



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**JEOFİZİK YÖNTEMLERDE ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMÜ İÇİN
AYGIT TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metin İZMİRLİ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

**JEOFİZİK YÖNTEMLERDE ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMÜ İÇİN AYGIT
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metin İZMİRLİ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ

Bu çalışma, ÇÖMÜ BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FBA-2018-2699

ÇANAKKALE – 2023



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Metin İZMİRLİ tarafından Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ yönetiminde hazırlanan ve **12/04/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Jeofizik Yöntemlerde Özdirenç Ölçümü İçin Aygıt Tasarımı**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Emin U. ULUGERGERLİ

.....

(Danışman)

Doç. Dr. İrfan AKÇA

.....

Doç. Dr. Muzaffer ÖZDEMİR

.....

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : 12/04/2023

Doç. Dr. Yener PAZARCIK
Enstitü Müdürü

12/04/2023

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; 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 çalışmada 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 kayıplarımı kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Metin İZMİRLİ
12/04/2023

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinden başlayarak; çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve nihayete erdirilmesi ile sonuçlanan uzun süre boyunca yardım ve desteğini eksik etmeyen Tez danışmanım Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ'ye (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölüm Başkanı) saygı ve hürmetlerimi sunarım. Gerek tez çalışması kapsamında olsun gerekse diğer konularda olsun, her zaman maddi ve manevi desteğini hissettirmiş ve mesleki deneyimlerini paylaşma noktasında son derece cömert olmuştur.

Tezin yazılması aşamasında katkıları ve desteğiyle bana yardımcı olan hocam Dr. Özlem KARAGÖZ TAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca birlikte çalıştığımız; desteğini ve yardımını esirgemeyen kıymetli mesai arkadaşım ve dostum Ramazan UYANIK'a (Çanakkale İl Özel İdaresi Destek Hizmetleri Müdürlüğü) teşekkür ediyorum.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan, sevgili annem Ayten HIDIR ve sevgili babam Erdal İZMİRLİ'ye de teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması ÇÖMÜ BAP Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2018-2699 no'lu projesi ile desteklenmiştir.

Metin İZMİRLİ

Çanakkale, Nisan 2023

ÖZET

JEOFİZİK YÖNTEMLERDE ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMÜ İÇİN AYGIT TASARIMI

Metin İZMİRLİ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ

12/04/2023, 45

Jeofizik yöntemlerden bir olan doğru akım öz direnç (DAÖ) yönteminde, iki noktadan yere doğru akım uygulanır ve diğer farklı iki noktadan da yere verilen akımın etkisiyle oluşan gerilim farkı ölçülerek yeraltındaki jeolojik yapılar öz direnç değişimlerine göre haritalanmaya çalışılır.

Toplanan öz direnç verilerinin değerlendirilip, yorumlanmasıyla yer altındaki jeolojik yapıların özellikleri ve derinlikleri hakkında bilgi elde edilir.

DAÖ ölçüm aygıtları, genelde yurtdışından ithal edilen, pahalı, geliştirilmesi uzun vadeli ar-ge'ye dayanan yüksek teknoloji ürünü aygıtlardır. Bu çalışma kapsamında, düşük maliyetli, sayısal elektronik tabanlı ve tamamen yazılım denetimli bir DAÖ ölçüm aygıtının geliştirilmesi hedeflenmiştir.

DAÖ aygıtı Arduino geliştirme kartı tarafından kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır. İlkel tasarımın çalışma performansı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİGM) laboratuvarı tarafından geliştirilen DAÖ cihazı ile arazide test edildi. Karşılaştırmalı çalışma, önerilen cihazla toplanan verilerin uyumlu olduğunu göstermiştir.

Cihazın öne çıkan özellikleri muadillerine göre çok daha ucuz olması ve veriyi işlemek için yazılım eklenebilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Doğru Akım Özdirenç, Ar-Ge, Geliştirme Kartı, Sayısal Elektronik



ABSTRACT

DESIGN OF DEVICE FOR MEASUREMENT OF RESISTANCE IN GEOPHYSICAL METHODS

Metin İZMİRLİ

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Geophysical Engineering

Advisor: Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ

12/04/2023, 45

In the direct current resistivity (DCR) method, which is one of the geophysical methods, a direct current is injected to the ground from two points and the voltage difference is measured from another two points, aiming to map the geological structures according to the resistivity variations.

The information about the resistivity and depth of the subsurface structures is obtained by evaluating and interpreting the gathered resistivity data.

DCR devices are expensive and high-tech devices whose development is based on long-term R&D and usually imported from abroad. Within the scope of this study, it is aimed to develop a low-cost, digital electronics-based and fully software-controlled DCR measurement device.

The DCR device has been designed to be controlled by the Arduino development board. The operational performance of the prototype had been tested in the field using a DCR device developed by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSIGM) laboratory. Comparative study indicated that the data collected with the proposed device were compatible.

The prominent features of the device are that it is much cheaper than its counterparts and that it allows to add software to process the data.

Keywords: Direct Current Resistivity, R&D, Development Boards, Digital Electronic



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Tarihçe	1
1.2. Önerilen Aygıt.....	3

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi.....	5
---------------------------------------	---

2.2. Görünür Özdirenç.....	7
2.2.1. Elektrot Dizilimleri.....	8
2.3. Araştırma Derinliği.....	9
2.5. Doğal Uçlaşma Yöntemi.....	10
2.6. Önceki Çalışmalar.....	10
2.6.1. Ülkemizde Üretilen Ticari Aygıtlar.....	11
2.6.2. Yayınlamış Tasarımlar.....	13

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

18

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

3.1. Geliştirme Kartları.....	18
3.1.1. Arduino Geliştirme Kartı	19
3.2. Doğru Akım Özdirenç Aygıt Tasarımı.....	21
3.2.1. Verici Modül Tasarımı	24
3.2.2. Alıcı Modül Tasarımı.....	25
3.2.3. Çevre Birimi Tasarımı.....	26
3.3. Modelleme.....	29
3.3.1. Ters Çözüm.....	29

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

30

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Tasarım ve Sorunlar.....	30
4.2. Alan Çalışması Örneği.....	35

BEŞİNCİ BÖLÜM	37
SONUÇ ve ÖNERİLER	
5.1. Sonuçlar	37
5.2. Alan Ölçümü.....	37
5.3 Öneriler.....	40
KAYNAKÇA	42
EKLER	I
EK 1. KULLANILAN MALZEMELERİN DÖKÜMÜ	I
EK 2. ÖLÇÜM AYGITI TEMEL KONTROL YAZILIMI.....	III
EK 3. PROGRAMIN TANITIMI.....	XI
EK 4. KULLANILAN MALZEMELERİN BAĞLANTI ŞEMASI.....	XII
ÖZGEÇMİŞ	XIV

SİMGELER VE KISALTMALAR

DAÖ	Doğru Akım Özdirenç
DES	Düşey Elektrik Sondaj
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
J	Akım Yoğunluğu (Amper/m ²)
E	Elektrik Alan (N/c)
V	Gerilim Farkı (Volt)
R	Uzaklık (m)
ρ	Özdirenç (ohm.m)
ρ_a	Görünür Özdirenç (ohm.m)
π	Pi Sayısı (3.14)
A	Alan (m ²)
C	İntegrasyon Sabiti
z	R uzaklığının düşey düzleme izdüşümü (m)
r	R uzaklığının yatay düzleme izdüşümü (m)
λ	İntegral Değişkeni
$J_0(\lambda r)$	Sıfırıncı Dereceden Birinci Cins Bessel Fonksiyonu
k	Geometrik Faktör
IP	İndüksiyon Polarizasyon
ASÇ	Analog Sayısal Çevirici
LCD	Sıvı Kristal Ekran
SP	Self Potansiyel
Hz.	Hertz
AB	Akım Elektrotları
MN	Gerilim Elektrotları
1B	Bir Boyutlu
2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
ΔV	Gerilim Fark

Ω	Ohm
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
IC	Entegre Devre
CPU	Merkezi İşlem Birimi
PC	Kişisel Bilgisayar
USB	Evrensel Seri Veriyolu
Wi-Fi	Kablosuz Bağlantı
HD	Yüksek Çözünürlük
DSİ	Devlet Su İşleri
MOSFET	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
MEB	Merkezi İşlem Birimi
SD	Güvenli Sayısal Hafıza Kartı
ROM	Salt Okunur Bellek
MTA	Maden Tetkik Arama
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TDIP	Time Domain Induction Polarisation

TABLolar DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Doğadaki bazı kayaçların öz dirençleri.	6
Tablo 2	Arduino kartlarının 2010-2013 yılları arası tarihçesi.	19
Tablo 3	Arduino Mega 2560 teknik özellikleri.	21
Tablo 4	Aygıtı oluşturan elektronik devre elemanları ve görevleri.	27
Tablo 5	Katman özellikleri.	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	İlk özdirenç ölçümünde kullanılan bileşenler. Sağdan sola, analog ampermetre, analog voltmetre ve ilkel batarya.	3
Şekil 2	Arduino Mega geliştirme kartı.	4
Şekil 3	Doğru akım özdirenç yöntemi ölçüm düzeni.	7
Şekil 4	Elektrot dizilimleri ve dizilim katsayıları .	9
Şekil 5	1980 -2022 yılları arasında ülkemizde üretilen özdirenç aygıtlarına ait örnekler.	12
Şekil 6	Analog Ölçüm Aygıtı Tasarım Şeması.	14
Şekil 7	Clark ve Page (2011) tarafından tasarlanan analog ölçüm Aygıtı.	14
Şekil 8	Fatahillah ve Nuryani (2019) tarafından tasarlanan özdirenç ölçüm aygıtı.	15
Şekil 9	Çakır ve Akpancar (2015) tarafından üretilen özdirenç ölçüm aygıtı arayüzü.	15
Şekil 10	Akça vd. (2018) tarafından tasarlanan kablosuz alıcı modülü prototipleri.	16
Şekil 11	Arduino Mega pinleri ve özellikleri.	20
Şekil 11	Aygıt tasarımı iş akış şeması.	22
Şekil 13	Taş Dirençlerle hazırlanan yer modeli akım değerinin Ölçülmesi.	23

Şekil 14	Taş dirençlerle hazırlanan yer modeli gerilim değerinin ölçülmesi.	23
Şekil 15	Ölçekli yer modeli ile yapılan ölçüm denemeleri.	24
Şekil 16	Verici modül tasarım şeması.	25
Şekil 17	Alıcı modül tasarım şeması.	25
Şekil 18	Aygıtın çevre birimine ait ana bileşenler.	26
Şekil 19	Tasarlanan aygıtın genel şematik gösterimi.	26
Şekil 20	Aygıtın ara yüzü.	28
Şekil 21	Rc süzgeci.	31
Şekil 22	Alçak geçişli RC süzgeci.	31
Şekil 23	Süzgeç öncesi sinyal.	32
Şekil 24	Süzgeçlenmiş Sinyal.	33
Şekil 25	Verici modül tarafından üretilen 0.5 Hz. frekansındaki kare dalga gerilim.	33
Şekil 26	Devre kartı üzerinde toplanan aygıt bileşenleri.	34
Şekil 27	Aygıtın nihai görüntüsü.	35
Şekil 28	Alanda yapılan deneme ölçüsüne ait görünür öz direnç grafiği.	36
Şekil 29	Alan çalışmasına ait Google Earth görüntüsü.	38

Şekil 30	Alan çalışmasına ait görsel.	38
Şekil 31	DSİ yapımı aygıtla yapılan deneme ölçüsünden toplanan verilerle hazırlanan 1B yer modeli.	39
Şekil 32	Çalışma kapsamında geliştirilen aygıtla yapılan deneme ölçüsünden toplanan verilerle hazırlanan 1B yer modeli.	39



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Jeofizik araştırma projelerinin hayata geçirilmesinde en önemli sorun, ölçüm aygıtlarının temin edilmesidir. Jeofizik arama yöntemlerinde kullanılan ölçüm aygıtları, çoğunlukla yurt dışından yüksek maliyetler ödenerek ithal edilen; işletme süreleri boyunca yüksek bakım/onarım maliyetleri nedeniyle bakım süreçleri kişi/kurum bütçelerini zorlayan yüksek teknoloji içeren aygıtlardır. Hem ilk alım hem de işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, bu aygıtlar, araştırma proje bütçelerinde en yüksek bedele ulaşan kalemleri teşkil etmektedir. Bu nedenle birçok düşük bütçeli araştırma, aygıt eldesinde yaşanan parasal zorluklar nedeniyle hayata geçememektedir. Orta/büyük bütçeli projelerde ise proje bütçelerinin büyük bölümü ölçüm aygıt sağlanması ve bakımına ayrılmakta, mevcut kaynağın büyük bölümünün ölçüm aygıtına ayrılması diğer ödenek kalemlerinde kesintilere neden olmakta ve dolayısıyla projelerin ayrıntılı arazi verisi toplama ve araştırma süresi üzerinde kısıtlayıcı bir etki yapmaktadır. Bu soruna önerilecek çözümlerin başında yerli üretimin öne çıkarılması gelmektedir. Bu tez çerçevesinde yerli üretim tanımı gerek ülkemizde gerekse yurt dışında üretilen elektronik devre ve bileşenlerin kullanımı ile amaca uygun ölçüm aygıtların eldesini tanımlamaktadır. Anılan tanımdan hareketle bu çalışmada, jeofizik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan doğru akım öz direnç (DAÖ) yöntemi düşünülerek bir ölçü aygıtı tasarımı ele alınmıştır. Bu kapsamda tez içerisinde sırasıyla jeofizik öz direnç aygıtlarının tarihsel gelişimi, öz direnç yönteminin genel kuramı, öz direnç aygıtının geliştirme aşamaları ve üretilen aygıt ile yapılan saha ölçüsü ve ticari bir öz direnç aygıtı ile ölçüm karşılaştırması sunulacaktır.

1.1. Tarihçe

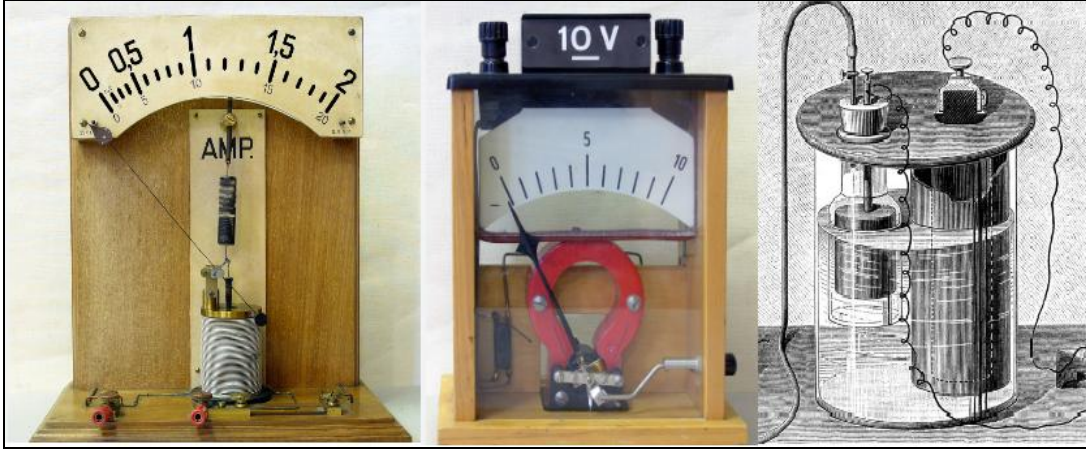
Conrad Schlumberger (1878-1936) ve Emile Henry Marcel Schlumberger (1884 - 1953) DAÖ yönteminin yer bilimlerinde kullanılmasına öncülük etmişlerdir. École des Mines de Paris'te profesör olan Conrad Schlumberger, 1912'de, cevher kayalarının elektrik iletkenliğini kullanarak çevredeki daha az iletken yerel kayalarından ayırmak için metal

cevheri yatakları arama düşüncesini ortaya atmıştır. İlk deneylerden biri için çeşitli kayaç parçaları ile doldurulmuş bir küvette ölçüm yapmıştır. Yaptıkları araştırmayı mali açıdan desteklemesi için 1919'da kardeşler ve babaları arasına bilimsel araştırmalarını desteklemek için bir anlaşma imzalanmıştır. Bu deneyler, maden arama için "Schlumberger dizilimi" olarak bilinen yüzeyden ölçüm düzeneğinin geliştirilmesine yol açmıştır (Allaud & Martin 1977). Daha sonraları Schlumberger kardeşlerin çalışmaları petrol aramalarında kuyu ölçümlerine (logging) kadar genişlemiştir.

Fretwell ve Stewart (1981), Swartz'ın (1937, 1939) yeraltı suyu araştırmalarında öncü olduğunu ve Hawaii Adaları'ndaki tuzlu su kütlelerindeki tatlı su içeren mercikleri bulmak için DAÖ yöntemini kullandığını bildirmiştir. Bu tür araştırmaların ana hedefleri, jeolojik yapıyı ortaya koyup, hidrojeolojik parametreleri kestirmektir. İzleyen yıllarda yöntemin kullanımı hızla yaygınlaşmış birçok alanda uygulanmıştır.

Ülkemizde, DAÖ yöntemi ile yapılan çalışmalar ise 1950'li yıllara kadar inmektedir. Özgün çalışmalara örnekler olarak TPAO'da 1967-70 arasında Cahit Çoruh AB/2=1000 m. açıklımlı ölçümler almış ve petrol arama yöntemlerine destek olarak kullanılmıştır. MTA'dan Hasan Metin Yenigün, 1980 öncesinde, üst katmanı yüksek sismik hızlı birim olan Kars platosunda sismik yöntem çalışmadığı için TPAO adına AB/2=8-10 km. açıklığına ulaşan bir çalışma yapmıştır (Ercan vd. 1987). Daha sonra 1982'de Erol Duvarcı ve Tuğrul Tokgöz, MTA- TPAO iş birliği çerçevesinde Mardin Derik -Diyarbakır Karacadağ Petrol arama projesinde AB/2 ~10 km açıklıkta çalışmalar yapmıştır. Akım kablolarını iki Unimog araç kullanarak serilmiştir (Duygu M. A. ve Tokgöz T. 2023 kişisel görüşme).

DAÖ yönteminin bulunduğu 1910'lu yıllardan günümüze kadar gelen zaman dönemi içerisinde DAÖ araştırmalarında basit yapıda ölçüm aygıtları kullanılmıştır. Dönemsel olarak düşünüldüğünde tam karşılığı olmamakla birlikte ölçü aygıtların olası görselleri Şekil 1'de sunulmuştur. Bu aygıtlar basit, analog türde olan, ampermetre, voltmetreden ve güç kaynağından oluşmaktaydı. Yere uygulanan gerilimi değiştirmek için bir adet ayarlı direnç kullanılmıştı.



Şekil 1. İlk özdirenç ölçümünde kullanılan bileşenler. Sağdan sola, analog ampermetre, analog voltmetre ve ilkel batarya (wikipedia ET Kasım 2022).

