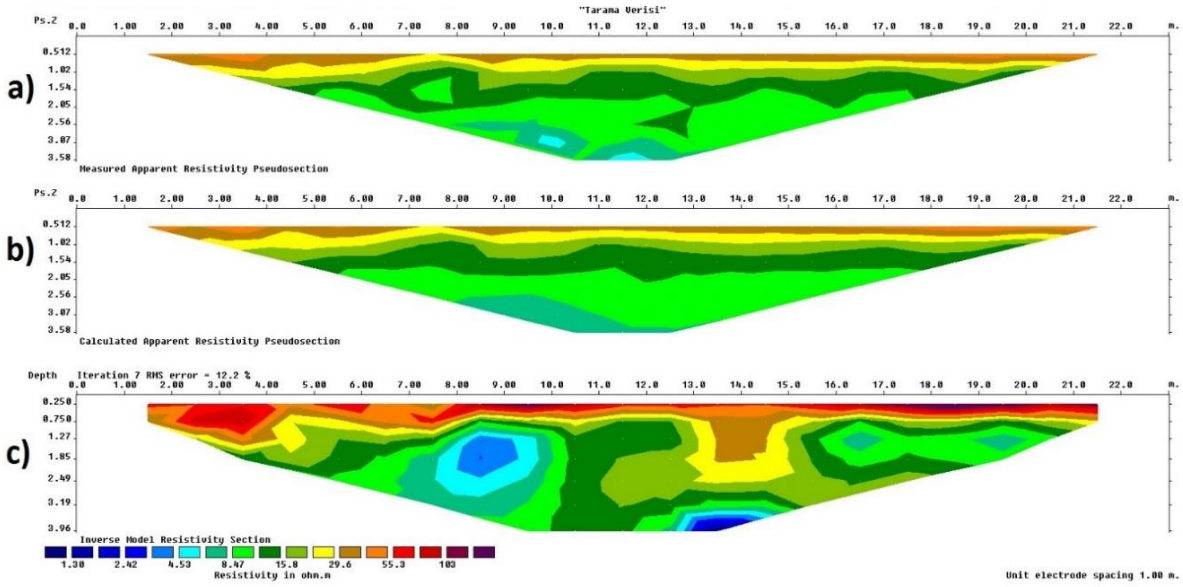
Elde edilen bu rezistivite değerlerinin doğruluğunu tespit etmek amacıyla ilk olarak "Bozuk Veri Noktaları" eğrileri incelenmiştir. Bu eğriler incelenerek seviye ölçümlerinde çok farklı değerde rezistivite değerleri elde edilmişse ölçümün tekrar yapılması gerekmektedir.

Şekil 4.1'deki bozuk veri noktaları eğrileri incelendiğinde 7 katman için hangi metrede nasıl bir empedans değeri elde edildiği açıkça görülmektedir. Yine aynı veri eğrilerine bakıldığında görülmektedir ki eğrilerde aşırı bir sapma olmamaktadır.



Şekil 4.1. Bozuk veri noktaları eğrileri

Elektriksel yeraltı kesit görüntüsü elde etmek için RES2DINV® yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4.2.a'da görüldüğü üzere elektriksel rezistivite kesiti cihazın elde ettiği ham değerler kullanılarak elde edilmektedir. Daha sonra bu ham verilere göre hesaplanan kesit Şekil 4.2.b'de gösterilmiştir. "Evirme Modeli" için elde edilen bu iki değere göre belirli bir RMS [119] hatasında yeraltının kesiti elde edilmektedir (Şekil 4.2.c). Elde edilen bu ölçüm ve program sonuçlarına göre düşük RMS hatasıyla sonuçlar elde edildiği de tespit edilmiştir. Uygun sonuçların olduğu MTA raporunda da ayrıca görülmektedir.



Şekil 4.2. MTA testi yeraltı elektriksel kesiti: a) ERT ham görüntüsü b) ERT hesaplanan görüntü c) Evirme görüntüsü

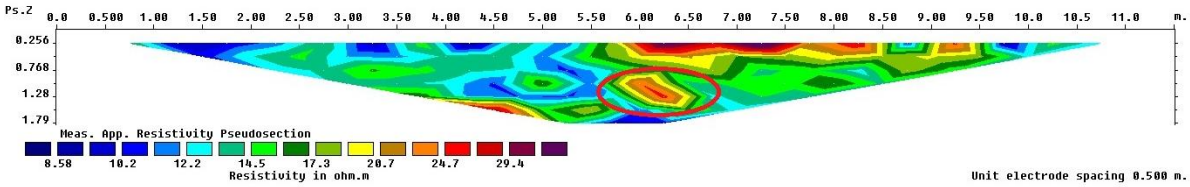
4.2. Saha Çalışmaları

Saha çalışmalarında, ERT uygulaması şist ve kumlu toprak içeren bir alanda gerçekleştirilmiştir. Yeraltında yaklaşık 1,3 m derinliğe Resim 4.1'de görüldüğü gibi metal gömülmüştür. 0,5 metrelik eşit mesafelerde 30 cm uzunluğunda 24 adet çelik elektrot kullanılmıştır. 24-elektrot ERT prototipi Wenner metoduyla 7 katmanda 84 rezistivite değeri üretmiştir. Elde edilen bu değerler yardımıyla ERT cihazı ".dat" dosyası oluşturmuş ve bu dosya RES2DINV® programı aracılığıyla yeraltı kesit görüntüsüne çevrilmiştir.

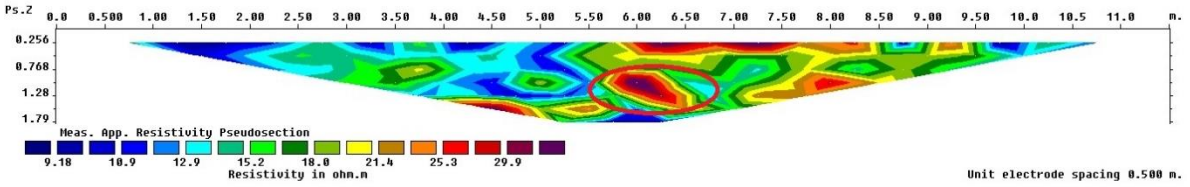


Resim 4.1. Yeraltına gömülen metal kütle

Gerçekleştirilen saha uygulaması iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada maksimum 50 mA sabit akım kullanılırken, ikinci aşamada maksimum 100 mA sabit akım kullanılmıştır. Bu iki akım değerine göre ".dat" dosyası oluşturulmuş ve sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'teki yeraltı profilleri elde edilmiştir.



Şekil 4.3. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti



Şekil 4.4. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te alınan ERT profilleri incelendiğinde, hattın 6. metresinde ve 1,28 metre derinliğinde kırmızı olan yerlerde düşük rezistivite tespit edilmektedir. Kırmızı oval çerçeve içerisinde metal gömülü bölge de Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te ayrıca gösterilmiştir. 100 mA test görüntülerinde toprağa gömülü metalin daha belirgin bir şekilde görüldüğü de ayrıca tespit edilmiştir. Bu test sayesinde, farklı akım değerlerinin şist ve kumlu topraktaki

sonuçları görülmüştür. 50 mA değerinin kumlu ve şist toprakta 3,5 metre seviyesinde yetersiz kaldığı da görülmüştür.

4.3. Görüntü İşleme Sonuçları

Görüntü işleme sonuçlarını elde etmek için tezin "Metot ve Materyal" kısmında bahsedilen BCM, GRG-BCM, K-Means ve Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalaması Metotları, yeraltına gömülen metal kütlenin tespiti için kullanılmıştır. Tezin bu kısmında, 100 mA ve 50 mA testi için elde edilen yeraltı görüntülerine bahsedilen algoritmalar uygulanmıştır.

4.3.1. BCM (Bulanık C-Mean) algoritması

Bulanık C-Mean algoritması sadece gri renk alanında gerçekleştirilebilmektedir. Bu sebeple sadece gri tonda kümeleme yapılabilmektedir. BCM algoritması, üç küme ve maksimum 200 iterasyon adımı için gerçekleştirilmiştir.

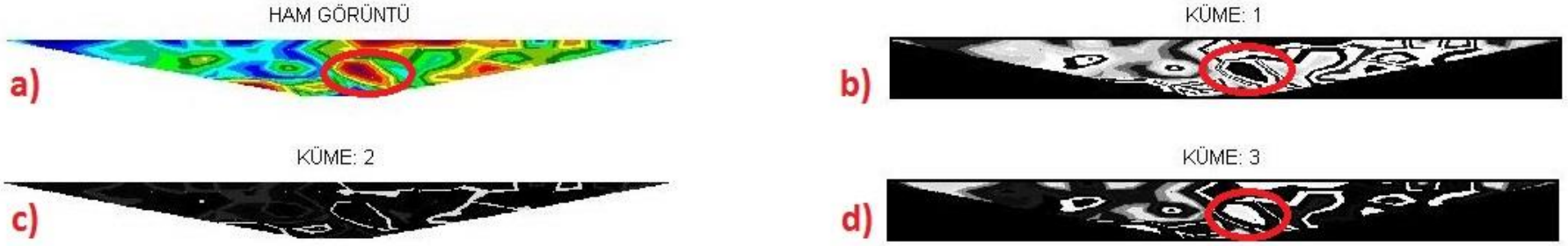
100 mA sonuçları BCM uygulaması

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda küme merkezleri sırasıyla, 0,580263964137467; 0,989053518496176 ve 0,256089321836266 olarak hesaplanmıştır. Program sonucunda 20. iterasyonda üyelik fonksiyonunda değişme olmadığı tespit edilmiştir ve iterasyon sonlandırılmıştır. Gerçekleştirilen bu işlem için üyelik fonksiyon değerleri de Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 100mA üyelik fonksiyonu minimizasyon sonuçları

İterasyon No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Üyelik Fonksiyon Değeri	3859,015	2991,023	2987,36	2931,355	2360,336	1013,854	721,6647	511,081	390,0291	368,5828
İterasyon No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Üyelik Fonksiyon Değeri	365,0195	364,3048	364,144	364,1064	364,0974	364,0953	364,0948	364,0946	364,0946	364,0946

Bu kümeleme çalışmasına ham görüntü ve 3 adet kümeye ait görüntü çıktıları da Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve BCM algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Küme 1 c) Küme 2 d) Küme 3

Şekil 4.5.a'da 100 mA saha testi için elde edilen ham görüntü mevcuttur. Gömülü objenin yeri de kırmızı yuvarlak içerisinde gösterilmiştir. Şekil 4.5.b, Şekil 4.5.c ve Şekil 4.5.d ise sırasıyla üç BCM kümeleme sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.5.b ve Şekil 4.5.d incelendiğinde (Küme 1 ve Küme 3), gömülü obje rahatlıkla tespit edilebilmektedir.

