



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**JEOFİZİK ARAŞTIRMALARI İÇİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ
YÖNTEMİ TOMOGRAFİ CİHAZI TASARIMI VE VERİLERİN
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlyas YEŞİL

Danışman: Doç. Dr. Abdullah Hakan YAVUZ

TOKAT- 2025



Bu tez çalışması, TOGÜ BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir

Proje No: 2024/16

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Abdullah Hakan Yavuz danışmanlığında hazırlamış olduğum “Jeofizik Araştırmaları İçin Elektrik Özdirenç Yöntemi Tomografi Cihazı Tasarımı ve Verilerin Analizi” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

30/06/2025

İlyas YEŞİL

JÜRİ KABUL VE ONAY

İlyas YEŞİL tarafından hazırlanan “**Jeofizik Araştırmaları İçin Elektrik Özdirenç Yöntemi Tomografi Cihazı Tasarımı ve Verilerin Analizi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 30.06.2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği’nde Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan) :

.....

Üye :

.....

Üye :

.....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlanmasında desteğini esirgemeyen aileme ve iş arkadaşlarıma, çalışmalarına yardımcı olan Yüksek Lisans Öğrencisi Usame Amame'ye, tez konusunun belirlenmesinden itibaren planlama, çalışma ve sonuçlandırma aşamalarında maddi manevi her zaman yanımda duran saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Abdullah Hakan YAVUZ' a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması TOGÜ BAP Koordinasyon Birimi tarafından 2024/16 no'lu projesi ile desteklenmiştir.

ÖZET

JEOFİZİK ARAŞTIRMALARI İÇİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ TOMOGRAFİ CİHAZI TASARIMI VE VERİLERİN ANALİZİ

Yeşil, İlyas

Yüksek Lisans, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah Hakan YAVUZ

Temmuz 2025, viii + 31 sayfa

Jeofizik alanında yapılan araştırmalarda elektriksel öz direnç ölçümleri yeraltı katmanlarının analizi, yeraltı yapılarının araştırılması amacıyla kullanılan bir metottur. Elektriksel öz direnç (rezistivite) ölçümlerinde metal elektrotlar ile yere akım uygulanır. Gerilim elektrotları kullanılarak ve yerleri değiştirilerek değişik derinliklerde potansiyel fark ölçülür. Veriler analiz edilerek 2 ve 3 boyutlu yeraltı tomografisi elde edilir. Doğru akımda kullanılan rezistivite ölçüm cihazları genellikle yurt dışı menşeli olup pahalı sistemlerdir. Elektrotların yere çakılması, ölçümler için kabloların manuel olarak yer değiştirilmesi, kabloların serilmesi ve toplanması sırasındaki zorluklar ve bu zorlukların ölçüm doğruluğunu etkilemesi en önemli problemlerdendir. Çok elektrotlu ve çok kanallı, akıllı anahtarlama yapabilen, hassas ve doğru ölçümler yapabilen ve anlık iletişim sistemleri kullanılarak kablolama ve yer değiştirme zahmetini ortadan kaldıracak pratik sistemlerin tasarımı elektriksel öz direnç tomografi yönteminin veri toplama kısmında belirtilen problemleri ortadan kaldıracaktır. Bu amaçla bu çalışmada 8 elektrotlu, hat profilindeki ölçümleri otomatik olarak yapabilecek, ölçüm prosedürleri değiştirilebilecek, 16 bit Analog Dijital Dönüştürücü (ADC) çözünürlüğü ile hassas ve doğru ölçümler yapabilecek mikrodenetleyici tabanlı bir sistem tasarımı yapılacaktır. Tek hat üzerindeki ölçümler tek seferde akıllı anahtarlama sistemi kullanılarak tek bir devre ile ölçülecek, ölçüm geometrisi anahtarlama sistemi kullanılarak fiziksel olarak elektrotların yer değiştirmesine gerek kalmadan değiştirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel Öz direnç Tomografisi, Öz direnç Ölçümü, Jeoelektrik Yöntemler, Mikrodenetleyici, ADC,

ABSTRACT**DESIGN OF ELECTRICAL RESISTIVITY INSTRUMENT AND DATA
ANALYSIS FOR GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS**

Yeşil, İlyas

Master's Thesis, Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Abdullah Hakan Yavuz

July 2025, viii + 31 pages

Electrical resistivity measurements are a method used in geophysical research to analyze underground layers and to investigate underground structures. In electrical resistivity measurements, current is applied to the ground with metal electrodes. The potential difference is measured at different depths by using voltage electrodes and changing their locations. The data are analyzed and 2 and 3-dimensional underground tomography is obtained. Resistivity measurement devices used in direct current are generally of foreign origin and are expensive systems. The most important problems are the driving of the electrodes into the ground, manual displacement of the cables for measurements, difficulties in laying and collecting the cables, and these difficulties affect the measurement accuracy. The design of practical systems with multi-electrode and multi-channel, intelligent switching, precise and accurate measurements, and instant communication systems that will eliminate the hassle of wiring and relocation will eliminate the problems mentioned in the data collection section of the electrical resistivity tomography method. For this purpose, in this study, a microcontroller-based system with 8 electrodes will be designed that can automatically perform measurements on the line profile, change measurement procedures, and make precise and accurate measurements with 16-bit Analog Digital Converter (ADC) resolution. Measurements on a single line will be measured with a single circuit using a smart switching system at a time, and the measurement geometry will be determined by the switching system.

Keywords: Electrical Resistivity Tomography, Resistivity Measurement, Geoelectric Methods, Microcontroller, ADC

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
SİMGE VE KISALTMALAR	vii
GİRİŞ	1
1. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETLERİ	3
1.1. Kuramsal Temeller.....	3
1.1.1 Doğru akım öz direnç yöntemi	3
1.1.2 Görünür öz direnç	4
1.1.3 Elektrot dizilimleri	4
1.1.3.1 Wenner-Schulumberger Elektrot Dizilimi	6
1.1.3.2 Sağ ve Sol Yönlü Pol-Dipol Elektrot Dizilimi	6
1.1.3.3 Dipol-Dipol Elektrot Dizilimi	7
1.1.4 Sondaj-Profil ölçüsü ve görünür öz direnç yapma kesiti	7
1.1.5 Görünür öz direnç seviye haritası	8
1.1.6 2B modelleme ve ters çözüm.....	9
1.2 Literatür Özetleri	10
2. MATERYAL VE YÖNTEM	12
2.1. Materyal	12
2.1.1. Arduino geliştirme kartı.....	12
2.1.2. INA226 akım, gerilim ve güç modülü	13
2.1.3. ADS1115 ADC modülü.....	13
2.1.4. 74HC4051 multiplexer	14
2.1.5. DA-DA çevirici.....	15
2.1.6. Batarya	15
2.2. Yöntem.....	16
2.2.1. Tasarımı gerçekleştirilen devre.....	16
2.2.2. Kullanıcı arayüzü	18

3. BULGULAR VE TARTIşMA.....	19
3.1. Uygulama 1	19
3.2. Uygulama 2	22
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	27
KAYNAKLAR	29



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Arazide ölçüm sistemi	3
(Candansayar, 2016)	3
Şekil 1.2. Kullanılan başlıca elektrot dizilimleri. Burada $n=1, 2, \dots$ dir.....	5
(Candansayar, 2016)	5
Şekil 1.3. Wenner-Schlumberger elektrot dizilim şekli.....	6
Şekil 1.4. Sol Yönlü Pol-Dipol elektrot dizilim şekli.	6
Şekil 1.5 Sağ Yönlü Pol-Dipol elektrot dizilim şekli.	7
Şekil 1.6. Dipol-Dipol elektrot dizilim şekli.....	7
Şekil 1.7 Görünür öz direnç yapma-kesiti	8
Şekil 1.8 Görünür öz direnç seviye haritası	8
Şekil 2.1 Arduino mega 2560	12
Şekil 2.2. INA226 akım gerilim ve güç modülü.....	13
Şekil 2.3. ADS1115 16-bit 4 kanal ADC modülü	13
Şekil 2.4. 74HC4051 8 kanallı multiplexer/demultiplexer modülü.....	14
Şekil 2.5. 60V 50A programlanabilir DA-DA güç kaynağı- RF kontrollü	15
Şekil 2.7. Tasarımı gerçekleştirilen devre	16
Şekil 2.8. Devrenin ölçüm doğruluğu	17
Şekil 2.9. Kullanıcı arayüzü.....	18
Şekil 3.1. Profil 1 grafiği	19
Şekil 3.2. Profil 2 grafiği	20
Şekil 3.3. Profil 3 grafiği	20
Şekil 3.4. Sondaj profilleri korelasyon grafiği.....	21
Şekil 3.5. Kazı yapılan bölge	21
Şekil 3.6. Kazı ve elde edilen profil korelasyonu	22
Şekil 3.7. Ölçüm alınan yerin yandan görünümü	23
Şekil 3.8. Elektrotların yere çakılması	23
Şekil 3.9. Ölçümlerin alınması	24
Şekil 3.10. Sondaj-profil ölçüm grafikleri	25
Şekil 3.11. Ölçüm sonuçlarının bölge ile korelasyonu	25

SİMGE VE KISALTMALAR

Simges	Açıklama
I	Akım (Amper)
R	Direnç
V	Gerilim (Volt)
ρ	Elektrik Özdirenç
ρ_a	Görünür Özdirenç
K	Geometrik Faktör
ΔV	Potansiyel Fark
AB	Akım Elektrotları
MN	Gerilim Elektrotları
n	Seviye
π	Pi Sayısı
$\Delta\phi$	Gerilim Farkı
σ	İletkenlik
δ	Birim İmpuls
Hz.	Hertz

Kısaltma	Açıklama
DAÖ	Doğru Akım Özdirenç
DES	Düşey Elektrik Sondajı
GÖ	Görünür Özdirenç
1B	Bir Boyutlu
2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
ADC	Analog Dijital Çevirici

RF	Radyo Frekansı
I2C	Haberleşme Protokolü
DA	Doğru Akım
ERT	Elektrik Özdirenç Tomografi



GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de doğal afetler gerçekleşmektedir. Oluşan bu afetleri tamamen ortadan kaldırma gücü olmasa da gerçekleşmeden önce bir takım önlemler alarak yaratacağı can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi mümkün olabilmektedir. Yeraltı kaynaklı afetlerin önlenmesi için yer altını araştıran bilim dallarının kullandığı materyal ve yöntemler incelendiğinde jeofizik mühendisliği alanına giren elektrik, sismik, gravite, manyetik vb. araştırma bölümlerinin bulunduğu bilinmektedir.