Teknolojinin gelişip, analogdan sayısal elektroniğe geçilmesiyle birlikte özellikle 1980'lerden sonra daha işlevsel ve hata payı daha düşük ölçüm aygıtları geliştirilmiştir.

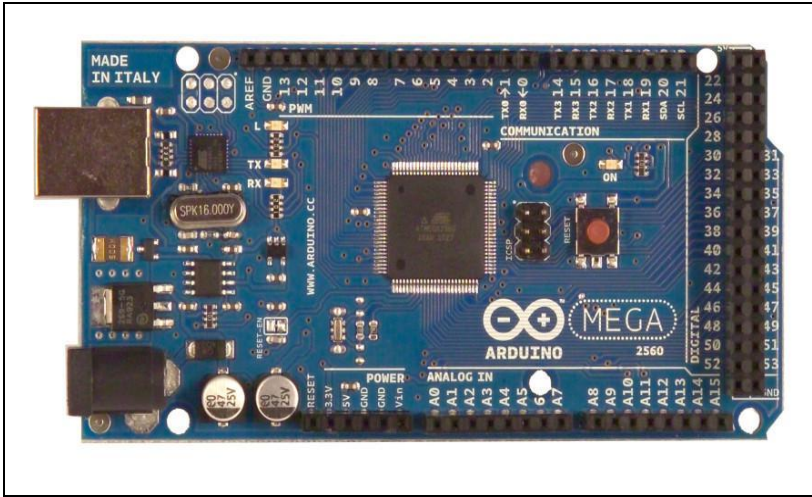
1.2. Önerilen Aygıt

Jeofizik-jeolojik araştırmalarda DAÖ yöntemiyle toplanan özdirenç verilerinin değerlendirilmesi ile yeraltının özdirenç değişimine bağlı bir görüntüsü elde edilir. Elde edilen görüntü yorumlanarak yeraltındaki jeolojik yapıların konum, şekil, derinlik, gibi özellikleri elde edilmeye çalışılır. Gerçeğe en yakın yeraltı yapısının elde edilmesi birçok girdiye bağlı olup bunların en önemlilerinden birisi, alandan elde edilen ölçüm verilerinin kalitesinin yüksek olmasıdır. Veri kalitesi ne kadar yüksek olursa, çeşitli veri işlem teknikleriyle işlenen veriler üzerinden oluşturulan yeraltı görüntüsü de gerçek yeraltı yapısına yakınsayacaktır. Veri kalitesinin artması, yer altı görüntüsünün gerçeğe yakınsaması noktasında önemli olan faktörlerden birisidir. Kaliteli veri toplanması sonucunda; araştırılan jeolojik yapının türü, derinliği ve şekli gerçeğe daha yakın biçimde elde edilir. Gerçeğe daha yakın görüntünün ortaya konması noktasında, alandan toplanan veriler ne kadar önemliyse, alandan toplanan verilerin güvenilirliğinde de ölçüm aygıtı son derece önemlidir. Ölçüm aygıtı, saha verilerini olabildiğince düşük bir hata payıyla ölçebilmeli ve ölçümlerde elde edilen verileri de kayıt edebilmelidir. Ölçümün doğruluğu ve kayıt edilebilirliği de ölçüm aygıtının fiyatı üzerinde ciddi etki yapmaktadır. Aygıtın

ölçüm doğruluğu ve kayıt kapasitesi arttıkça fiyatı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında geliştirilen ölçüm aygıtının ölçüm doğruluğu ve kayıt kapasitesinden ödün vermeden; fiyatının düşük tutulmasına çalışılmıştır.

Ölçüm aygıtının tasarım aşamasında üzerinde durulan en önemli iki nokta, aygıtı oluşturan bileşenlerin piyasadan kolaylıkla bulunabilen düşük bedelli ticari nitelikli parçalardan oluşması ve aygıtın sayısal elektronik üzerine bina edilmek suretiyle, tam yazılım denetimli olmasıdır. Bu amaçla kullanımı kolay donanım ve yazılıma dayalı açık kaynaklı bir elektronik platform olan geliştirme kartları kullanılmıştır. Kartlar sayısal herhangi bir girdiyi okuyabilir ve bunu bir çıktıya dönüştürebilir. Kart üzerindeki mikrodenetleyiciye bir dizi görev göndererek kart yapılacak işlem için yönetilebilir.

Piyasada hali hazırda çok farklı amaçlara hizmet eden çok sayıda geliştirme kartı mevcuttur. Çalışma kapsamında tasarımı yapılan ölçüm aygıtında kullanılmak üzere Arduino geliştirme kartı seçilmiştir. Arduino geliştirme kartının da işlemci hızı ve gücü, ROM (salt okunur bellek) bellek kapasitesi vs. özellikleri göz önüne alınarak, en iyi fiyat/performans özelliği gösteren Arduino Mega geliştirme kartı tercih edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Arduino Mega geliştirme kartı

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde kullanımı amaçlanan yöntem hakkında genel bilgiler verilecek ardından tez çalışmasına konu olan aygıt için önceki çalışmalar özetlenecektir. Jeofizik arama yöntemleri içinde yeryüzünün elektriksel özelliklerini doğru akım kullanarak araştırılan yöntemler, doğal ya da yapay kaynaklı olmasına göre iki ana başlıkta ele alınabilir. Doğal kaynaklı yöntemler doğal uçuşma (self potansiyel- DU); yapay kaynaklı yöntemler ise, DAÖ, zaman ortamı yapay uçuşma (Time Domain Induction Polarisation - TDIP) yöntemleridir.

Araştırılan hedef yapıya göre bir ya da birden fazla yöntem uygulamada kullanılabilir. Çalışma konusu DAÖ ölçüm aygıtı geliştirilmesi olduğundan, bu bölümde DAÖ ve konuyla ölçüm tekniği olarak bağlantısı olan DU yöntemleri kısaca ele alınacaktır.

2.1. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi

DAÖ yöntemi, yer içinin elektriksel özelliklerini kullanarak; yer içinin yatay ve düşey yönlü süreksizliklerinin araştırılmasında kullanılır (Kearey vd., 1984). Jeofizik araştırmaların en eski ve en çok kullanılan ölçüm yöntemlerinden biridir.

Yöntemin dayandığı doğadaki kayaçların özdirenç değişimlerine örnekler Tablo 1’ de verilmiştir. Kayaç dokusunun sık ya da seyrekliğine, tane büyüklüğüne, gözenekliliğine, gözenekler arası bağlantı ve suya doygunluk oranına, kayacın bulunduğu derinliğe, basınca, sıcaklığa, dolgu sıvısının tuzluluğuna, komşu kayaçların özdirenci vb. etkenlerine bağlı olarak değerler geniş bir aralıkta değişebilmektedir (Sabbağ, 2012).

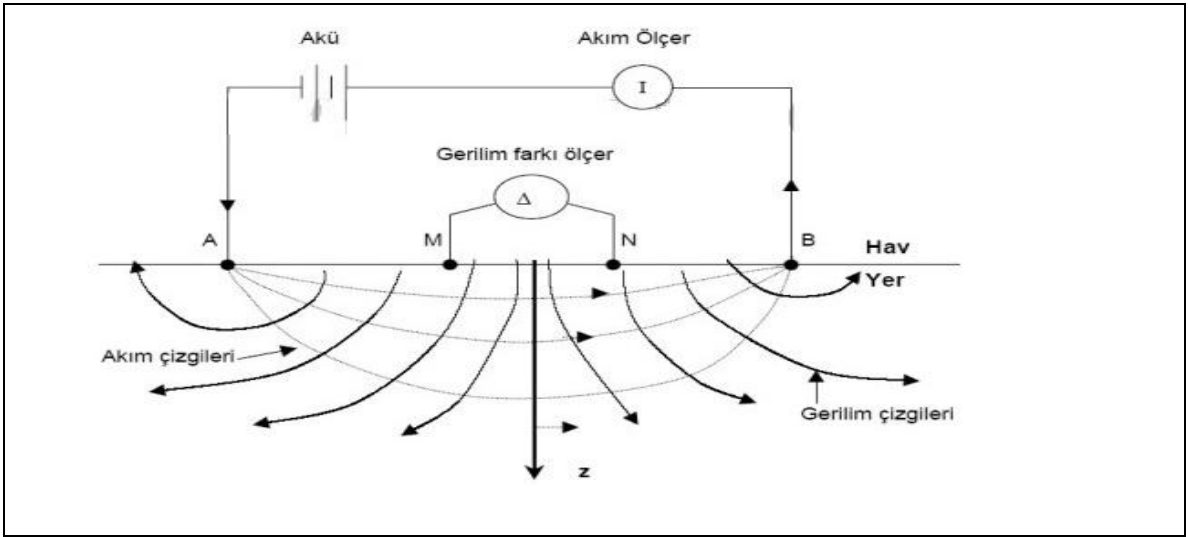
Tablo 1

Doğadaki bazı kayaçların özdirençleri (Çağlar, 1999)

Jeolojik Yapı	Özdirenç ($\Omega.m$)
Islak aşırı killi toprak	1-10
Islak aşırı siltli toprak ve siltli kil	<10
Islak siltli ve kumlu toprak	10-100
Silt ardalanmalı kum ve çakıl	<1000
Kaba kuru kum ve çakıl depozitleri	>1000
Çatlakları ıslak toprakla dolmuş çok kırıklı kayaç	100
Çatlakları kuru kumla dolmuş az çatlaklı kayaç	<1000
Masif ve sağlam olarak oluşmuş kayaç	>1000

DAÖ yöntemi jeofizik yöntemlerin içinde çoğuna göre basit, görece ucuz ve gerçekçi sonuçlar verebilmekte ve bu sebeple pek çok jeolojik sorunun çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır (Keçeli, 2009). Yöntem özdirenç değişimi sunan; ekonomik değeri, olan yeraltı suyu kaynakları (Rolia vd., 1977), maden yatakları ve jeotermal alanlar gibi doğal zenginliklerin aranmasında (Gupta vd., 1976), arkeolojik kalıntılar gibi kültürel mirasın hasarsız gün ışığına çıkarılmasında (Candansayar vd., 2001), çevre sorunlarında kirlenmenin yayılım alanları ve kirlenme kaynaklarının yerlerinin belirlenmesinde (Rajab vd.,2013), ve ayrıca hem akademik araştırmalarda hem de yerleşim yeri seçiminde önemli olan jeolojik birimlerin tanımlanması (Ulugergerli vd., 2006), kırık çatlak sistemlerinin belirlenmesi, heyelan bölgeleri vb. sorunların araştırılmasında (Monahan, 2013), yaygın olarak kullanılmaktadır.

DAÖ yönteminde, iki noktaya (A ve B) yerleştirilen akım elektrotları ile yere doğru akım verilir; farklı iki noktadaki (M ve N) gerilim elektrotları arasında yere verilen akımın etkisiyle oluşan gerilim farkını ölçerek yeraltındaki jeolojik yapıların özdirenç farklarının neden olduğu değişimler elde edilir (Şekil 3). Ölçülen değer, eğer MN aralığı AB aralığı ile karşılaştırıldığında çok küçükse elektrik alan; değilse gerilim farkı olarak kabul edilir. Özellikle ölçülen gerilim farkı çok küçük değerde olduğundan ölçüm aygıtlarının duyarlılıkları yüksek olmalıdır. Her iki durumda da ölçülen gerilim değerinin yere uygulanan akıma oranından bir direnç değeri elde edilir.



Şekil 3. Doğru akım özdirenç yöntemi ölçüm düzeni (Candansayar, 1997).

Ancak bu değer yer içindeki tüm özdirenç değişiminin bir sonucu olduğundan gerçekçi değildir. Ayrıca elektrot konumları ölçülen değerleri etkilediğinden geometrik katsayı ile çarpılarak düzeltilmelidir. Bu değer görünür özdirenç (GÖ) olarak adlandırılır.

2.2. Görünür Özdirenç

GÖ M ve N noktalarındaki gerilim elektrotları arasında ölçülen gerilim farkının, (ΔV) yer içine gönderdiğimiz akım değerine (I) bölünüp; Akım ve gerilim elektrot konumlarına bağlı elde edilen geometrik katsayı ile çarpılması sonucu hesaplanır,

$$\rho_a = K * (\Delta V/I) \quad (2.1)$$

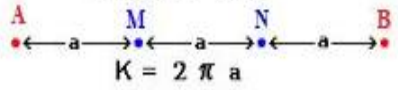
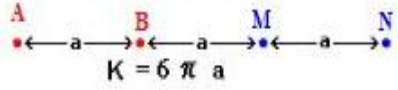
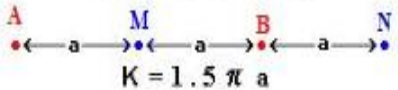
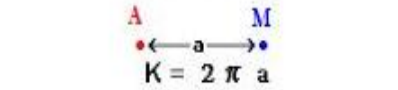
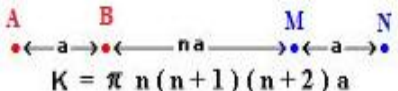
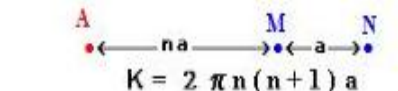
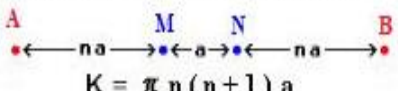
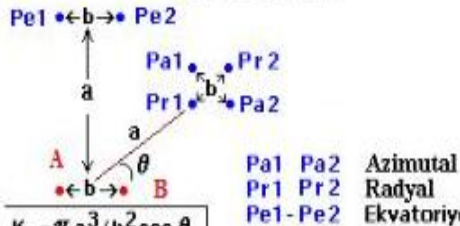
ρ_a değerinin birimi ohm.metre'dir ($\Omega.m$). Burada K değeri;

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (2.2)$$

bağıntısı ile elde edilir. Birimi metredir. K değeri geometrik faktör olarak tanımlanır ve elektrotlar arası uzaklıklara bağlı olarak üstel olarak artar. Bunun sonucu olarak, geniş açılımlarda gerilim farkı ve akımın ölçümünde yapılacak hatalar abartılarak hatalı GÖ değerleri elde edilecektir.

2.2.1 Elektrot Dizilimleri

DAÖ yönteminde, yapılacak araştırmanın amacına göre farklı elektrot dizilimleri kullanılır (Şekil 2.3). Ölçüm ile düşey ya da yanal süreksizlikler; sığ ya da derin yapılar; maden ya da yer altı su araması gibi farklı amaçlar için Schlumberger, Wenner, dipol-dipol, pol-dipol, gradiyent ya da pol-pol olarak adlandırılan dizilimler kullanılabilir (Keçeli, 2009). AB akım ve MN gerilim elektrotları, dizilim türüne göre konumlandırılmaktadır. Varsayımsal olarak Schlumberger ve dipol kullanan dizilimlerde ölçülen değer gerilim farkı olsa da elektrik alanı temsil etmektedir. Bu amaçla AB/MN oranı olabildiğince büyük seçilir. Bu nedenle ölçülen gerilim farkı üzerindeki gürültü etkisi de daha yüksek olacaktır. AB akım ve MN potansiyel elektrotları, dizilim tipine göre farklı olarak yerleştirilmektedir. Buna bağlı olarak da her dizilimin kendine has geometrik faktör olan k değeri vardır. Farklı dizilim türlerine göre değişen K değerleri Şekil 4'te sunulmuştur.

<p style="text-align: center;">Wenner Alfa</p>  <p style="text-align: center;">$K = 2 \pi a$</p>	<p style="text-align: center;">Wenner Beta</p>  <p style="text-align: center;">$K = 6 \pi a$</p>
<p style="text-align: center;">Wenner Gamma</p>  <p style="text-align: center;">$K = 1.5 \pi a$</p>	<p style="text-align: center;">Pol - Pol</p>  <p style="text-align: center;">$K = 2 \pi a$</p>
<p style="text-align: center;">Dipol - Dipol</p>  <p style="text-align: center;">$K = \pi n(n+1)(n+2) a$</p>	<p style="text-align: center;">Pol - Dipol</p>  <p style="text-align: center;">$K = 2 \pi n(n+1) a$</p>
<p style="text-align: center;">Wenner - Schlumberger</p>  <p style="text-align: center;">$K = \pi n(n+1) a$</p>	<p style="text-align: center;">Dipol Dizilimler</p>  <p style="text-align: center;"> $K_r = \pi a^3 / b^2 \cos \theta$ $K_e = 2 \pi a^3 / b^2$ $K_a = 2 \pi a^3 / b^2 \sin \theta$ </p> <p style="text-align: right;"> Pa1 Pa2 Azimutal Pr1 Pr2 Radyal Pe1-Pe2 Ekvatoriyel </p>
<p>NOT: K= dizilim katsayısı AB = akım MN = gerilim a = aralık ; n = tam sayı=1,2,3</p>	

Şekil 4. Elektrot dizimleri ve dizilim katsayıları (Loke, 2001).

2.3. Araştırma Derinliği

DAÖ yönteminde araştırma derinliğini etkileyen birden fazla koşul vardır. Bunlar; jeolojik yapıların öz dirençleri, AB ile MN elektrotları arası mesafe ile aralıkları ve ölçüm tekniğinin türü olarak özetlenebilir. AB akım elektrotları arasında mesafe arttıkça, yer içinde dolaşan akım çizgilerinin yer içine nüfuz etmesi de artacaktır.

Uygulamada yere uygulanan akımın (>~100 mA) yüzlerce metre uzakta oluşturacağı mV ve altı düzeyde gerilim farkının ölçülmesi zorunludur. Aygıt tasarımı açısından yer içinde bulunan doğal ve yapay kaynaklı gürültüye rağmen bu değer in ölçülebilmesi aşılması gereken en önemli sorundur.

2.4. Doğal Uçlaşma Yöntemi

Doğal uçlaşma (DU) yöntemi, jeofizik aramalarda kullanılan ve doğal kaynak kullanan jeofiziğin en eski arama yöntemlerinden birisidir. Yöntem, Robert Fox'un Cornwall'daki yeraltı bakır cevheri uzantılarını bulmak amacıyla dedektör olarak bakır levha elektrotlar ve bir telli galvanometre kullandığı 1830 yılına kadar gider. (Telford, 1990) Yer içinde oluşan gerilim farkları 1 ve 2 milivolt mertebelerinde olabileceği gibi; metalik maden sahalarında 1000 mV seviyelerine kadar da çıkabilir (Parasnis, 1962). DU yönteminde ölçülen değerler uzun süreli gözlemlerde değişkenlik gösterse de kısa süreli ölçümlerde sabit değerlerde kalır. Bu nedenle SP değerinin genelde zamanla değişmediği kabul edilir

DAÖ açısından DU değeri ölçümü bozan bir etkidir ve ölçümden çıkarılması gerekir. Sahada bir nokta için yapılan öz direnç ölçümünde MN gerilim elektrotları tarafından ölçülen gerilim farkı, o noktadaki DU ve AB akım elektrotları ile yer içine uygulanan akımın sonucunda oluşan gerilimin farkının toplamıdır. Burada DU kaynaklı gerilim farkı, DAÖ ölçümü için “gürültü” olarak tanımlanır ve bu etki DAÖ ölçümünde bozucu etki yapar. Bu etkiden kaçınma adına modern öz direnç ölçüm aygıtları ya alternatif akım ya da çok düşük frekanslı (0.5 Hz.) kare dalga kullanır. Aygıt tasarımı açısından vericinin yere ‘+’ ve ‘-’ genlikli değerlerden oluşan kare dalga biçimli akım uygulaması ve ölçülen gerilimin değerlerinin ortalamasının alınması DU etkisini yok edecek bir yöntemdir.