50 mA sonuçları BCM uygulaması

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda küme merkezleri sırasıyla, 0,573037091223023; 0,294023996024874 ve 0,990455625925953 olarak hesaplanmıştır. Program sonucunda 27. iterasyonda üyelik fonksiyonunda değişme olmadığı tespit edilmiştir ve iterasyon sonlandırılmıştır. Gerçekleştirilen bu işlem için üyelik fonksiyon değerleri de Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. 50 mA üyelik fonksiyonu minimizasyon sonuçları

İterasyon No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Üyelik Fonksiyon Değeri	3435,025	2660,281	2656,441	2598,516	2093,893	1088,046	782,646	669,0141	556,6608
İterasyon No	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Üyelik Fonksiyon Değeri	480,4909	430,0646	392,1547	362,4225	344,857	337,154	334,3321	333,3876	333,0853
İterasyon No	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Üyelik Fonksiyon Değeri	332,9907	332,9615	332,9525	332,9498	332,949	332,9487	332,9486	332,9486	332,9486

Bu kümeleme çalışmasına 50mA testine ait ham görüntü ve 3 adet kümeye ait görüntü çıktıları da Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve BCM algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Küme 1 c) Küme 2 d) Küme 3

Şekil 4.6.a'da 50 mA saha testi için elde edilen ham görüntü gösterilmiştir. Gömülü objenin yeri de kırmızı yuvarlak içerisinde gösterilmiştir. Şekil 4.6.b, Şekil 4.6.c ve Şekil 4.6.d ise sırasıyla 50 mA BCM kümeleme sonuçlarını göstermektedir. Kümeler incelendiğinde, sadece Şekil 4.6.d'de (Küme 3) gömülü obje tespit edilebilmektedir.

4.3.2. K-Means algoritması

Bulanık C-Mean algoritması sadece gri renk alanında gerçekleştirilebilmektedir. Bu sorunu gidermek amacıyla K-Means algoritmasıyla renkli sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. K-Means algoritması, yedi küme ve maksimum 200 iterasyon adımı için gerçekleştirilmiştir. K-Means algoritması kullanılırken Öklid Uzunluğu kullanılmıştır. Renk formu olarak RGB'de elde edilen görüntüler LAB renk uzayına çevrilmiştir. LAB uzayında [120, 121] "L" ışık faktörünü "A" ve "B" de renk alanlarını ifade etmektedir; bu sebeple daha iyi bir kümeleme amacıyla LAB renk uzayı tercih edilmiştir.

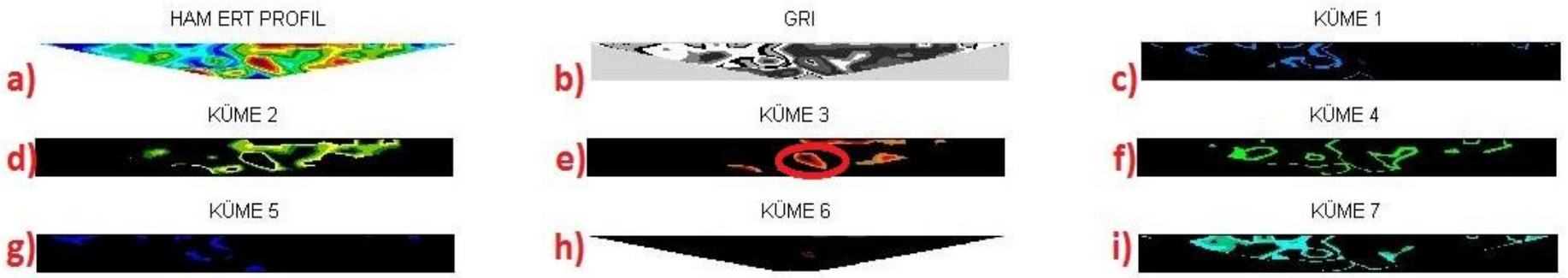
100 mA sonuçları K-Means uygulaması

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda küme merkezleri sırasıyla, 135,132972555083; 92,6782404692082; 170,238947888368; 57,0613269575613; 186,868974042027; 128,047506843619; 77,8817984046411 olarak hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen bu işlem için hangi kümeye kaç adet piksel dâhil edildiği ve küme merkezleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. 100 mA K-means küme merkezleri ve piksel dağılımları

Küme No:	1	2	3	4	5	6	7
Küme Merkezi:	135,133	92,67824	170,2389	57,06133	186,869	128,0475	77,8818
Kümelere Göre Piksel Dağılımı:	5174	17050	8098	8365	4045	57718	13790

Bu kümeleme çalışmasına 100mA testine ait ham görüntü, gri alan görüntüsü ve 7 adet kümeye ait görüntü çıktıları da Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 100mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve K-Means algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Gri alan görüntüsü c-i) K-Means kümeleri

Şekil 4.7.a'da 100 mA saha testi için elde edilen ham görüntü gösterilmiştir. Şekil 4.7.b, ERT profilinin gri renk alanındaki görüntüsünü, Şekil 4.7.c ile Şekil 4.7.i aralığında ise yedi adet kümeleme sonucu ortaya konmuştur. Şekil 4.7.d incelendiğinde (Küme 3), gömülü obje kolayca tespit edilebilmektedir.

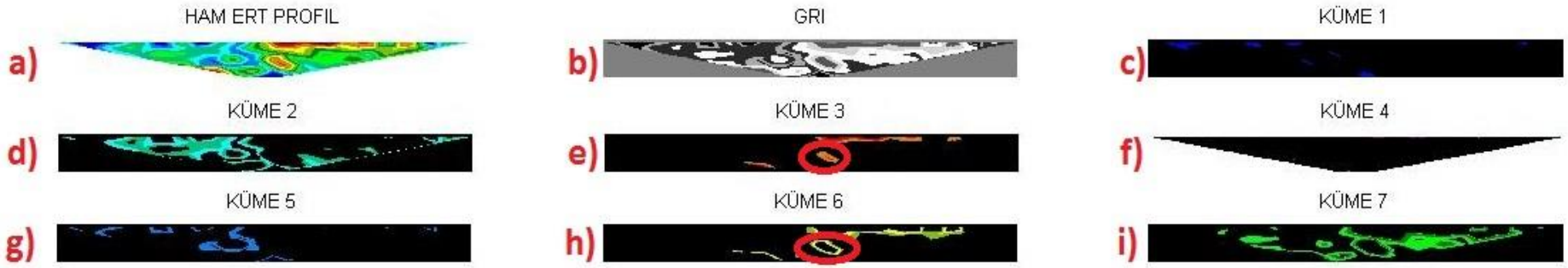
50 mA sonuçları K-Means uygulaması

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda küme merkezleri sırasıyla, 186,546531302876; 77,0270921762826; 169,817281014665; 127,653103221678; 132,817198283902; 100,967489711934; 63,5342535498105 olarak hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen bu işlem için ilgili kümeye kaç adet piksel dâhil edildiği ve küme merkezleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. 50 mA K-Means küme merkezleri ve piksel dağılımları

Küme No:	1	2	3	4	5	6	7
Küme Merkezi:	186,5465	77,02709	169,8173	127,6531	132,8172	100,9675	63,53425
Kümelere Göre Piksel Dağılımı:	2364	19083	5046	57419	5361	7290	17667

Bu kümeleme çalışmasındaki 50 mA testine ait ham görüntü, gri alan görüntüsü ve 7 adet kümeye ait görüntü çıktıları da Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve K-Means algoritması sonuçları: a) Ham görüntü b) Gri alan görüntüsü c-i) K-Means kümeleri

Şekil 4.8.a'da 50 mA saha testi için elde edilen ham görüntü gösterilmiştir. Şekil 4.8.b ERT profilinin gri renk alanındaki ERT profilini, Şekil 4.8.c - Şekil 4.8.i aralığı ise yedi adet kümeleme sonucunu ortaya koymuştur. Şekil 4.8.d ve Şekil 4.8.h incelendiğinde (Küme 3 ve Küme 6), gömülü objenin bir kısmı Küme 3'te görülmekte, diğer kısmı Küme 6'da kısmen görülebilmektedir.

4.3.3. GRG-BCM algoritması

Geleneksel BCM algoritmasında sadece tek renk alanında kümeleme yapılabilmesinden dolayı GRG-BCM algoritması geliştirilmiştir. GRG-BCM algoritmasının ERT profillerinin üzerine uygulaması 50 mA ve 100 mA görüntüleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

GRG-BCM algoritması maksimum 200 iterasyon adımı için gerçekleştirilmiş ve her renk alanı 3 ayrı küme şeklinde oluşturulduktan sonra R, G ve B renk kanalları için kümeler tekrar birleştirilerek renk alanında 27 adet kümeleme sonuçları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

100 mA sonuçları GRG-BCM uygulaması

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda küme merkezleri R, G ve B kanalları için ayrı ayrı hesaplanmıştır ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. 100 mA sonuçları GRG-BCM küme merkezleri

R	G	B
0,98267	0,992575	0,02168
0,013942	0,45109	0,993004
0,534823	0,737654	0,477437

R renk alanı için 14. iterasyonda, G renk alanı için 15. iterasyon adımında, B renk alanı için de 14. iterasyonda üyelik fonksiyonunda değişme olmadığı tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu işlem için üyelik fonksiyon değerleri de Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. 100 mA sonuçları GRG-BCM üyelik fonksiyon değişimi

İterasyon Sayısı		1	2	3	4	5
Üyelik Fonksiyon Değeri	R	19080,47	14773,41	14759,9	14566,65	12967,83
	G	7679,519	5948,048	5941,52	5866,236	5166,328
	B	21065,59	16339,65	16335,56	16271,1	15384,47
İterasyon Sayısı		6	7	8	9	10
Üyelik Fonksiyon Değeri	R	6715,346	736,2855	574,7265	574,517	574,5084
	G	2539,209	1839,656	1817,658	1816,214	1816,102
	B	8632,482	559,8891	367,4767	366,1894	366,0902
İterasyon Sayısı		11	12	13	14	15
Üyelik Fonksiyon Değeri	R	574,5075	574,5074	574,5073	574,5073	-
	G	1816,09	1816,088	1816,088	1816,088	1816,088
	B	366,0817	366,081	366,0809	366,0809	-

GRG-BCM kümeleme çalışmasında; 100mA testine ait ham görüntü ve 27 adet kümeye ait görüntü çıktıları Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve GRG-BCM algoritması sonuçları: a)Ham görüntü b-E) GRG-BCM kümeleme sonuçları

Şekil 4.9.a'da 100 mA saha testi için elde edilen ham görüntü gösterilmiştir. Şekil 4.9.b ile Şekil 4.9.E aralığı ise 27 kümeleme sonucunu ortaya koymuştur. Şekil 4.9.l ve Şekil 4.9.m incelendiğinde (Küme 11 ve Küme 12), gömülü objenin yeri tespit edilebilmektedir.