Afetlerin yanında, yer altında insanlık için faydalı olan doğal kaynaklar bulunmaktadır. Bu doğal kaynakların nerede, hangi derinlikte, hangi özellikte ve ne miktarda olduğunun tespiti için de jeofizik mühendisliği biliminden yararlanılmaktadır. Yer yüzeyi üzerinden elektrot, jeofon vb. araçlarla doğal olarak yer altında oluşan veya yapay olarak oluşturulan gerilim farkı, sismik dalgalar ya da elektromanyetik dalgalar gibi ölçülebilir değerler sayısal verilere dönüştürülerek bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Elde edilen bu sayısal veriler bir takım işlemlerden geçirilerek anlamlı hale getirilmektedir. Görsel olarak bir boyutlu, iki boyutlu ve/veya üç boyutlu hale getirilen veriler aynı zamanda yorumlanarak yer altının bilinmeyenleri ortaya konmaktadır.

Özdirenç (Rezistivite) yöntemi başlıca Jeofizik yöntemlerindendir. Doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntem ile yer içinin jeolojik yapısı elektriksel özelliğine göre haritalanmaktadır. Yöntem arama jeofiziğinde; maden, mineral, jeotermal ve petrol aramalarında ve mühendislik jeolojisi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. (Candansayar, 2016)

Özdirenç yöntemi, ikisi akım elektrotu (A-B) ikisi gerilim elektrotu (M-N) olarak adlandırılan dört elektrot ile yere akım uygulanıp (A-B) yer altında oluşan potansiyel farkı (M-N) ölçerek, elektrot dizilim şekilleri ile oluşan geometrik faktör dahil edilerek görünür özdirenç hesaplama ve bir takım ters çözüm yöntemleri ile dönüşük özdirenç hesaplama işlemi olarak sunulabilir. Temelde dört elektrot ile kurulan bu sistem düşeyde bir nokta için ölçüm alındığı düşünülerek, yatayda elektrotların yerleri bir profil boyunca kaydırılarak sondaj-profil ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

Fiziksel olarak yapılan yer değiştirme işlemi insan faktörüne bağımlılığı nedeniyle katmanların yapısı ve derinlik hesaplaması konusunda yanıltıcı olabilmektedir. Bu nedenle tek hat geometrisinde insan faktörünün ortadan kaldırılması için çoklu elektrot yapısının sabit olarak oluşturulması sistemin kararlılığı ve ölçüm açısından önemlidir. Ancak çoklu elektrot sistemi kompleks bir ölçme sistemini ya da çok sayıda ölçme sistemini zorunlu kılar.

Ölçüm hatalarını en aza indirmek için tek hat ölçümlerinin çoklu elektrot kullanılarak fiziksel yer değiştirme gerektirmeksizin ve aynı ölçüm sistemi ile yapılması gerekmektedir. Bu işlem için akıllı bir anahtarlama sistemi şarttır. Anahtarlamanın belirli bir prosedür kapsamında yürütölmesi ancak mikrodenetleyici tabanlı sistemlerle mümkün olur. Çok sayıda anahtarlama elemanı ile yapılan anahtarlama ile bütün elektrot kombinasyonlarında yapılan ölçümler için tek bir ölçüm devresi tasarlamak yeterli olurken, aynı devreyle yapılan ölçümler ölçüm hassasiyeti, doğruluğu ve kararlılığı açısından önemlidir.

Elektrot kaydırma işlemlerini çok elektrotlu veya çok kanallı rezistivite gibi isimlerle otomatik olarak gerçekteştiren sistemler bulunmaktadır. Bu Cihazlar çoğunlukla yurtdışı menşeili ve oldukça pahalı olmakla beraber herhangi bir arıza durumunda sorunun çözümü de bir hayli zahmetli olmaktadır.

Bu çalışma ile elektriksel özdirenç ölçümleri için kullanılacak bir cihaz tasarımı yapılacaktır. Cihaz, ölçüm yapılacak alanda tek hatta yapılacak ölçümlerin mümkün olan en az kablolama gereksinimi ile, elektrotların tek seferde yerleştirilip yer değiştirme gereksiniminin olmayacağı, tek bir ölçüm devresi kullanılarak akıllı anahtarlama sistemi geliştirilerek sırası ile ölçümlerin yapıldığı ve verilerin ana bilgisayara anlık aktarıldığı, veri tabanına kaydedildiği ve gerçekte zamanlı olarak analiz edilerek tomografi haritasının oluşturulduğu bir yapıda tasarlanacaktır.

1. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETLERİ

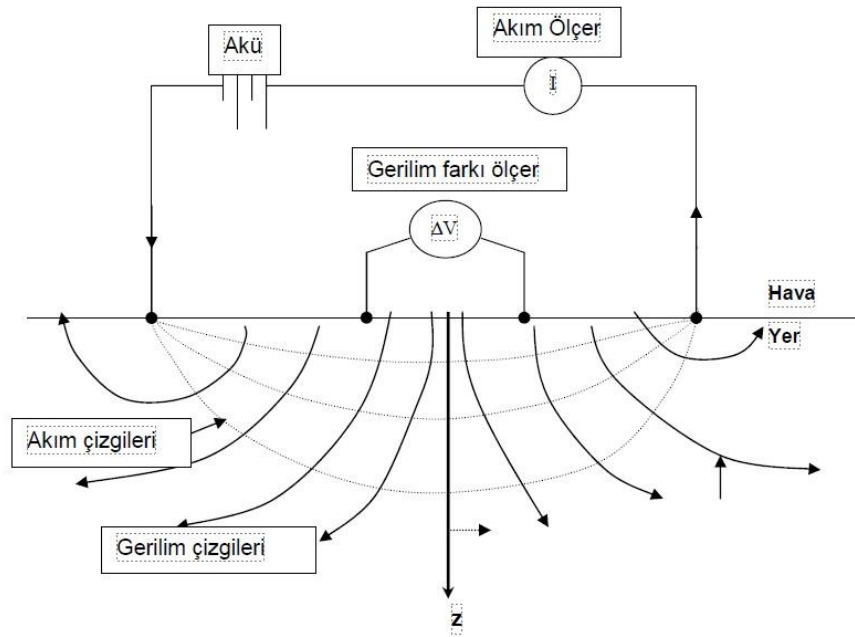
1.1. Kuramsal Temeller

Bu bölümde kullanılması düşünülen yöntem hakkında bilgiler verilerek tez çalışmasına konu olan cihaz için daha önce yapılmış çalışma özetleri verilecektir.

1.1.1 Doğru akım öz direnç yöntemi

Rezistivite yöntemi olarak da bilinen Doğru Akım Öz direnç yöntemi yer içinin jeolojik yapısını birimlerin elektriksel özelliklerine göre haritalanması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Cansansayar, 2016).

Yöntem birçok mühendislik probleminin çözülmesine katkı sağlamaktadır. Uygulanışının kolay olması, ölçü aletinin basit olması ve etkili sonuçlarının olması bu yöntemin günümüze kadar gelmesini sağlamıştır. DAÖ yöntemi, ikisi akım elektrotu (A-B) ikisi gerilim elektrotu (M-N) olarak adlandırılan dört elektrot ile yere akım uygulanıp (A-B) yer altında oluşan potansiyel farkın (M-N) ölçülmesi işlemidir.



Şekil 1.1. Arazide ölçüm sistemi

(Candansayar, 2016)

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (1.1)$$

denkleminde elektrotlar arası mesafeler yerlerine yazıldığı zaman geometrik faktör (K) bulunur. Bulunan geometrik faktör;

$$\rho = K \frac{\Delta\phi}{I} \quad (1.2)$$

denkleminde yerine yazıldığında özdirenç bulunabilir.