Aygıt tasarımı açısından vericinin yere ‘+’ ve ‘-’ genlikli değerlerden oluşan kare dalga biçimli akım uygulaması ve ölçülen gerilimin kare dalga olarak algılanıp ortalamasının alınması DU etkisini yok edecek bir yöntemdir.

2.5. Önceki Çalışmalar

Yurt dışında üretilen ölçüm aygıtlarının butik üretim biçiminde sayılı olarak üretilmesi, ülkemizdeki yerli tasarım aygıtların yok denecek kadar azlığı; konu hakkında

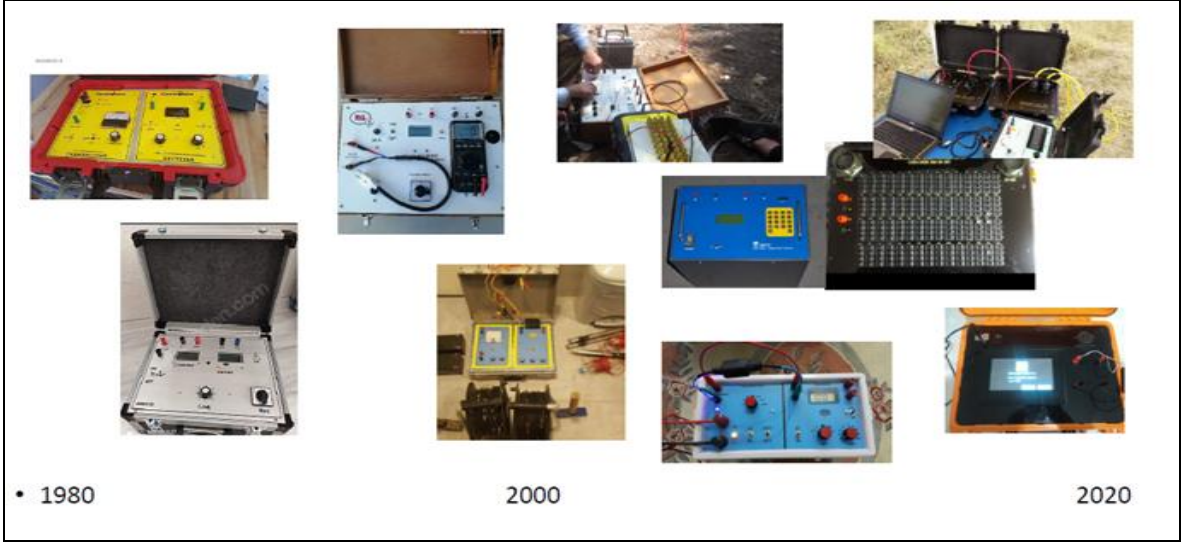
yapılan akademik araştırma sayılarına da yansımıştır. Konuyu ele alan ve gerek yurt içinde gerekse yurt dışında yapılan akademik araştırma sayısı da sınırlıdır. Çalışma kapsamında ele alınan konunun; ticari içerikli ve yüksek maliyetli Ar-Ge'ye dayanması, patent/tasarım vs. sınai mülkiyet haklarının da etkisiyle; yapılan çalışmalar kamuoyuna sunulmamaktadır. Konu hakkında yapılan çalışmalar genellikle şirketlerin iç bünyesinde kalmakta ve ticari sır olarak saklanmaktadır. Bu nedenle literatür taraması sınırlı kalmıştır.

2.5.1. Ülkemizde Üretilen Ticari Aygıtlar

Ölçüm aygıtlarının özel üretim kategorisinde yer alması nedeniyle üretici firmalar düşük adetli üretimler yapmakta bu nedenle aygıt fiyatları da çok yüksek olmaktadır. Yurt dışında özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ele alındığında, jeofizik araştırmalar, ülkemizde olduğu gibi aygıt fiyatlarının yüksek olması nedeniyle sekteye uğramaktadır. Bu nedenle düşük fiyatlı ölçüm aygıtı geliştirme çalışmaları yurt dışındaki özellikle de az gelişmiş/gelişmekte olan ülkelerde görülmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise (örn. ABD, Almanya, Japonya vs..) araştırma bütçelerinin yüksek olması nedeniyle ölçüm aygıtı temininde sorun yaşanmamaktadır. Bu da kurumları ve kişisel girişimcileri kendi ölçüm aygıtlarını tasarlamaya yöneltmiştir.

Ülkemizde DAÖ yöntemine yönelik ilk yerli aygıtlar devlet kurumlarının gereksinimi doğrultusunda üretilmiştir. Bu aygıtların yapımı 1960'li yılların sonlarında başlamıştır. İlk öz direnç aygıtı 1967-68 yılları arasında bozuk bir yapay uçlaşma (IP) aygıtının tamiri için yapılan çalışmalar sırasında üretilmiştir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Jeofizik Şubesi jeofizikçilerinden Akın Gökşık tarafından yapılan bu ilk aygıt, birçok çalışmada kullanılmıştır (Duygu M.A ve Tokgöz T. 2023 kişisel görüşmeler). Önce MTA daha sonra DSİ tarafından üretilen benzer aygıtlar ilerleyen yıllarda piyasada da kullanılmaya başlamıştır (Şekil 5).

DAÖ yöntemi alınan başarılı sonuçlar ile izleyen yıllarda da yeraltı kaynaklarının aranmasında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.



Şekil 5. 1980 -2022 yılları arasında ülkemizde üretilen özdirenç aygıtlarına örnekler.

Dört elektrot özdirenç aygıtları olarak tasarlanan bu aygıtlar kullandıkları akım türü göz önüne alındığında

- Doğru akım (DA) ile çalışan aygıtlar,
- Kare dalga (0.5 Hz.) ile çalışanlar.

Olarak sınıflanabilir. Önceleri derin hedefler için bir jeneratör tarafından desteklenen aygıtlar daha sonraları sığ araştırmalarda da kullanılmaya başlanmış ve araç aküleri jeneratörlerin yerini almıştır. DA ile yapılan çalışmalarda uçlaşmayan elektrot kullanma zorunluluğu nedeniyle uygulamada kare dalga kaynak kullanımı yaygınlaşmış ve ölçümler daha hızlı alınabilir hale gelmiştir. 2000’li yıllardan sonra çok elektrotlu aygıtlar da pazarda görülmeye başlamıştır. İlk çok elektrotlu aygıtlar, bir anahtar kutusuna bağlı bir dizi elektrotun anahtarlar yardımıyla 4-elektrot aygıtlara bağlanması ile çalışmaktaydı. Güncel olarak bu işlemi elektronik devre ve röleler ile yapan yerli aygıtlar da pazara ulaşmıştır. Anılan tüm aygıtlar genelde amaca yönelik özel tasarımlardır. Kullanım süreçlerinde kullanıcıların geri bildirimlerine göre güncellenmektedir.

2.5.2. Yayınlanmış Tasarımlar

Bu kapsamda yapılan literatür taramalarında, kendin yap şeklinde geliştirilen farklı amaçlara yönelik birkaç adet ölçüm aygıtına dair akademik çalışmalara ulaşılmıştır (Awotoye ve Selemo 2005, Sarik ve Kymissis 2010, Clark ve Page 2011, D'Ausilio 2012, Çakır ve Akpancar 2015, Opperman ve Günther 2017, Zhang vd. 2017, Florsch ve Muhlach 2017, Akça vd., 2018, Beddows ve Malon 2018, Fatahillah ve Nuryani 2019, Liu vd., 2019). Bu çalışmaların bir bölümü jeofizik ölçüm aygıtı tasarımını ele almakta ve bu çalışmalar analog, analog-sayısal ya da tamamen sayısal elektronik tabanlı olmalarına göre sınıflandırılabilir. Analog-sayısal (Awotoye ve Selemo 2005, Clark ve Page 2011), tamamen sayısal elektronik tabanlı (Çakır ve Akpancar 2015, Akça vd., 2018, Fatahillah ve Nuryani 2019) çalışmalar bu bölümde ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

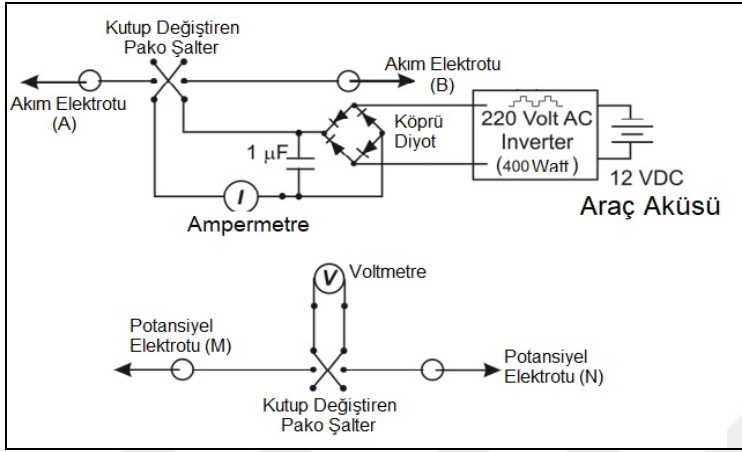
Analog-sayısal olan ölçüm aygıtları, verici modül olarak analog elektronik; alıcı modül olarak genellikle sayısal elektronik ürünü olan multimetreleri kullanmaktadır. Verici modül ile akım ölçmek için kullanılan ampermetreler de, sayısal elektronik temelli multimetrelerdir.

İlksel aygıtlar hem akım hem de gerilim ölçülerini analog göstergeler ile gerçekleştirmektedir.

İkinci nesil aygıtlar, verici birim olarak bir analog gösterge; alıcı birim olarak ise sayısal elektronik ürünü olan milivoltmetre kullanmaktadır. İzleyen süreçte hem verici birim hem gerilim ölçen birim sayısal olarak tasarlanmıştır.

Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda, düşük fiyatlı özdirenç ölçüm aygıtı tasarım ve geliştirilmesi konusundaki örnek çalışmalar Awotoye ve Selemo (2005) "Sığ Araştırma İçin Bir Özdirenç Ölçer Tasarımı ve Yapımı" isimli çalışma ile Clark ve Page (2011) tarafından yapılan "Gelişmekte Olan Ülkelerde Yeraltı Suyu Araştırmalarını Destekleyen Ucuz Jeofizik Enstrümanlar" isimli çalışmalardır. Bu çalışmalarda

araştırmacılar, analog sistemlerin kullanımı önermişlerdir. Clark ve Page (2011) tarafından önerilen ölçüm aygıtına ait tasarım şekil 6'da sunulmuştur.



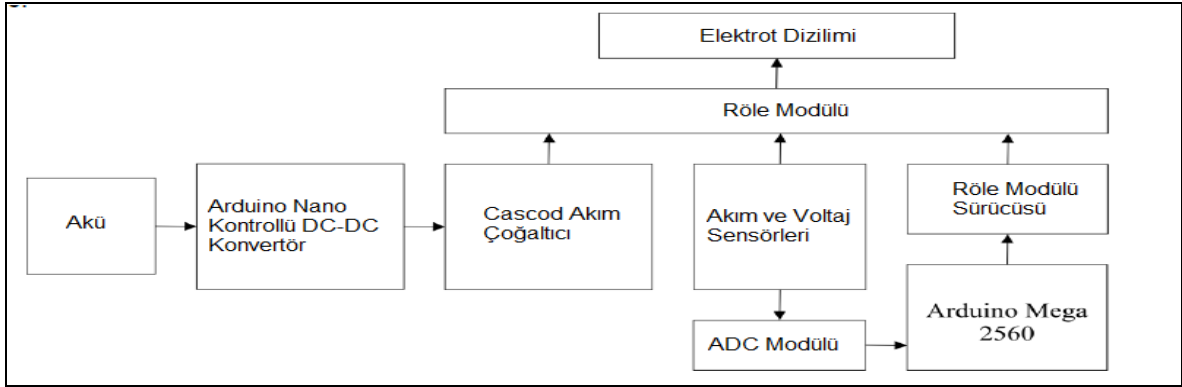
Şekil 6. Analog Ölçüm Aygıtı Tasarım Şeması (Clark ve Page, 2011).

Anılan çalışmalarda önerilen ölçüm aygıtları kendin yap tarzında bir aygıtlar olup, piyasada hali hazırda kolaylıkla temin edilebilen ve ucuz elektronik parçalar kullanılarak geliştirilmiştir. Aygıtlarda herhangi bir yazılım kontrolü ya da saha verilerini kullanarak hesaplama yapma ve hesaplanan verileri kaydetme özelliği bulunmamaktadır. Ölçüm aygıtı yapımında piyasada kolaylıkla tedarik edilebilen ticari ürünler kullanılarak, aygıt fiyatı çok düşük tutulmuştur. Clark ve Page (2011) tarafından geliştirilen aygıtla sahada ölçüm çalışmaları yapılmış ilgili sonuçlar yayınlarında sunulmuştur. Anılan saha çalışmalarında kullanılan aygıtta ait görsel şekil 7'de verilmiştir.



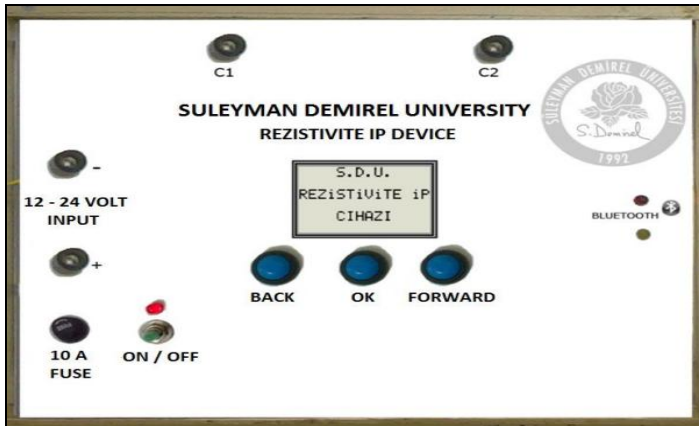
Şekil 7. Clark ve Page (2011) tarafından tasarlanan analog ölçüm aygıtı.

Bu çalışmalar kendi alanlarında ilk çalışmalar olması nedeniyle önemlidir. Daha sonra benzer konuda yapılan çalışmalar; bu iki çalışmayı örnek almıştır. Sayısal elektroniği baz alan bir tasarım Fatahillah ve Nuryani (2019) tarafından arduino mega kartı kullanarak çok elektrotlu bir ölçüm aygıtı olarak tasarlanmıştır. Tasarıma ait şema şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. Fatahillah ve Nuryani (2019) tarafından tasarlanan öz direnç ölçüm aygıtı.

Ülkemizde öz direnç ölçüm aygıtı geliştirme konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, akademik çalışma aşamasından üretime geçmiş en önemli çalışma Akpancar (2012)’in çalışmasıdır. Çalışma kapsamında öz direnç ve TDIP ölçümleri yapabilen bir aygıt tasarımı yapılmıştır (Akpancar 2012, Çakır ve Akpancar 2015). Bu aygıt öz direnç yanında TDIP gibi yeni bir değeri ölçmesi açısından öne çıkmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Çakır ve Akpancar (2015) tarafından üretilen öz direnç ölçüm aygıtı arayüzü.

Ülkemizde yapılan bir diğer çalışma Akça vd. (2018) tarafından yapılan çalışma olup; çok kanallı ve çok elektrotlu bir sistem geliştirilmiştir. Bu çalışma, ülkemizde geliştirilen ve elektronik denetimli çok kanallı ve çok elektrotlu ölçüm aygıt araştırmalarının ilk örneğini oluşturmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Akça vd. (2018) tarafından tasarlanan kablosuz alıcı modülü prototipleri.

Literatür taramasında Arduino geliştirme kartı kullanarak geliştirilen ve kartların farklı amaçlarla kullanıldığı yayınlar da yapılmaya başlamıştır. (örn, Sarik ve Kymissis 2010, Gertz ve Di Justo 2012, D'Ausilio 2012, Florsch ve Muhlach 2017, Zhang vd. 2017, Opperman ve Günther 2017, Beddows ve Mallon 2018, Liu vd. 2019.)

Sarik ve Kymissis (2010) laboratuvar araştırmaları için Arduino tabanlı bir ölçüm aygıtı geliştirmişlerdir. Gertz ve Di Justo (2012) Arduino kullanarak ölçüm aygıtı tasarımı yapılması ve tasarlanan aygıtın yazılımın nasıl hazırlanacağı anlatılmıştır. D'Ausilio (2012) düşük bedelli çok amaçlı laboratuvar ekipmanı geliştirmiştir. Florsch ve Muhlach (2017) hazır kartlar ile yapılabilecek birçok ölçüm aygıtı için örnekleri sunmuştur. Beddows ve Mallon (2018) tarafından Arduino nano tabanlı sualtı veri kayıtcısı tasarlanmıştır. Zhang vd. (2017) çok kanallı geçici elektromanyetik alıcıları için tam dalga formu gerilim ve akım kaydeden bir aygıt geliştirmişlerdir. Opperman ve Günther (2017) jeofizik araştırmalarda kullanılan, yazılım denetimli, GSM tabanlı uzaktan kontrol

edilebilen bir veri kayıtcısı geliştirmişlerdir. Florsch ve Muhlach (2017) hazır kartlar ile yapılabilecek birçok ölçüm aygıtı için örnekleri sunmuştur. Beddows ve Mallon (2018) tarafından Arduino nano tabanlı sualtı veri kayıtcısı tasarlanmıştır. Bunlara ek olarak Liu vd. (2019) yüzey nükleer manyetik rezonans yeraltı suyu araştırmaları için çok kanallı kablosuz alıcı sistemi geliştirmişlerdir.

Bu tez kapsamında da önceki çalışmalarına benzer olarak aygıtın üretimi ve alan uygulaması yapılmıştır. Diğer aygıtlar ile karşılaştırıldığında;

- Özel tasarım kartlar yerine piyasada buluna bilinen geliştirme kartları kullanılmıştır,
- Değişikliğe ve geliştirmeye uygun açık kaynak bir yazılım hazırlanmıştır,
- Basit yapısı ile yüksek maliyet ulaşmadan kullanılabilir bir aygıt tasarlanmıştır.

