



## Elektromanyetik ve düşey elektrik sondaj metodu kullanılarak yeraltı suyu araştırması

### *The use of electromagnetic and vertical electrical sounding methods in groundwater exploration*

Hafız MOHAMMED NAZIFI<sup>a\*</sup> ve Levent GÜLEN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Serdivan, Sakarya, Türkiye [orcid.org/0000-0002-3762-6563](https://orcid.org/0000-0002-3762-6563)

<sup>a</sup> Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Serdivan, Sakarya, Türkiye [orcid.org/0000-0002-3572-8785](https://orcid.org/0000-0002-3572-8785)

*Araştırma Makalesi*

#### Anahtar Kelimeler:

2D yapma direnç haritaları, elektromanyetik profili (EM), düşey elektrik sondajı (DES), yeraltı suyu arama, Gana.

#### ÖZ

Gana'daki Twifo - Hemang Aşağı Denkyira Bölgeleri'nde yeraltı sularının araştırılması için Elektromanyetik Profil (EM) ve Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışmaları yapılmıştır. Bu iki jeofizik yöntem, Achiasse, Mbaa Mpe Hia Kasabası ve Moseaso Kasabasının altındaki yeraltı suyu potansiyellerini araştırmak için kullanılmıştır. Bu makalede, lineer grafikler kullanarak olağan niteliksel yorumlama yöntemi yerine elektromanyetik verileri yorumlamak için inversiyon kullanımını ve ayrıca 1D inversiyon sonuçlarının yorumlanmasını desteklemek için 2D direnç haritaları olarak görünür direnç haritalarının kullanılmasını amaçlamaktadır. Bu teknikler elde edilen sonuçların geliştirilmesine yardımcı olur, belirsizliği azaltır ve karar vermede yardımcı olur. EM sonuçları şunu ortaya koymuştur: Her üç topluluğun altında iki katman bulunur, birinci katman 2 ile 10 m arasında bir kalınlık aralığına sahiptir ve ikinci katman yarım sonsuz olarak kabul edilmiştir. VES çalışmalarından elde edilen sonuçlar; Achiasse Topluluğu ve Mbaa Mpe Hia No. 2 topluluğunun altında üç jeoelektrik katman ve Moseaso Topluluğu'nun altında dört jeoelektrik katman bulunmaktadır. Bu çalışma temelinde, Moseaso Topluluğu, Achiasse topluluğunun ve son olarak Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğu yeraltı suyu bakımından en yüksek potansiyele sahiptir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında su temini için bazı sondaj lokasyonları önerilmiştir.

Geliş Tarihi: 20.05.2017

Kabul Tarihi: 10.04.2018

#### Keywords:

2D pseudo resistivity maps, electromagnetic (EM) inversion, vertical electrical sounding (VES), groundwater exploration, Ghana.

#### ABSTRACT

Electromagnetic (EM) profiling and Vertical Electrical Sounding (VES) studies were carried out for groundwater exploration in the Twifo – Hemang Lower Denkyira Districts of Ghana. These two geophysical methods were used for exploring the groundwater potentials beneath Achiasse, Mbaa Mpe Hia Community and Moseaso Community. This paper seeks to encourage the use of inversion for interpreting electromagnetic data rather than the usual qualitative interpretation method using line graphs and also the use of apparent resistivity maps as 2D pseudo resistivity maps to support interpretations of the 1D inversion results (in cases where the available budget could not permit 2D and or 3D inversion). These would help in enhancement of obtained results, reduce ambiguity and help decision making. The EM results revealed that; the three communities are underlain by two layers with the first layer having the thickness range between 2 to 10 m and the second layer is a half space. The results from VES studies indicate that; Achiasse Community and Mbaa Mpe Hia No. 2 community are underlain by three geoelectrical layers and Moseaso Community is underlain by four geoelectrical layers. On the basis of this study the Moseaso Community is ranked highest in terms of groundwater potential followed by the Achiasse community and finally the Mbaa Mpe Hia No.2 Community. Several sites were recommended for drilling boreholes for water supply in these communities.

\* Başvurulacak yazar: Hafız MOHAMMED NAZIFI, [mohammednazifi@gmail.com](mailto:mohammednazifi@gmail.com)

<https://dx.doi.org/10.19111/bulletinofmre.451557>

MTA Dergisi hem İngilizce hem Türkçe olarak yayımlanmakta olup makalelere yapılacak atıfların İngilizce baskısına yapılması gerekmektedir.

## 1. Giriş

Hem içme hem de ev kullanımı için kaliteli suyun mevcudiyeti, kırsal topluluklarda yaşayan insanlar için birincil önem taşımaktadır. Sahra-altı Afrika'daki birçok kırsal topluluk genellikle yüzey suyuna ve elle kazılmış sondajlardan çıkan suya bağımlıdır. Bu suların nitelikleri sorgulanabilir ve bir kısmı uzun kurak mevsimler boyunca kurur. Temiz yeraltı sularının araştırılması bu nedenle gereklidir. Yeraltı suyu ile ilgili cevaplanması gereken bazı temel sorular vardır. Bu sorulardan bazıları: ne kadar yeraltı suyu mevcuttur ve bunların kalitesi nedir? Bunlar jeofizik tekniklerin cevaplandırmaya yardımcı olabileceği keşif ve üretim sorunlarıdır (Fitterman ve Stewart, 1986).

Jeofizik tekniklerin yeraltı suyu araştırmalarında başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Elektromanyetik Yöntemler ve Doğru Akım Dirençli (DRC) Yöntemler yeraltı suyu kaynaklarının araştırılmasında onlarca yıldır başarıyla kullanılmaktadır. Elektromanyetik ekipman, EM 34-3 ekipmanı (Geonics), yeraltı suyu aramalarında kullanılan en popüler EM alan sistemlerinden biridir. Sığ derinliklerde iletkenliği doğrudan ölçen portatif bir EM cihazıdır.

Slingram Sistemi ya da HLEM metodu, bir çok uygulamalı jeofizik makalede anlatılmıştır. Örneğin McNeill (1980); Frischknecht vd. (1991); Spies ve Frischknecht (1991); Keller ve Frischknecht (1977). Salingram tekniği veya HLEM metodu ile yapılmış Carrasquilla vd. (2007); Chegbeleh vd. (2009); Menyeh vd. (2005); Somiah (2013); Tsikudo Kwasi (2009); Anecha (2013) gibi birçok jeofizik araştırmasından elde edilen EM verileri 1D yanal sınırlama inversiyonu (Monteiro Santos, 2004) ve AEMINV (Pirttijärvi, 2014) gibi inversiyon programları, niteliksel olarak yorumlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan geleneksel VES, çeşitli çalışmalarda kullanılmış ve iyi sonuçlar vermiştir. Elektriksel direnç, yeraltı suyu aramalarında yer altı katmanları ve temel konfigürasyonunu anlamak için kullanılabilen diğer yöntemler arasında makul ölçüde doğru sonuçlar verir (Olakunle Coker, 2012). Bu çalışmada, DC direnç verisi verileri, 1 D inversiyon yaklaşımı ve Nejad vd. (2011) tarafından kullanılan görünür direnç haritası yaklaşımı ile ana eğri tipleri kataloğu kullanılarak yorumlanmıştır.

Bu makalede EM34-3 verilerinin yorumlanmasında EM inversiyonunun kullanılmasının önemi ve

EM34-3'ten yeraltı suyu araştırmaları için elde edilen verilerin niteliksel yorumu ile entegrasyonu vurgulanmıştır. VES veri yorumlamalarında görünür öz direnç haritalarının kullanışlılığı (özellikle 2D veya 3D inversiyon için sınırlı veri olduğunda), VES verilerinin 1D inversiyonu ile birlikte gösterilmiştir.

### 1.1. Çalışma Alanı

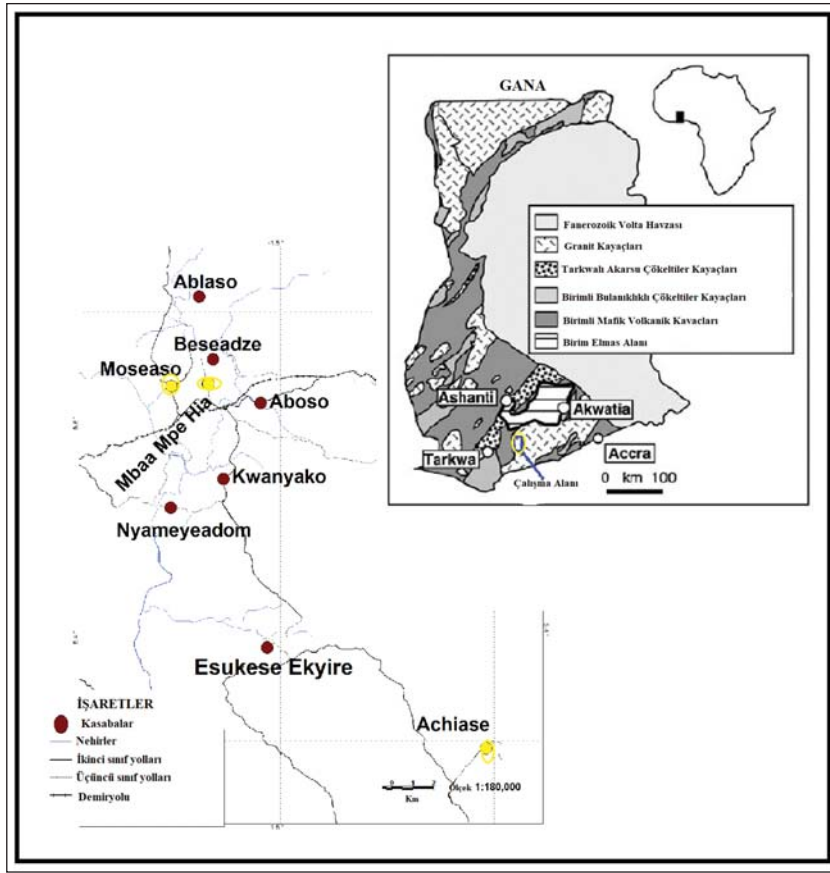
Çalışma alanı üç topluluktan oluşmaktadır; Ghana Merkez Bölgesinin Twifo - Hemang Alt Denkyira bölgesinde yer alan Achiase, MbaaMpeHia No 2 ve Moseaso (Şekil 1). Alan 5° 50'N ve 5° 51'N enlemleri ile 1° 50'W ve 1° 10'W boylamları arasında yer almaktadır. Bölge yarı - ekvator iklim bölgesinde yer almaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 1750 mm ile 2000 mm arasındadır. Haziran ve Ekim ayları en yağışlı, Mart ayı ise en kurak aydır. 26°C (Ağustosta) ve 30°C (Martta) arasında oldukça tekdüze yüksek bir sıcaklık aralığına sahiptir. Alandaki vejetasyon temel olarak iki orman tipinden oluşmaktadır. Güneyde tropik yağmur ormanı ve Kuzeyde nemli yarı yaprak döken ormanlar bulunmaktadır. Vejetasyon, çiftçilik ve ağaç kesimi gibi insan faaliyetleri dolayısıyla tahrip olmuştur (Anon, 2012).

