KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

METALİK MADEN ARAŞTIRMALARINDA GRADİENT VE POLE-DİPOLE ELEKTROT DİZİLİMLERİNİN ARDIŞIK KULLANIMI: KÖTÜRE-ÖRDEK KÖYÜ (ELBİSTAN, KAHRAMANMARAŞ) SAHASINA UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERCAN DURMAZ

HAZİRAN 2019
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK ANABİLİM DALI

METALİK MADEN ARAŞTIRMALARINDA GRADİENT VE POLE-DİPOLE ELEKTROT DİZİLİMLERİNİN ARDIŞIK KULLANIMI: KÖTÜRE-ÖRDEK KÖYÜ (ELBİSTAN, KAHRAMANMARAŞ) SAHASINA UYGULAMA

Ercan DURMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 / 06 /2019

Tezin Savunma Tarihi : 17 / 06 /2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan KARSLI

Trabzon 2019

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeofizik Anabilim Dalında
Ercan DURMAZ Tarafından Hazırlanan

METALİK MADEN ARAŞTIRMALARINDA GRADİENT VE POLE-DİPOLE ELEKTROT DİZİLİMLERİNİN ARDIŞIK KULLANIMI: KÖTÜRE-ÖRDEK KÖYÜ (ELBİSTAN, KAHRAMANMARAŞ) SAHASINA UYGULAMA

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hakan KARSLI .....

Üye : Prof. Dr. Nafız MADEN .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞENKAYA .....

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gelişme sürecinde karşılaştığım sorunların çözümünde beni yalnız bırakmayan, bilgilerini esirgemeyen ve bana her anlamda yol gösteren değerli tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan KARSLI' ya (KTÜ) teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını destekleyen ve verileri kullanmama izin veren Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü yönetimine teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları ve literatür paylaşımları ile bu çalışmada çok büyük emekleri olan Jeofizik Yük. Müh. Sayın Kürşad BEKÂR' a (MTA) ve Jeofizik Yük. Müh. Sayın Taner BEKÂR' a (MTA) teşekkür ederim.

Arazi çalışması boyunca beni yalnız bırakmayan sevgili arkadaşım Jeofizik Müh. Sayın Salih Zeki YÜCESAN' a, yüksek lisans öğrenciliğim sürecinde, bilgileri ile bana ışık tutan Jeofizik Yük. Müh. Sayın Sevda GÖREN' e (MTA) teşekkür ederim.

Yabancı dil konusunda desteklerini esirgemeyen değerleri hocam Işıl DİLEK' e (KTÜ), eşi Onur DİLEK' e (KTÜ) ve değerli arkadaşım Tarık İNCE' ye (MEB) teşekkür ederim.

Ayrıca emekleriyle beni bu günlere getiren canım anneme ve çalışma sürecinde bana destek olup moral veren sevgili eşime desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ercan DURMAZ
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum "Metalik Maden Araştırmalarında Gradient ve Pole-Dipole Elektrot Dizilimlerinin Ardışık Kullanımı: Kötüre-Ördek Köyü (Elbistan, Kahramanmaraş) Sahasına Uygulama" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hakan KARSLI' nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı (MTA izin belgesi EK-1'de gösterilmiştir), veri işlem, modelleme ve çizimlerini yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17.06.2019

Ercan DURMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ IV
İÇİNDEKİLER V
ÖZET VII
SUMMARY VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ IX
TABLOLAR DİZİNİ XII
SEMBOLLER DİZİNİ XIII
1. GENEL BİLGİLER 17
1.1. Çalışmanın İçeriği 17
1.2. Literatür Özeti ve Tarihçe 17
1.3. Çalışmanın Amacı 20
1.4. Çalışma Alanının Tanıtımı 21
1.4.1. Coğrafi Konum 23
1.4.2. İklim ve Sıcaklık 23
1.5. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi 23
1.6. Yöntem ve Teknik Bilgiler 25
1.6.1. Yapay Uçlaşma (İndüksiyon Polarizasyon-IP) Yöntemi 25
1.6.2. Gradient IP Yöntemi 27
1.6.3. IP Etkisine Neden Olan Polarizasyon Türleri 28
1.6.4. Yapay Uçlaşma Ölçü Çeşitleri ve Parametreler 30
1.6.5. Mineral ve Tane Boyutu Ayırımı 34
1.6.6. IP Yönteminde Kullanılan Elektrot Dizilimleri 35

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 39
2.1. Uygulanan Yöntemler 39
2.1.1. Gradient IP 39
2.1.2. 2B İndüksiyon Polarizasyon (2B IP) 41
2.2. Kullanılan Ekipmanlar 42
2.3. Kullanılan Veri Değerlendirme Yazılımları ve Veri İşlem 44
2.4. Profil Bilgileri 44
3. BULGULAR 47
3.1. Genel Değerlendirme 47
3.2. Gradient Haritalarının Değerlendirilmesi 48
3.3. IP Kesitlerinin Değerlendirilmesi 50
4. SONUÇLAR 61
5. KAYNAKLAR 63
6. EKLER 66
ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

METALİK MADEN ARAŞTIRMALARINDA GRADİENT ve POLE-DIPOLE ELEKTROT DİZİLİMLERİNİN ARDIŞIK KULLANIMI: KÖTÜRE-ÖRDEK KÖYÜ (ELBİSTAN, KAHRAMANMARAŞ) SAHASINA UYGULAMA

Ercan DURMAZ
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan KARSLI
2019, 65 Sayfa, 1 Sayfa Ek

Bu çalışmada, metalik maden araştırmalarının en etkin jeofiziksel yöntemi olan jeolojik materyallerin elektriksel özdirenç ve yüklenebilirliğinin (şarjabilite) ölçüldüğü İndüksiyon Polarizasyon (IP) yöntemin uygulamasında gradient ve pole-dipole elektrot dizilimlerinin ardışık kullanımının ilkeleri ve katkıları çalışılmıştır. Amaçlanan prosedür, Kahramanmaraş ili, Afşin ilçesinin 8 km güneybatısında ve Elbistan-Göksun yolu üzerinde yer alan Kötüre-Ördek köy sahasında Bakır-Molibden (Cu-Mo) cevher yatağının varlığının ve sınırlarının belirlenmesi için uygulanmıştır. Bu kapsamda, toplamda 99 km olan hatlar üzerinde Gradient dizilimi ile sahanın sülfür içeriği ve elektrik özdirenç değişimi taraması yapılmış ve anomalilerin yoğunlaştığı tespit edilen bölgelerde K-G yönlü 18 adet profilde toplam 51 km uzunluğunda pole-dipole elektrot dizilimi ile özdirenç ve yüklenebilirlik ölçümleri yapılmıştır. Tüm verilerin analizi ve ters çözümü sonucu elde edilen 2 boyutlu özdirenç ve yüklenebilirlik kesitleri muhtemel cevher yatağının genel sınırlarının ve sondaj lokasyonlarının belirlenmesi açısından yorumlanmıştır. Sonuç olarak, gradient ve pole-dipol dizilimlerinin ardışık kullanılmasının hem maden cevherinin konumunun yanal ve düşey yönde belirlenmesi, hem daha güvenilir sonuçlar elde edilmesinin yanı sıra, toplam maliyette yaklaşık %60'lık bir kazanç sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: İndüksiyon Polarizasyon, Gradient, Metalik Maden, Pole-Dipole