Tasarımla ilgili ayrıntılar izleyen bölümlerde sunulacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Geliştirme Kartları

Geliştirme kartları, kullanımı kolay donanım ve yazılıma dayalı açık kaynaklı elektronik devreler bütünüdür. Geliştirme kartları girdileri okuyabilir ve bunu bir çıktıya dönüştürebilir. Kart üzerindeki mikrodenetleyiciye bir dizi görev göndererek kartın yapacağı işlemler denetlenebilir. Bunu yapmak için özgün bir programlama dili ve işlem tabanlı yazılım kullanılır (Delebe, 2016).

Mekanik, elektromekanik ve elektronik sistemlerin veya bunların bileşeni olan robotların kontrolü için kullanılabilen, çeşitli fiziksel boyutlarda mini bir kart şeklinde elektronik geliştirme kartları olarak piyasada bulunabilmektedir. Kart türlerine göre farklılık göstermekle beraber kart ile bilgisayar arasındaki bağlantı için genellikle USB iletişim birimi kullanılır. Dâhili Wi-Fi veya bluetooth iletişim modülleri olan çeşitleri de bulunmaktadır. 2022 yılı için Arduino MEGA, UNO, Raspberry Pi, Beagle Bone robotik uygulamalar için yaygın olarak kullanılan kartlardan bazılarıdır. Geliştirme Kartları, kendine özgü kolay blok veya metin tabanlı programlama dilleri yanında C/C++, Python gibi yüksek seviyeli dillerle de programlanabilmektedir.

Geliştirme kartları farklı tür ve özelliklerde olmakla beraber örneğin Rasperry Pi kartı, neredeyse bilgisayar ana kartı özelliğinde olup; HD görüntü çıkışını desteklemektedir. Bu da maliyet açısından, fiyatı artırıcı bir etki yapmaktadır. İşlemci hızı ve işlem kapasitesi, ROM bellek boyutu, desteklediği çevre birimleri ve fiyat gibi temel özellikler göz önüne alınarak bir araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucunda Arduino geliştirme kartı uygun bulunmuş, Arduino geliştirme kartının da işlemci hızı ve gücü, rom

bellek kapasitesi vs. özellikleri göz önüne alınarak, en iyi fiyat/performans özelliği gösteren Arduino Mega geliştirme kartı tercih edilmiştir.

3.1.2. Arduino Geliştirme Kartları

Arduino geliştirme kartları 2005 yılında, Hernando Barragán, Massimo Banzi ve David Cuartielles'in çalışmalarına dayanarak, İtalya, Ivrea'daki Interaction Design Institute Ivrea'da geliştirilmiştir. Daha sonra Gianluca Martino ve Tom Igoe projeye katılmıştır ve bu beş kişiden oluşan takım, Arduino'nun orijinal kurucuları olarak bilinmektedir (Hughes, 2016). Arduino'nun geliştirilme amacı, etkileşimli sanat tasarımı projelerinde çalışan öğrenci ve sanatçıların kullanımı için kolay programlanabilir, çeşitli sistemlere (röleler, motorlar ve sensörler vb.) kolaylıkla bağlanabilen, açık kaynak kodlu geliştirme kartının tasarlanmasıdır. Özellikle öğrenci ve araştırmacıların çok fazla paraları olmadığı için, pahalı sistemlere erişim problemleri yaşamalarıydı. Arduino'nun geliştirme amaçlarından bir diğeri de geliştirme kartının piyasada bulunan emsallerinde çok daha ucuz ve erişilebilir olmasıdır.

Arduino tasarlanırken, Atmel'in 8 bitlik mikrodenetleyici entegrelerinden oluşan AVR ailesi seçildi ve kullanımı kolay ve çok sayıda bağlantıya sahip bağımsız bir devre kartı ortaya çıktı. Arduino kartların tarihçesi tablo 2'te sunulmuştur.

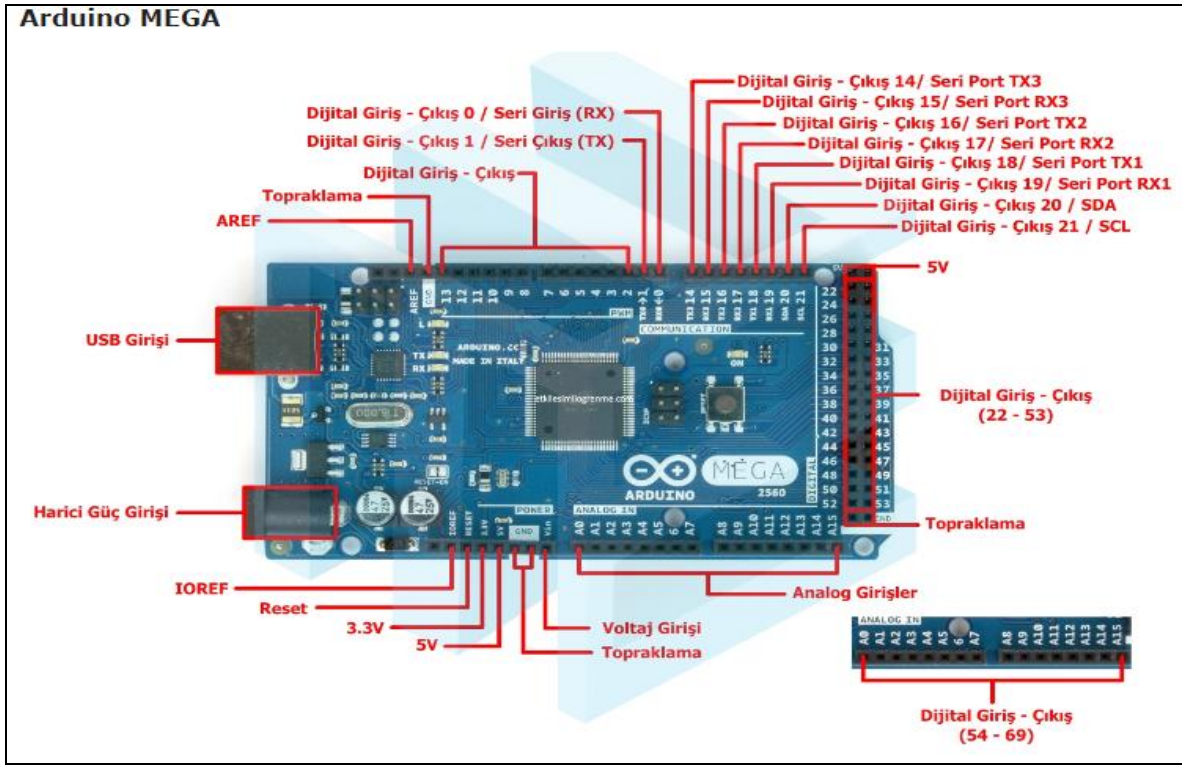
Tablo 2

Arduino kartlarının 2010-2013 yılları arası tarihçesi.

Kart Adı	Yılı	Mikrokontrolcü	Kart Adı	Yılı	Mikrokontrolcü
Diecimila	2007	ATmega168V	Mega 2560	2010	ATmega2560
LilyPad	2007	Atmega 168V/328V	Uno	2010	ATmega328P
Nano	2008	ATmega328/168	Ethernet	2011	ATmega328
Mini	2008	ATmega168	Mega ADK	2011	ATmega2560
Mini Pro	2008	ATmega328	Leonardo	2012	ATmega32U4
Duemilanove	2008	ATmega168/328	Esplora	2012	ATmega32U4

Mega	2009	ATmega1280	Micro	2012	ATmega32U4
Fio	2010	ATmega328P	Yún	2013	ATmega32U4

Çalışma kapsamında kullanılan geliştirme kartı, Atmega 2560 tabanlı bir mikrodenetleyici olan Mega 2560 kartıdır. Mega 2560, diğer Arduino kartlara göre daha fazla bellek alanı ve daha fazla sayıda giriş-çıkış pinine sahiptir. (Delebe, 2016) Mega'yı, diğer Arduino kartlardan öne çıkaran özelliği, anakart üzerinde yer alan 54 dijital giriş-çıkış pini ve 16 analog pini olmasıdır. (Şekil 11)



Şekil 11. Arduino Mega pinleri ve özellikleri (URL1).

Arduino Mega 2560'nın teknik özellikleri tablo 3'te sunulmuştur. Arduino Mega geliştirme kartı, çalışma kapsamında geliştirilen ölçüm aygıtının ana kartıdır. Hem verici hem de alıcı modülleri ve çevre birimi, tek bir anakarttan kontrol edilecektir. Bütün aygıtın tek bir karttan kontrolü; alıcı-verici modüller arasında eşgüdümü arttırmakta, aygıt yazılımının hazırlanmasını kolaylaştırmakta ve maliyet açısından büyük üstünlük sağlamaktadır.

Tablo 3

Arduino Mega 2560 teknik özellikleri

Mikrodenetleyici	ATMEGA 2560
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi	7-12V
Dijital G/Ç Pinleri	54
Analog Giriş Pinleri	16
G/Ç Pin başına DC Akım	40 mA
Flash Hafıza	256 KB
Çalışma Frekansı	16 MHz

3.2. Doğru Akım Özdirenç Ölçüm Aygıtı Tasarımı

Geleneksel olarak DAÖ ölçüm aygıtı; verici ve alıcı birim(modül) olarak tanımlanan iki ayrı ana modülden oluşmaktadır (Telford vd., 1990). Bu iki ana modüle bağlı alt modül ve modüller de mevcuttur (Kayıt birimi, çevre birimi vs. gibi). Modüller, farklı elektronik devre elemanlarından oluşmaktadır.

Bu çalışmada da ölçüm aygıtı, modern ölçüm aygıtlarında olduğu gibi; alıcı ve verici modül ile kayıt ve çevre biriminden oluşması planlanmıştır. Bu doğrultuda tasarım akış şeması oluşturulmuş ve tasarım çalışmaları bu şemaya uygun biçimde gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). Akış şemasındaki herhangi bir adımda bir sorunla karşılaşılması durumunda bir önceki adıma geri dönülerek, işlem adımının tekrar gözden geçirilmesi ve ardından da bir sonraki adıma devam edilmesi planlanmıştır. Aygıtın genel tasarımı ve modüllerin ayrı ayrı tasarlanmasında bu akış şemasına göre hareket edilmiştir. Modüllerin detay tasarımlarına ait detaylı açıklamalar ise ileriki bölümlerde sunulmuştur.

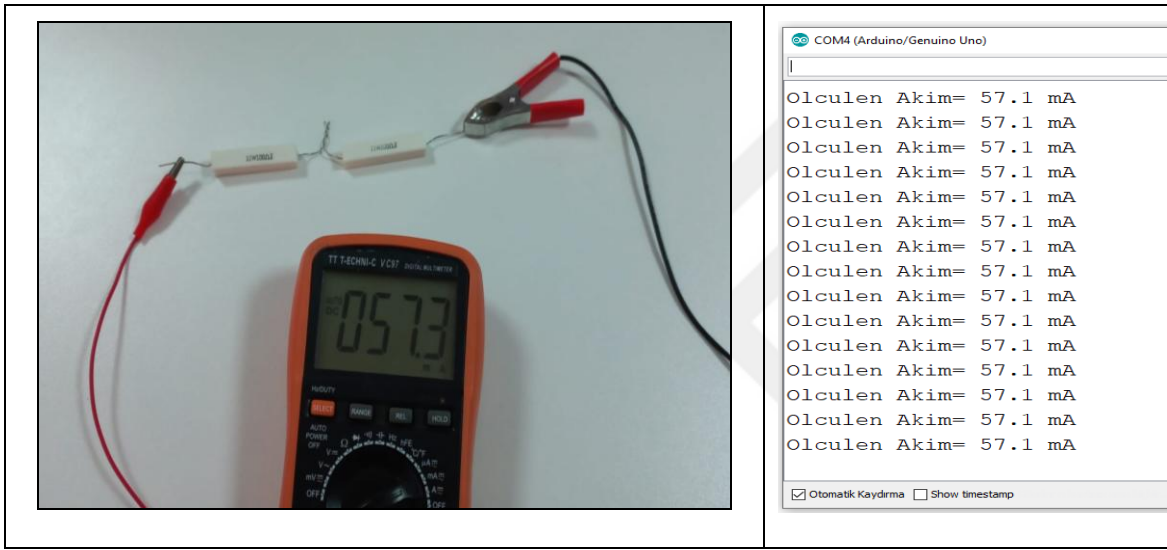
Aygıt tasarımının birinci aşamasında isterler belirlenmiştir. Bu aşamada modüllerde kullanılacak elektronik devre elemanlarının seçimi yapılmıştır. Seçim aşamasında; bazı koşullara göre seçimler yapılmıştır. Bu koşullar; elektronik devre elemanlarının piyasadan kolaylıkla tedarik edilebilen, muadillerine göre daha ucuz fiyata sahip olması, Arduino ile uyumlu çalışabilmesi ve açık kaynak kodlarına sahip olmasıdır. Bu koşullara uyan devre elemanları tedarik edilerek birbirleriyle olan çalışma uyumları denetlenmiştir. Devre elemanlarının birbirleriyle ve Arduino ile uyumlu çalıştığı gözlenmiştir. Böylelikle aygıtın ön tasarım çalışmalarına başlanmıştır.



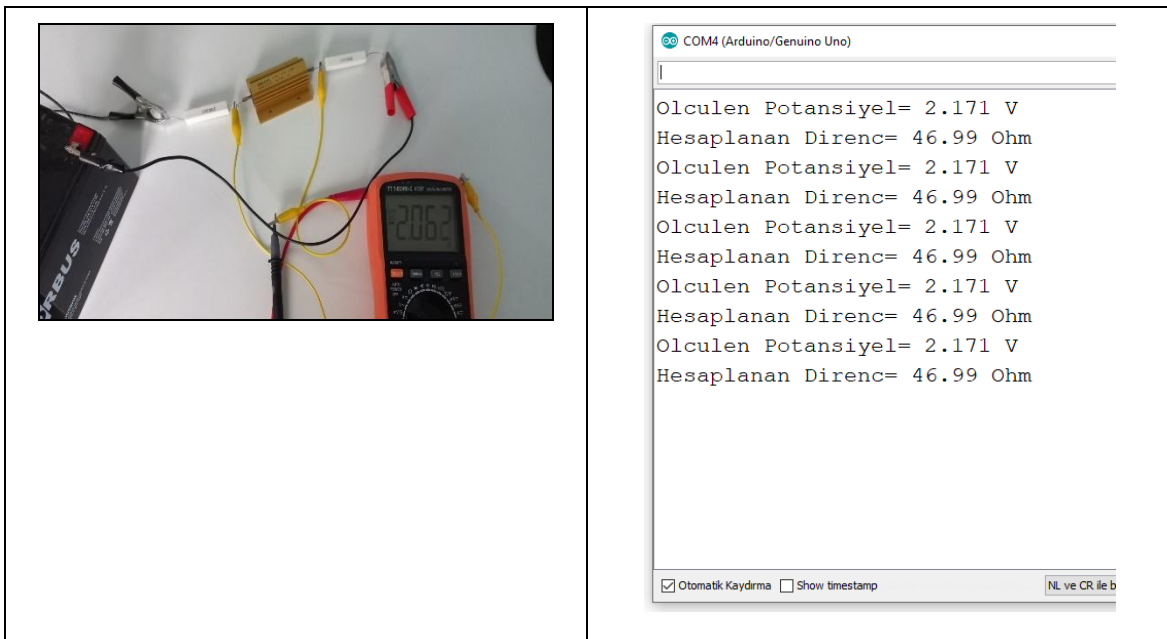
Şekil 12. Aygıt Tasarımı İş Akış Şeması

Ön tasarım işleminin tamamlanmasına ardından, ön tasarımı yapılan aygıtla laboratuvar ortamında taş dirençlerle oluşturulan yer modeli üzerinde denemeler yapılmıştır. Direnç değerleri değiştirilerek farklı yeraltı yapılarına yönelik ayrı ayrı yer modelleri oluşturularak; bu modeller üzerinde çok sayıda ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerde akım ve potansiyel değerleri multimetre ve çalışma kapsamında geliştirilen aygıtla okunarak; değerler doğrulanmıştır (Şekil 13). Akım ölçümlerinde; multimetre ile

57.3 mA olarak ölçülen akım değeri aygıtla yapılan ölçümlerde 57.1 mA olarak ölçülmüştür. Çok düşük bir hata payı ile ölçüm tamamlanmıştır. Potansiyel ölçümlerin de ise seri olarak bağlanan üç dirençten oluşturulan yer modelinde ortada bulunan 47 Ohm değere sahip direnç üzerindeki gerilim düşümünden yapılan hesaplamalarda direnç değeri 46.99 Ohm olarak yüksek doğrulukla tespit edilmiştir (Şekil 14). Hesaplanan ve ölçülen değerlerin uyumlu olması üzerine, denemelerde aygıttan beklenen ölçüm yetkinliği yeterli görülmüş ve ölçekli yer modelindeki denemelere geçilmiştir.

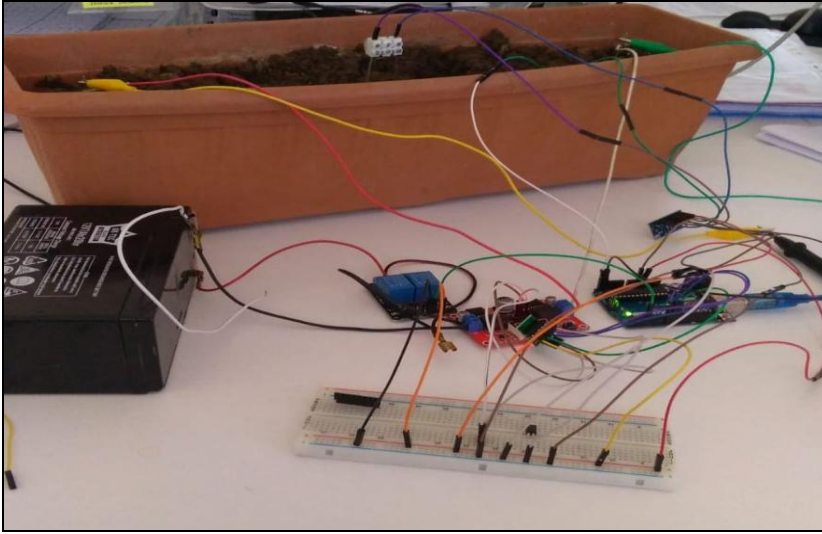


Şekil 13. Taş dirençlerle hazırlanan yer modeli akım değerinin ölçülmesi.



Şekil 14. Taş dirençlerle hazırlanan her modeli gerilim değerinin ölçülmesi.