50 mA sonuçları GRG-BCM uygulaması

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda küme merkezleri R, G ve B kanalları için ayrı ayrı hesaplanmıştır ve Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. 50 mA sonuçları GRG-BCM küme merkezleri

R	G	B
0,990032	0,986264	0,49335
0,028775	0,621772	0,987672
0,536126	0,051536	0,049617

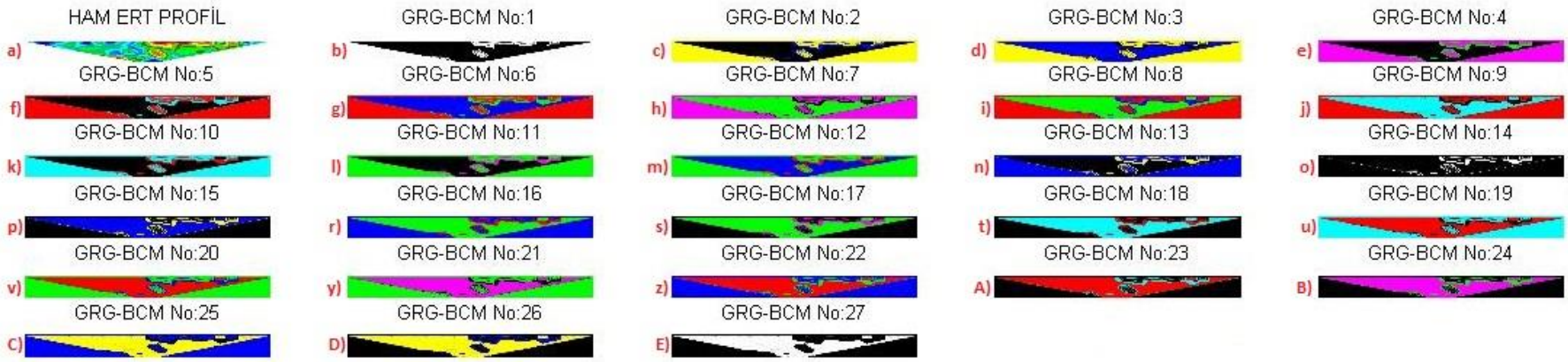
R renk alanı için 14. iterasyonda, G renk alanı için 15 iterasyon adımında, B renk alanı için se 14 iterasyonda üyelik fonksiyonunda değişme olmadığı tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu işlem için üyelik fonksiyon değerleri de Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. 50 mA sonuçları GRG-BCM üyelik fonksiyon değişimi

İterasyon Sayısı		1	2	3	4	5
Üyelik Fonksiyon Değeri	R	10223,79	7921,928	7916,18	7828,14	6728,729
	G	2743,695	2127,229	2126,665	2117,9	2000,123
	B	7916,727	6139,464	6139,162	6134,352	6059,76
İterasyon Sayısı		6	7	8	9	10
Üyelik Fonksiyon Değeri	R	1857,051	402,5858	275,4937	248,9615	244,2878
	G	1324,678	883,1753	707,5589	623,9063	607,1245
	B	5192,963	2477,192	781,712	347,0022	303,0831
İterasyon Sayısı		11	12	13	14	15
Üyelik Fonksiyon Değeri	R	243,3683	243,173	243,1299	243,1202	243,118
	G	604,2162	603,1835	602,6313	602,2864	602,0513
	B	298,9395	298,4831	298,4299	298,4236	298,4228
İterasyon Sayısı		16	17	18	19	20
Üyelik Fonksiyon Değeri	R	243,1175	243,1174	243,1174	243,1174	-
	G	601,8803	601,7493	601,6443	601,6443	-
	B	298,4228	298,4227	298,4227	-	-

GRG-BCM kümeleme çalışmasında; 50 mA testine ait ham görüntü ve 27 adet kümeye ait görüntü çıktıları Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Şekil 4.10.a'da 50 mA saha testi için elde edilen ham görüntü gösterilmiştir. Şekil 4.10.b – Şekil 4.10.E aralığı ise 27 kümeleme sonucunu ortaya koymuştur. Şekil 4.10.l, Şekil 4.10.m, Şekil 4.10.D ve Şekil 4.10.E incelendiğinde (Küme 11, Küme 12, Küme 26 ve Küme 27), gömülü objenin yeri tespit edilebilmektedir.



Şekil 4.10. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve GRG-BCM algoritması sonuçları: a)Ham görüntü b-E) GRG-BCM kümeleme sonuçları

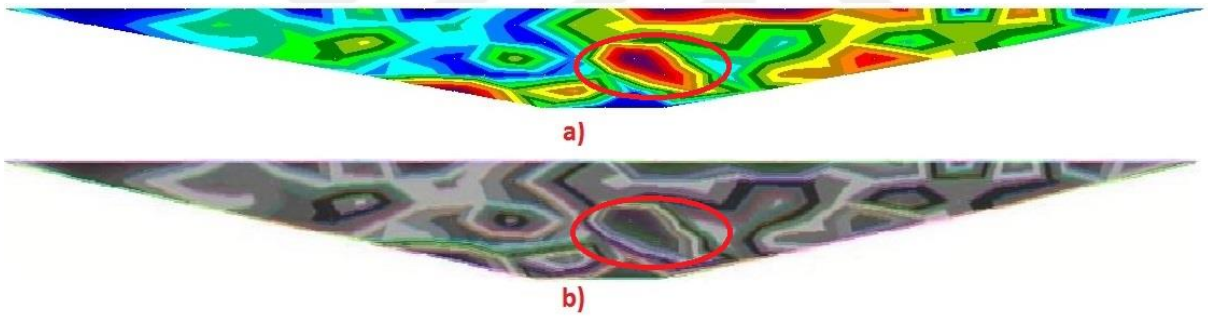
4.3.4. Kuaterniyon tabanlı çıkıntı haritalaması

Yeraltı profilleri üç boyutlu renk alanında temsil edildiğinden ve Kuaterniyon Vektörünün çok boyutlu uzayda kolay temsilinden dolayı bu yöntem tez kapsamında geliştirilmiştir. Ayrıca Kuaterniyon filtresine uygulanan çıkıntı haritalamasıyla da jeofizik mühendislerine yardımcı görüntü işleme algoritması geliştirilmiştir.

Tezin "Metot ve Materyal" kısmında detaylı olarak incelenen "Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalaması" algoritmaları 50 mA ve 100 mA yeraltı görüntülerine uygulanmış ve yorumlanmıştır.

100 mA sonuçları Kuaterniyon tabanlı çıkıntı haritalaması uygulaması

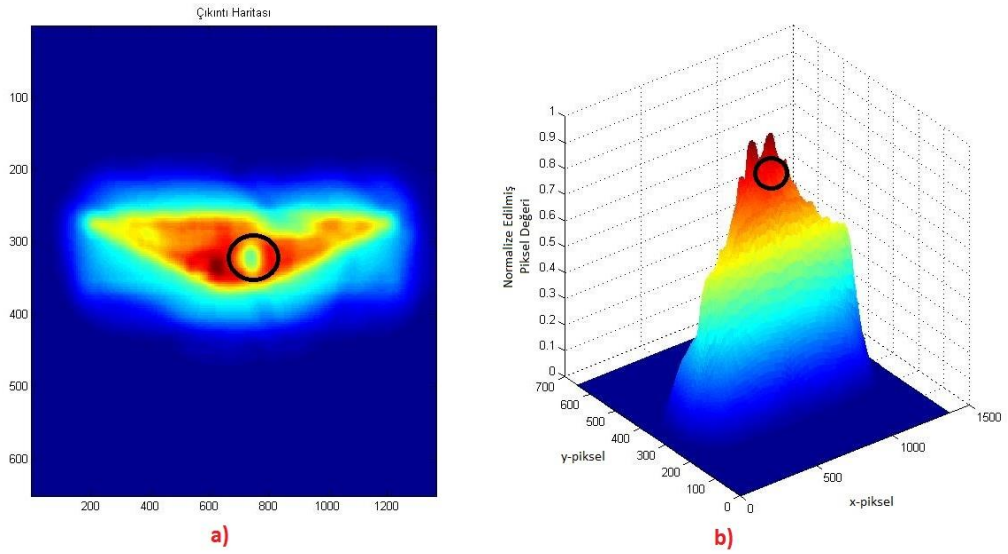
100 mA ham ERT görüntülerine ilk olarak Kuaterniyon tabanlı filtre uygulanmış olup uygulama sonuçları Şekil 4.11'de yer almaktadır.



Şekil 4.11. 100 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve Kuaterniyon filtresi algoritması: a)Ham görüntü b) Kuaterniyon filtresi sonucu

Şekil 4.11.a incelendiğinde 100 mA ERT görüntüsü mevcuttur. Şekil 4.11.b'de ise 100 mA profile Kuaterniyon filtresi uygulanmış ve sonucu gösterilmiştir.