1.1.2 Görünür özdirenç

Denklem (1.2)'de hesaplanan gerilim değerleri farklı elektrot dizilimleri, yere uygulanan akım ve homojen ortamın özdirencine bağlıdır. Ancak gerçekte yer homojen olmadığı için (1.2) denkleminde hesaplanan özdirenç değerleri Görünür Özdirenç (GÖ) olarak tanımlanmaktadır. GÖ tanımlamasına göre; ortam homojen ve izotrop ise ölçülen GÖ ortamın özdirencine eşit olmalıdır. Tabakalı bir ortamda GÖ eğrisi AB/2' nin küçük değerleri için birinci tabakanın özdirencine, AB/2' nin büyük değerleri için son tabakanın özdirencine asimptot olmalıdır. Ayrıca GÖ, AB/2' nin ara değerlerinde de ara tabakaların özdirencine yakın olmalıdır (Başokur, 1994).

1.1.3 Elektrot dizilimleri

A,B akım ve M,N gerilim elektrotları olmak üzere elektrotların farklı konumlandırılmasına göre dizilim yöntemleri önerilmiştir. Aynı yerde farklı elektrot dizilimleri ile ölçülen görünür özdirenç değerlerinin de farklı olduğu bilinmektedir. Schlumberger, Wenner, dipol-dipol ve pol-dipol dizilimleri geleneksel dizilimleri bir doğrultu boyunca yerleştirilen elektrotların dizilimleridir.

Şekil 1.2 'de gösterilen bu dizilimler amaçlarına göre kullanılmaktadır. Schlumberger ve Wenner derin araştırmalarda kullanılırken pol-dipol ve dipol-dipol yanal süreksizliklerin belirlenmesi ve maden aramalarında kullanılmaktadır. Arkeolojik amaçlı çalışmalarda ise yarım-Wenner, yarım-Schlumberger, twin-probe (Aspinall ve Lynam, 1970), Gradient (Schlutz, 1985), üç gerilim elektrot (Wenner α , Wenner β ve

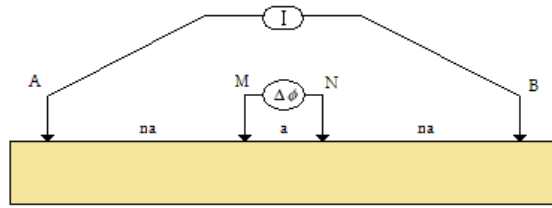
Wenner γ) (Carpenter ve Haberjam, 1956), iki-yönlü üç-elektrot (Candansayar ve diğ., 1999; Candansayar ve Başokur, 2001) dizilimleri kullanılmaktadır.

Elektrod Dizilimi	Geometrisi	K	Ölçülen
(a) Schlumberger		Genel olarak $K = \frac{\pi}{4} \frac{MN}{\left[\frac{AB^2}{MN^2} - 1 \right]}$ dir. Eğer, $MN=a$ ve $AM=NB=na$ alınırsa $\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMNB)$
(b) Wenner		$2\pi a$	$\rho_s(AMNB)$
(c) Dipol-dipol		$\pi n(n+1)(n+2)a$	$\rho_s(ABMN)$
(d) "Pole-dipol" sol (AMN)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMN)$
(e) "Pole-dipol" sağ (MNB)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(MNB)$
(f) İki-Yönlü Üç-Elektrod (İYÜE) dizilimi		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMN)$ ve $\rho_s(MNB)$

Şekil 1.2. Kullanılan başlıca elektrot dizilimleri. Burada $n=1, 2, \dots$ dir.
(Candansayar, 2016)

1.1.3.1 Wenner-Schlumberger Elektrot Dizilimi

Şekil 1.3’ de, bir hat boyunca merkezi bir noktaya göre simetrik olarak dizilmiş dört elektrot sisteminden oluşmaktadır. Dıştaki A ve B elektrotları akım elektrotları içteki M ve N elektrotları gerilim elektrotlarıdır. A ve B elektrotlarından akım uygulanır ve M ve N elektrotlarından oluşan gerilim $\Delta\phi$ ölçülür.

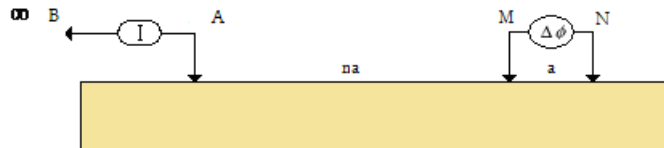


Şekil 1.3. Wenner-Schlumberger elektrot dizilim şekli

Wenner-Schlumberger şeklinde isimlendirilmesinin nedeni, na ifadesinde n , yani seviye 1 olduğu zaman Wenner dizilimi olması, daha sonra seviye arttıkça Schlumberger dizilimine dönüşmesidir.

1.1.3.2 Sağ ve Sol Yönlü Pol-Dipol Elektrot Dizilimi

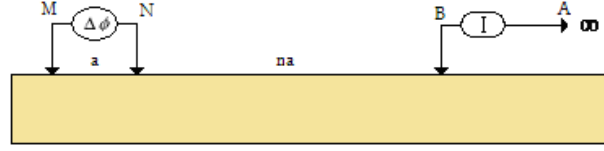
Şekil 1.4’ de sol yönlü pol-dipol elektrot dizilimi için profil doğrultusunda veya profile dik olacak şekilde irtibatlandırılan elektrotlardan, akım elektrotlarından biri (B elektrotu) $\overline{AM}$ mesafesine göre sonsuz uzaklıkta sayılabilecek mesafeye yerleştirilerek ölçüm alınır. $\overline{AM} > \overline{MN}$ şeklinde olmalıdır.



Şekil 1.4. Sol Yönlü Pol-Dipol elektrot dizilim şekli.

Şekil 1.5’ de sağ yönlü pol-dipol elektrot dizilimi için profil doğrultusunda veya profile dik olacak şekilde irtibatlandırılan elektrotlardan, akım elektrotlarından biri (A

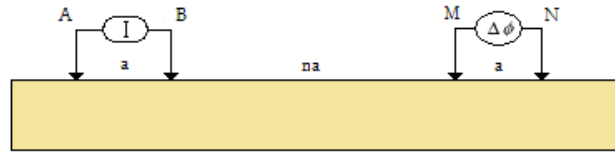
elektrotu) $\overline{BN}$ mesafesine göre sonsuz uzaklıkta sayılabilecek mesafeye yerleştirilerek ölçüm alınır. $\overline{BN} > \overline{MN}$ şeklinde olmalıdır.



Şekil 1.5 Sağ Yönlü Pol-Dipol elektrot dizilim şekli.

1.1.3.3 Dipol-Dipol Elektrot Dizilimi

Şekil 1.6’ da belirli bir hat boyunca çakılmış olan dört elektrodan sol taraftaki iki elektrot akım elektrotları, sağ taraftaki iki elektrot ise gerilim elektrotlarıdır. $\overline{AB} < \overline{BM}$ olmalıdır.

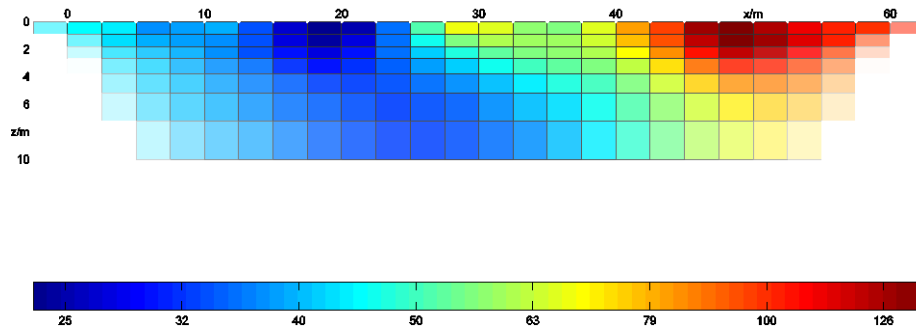


Şekil 1.6. Dipol-Dipol elektrot dizilim şekli.

1.1.4 Sondaj-Profil ölçüsü ve görünür öz direnç yapma kesiti

Sondaj-Profil ölçüsü, DES (düşey elektrik sondajı) ve profil ölçülerinin birlikte kullanımı ile oluşturulur. Ölçülen verilerden, her farklı AB/2 seviyesi için profil eğrisi ve her istasyon için sondaj eğrisi elde edilebilir. Ayrıca, tüm veriler kullanılarak yapma-kesit elde edilir.

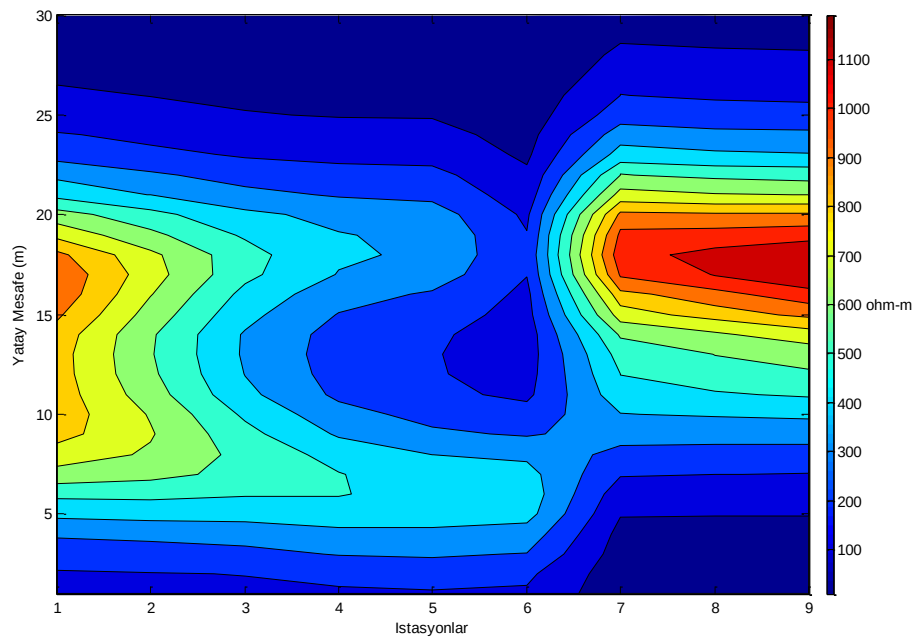
Bu yöntem ile şekil 1.7 örneğindeki gibi ölçülen verilerden yer içindeki hem düşey hem de yatay yöndeki öz direnç yapısı hakkında bilgi edinilebilir.