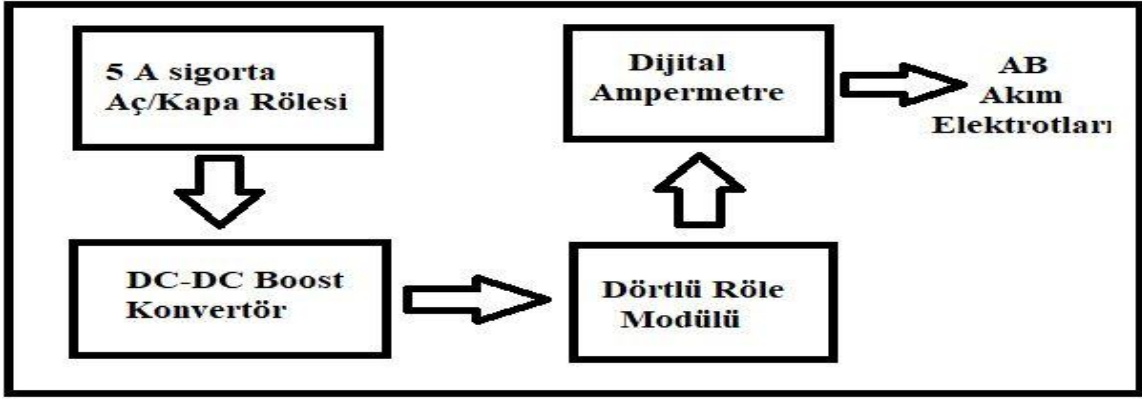
Ölçekli yer modelinde (Şekil 17) yapılan çalışmalar sonucunda, kritik tasarım aşamasına geçilerek, ölçüm aygıtı ile saha denemeleri yapılmıştır. Saha denemelerine ait veriler, sonuç bölümünde sunulmuştur. Saha denemelerinin de uygun görülmesiyle nihai aygıt üretilmiştir. Ölçüm aygıtında kullanılan elektronik devre elemanlarına ait bağlantı şemaları Ekler bölümünde sunulmuştur.



Şekil 15. Ölçekli yer modeli ile yapılan ölçüm denemeleri.

3.2.1. Verici Modül Tasarımı

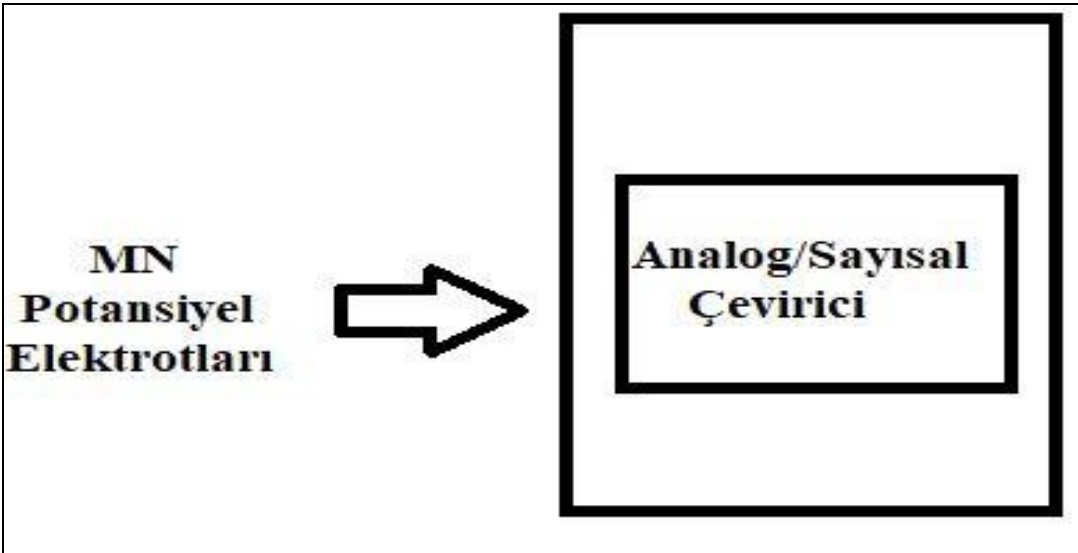
Verici modül, 12V DC enerji kaynağından (Araç aküsü) aldığı elektrik enerjisini DC-DC boost konvertör ile 24 Volta yükselten, yüksek akım tehlikesine karşı akım korumalı (5A sigorta), sisteme enerji girişini tam otomatik biçimde röle ile kontrol eden yapıda tasarlanmıştır. Konvertör ile gerilim değeri yükseltile VDC giriş gerilimi, dörtlü röle modülü tarafından 0.5 Hz kare dalga formuna dönüştürülür. Kare dalga olarak AB akım elektrotlarına gönderilen gerilimin akım değeri dijital ampermetre ile çok yüksek hassasiyette ölçülür. Ölçülen akım değeri görünür özdirenç hesabında kullanılmak üzere, hafızaya kayıt edilir. Verici modüle ait tasarım şeması şekil 16'da sunulmuştur.



Şekil 16. Verici modül tasarım şeması.

3.2.2. Alıcı Modül Tasarımı

Alıcı modül ise; verici modül ile AB akım elektrotları kullanılarak yer içine verilen gerilim etkisiyle MN elektrotlarında eş zamanlı olarak oluşan potansiyel farkın, analog/sayısal çevirici ile hassas bir biçimde ölçüldüğü modüldür. Milivolt mertebesinde oluşan gerilimler bu alıcı tarafından ölçülebilir. Alıcı modül tasarımı şekil 17’de sunulmuştur.



Şekil 17. Alıcı modül tasarım şeması.

3.2.3. Çevre Birimi Tasarımı

Aygıt kullanıcı ara yüzünün tasarımında dikkat edilen hususlar;

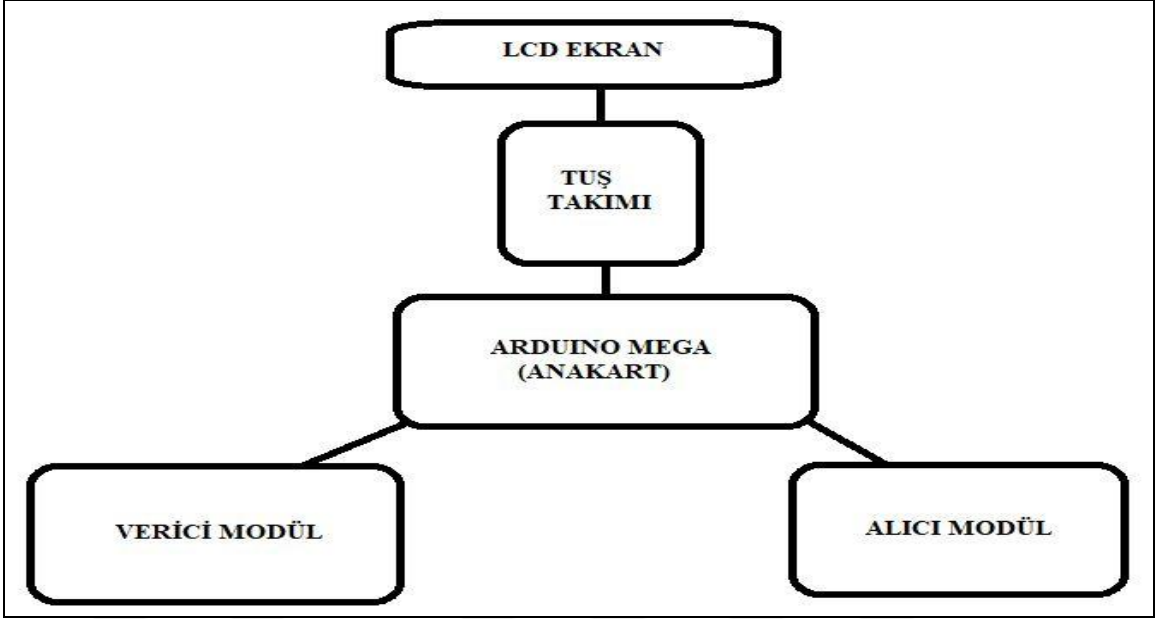
- Arazi şartlarına uygun sağlam, su geçirmez özellikte parçalardan oluşması,
- Kullanımı kolay, kullanıcı dostu olması,
- Veri girişi ve ölçülen değerlerin tümünün bir arada görülebilmesine olanak sağlaması,
- Parçaları; ucuz ve temini kolay ticari parçalar olması.

Çevre birimini tasarlarken, bu hususları dikkate alarak; 4x20(dört satır, 20 sütun) LCD ekran ve 4x4 membran bir tuş takımı tercih edilmiştir. Çevre biriminde kullanılan tuş takımı ve LCD ekrana ait görseller şekil 18’de sunulmuştur.



Şekil 18. Aygıtın çevre birimine ait ana bileşenler.

Çevre Birimini de tasarlanmasıyla aygıtta ait ana tasarım tamamlanmıştır. Aygıtın genel tasarımını şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Tasarlanan aygıtın genel şematik gösterimi.

Çalışma kapsamında geliştirilen ölçüm aygıtında kullanılan elektronik devre elemanları ve görevleri tablo dörtte sunulmuştur.

Tablo 4

Aygıtı oluşturan elektronik devre elemanları ve görevleri.

Hazır Kart ve Bileşenler	Görevi
Arduino Mega	Ana denetim birim
Voltaj Sensörü	Alıcı birim
RC süzgeç devresi	Alıcı birim
Akım Sensörü	Verici birim
Röle Modülü	Verici birimi
Ters Polarite Koruması (Diyot)	Verici birimi
DC-DC Step Up Voltaj Konvertör	Verici birimi
4x20 LCD Ekran	Çevre birimi
4x4 Matrix Tuş takımı	Çevre birimi

Ölçüm aygıtında kullanılan devre elemanları ve hazır kartların muadilleri piyasada bulunmaktadır.

Ölçüm aygıtının kullanım aşamalarına ait görseller şekil 20’de verilmiştir. Aygıt açıldığında;

- 1) Tanıtım ekranı görüntülenmekte, tanıtım ekranından sonra AB/2 değeri girilir
- 2) MN/2 değeri girilir
- 3) Ölçüme başlama ekranı görüntülenir
- 4) Ölçüm uyarısı görüntülenir
- 5) Ölçüm sonucu görüntülenir
- 6) İşlem tamamlama aşaması görüntülenir

Tuş takımında A tuşu ile işlem ilerletilmekte, D tuşuna basılarak ölçüm işlemi başlamaktadır. Aygıt ölçüm işlemini otomatik olarak kendisi yapar ve sonuçları ekrana getirir. Herhangi bir aşamada hata yapılması durumunda C tuşu ile ölçüm işlemi başa alınarak, işlem tekrar edilir.



Şekil 20. Aygıtın arayüzü.

3.3. Modelleme

Alandan toplanan ham jeofizik verileri, çeşitli veri işlem yöntemleriyle zenginleştirilerek; bu verileri oluşturan jeolojik yapıları tanımlanmaya çalışmak araştırmaların diğer bir aşamasıdır. Veri işlem çalışmasıyla elde edilen verilerden yola çıkarak, yeraltındaki jeolojik yapılara ait değişkenleri elde etme işlemi ise, ters çözüm olarak tanımlanır. “Sonuç olarak ters çözüm işlemi; bilinen veri ortamından bilinmeyen model ortamına geçiştir” (Oruç, 2006). Ters çözüm işlemiyle belirlenen değişkenler kullanılarak yerin sayısal modeli oluşturulur. Veri toplamadan başlayarak, ters çözüm işlemi ve sonrasında modeli oluşturmaya giden işlemlerin bütünü de modelleme olarak tanımlanır (Kearey vd., 2002).

Araştırma derinliği ve araştırma konusuna göre (yer altı su araştırması, gömülü yapı araştırmaları, fay/süreksizlik araştırmaları vs.), uygun ölçüm yöntemi (DES ya da çok elektrot kullanan farklı ölçüm dizinleri) seçilerek; sahada ölçüm çalışmaları yapılır. Sahadan elde edilen ham veriler, çeşitli veri işlem tekniklerine tabi tutularak yer altının modellenmesi yapılır. Elde edilen model yorumlanarak, yer altını oluşturan jeolojik yapılar tanımlanmaya çalışılır. Her bir ölçüm diziliminin birbirine göre üstünlükleri ve zayıflıkları vardır (araştırma derinliği gibi). Bu nedenle araştırılan hedefe yönelik uygun ölçüm yönteminin seçilmesi, gerçeğe en yakın yeraltı modelinin oluşturulabilmesi açısından son derece önemli bir konudur.

3.3.1. Ters Çözüm

Bu çalışmada DAÖ verilerinin 1B yer modeli için ters çözümünü yapan bir yazılım geliştirilmiştir. Yeraltı yapısını tabakalı varsayan düz çözüm için Başokur (2010) tarafından verilen bağıntı kullanılmıştır. Ters çözüm sönümlü en küçük kareler bağıntısı (örn Menke 1989, Meju 1994) ile elde edilmiştir. Yazılım bileşenleri hakkında kısa bilgiler Ek 3’te sunulmuştur.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

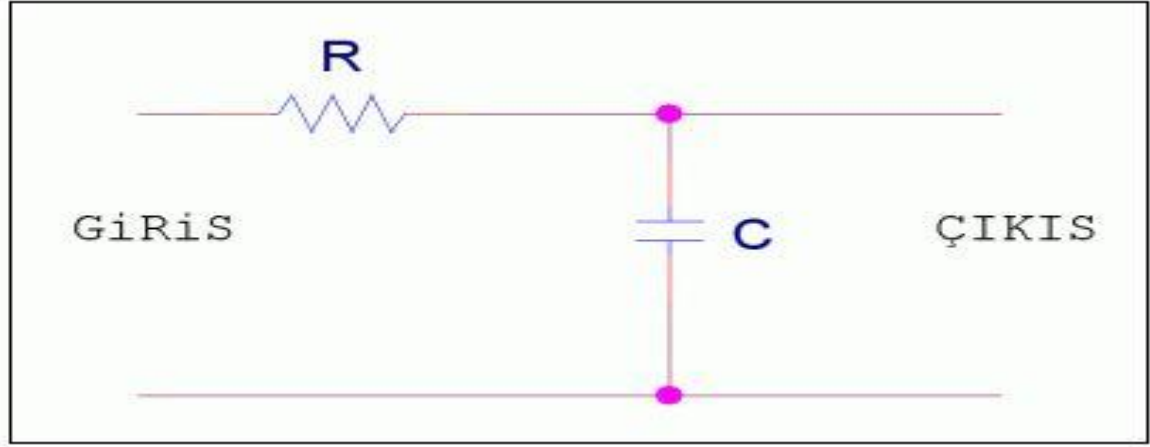
ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Tasarım ve Sorunlar

Ön tasarımı tamamlanan aygıt, öncelikle laboratuvar ortamında denemelere tabi tutulmuş ve bu denemelerde istenen sonuçların elde edilmesi üzerine, daha sonra sahada gerçek koşullarda ölçüm denemelerine tabi tutulmuştur. Sahada yapılan ölçüm denemelerinde, laboratuvar denemelerinde görülemeyen sorunlar belirlenmiştir. Sahada görülen ilk sorun, yer içine verilen akımın etkisiyle oluşan potansiyelin ölçümünde olmuştur. Alıcı birim üzerinde son derece hassas ölçüm yapabilen 16 bit sayısallaştırıcı kullanılmıştır ancak gerilim farkı ölçümlerinde de tasarım aşamasında ön görülmeyen sorunlar yaşanmıştır. DAÖ ölçümlerinde her ne kadar akım denetimi kullanıcı tarafından sağlansa da kaynağı denetlemek, ölçülen büyüklük üzerinde tam hakimiyet kurma anlamına da gelmez. Yere uygulanan akım 0.5 Hz. frekansa sahip olan kare dalga olup, gerilim farkı olarak ölçülmesi beklenen de bu akım nedeniyle oluşan 0.5 Hz.'lik kare dalga biçiminde bir sinyaldir.

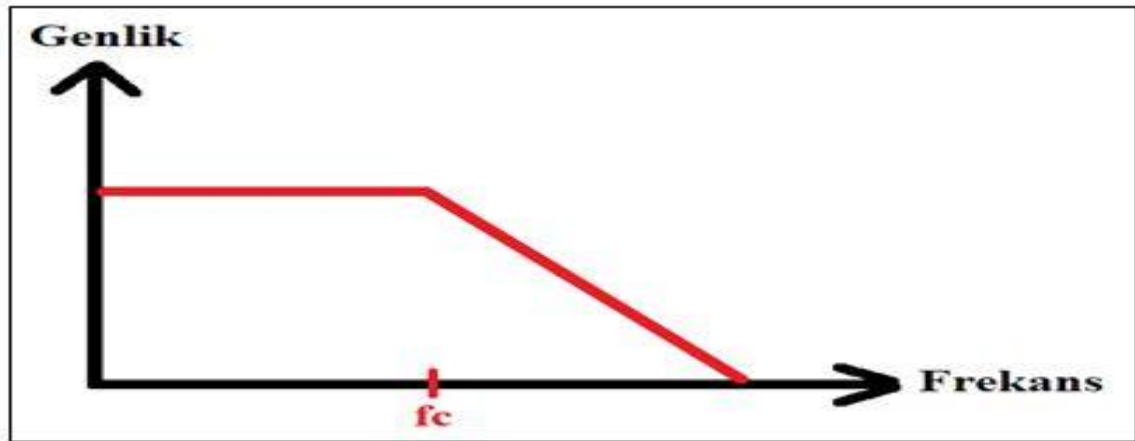
Jeofizik yöntemlerde sahadan toplanan verinin kalitesi çok önemlidir. Sahada veri toplamasında yaşanan herhangi bir sorun nedeniyle veride yaşanacak kayıpların, ölçüm sonrası veri işlem aşamaları ile giderilmesi neredeyse olanaksızdır. Bu nedenle sahada veri toplama aşamasında, verinin çok sağlıklı bir şekilde toplanması gerekir. Tam da bu noktada sinyal/gürültü oranı önem kazanır. Sinyal dediğimiz ölçmek istediğimiz niceliktir. Gürültü ise ölçmek istediğimiz niceliğin dışında kalan her şey olabilir. Verinin kalitesi, sinyal/gürültü oranına bağlıdır. Toplanan veriden sinyal, gürültüye oranla ne kadar fazla is verimizi o kadar kalitelidir. Bu bağlamda, sahada veri toplama aşamasında, ölçüm aygıtında alıcısı sinyaldeki gürültüyü azaltan ya da tamamen yok eden aktif ya da pasif süzgeçler olmak zorundadır. Bunun nedeni, verideki gürültü olarak adlandırılan istenmeyen sinyal bileşenlerinin, veri üzerindeki bozucu etkisinin; veri, henüz ölçülürken giderilmesidir.

Proje kapsamında RC devresi kullanılarak, 50 Hz.'lik alçak geçişli pasif süzgeç (Şekil 21 ve 22) kullanarak gürültü etkisini, veriden ayıklamaya çalışmıştır.



Şekil 21. RC süzgeci.