Master Thesis

SUMMARY

THE USE OF THE GRADIENT AND POLE-DIPOLE ELECTRODE ARRAYS IN THE EXPLORATING THE METALLIC ORE: THE APPLICATION TO THE FIELD OF KÖTÜRE-ÖRDEK VILLAGE (ELBISTAN, KAHRAMANMARAS)

Ercan DURMAZ
Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Hakan KARSLI
2019, 65 Pages, 1 Page Appendix

In this study, the principles and contributions of the sequential use of gradient and pole-dipole electrode arrays in the application of the induced polarization (IP) method in which electrical resistivity and chargeability of geological materials are measured, which is the most effective geophysical method of metallic mine researches, are studied. The proposed procedure was applied to determine the presence and boundaries of Copper-Molybdenum (Cu-Mo) ore deposit in the village of Kötüre-Ördek, 8 km southwest of Afşin district of Kahramanmaraş province and on Elbistan-Göksun highway. In the scope, the sulfur content and electrical resistivity changes of the geological materials in the area were first scanned on totally 99km profiles by using gradient array, afterwards resistivity and chargeability measurements were achieved by using pole-dipole electrode array of 51 km length for 18 profiles along N-S direction in the regions where the anomalies are concentrated. The two-dimensional resistivity and chargeability sections obtained from the analysis and inversion of all data were interpreted to determine the general boundaries of the ore deposit and the drilling locations. As a result, the sequential use of gradient and pole-dipole arrays resulted in both a lateral and vertical determination of the location of the ore and a more reliable result, as well as approximately 60% gain in total cost.

Key Words: Induction Polarization, Gradient, Metallic Mine, Pole-dipole

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Ördek köy sahası yer bulduru haritası 21

Şekil 2. Ördek köy sahası 2B IP ölçüm noktalarının (kırmızı çizgiler) havadan görünümü (26.09.2017) 22

Şekil 3. Ördek köy sahasına kuzeyden bakış 22

Şekil 4. Çalışma alanının maden jeoloji haritası (Vergili vd., 2010) 24

Şekil 5. IP kare dalga ve sönüm eğrisi a) IP vericisinden çıkan teorik kare dalga, b) Yere nüfuz eden gerçek kare dalga (Bekar, 2016'dan düzenlenerek) 26

Şekil 6. IP yönteminde ölçü alım düzeni (Pole-Dipole dizilimi) a) Sol yönlü, b) Sağ yönlü dizilim şeması (Başokur, 2003'ten düzenlenerek) 27

Şekil 7. Zamana bağlı, gerilim farkı değişimi (Başokur, 2003'ten düzenlenerek 27

Şekil 8. Metalik uçlaşmanın şekilsel gösterimi (a) Kayaç içerisinde iyonlar denge halinde, (b) yere akım uygulandığında iyonların hareketi (Gündoğdu, 2005'ten düzenlenerek) 29

Şekil 9. Zar uçlaşmasının şekilsel gösterimi (a) Kil parçacıkları içeren kayaç içerisinde iyonlar denge halinde, (b) yere akım uygulandığında iyonlar uygulanan akıma ters yönde hareket ederler (Gündoğdu, 2005'ten düzenlenerek) 29

Şekil 10. Sönüm eğrisinin incelenmesi (Bekâr, 2016'dan düzenlenerek) 31

Şekil 11. Bazı önemli sülfür minerallerinin IP sönüm zamanları (Telford, 1976'dan düzenlenerek) 33

Şekil 12. IP etütlerinde sıklıkla kullanılan elektrot dizilimleri 36

Şekil 13. a) Akım yönüne doğru eğilim gösteren anomali, b) Ters çözüm uygulanmış anomali 37

Şekil 14. Tek akımlı pole-dipole elektrot dizilimine ait arazi yerleşim şeması. C1 hareketli akım elektrotunu, C2 uzak ve sabit akımı göstermektedir. 38

Şekil 15. Ördek köy sahası jeofizik IP gradient bölgeleri konum haritası 40

Şekil 16. IP gradient ölçü alım sisteminin şematik olarak gösterimi 40

Şekil 17. Ördek köy sahası jeofizik IP hatları konum haritası 41

Şekil 18. Çift akımlı pole-dipole elektrot diziliminin IP donanımı ile arazi yerleşimi (Bekâr, 2016'dan düzenlenerek) 42

Şekil 19. a) VIP 10000 IP Vericisi b) VIP 10000 Yükleme Limitleri (Bekar, 2016'dan düzenlenerek)..... 43
Şekil 20. Elrec Pro IP alıcısı..... 43
Şekil 21. 2B IP ölçüsünden elde edilen sönüm eğrilerinden örnek. a) Düzgün sönüm eğrisi, b) Bozuk sönüm eğrisi..... 44
Şekil 22. Jeofizik IP hatlarının jeolojik birimler (Vergili vd., 2010) üzerindeki konumları..... 46
Şekil 23. 2B IP profil hatları ve gradient yüklenebilirlik haritasının coğrafik olarak 3B gösterimi (Google earth, 26.09.2018)..... 47
Şekil 24. Ördek köy sahası gradient yüklenebilirlik haritası. 1 nolu siyah eliptik çizgi ile belirtilen alan anomali alanlarını göstermektedir..... 48
Şekil 25. Ördek köy sahası gradient özdirenç haritası. 2 ve 3 nolu siyah eliptik çizgi ile belirtilen alanlar anomali alanlarını göstermektedir..... 49
Şekil 26. Ördek köy sahası gradient metal faktör haritası. 4 nolu siyah eliptik çizgi ile belirtilen alan anomali alanlarını göstermektedir..... 49
Şekil 27. 3 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti..... 51
Şekil 28. 6 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti..... 51
Şekil 29. 17 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-1 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 52
Şekil 30. 19 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti..... 52
Şekil 31. 21 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-2 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 53
Şekil 32. 23 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-3 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 53
Şekil 33. 24 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-4 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 54
Şekil 34. 25 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-5 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 54
Şekil 35. 26 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-6 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 55
Şekil 36. 28 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-7 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 55
Şekil 37. 30 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-8 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir..... 56