Daha sonra elde edilen bu Kuaterniyon tabanlı filtre görüntülerine çıkıntı haritalaması uygulanmıştır ve Şekil 4.12'de uygulama sonuçları gösterilmiştir.

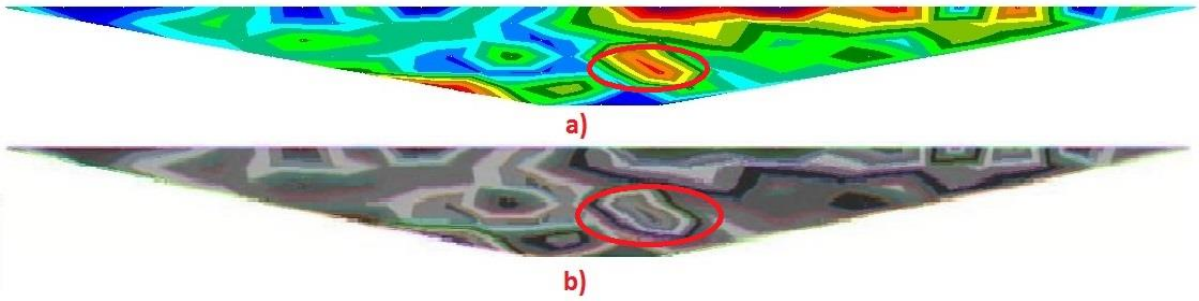


Şekil 4.12. 100 mA Kuaterniyon filtresi görüntülerine uygulanmış çıkıntı haritalaması sonuçları: a) Çıkıntı haritalaması uygulanan profil b) 3-Boyut çıkıntı haritası

Şekil 4.12.a incelendiğinde siyah yuvarlak içerisinde çıkıntı haritalaması sonucunda düşük rezistiviteli alan (gömülü metal kütle) görülmektedir. Şekil 4.12.b'de ise elde edilen bu çıkıntı haritalamasının üç boyutlu düzlemde çıktısı görülmektedir. 3 boyutlu görüntüde piksel değerlerinin normalize değerlerine göre çıkıntı haritası gösterilmektedir.

<u>50 mA sonuçları Kuaterniyon tabanlı çıkıntı haritalaması uygulaması</u>

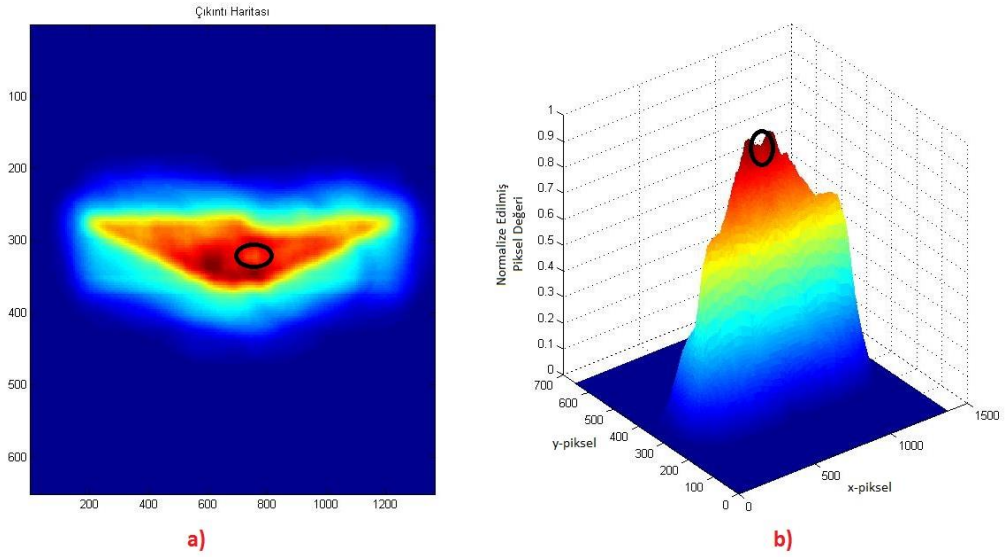
50 mA ham ERT görüntülerine, Kuaterniyon tabanlı filtre uygulanmıştır ve uygulama sonuçları Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



Şekil 4.13. 50 mA testi yeraltı elektriksel kesiti ve Kuaterniyon filtresi algoritması: a) Ham görüntü b) Kuaterniyon filtresi sonucu

Şekil 4.13.a'da 50 mA ERT profili mevcuttur. Şekil 4.13.b'de ise 50 mA profil Kuaterniyon filtresi sonucu gösterilmiştir. Daha sonra, elde edilen Kuaterniyon tabanlı filtre görüntülerine

çıkıntı haritalaması uygulanmıştır ve Şekil 4.14'te gömülü obje tespiti sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.14. 50 mA Kuaterniyon filtresi görüntülerine uygulanmış çıkıntı haritalaması sonuçları: a)Çıkıntı haritalaması uygulanan profil b) 3-Boyut çıkıntı haritası

Şekil 4.14.a incelendiğinde siyah yuvarlak içerisinde çıkıntı haritalaması sonucunda düşük rezistiviteli alan ufak bir sarı bölge halinde görülebilmektedir. Şekil 4.14.b'de ise elde edilen bu çıkıntı haritalamasının üç boyutlu düzlemde normalize edilmiş sonuçları verilmiştir. Kuaterniyon tabanlı bu çıkıntı haritalaması işleminin 50 mA'lik test sonuçlarında çok başarılı olmadığı da ayrıca görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tezin bu bölümünde gerçekleştirilen prototip cihazın ürettiği sonuçlar, ERT profillerine uygulanan algoritmalar ve bu algoritmaların sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca geliştirilen cihaz ve uygulanan algoritmalara ilişkin öneriler de bu bölümde yer almaktadır.

5.1. ERT Cihazının Ürettiği Verilerin Analizi

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı; SANTEZ Programı Çerçevesinde "1064.STZ.2011-2" kod numarasıyla alınan destek sayesinde bu prototip ERT cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen ERT cihazı, çeşitli toprak tipleri içeren test sahalarında defalarca kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

ERT cihazının doğrulamasının yapılması için T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne resmi başvuruyla cihazın doğrulamasının yapılması istenmiştir. Bu başvuru çerçevesinde cihaz teste tabi tutulmuş, "Jeofizik Dairesi Başkanlığı" bünyesinde Yüksek Jeofizik ve Jeofizik Mühendisi tarafından saha testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testler neticesinde cihazın doğru veriler ürettiği MTA raporunda (Bkz. EK-1) belirtilmiştir.

Wenner Metoduna göre elde edilen 84 adet gerilim ve bu gerilimlere göre elde edilen 84 adet empedans değeri bu testlerde değerlendirilmiştir. Elde edilen empedans ölçümlerine göre ".dat" uzantılı dosya oluşturan ERT cihazından alınan dosya ile yeraltı elektriksel profili oluşturulmuş ve bu veriler jeofizik mühendisleri tarafından yorumlanmıştır.

Bu incelemeler sonucunda, elde edilen ham görüntünün, programın ürettiği "Evirme Modeli" ile örtüştüğü MTA Genel Müdürlüğü tarafından da raporlanmıştır (Bkz. EK-1).

5.2. Saha Çıktılarının Analizi

MTA Genel Müdürlüğü çalışmalarının yanı sıra, yeraltında metal tespiti için bazı saha çalışmaları da bağımsız olarak tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirilen testlerde farklı akım değerleri için ölçümler elde edilmiş ve yeraltı elektriksel görüntüleri oluşturulmuştur. Bu bağlamda 50 mA ve 100 mA akım değerleri için bazı ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bu ölçümlerde düşük rezistiviteye sahip kumlu ve şist içeren toprak yapısında 100 mA'lik akım değerinin daha izlenebilir yeraltı görüntüleri verdiği tespit edilmiştir. 50 mA ve 100 mA elektriksel kesitler incelendiğinde (Bkz. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4), 1,28 metre derinliğinde ve ERT ölçümü yapılan doğrunun 6. metresinde düşük rezistivite tespit edilmiştir. Gömülen kütlenin boyutu göz önüne alındığında (Bkz. Resim 4.1) 100 mA görüntüsünün daha başarılı olduğu açıkça görülmektedir.

5.3. Görüntü İşleme Algoritmalarının Analizi

Jeofizik mühendislerinin yeraltı görüntülerini daha rahat değerlendirebilmesi amacıyla bu tez çalışmasında kümeleme, filtreleme, çıkıntı haritalaması gibi doğruluğu literatürde ispatlanmış algoritmalar ve tez çalışması sürecinde geliştirilen algoritmalar ERT profillerine uygulanmıştır.

İlk olarak, üç kümeli BCM algoritması kullanılarak bulanık küme yaklaşımıyla yeraltındaki metal tespiti amaçlanmıştır. BCM algoritması sonucunda Küme 1 ve Küme 3'te (Bkz. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6) düşük rezistivite gömülü obje tespit edilmiştir. Ancak üretilen elektriksel kesitlerin renkli olması ve BCM algoritmasının gri renk alanında çalışmasından dolayı başarı düşük düzeyde kalmıştır.

İkinci metot olarak K-Means algoritması kullanılmıştır. K-Means algoritmasında toplam 7 küme kullanılarak gömülü obje tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Kullanılan 100 mA ölçümlerinde kullanılan K-Means algoritmasında 3 numaralı kümede gömülü obje rahatlıkla görülebilmektedir (Bkz. Şekil 4.7). Ayrıca, 50 mA ölçümlerinde de Küme 3 ve Küme 6'da toprağa gömülü kütle BCM algoritmasına göre daha başarılı sonuç verdiği görülmektedir (Bkz. Şekil 4.8).