RC süzgeci, bir adet direnç (R) ve bir adet kondansatörden (C) oluşan; giriş sinyalinin frekansını R ve C'nin değerine bağlı olarak süzgeçleyen devrelerdir. Şekil 22'de ifade edilen devre alçak geçişli süzgeç olarak adlandırılır ve f_c kesme frekansı üzerindeki frekansları süzgeçler (Şekil 22)

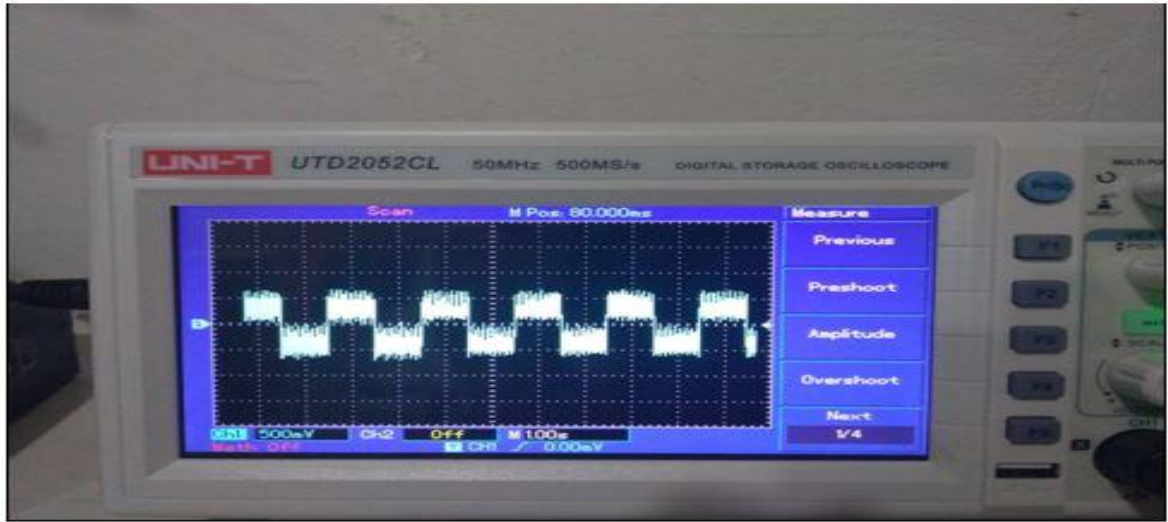


Şekil 22. Alçak geçişli RC süzgeci.

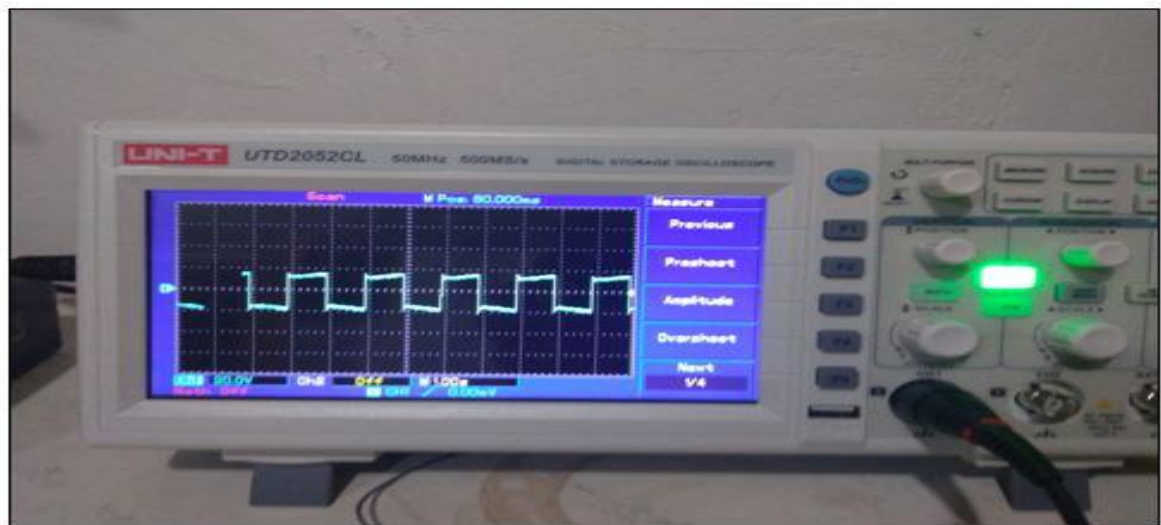
Şekil 22'de görüldüğü üzere süzgeç devresi, f_c kesme frekansı üzerindeki frekans bileşenlerini kesmektedir. f_c kesme frekansı altındaki frekans bileşenleri ise, devreden

geçmektedir. Böylece ölçüm esnasında istenmeyen ve gürültü olarak adlandırdığımız frekanslardaki sinyaller süzgeçlenmektedir.

Yaşanan problemlerin aşılması adına elektrik iletim hatlarından kaynaklı gürültülerin yok edilmesi için RC pasif süzgeç tasarlanmış ve gerilim farkı sinyaline uygulanmıştır. Sinyal formu osiloskop ile gözlenmiş olup, gürültüden kaynaklı etki azaltılmıştır. Süzgeç öncesi ve sonrası toplanan veriler şekil 23 ve 24’te sunulmuştur.

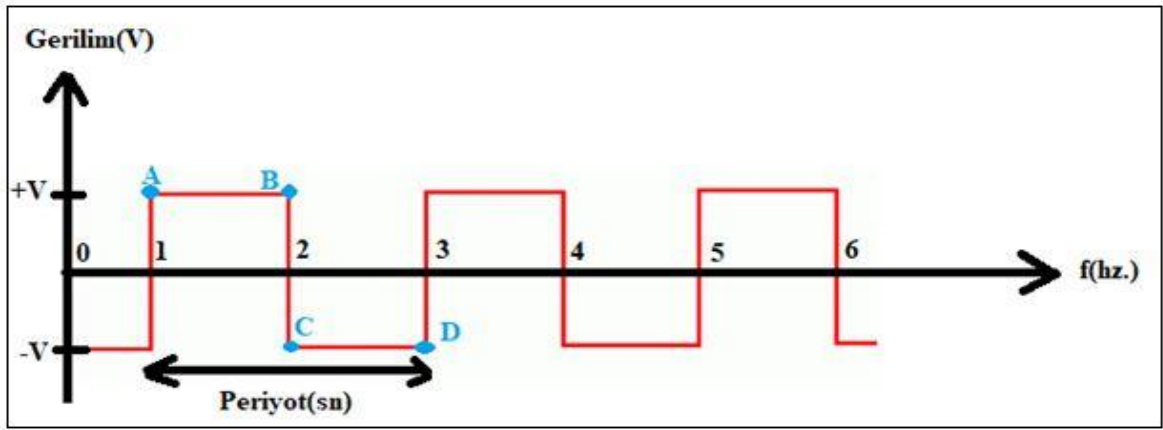


Şekil 23. Süzgeç öncesi sinyal.



Şekil 24. Süzgeçlenmiş sinyal.

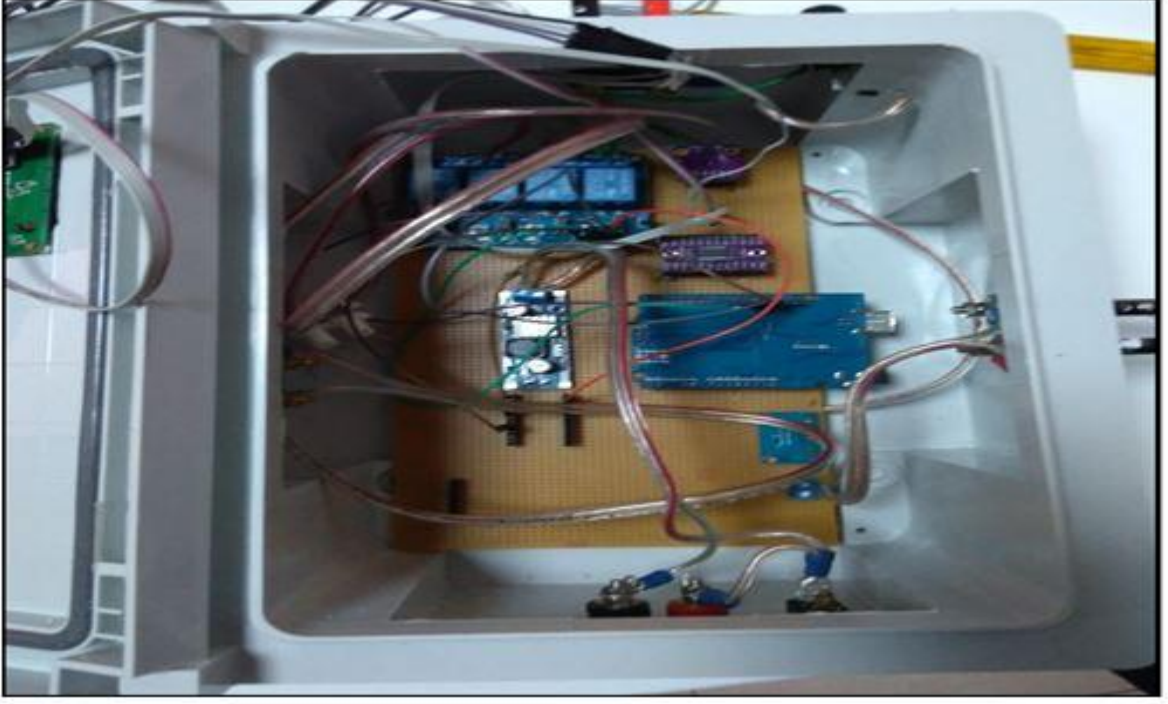
Potansiyel ölçümünde yaşanan bir diğer sorun ise kuramsal olarak, Şekil 25’de görülen ve kare dalganın depe ve dip nokta sınırlarını oluşturan AB ve MN noktaları arasındaki gerilim farkları ayrı ayrı ölçülerek; ölçülen bu gerilim değerlerinin aritmetik ortalaması alınmalı ve bu gerilim değerinin de mutlak değeri alınarak gerilim elektrotları tarafından ölçülen ΔV gerilim farkı hesaplanmalıdır. İlk deneme ölçülerinde, ΔV potansiyel değeri istenilen doğrulukta elde edilememiş ve hata payı yüzde 40-50 mertebelerinde olmuştur. Hata payını kabul edilebilir düzey olan yüzde 3’ün altına indirebilmek için, tek ölçüm yerine çoklu ölçüm yapılarak, örneklem sayısı arttırılmıştır.



Şekil 25. Verici modül tarafından üretilen 0.5 Hz. frekansındaki kare dalga gerilim.

Sahada yapılan deneme ölçümlerinde karşılaşılan bir başka sorun da; uzun açılımlarda, potansiyel ölçümünün yapıldığı elektrotlar arasında aygıtın ölçebileceği büyüklükte gerilim farkının oluşmamasıdır. Bu sorunu çözme adına, verici modülde yapılan geliştirme çalışmaları ile yere verilebilecek akım değeri arttırılmıştır. Artan akım ile MN gerilim elektrotları arasında, alıcı modülün ölçebileceği değer aralığında potansiyel değerleri elde edilmiştir.

Laboratuvar deneylerinde olumlu sonuçlar alındıktan sonra üretilen bileşenler bir devre kartı üzerinde toplanmış ve devre kutusuna yerleştirilerek alan ölçümüne hazır hale getirilmiştir (Şekil 26).



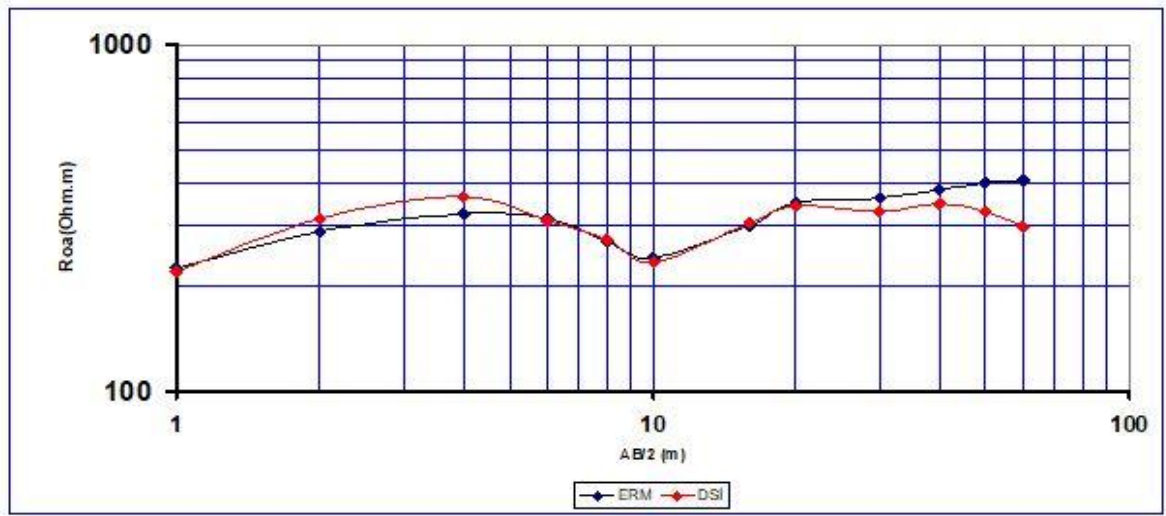
Şekil 26. Devre kartı üzerinde toplanan aygıt bileşenleri.



Şekil 27 Aygıtın nihai görüntüsü.

4.2. Alan Çalışması Örneği

Çalışma kapsamında geliştirilen ölçüm aygıtı ile gerçek saha koşullarında, 120 m. AB aralığına kadar ölçüm denemesi yapılmıştır ve bu ölçüme ait veriler şekil 28’de sunulmuştur. Farklı MN aralıkları (0.4, 2, 5m.) kullanılarak öz direnç ölçüsü alınmıştır. alanda yapılan saha çalışmasında, DSİ tarafından geliştirilen aygıt ve çalışma kapsamında geliştirilen aygıt birlikte denenmiştir 1 m.’den 60 m.’ye kadar olan AB aralığında GÖ verilerinde çok yakın değerler elde edilmiştir. 60 m.’den büyük AB aralığında ise ölçülen GÖ verilerinde farklar oluşmaya başlamıştır. Bu farklılığa neden olan temel etken, DSİ yapımı ölçüm aygıtının verici modülünün maksimum 600 V değerine kadar çıkış voltajı üretebilmesidir. Çalışma kapsamında geliştirilen ölçüm aygıtı ise daha düşük çıkış voltajı üretmektedir. Bu değer maksimum 48 voltur. Çıkış voltajlarında oluşan fark nedeniyle, AB aralığının arttığı durumlarda (AB>60 m.) yere verilen akım değeri düşmekte ve bunun etkisiyle de potansiyel elektrotları arasında aygıtın alıcı modülü tarafından ölçülemeyecek kadar küçük bir gerilim değerleri oluşmaktadır.



Şekil 28. Alanda yapılan deneme ölçüsüne ait görünür öz direnç grafiği.

Bu sorunun iki farklı çözümü vardır. Birinci çözüm, AB akım elektrotları arasındaki mesafe açıldıkça, gerilim elektrotları olan MN elektrotları aralıkları da artırılabilir. Sorunu aşma adına yapılabilecek ikinci çözüm ise, daha güçlü bir verici kullanılmasıdır. Bu çalışma kapsamında daha basit bir çözüm olarak MN potansiyel elektrotları arasındaki aralığının artırılması yoluna gidilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan devre kartları ve benzer özelliklere sahip diğer devre kartları kullanılarak, hem jeofiziğin diğer alanlarında hem de jeofizik dışındaki daha farklı alanlarda kullanılabilen farklı ölçüm aygıtları geliştirilebilir. Tez çalışmasında geliştirilen ölçüm aygıtını baz alarak geliştirilecek farklı amaçlara yönelik ölçüm aygıtları ilksel ürünler olarak ele alınıp, tasarım ve geliştirme amacı için kullanılmalıdır. Geliştirilecek aygıtlarda kullanılacak devre elemanlarının bir devre kartı üzerinde toplanması ise geliştirilen aygıtların ticari olarak kullanılması noktasında son derece faydalı olacaktır.. Çalışma kapsamında alıcı modülde kullanılan 16 bit'lik değere sahip analog/sayısal çevirici (ASÇ) gerek birçok jeofizik yöntem gerekse jeofizik dışı alanlarda kullanılan farklı ölçüm aygıtları için yeterli hassasiyette kayıtçı geliştirilmesine imkan verecektir..

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen aygıt; tamamen sayısal elektroniğe ve yazılıma dayanan, tek kanallı, kullandığı 0.5 Hz kare dalga ile SP etkisini yok edebilen, ölçtüğü ve hesapladığı verileri anlık olarak LCD ekranda sunabilen, ölçtüğü ham verileri işleyerek istenilen değerleri kendisi otomatik olarak hesaplayabilen, hesapladığı işlenmiş veriyi kayıt edebilen, kayıt altına aldığı verileri istenilen herhangi bir anda tekrar gösterebilen, ağır arazi şartlarına dayanıklı ve geliştirmeye açık modüler bir aygıttır.

Geliştirilen ölçüm aygıtının, gömülü yeraltı yapı araştırmaları, arkeolojik araştırmalar, zemin ve taban suyu araştırmaları gibi görece sığ (0-30m) jeofizik araştırmalarda kullanılması uygundur.

5.2. Alan Ölçümü

Bu aygıt ile alan Çanakkale-Ezine Gökçebayır'da alan çalışmaları yapılmıştır. Ölçüm yapılan alan, 1/25.000 ölçekli I16-B4 paftasında yer almakta olup, alanda hakim olan jeolojik formasyon oligosen yaşlı granit birimidir.

Granit birimi elektriksel iletkenliği son derece düşük ve çok yüksek özdirenç değerine sahip bir jeolojik birimdir. Bu birimde yapılan özdirenç çalışmalarında, yeraltından elektrik akımı geçirmek son derece zordur. Bu nedenle aygıtın ölçüm performansının görülebilmesi için elektriksel iletkenlik bakımından en zorlu jeolojik birimlerden birisi olan granit birimi seçilmiştir. Deneme ölçüsünde akım elektrotları olan AB aralığı maksimum 120 m. olacak şekilde MN potansiyel elektrotları için üç farklı mesafede (0.4, 2 ve 5 m.) özdirenç ölçüsü alınmıştır. Deneme ölçüsünde hedef yapı olarak, yüzeyde de gözlenen alterasyona uğramış granitin altındaki masif granit birimi seçilmiştir.

Hem DSİ yapımı hem de çalışma kapsamında geliştirilen ölçüm aygıtıyla hedeflenen yapıya başarıyla ulaşılmıştır. Arazide yapılan ölçüye ait görseller şekil 29 ve 30'da sunulmuştur.