Bazik granitik intrüsyonlar ve granitler hemen hemen tüm çalışma alanını kaplamaktadır. Başlıca kayalar türleri iyi foliasyonlu, orta taneli, potasça zengini muskovit-biyotit granitleri, granodiyoritleri ve pegmatitleri içermektedir (Şekil 1). Çalışma alanında bulunan granitler Post-Tarkwaian'dır ve Bongo Granitleri, Dixcove Granit Kompleksi ve Cape Coast Granit Kompleksi olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

Cape Coast granitleri genellikle şistler ve gnayslar ile ilişkilidir ve Alt Birimiyen meta-çökellerine sokulmuştur.

Granitin bir özelliği, doğal olarak geçirgen olmaması, çatlak sistemi gelişimi ve aşınmaya bağlı olarak ikincil geçirgenlik ve gözenekliliğin oluşmasıdır (Gyamera vd., 2014).

Çatlaklar ve damarlar yoğun hava koşullarında su sızıntısının yeraltı suyu rezervuarları oluşturmasına izin vermiştir. Bu nedenle, ikincil gözenekliliğin geliştiği yerde, akiferler bulunur. İki ana akifer türü (i) kristalli temel kayalar üzerinde gelişen aşınmış bölge veya 'regolit', ve (ii) ana kayadaki kırılma zonlarıdır (Mainoo vd., 2007).



Şekil 1- Gana'nın basitleştirilmiş jeoloji haritası (Wymana vd., 2008 ve Mainoo vd., 2007). Çalışma bölgeleri sarı renk ile gösterilmiştir.

## 2. Metodoloji

Bu çalışmada iki jeofizik yöntem; DCR ve Slingram (HLEM) kullanılmıştır.

### 2.1. HLEM Araştırması

Elektromanyetik görünür iletkenlik değerleri, 20 metrelik aralıklarla hem yatay dipol (HD) hem de dikey dipol (VD) metodları kullanılarak elde edilmiştir.

Dikey eksen üzerinde görünen veya arazi iletkenlikleri (mhos/m cinsinden), yatay eksen istasyon aralıklarına (metre cinsinden) göre grafikleri çizildi. Dikey iletkenlerde ve VD oriyantasyonu dikey iletkenlere nispeten duyarlı olduğundan (Thamke vd., 1998), VD ölçümleri için VD iletkenliklerinin HD iletkenliklerini aştığı noktalar kaydedilmiştir. Tecrübeye dayalı olarak VES noktası için diğer noktalar da seçilmiştir. Bu noktaların yüksek iletkenliğe veya çapraz noktaya sahip olmasına rağmen, çöplüklerin ve tuvalet tesislerinin veya binaların çatı altında kalmasından kaçınılmıştır.

Elde edilen verilerin inversiyonu ve yorumlanması için AEMINV (Pirttijärvi, 2014) bilgisayar programı kullanılmıştır. Bilgisayar programı, tek boyutlu (1-D) katmanlı toprak modeli kullanılarak frekans-alan hava kaynaklı elektromanyetik (AEM) verilerinin jeofizik olarak yorumlanması için geliştirilmiş olup, burada kullanıldığı gibi toprak EM verilerini yorumlamak için de kullanılabilir.

Programın kullanım kılavuzuna göre (Pirttijärvi 2014); model parametreleri, tabakaların elektriksel direnci ve kalınlıkları ile temel katmanın öz direnç ve manyetik duyarlılıklarıdır.

Inversiyon, tek boyutlu katmanlı bir arazi modeli kullanılarak her profil noktası için bağımsız olarak yapılır. Bir öz dirençli yapma-kesit, bitişik veri noktalarının altındaki öz direnç-kalınlık değerlerini renkli dikdörtgenler ile çizerek elde edilir. Bir başlangıç modelinden başlayarak, uyarlamalı sönümleme ile yinelemeli doğrusallaştırılmış inversiyon, model parametrelerini güncellemek için kullanılır, böylece

veri hatası, yani ölçülen ve hesaplanan veri arasındaki fark en aza indirilir. Yanal olarak kısıtlanmış inversiyon, modelin pürüzlülüğünün en aza indirilmesiyle, yani, komşu noktalar arasındaki model parametrelerinin veri hatasıyla birlikte değiştirilmesiyle elde edilir. Kısıtlı (Occam) inversiyonun bir sonucu olarak, hafifçe değişen bir direnç-kalınlık modeli elde edilir. Pürüzlülük ve/veya sabit /serbest durum parametreleri, süreksizliklere izin vermek ve modele bir ön veriyi dahil etmek için manuel olarak ayarlanabilir (Pirttijärvi, 2014).

## 2.2. DCR Araştırması

VES ölçümleri EM profilleri boyunca seçilen yerlerde yapılmış ve ABEM Terrameter SAS 1000C ve maksimum AB / 2 aralığı 83.0 m olan Schlumberger elektrot dizisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nicel yorumlarda RES1D inversiyonu (Loke, 2001) kullanılmıştır. 1D inversiyonunun model parametreleri, elektriksel direnç, tabakaların kalınlığı ve yüzeyden ölçülen tabakaların derinliğidir. İki niteliksel yorumlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler, ana eğri tipleri yöntemi ve görünür öz direnç haritası (2D yapma rezistivite haritası) yöntemidir. Görünür direnç haritalarının oluşturulmasında düzeltilmiş görünür öz direnç değerleri kullanılmıştır. Projenin amacı, yeraltı suyu temini için sondaj veya el ile kazılabilmesi için yeraltı suyu potansiyelinin

yüksek noktalarını tespit etmektir. Bu amaçla, belli bir renk skalası kullanılarak görünen öz direnç haritaları oluşturuldu.

Çalışma alanlarına maksimum 5 km mesafede bulunan mevcut kuyulardaki verilere (Çizelge 1) ve 1D arazi modelleri VES sonuçlarına dayanarak, akiferlerdeki yeraltı sularının varlığı şu şekilde sınıflandırılmıştır: yüksek miktarda yeraltı suyu (0 - 200  $\Omega$ m); orta miktarda yeraltı suyu (200 - 500  $\Omega$ m); az miktarda yeraltı suyu (500 - 800  $\Omega$ m); çok az miktarda yeraltı suyu (800 - 1100  $\Omega$ m) ve son olarak yeraltı suyu olmayan bölgeler ( $\geq 1400 \Omega$ m). Ana model olarak tahmin edilen 1D arazi modelleriyle ve 2 boyutlu yapay direnç haritaları gibi görünen direnç haritalarıyla desteklenen lokasyon ilk üç sınıfa veya gruba girdiğinde bu nokta için sondaj önerilir. Genellikle düşük seviyede yeraltı suyu olmadığı sürece, dördüncü sınıftaki noktalar asla tavsiye edilmez. Bu tür bir modelin kullanılmasının temel amacı, yıl boyunca iyi bir şekilde çalışabilecek lokasyonlar için sondaj önermektir.

Bu çalışmada kullanılan görünür öz direnç haritaları, belirli bir derinlikte yatay bir düzlem üzerinde yer altı yüzeyinin görünür öz dirençliğinin yanal değişimini yansıtmaktadır (Nejad vd., 2011). Görünür öz direnç haritalarının oluşturulmasında şu ana kural kullanılır: Maksimum araştırma derinliği

Çizelge 1- Çalışma alanlarına 5 km'den daha yakın mesafede bulunan mevcut sondajlara ait veriler.