Şekil 38. 32 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-9 ve SK-10 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir 57

Şekil 39. 34 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-11 ve SK-12 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir 57

Şekil 40. 36 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-13 ve SK-14 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir 58

Şekil 41. 38 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-15, SK-16 ve SK-17 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir 59

Şekil 42. 40 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-18, SK-19 ve SK 20 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir 59

Şekil 43. 42 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-21, SK-22 ve SK-23 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir 60

Şekil 44. 44 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-24, SK-25 ve SK-26 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir 60

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1: Mineral ve diğer malzemelerin yüklenebilirlik üzerinde etkisi (Telford vd., 1990) 34

Tablo 2. IP profil uzunluk bilgileri 45

Tablo 3. Jeofizik çalışma sonucu yapılan 1. ve 2. öncelikli sondaj önerileri..... 62

SEMBOLLER DİZİNİ

IP : Induced Polarization (Yapay Uçlaşma)

2B : İki Boyutlu

3B : Üç Boyutlu

I : Akım

C1 : Akım1

C2 : Akım2

A : Akım Elektrotu

B : Akım Elektrotu

M : Gerilim Elektrotu

N : Gerilim Elektrotu

ρ : Özdirenç

μ : Şarjabilite (Yüklenebilirlik)

MF : Metal Faktör

T : Akım Açık

θ : Akım Kapalı

t : Zaman

Δt : Zaman Farkı

ΔV : Gerilim Farkı

k : Geometrik açılım faktörü

mV/V : Milivolt/volt

mA : Miliamper

ohm.m : Ohm.metre

Vp : Akım kesilmeden önceki gerilim

Vs : Akım kesilmesinden sonra, integrasyon periyodu boyunca ölçülen gerilim

t1 : İntegrasyon diliminin başlangıç zamanı

t2 : İntegrasyon diliminin bitiş zamanı

tr : t1-t2 (integrasyon periyodu)

tau : Zaman sabiti

c : Frekans bağılı

(+) : Pozitif

(-) : Negatif

Cu : Bakır

Mo : Molibden

KD : Kuzey-Doğu

GB : Güney-Batı

km : kilometre

m : metre

mm : milimetre

°C : derece (santigrat)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışmada, metalik maden aramaları çalışmalarında pratik uygulaması fazla bulunmayan Gradient IP ve 2B IP ölçüm yöntemleri hakkında bilgiler verilmiş ve bu iki yöntemin bir arada kullanımı örnek bir çalışma ile anlatılmıştır. Teknolojinin tarih boyunca ilerlemesine paralel olarak gelişen İndüksiyon Polarizasyon (IP) yönteminin gelişim süreci ve bu yöntemin mühendislik dallarının farklı uygulama alanları hakkında yerli ve yabancı kaynaklardan literatür taraması yapılmış ve bu yöntemin hangi seviyede olduğu açıklanmıştır. Bu araştırma çalışmasında uygulama alanı olarak seçilen Kötüre-Ördekköy sahasında yapılan ölçümlerin metodolojisi açıklanmış ve toplanan veriler değerlendirilerek elde edilen sonuçlar yorumlanarak sunulmuştur.

1.2. Literatür Özeti ve Tarihçe

Ülkemizde maden araştırmaları ve maden çıkarma faaliyetleri 1935 yılı itibariyle gelişme göstermiştir. Bu tarihte Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve Keçiborlu-Isparta Kükürt işletmesinin kurulmasının ardından M. Kemal Atatürk'ün direktifiyle Etibank kurulmuştur. Bahsi geçen bu kurumlar, Türkiye madenciliği açısından ülkemiz için önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bunu takiben 1954 yılında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), 1957 yılında Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) ve 1963 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı kurularak, ülkemizde yapılan yeraltı kaynakları alanındaki çalışmalar hızlanarak ciddi bir ivme kazanmıştır.

Teknolojinin hızlı gelişmesi, yeniliklere paralel olarak jeofizik yöntemlerin de ilerlemesine katkı sağlamıştır. Bu süreçte jeofizik aletler daha da gelişmiş ve bu olay jeofizik gelişimlere çok önemli katkılar sağlamıştır. Bu gelişmelerin sonucunda jeofizik verilerin toplanması, modellenmesi ve yorumlanması açısından zaman içerisinde olumlu yönde yol kat edilmiştir.

Elektrik yöntemler yer altı yapısının belirlenmesinde etkili sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilen yakın (sığ) yüzey çalışmaların başında gelmektedir. Elektrik yöntemlerin bir uygulaması olan İndüksiyon Polarizasyon (Yapay Uçlaşma) yöntemi, yaygın olarak metalik maden (Kurşun, bakır, altın, çinko vb.) aramalarında kullanılmaktadır.

Topraktaki ve kayadaki elektrik polarizasyon kavramı ilk olarak 1911 yıllarında Fransa'da Dr. Conrad Schlumberger tarafından ortaya atılmıştır. Fransız asıllı olan Conrad Schlumberger yaptığı doğru akım araştırmaları esnasında, yeraltına verdiği doğru akımı sonlandırdıktan sonra voltajda zamanla bir azalmanın olduğunu fark ederek indüksiyon polarizasyon yani yapay uçlaşma etkisini gözlemlemiştir. Schlumberger bu olayı elektrik polarizasyonuna bağlamış ve keşfedilmemiş cevherleri bulmak için kullanmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda da bu yönteme isim vermiş ve 1912 yılında Alman patenti almıştır.

Ancak Schlumberger'in IP konusundaki araştırmaları teknolojinin o yıllarda elverişsiz olması, uçlaşma etkilerinin zayıf olarak kaydedilmesi ve incelenmesi zor olması nedeniyle dilediği seviyeye gelememiştir. Bu arada 1. Dünya savaşı (1914-1918) nedeniyle, IP araştırma çalışmaları bir süre ertelenmiştir. Birkaç yıl sonra yöntemi tanıtan monogramı 1920'de yayınlamıştır. Schlumberger daha sonraki yıllarda, yapay uçlaşma etkisinin mineral varlığı olan bölgelerde ortaya çıktığını belirlemiştir. Yine o yıllardaki teknolojinin yeteri kadar gelişmemiş olması ve verilerin toplanabilirliği göz önüne alındığında, mineral varlığı olan bölgelerdeki çalışmalarda daha çok doğal potansiyel yöntemi tercih edilmiştir. Schlumberger, zaman içinde birkaç yapay uçlaşma denemelerinde bulunmuş ve 1920'lerde petrol aramaları için kuyu içi ölçümleme yöntemini çalışmaya başlamıştır.