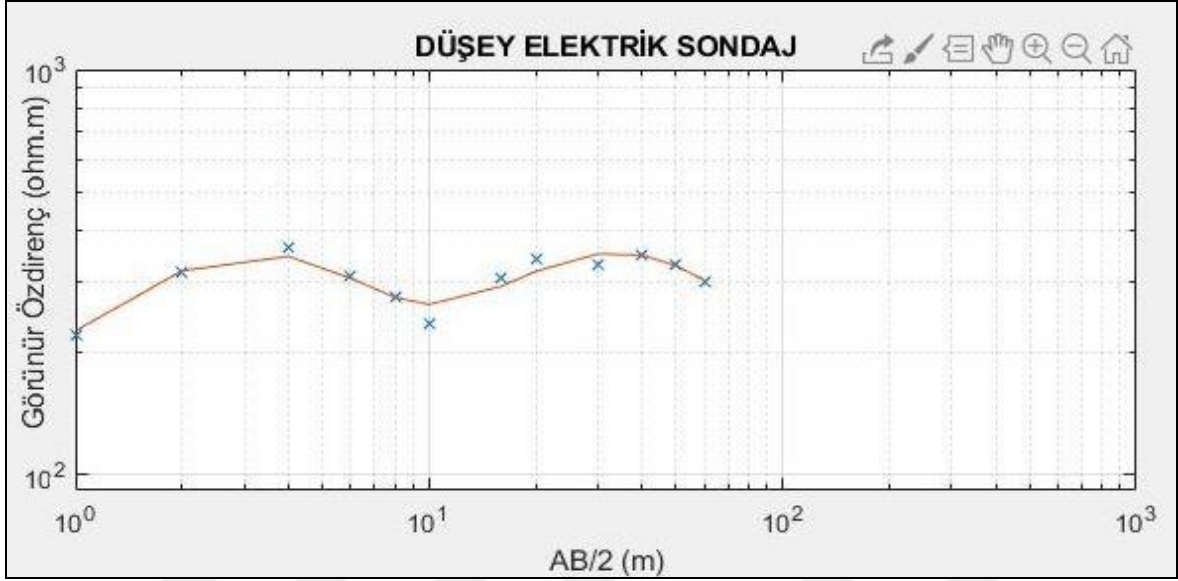
Şekil 29. Alan çalışmasına ait google earth görüntüsü.



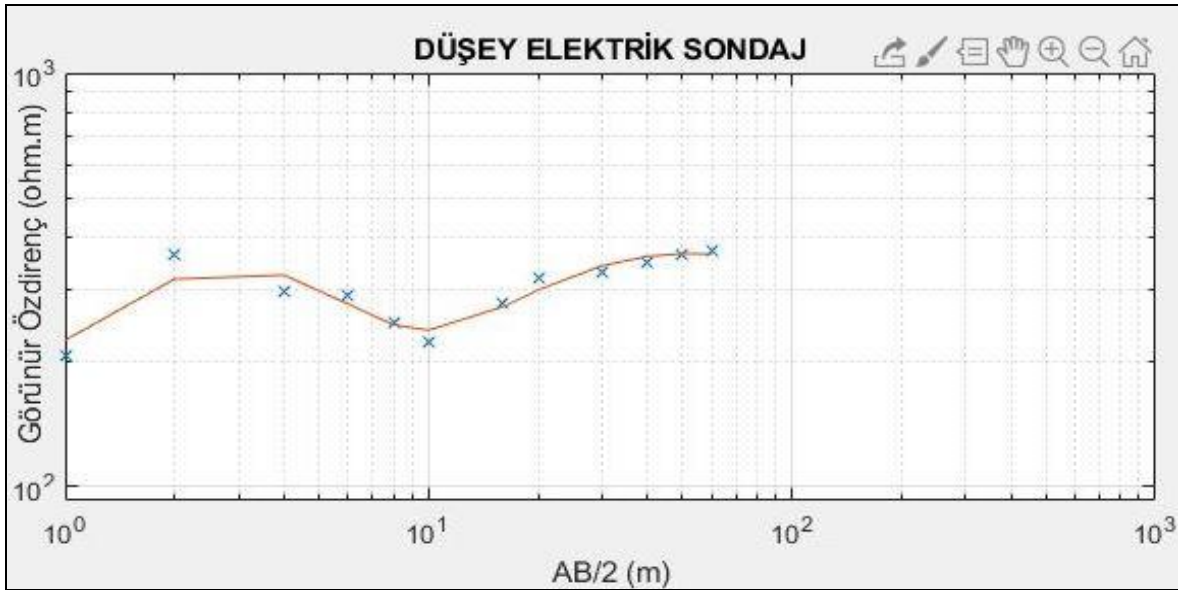
Şekil 30. Alan çalışmasına ait görsel.

Aygıtın alanda kullanımı, toplanan verilerin değerlendirilmesi, günümüzde özdirenç çalışmalarında kullanılmakta olan DSİ yapımı cihazla daha önce toplanan özdirenç verilerinin karşılaştırması yapılarak, aygıtın uygulamada etkin kullanımı değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmada geliştirilen aygıtla toplanan verilerin sonuçları ile

DSİ yapımı öz direnç ölçüm aygıtının sonuçları arasında ciddi bir fark bulunmadığı anlaşılmıştır. Her iki cihazla da yapılan ölçüm çalışmaları sonucu elde edilen veriler, çalışma çerçevesinde geliştirilen bir boyutlu (1B) ters çözüm yapan yazılımla (şekil 31, şekil 32) değerlendirilmiştir. İki ayrı cihazdan alınan verilerle hazırlanan 1B yer modelleri neredeyse aynıdır.



Şekil 31. DSİ yapımı aygıtla yapılan deneme ölçüsünden toplanan verilerle hazırlanan 1B yer modeli.



Şekil 32. Çalışma kapsamında geliştirilen aygıtla yapılan deneme ölçüsünden toplanan verilerle hazırlanan 1B yer modeli.

Hem DSİ hem de tez çalışması kapsamında geliştirilen ölçüm aygıtıyla (ERM) alandan toplanan veriler ile oluşturulan 1B yer-elektrik modeli değerlendirildiğinde, dört farklı katman belirlenmiş ve bunlar Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5

Katman özellikleri.

Katman Özdirenci ($\Omega.m$)		Katman Adı	Katman Derinliği (m.)	
DSİ	ERM		DSİ	ERM
98	169	Nebati Toprak	0.5	0.76
811	778	Kuru Altere Granit	0.7	0.9
118	72	Nemli Altere Granit	1.3	1.55
340	405	Granit	~	~

Eğrilerdeki farklar sonuçlara yansımalarına rağmen elde edilen 1B modeller birbirleri ile uyumludur. Logaritmik farklar birbirlerine yakındır. Çalışma alanını kapsayan bozuşmuş granit kesimi ve bozunmamış granit (ana kaya) arası sınır belirgin olarak ortaya konmuştur

5.3. Öneriler

Bu tez çalışmasında;

- Geliştirme kartları kullanılarak DAÖ yöntemi için bir aygıt tasarlanmış ve üretilmiştir
- Üretilen aygıt ile saha ölçümleri yapılmıştır.

- Elde edilen verilerin yorum için 1B ters çözüm programı geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen öz direnç ölçüm aygıtı, sığ jeofizik araştırmalarda kullanılmaya uygundur. Alanda yapılan ölçümlerde, verici ünitesinin güç değerinin düşük olmasından kaynaklanan ve MN elektrotlarında gerilimin ölçülemeyecek kadar düşük değere inmesi sorunu; MN elektrot mesafesinin açılması ve yazılımda yapılan değişiklik ile giderilmiştir.

Yazılım ile ölçüm sayısının artırılıp, ortalama alınması yani yığılma işlemi yapılması ile MN elektrotlarında oluşan potansiyelin ölçümündeki kararsızlıklar giderilmiştir.

Aygıtın farklı sığ jeofizik çalışmalarda (örn: arkeojeofizik) kullanımının değerlendirilerek geliştirilmesi olasıdır.

Aygıtın; 100 m.'den daha derini hedefleyen araştırmalarda kullanılabilmesi için, verici birimde kullanılan DC-DC konvertörün, daha fazla çıkış voltajı üretebilen bir versiyonu ile değiştirilmesi uygun olacaktır.

Aygıtın mevcut tasarımında yapılacak geliştirmeler ile yer bilimlerinde kullanılan birçok farklı yöntem için ölçüm aygıtları geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Abu Rajab, J.S. and El-Naga, A.R. (2013). Mapping groundwater salinization using transient electromagnetic and direct current resistivity methods in Azraq Basin, Jordan. *Geophysics* (2013) 78 (2): B89–B101.
- Allaud, L. and Martin, M. (1977). Schlumberger: The history of a technique. John Wiley and Sons.
- Akça, I. ve Lalli, S. S. (2018). WiRes: Doğru Akım Özdirenç Ölçümleri için Arduino Tabanlı Çok Kanallı Kablosuz Alıcı Sistemi. 7. Yerelektrik Çalıştay, Isparta.
- Akpancar, S. (2012). Rezistivite-IP Alıcı/Verici Tasarımı ve Pc'de Verilerin Analizi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Aktaş, V. (2013). Her Yönüyle C# 5.0. Kodlab Yayınları.
- Avotoye, K. S. and Selemo, A. O. I. (2005). Design and Construction of a Resistivity Meter for Shallow Investigation, *Nigeria Journal of Physics*,18(2).
- Başokur, A.T. (2010). Düşey elektrik sondajı verilerinin yorumu. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları: Ankara.
- Beddows, P. A. and Mallon, E. K. (2018). Cave pearl data logger: A flexible Arduino-based logging platform for long-Term monitoring in harsh environments. *Sensors*, 18(2), 530.
- Candansayar, M. E., Ulugergerli E. U., Batmunkh D., Tosun S. and Gündoğdu B. *Jeofizik*, vol.15, no.2, pp.105-123, 2001 (Peer-Reviewed Journal)
- Clark, J.A. and Page, R. (2011). Inexpensive Geophysical Instruments Supporting Groundwater Exploration in Developing Nations, *Journal of Water Resource and Protection*, 2011, 3, 768-780.
- Çakır, A. and Akpancar, S. (2015). Resistivity-induced Polarization Receiver/Transmitter Design and PC-assisted Data Analysis. *Acta Polytechnica Hungarica*, 12(2).

- D'Ausilio, A. (2012) Arduino: A Low-Cost Multipurpose Lab Equipment. Behavioral Research Methods, 44, 305-313.
- Delebe, E. (2016). Projeler ile Arduino. Kodlab Yayınları.
- Ekinci, Y. L. and Demirci, A. (2008). A damped least-squares inversion program for the interpretation of Schlumberger sounding curves. Journal of Applied Sciences, 8(22), 4070-4078.
- Ercan, A., Genç, T. ve Duygu, M. A. (1987). Kalın Bazalt Örtüsü Altının Yerelektrik Yöntemle Çalışılması. Bati Kafkasya, Jeofizik Dergisi, 1, 45-75.
- Fatahillah, D. and Nuryani, N. (2019). Low-cost multi electrode resistivity meter based on microcontroller for electric resistivity tomography purpose. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1153, No. 1, p. 012022).
- Fretwell, J.D. and Stewart, M.T. (1981). Resistivity study of a coastal karst terrain. Florida. Ground Water 19: 156-162.
- Florsch N, and Muhlach F. (2017). Everyday applied geophysics 1: Electrical methods. Elsevier.
- Gertz, E. and Di Jisto, P. (2012). Environmental Monitoring with Arduino., Marker Pres.
- Gupta M.L, Singh S.B., and Rao G.V. (1976). Studies of direct current resistivity in the Puga Geothermal field, Himalayas, India. National Geophysical Research Institute, Hyderabad-500 007, India.
- Hughes, J. M. (2016). Arduino: A Technical Reference. O'Reilly Media, Inc.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. (2002). An Introduction to Geophysical Exploration, 3rd ed. ix + 262 pp. Oxford: Blackwell Science
- Keçeli, D. A. (2009). Uygulamalı Jeofizik. TMMOB JFMO Eğitim Yayınları No:9.
- Kim, J. H., Supper, R., Ottowitz, D., Jochum, B., and Yi, M. J. (2016). A new measurement protocol of direct current resistivity data. Geophysics, 81(2), A7-A11.
- Koefoed, O. (1970). A fast method for determining the layer distribution from the raised kernel function in geoelectrical soundings. Geophys. Prospect., 18: 564-570

- Liu, L., Grombacher, D., Auken E., and Larsen J.J. (2019). Apsu: a wireless multichannel receiver system for surface nuclear magnetic resonance groundwater investigations, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*, 8, 1–11, 2019
- Levenberg, K. (1944). A method for the solution of certain non-linear problems in least-squares. *Q. Applied Math.*, 2:164-168
- Marquardt, D.Q. (1963). An algorithm for least-squares estimation of non linear parameters. *J. Soc. Ind. Applied Math.*, 11:431-441
- Loke, M.H. (2001). Rapid 2D resistivity and IP inversion using the least-squares method. *Geotomo Software Manual*, Malaysia.
- Meju, M. A. (1994). *Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice: SEG Course Notes Series*, 6, Tulsa: SEG.
- Meju, M.A. and Montague, M. (1995). Basis for a flexible low-cost automated resistivity data acquisition and analysis system. *Computers and Geosciences*, 21(8), 993-999.
- Menke, W. (1989). *Discrete Inverse Theory. Geophysical Data Analysis*, 289.
- Monahan S.M., (2013). *Investigating Fault Structure Using Electrical Resistivity Tomography A Senior Project*. Faculty of the Physics Department California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Parasnis D.S. (1962). *Principles of applied geophysics*. Chapman and Hall, London.
- Raju, D.C.V, (2003). A computer program for least squares inversion of magnetic anomalies over long tabular bodies. *Comput. Geosci.*, 29:91-98
- Rolia E., Dwita S. (1977). Application of geoelectric method for groundwater exploration from surface (A literature study). *AIP Conference Proceedings* 1977, 020018 (2018).
- Roy, I.G. (1999). An efficient non-linear least squares 1D inversion scheme for resistivity and IP sounding data. *Geophys. Prospect.* 47:527-550.
- Oppermann F. and Günther T. A. (2017). Remote-control datalogger for large-scale resistivity surveys and robust processing of its signals using a software Lock-In approach, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss*, Manuscript under review for journal *Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discussion* started: 3 July 2017

- Sabbağ, N. (2012). Atatürk Baraj Gölünün Tuzlanmasına Neden Olabilecek Jeolojik Yapıların Doğru Akım Özdirenç ve Elektromanyetik Yöntemlerle Tanımlanması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sarik J. and Kymissis, I. (2010). Lab Kits Using Arduino Prototyping Platform, 40th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, October 27 - 30, 2010, Washington, DC.
- Swartz, J.H. (1937). Resistivity studies of some salt-water boundariesin the Hawaiian Islands. AGU Transac 18: 387.
- Swartz, J.H. (1939). Resistivity studies of some salt-water boundariesin the Hawaiian Islands Part II. AGU Transac 20: 292 .
- Oruç, B. (2006). Teori ve Örneklerle Jeofizikte Modelleme. Kocaeli Üniversitesi Yayınları: Ankara.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. (1990). Applied Geophysics, 2nd Ed. Cambridge University Pres: UK.
- Ulugergerli, E.U. and AKÇA, I. (2006). Detection of cavities in gypsum. Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 9, No. 1, p. 8-19, 13 figs.
- Ulusoy, İ., Artuner, H., ve Aydar, E. (2015). Dağıtılmış Anahtarlamalı Özdirenç Görüntüleme Sistemi. Yerbilimleri Dergisi, 33, 205-218.
- Zhang X., Zhang Q., Wang M., Kong Q., Zhang S., He R., Liu S., Li S. and Yuan Z. Development of a full-waveform voltage and current recording device for multichannel transient electromagnetic transmitters, Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss., Manuscript under review for journal Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discussion started: 16 May 2017
- URL1: <https://www.etkilesimliogrenme.com/arduino-nedir> (ET Aralık 2022)

EKLER

EK 1

KULLANILAN MALZEMELERİN DÖKÜMÜ

Ek Tablo 1

Aygıtta kullanılan temel bileşenler aşağıda sunulmuştur.

Malzeme Adı	İş Tanımı	Kullanıldığı Yer	Özelliği
Arduino Mega (ATmega2560)	Anakart	Alıcı ve Verici	Sistemi kontrol etmektedir.
LCD Ekran (TC2004A-01XA0)	Gösterge	Çevre Birimi	4x20
Akım Sensörü (INA 219)	Akım Ölçümü	Verici	%1 Hata Payı İle Sayısal Ölçüm
ADC 16-Bit 4 Kanal (ADS1115)	Analog/Dijital Dönüşüm	Alıcı	I2C ile uyumlu
I2C Çoklayıcı (TCA9548A)	I2C Veriyolunu Çokluyor	Alıcı ve Verici	8 kanal
DC-DC Konvertör (LM2596-5V)	Sistem Beslemesi	Alıcı ve Verici	12 V giriş 5 V çıkış

Röle modülü	Anahtarlama	Verici	4 Kanallı
Tuş Takımı	Veri Girişi	Çevre Birimi	4x4, membran.
Anahtar	Anahtarlama	Alıcı ve Verici	DC Gerilime Uygun
Kutu	Dış Muhafaza	Alıcı ve Verici	Yalıtkan ve Sağlam



EK 2

ÖLÇÜM AYGITI TEMEL KONTROL YAZILIMI

Ek Tablo 2

Aygıtta kullanılan temel kontrol yazılımı aşağıda sunulmuştur.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>
#include <Password.h>
#include <Keypad_I2C.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 20, 4);
//-----RÖLELER -----
int role1 = 11;
int role2 = 10;
int anahtar = 9;
int sensor = 6;
//-----AKIM-----
Adafruit_INA219 ina219;
float current_mAa = 0;
float current_mAe = 0;
float current_mAat = 0;
float current_mAet = 0;
float curort = 0;
//-----ADS1115 gerilim-----
Adafruit_ADS1115 ads;

float multiplier = 0.125;
float result1 = 0.00;
float result11 = 0.0;
float result111 = 0.0;
float result2 = 0.00;
float result22 = 0.00;
float result222 = 0.00;
float volta = 0.00;
float volte = 0.00;
float voltaa = 0.00;
float voltee = 0.00;
int16_t rawADCvalue1;
DEĞİŞKENLER
int count = 0;
float k = 0.00;
float r1 = 0.00;
float r2 = 0.00;
float r3 = 0.00;
float r4 = 0.00;
float I = 0.00;
float DV = 0.00;
float ro = 0.00;
int abdizi[50];
float mndizi[50];
float rodizi[50];
```

```

int z = 0;
char mnd[20];
float mns;
int ab = 0;
float mn = 0.0;
float toplam = 0.0;
float X;
byte index = 0;
char dizi[20];
float sp = 0.0;
    TUŞTAKIMI
const byte satir = 4;
const byte sutun = 4;
char basilanAnahtar;
char tuslar[satir][sutun] = {
    {'1', '4', '7', '*'},
    {'2', '5', '8', '0'},
    {'3', '6', '9', '#'},
    {'A', 'B', 'C', 'D'}
};
byte sutunPinleri[sutun] = {7, 6,
5, 4};
byte satirPinleri[satir] = {3, 2, 1,
0};
#define Keypad_I2CADDR 0x38
Keypad_I2C
keypad(makeKeymap(tuslar),
satirPinleri, sutunPinleri, satir,
sutun, Keypad_I2CADDR);
boolean valOnePresent = false;
boolean next = false;
boolean final = false;
String num1, num2;

```