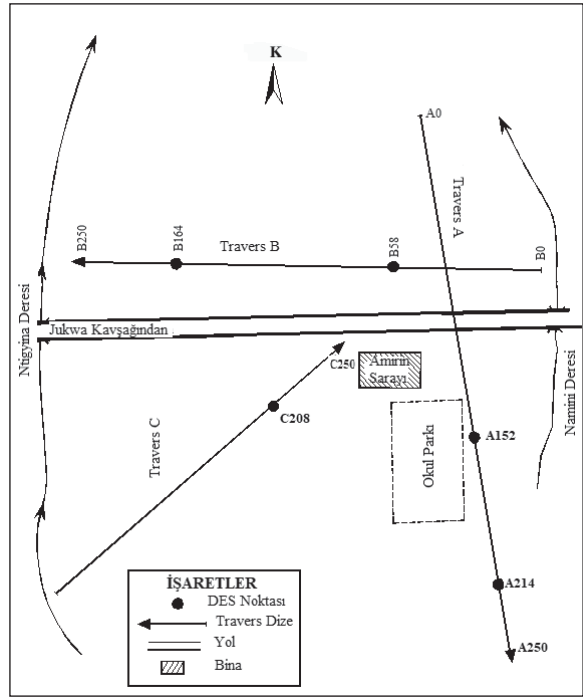
<b>Achiase Topluluğu</b>			
<b>Bölge</b>	<b>Sondaj No</b>	<b>Derinlik (m)</b>	<b>Kayaç</b>
WATRESO	27/I/51-1	26	Gnays
WATRESO	27/I/51-2		
NYAMEBEKYERE	27/H/68-1	28	Kuvars Diyorit
NYAMEBEKYERE	27/H/68-2	34	
NYAMEBEKYERE	27/H/68-3	40	
NYAMEBEKYERE	27/H/68-4	37	Granit
NYAMIENI	27/H/59-1	40	
NYAMIENI	27/H/59-2	40	
<b>Moseaso Topluluğu</b>			
<b>Bölge</b>	<b>Sondaj No</b>	<b>Derinlik (m)</b>	<b>Kayaç</b>
NYENASI	48/E/79-2	73	
<b>Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğu</b>			
<b>Bölge</b>	<b>Sondaj No</b>	<b>Derinlik (m)</b>	<b>Kayaç</b>
NYENASI	48/E/79-2	73	
TWIFO PRASO	48/F/74-1	27	Şist
TWIFO PRASO	48/F/74-2	28	Şist
TWIFO PRASO	48/F/74-3	31	Şist
TWIFO PRASO	48/F/74-4	28	Şist
TWIFO PRASO	48/F/74-5	37	Şist
TWIFO PRASO	48/F/74-6	28	Şist
TWIFO PRASO	48/F/74-7	25	Şist

veya AMNB yönteminin penetrasyon derinliği, AB'nin maksimum uzaklığının  $1 / 3$ 'ünden  $1/4$ 'üne kadardır (Frohlich vd. 1996).  $AB/2$ 'nin maksimum  $1/4$ 'üne göre en güvenli arama derinlikleri görünür direnç haritalarının oluşturulması için  $AB / 2 = 1,5, 6,3, 27,0, 58,0$  ve  $83,0$  m mesafelerinde kullanılmıştır. Sondaj kararları, tahmini 1D arazi modeline ve tahmini 1D arazi modeline bir destek olarak görünen direnç haritalarına dayanılarak yapılmıştır.

### 3. Veriler ve Tartışma

EM 34-3 ekipmanı, yerel yeraltı suyu sirkülasyonu ile ilişkili olabilecek sığ iletken yapıların ana hatlarını belirlemek için EM profileme için kullanılmıştır. EM profileme, onbir (11) profil üzerinden üç topluluk boyunca yapılmıştır.

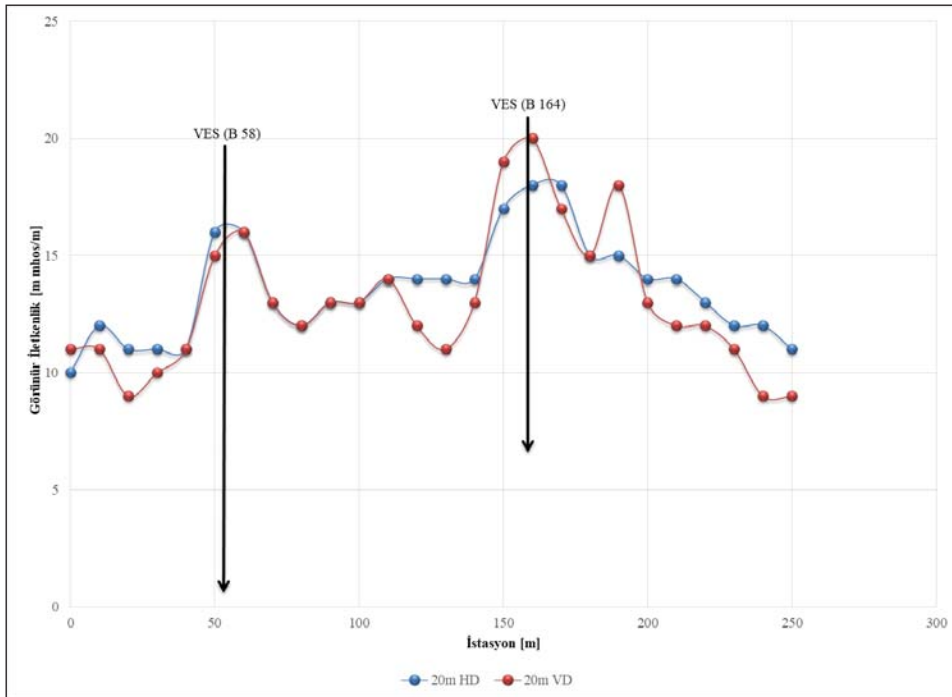
Achiase Topluluğunda üç adet EM kesiti gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Kesitlerden biri 350 m uzunluğunda, diğer ikisi ise 250 m uzunluğa sahiptir. Genel olarak, A ve C kesit eğrileri, HD için VD'den daha yüksek arazi iletkenliği sergiler ve bu da derinliklerde hava koşullarında genel düşüş anlamına geldiği şeklinde yorumlanmıştır. Her bir kesit hem HD hem de VD eğrileri, çalışma alanının altında karmaşık yapıların bulunduğunu göstermiştir. Grafikler üzerinde birkaç kesim noktası vardır (bkz. Şekil 3) ve



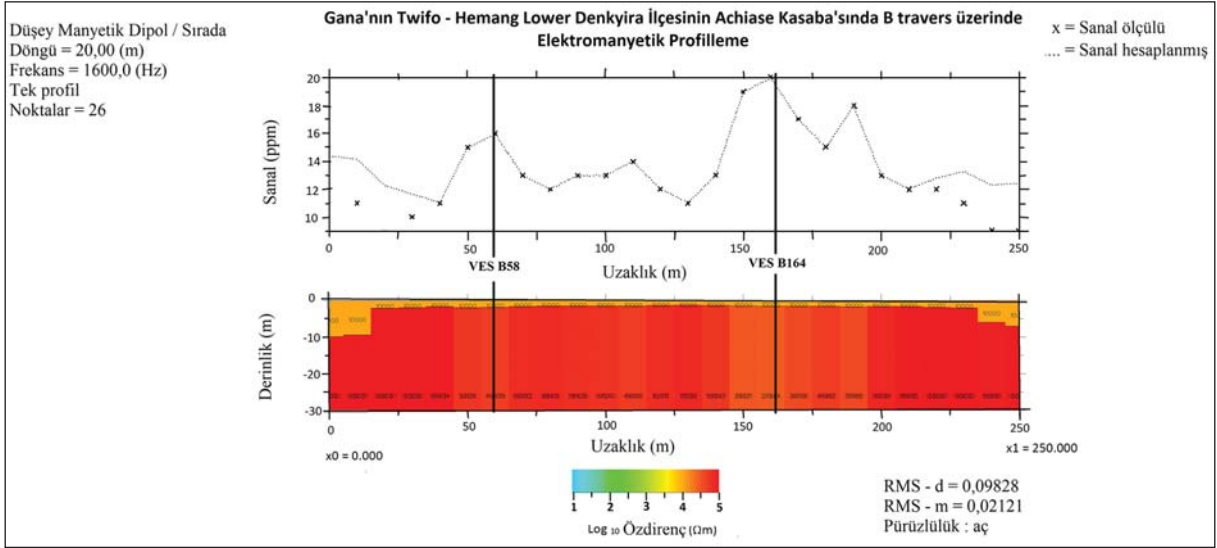
Şekil 2- Achiase Topluluğu planı ve profil (travers) lokasyonları (ölçeksiz).

bu noktalar yüksek VD iletkenlik değerlerine sahip bir nokta ile birlikte ileri incelemeler için önerilmiştir.

VD inversiyon sonuçları (Şekil 4), çalışma alanının altındaki iki tabakayı, 1 - 10 m'lik bir kalınlık aralığına



Şekil 3- Achiase Topluluğunda bulunan B profili boyunca iletkenliğin değişimi grafiği.

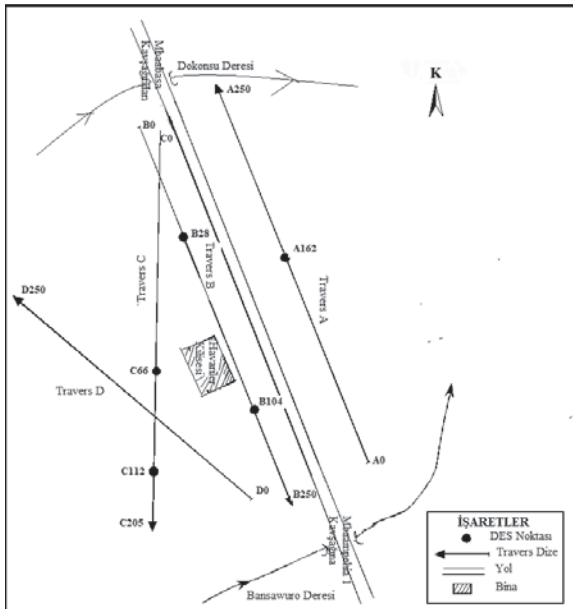


Şekil 4- Achiase Topluğunda bulunan B profili boyunca EM ters çözüm sonuçları (VD mod).

sahip olan birinci katmanı ve ikinci katın kalınlığının da yarı sonsuz olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Özdirenç değerleri logaritmik ölçektir ve ilk katmanın direnç değeri 2,5 – 3,5 Ωm arasındadır. İkinci tabakanın direnç değeri 3,0 – 5,0 Ωm arasındadır. İnversiyon sonuçları ve arazi iletkenlik grafikleri arasında iyi bir uyum vardır.