Daha sonra tez kapsamında geliştirilen GRG-BCM algoritması elektriksel yeraltı kesit görüntülerine uygulanmıştır. GRG-BCM algoritmasının geliştirilme amacı, BCM algoritmasında kullanılan bulanık küme yaklaşımının renkli görüntülere herhangi bir renk uzayı değişmesine tabi tutulmadan uygulamasının sağlanmasıdır. Bu bağlamda renkli 50 mA ve 100 mA ERT kesit görüntülerine göre oluşturulan 27 adet küme sonucunda 100 mA uygulamasında Küme 11 ve Küme 12'de (Bkz. Şekil 4.9) BCM algoritmasına göre daha iyi bir kümeleme yapıldığı görülmüştür. 50 mA sonuçları incelendiğinde (Bkz. Şekil 4.10) Küme 11, 12, 26 ve 27'de gömülü kütle görülebilmektedir. Bu algoritmanın BCM

algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca algoritma sonucunda elde edilen görüntülere göre, sadece üç kümeye bölünerek kesit görüntüsünün ön analizinde kullanım kolaylığı sağladığı da görülmüştür.

Son olarak da Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritalaması incelenmiştir. Bu bilgisayar tabanlı görüntü işleme çalışmasında, çıkıntı haritalamasının ön işleminde; hızlı çalışmasından dolayı tercih edilen dört boyutlu uzayda işlem gerçekleştirilebilen Kuaterniyon filtresi uygulanmıştır (Bkz. Şekil 4.10 ve Şekil 4.12). Elde edilen bu ön işlem sonuçlarına çıkıntı haritalaması uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Bkz. Şekil 4.11 ve Şekil 4.13). Bu sonuçlar incelendiğinde toprağa gömülü metal kütleler 100 mA test görüntülerinde (Bkz. Şekil 4.11) rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Çıkıntı haritalamasının 3 boyutlu gösteriminde de yüksek rezistiviteli toprağın içerisinde düşük rezistivite çukur şeklinde görülebilmektedir. Bu yaklaşımın jeofizik mühendislerinin ERT incelemesinde yeni bir yöntem olarak katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Çıkıntı haritalaması yöntemi zaten resmin göze çarpan kısımlarını tespit etmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntem olduğundan ve literatürde de birçok çalışmada uygulanabilirliği kanıtlandığından bu yöntemin yeraltı görüntülerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Yöntemler hız bakımından kıyaslandığında, en yüksek hıza sahip olması sebebiyle K-Means algoritması (Bkz. Çizelge 5.1) 1,377135 saniyede gerçekleşmektedir. Ancak yöntemlerin başarısı incelendiğinde tez kapsamında gerçekleştirilen GRG-BCM ve Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritası yönteminin oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Ancak geliştirilen yöntemlerden özellikle Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritası yöntemi dört boyutlu vektör uzayında çalıştığından dolayı paralel bir işlemcide uygulandığı takdirde daha başarılı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 5.1. Yöntemlerin hız ve başarı bakımından kıyaslanması

	50mA Görüntüleri					100mA Görüntüleri				
Yöntem	Hız (Saniye)	Tespit Başarısı	İterasyon Sayısı			Hız (Saniye)	Tespit Başarısı	İterasyon Sayısı		
BCM	3,956311	Düşük	27			3,943211	Orta	20		
K-Means	1,377135	Orta	42			1,385135	Yüksek	37		
GRG-BCM	5,35199	Yüksek	R	G	B	5,34299	Yüksek	R	G	B
			19	19	18			14	15	14
Kuaterniyon Tabanlı Çıkıntı Haritası	4,947029	Yüksek	-			4,935029	Yüksek	-		

5.4. Çalışmanın Genel Değerlendirmesi

Bu çalışma kapsamında ülkemizde üretimi bulunmayan ERT cihazının prototipi gerçekleştirilmiş ve saha uygulamaları yapılmıştır. MTA Genel Müdürlüğü, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü gibi devlet kurumlarının yanı sıra özel sektörde madenler ve serbest çalışan jeofizik mühendisleri bu cihazlara oldukça yüksek maliyetler karşılığında sahip olmaktadırlar. Bu tip cihazların üretiminin yeni AR-GE mühendislerinin yetişmesine ve ülke ekonomisine de yerli cihazların üretimiyle birlikte katkı sağlayacağı da aşikârdır. Ayrıca tez kapsamında gerçekleştirilen algoritmaların, dokunmatik panel vb. donanımsal özellikler içeren cihazların tasarlanmasıyla, daha kompakt tasarımlar da oluşturulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Audeberta, M., Clémenta, R., Touze-Foltza, N., Güntherb, T., Moreaua, S. and Duquennoia, C. (2014). Time-lapse ERT interpretation methodology for leachate injection monitoring based on multiple inversions and a clustering strategy (MICS). *Journal of Applied Geophysics*, 111, 320–333.

2. Martínez-Moreno, F. J., Galindo-Zaldívar, J., Pedrera, A., González-Castillo, L., Ruano, P., Calaforra, J. M. and Guirado, E. (2015). Detecting gypsum caves with microgravity and ERT under soil water content variations (Sorbas, SE Spain). *Engineering Geology*, 193, 38-48.

3. Fan, J., Scheuermann, A., Guyot, A., Baumgartl, T. and Lockington, D. A. (2015). Quantifying spatiotemporal dynamics of root-zone soil water in a mixed forest on subtropical coastal sand dune using surface ERT and spatial TDR. *Journal of Hydrology*, 523, 475-488.

4. Farzamian, M., Santos, F. A. M. and Khalil, M. A. (2015). Application of EM38 and ERT methods in estimation of saturated hydraulic conductivity in unsaturated soil. *Journal of Applied Geophysics*, 112, 175-189.

5. Faraj, Y. and Wang, M. (2012). ERT investigation on horizontal and vertical counter-gravity slurry flow in pipelines. *Procedia Engineering*, 42, 588-606.

6. Zarroca, M., Bach, J., Linares, R. and Pellicer, X. M. (2011). Electrical methods (VES and ERT) for identifying, mapping and monitoring different saline domains in a coastal plain region (Alt Empordà, Northern Spain). *Journal of Hydrology*, 409 (1-2), 407-422.

7. Gómez-Ortiz, D. and Martín-Crespo, T. (2012). Assessing the risk of subsidence of a sinkhole collapse using ground penetrating radar and electrical resistivity tomography. *Engineering Geology*, 149-150, 1–12.

8. Cataldo, A., Persico, R., Leucci, G., De Benedetto, E., Cannazza, G., Matera, L. and De Giorgi, L. (2014). Time domain reflectometry, ground penetrating radar and electrical resistivity tomography: a comparative analysis of alternative approaches for leak detection in underground pipes. NDT & E International, 62, 14-28.

9. Chávez, R. E., Cifuentes-Nava, G., Hernández-Quintero, J. E., Vargas, D. and Tejero, A. (2014). Special 3D electric resistivity tomography (ERT) array applied to detect buried fractures on urban areas: San Antonio Tecómitl, Milpa Alta, México. *Geofísica Internacional*, 53(4), 425-434.

10. Carriere, S. D., Chalikakis, K., Senechal, G., Danquignya, C. and Emblanch, C. (2013). Combining electrical resistivity tomography and ground penetrating radar to study geological structuring of karst unsaturated zone. *Journal of Applied Geophysics*, 94, 31-41.

11. Perri, M. T., Boaga, J., Bersan, S., Cassiani, G., Cola, S., Deiana, R., Simonini, P. and Patti, S. (2014). River embankment characterization: The joint use of geophysical and geotechnical techniques.

12. Chambers, J. E., Wilkinson, P. B., Penn, S., Meldrum, P. I., Kuras, O., Loke, M. H. and Gunn, D. A. (2013). River terrace sand and gravel deposit reserve estimation using three-dimensional electrical resistivity tomography for bedrock surface detection. *Journal of Applied Geophysics*, 93, 25-32.

13. Maillo, J. M., Seguin, M. K., Gupta, O. P., Akhauri, H. M. and Sen, N. (1999). Electrical resistivity tomography survey for delineating uncharted mine galleries in West Bengal, India. *Geophysical Prospecting*, 47(2), 103-116.

14. Martínez-Pagán, P., Cano, A. F., Aracil, E. and Arocena, J. M. (2009). Electrical resistivity imaging revealed the spatial properties of mine tailing ponds in the sierra minera of southeast Spain. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 14(2), 63-76.

15. Li, X., Hu, Z., Li, S. and Cai, Y. (2015). Anomalies of mountainous mining paddy in western China. *Soil and Tillage Research*, 145, 10-19.

16. Rey, J., Martinez, J. and Hidalgo, M. C. (2013). Investigating fluvial features with electrical resistivity imaging and ground-penetrating radar: The Guadalquivir River terrace (Jaen, Southern Spain). *Sedimentary Geology*, 295, 27-37.

17. Leontarakis, K. and Apostolopoulos, G. V. (2013). Model Stacking (MOST) technique applied in cross-hole ERT field data for the detection of Thessaloniki ancient walls' depth. *Journal of Applied Geophysics*, 93, 101–113.

18. Apostolopoulos, G. V. (2014). Combined geophysical investigation for the detection of ancient metallurgical installations near Keratea City, Greece. *Journal of Applied Geophysics*, 104, 17–25.

19. Passaro, S. (2010). Marine electrical resistivity tomography for shipwreck detection in very shallow water: a case study from Agropoli (Salerno, southern Italy). *Journal of Archaeological Science*, 37, 1989-1998.

20. Chaudhuri, A., Sekhar, M., Descloitres, M., Godderis, Y., Ruiz, L. and Braun, J. J. (2013). Constraining complex aquifer geometry with geophysics (2-D ERT and MRS measurements) for stochastic modelling of groundwater flow. *Journal of Applied Geophysics*, 98, 288–297.

21. Kneisel, C., Emmert, A. and Kästl, J. (2014). Application of 3D electrical resistivity imaging for mapping frozen ground conditions exemplified by three case studies. *Geomorphology*, 210, 71-82.

22. Langer, R. E. (1936). On the determination of earth conductivity from observed surface potentials. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 42(10), 747-754.

23. Slichter, L. B. (1933). The interpretation of the resistivity prospecting method for horizontal structures. *Journal of Applied Physics*, 4, 307-322.

24. Tikhonov, A. H. (1949). O yedinstvennosti resheniya zadachi elektrorazvedki, Dokl. *Akademiya nauk SSSR*, 69(6), 797-800.

25. O'Connor J. J. and Robertson E. F. (1999). Bibliography: Andrei Nikolaevich Tikhonov. *MacTutor History of Mathematics*, 1-3.