Şekil 1.7 Görünür öz direnç yapma-kesiti

1.1.5 Görünür öz direnç seviye haritası

x-y düzlemi üzerinde, birbirine paralel çizgiler boyunca, sabit bir $AB/2$ seviyesi için ölçülmüş profil ölçüsü verilerinin, bu xy-düzlemi üzerinde işaretlenmesi ve her istasyonda ölçülmüş tüm GÖ verileri ile çizilen kontur haritalarına GÖ seviye haritası denilmektedir. Seviye haritaları, belirli bir seviyede, x ve y yönündeki yerin öz direnç yapısı hakkında bilgi verir.



Şekil 1.8 Görünür öz direnç seviye haritası

1.1.6 2B modelleme ve ters çözüm

Modelleme, varsayılan bir modelin fiziksel parametreleri ile jeofizik tepkisini ilişkilendiren matematiksel bir bağıntı ile tanımlanması ve bu bağıntı yardımıyla modelin jeofizik tepkisini sayısal olarak hesaplamak şeklinde tanımlanabilir.

2-B modellemede yer içinin iletkenliğinin x ve z yönünde değişen y yönünde sabit kalan bloklardan oluştuğu varsayılır. Oluşturulan bu modelden her bloğun x- ve z-yönünde kalınlıkları kullanıcı tarafından belirlenir. Her bloğa ise istenen öz direnç değerleri atanır ve sonuçta istenilen elektrot dizilimi için GÖ yapma-kesit verileri hesaplanır.

Modelleme yapabilmek için modeli tanımlayan bir matematiksel bağıntı gereklidir. 2-B modellemede kullanılan bağıntı,

$$-\nabla(\sigma(x, z) \cdot \nabla \phi(x, y, z)) = I\delta(x - x_s)\delta(y)\delta(z) \quad (1.3)$$

olarak ifade edilir. Burada $\sigma(x, z)$, 2-B uzayda öz iletkenlik, $\phi(x, y, z)$ 2-B gerilim, I akım, $I\delta(x - x_s)$ kaymış birim impuls fonksiyonu, $\delta(y)$ ve $\delta(z)$ birim impuls fonksiyonları, x_s nokta akım kaynağının 1-B uzaydaki koordinatları, ∇ “gradient” operatörüdür.

Denklem (1.3)’de nokta akım kaynağı ve gerilim x, y ve z değişkenlerinin fonksiyonu olmasına rağmen öz direnç x ve z değişkenlerinin fonksiyonudur.

2B Poisson denkleminin analitik çözümü karmaşık modeller için yoktur ve çeşitli sayısal yöntemlerle çözülür (Candansyar, 2016).

Ters çözüm, bir veriden, bu veriyi elde etmemizi sağlayan matematiksel modelin parametrelerini hesaplamak şeklinde tanımlanabilir. Ters-çözüm yöntemi, ölçülen veri ile kuramsal veri arasında çakışma sağlayan parametrelerin bulunması esasına dayanmaktadır. Ters çözümde ilk olarak bir model oluşturulur. Model parametreleri için oluşturulacak ön-kestirim yorumcu tarafından yapılır ve ön-kestirime karşılık gelen kuramsal veri hesaplanarak, ölçülen veri ile karşılaştırılır. Ölçülen veri ile kuramsal verinin çakışıp çakışmadığına bakılır. Bu çakışma derecesini artırmak için parametreler yenilenir. Bu işlem yeterli bir çakışma sağlanana kadar yapılır. Model yanıtı ile ölçülen

veri arasındaki farkları en aza indirmek için yapılan yineleme işleminin sayısı, ön-kestirim değerlerinin gerçeğe yakınlığı ve verinin gürültü içeriği ile ilgili olup, gürültü bazı durumlarda yineleme işleminin yakınsamasını engelleyebilir. Ters çözüm yönteminin en önemli problemi, model seçimi veya ön-kestirim değerlerinin gerçeğe yakın olmaması nedeni ile istenmeyen sonuçların elde edilebilmesidir. Ayrıca, yöntemin doğru çözüme yakınsayacağının garantisi bulunmamaktadır (Candansyar, 2016).

1.2 Literatür Özetleri

Rezistivite yöntemine ait ilk çalışmalar yirminci yüzyılın başlarında görülmektedir. Aralarındaki mesafenin eşit olduğu 4 adet elektrotun yere çakılması ile elde edilen Wenner dizilim şekli ile yapılan yer özdirenç ölçümleri sonraki çalışmalara ışık olacak niteliktedir (Wenner, 1916).

Meksika'nın kuzeyindeki El Sauz-Encinillas akiferinde görünür özdirenç ve yeraltı birimlerinin kalınlığını tespit etmek amacıyla AB/2 mesafesi maksimum 500m olacak şekilde düşey elektrik sondajları yapılmıştır. Ölçüm yapılan bölgede gerçekleştirilen 45 adet düşey elektrik sondajı sonucunda 5 ayrı birim: Sert bir üst toprak, alüvyon malzeme karışımı, playa gölü tipi malzeme, çakıl/kum karışımı ve kısmen kırılmış veya konglomeratik malzemelerin tespiti yapılmıştır. Bu durum elektrik özdirenç verilerinin yer altı su aramalarında yeraltı stratigrafisini ve temel konfigürasyonunu belirlemek için kullanılabilecek oldukça iyi sonuçlar veren bir yöntem olduğunu gösterir niteliktedir (Schlumberger, 1920).

Elektrik özdirenç yönteminin yeraltı suyu aramalarında kullanımının artış göstermesi ile kullanılan çok elektrotlu sistemlerin yaygınlaşması üzerine OYAK Mardin Çimento A.Ş. sahasında çok elektrotlu bir cihaz ile yapılan ölçümler sonucunda çalışma alanının içerisinde kalan bölgenin jeolojik yapısını oluşturan formasyonların tespitinin yapıldığı araştırılmak istenen yer altı su seviyesinin yaklaşık 410m derinlikte olduğu tespit edilmiştir (Özdemir, 2008).

Yeraltı katmanlarının elektrik özdirenç yöntemi ile tespit etmek için Rezistivite-IP alıcı/verici sistemi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Sistem 55, 110 ve 220 volt çıkışlı, 0.1, 0.3, 1 ve 3 Hz frekanslı kare dalga üretmektedir. Trabzon ili Beşirli bölgesinde

gerçekleştirilen arazi çalışmalarında ölçülen değerler RVA-1 marka bir cihaz verileri ile karşılaştırılarak değerlerin doğruluğu gösterilmiştir (Akpancar, 2012).

Aşınmaya karşı dayanımı olmayan ve kolayca erimesiyle bilinen kayaçlardan meydana gelen karstik birimlerin belirlenmesinde 2 boyutlu rezistivite yöntemi kullanılmıştır. Çalışma Antalya'nın Kepez ilçesinde yer alan Masa Dağı bölgesinde uygulanmış ve elektrik öz direnç kesitleri ile elde edilen verilerden yeraltı karstik boşluklarının varlığı tespit edilebilmiştir (Uçar, 2014).

Yakın yüzey araştırmalarında çok fazla kullanılan jeofizik yöntemlerden biri olan doğru akım öz direnç yöntemi için arazi uygulamalarında bir dizi probleme çözüm getirmek, arazi kurulumunu hızlandırmak, maliyet ve iş gücü ihtiyaçlarını azaltmak için kablosuz alıcılar ile ölçüm yapabilen bir sistem geliştirilmiştir. Gerilim elektrotlarına kablosuz alıcılar bağlanması suretiyle gerçekleştirilen ölçümler Arduino geliştirme kartı üzerinden sisteme kaydedilmektedir. Yapılan arazi çalışmalarında geliştirilen cihaz ile ABEM SAS1000 marka cihaz ölçümleri karşılaştırıldığında %1 düzeyinde bir farklılık olduğu ortaya konmuştur (Akça ve Lallı, 2018).

Ülkemizde kullanılan 2 boyutlu rezistivite cihazlarının alternatifi olarak 2 ve 3 boyutlu ve android cihaz üzerinde haritalama yapabilen sekiz elektrot ile ölçüm alan rezistivite cihazı geliştirilmiştir. Mikroişlemci tabanlı çalışan bu sistem android cihaz ile bluetooth üzerinden haberleşmektedir. Cihaz ile yapılan ölçümler android cihaz ekranında 2 boyutlu olarak görüntülenebilmiştir (Canbolat, Yiğit ve Mutlu, 2023).