Mbaa Mpe Hia No.2 Topluğunda, EM profillemeye dört kesit boyunca gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).

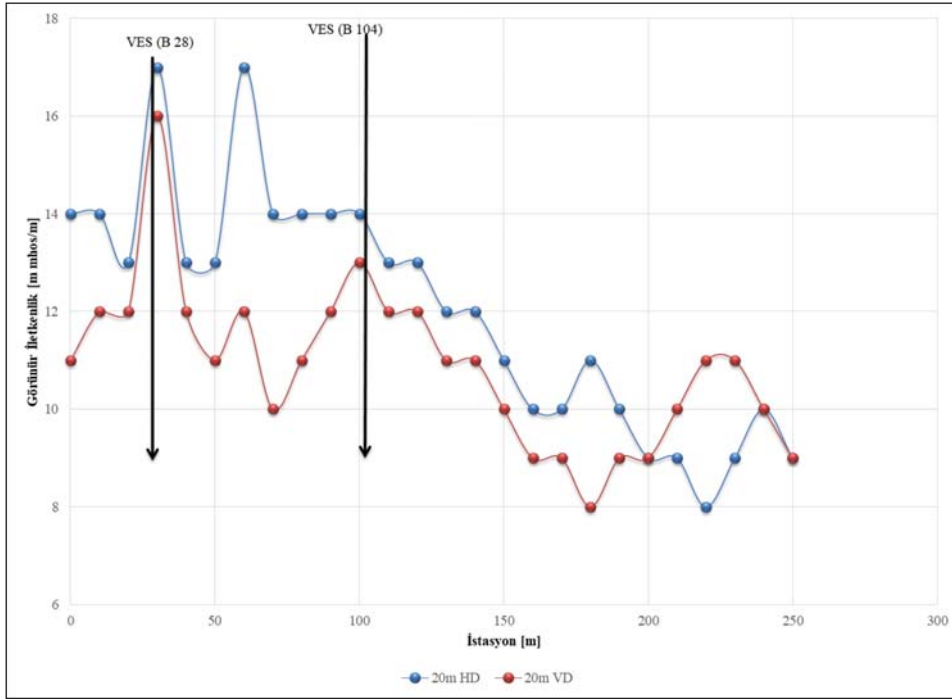


Şekil 5- Mbaa Mpe Hia No. 2 Topluğunda planı ve profil (travers) lokasyonları (ölçeksiz).

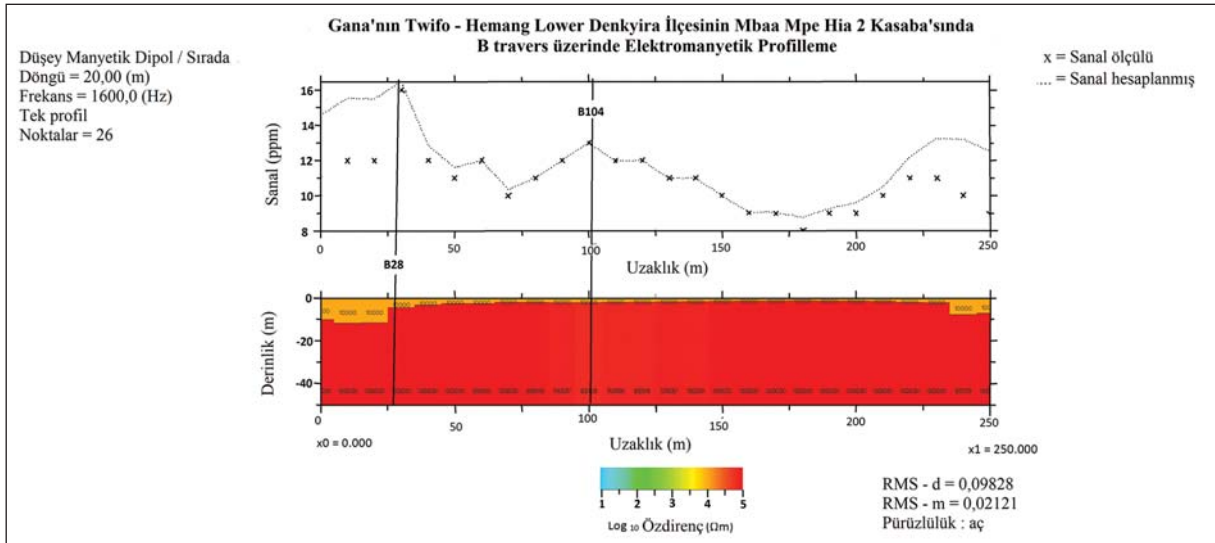
Kesit A GGD - KKB yönünde, kesit B KKB - GGD yönünde, kesit C K-G yönünde ve kesit D GD-KB gerçekleştirilmiştir. Bu topluluktan elde edilen arazi iletkenliği dağılımı, 7 mS/m ile 18 mS/m arasında değişen nispeten yüksek iletkenlik göstermektedir. Bu toplulukta bulunan tüm kesitlerin profil uzunlukları 250 m'dir. Şekil 6 ve 7, sırasıyla B kesiti boyunca EM arazi iletkenliğini ve EM inversiyonunu göstermektedir.

Moseaso Topluğunda, dört kesit gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Kesit B ve D, D-B yönünde, A kesiti B-D yönünde, C kesiti G-K yönünde gerçekleştirilmiştir. Bu topluluktaki kesit uzunlukları 200 m ile 250 m arasındadır. Maksimum arazi iletkenlik değeri 16 mS / m ve minimum arazi iletkenlik değeri 7 mS / m'dir. Bu topluluktaki arazi iletkenlik değerleri genellikle düşüktür. Aşağıdaki şekil 9 ve 10, sırasıyla, D kesiti boyunca EM arazi iletkenliğini ve EM inversiyonunu göstermektedir.

EM inversiyonu, çalışma alanlarındaki tüm profiller için iki katmanlı arazi modeli üretilmiştir. Model rezistivite değerleri 100 Ωm ile 100000 Ωm arasındadır ve logaritma direnci, ölçülen ve hesaplanan değerler arasında ortalama % 0.10 RMS farkı bulunur. Çalışma alanı, granit formasyonu içinde yer almakta ve granit için nominal direnç değerleri  $3 \times 10^2$  to  $3 \times 10^6$  Ωm arasında değişmektedir. Bozunmuş granit için nominal direnç değerleri de  $3 \times 10^{-5}$  to  $3 \times 10^2$  Ωm arasında değişmektedir (Reynolds, 1997). Gözeneklerin birbirine bağlanması (geçirgenlik) ve su ile kaplanan kayaların fraksiyonel hacmindeki artış,



Şekil 6- Mbaa Mpe Hia No.2 Topluğunda bulunan B profili boyunca iletkenliğin değişimi grafiği.

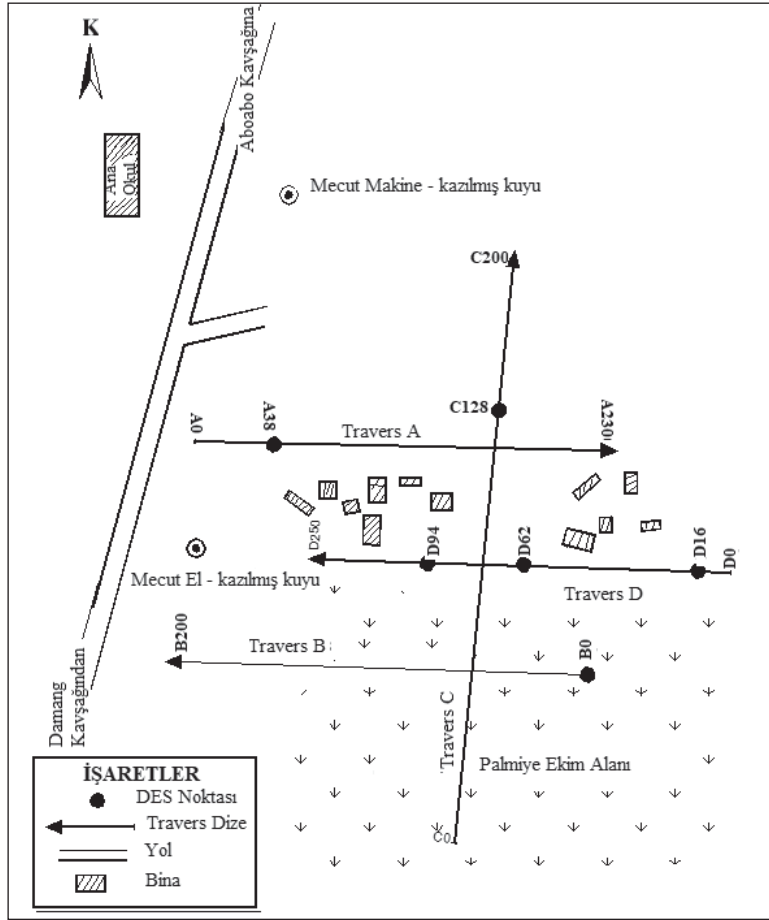


Şekil 7- Mbaa Mpe Hia No.2 Topluğunda bulunan B profili boyunca EM ters çözüm sonuçları (VD mod).