26. Loke, M. H. and Barker, R. D. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44(1), 131-152.

27. Loke, M. H. and Barker, R. D. (1996). Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical Prospecting*, 44(3), 499-523.

28. Zhao, X., Li, Y. and Zhao, Q. (2015). Mahalanobis distance based on fuzzy clustering algorithm for image segmentation. *Digital Signal Processing*, 43, 8-16.

29. Quintanilla-Dominguez, J., Ojeda-Magaña, B., Cortina-Januchs, M. G., Ruelas, R., Vega-Corona, A. and Andina D. (2011). Image segmentation by fuzzy and possibilistic clustering algorithms for the identification of microcalcifications. Scientia Iranica, 18(3), 580-589.

30. Maitra, M. and Chatterjee, A. (2008). Hybrid multiresolution Slantlet transform and fuzzy c-means clustering approach for normal-pathological brain MR image segregation. Medical Engineering & Physics, 30(5), 615-623.

31. Liao, L., Lin, T. and Li, B. (2008). MRI brain image segmentation and bias field correction based on fast spatially constrained kernel clustering approach. Pattern Recognition Letters, 29(10), 1580-1588.

32. Kim, D. W., Lee, K. H. and Lee, D. (2004). A novel initialization scheme for the fuzzy c-means algorithm for color clustering. *Pattern Recognition Letters*, 25(2), 227-237.

33. Lo, C. C., and Wang, S. J. (2001). Video segmentation using a histogram-based fuzzy c-means clustering algorithm. *Computer Standards & Interfaces*, 23(5), 429-438.

34. Jahanian H., Hossein-Zadeh G. A., Soltanian-Zadeh H. and Ardekani B. A. (2004). Controlling the false positive rate in fuzzy clustering using randomization: application to fMRI activation detection. *Magnetic Resonance Imaging*, 22(5), 631-638.

35. Lin, C. H., Chen, C. C., Lee, H. L. and Liao, J. R. (2014). Fast K-means algorithm based on a level histogram for image retrieval. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3276-3283.

36. Jiang, Z., Lin, Z. and Davis, L. S. (2012). Class consistent k-means: Application to face and action recognition. *Computer Vision and Image Understanding*, 116(6), 730-741.

37. Armstrong, J. J., Zhu, M., Hirdes, J. P. and Stolee P. (2012). K-Means Cluster Analysis of Rehabilitation Service Users in the Home Health Care System of Ontario: Examining the Heterogeneity of a Complex Geriatric Population. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(12), 2198-2205.

38. Bagirov, A. M. (2008). Modified global image-means algorithm for minimum sum-of-squares clustering problems. *Pattern Recognition*, 41(10), 3192-3199.

39. Žalik, K. R. (2008). An efficient k-means clustering algorithm. *Pattern Recognition Letters*, 29(9), 1385-1391.

40. Mihalek, R. J. (1972). Projective Geometry and Algebraic Structures (First Edition), USA (NY): Academic Press, 205–209.

41. De-Groote H. F. (1975). On the complexity of quaternion multiplication. *Information Processing Letters*, 3(6), 177-179.

42. Shoemake, K. (1991). Graphics Gems II (First Edition), USA (San Diego): Academic Press, 351-354.

43. Bernal, J., Sánchez, F. J., Fernández-Esparrach, G., Gil, D., Rodríguez, C. and Vilariño F. (2015). WM-DOVA maps for accurate polyp highlighting in colonoscopy: Validation vs. saliency maps from physicians. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 43, 99-111.

44. Ansia, S. and Aswathy, A. L. (2015). Single image haze removal using white balancing and saliency map. *Procedia Computer Science*, 46, 12-19.

45. Zhang, X., Zhaoping, L., Zhou, T. and Fang F. (2012). Neural activities in V1 create a bottom-up saliency map. *Neuron*, 73(1), 183-192.

46. Foulsham, T., Barton, J. J. S., Kingstone, A., Dewhurst, R. and Underwood G. (2011). Modeling eye movements in visual agnosia with a saliency map approach: Bottom–up guidance or top–down strategy?. *Neural Networks*, 24(6), 665-677.

47. Jeong, S., Ban, S. W. and Lee M. (2008). Stereo saliency map considering affective factors and selective motion analysis in a dynamic environment. *Neural Networks*, 21(10), 1420-1430.

48. Gai, S., Yang, G. and Wan M. (2013). Employing quaternion wavelet transform for banknote classification. *Neurocomputing*, 118, 171-178.

49. Ouyang, J., Coatrieux, G., Chen, B. and Shu H. (In Press). Color image watermarking based on quaternion Fourier transform and improved uniform log-polar mapping. Computers & Electrical Engineering.

50. Presuel-Moreno, F., Liu, Y. and Wu Y. Y. (2013). Numerical modeling of the effects of rebar presence and/or multilayered concrete resistivity on the apparent resistivity measured via the Wenner method. *Construction and Building Materials*, 48 16-25.

51. Zhu, J. J., Kang, H. Z. and Gonda Y. (2007). Application of Wenner configuration to estimate soil water content in pine plantations on sandy land. *Pedosphere*, 17(6), 801-812.

52. Dahlin, T. and Loke, M. H. (1998). Resolution of 2D Wenner resistivity imaging as assessed by numerical modelling. *Journal of Applied Geophysics*, 38(4), 237-249.

53. Oates, M. J., De-León, A. L. V., Intrigliolo, D. S., Martínez, J. M. M. and Ruiz-Canales A. (2015). Evaluation of an experimental system of soil moisture registration for irrigation management in potted vineyard (Vitis vinifera L. CV Bobal) of multi-depth temperature compensation based in resistivity measurements. *Agricultural Water Management*, 151, 126-135.

54. Olayinka, A. I. and Barker R. D. (1990). A technique for the interpretation of Wenner pseudosections from basement areas of Nigeria. *Journal of African Earth Sciences (and the Middle East)*, 11(3–4), 337-343.

55. Olorunfemi, M. O. (1985). Computer model studies of ip and resistivity response of a typically saline sandstone aquifer (Wenner electrode array depth sounding). *Geoexploration*, 23(2), 193-205.

56. Neyamadpour, A., Taib, S. and Abdullah, W.A.T. W. (2009). Using artificial neural networks to invert 2D DC resistivity imaging data for high resistivity contrast regions: a matlab application. *Computers & Geosciences*, 35(11), 2268-2274.

57. Zou, G., Liang, H. and Geng M. (2015). An adaptive method to reduce the effect of geometric approximation error on 3-D DC resistivity finite element numerical modeling. *Journal of Applied Geophysics*, 117, 1-12.

58. De-la-Vega, M., Osella, A. and Lascano, E. (2003). Joint inversion of Wenner and dipole–dipole data to study a gasoline-contaminated soil. *Journal of Applied Geophysics*, 54(1–2), 97-109.

59. Slaoui, F. H., Georges, S., Lagacé, P. J. and Do, X. D. (2003). The inverse problem of Schlumberger resistivity sounding measurements by ridge regression. *Electric Power Systems Research*, 67(2), 109-114.

60. Khalil, M. A. and Santos, F. A. M. (2013). 2D and 3D resistivity inversion of Schlumberger vertical electrical soundings in Wadi El Natrun, Egypt: A case study. *Journal of Applied Geophysics*, 89, 116-124.

61. Singh, U. K., Tiwari, R. K. and Singh, S. B. (2013). Neural network modeling and prediction of resistivity structures using VES Schlumberger data over a geothermal area. *Computers & Geosciences*, 52, 246-257.

62. Kohlbeck, F. and Mawlood D. (2009). Computer program to calculate resistivities and layer thicknesses from Schlumberger soundings at the surface, at lake bottom and with two electrodes down in the subsurface. *Computers & Geosciences*, 35(8), 1748-1751.

63. Lu, J., Qian, F. and Zhao Y. (1999). Sensitivity analysis of the Schlumberger monitoring array: application to changes of resistivity prior to the 1976 earthquake in Tangshan, China. *Tectonophysics*, 307(3–4), 397-405.

64. Zerilli, A. and Bisdorf, R. J. (1990). A basic program to transform continuous polar dipole-dipole resistivity soundings to half-Schlumberger soundings. *Computers & Geosciences*, 16(7), 911-923.

65. Koefoed, O. (1982). Three-layer model curves for geoelectrical resistivity measurements — Schlumberger array: Erich Mundry and Joachim Homilius. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. In commission: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1979, DM 185.00. *Geoexploration*, 19(4), 298.

66. Bayrak, M., Serpen, Ü. and İlkışık, O. M. (2011). Two-dimensional resistivity imaging in the Kızıldere geothermal field by MT and DC methods. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 204(1–4), 1-11.

67. Santos, F. A. M. and Sultan, S. A. (2008). On the 3-D inversion of vertical electrical soundings: Application to the South Ismailia area—Cairo desert road, Cairo, Egypt. *Journal of Applied Geophysics*, 65(2), 97-110.

68. Fröhlich, R. K. (1967). The depth penetration of dipole arrays compared with the schlumberger arrangement. *Geoexploration*, 5(4), 195-203.

69. Apparao A. (1991). Geoelectric profiling. *Geoexploration*, 27(3–4), 351-389.

70. Bellmunt, F. and Marcuello, A. (2011). Method to obtain standard pseudosections from pseudo pole–dipole arrays. *Journal of Applied Geophysics*, 75(3), 419-430.

71. Biswas, A. and Sharma S. P. (In Press). Integrated geophysical studies to elicit the subsurface structures associated with Uranium mineralization around South Purulia Shear Zone, India: A review. *Ore Geology Reviews*.

72. Descloitres, M., Ribolzi, O. and Troquer Y. L. (2003). Study of infiltration in a Sahelian gully erosion area using time-lapse resistivity mapping. *Catena*, 53(3), 229-253.

73. Andolfato, R. , Fellin, L. and Turri, R. (1997). Analisi di impianti di terra a frequenza industriale: confronto tra indagine sperimentale e simulazione numerica. *L'Energia Elettrica*, 74(2), 1-12.