Heyelan gibi hayatı olumsuz etkileyen hareketlerin tespit edilmesinde de kullanılan elektrik öz direnç tomografi (ERT) ile Sakarya Hendek te yapılan çalışmada heyelanın iç yapısı belirlenmiştir. Başlangıç ve bitiş noktaları ile kayma yüzeyi hakkında 2 boyutlu grafikler üzerinden yorumlar yapılmıştır (Karaaslan ve Silahtar, 2024).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Arduino geliştirme kartı

Geliştirme kartları, üzerinde Mikroişlemci veya mikro denetleyici bulunan, giriş ve çıkış pinleri sayesinde çeşitli motor, sensör ve diğer elektronik bileşenlerle entegre edilebilen platformlardır.

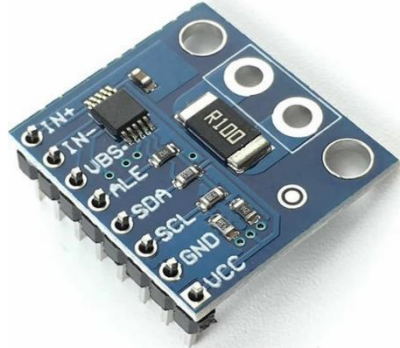
Arduino açık kaynaklı geliştirme ortamından oluşan fiziksel programlama kartlarından ve yazılımlarından oluşmaktadır. Arduino tek başına çalışan interaktif nesneler geliştirmek için kullanılabileceği gibi bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da bağlanabilmektedir. Arduino kartları üzerinde mikrodenetleyici, lineer regülatör ve osilatör bulunmaktadır. Mikrodenetleyiciye yüklü olan bootloader programı ile programlama işlemi için ayrıca bir programlayıcıya ihtiyaç duymamaktadır.

Bu tez çalışmasında giriş-çıkış pinlerinin sayılarının ihtiyaca yönelik olarak fazla olmasından dolayı şekil 2.1’ de görünen Arduino Mega 2560 kartı seçilmiştir.



Şekil 2.1 Arduino mega 2560

2.1.2. INA226 akım, gerilim ve güç modülü

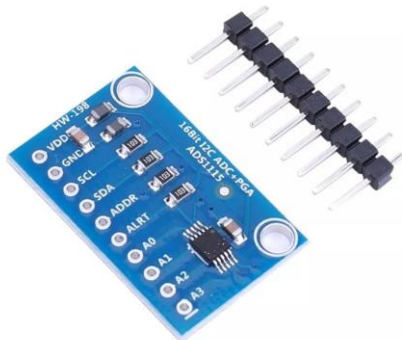


Şekil 2.2. INA226 akım gerilim ve güç modülü

INA226 akım, gerilim ve güç modülü 16 bit Analog Dijital Dönüştürücü (ADC) çözünürlüğüne sahiptir. Bu ise yüksek hassasiyetle ölçüm yapılabilmesini sağlamaktadır. Modül üzerinde bulunan şönt direnç ile akım değeri ve V_{BS} pini üzerinden Doğru Akım (DA) gerilim değeri ölçülmektedir. Burada akım sınır değeri şönt direncin değerine bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Tasarlanan devrede kullanılan INA226 modülü 0-36 volt arasındaki gerilimi ve 1.2 ampere kadar olan akım değerlerini ölçebilmektedir (Texas Instruments, 2011).

INA226 modülü i^2c haberleşme protokolü kullanarak ölçtüğü verileri mikro denetleyiciye iletebilmektedir. Dolayısıyla mikro denetleyici yapısındaki i^2c donanımı sayesinde yazılım eşliğinde modül üzerindeki scl ve sda pinlerini kullanarak okuma ve yazma işlemleri gerçekleştirmektedir.

2.1.3. ADS1115 ADC modülü

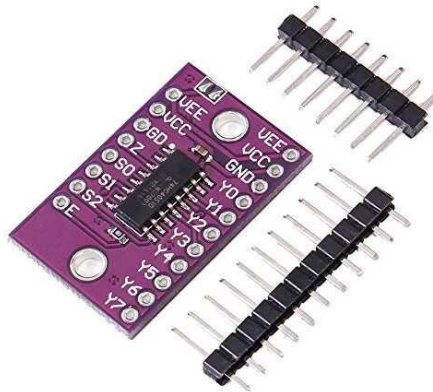


Şekil 2.3. ADS1115 16-bit 4 kanal ADC modülü

1115 kartı dahili analogdan-dijitale çeviricisi bulunmayan mikro kontrolcüler veya yüksek çözünürlüklü analog ölçüm için kullanılabilir. ADS1115 entegresi sayesinde 16-bit çözünürlükte saniyede 860 ölçüm yapabilme yeteneğine sahiptir. Dahili amfisi sayesinde düşük seviyedeki sinyali 16 kat güçlendirebilir. 2V - 5V arası gerilimlerle çalışabilir.

Haberleşme için I2C ara yüzünü kullanan bu kart diğer mikro denetleyicilerle kolayca entegre edilmesini sağlar. Ayrıca, kartın üzerinde yer alan lehim jumperlarını 4 farklı adres ayarlanabilir. Bu sayede aynı anda 4 adet kartı kullanarak toplamda 16 kanal analog girişe sahip olunabilir. Özellikle çoklu sensör uygulamalarında, genişletilebilirlik ve modülerlik açısından büyük avantaj sunar. Bu şekilde ADS1115 kullanımı mümkündür (ADS1115, <https://www.robotistan.com/ads1115-16-bit-4-kanal-adc>, 19.06.2025/13.03).

2.1.4. 74HC4051 multiplexer



Şekil 2.4. 74HC4051 8 kanallı multiplexer/demultiplexer modülü

74HC4051 modülü seçici uçlar ile girişine uygulanan sinyali 8 kanaldan tek bir çıkışa veya 8 kanaldan birinden gelen sinyali çıkış ucuna ileten devrelerden oluşan bir modüldür. -5 ve +5 V aralığında çalışma gerilimine sahiptir. Daha çok multiplexer olarak kullanılan bu modül aynı zamanda demultiplexer olarak da kullanılmaktadır. S0, S1 ve S2 olmak üzere üç adet seçici uç yardımı ile 8 bağımsız giriş/çıkış uçları aktif edilmektedir. Enable (E) ucu yazılım ile kontrol edilerek giriş/çıkış uçlarının aktif/pasif edilmesinde kullanılmaktadır. E dijital olarak 1 seçildiğinde çıkışlar kapatılmış olmaktadır.

2.1.5. DA-DA çevirici



Şekil 2.5. 60V 50A programlanabilir DA-DA güç kaynağı- RF kontrollü

DPM8650-RF programlanabilir bir Doğru Akım (DA) güç kaynağıdır. Voltaj ayarı 0-60V ve akım 0-50A aralığında istenilen değerlerde ayarlanabilmektedir. DA-DA güç kaynağının kullanılmasının sebebi stabil çalışması yani devamlı aynı değerlerde akım verebilmesidir. Ayrıca batarya üzerinden alınan sabit gerilimi ve akımı istenilen gerilim ve akım değerlerine değiştirerek sistemin ihtiyacı olan değerler elde edilmiştir.

2.1.6. Batarya



Şekil 2.6. Şarj edilebilir bataryalar.

Sisteme güç kaynağı olarak kullanılan Li-ion bataryalar yüksek akım ve verimli çalışma performansı nedeniyle seçilmişlerdir. Seri ve paralel bağlanarak istenilen voltaj ve akım değerleri elde edilebilmektedir. Tasarımı yapılan devrede kullanılmak üzere 3 adet batarya ile 12V, 2600mAh 'lık bir güç ünitesi oluşturulmuştur.

2.2. Yöntem

2.2.1. Tasarımı gerçekleştirilen devre

Tez çalışmasında, şekil 2.7' de gösterilen mikroişlemci temelli tasarlanan çift katmanlı devre üzerinde Arduino Mega 2560 geliştirme kartı, yere uygulanan akımı izlemek için INA226 akım, gerilim ve güç modülü, elektrotları otomatik seçmek için 74HC4051 Multiplexerlar ve oluşan gerilim farklarını ölçmek için 16 bit çözünürlüklü ADS1115 ADC Modülü bulunmaktadır. Devreye bağlanan güç kaynağı ve DA-DA çevirici ile sağlanan akım yere INA226 ve multiplexer üzerinden iki elektrotla iletilmiştir. Diğer iki elektrot arasında oluşan gerilim farkı yine multiplexer üzerinden yönlendirilip ADS1115 ile ölçülerek geliştirilen yazılım vasıtasıyla kayıt altına alınmıştır. Daha sonra yazılım sayesinde kullanıcı arayüzü üzerinden girilen elektrot dizilim şekline bağlı olarak akım ve gerilim elektrotlarının yerlerini değiştirerek bir dizi ölçüm yapılmış ve kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler bir takım veri-işlem prosedüründen sonra 2-B grafikler haline getirilerek yorumlamaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.7. Tasarımı gerçekleştirilen devre