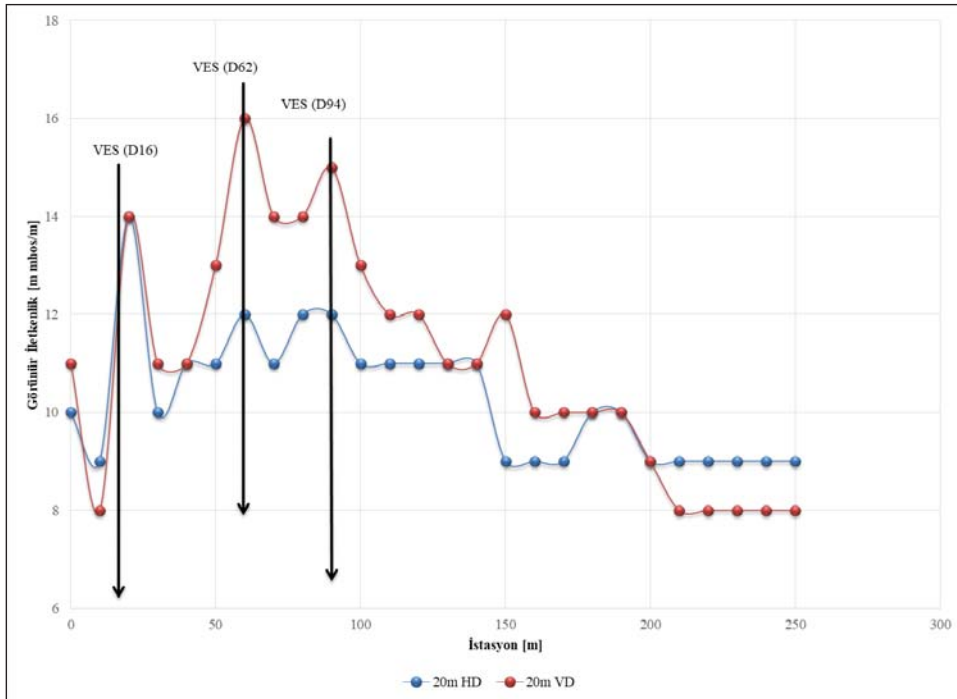
direnç değerlerinde azalmaya yol açar. Bu bağlamda, nispeten düşük özdirenç sergileyen EM inversiyonu (Şekil 4, 7 ve 10) üzerindeki kesitlerin, yeraltındaki çatlaklar veya bozunma ile ilişkili olduğu ve bu çalışmanın hedefi olduğu şeklinde yorumlanır. Bazı noktalar düşük özdirenç değerleri göstermiş ancak daha fazla araştırma için seçilmemiştir; çünkü bunlar yüksek yeraltı suyu kirliliği olasılığı olan noktalarda bulunmaktadır. Üç toplumda DCR yöntemini

kullanarak daha fazla araştırma için toplam 16 VES istasyonu önerilmiştir.

Bu topluluklardan elde edilen 1D inversiyon sonuçlarına dayanan tahmini 1D arazi modellerinden bazıları için şekil 11, 12 ve 13'e bakınız. Moseaso Topluğunda altı VES istasyonu ve Mbaa Mpe Hia No. 2 Topluğu ve Achiase Topluğunda beş VES istasyonu bulunmaktadır.

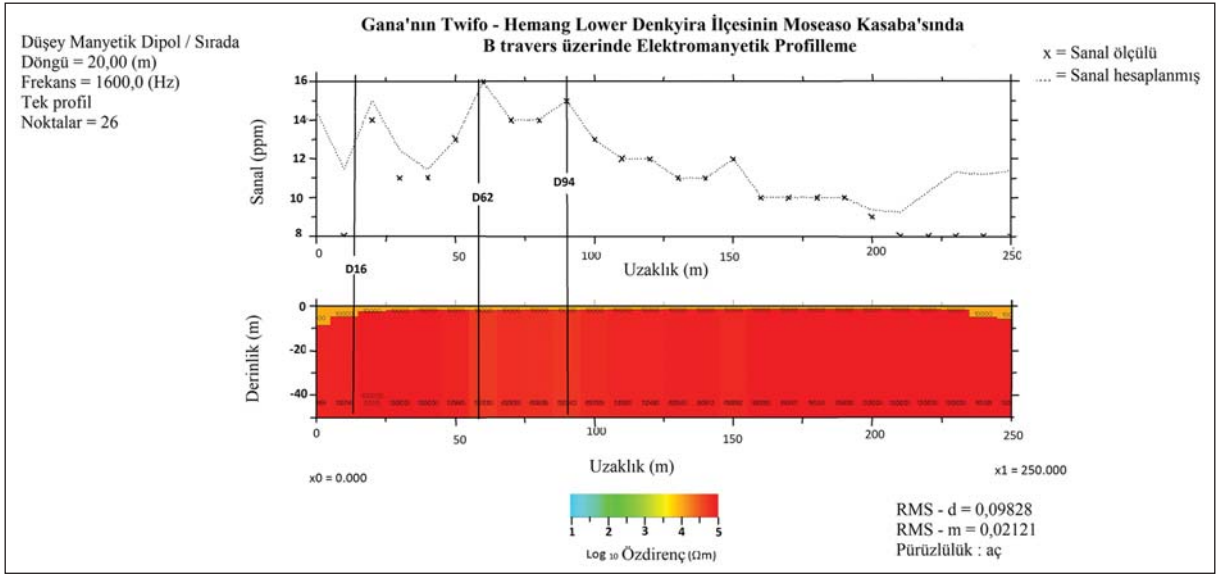


Şekil 8- Moseaso Topluluğu planı ve profil (travers) lokasyonları (ölçeksiz).

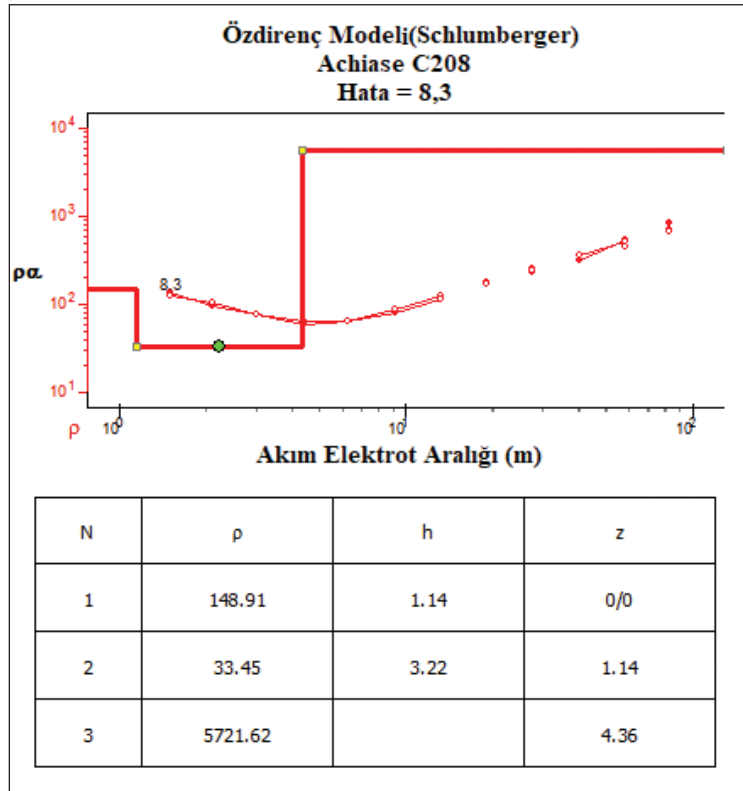


Şekil 9- Moseaso Topluluğunda bulunan D profili boyunca iletkenliğin değişimi grafiği.





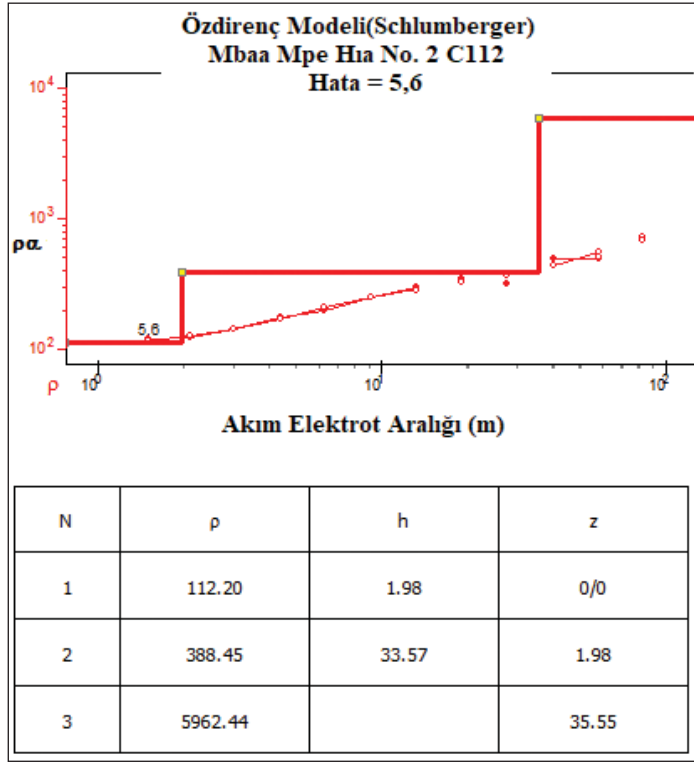
Şekil 10- Moseaso Topluğunda bulunan D profili boyunca EM ters çözüm sonuçları (VD mod).