Özdirenç ve yapay uçlaşma kontur haritalarının birlikte kullanıldığı ilk çalışma 1929 yılında Kongo'da yapılmıştır. 1929'dan sonra Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (U.S.S.R.), Kafkasların kuzeyindeki Grozny bölgesinde petrol aramak için devasa bir jeofizik programa başlamıştır. Kuyu loglarıyla yapılan değerlendirmeler araştırılmış fakat zayıf ekipman nedeniyle başarısız olunmuştur. 1930'larda petrol ve cevher kütlesi için indüksiyon polarizasyon tekniğini kullanma çabaları olmuştur.

2. dünya savaşı esnasında (1939-1945) Birleşik Devletler Deniz Mühimmat Laboratuvarı (U.S. Naval Ordnance Laboratory), sudaki patlayıcı mayınları bulmak için indüksiyon polarizasyon tekniği üzerine çalışmıştır. Savaştan sonra Dr. D.F. Bleil, Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları (U.S. Geological Survey) kurumunun yardımıyla bu tekniği

iki farklı mineralli arazide, arazi deneyine tabii tutmuştur. Bu fikir New Jersey Boonton'da bulunan Radyo Frekans Laboratuvarları (Radio Frequency Laboratories) tarafından, Newmont Madencilik Şirketi (Newmont Mining Corporation)'nin dikkatine sunulmuş ve Toronto üniversitesinden Dr. Arthur Brant danışman olarak atanmıştır.

1948 son baharında Dr. H. O. Seigel IP metodunun güvenilir olduğunu göstermiştir. 1949'da Newmont Araştırma Şirketi (Newmont Exploration Ltd.), hızlı bir şekilde IP metodunu araştırmak ve kullanmak için Dr. Brant liderliğinde Arizona'nın Jerome kentinde kurulmuştur. 1952 sonbaharında Dr. Ted Madden liderliğindeki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology)'nde bir grup IP olayını araştırmaya başlamış ve bu çalışma birçok maden şirketinin katılımıyla yürütülmüştür. 1953'te New Mexico Madencilik ve Teknoloji Enstitüsü (New Mexico Institute of Mining and Technology)'nde Dr. V. Vacquier ve grubu IP tekniklerini su altı araştırmalarına uyarlamayı denemiştir. 1951'den beri, IP yöntemine olan ilgi Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nde istikrarlı bir şekilde artmıştır. Avrupa'da IP alanındaki diğer araştırmalar Alman Demokratik Cumhuriyeti, İsveç, Yugoslavya ve Fransa'da yapılan araştırmalarla yayılmıştır.

1955 ve 1960 arasında Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bazı üniversiteler IP olayını araştırmaya başlamış ve birkaç madencilik şirketi kendi araştırma gruplarını kurmuştur. Vacquier vd., (1957), Marshall ve Madden (1959) hidrojeolojide IP uygulamalarını incelemişlerdir.

Seigel (1959)'da ilk olarak zaman ortamında tabakalı yer altı modeli ve bir dayk modeli için IP etkisini matematiksel bağıntılar ile sunmuştur. Bununla birlikte 1959'da yüklenebilirlik (şarjabilite) kavramını da ortaya çıkaran kişi olmuştur. Collet (1959)'da yapay uçlaşmanın farklı frekanslar kullanılarak, frekans ortamında da uygulanabileceğini göstermiştir. Wait (1959)'da Maxwell denklemlerini kullanarak aşırı gerilim parametresini belirlemiş ve frekans ortamında yapay uçlaşma parametrelerini tanımlamıştır. 1960'tan sonra ekipmanlar önceki yıllara göre daha gelişmiş ve kullanılabilir hale geldiğinden, IP yöntemi dünya çapında kabul edilmiştir.

Sumner (1976) tarafından yapılmış olan çalışmada metalik maden aramaları kapsamında bilhassa kalkopirit, galen ve sfalerit benzeri sülfür minerallerinin aranmasında birincil yöntem olarak İndüksiyon Polarizasyon (IP) yöntemini kullandığı görülmektedir.

Ülkemizde de metalik maden aramalarında İndüksiyon Polarizasyon (IP) yöntemini kullanan kurumların başında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)

gelmektedir. Bununla birlikte birçok özel firmalar altın, bakır, kurşun, grafit gibi önemli metalik maden araştırmaları için ülkemizde potansiyel görülen her alanda bu yöntemi kullanmaktadırlar.

İndüksiyon polarizasyon yöntemi, tarih boyunca geliştirilmesi zor ve karmaşık bir yöntem olarak bilinmektedir. Tüm bu çalışmalar sonucunda teknoloji ve buna bağlı olarak cihazların gelişimi ile indüksiyon polarizasyon yöntemi yaygın hale gelerek, özellikle metalik maden aramalarında sıkça kullanılan yöntem olmuştur. Bununla birlikte, İndüksiyon polarizasyon yönteminin gelecekteki büyümesi, metal ve enerji üretiminin küresel talebine bağlı olacaktır.