```

int ans;
char op;
    I2C ÇOKLAYICININ
    TANITILMASI
#define TCAADDR 0x70
ISR(INT0_vect) {}
void tcselect(uint8_t i) {
    if (i > 7) return;
Wire.beginTransmission(TCAADDR);
Wire.write(1 << i);
Wire.endTransmission();
}
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
    ads.begin();
    ads.setGain(GAIN_ONE);
    tcselect(2);
    ina219.begin();
    ina219.setCalibration_16V_400mA(
);
    pinMode(role1, OUTPUT);
    pinMode(role2, OUTPUT);
    pinMode(anahtar, OUTPUT);
    pinMode(sensor, OUTPUT);
    digitalWrite(sensor, LOW);
    digitalWrite(anahtar, LOW);
    digitalWrite(role1, HIGH);
    digitalWrite(role2, HIGH);
}

```

```

tcselect(1);
lcd.begin();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("  ERM OZDIRENC
");
lcd.setCursor(0, 2);

lcd.print("          OLCUM
CIHAZI");
delay(500);
lcd.clear();
tcselect(0);
keypad.begin(
makeKeymap(tuslar) );
}
void loop()
{
while (1) {
  AnaMenu();
}
}

void AnaMenu()
{
  mn = 0.0, mns = 0.0, mnd[20] =
0, index = 0, toplam = 0, DV = 0,
ro = 0, dizi[20] = 0, result1 =
0.00, result2 = 0.00, volta = 0.00,
volte = 0.00;

  delay(1);
  tcselect(0);

  char  basilanAnahtar  =
keypad.getKey();
  tcselect(1);

```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("  VES SURVEY");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("  AB/2  DEGERiNi
GiRiN");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("[A] ENTER");

switch      (basilanAnahtar)
//matrisKlavye  üzerinden girimen
değere göre dallan
{
  case '0' ... '9':
    ab = ab * 10 + (basilanAnahtar -
'0');
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(ab);
    break;
  AB DEĞERİNİ GİRME İŞLEMİ:
  case 'A':
    ab = (toplam != 0 ? toplam : ab);
    lcd.clear();
    lcd.print("  VES SURVEY");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("MN/2  DEGERINI
GIRIN");
    lcd.setCursor(0, 3);

    lcd.print("[#]          OLCUM
MENUSU");

    mn = mnDegeri();
    delay(500);
    lcd.clear();
    break;
  case 'C':

```

```

    ab = 0, mn = 0.0, mns = 0.0,
    mnd[20] = 0, dizi[20] = 0, DV =
    0, ro = 0;

```

```

    basilanAnahtar = 0, index =
    0, toplam = 0, result1 = 0.00,
    result2 = 0.00, volta = 0.00, volte
    = 0.00;

```

```

    lcd.clear();

```

```

}

```

```

}

```

```

long mnDegeri()

```

```

{

```

```

    while ( 1 )

```

```

    { tcselect(0);

```

```

        basilanAnahtar =
        keypad.getKey();

```

```

        if (basilanAnahtar == '*')

```

```

        {

```

```

            dizi[index++] = '.';

```

```

            dizi[index] = '\0';

```

```

            tcselect(1);

```

```

            lcd.setCursor(0, 2);

```

```

            lcd.print(dizi);

```

```

        }

```

```

        else if (basilanAnahtar >= '0'
        && basilanAnahtar <= '9')

```

```

        {

```

```

            dizi[index++] =
            basilanAnahtar;

```

```

            dizi[index] = '\0';

```

```

            tcselect(1);

```

```

            lcd.setCursor(0, 2);

```

```

            lcd.print(dizi);

```

```

            delay(10);

```

```

        }

```

```

        if (basilanAnahtar == 'C')

```

```

        {

```

```

            lcd.clear();

```

```

            ab = 0, mn = 0.0, DV = 0, ro =
            0, mns = 0.0, mnd[20] = 0, dizi[20]
            = 0, basilanAnahtar = 0;

```

```

            index = 0, toplam = 0, result1 =
            0.00, result2 = 0.00, volta = 0.00,
            volte = 0.00;

```

```

            loop();

```

```

            break;

```

```

        }

```

```

        if (basilanAnahtar == '#')

```

```

        {

```

```

            mns = atof(dizi);

```

```

            tcselect(1);

```

```

            lcd.clear();

```

```

            lcd.setCursor(0, 2);

```

```

            lcd.print(mns);

```

```

            dizi[index] = '\0';

```

```

            OlcumMenu();

```

```

        }

```

```

    }

```

```

    return mn;

```

```

}

```

```

void OlcumMenu()

```

```

{

```

```

    tcselect(1);

```

```

    lcd.clear();

```

```

    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

    lcd.print(" VES SURVEY");

```

```

    lcd.setCursor(0, 1);

```

```

lcd.print("AB/2=");
lcd.print(ab);
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print(" MN/2=");
lcd.print(mns);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("[D]          OLCUME
BASLA ");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("[C] UST MENUYE
DON");
while ( 1 )
{
  tcselect(0);
  basilanAnahtar =
  keypad.getKey();
  if (basilanAnahtar == 'C')
  {
    tcselect(1);
    lcd.clear();

    ab = 0, mn = 0.0, mns = 0.0,
    mnd[20] = 0, dizi[20] = 0,
    basilanAnahtar = 0, index = 0,
    toplam = 0, result1 = 0.00,
    result2 = 0.00, volta = 0.00, volte
    = 0.00;

    current_mAat = 0,
    current_mAa = 0, I = 0, sp = 0,
    DV = 0, ro = 0;

    delay(5);

    loop();

    break;
  }
  if (basilanAnahtar == 'D')
  {
    tcselect(1);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" !!! DIKKAT !!! ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("          OLCUM
YAPILIYOR");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("AB/2=");
    lcd.print(ab);
    lcd.setCursor(9, 2);
    lcd.print(" MN/2=");
    lcd.print(mns);
    rawADCvalue1 =
    ads.readADC_Differential_0_1();
    sp = (multiplier *
    rawADCvalue1);
    delay(1000);
    digitalWrite(anahtar, HIGH);
    digitalWrite(sensor, HIGH);
    delay(2000);
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
      tcselect(2);
      current_mAa =
      ina219.getCurrent_mA();
      current_mAat += current_mAa;
      //Serial.println("akım          1"),
      Serial.println(current_mAa);
      delay(10);
    }
    digitalWrite(sensor, LOW);
    digitalWrite(anahtar, LOW);
    delay(2000);
    digitalWrite(anahtar, HIGH);
  }
}

```

```

for (int d = 0; d < 4; d++) {
    result1 = 0.0, result2 = 0.0;
    digitalWrite(role1, LOW);
    digitalWrite(role2, LOW);
    delay(500);
    for (int j = 0; j < 20; j++) {
        rawADCvalue1 =
ads.readADC_Differential_0_1();
        result1 = (multiplier *
rawADCvalue1);
        result11 += result1;
    }
    result111 = result11 / 20;
    volta += (result111);
    result1 = 0.0, result11 =
0.0;
    delay(480);
    digitalWrite(role1, HIGH);
    digitalWrite(role2, HIGH);
    delay(500);
    for (int j = 0; j < 20; j++) {
        rawADCvalue1 =
ads.readADC_Differential_0_1();
        result2 = (multiplier *
rawADCvalue1);
        result22 += result2;
    }
    result222 = result22 / 20;
    volte += (result222);
    result222 = 0.0, result22 =
0.0; result2 = 0.0;
    delay(480);
}
digitalWrite(anahtar, LOW);

```

```

    voltaa = (volta / 4), voltee =
(volte / 4);
    //Serial.println("voltaa:"),
Serial.println(voltaa);
    // Serial.println("voltee:"),
Serial.println(voltee);
    delay(1);
    if (voltaa < 0 && voltee > 0 ||
voltaa > 0 && voltee < 0) {
        DV = (abs(voltaa) +
abs(voltee)) / 2; //DV = round(DV);
        delay(1);
    }
    if (voltaa < 0 && voltee < 0 ||
voltaa > 0 && voltee > 0) {
        DV = abs(abs(voltaa) -
abs(voltee)) / 2; //DV = round(DV);
    }
    r1 = ab - mns;
    r2 = ab + mns;
    r3 = ab + mns;
    r4 = ab - mns;
    delay(1);
    k = ((2 * 3.14) / (((1 / r1) - (1 /
r2)) - ((1 / r3) - (1 / r4))));
    delay(5);
    I = abs(current_mAat / 10);
    I = I < 1 ? 0 : I;
    ro = (DV / I) * k;
    ro = round(ro);
    ro = ro < 1 ? 0 : ro;
    tcselect(1);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 1);

```



```

lcd.print("          OLCUM
TAMAMLANDI");
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("AB/2=");
lcd.print(ab);
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(" MN/2=");
lcd.print(mns);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("V+=");
lcd.print(round(voltaa));
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print("V-=");
lcd.print(round(voltee));
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("SP=");
lcd.print(sp);
lcd.setCursor(10, 2);
lcd.print("DV=");
lcd.print(DV);
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("I=");
lcd.print(I);
lcd.setCursor(10, 3);
lcd.print("ro=");
lcd.print(ro);
delay(5000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);

```

```

lcd.print("          OLCUM
TAMAMLANDI");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("[B] VERI KAYDIT");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("[C]          OLCUMU
TEKRARLA");
}
if (basilanAnahtar == 'B') {
tcselect(1);
lcd.clear();
for (int i = z; i < (z + 1); i++) {
abdizi[z] = ab;
mndizi[z] = mns;
rodizi[z] = ro;
for (int i = 0; i < (z + 1); i++) {
Serial.print("AB/2= ");
Serial.print(abdizi[i]);
Serial.print("  MN/2= ");
Serial.println(mndizi[i]);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("OLCUM NO=");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(i + 1);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("AB2=");
lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print(abdizi[i]);
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print("MN2=");
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(mndizi[i]);

```

```

    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("ro=");
    lcd.setCursor(4, 2);
    lcd.print(rodizi[i]);
    delay(2000);
}
}
Serial.println("-----
");
z = z + 1;

//current_mAat = 0,
current_mAa = 0, I = 0, sp = 0, ab
= 0, mns = 0.0, mnd[20] = 0,
dizi[20] = 0, basilanAnahtar = 0,
index = 0, toplam = 0;

    ab = 0, mn = 0.0, mns = 0.0,
mnd[20] = 0, dizi[20] = 0,
basilanAnahtar = 0, index = 0,
toplam = 0, result1 = 0.00, result2 =
0.00, volta = 0.00, volte = 0.00;

    current_mAat = 0, current_mAa
= 0, I = 0, sp = 0, DV = 0, ro = 0;

    delay(1000);

    lcd.clear();

    loop();

    break;
}
}
return mn;
}

```

EK 3

PROGRAMIN TANITIMI

Geliştirilen Program 6 alt program (function) dan oluşmaktadır. Ana hatlarıyla kullanılan alt programlar ve işlevleri ;

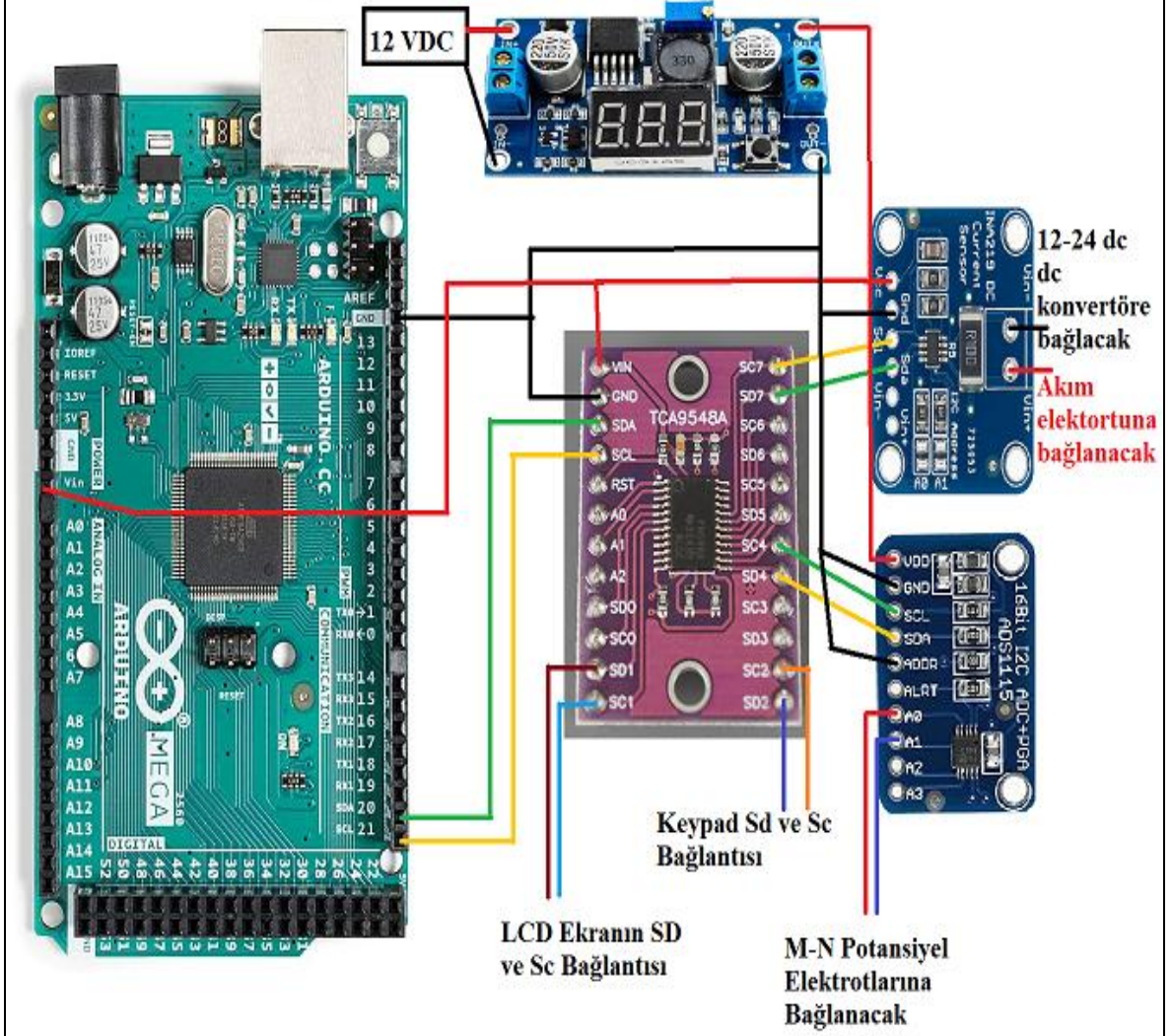
Ek Tablo 3

Alt Program ve İşlevleri

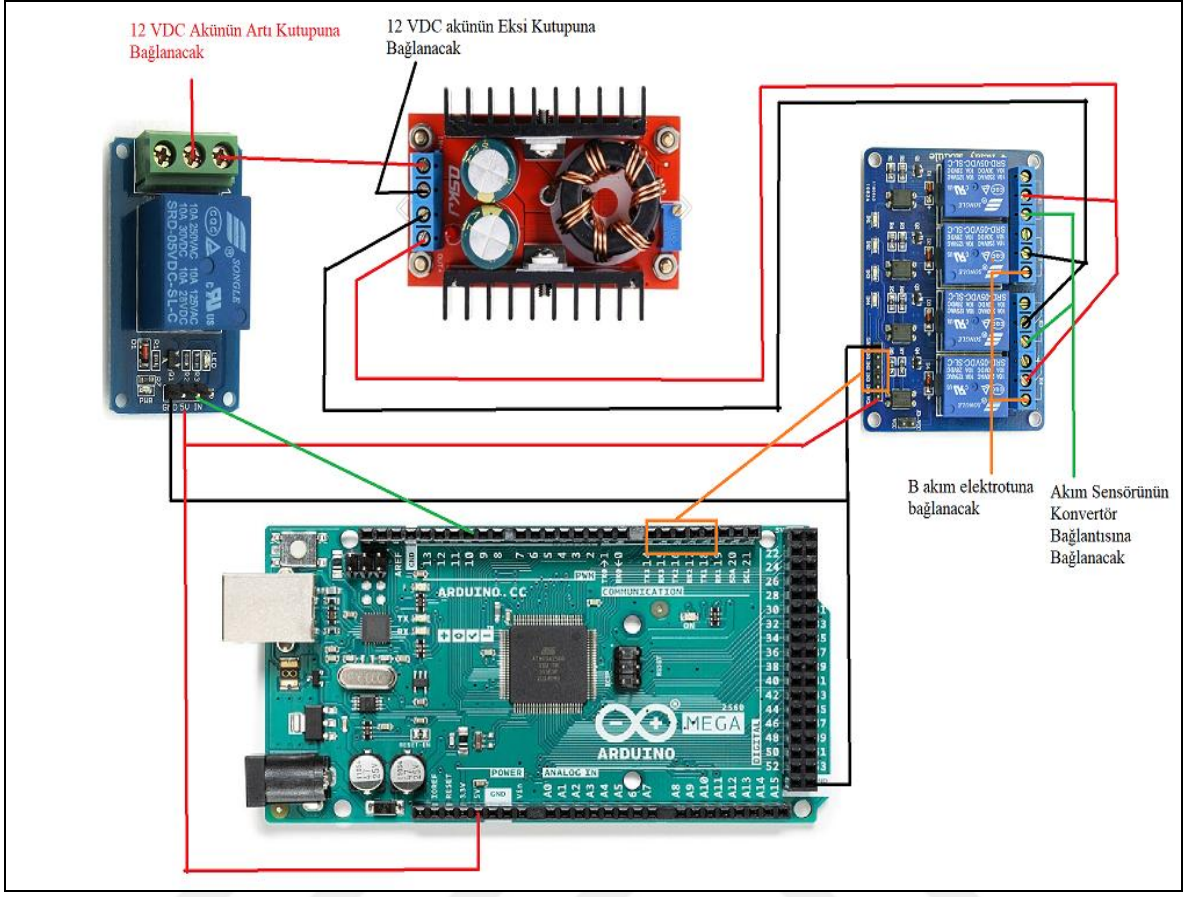
DES1D.m	Ana Program; veri girişi ve kullanıcı iletişimi
VES1B.m	Düz çözüm; katmanlı ortam için hesaplanan değerleri üretir
Bothinv.m	Ters çözüm, ister Occam ister tabakalı ortam için ters çözümü yapar
Segment.m	Kesit oluşturma
mk_prf_w_mn.m	Veri hazırlama; MN farklılıklarını ortadan kaldırır
Allplot.m	Veri gösterim; sonuçları sunar

Ek 4

KULLANILAN MALZEMELERİN BAĞLANTI ŞEMALARI



Ek Şekil 1. Bağlantı şeması 1.



Ek Şekil 2. Bağlantı şeması 2.