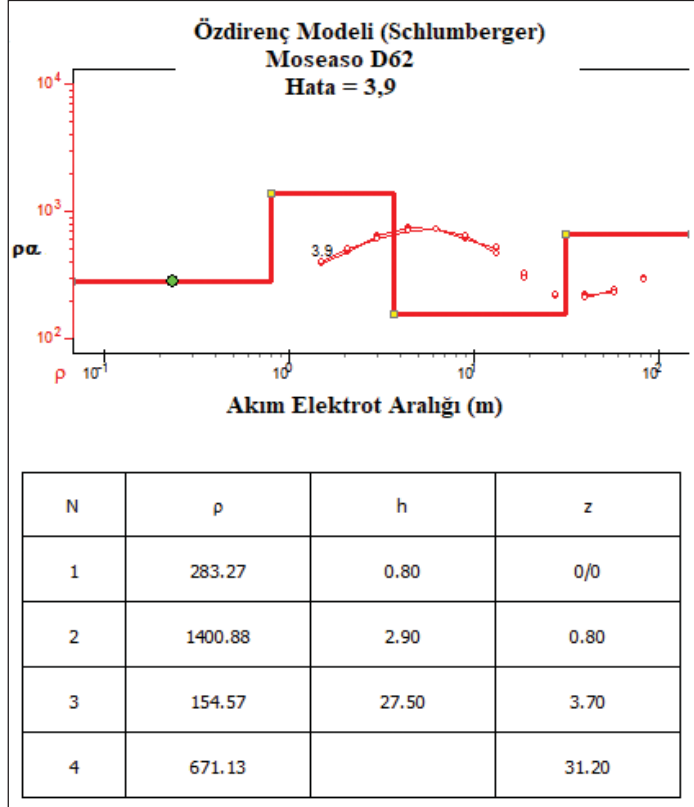
Şekil 11- Achiase Topluğundaki C208 lokasyonu için 1D ters çözüm sonuçları.

Çalışmada elde edilen eğri tipleri H, A, KH ve QH'dir. Baskın eğri tipi, % 43.75 olan H eğri tipidir, bunu % 25.00 ile QH tipi izler. A eğri tipi % 18.75 ve KH tipleri % 12,50'dir. H ve KH eğri tipleri genellikle yeraltı suyu olasılıklarıyla ilişkilidir.

Achiase Topluğuna için elde edilen VES eğrilerinin analizi 3 katmanlı bir yapı ortaya çıkarmıştır. İlk katmanlar 1,10 – 5,82 m arasında değişen kalınlıklara ve 59,55 – 1204,4 Ωm arasındaki rezistans değerlerine sahiptir. İkinci tabakalar da 3,22 – 19,65 m arasında değişen kalınlıklara ve 33,45 – 289,28 Ωm arasında



Şekil 12- Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğundaki C112 lokasyonu için 1D ters çözüm sonuçları.



Şekil 13- Moseaso Topluluğunda bulunan D62 lokasyonu için 1D ters çözüm sonuçları.

değişen direnç değerlerine sahiptir. Anakayanın direnç değerleri 2479 - 9815  $\Omega$ m arasındadır. Ses eğrilerinin şekli sadece bir A-tipi ve dört H tipindedir.

Achiase Topluluğu çevresindeki mevcut 8 sondajdan gelen verilere göre (Çizelge 1), sondaj derinlikleri 26,0–40,0 m aralığında ve ortalama olarak 35,0 m civarındadır. Bu derinlik aralığı, çizelge 2'deki VES inversiyon sonuçlarından elde edilen akiferlerin derinlikleri ile karşılaştırılabilir.

Genel olarak, çizelge 2'deki 1D inversiyonu Achiase topluluğundaki çalışma alanının altında iyi bir akifer bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bunun nedeni bölgenin jeolojisidir. Bu tip jeolojik alanlarda genellikle düşük direnç değerlerine sahip alanlar akiferlerle ilişkilidir. Tüm VES istasyonları, altlarında bulunan kamu için yeterli yeraltı suyu içerebilir.

Şekil 11'de görüldüğü gibi, B164, A152 ve C208 gibi VES istasyonları çizelge 2'de özetlendiği gibi göreceli olarak düşük öz direnç değerleri göstermektedir. Çizelge 2 ve şekil 14'den de görülebileceği gibi, VES C208 yeraltı suyu içerebilir, ancak ilk iki tabakanın derinliği nedeniyle, yer altı suyu potansiyelinde son sırada yer almıştır. çizelge

2, sondaj için seçilen noktaların listesini içeren VES sonuçlarının özetini sunmaktadır.

Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğunun VES eğrilerinin analizi; iki VES istasyonu dört katmanlı bir yapı ortaya koymasına rağmen, topluluğun altında genellikle üç jeoelektrik katman bulunmaktadır. İlk kat, 112,2–653,70 Wm'lik bir direnç değerine sahiptir ve ortalama 1,51 m derinlikte kesilebilir. Su içeren tabaka olması beklenen ikinci tabakanın kalınlığı 3,10 – 33,57 m arasında olup, ortalama direnç değeri 256,65 Wm'dir. Üçüncü katman, 120,97 – 9347,90 Wm arasında değişen bir direnç değerine sahiptir.

Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğunun çevresinde derinlikleri 25,0 – 73,0 m arasında değişen ortalaması 34,5 m olan 8 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır (Çizelge 1). Çizelge 1'deki verileri çizelge 3'teki VES sonuçları ile karşılaştırdığımızda, beş VES istasyonundan sadece birinin akifer derinliğinin bu menzilde olması beklenmektedir. Çizelge 1'de verilen sondajlar, Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğu'ndan yaklaşık 5 km uzaklıktadır ve litolojilerde bir değişiklik olabilir. Genel olarak, Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğunda, beklenen akiferler çizelge 1'de rapor edilen sondajlardan daha sığdır.

Çizelge 2- Achiase Topluluğundaki lokasyonlar için öncelik sırasıyla verilen DES sonuçları (1D ters çözüm) özeti.

DES Nokta	Tabaka	$\rho(\Omega\text{-m})$	Derinlik (m)	Kalınlık (m)	Sıra	Konum (GPS)	Eğri tipi
B164	1	59.55	1.1	1.1	1	5.29323N 1.30781W	A
	2	89.84	20.75	19.65			
	3	9815.42	-	-			
B58	1	1232.85	0.83	0.83	4	5.29356N 1.30728W	H
	2	240.06	22.29	19.65			
	3	43868.7	-	-			
A214	1	756.05	2.91	2.91	3	5.29275N 1.30651W	H
	2	289.28	13.63	10.72			
	3	2479.11	-	-			
A152	1	752	5.82	5.82	5	5.29303N 1.30678W	H
	2	180.71	13.33	7.51			
	3	8310.8	-	-			
C208	1	148.91	1.14	1.45	2	5.29256N 1.30833W	H
	2	33.45	4.36	3.22			
	3	5721.62	-	-			



Çizelge 3- Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğundaki lokasyonlar için öncelik sırasıyla vsonuçları (1D ters çözüm) özeti.

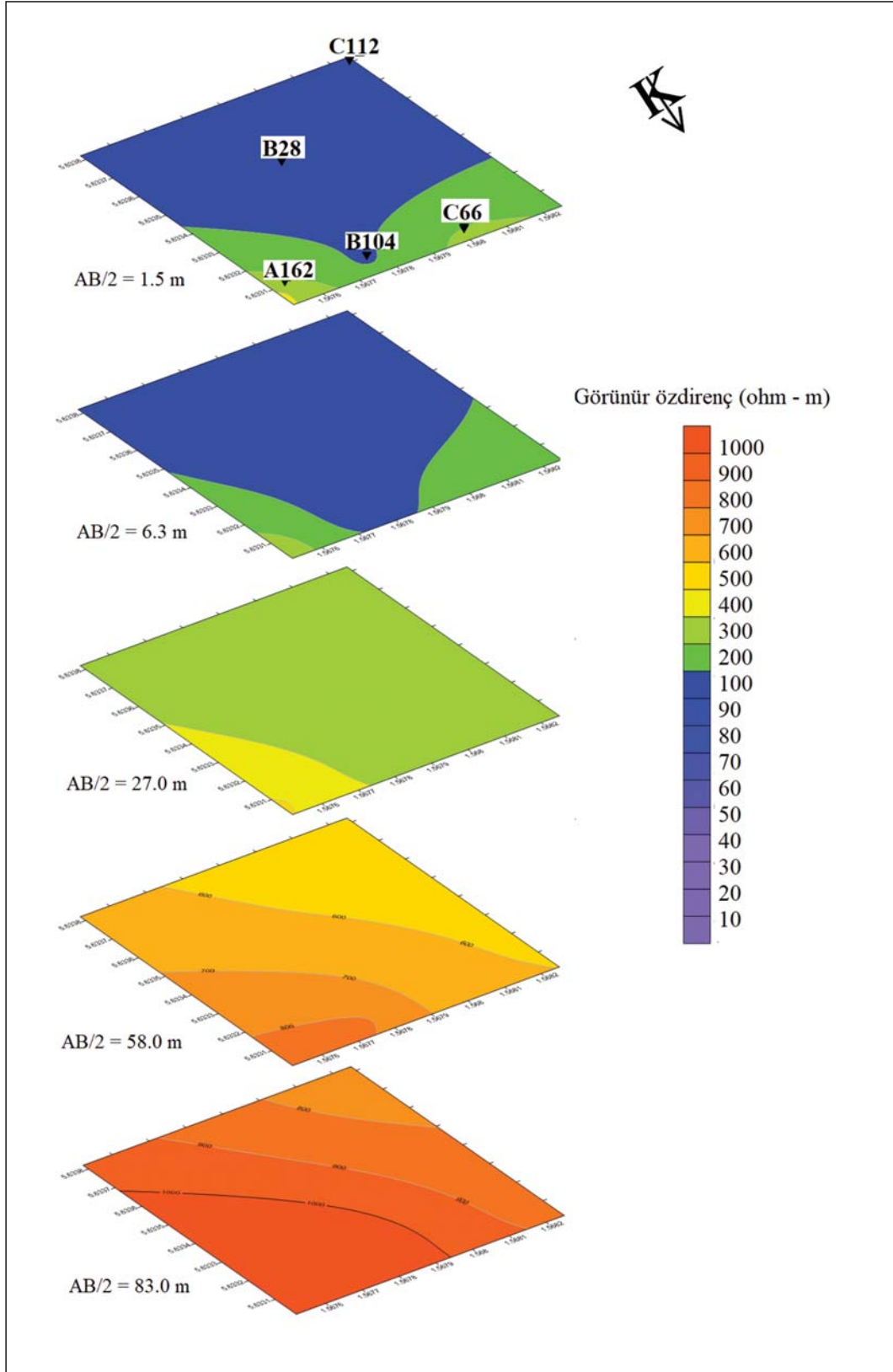
DES Nokta	Konum (GPS)	Tabaka	$\rho(\Omega\text{-m})$	Kalınlık (m)	Derinlik (m)	Sıra	Eğri tipi
C112	5.63382N 1.56825W	1	112.2	1.98	1.98	1	A
		2	388.45	33.57	35.55		
		3	5962.44	-	-		
B28	5.63352N 1.56786W	1	122.32	1.88	1.88	2	A
		2	148.35	9.1	10.98		
		3	3573.44	-	-		
B104	5.63308N 1.56776W	1	192.54	1.6	1.6	3	H
		2	121.85	6.77	8.37		
		3	9347.9	-	-		
A162	5.63307N 1.56752W	1	438.54	1.5	1.5	4	H
		2	391.37	3.1	4.6		
		3	296.56	11.67	16.27		
		4	4061.89	-	-		
C66	5.63302N 1.56800W	1	653.7	0.6	0.6	5	QH
		2	233.21	3.5	4.1		
		3	120.97	6.9	11		
		4	4241.54	-	-		