1.3. Çalışmanın Amacı

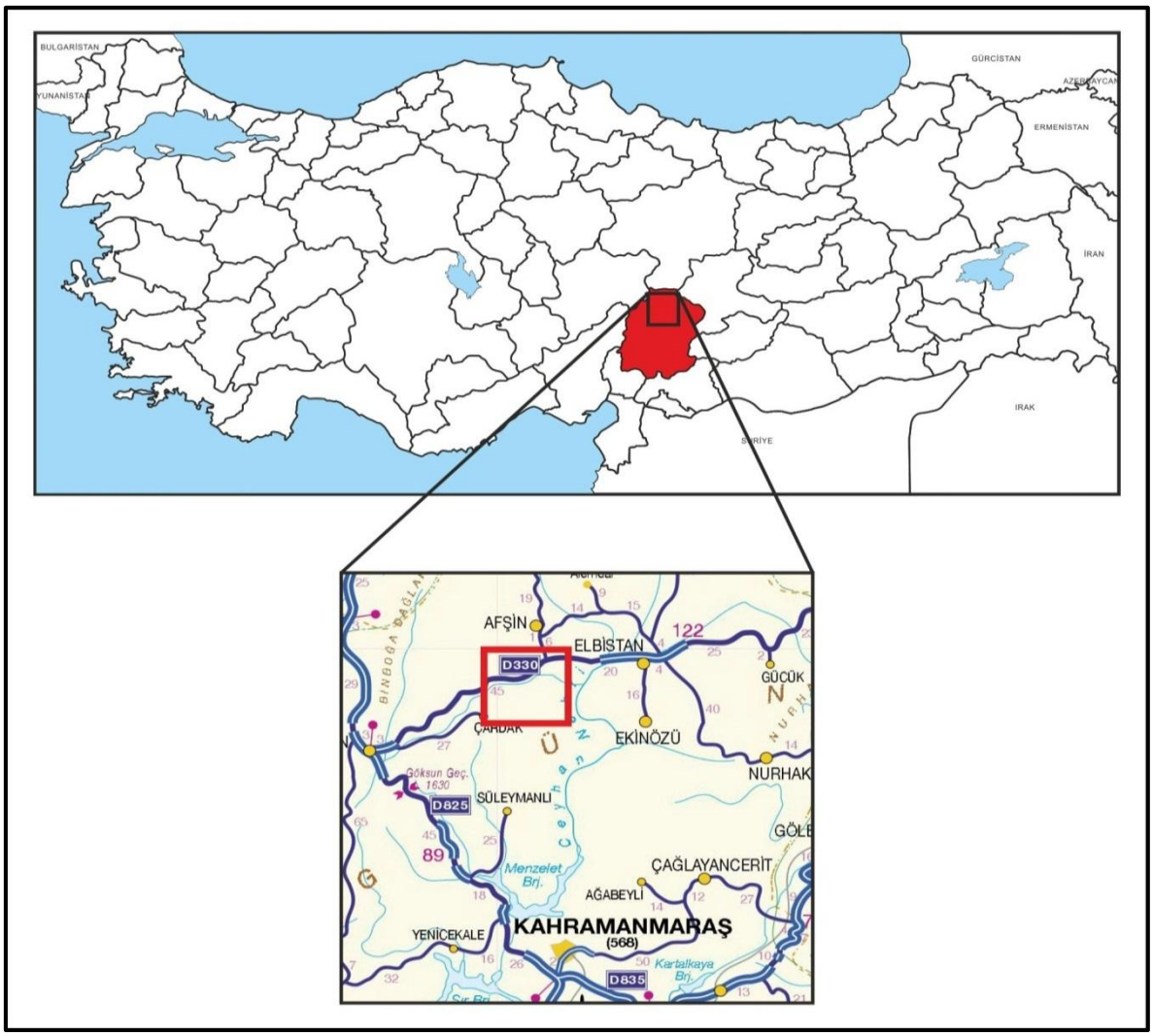
Bu çalışmanın iki temel amacı vardır:

(1) Kahramanmaraş iline bağlı Afşin ilçesinin 8 km güneyinde yer alan Kötüre ve Ördek Köy'ün güneyindeki muhtemel Bakır-Molibden (Cu-Mo) cevher yatağının varlığının Jeofizik IP ölçüm yöntemiyle araştırılması ve cevher yatağının genel sınırlarının belirlenmesidir. Bu çalışmanın referansı, çalışma sahasının hemen yakın çevresinde yer alan Hüyüklü'de Vergili vd. (2013) tarafından yapılmış çalışmalarla Cu-Mo cevher yatağının keşfedilmiş olmasıdır.

(2) Çalışma alanında muhtemel cevher mineralizasyonunun yanal ve düşey yönde dağılımını incelemek amacıyla yürütülen jeofizik IP çalışması kapsamında, öncelikle Gradient IP ölçüsü ile saha hızlı ve pratik olarak taranmış ve cevhere ilişkin elde edilen anomalilere göre uygun görülen lokasyonlarda K-G yönlü 18 profil üzerinde 2B IP ölçümü gerçekleştirilmiştir. Böylece, çalışma alanlarının çok büyük olduğu bu sahalarda, 2B IP çalışmasına başlamadan önce Gradient IP yapılarak potansiyel cevher alanların çok hızlı bir şekilde belirlenebileceği ve Gradient IP ile 2B IP arasındaki uyumun ortaya konulmasının yanı sıra zaman, işçilik ve diğer maliyetlerde büyük oranda kazanç elde edilebileceğinin gösterilmesidir.

1.4. Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı, Kahramanmaraş iline bağlı Afşin ilçesinin 8 km güneyinde yer alan Kötüre ve Ördek köylerinin güneyinde yer almaktadır. Çalışma alanına ulaşım D330 Elbistan – Göksun karayolu ile sağlanmaktadır. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1'de, havadan görünümü Şekil 2'de ve sahadan bir görünüm Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Ördek köy sahası yer bulduru haritası



Şekil 2. Ördek köy sahası 2B IP ölçüm noktalarının (kırmızı çizgiler) havadan görünümü (26.09.2017)



Şekil 3. Ördek köy sahasına kuzeyden bakış

1.4.1. Coğrafi Konum

Büyük bir kısmı Akdeniz bölgesi içerisinde yer alan Kahramanmaraş iline bağlı Afşin ve Elbistan, coğrafi alan olarak Doğu Anadolu bölgesinin yukarı Fırat bölümünün en batı kesiminde yer almaktadır. Afşin ve çevresi Akdeniz bölgesi, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin birbirine en çok yaklaştığı, dolayısıyla değişik iklim özelliklerine sahip bölgelerinin kesiştiği bir alanda bulunmaktadır.

1.4.2. İklim ve Sıcaklık

Elbistan, Türkiye'de iç Anadolu bölgesinin güneydoğusunda, Akdeniz bölgesi ile doğu Anadolu bölgesinin güneybatısı arasında kalmaktadır. Komşu olduğu bölgelerden etkilenmektedir ve bu nedenden dolayı karışık bir iklime sahiptir. Hatta bu üç bölgenin karışımıyla birlikte kendisine yeni bir iklim oluşturduğu söylenebilir. Bu karışık iklim tipine geçiş iklim tipi denilmektedir. Bu iklim şartları içerisinde bölgede doğal bitki örtüsü olarak karasal iklime özgü küçük ve bodur bitkiler yetişmekte, yüksek kesimlerde ise çam ve meşe ağaçları yetişmektedir.