74. Mount, G. J., Comas, X. and Cunningham, K. J. (2014). Characterization of the porosity distribution in the upper part of the karst Biscayne aquifer using common offset ground penetrating radar, Everglades National Park, Florida. *Journal of Hydrology*, 515, 223-236. 2014.

75. Schultz, J. J. and Martin, M. M. (2012). Monitoring controlled graves representing common burial scenarios with ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 83, 74-89.

76. Bold, R. D., O'Connor, G., Morrissey, J. P. and Forde M. C. (2015). Benchmarking large scale GPR experiments on railway ballast. *Construction and Building Materials*, 92, 31-42.

77. Fa W. (2013). Simulation for ground penetrating radar (GPR) study of the subsurface structure of the Moon. *Journal of Applied Geophysics*, 99, 98-108.

78. Porsani, J. L., Jangelme, G. D. M. and Kipnis R. (2010). GPR survey at Lapa do Santo archaeological site, Lagoa Santa karstic region, Minas Gerais state, Brazil. *Journal of Archaeological Science*, 37(6), 1141-1148.

79. Simpson, D., Lehouck, A., Verdonck, L., Vermeersch, H., Meirvenne, M. V., Bourgeois, J., Thoen, E. and Docter R. (2009). Comparison between electromagnetic induction and fluxgate gradiometer measurements on the buried remains of a 17th century castle. *Journal of Applied Geophysics*, 68(2), 294-300.

80. El-Qady, G., Metwaly, M. and Khozaym, A. (2014). Tracing buried pipelines using multi frequency electromagnetic. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 3(1), 101-107.

81. Dos-Santos, V. R. N. and Porsani J. L. (2011). Comparing performance of instrumental drift correction by linear and quadratic adjusting in inductive electromagnetic data. *Journal of Applied Geophysics*, 73(1), 1-7.

82. Pellerin, L. and Wannamaker, P. E. (2005). Multi-dimensional electromagnetic modeling and inversion with application to near-surface earth investigations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1–3), 71-102.

83. Abdulshahed, A. M., Longstaff, A. P., Fletcher, S. and Myers A. (2015). Thermal error modelling of machine tools based on ANFIS with fuzzy c-means clustering using a thermal imaging camera. *Applied Mathematical Modelling*, 39(7), 1837-1852.

84. Ji, Z., Liu, J., Cao, G., Sun, S. and Chen Q. (2014). Robust spatially constrained fuzzy c-means algorithm for brain MR image segmentation. *Pattern Recognition*, 47(7), 2454-2466.

85. Qiu, C., Xiao, J., Yu, L., Han, L. and Iqbal M. N. (2013). A modified interval type-2 fuzzy C-means algorithm with application in MR image segmentation. *Pattern Recognition Letters*, 34(12), 1329-1338.

86. Kannan, S. R., Ramathilagam, S., Devi, R. and Hines E. (2012). Strong fuzzy c-means in medical image data analysis. *Journal of Systems and Software*, 85(11), 2425-2438.

87. Ji, Z., Xia, Y., Chen, Q., Sun, Q., Xia, D. and Feng, D. D. (2012). Fuzzy c-means clustering with weighted image patch for image segmentation. *Applied Soft Computing*, 12(6), 1659-1667.

88. Wang, R. Z. and Tsai Y. D. (2007). An image-hiding method with high hiding capacity based on best-block matching and k-means clustering. *Pattern Recognition*, 40(2), 398-409.

89. Deoni, S. C. L., Rutt, B. K., Parrent, A. G. and Peters T. M. (2007). Segmentation of thalamic nuclei using a modified k-means clustering algorithm and high-resolution quantitative magnetic resonance imaging at 1.5 T. *NeuroImage*, 34(1), 117-126.

90. Bai, L., Liang, J., Sui, C. and Dang C. (2013). Fast global k-means clustering based on local geometrical information. *Information Sciences*, 245, 168-180.

91. Gentle J. E. (2007). Matrix Algebra: Theory, Computations, and Applications in Statistics. (First Edition), USA (Virginia): Springer-Verlag. 295-300.

92. Glassner, A. (1997). Going the distance [2D geometry]. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 17(1), 78 – 84.

93. Mac-Queen, J. (1967, June). *Some methods for classification and analysis of multivariate observations.* Paper presented at the Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics. (USA), California (pp. 281-297).

94. MacKay D. J. C. (2005). Information theory, inference and learning algorithms. (Fourth Edition), UK (Cambridge): Cambridge University Press. 284-292.

95. Kutbay, U., Ural, A. B. A and Hardalaç, F. (2015, 16-19 Mayıs). *Underground electrical profile clustering using k-means algorithm. (K-MEANS Algoritması Kullanılarak Yeraltı Profilinin Kümelendirilmesi).* IEEE SİU-2015: Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı'nda sunuldu. (Türkiye), Malatya (sf. 467-470).

96. Angulo J. (2010). Geometric algebra colour image representations and derived total orderings for morphological operators – Part I: Colour quaternions. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 21(1), 33-48.

97. Di-Zenzo S. (1986). A note on the gradient of a multi-image. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 33(1), 116–125.

98. Sochen, N. and Zeevi, Y. Y. (1998, October 4-7). *Representation of colored images by manifolds embedded in higher dimensional non-Euclidean space*. Paper Presented at the Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP 98). (USA), Chicago, Illinois (Vol. 1, pp. 166–170).

99. Sochen, N., Kimmel, R. and Malladi, R. (1998). A general framework for low level vision, *IEEE Transactions on Image Processing*, 7(3), 310–318.

100. Sangwine, S. J. (1980). Fourier transforms of colour images using quaternion, or hypercomplex, numbers. *Electronics Letters*, 32(21), 1979–1980.

101. Sangwine, S. J. (1998). Colour image edge detector based on quaternion convolution. *Electronics Letters*, 34(10), 969- 971.

102. Riche, N., Mancas, M., Duvinage, M., Mibulumukini, M., Gosselin, B., and Dutoit, T. (2013) RARE2012:A multi-scaler rarity-based saliency detection with its comparative statistical analysis. *Signal Processing: Image Communication*, 28(6), 642–658.

103. Heidemann G. (2008). Region saliency as a measure for colour segmentation stability. *Image and Vision Computing*, 26, 211–227.

104. Chen, Y., Pan, Y., Song, M. and Wang, M. (2015). Improved seam carving combining with 3D saliency for image retargeting. *Neurocomputing*, 151, 645–653.

105. Borji, A. and Itti, L. (2012). State-of-the-art in visual attention modeling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(1), 185-207.

106. Mehmood, I., Sajjad, M., Ejaz, W. and Baik, S. W. (2015). Saliency-directed prioritization of visual data in wireless surveillance networks. *Information Fusion*, 24, 16–30.

107. Zhao, J., Chen, Y., Feng, H., Xu, Z. and Li, Q. (2014). Infrared image enhancement through saliency feature analysis based on multi-scale decomposition. *Infrared Physics & Technology*, 62, 86–93.

108. Wu, J., Qi, F., Shi, G. and Lu, Y. (2012). Non-local spatial redundancy reduction for bottom-up saliency estimation. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 23(7), 1158–1166.

109. Itti, L. (2004). Automatic Foveation for video compression using a neurobiological model of visual attention. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(10), 1304–1318.

110. Itti, L., Koch, C. and Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11), 1254–1259.

111. Koch, C. and Ullman, S. (1985). Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Human Neurobiology*, 4, 219–227.

112. Treisman, A. M. and Gelade, G. A. (1980). Feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136.

113. Sivasathya, M. and Joans, S. M. (2012). Image Feature Extraction using Non Linear Principle Component Analysis. *Procedia Engineering*, 38, 911-917.

114. Kusuma, G. P. and Chua, C. S. (2011). PCA-based image recombination for multimodal 2D + 3D face recognition. *Image and Vision Computing*, 29(5), 306-316.

115. Ayinde, O. and Yang Y. H. (2002). Face recognition approach based on rank correlation of Gabor-filtered images. *Pattern Recognition*, 35(6), 1275-1289.

116. Wang, S., Xia, Y., Liu, Q., Luo, J., Zhu, Y. and Feng D. D. (2012). Gabor feature based nonlocal means filter for textured image denoising. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 23(7), 1008-1018.

117. Ye, Q., Xiang, M. and Cui Z. (2012). Fingerprint image enhancement algorithm based on two dimension emd and gabor filter. *Procedia Engineering*, 29, 1840-1844.

118. Ikeda, M., Kato, S., Nishizaka, N., Ohno, Y., Matsuo, K. and Kishimoto, M. (2013). Magnetotelluric imaging of the median tectonic line in western shikoku, southwest japan: implications of the fault-related low-resistivity zone. *Tectonophysics*, 601, 78-86.

119. Kenney, J. F. and Keeping, E. S. (1962). *Mathematics of Statistics*. (Third Edition), USA (NJ): Princeton: van Nostrand. 59-60.

120. Huang, R., Sang, N., Luo, D. and Tang, Q. (2011). Image segmentation via coherent clustering in l∗a∗b∗ color space. *Pattern Recognition Letters*, 32(7), 891-902.

121. Walia, E. and Pal, A. (2014). Fusion framework for effective color image retrieval. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25(6), 1335-1348.

EKLER

EK-1. 21.04.2014 tarihli 11.00. 05-900-268 numaralı MTA raporu

T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

GENERAL DIRECTORATE OF MINERAL RESEARCH AND EXPLORATION

SAYI :.11.00.05-900 - 268
KONU : Cihaz Testi

21/04/2014

Sn; Arş. Gör. Uğurhan KUTBAY
Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
ANKARA

İlgi: 18.04 2014 tarihli yazınız.

Talebiniz doğrultusunda ERT cihazı Dairemiz teknik elemanları tarafından test edilerek sonuçları ilişikteki tutanakta sunulmuştur.

Bilgilerinize rica ederiz.