Çizelge 3'ten görülebileceği gibi; tüm ilk üç katman, 16,27 m maksimum akifer derinliği ile ilgili olarak düşük direnç değerlerine sahiptir. Çizelge 3'te özetlendiği gibi 1D inversiyon sonuçları esas alındığında, incelenen tüm VES noktaları kayda değer miktarda yeraltı suyu içerebilir sonucuna varılabilir. Bu, şekil 15'teki görünür direnç haritalarında da görülebilir. Öncelik sıralamasında ilk olarak VES C112 bulunur, ardından VES B28, B104, A162 ve C66 gelir.

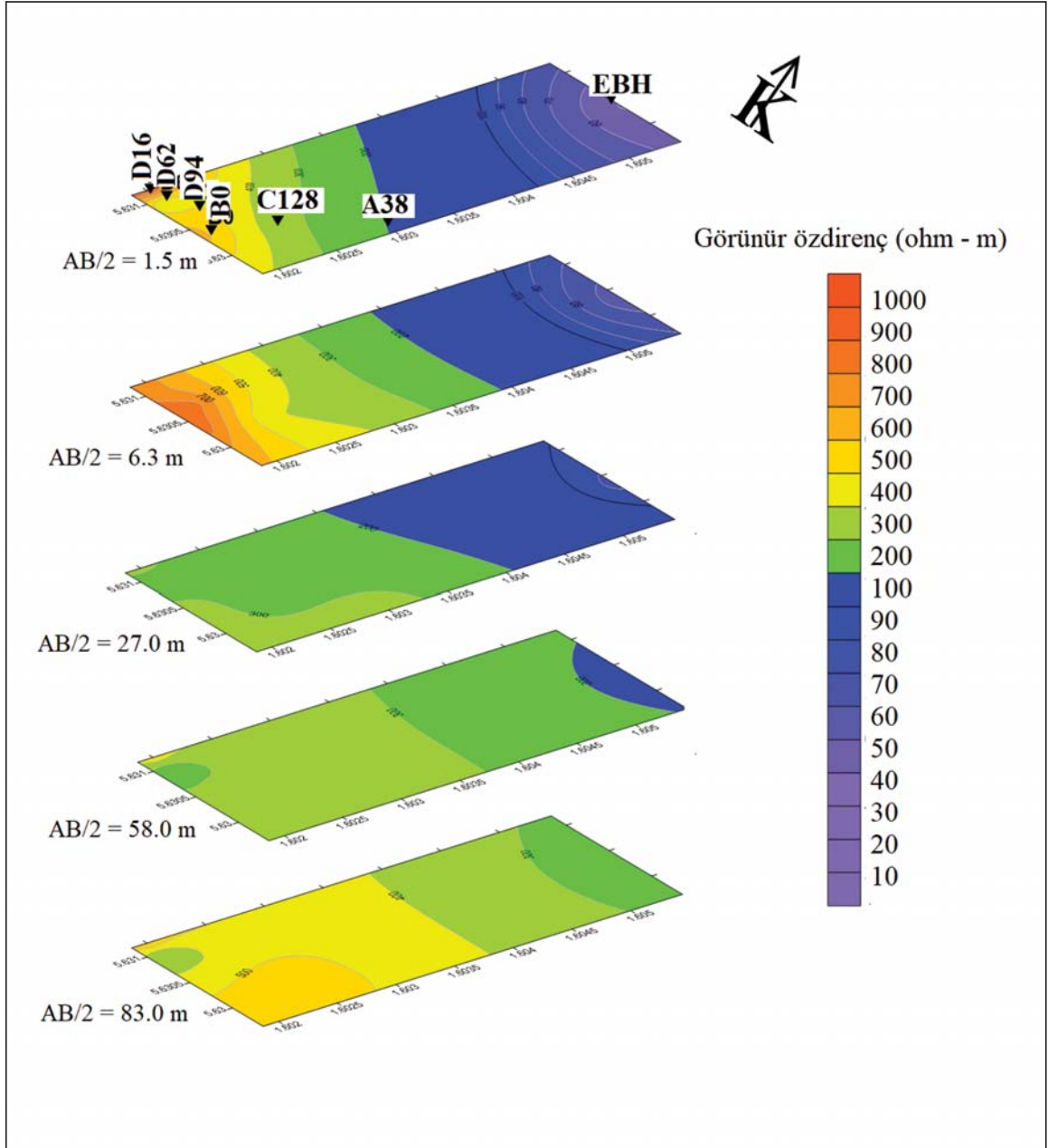
VES sonuçları, Moseaso Topluluğu'nun altında genel olarak dört jeoelektrik katman olduğunu göstermiştir. İncelenen beş VES istasyonundan sadece bir istasyon için üç katmanlı model öne sürülebilir. Genel olarak, ilk tabaka 179,63 – 1206,62  $\Omega\text{m}$  arasında değişen direnç değerlerine sahiptir ve ortalama 2,83 m derinlikte kesilebilir. İkinci tabakanın kalınlığı 2,90-12,36 m arasındadır, ortalama direnç değeri 892,73  $\Omega\text{m}$ 'dir. Su taşımaması beklenen üçüncü tabakanın kalınlığı 12,20-28,8 m arasında değişir ve ortalama

direnç değeri ise 794,21  $\Omega\text{m}$ 'dir. Dördüncü katman 671,13  $\Omega\text{m}$  ve 2572,31  $\Omega\text{m}$  arasında değişen direnç değerlerine sahiptir (Şekil 16).

Çizelge 1 bu topluluktan yaklaşık 5 km uzaktaki sondajı göstermektedir ve bu sondajın derinliği 73 m'dir. Moseaso Topluluğunun şematik planında iki kuyu gösterilmektedir (Şekil 8) ancak sadece bir kuyudan (Mevcut sondaj) elde edilen veriler mevcuttur. Sondaj üzerindeki mevcut veriler VES'ten elde edilmiştir ve aşağıda çizelge 4'te gösterilmiştir. Çizelge 4'te bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlara göre mevcut sondaj (EBH) sığ bir derinliğe sahiptir. Çizelge 4'de 1D inversiyon sonuçları ve şekil 12'nin desteği, mevcut sondajın etrafındaki alanların, araştırdığımız alanlardan daha iyi akifer içerebileceğini göstermektedir. Gelecekteki yeraltı suyu arama projesinde, şekil 8'de görülebileceği gibi, mevcut kuyu çevresinde, bu topluluğun kuzeyine doğru olan alanlara ilgi gösterilmelidir.



Şekil 15- Mbua Mpe Hia No.2 Topluluğunda elde edilen görünür rezistivite haritaları.



Şekil 16- Moseaso Topluğunda elde edilen görünür rezistivite haritaları.

Çizelge 4- Moseaso Topluluğundaki lokasyonlar için öncelik sırasıyla verilen DES sonuçları (1D ters çözüm) özeti.

DES Nokta	Tabaka	$\rho(\Omega\text{-m})$	Derinlik (m)	Kalınlık (m)	Sıra	Konum (GPS)	Eğri tipi
A38	1	179.63	1.66	1.66	6	5.62964N 1.60300W	KH
	2	940.32	6.46	4.8			
	3	199.98	27.36	20.9			
	4	1287.38	-	-			
D62	1	283.27	0.8	0.8	1	5.63095N 1.60199W	QH
	2	1400.88	3.7	2.9			
	3	154.57	31.2	27.5			
	4	671.13	-	-			
D94	1	399.13	0.77	0.77	2	5.63069N 1.60206W	QH
	2	1422.52	3.84	3.07			
	3	216.74	32.64	28.8			
	4	895.42	-	-			
D16	1	1206.62	2.49	2.49	5	5.63118N 1.60200W	QH
	2	521.33	9.8	7.31			
	3	209.14	25.6	15.8			
	4	1992.83	-	-			
B0	1	643.81	0.95	0.95	3	5.63036N 1.60187W	KH
	2	986.1	8.95	8			
	3	83.51	21.15	12.2			
	4	2572.32	-	-			
C128	1	417.77	10.34	10.34	4	5.63024N 1.60238W	H
	2	115.21	22.7	12.36			
	3	3901.36	-	-			
Mevcut Makine Kazılmış Kuyu (EBH)	1	61.5	5.8	5.8		5.63035N 1.60544W	
	2	34	12.7	6.9			
	3	1568.7	-	-			

Çizelge 2 - 4'te 1D inversiyon sonuçlarını karşılaştırarak, Moseaso Topluluğu'nun üç topluluk arasında en iyi akifere sahip olduğu sonucuna varılabilir.