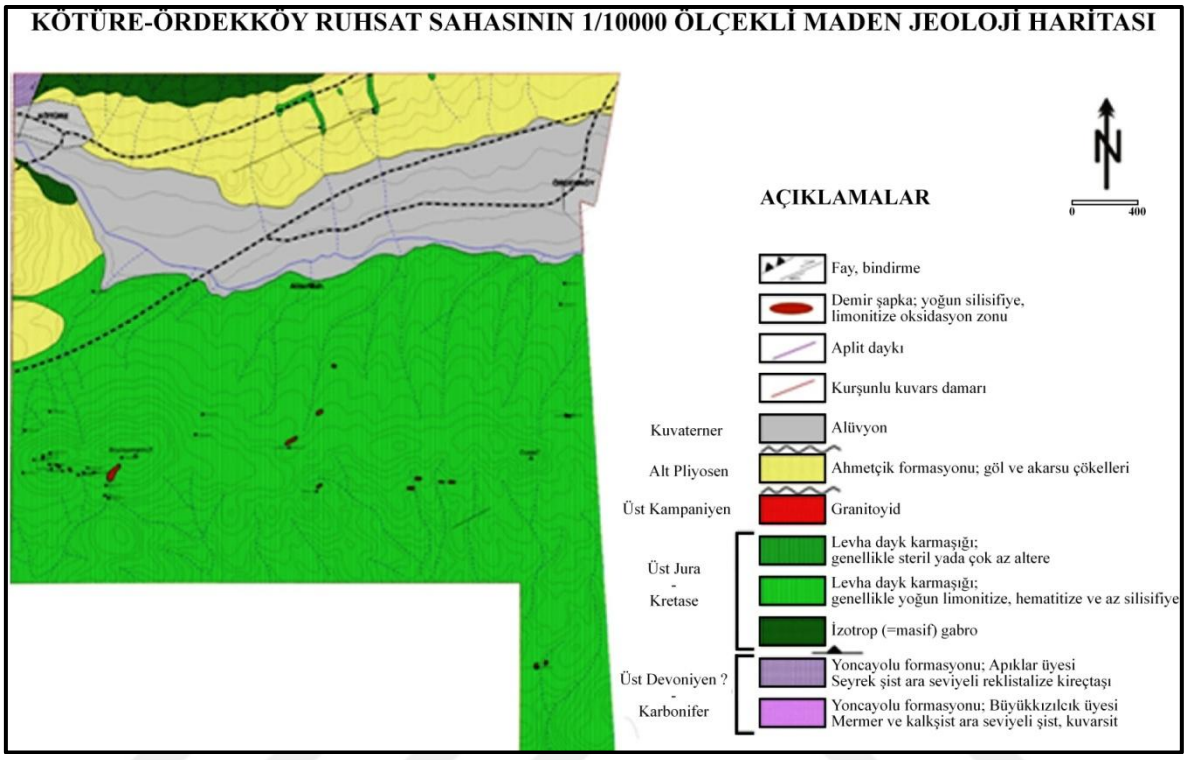
Afşin'de yıllık ortalama sıcaklık değeri 10,9°C dolaylarındadır. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 413,3 mm olarak görülmektedir. Afşin ilçesinde sıcaklık değerleri Ocak ayından itibaren Temmuz ayına kadar düzenli olarak artar. Temmuz ayından sonraki ayları takip ederek Ocak ayına kadar olan sıcaklık değerlerinde ise düzenli olarak azalma görülür.

Yağış miktarları, ilkbahar ve kış mevsimlerinde yoğun, yaz mevsiminde ise gözle görülür derecede azaldığı ve düşük seviyelerde olduğu söylenebilir. İlkbahar ve kış mevsimlerinin yağışlı geçmesi, Akdeniz bölgesinin iklimi ile karasal ikliminin arasından alınmış bir özellik olduğu söylenebilir.

1.5. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanında en altta yer alan yapısal birim, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı supra-subduction karakterli Göksun Ofiyolitik kayalarıdır. Bunların üzerine ise bindirmeli tektonik dokanakla düşük dereceli ve bölgesel metamorfizma geçirmiş Geç Devoniyen-

Geç Kretase yaşlı Malatya metamorfik kayaçları gelmektedir. Tüm bu kayaçlar ise; Esence granodiyoritik kayaçları tarafından kesilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanının maden jeoloji haritası (Vergili vd., 2010)

Çalışma alanında, Göksun ofiyolitik kayaçlarına ait izotrop gabro düzeyleri ile bunlarla geçişli görülen levha dayk karmaşığı ve bunlara ait volkanik örtü yer almaktadır. Bölgede yer alan allokton kayaç gruplarının büyük bir bölümünü (yer yer haritalanamayacak boyutta) kesen granitoyidik kayaçlar ise, sahada genellikle kum içeren granitlerce temsil edilmektedir. Ahmetçik formasyonu ve güncel alüvyonlar yer almaktadır.

İnceleme alanında izlenen izotrop (=masif) gabrolar; yeşil, koyu yeşil ve siyahımsı renklerde olup, orta-iri kristalli ve gabroyik dokuludur. Levha dayklar; diyabaz, gabro ve mikro diyorit bileşiminde olup, yer yer soğuma kenarlıdır. Ayrışma yüzeyleri koyu yeşil ve koyu kahve renkli, taze yüzeyi ise koyu yeşil renkli, yer yer gabroyik dokulu, yer yer de diyabazik dokulu, bol eklemli, kırıklı, sert ve dayanımlıdır. Epidotlaşma ve yüzeysel hemamtit-limonit alterasyonu yer yer çok yaygın olarak gelişmiştir. Kimi yerlerde ise dasitlerce kesilmişlerdir. Arazide gözlenen volkanik örtü ise, haritalanamayacak boyutlarda

olup, genellikle spilitik bazalt ve bazaltik andezit şeklindedir. Bunların bazı bölümleri boşluklu olup bu boşluklar ikincil olarak kalsit ve silis gibi minerallerce doldurulmuşlardır. Granitoyidik kayaçlar ise; sahada genellikle kum içerikli granitlerce temsil edilmektedir. Çalışma alanında gözlenen en genç birimler ise akarsu ve göl çökelleri ile temsil olunan Ahmetçik formasyonuna ait kayaçlar ile güncel akarsu çökelleridir (Bedi vd., 2009).

Arazi çalışmaları sonucunda diyabazlar içerisinde cevherli kuvars damarları varlığı gözlenmiş ve damarların kuzeyden güneye doğru kısmi zonlanma yaptığı tespit edilmiştir. Kuzeyde yer alan birinci damar, K50D 900 konumlu 0,5 m kalınlığında 20 m uzunluğunda olup, limonit ve kuvarstan oluşmaktadır. Bu damarın 50 m güneyinde K50B / 750 KD (damar batıya doğru ise K70B 750 GB konumludur) konumlu diyabaz çakıllı, Cu içeren kuvarslı matriksten oluşmuş, breşik özellikte damar yer almaktadır. 0,7 m kalınlığındaki damar 30 m uzunluğunda olup, malahit, pirit, limonit ve kuvarstan oluşmaktadır. Damarın çevresinde ise limonitleşme izlenmektedir. Güneyde ise K25B/450GB duruşlu 5 m kalınlığında, doğrultu boyunca örtülü, Cu içeren kılcal kuvars damarları tarafından kesilen üçüncü bir zon mevcuttur (Vergili, 2012).