2.2.2. Kullanıcı arayüzü

Şekil 2.9. Kullanıcı arayüzü

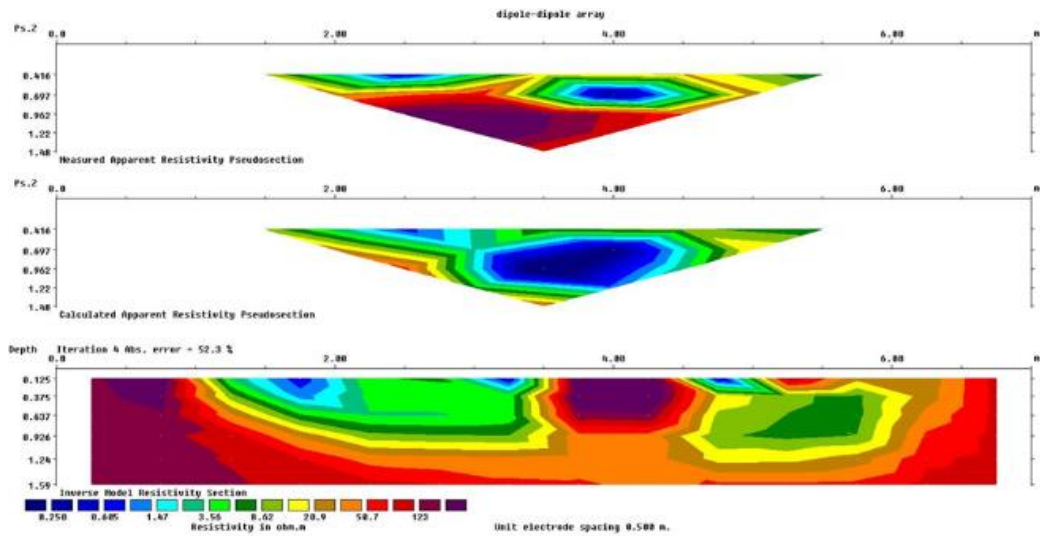
“Elektrik Öz direnç Yöntemi Tomografi Cihazı”nın rahat kullanılabilmesi için şekil 2.9’da gösterilen C# programlama yazılımı ile geliştirilen kullanıcı arayüzü, devrenin sisteme port bağlantısı ile bağlandıktan sonra elektrot diziliminin seçilmesi, A-B elektrotları arası mesafenin ve/veya M-N elektrotları arası mesafenin girilmesi ve ne kadar süre ölçüm alınmasının gerektiği yığılma değerlerinin seçilmesi ile çalıştırılmaktadır. Arayüz başlatıldıktan sonra yazılım vasıtasıyla tasarlanan devre otomatik olarak yere çakılan elektrotlar üzerinden ölçüm almaya başlar. Ölçülen değerler ve gerekli parametreler arayüz ekranında kullanıcıya gösterilmektedir. Ekrandaki bu veriler daha sonra veri-işlem aşamaları için kaydet butonu vasıtasıyla bilgisayar üzerinde istenilen bir dosyaya kaydedilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

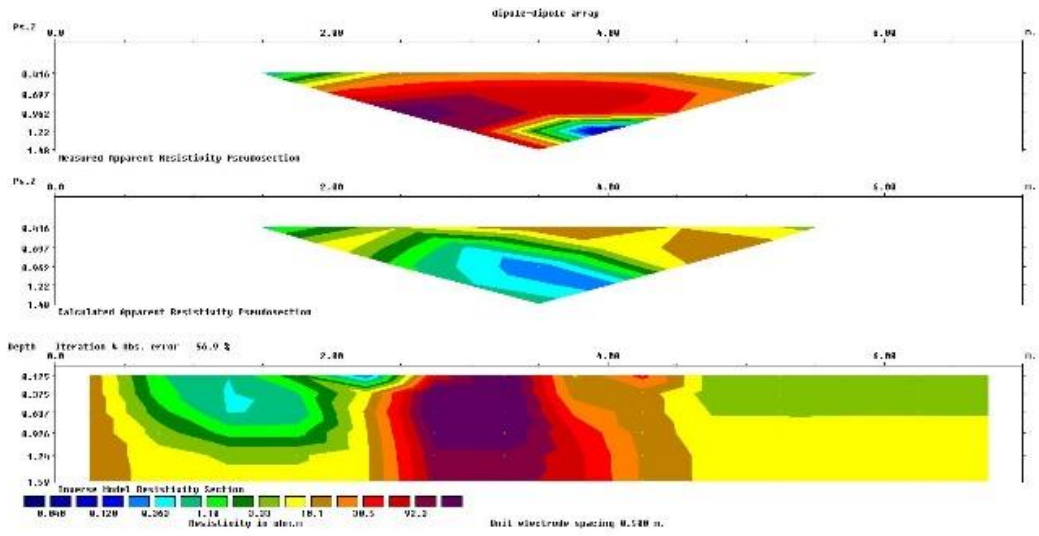
3.1. Uygulama 1

Yeraltının jeolojik yapısını belirlemek için yaygın olarak kullanılan jeofizik yöntemlerden olan “Doğru Akım Özdirenç” yöntemi ile çalışan, bu çalışmada geliştirilen “Elektrik Özdirenç Yöntemi Tomografi Cihazı” ile alınan 3 adet sondaj-profil ölçüsü şekil 3.1, 3.2 ve 3.3 ‘te görülmektedir. Yere 1m aralıklarla çakılan 8 adet elektrot geliştirilen cihaza kablo ile bağlanmaktadır. Bu 8 elektrotun ikisinden yere akım verilip başka iki elektrot arasında oluşan potansiyel fark ölçülmüştür. Daha sonra akım ve gerilim elektrotları, geliştirilen cihaz ve yazılım tarafından otomatik olarak, literatürde tanımlı ölçü alma- dizilim şekilleri ile yerleri değiştirilerek ölçümler yapılmıştır.

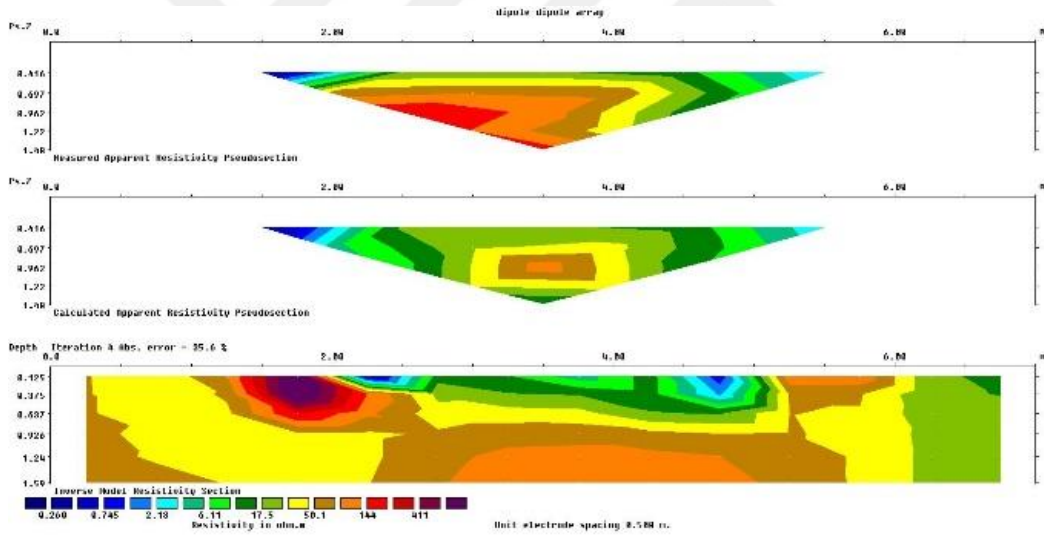
Yapılan ölçümler geliştirilen yazılım ile otomatik kayıt altına alınmıştır. Bu veriler araziden ölçülen görünür özdirenç değerleri ve ölçüm alma geometrisi verilerinden oluşmaktadır. Ölçülen ham veriler RES2dinvx64 programı aracılığıyla ters çözüm işlemine tabi tutularak ölçülen, hesaplanan ve dönüşük özdirenç sondaj-profil grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.1. Profil 1 grafiği

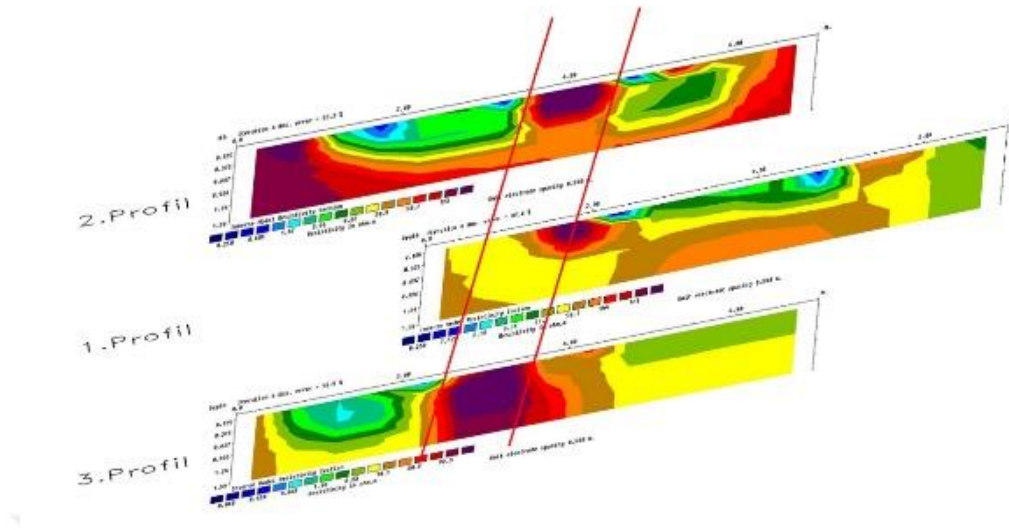


Şekil 3.2. Profil 2 grafiği



Şekil 3.3. Profil 3 grafiği

3 adet ölçülen sondaj-profil ölçülerinin grafikleri incelendiğinde yüksek öz dirençli bölgelerde bir kütle olması muhtemel olduğundan, 3 profilin şekil 3.4 üzerinde de görüldüğü gibi yapılan korelasyonu ile bir kepçe yardımı ile profillere dik olacak şekilde kazı yapılmıştır. Sondaj korelasyonları şekil 3.4 ve kazı görüntüsü şekil 3.5’de gösterilmiştir.