Melike AKÇAKAYA
Jeofizik Araştırmaları
Koordinatörü

Hayrettin OKAY
Jeofizik Etütleri Daire Başkanı

İletişim : MTA Genel Müdürlüğü
Üniversiteler Mah. Dumlupınar Bulvarı No : 139
06800 Çankaya/ANKARA
Telefon : (0-312) 201 10 00
Web : http://www.mta.gov.tr
e-posta : mta@mta.gov.tr
Faks : (0-312) 287 91 88

EK-1. (devam) 21.04.2014 tarihli 11.00. 05-900-268 numaralı MTA raporu

JEOFİZİK ETÜTLERİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI' na

TUTANAK

18/04/2014 Tarih ve 553 sayı no ile tarafımıza ulaşan dilekçe içeriği ile ilgili olarak; Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Programına kayıtlı 268308104 numaralı Uğurhan KUTBAY'ın, Genel Müdürlüğümüzden talebi doğrultusunda Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı "SANTEZ" programı kapsamında desteklenen "1064.STZ.2011-2" kod numaralı "tez öğrencisi" olarak katkıda bulunduğu projede prototipi üretilen ERT (Elektriksel Rezistivite Tomografi) cihazı MTA sahasında Jeofizik Yük. Müh. Hasan YEMEN ve Jeofizik Müh. Serdar TOSUNER tarafından test edilmiştir. 150 mA sabit akım kaynağı ve 24 proplu Wenner Metodu ile elde edilen 84 adet ΔV, değerleri yardımıyla özdirençler hesaplanmış ve "RES2DINV" programı ile yeraltının 3,5 mt'lik "elektriksel profil" kesit görüntüsü oluşturulmuştur. Elde edilen "ham görüntünün", programın ürettiği "inversion model" ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Elde edilen veriler (Ek-1) ile sonuç olarak üretilen yer elektrik kesit Modeli (Ek-2) eklerde sunulmuştur.

Bilgilerinize arz ederiz.

21/04/2014

MTA JEOELEKTRİK BİRİM YÖNETİCİLİĞİ
Jeofizik Yüksek Mühendisi
HASAN YEMEN

MTA JEOELEKTRİK BİRİM YÖNETİCİLİĞİ
Jeofizik Mühendisi
SERDAR TOSUNER

EKLER

Ek 1 Test Ölçümü Sırasında Elde Edilen Veri (4 Sayfa)

Ek-2 : Oluşturulan Yer Elektrik Kesit Modeli (1 Sayfa)

EK-1. (devam) 21.04.2014 tarihli 11.00. 05-900-268 numaralı MTA raporu

"Tarama Verisi"

1

1

84

1

0

1.5	1	42.16
12.5	1	34.57
2.5	1	41.62
13.5	1	37.05
3.5	1	51.82
14.5	1	38.71
4.5	1	33.11
15.5	1	40.78
5.5	1	39.59
16.5	1	41.54
6.5	1	36.62
17.5	1	44.6
7.5	1	28.26
18.5	1	46.35
8.5	1	40.75
19.5	1	47.88
9.5	1	32.12
20.5	1	46.82
10.5	1	36.34
21.5	1	53.31
11.5	1	35

Jeofizik Yüksek Mühendisi
HASAN YEMEN

Jeofizik Mühendisi
SERDAR TOSUNER

EK-1. (devam) 21.04.2014 tarihli 11.00. 05-900-268 numaralı MTA raporu

3	2	23.42
12	2	15.07
4	2	28.14
13	2	20.19
5	2	25.67
14	2	18.46
6	2	22.66
15	2	18.02
7	2	15.76
16	2	18.21
8	2	12.16
17	2	14.62
9	2	21.52
18	2	16.86
10	2	20.64
19	2	19.1
11	2	14.8
20	2	12.59
4.5	3	13.39
12.5	3	12.21
5.5	3	10.72
13.5	3	14.69
6.5	3	14.12
14.5	3	11.08
7.5	3	9.58
15.5	3	13.47
8.5	3	15.9

Jeofizik Yüksek Mühendisi
HASAN YEMEN

Jeofizik Mühendisi
SERDAR TOSUNER

EK-1. (devam) 21.04.2014 tarihli 11.00. 05-900-268 numaralı MTA raporu

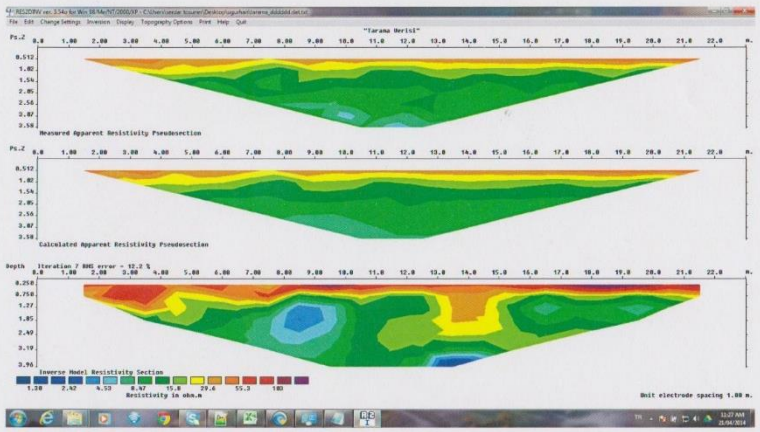
9	6	9.41
12	6	7.51
10	6	5.15
13	6	11.19
11	6	9.36
14	6	9.18
10.5	7	8.97
11.5	7	5.23
12.5	7	6.83
0		
0		
0		
0		
0		
0		
0		

Ek-1: Test Ölçümü Sırasında Elde Edilen Veri

Jeofizik Yüksek Mühendisi
HASAN YEMEN

Jeofizik Mühendisi
SERDAR TOSUNER

EK-1. (devam) 21.04.2014 tarihli 11.00. 05-900-268 numaralı MTA raporu



Ek-2 : Oluşturulan Yer elektrik Kesit Modeli

Jeofizik Yüksek Mühendisi
HASAN YEMEN

Jeofizik Mühendisi
SERDAR TOSUNER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : KUTBAY, Uğurhan

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 22.06.1985, Ankara

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 (312) 582 33 15

Faks : 0 (312) 230 84 34

e-mail : ukutbay@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Elek-Elektronik Müh.	2012
Lisans	Gazi Üniversitesi /Elek-Elektronik Müh.	2009
Lise	Malatya Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2010-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2009-2010	Asfel Elektrik	Elektrik Elektrtonik Müh.
2008-2009	Demre Otomasyon	AR-GE Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Kutbay, U., Ural, A. B., Hardalaç, F. (2015, 16-19 Mayıs). *Underground electrical profile clustering using k-means algorithm. (K-MEANS Algoritması Kullanılarak Yeraltı Profilinin Kümelendirilmesi).* IEEE SİU-2015: Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı'nda sunuldu. (Türkiye), Malatya (sf. 467-470).
2. Hardalaç, F., Başaranoğlu, M., Yüksel, M., Kutbay, U., Kaplan, M., Demirbağ, A. E., Coşkun, O., Aksoy, A., Gangarapu, V., Örmeci, N., and Kayaçetin, E. (Baskıda).

The rate of mucosal healing by azathioprine therapy and prediction by artificial systems. *Turkish Journal of Gastroenterolgy,* doi: 10.5152/tjg.2015.0199.

3. Serhatloğlu, S., Hardalaç, F., Kutbay, U., and Kocaöz, Ö. (2015). Analyses of a Cirrhotic Patient's Evolution Using Self Organizing Mapping and Child-Pugh Scoring. *Journal Of Medical Systems*, 39(2), 1-6.
4. Hardalaç, F., and Kutbay U. (2014). classification of drug drug interactions using jordan elman networks. *Journal of The Faculty of Engineering And Architecture of Gazi University*, 29(1), 149-154.
5. Hardalaç, F.,Kutbay, U. (2013). *Application of Wireless Motion Tracking*. International Conference on Education in Mechatronics. (Czech Republic), Ostrava (pp.49-52).
6. Kutbay, U., Hardalaç, F. (2012). CT liver tissue segmentation using distance regularized level set evolution based on spatial fuzzy clustering. *Energy Education Science and Technology Part A*, 29(2), 715-720.

Hobiler

Gitar Çalmak, Müzik Dinlemek, Spor Yapmak

DİZİN

.

.dat · 2, 5, 9

A

Akım · 1, 2, 5, 8, 9, 11, 12, 25, 30, 49, 50
Ani Göz Hareketi · 22

B

BCM · 2, 3, 15, 16, 18, 19, 31, 32, 33, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 50

Ç

Çıkıntı Haritalaması · 2, 19, 31, 45, 46

E

Elektriksel kesit · 3, 50
Elektromanyetik İndüksiyon · 15
Elektrot · 1, 2, 5, 9, 10, 11, 13, 25, 29
ERT · 1, 2, 3, 4, 5, 13, 15, 18, 25, 29, 30, 37, 39, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54
Evirme Modeli · 13, 29, 49

F

Filtre · 45, 46
Filtreleme · 1, 5, 21, 50

G

Görüntü işleme · 31
GRG-BCM · 2, 18, 31, 39, 41, 44, 50

H

Ham görüntü · 31, 33, 35, 37, 39, 40, 42, 43

İ

İterasyon · 16, 18, 19, 31, 33, 35, 39, 42

J

Jeofizik · 2, 4, 15, 45, 49, 51, 52

K

katman · 27
K-Means · 2, 3, 16, 17, 31, 35, 37, 50, 56
Kuaternion · 2, 3, 19, 20, 21, 31, 45, 46, 47, 51
Kümeleme · 2, 3, 16, 18, 31, 33, 35, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 50

M

Metal · 2, 3, 4, 29, 30, 31, 49, 50, 51
MTA · 3, 5, 25, 27, 29, 49, 52

Ö

Ön yükseltme · 1

P

Profil · 13, 46, 47
Prototip · 4, 5, 8, 11, 25, 49

R

Renk alanı · 19, 39, 42
Renk uzayı · 18, 35, 50
Rezistivite · 1, 5, 9, 14

S

SANTEZ · 3, 49

T

Temel Bileşen Analizi · 23

U

USB · 2, 5, 12, 13

Ü

Üyelik fonksiyon değerleri · 31, 33, 39, 42
Üyelik fonksiyonu · 16, 18, 31, 33

W

Wenner · 3, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 25, 29, 49, 57

Y

Yeraltı görüntüleri · 3, 15, 50
Yeraltı haritalaması · 1
Yeraltı Radarı · 15



GAZİ GELECEKTİR...