1.6. Yöntem ve Teknik Bilgiler

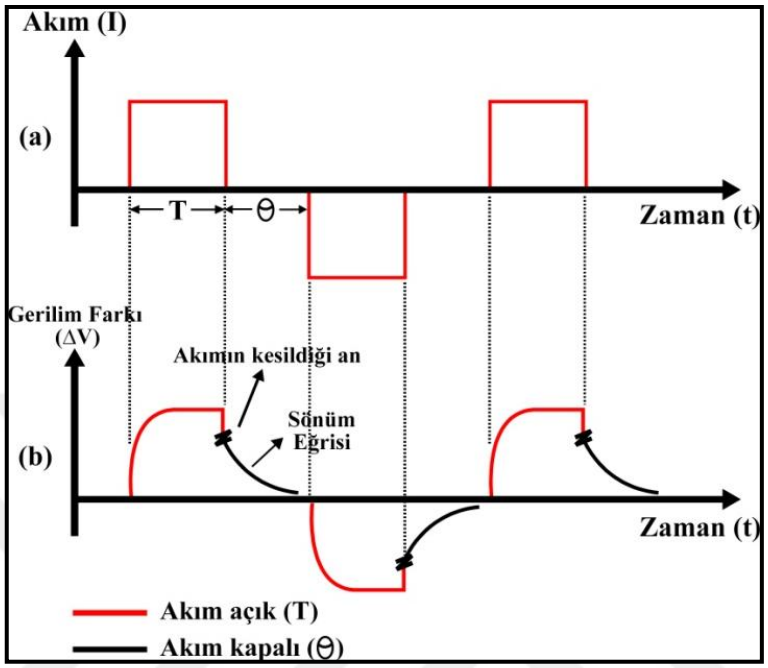
1.6.1. Yapay Uçlaşma (İndüksiyon Polarizasyon-IP) Yöntemi

Günümüzde metalik maden aramacılığı oldukça önemlidir. Metalik maden aramalarında kullanılan jeofizik yöntemlerden, genellikle yapay uçlaşma (indüksiyon polarizasyon) yöntemi daha fazla tercih edilmektedir.

Metalik maden aramalarında özellikle kalkopirit, galen ve sfalerit gibi sülfür minerallerinin aranmasında birincil yöntem olarak İndüksiyon Polarizasyon (IP) yöntemi kullanılmaktadır (Sumner, 1976).

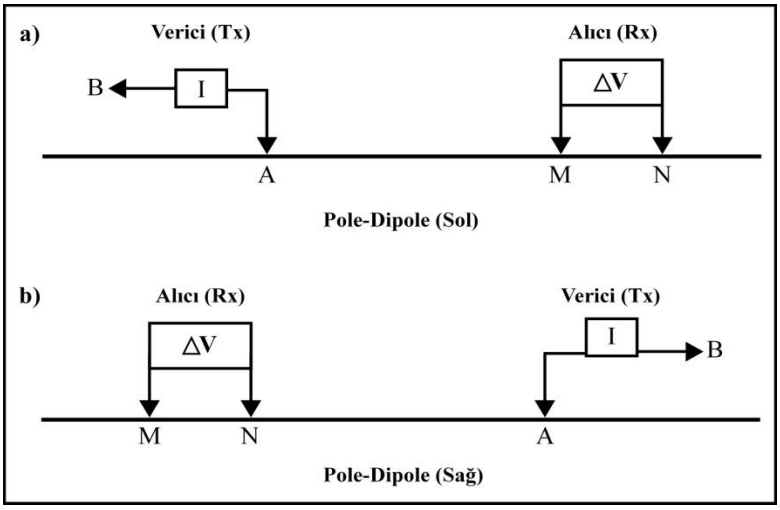
Yapay uçlaşma (IP) yönteminde yeryüzünde belirlenen iki noktadan, akım elektrotlarıyla yeraltına birkaç saniye akım verilerek yer indüklenir. Daha sonra akım aniden kesilir ve birkaç saniye sonra aynı işlem tekrarlanarak yeraltına tekrar akım verilir. Bu olay periyodik olarak tekrarlanır. Akımın aniden kesilmesinden sonra ölçülen gerilim farkı, akımın kesilmesiyle beraber aynı anda sıfıra düşmeyerek belirli bir sürede azalarak

sıfıra asimptot olur (Şekil 5). IP yöntemi, ölçülen bu gerilim farkının aniden sıfıra düşmemesine neden olan yerin uçlaşma etkisini incelemektedir.

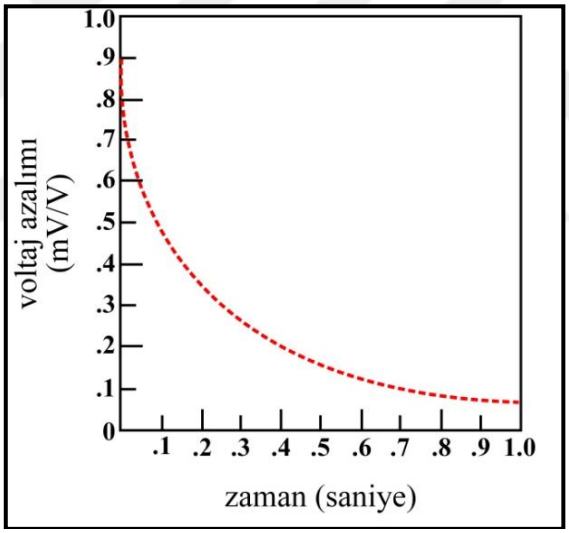


Şekil 5. IP kare dalga ve sönüm eğrisi a) IP vericisinden çıkan teorik kare dalga, b) Yere nüfuz eden gerçek kare dalga (Bekar, 2016'dan düzenlenerek)

IP olayının varlığı deneysel olarak kanıtlanabilir. A ve B akım elektrotlarından yeraltına akım (I) verildiğinde, yer yüzeyindeki iki gerilim elektrotu (M ve N) arasında bir gerilim farkı (ΔV) ölçülür (Şekil 6). Akım aniden kesildiğinde ise, gerilim farkı aniden sıfır olmaz (yer altı kondansatör gibi davranır) ve zamanla sönümlenerek sıfıra asimptot olur (Şekil 7). Bu geçici olay literatürlerde "indüksiyon polarizasyon (yapay uçlaşma)" olarak adlandırılır (Başokur, 2003'ten düzenlenerek).



Şekil 6. IP yönteminde ölçü alım düzeni (Pole-Dipole dizilimi) a) Sol yönlü, b) Sağ yönlü dizilim şeması (Başokur, 2003'ten düzenlenerek)



Şekil 7. Zamana bağlı, gerilim farkı değişimi (Başokur, 2003'ten düzenlenerek

1.6.2. Gradient IP Yöntemi

Gradient yöntemi, özellikle geniş çalışma alanlarının hızlı ve pratik bir şekilde özdirenç ve yüklenebilirlik açısından taranabilme kolaylığını sağlar. Bununla birlikte bu yöntemle elde edilen veriler, yüzeyden araştırma derinliğine kadar olan tüm birimlerin ortalama değerleri olduğundan metraj bilgisi verilemez. Yöntemde derinlik bilgisi belirsiz

olmakla birlikte iki uzak akım arası mesafenin 0.125 ile 0.145 katı arasında olduğu kabul edilir (Bhattacharya, 1982).