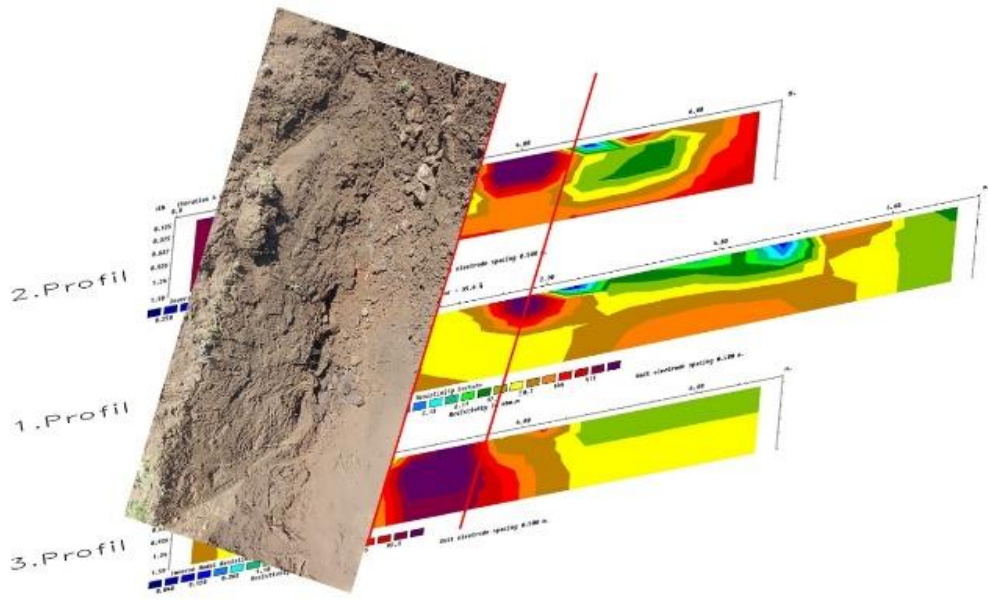


Şekil 3.4. Sondaj profilleri korelasyon grafiği



Şekil 3.5. Kazı yapılan bölge

Yapılan kazı neticesinde yaklaşık 1m derinlikte bulunan yüksek öz dirençli şistlere ve daha sert birimlere rastlanılmıştır. Kazı ve korelasyonlar ile şekil 3.6’da üst üste bindirilmiştir.



Şekil 3.6. Kazı ve elde edilen profil korelasyonu

3.2. Uygulama 2

Gaziosmanpaşa Üniversite Kampüsü içerisinde Sağlık Bilimleri Fakültesi üst tarafında bulunan yol kenarındaki şekil 3.7’deki yarmalarda görülen tabakaların tespit edilebilmesi amacıyla şekil 3.8’ de görülen profil boyunca 1m aralıklarla 8 elektrot çakılmak suretiyle tasarımı yapılan “Elektrik Özdirenç Yöntemi Tomografi Cihazı” ile ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.7. Ölçüm alınan yerin yandan görünümü

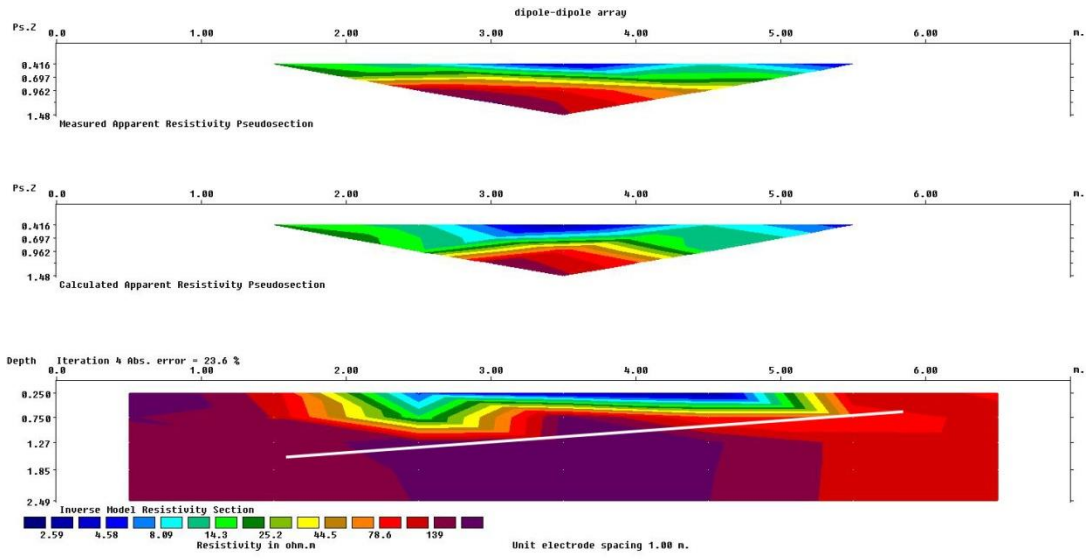


Şekil 3.8. Elektrotların yere çakılması



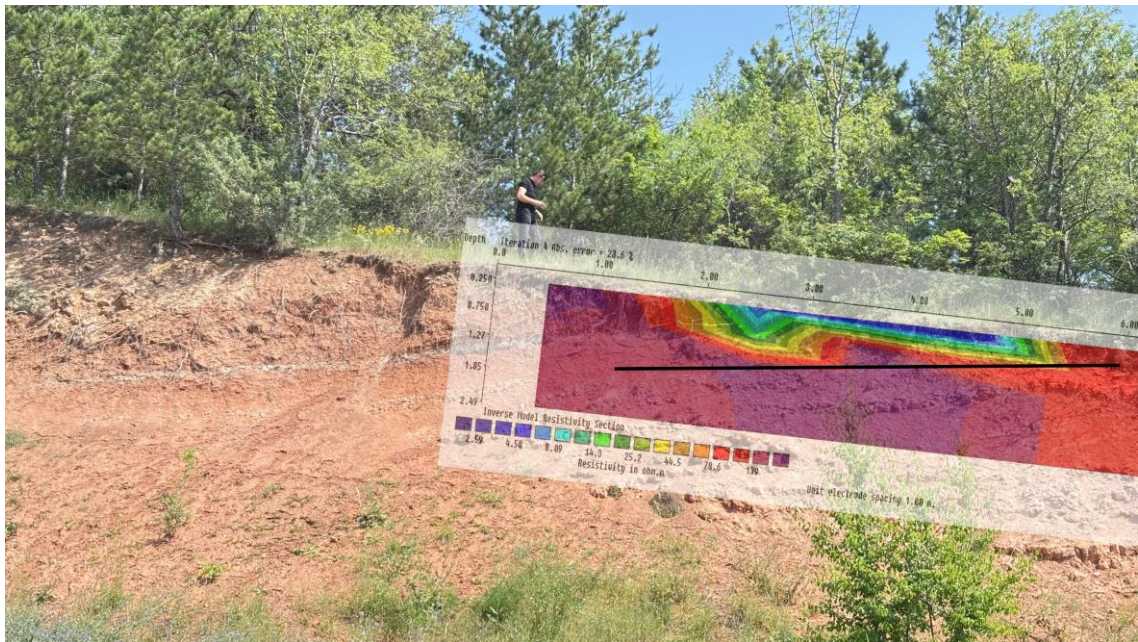
Şekil 3.9. Ölçümlerin alınması

Şekil 3.9’ da görülen “Elektrik Özdirenç Yöntemi Tomografi Cihazı” bilgisayara kablo ile bağlanmış olup bilgisayar üzerinden, geliştirilen kullanıcı arayüzü üzerinden girilen ölçüm alma değerleri ile ölçümler alınmış ve veriler dosyaya kaydedilmiştir.



Şekil 3.10. Sondaj-profil ölçüm grafikleri

Dosyaya kaydedilen veriler RES2dinvx64 programı aracılığı ile ters çözüm işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 3.10’ da ilk grafik ile ölçülen verilerin 2-B görüntüsü yer almaktadır. İkinci grafikte hesaplanan veriler ve üçüncü grafikte ters çözüm sonucu oluşan grafik yer almaktadır.