#### 4. Sonuç

Suyun biz canlılar için olan önemi küçümsenemez, çünkü su hayatın temel bir gereğidir. Hem yerel hem de sanayi faaliyetlerimiz için suya bağımlı olmamıza rağmen, çoğu insan ve toplum, bazı ekonomik faktörler nedeniyle diğer arama yöntemleri için ödeyebileceklerini jeofizik yöntemleri kullanarak yeraltı sularının araştırılması için ödemeye hazır

değildir. Elektromanyetik yöntemler, özellikle EM 34-3 ve elektriksel direnç yöntemleri, yeraltı sularının jeofizik araştırılması için hala en ucuz ve etkili yöntemler olmaya devam etmektedir. Çizgi grafikler kullanılarak olağan niteliksel yorumlama yönteminden ziyade elektromanyetik verilerin yorumlanması için inversiyon kullanımı ve 1D dirençlilik inversiyon sonuçlarının desteklenmesi için 2 boyutlu yapma direnç haritaları olarak görünür direnç haritalarının kullanılması (mevcut bütçe 2B ve veya 3B inversiyon yöntemlerine izin vermezse) elde edilen sonuçların kalitesinin artırılmasına yardımcı olur, belirsizlikleri azaltır ve elde edilen sonuçlara dayanarak karar vermede yardımcı olur.



Bu çalışmada yeraltı sularının VES araştırması için nokta seçiminde EM yönteminin nicel yorumları kullanılmıştır. EM sonuçları, tüm üç topluluğun altında iki jeolojik alt tabaka olduğunu göstermektedir. İlk tabaka, derinliği 2 ila 10 m arasında değişen üst-topraktır ve ikinci tabaka yarım boşluktur. Daha fazla araştırma için kesit seçimine ilişkin karar, ikinci katmanın direncine dayanmaktadır. EM inversiyon sonuçlarının öz direnç değerleri 100  $\Omega$ m ila 100.000  $\Omega$ m arasındadır.

Daha fazla araştırma için üç topluluk arasında 16 VES istasyonu seçilmiştir ve sonuçları; Achiaso Topluluğu ve Mbaa Mpe Hia No. 2 topluluğunun altında üç jeolojik tabaka olduğu ve Moseaso Topluluğunun altında dört jeolojik tabaka olduğu belirtilmektedir. İncelenen tüm VES noktaları, yeraltı suyu mevcudiyeti ile ilgili kanıtları gösterir ve bu nedenle sondaj veya el sondajı tavsiye edilir. Sondajlar veya kuyular veya el-sondajları, çizelge 2-4'te belirtilen sıralamaya göre yapılacaktır. VES araştırmalarının sonuçlarından, Moseaso Topluluğu yeraltı suyu mevcudiyeti bakımından en ön sırada yer almaktadır, Achiaso Topluluğu ve son olarak Mbaa Mpe Hia No.2 Topluluğu onu takip etmektedir.

### Katkı Belirtme

Yazarlar, Ghana Bilimsel ve Endüstriyel Araştırmalar Konseyi-Yeraltı Suları Bölümü'nden (CSIR-GWD) Evans Manu'ya bu çalışma için sağladıkları veri seti için teşekkür ederler. Ayrıca Prof. Dr. Kwesi Preko ve Dr. David Dotse Wemegah'a, tüm Kwak Nkrumah Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'ne, Kumasi-Ghana, bu çalışmada kullanılan verilerin elde edilmesinde oynadıkları çeşitli roller için teşekkür ederiz. Makaleyi geliştiren yapıcı eleştirileri için dört ismi belirtilmeyen hakeme teşekkür ederiz.

### Değinilen Belgeler

- Anechana, R. 2013. Groundwater potential assessment of Kintampo North Municipality of Ghana using the electromagnetic method and vertical electrical sounding. Master thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi (yayımlanmamış).
- Anon, 2012. Twifo Hemang Lower Denkyira Distric. Twifo Heman Lower Denkyira District Assembly. Available at: <http://thld.ghanadistricts.gov.gh/> [Accessed January 31, 2016].

- Carrasquilla, A., A. Gonçalves, C., Ulugergerli, E. 2007. Evaluating the performance of difference geophysical methods for groundwater prospecting in Espirito Santo Basin - Southeast Brazil. *Tecnociencia*, 9(2), pp.89-106.
- Chegbeleh, L.P., Akudago, J.A., Nishigaki, M., Edusei, S.N.K. 2009. Electromagnetic Geophysical Survey for Groundwater Exploration in the Voltaian of Northern Ghana. *Journal of environmental Hydrology*, 17, 1-16.
- Fitterman, D.V., Stewart, M.T. 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, 51(4), 995-1005.
- Frischknecht, F.C., Lasbon, V.F., Spies, B.R., Anderson, W.L. 1991. Profiling methods using small sources. In N. M. Nabighian, ed. *Electromagnetic methods in applied geophysics*, 105-270.
- Gyamera, E.A., Kuma, J.S., Okae-Anti, D. 2014. Hydrogeological studies on soils developed over granitic deposits. *International Journal of Advance Agricultural Research*, 2, 29-40.
- Keller, G. V., Frischknecht, F.C. 1977. Electrical methods in geophysical prospecting. In *International series of monographs in electromagnetic waves*. UK, p. 517.
- Loke, M.H. 2001. RES1D., p.7. Available at: [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).
- Mainoo, P.A., Agyekum, W.A., Dapaah-Siakwan, S., Darko, P.K. 2007. Hydrogeological Investigations to Select Borehole Drilling Sites in ten Communities of the Twifo-Hemang Lower Denkyira District of Central Region of Ghana, Accra, Ghana p.324 (yayımlanmamış).
- McNeill, J. 1980. Electromagnetic Terrain Conductivity measurement at Low induction Number, Geonics Ltd., Technical Note. Ontario, Canada. Available at: <http://www.geonics.com/pdfs/technicalnotes/tn6.pdf>.
- Menyeh, A., Noye, R.M., Danuor, S.K. 2005. Prospecting for Groundwater using the Electromagnetic Method in the Voltaian Sedimentary Basin in the Northern Region of Ghana - A Case Study of the Gushiegu - Karaga District. *Journal of Science and Technology*, 25(2), 53-65.
- Monteiro Santos, F.A. 2004. 1-D laterally constrained inversion of EM34 profiling data. *Journal of Applied Geophysics*, 56(2), 123-134.
- Nejad, H.T., Mumipour, M., Kaboli, R., Najib, O. A. 2011. Vertical electrical sounding (VES) resistivity survey technique to explore groundwater in an arid region, Southeast Iran. *Journal of Applied Sciences*. 11(23). 3765-3774.

- Okafor, P., Mamah, L. 2012. Integration of Geophysical Techniques for Groundwater Potential Investigation in Katsina - Ala, Benue State, Nigeria. *The Practical Journal of Science and Technology*. 13(2). 463–474.
- Olakunle Coker, J. 2012. Vertical electrical sounding (VES) methods to delineate potential groundwater aquifers in Akobo area, Ibadan, South-western, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, 4(2), 35–42.
- Omosuyi, G. O. 2010. Geoelectric Assessment of Groundwater Prospect and Vulnerability of Overburden Aquifers at Idanre, Southwestern Nigeria. *Ozean Journal of Applied Sciences*. 3(1). 19 – 28.
- Pirttijärvi, M. 2014. AEMINV, Laterally constrained 1-D inversion of EM profile data, User's guide. Oulu, Finland.
- Reynolds, J.M. 1997. An introduction to applied and environmental geophysics, West Sussex, England: John Wiley and Sons Ltd. p. 710
- Somiah, J. 2013. Application of Electromagnetic and Electrical Resistivity Methods in Investigating Groundwater Resources of The Sunyani Municipality in The Brong-Ahafo Region of Ghana. Master thesis, Kwame Nkrumah University of Science and technology, Kumasi. p. 150 (yayımlanmamış).
- Spies, B.R., Frischknecht, F.C. 1991. Electromagnetic Sounding. In N.M.Nabighian, ed. *Electromagnetic methods in applied geophysics*, 285–425.
- Thamke Joanna, N., Craigg Steven D., Mendes Thomas, M. 1998. Use of terrain electromagnetic geophysical methods to map saline-water contamination, East poplar oil field, Northeastern Montana. *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. 205-214.
- Tsikudo Kwasi, B. 2009. Geophysical investigation for groundwater in the Gushiegu - Karaga and Zabzugu - Tatale District of the Northern Region of Ghana using the electromagnetic method. Kwame Nkrumah Universty of Science and Technology, Kumasi. p. 148 (yayımlanmamış).
- Wymana, D.A., O'Neillb, C., Ayer, J. 2008. Evidence for Modern-Style Subduction to 3.1 Ga: A Plateau – Adakite – Gold (Diamond) Association. *Condie, K.C., Pease, V. (Eds.), (GSA Special Paper 440), 129–148.*