Şekil 3.11. Ölçüm sonuçlarının bölge ile korelasyonu

Sondaj-profil ölçüm sonuçları neticesinde oluşturulan grafikler ve ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan grafiklere bakıldığında tabakaların duruşu ve tabaka geçişleri gösterilmeye çalışılmıştır. Özdirenç skalasına bakıldığında mavi ve yeşil renkli düşük özdirençli birimlerin yüzey ve/veya yüzeye yakın örtü tabakaları olduğu, sarı ve turuncu renkli bölgelerin kil taşı kireç taşı geçiş bölgeleri olduğu ve kırmızı ve mor renkli yüksek özdirençli bölgelerin ise masif blokların olduğunu göstermektedir. Ölçümlerin grafiklerinin bölgenin yandan görünümü ile korelasyonu şekil 3.11’ de gösterilmektedir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elektriksel özdirenç ölçümleri için kullanılacak bir cihaz tasarımı yapılmıştır. Cihaz, ölçüm yapılan alanda tek hatta alınan ölçümlerin mümkün olan en az kablolama gereksinimi ile, elektrotların tek seferde yerleştirilip yer değiştirme gereksiniminin olmadığı, tek bir ölçüm devresi kullanılarak akıllı anahtarlama sistemi geliştirilip sırası ile ölçümlerin yapıldığı ve verilerin ana bilgisayara aktarıldığı, veri tabanına kaydedildiği ve bilgisayar üzerinden gerçek zamanlı olarak analiz edilerek tomografi haritasının oluşturulduğu bir yapıda tasarlanmıştır.

Mikroişlemci temelli tasarlanan çift katmanlı devre üzerinde Arduino Mega 2560 geliştirme kartı, yere uygulanan akımı izlemek için INA226 akım, gerilim ve güç modülü, elektrotları otomatik seçmek için 74HC4051 Multiplexerlar ve oluşan gerilim farklarını ölçmek için 16 bit çözünürlüklü ADS1115 ADC Modülü bulunmaktadır. Devreye bağlanan güç kaynağı ve DA-DA çevirici ile sağlanan akım yere INA226 ve multiplexer üzerinden iki elektrotla iletilmiştir. Diğer iki elektrot arasında oluşan gerilim farkı ADS1115 ile ölçülerek geliştirilen yazılım vasıtasıyla kayıt altına alınmıştır. Daha sonra yazılım sayesinde kullanıcı arayüzü üzerinden girilen elektrot dizilim şekline bağlı olarak akım ve gerilim elektrotlarının yerlerini değiştirerek bir dizi ölçüm yapmış ve kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler bir takım veri-işlem prosedüründen sonra 2-B grafikler haline getirilerek yorumlamaya hazır hale getirilmiştir.

Arazi üzerinde yapılan çalışmalarda uygulama 1' de, geliştirilen “Elektrik Özdirenç Yöntemi Tomografi Cihazı” ile 3 adet sondaj-profil alınmıştır. Yere 1m aralıklarla çakılan 8 adet elektrot geliştirilen cihaza kablo ile bağlanmaktadır. Bu 8 elektrotun ikisinden yere akım verilir başka iki elektrot arasında oluşan potansiyel fark ölçülmüştür. Daha sonra akım ve gerilim elektrotları, geliştirilen cihaz ve yazılım tarafından otomatik olarak, literatürde tanımlı ölçü alma- dizilim şekilleri ile yerleri değiştirilerek ölçümler yapılmıştır.

Yapılan ölçümler geliştirilen yazılım ile otomatik kayıt altına alınmıştır. Bu veriler araziden ölçülen görünür özdirenç değerleri ve ölçüm alma geometrisi verilerinden oluşmaktadır. Ölçülen ham veriler RES2dinvx64 programı aracılığıyla Ters

Çözüm işlemine tabi tutularak ölçülen, hesaplanan ve dönüşük öz direnç sondaj-profil grafikleri oluşturulmuştur.

3 adet ölçülen sondaj-profil ölçülerinin grafikleri incelendiğinde yüksek öz dirençli bölgelerde bir kütle olması muhtemel olduğundan, 3 profilin yapılan korelasyonu ile bir kepçe yardımı ile profillere dik olacak şekilde kazı yapılmıştır. Yapılan kazı neticesinde yaklaşık 1m derinlikte bulunan yüksek öz dirençli volkaniklere ve daha sert birimlere rastlanılmıştır. Kazı ve korelasyonlar ile şekil 3.6’da üst üste bindirilmiştir.

Arazi üzerinde yapılan çalışmalarda uygulama 2’ de, Gaziosmanpaşa Üniversite Kampüsü içerisinde Sağlık Bilimleri Fakültesi üst tarafında bulunan yol kenarındaki yarmalarda görülen tabakaların tespit edilebilmesi amacıyla bir profil boyunca 1m aralıklarla 8 elektrot çakılmak suretiyle tasarımı yapılan “Elektrik Öz direnç Yöntemi Tomografi Cihazı” ile ölçüm alınmıştır.

Tasarımı yapılan cihaz bilgisayara kablo ile bağlanmış olup bilgisayar üzerinden, geliştirilen kullanıcı arayüzü üzerinden girilen ölçüm alma değerleri ile ölçümler alınmış ve veriler dosyaya kaydedilmiştir.

Sondaj-profil ölçüm sonuçları neticesinde oluşturulan grafikler ve ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan grafiklere bakıldığında tabakaların duruşu ve tabaka geçişleri gösterilmeye çalışılmıştır. Öz direnç skalasına bakıldığında mavi ve yeşil renkli düşük öz dirençli birimlerin yüzey ve/veya yüzeye yakın örtü tabakaları olduğu, sarı ve turuncu renkli bölgelerin kil taşı kireç taşı geçiş bölgeleri olduğu ve kırmızı ve mor renkli yüksek öz dirençli bölgelerin ise masif blokların oluşunu göstermektedir.

Prototip olarak tasarlanan “Elektrik Öz direnç Yöntemi Tomografi Cihazı” 8 elektrot ile ölçüm almaktadır. Dolayısıyla yer altından toplanan veriler tasarım için yeterli ancak jeolojik-jeoteknik çalışmalar gibi detaylı mühendislik çalışmaları için ön çalışma niteliğindedir. Elektrot sayısı dolayısıyla tahmini inilen derinlik değerleri de sınırlı olmaktadır. Elektrot sayısının artırılması suretiyle geliştirilebilecek cihaz için kullanılan mikro işlemci ve multiplexer sayısı ve yapısı üzerinde değişikliğe gidilmesi gerekmektedir. Bu tasarım yapılacak olan gelişmiş tasarımlara yol göstermesi amacıyla yapılmış olup şu anki aşamada Jeofizik Mühendisinin kullanımına uygundur.

KAYNAKLAR

- Akça, I. ve Lallı, S.S., 2018. WiRes: Doğru Akım Özdirenç Ölçümleri için Arduino Tabanlı Çok Kanallı Kablosuz Alıcı Sistemi. 7. Yer Elektrik Çalıştayı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Akpancar, S. 2012. İki Rezistivite-IP Alıcı / Verici Tasarımı ve PC’de Verilerin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Anbolat, H., Yiğit, M. ve Mutlu, R., 2023. Rezistivite Cihazı Tasarımı ve Mobil Platformlarda İki Boyutlu Rezistivite Haritalarının Oluşturulması. EMO Bilimsel Dergi, 13 (2).
- Anonim, 2011. INA226 High-Side or Low-Side Measurement, Bi-Directional Current and Power Monitor with I²C Compatible Interface. Texas Instruments Incorporated, USA.
- Aspinall A. /Lynam J., 1970. An induced polarisation instrument for the detection of near-surface features. *Prospezioni Archaeologiche* 5, p. 67-75.
- Başokur A.T., 1994. Definitions of apparent resistivity for the presentation of magnetotelluric sounding data1. *Geophysical Prospecting*, 42 (2), 141-149.
- Candansayar M.E., Başokur A.T. and Pekşen E., 1999. Detecting small-scale targets by the two-sided gradient transformation. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, Vol 2, No:1-4, p. 100-111.
- Candansayar M.E. and Başokur A.T., 2001. Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49 (1), p. 13-25.
- Candansayar M.E., 2016. JFM316 Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notu, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Carpenter E.W. and Haberjam G.M., 1956. A Tripotential method of resistivity prospecting, *Geophysics*, 21 (2), p. 455–469.
- Karaaslan H. ve Silahtar A., 2024. Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) ve yüzey dalgası analiz yöntemleriyle aktif bir heyelan alanının incelenmesi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 30(5), 686-695.

- Özdemir A., 2008. Çok-Elektrotlu Jeofizik Rezistivite Ölçümlerinin Yeraltı suyu ve Jeotermal Arama Alanlarındaki Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Sondaj Dünyası Dergisi, 6.cilt, s. 7-13.
- Schlumberger C., 1920. E' tude sur la Prospection E' lectrique du Sous-sol. Paris.
- Schulz R., 1985. A review of methods for groundwater exploration. Groundwater, 23(4), 439-445.
- Uçar A., 2014. 2-Boyutlu Rezistivite Yöntemi Kullanılarak Karstik Aktivite Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Wenner F. A., 1916. Method of Measuring Earth Resistivity. U.S. Government Printing Office, 12 (4).