Araştırma derinliği her iki akım noktasının (C1, C2) birbirine olan mesafesi ile doğru orantılıdır. Bu mesafe L ile ifade edilirse, araştırma derinliği çalışma alanının orta bölümünde 0.145L, çalışma alanının akımlara yakın olan bölümlerinde 0.125L kadar olmaktadır. İnilmek istenilen araştırma derinliğine göre her iki akım noktası arası mesafe belirlenip ortasındaki 1/3'lük alanda ölçümler alınır. Bhattacharya (1982) ve Indrajit Dutta (1982), bu yöntem için araştırma derinliğini teorik olarak L*0.135 ile ifade etmişlerdir.

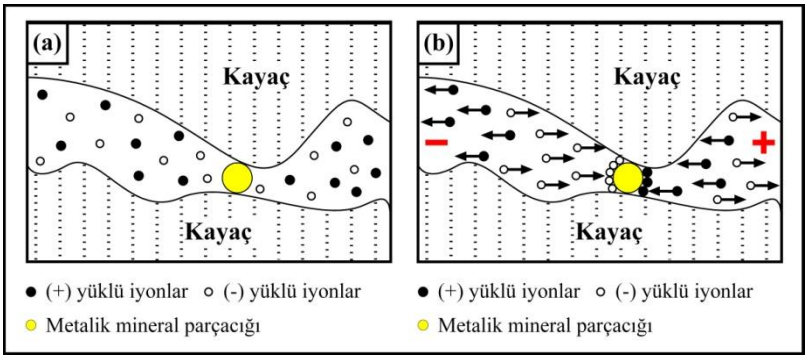
1.6.3. IP Etkisine Neden Olan Polarizasyon Türleri

Elektronik iletim tarzına sahip cevher mineralleri arasında IP etkisi gösteren başlıca mineraller; pirit, pirotin, kalkopirit, grafit, galenit, bornit, manyetit, pirolusit olarak sayılabilir.

IP etkisine neden olan yer altındaki fiziko-kimyasal tepkimenin şu anda iki kaynak olduğu düşünülmektedir. Bunlar, metalik mineral varlığında "metalik polarizasyon (metalik uçlaşma)" ve kil minerallerinin varlığında "zar polarizasyonu (zar uçlaşması)" dur.

1.6.3.1. Elektrot (Metalik) Polarizasyonu

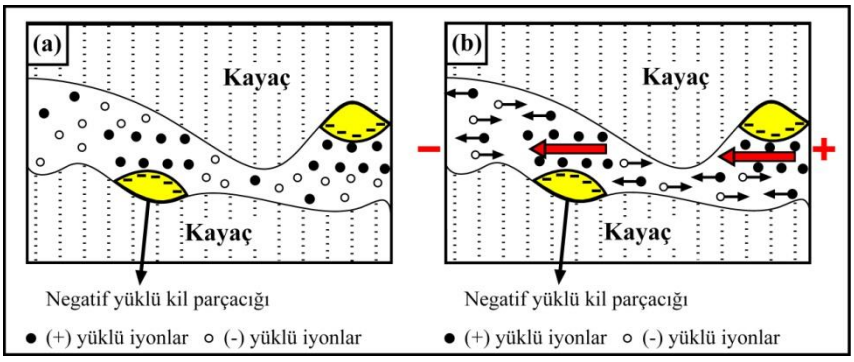
Yer altına uygulanan elektrik akımı sırasında, kayaçlar içerisindeki gözeneklerde bulunan eriyiğin iyonları ile taşınır. Gözenekler içerisinde iyonların yolunun bazı metalik mineral parçaları ile kapanması durumunda, iyonlar mineral sınırında toplanır (Şekil 8b). Akım kesildiği anda iyonlar eriyik içindeki denge hallerine geri dönerler (Şekil 8a). İyonların bu hareketi yer altında uçlaşma etkisine neden olur. Bu metalik uçlaşma, Elektrot (Metalik) polarizasyonu olarak adlandırılır (Gündoğdu, 2005'ten düzenlenerek).



Şekil 8. Metalik uçlaşmanın şekilsel gösterimi (a) Kayaç içerisinde iyonlar denge halinde, (b) yere akım uygulandığında iyonların hareketi (Gündoğdu, 2005'ten düzenlenerek)

1.6.3.2. Kil (Zar) Polarizasyonu

Kayaç içerisinde bulunan kil parçacıkları negatif iyonlar ile yüklüdürler. Bu nedenle üzerlerinde pozitif iyonlardan oluşan bir iyon bulutu oluşur. Yer altına akım uygulandığında, bu iyon bulutu ve eriyikte bulunan tüm iyonlar kendi yüklerinin zıt tarafına yönelirler. Yere uygulanan akım kesildiği anda tüm iyonlar eski konumlarına geri dönerler (Şekil 9). Yer altında kil minerali varlığında gözlenen bu iyon hareketliliği yerin uçlaşmasına neden olur, bu durum kil polarizasyonu olarak adlandırılır (Gündoğdu, 2005).



Şekil 9. Zar uçlaşmasının şekilsel gösterimi (a) Kil parçacıkları içeren kayaç içerisinde iyonlar denge halinde, (b) yere akım uygulandığında iyonlar uygulanan akıma ters yönde hareket ederler (Gündoğdu, 2005'ten düzenlenerek)

1.6.4. Yapay Uçlaşma Ölçü Çeşitleri ve Parametreler

Yapay uçlaşma (IP) ölçüleri, zaman ortamı (time domain) ve frekans ortamı (frequency domain) olmak üzere iki farklı şekilde de uygulanmaktadır.

Zaman ortamı ve frekans ortamı IP ölçülerinden kısaca bahsedilecektir ancak bu tez kapsamında zaman ortamı IP tercih edildiğinden daha çok zaman ortamı hakkındaki bilgiler ele alınacaktır. Zaman ortamı IP yöntemi, frekans ortamı IP yönteminden daha çok tercih edilmektedir. Bunun temel nedeninin, önceki yıllarda zaman ortamı IP ölçüsü gerçekleştirebilecek ekipmanların ve teknolojinin yeterince gelişmemiş olmasıdır. Frekans ortamında alınan ölçülerde yere verilen akımın frekansı ayarlanabilmekteydi. Örneğin 3 Hz ve 0.3 Hz olarak iki farklı frekansta yere akım verilir. Verilen bu iki farklı frekansta akımla, ölçülen görünür özdirenç ve akım değerleri ilgili formülde yerine koyularak metal faktör, yüzde frekans etkisi ve özdirenç değerleri hesaplanabilir. Yani bahsedilen parametreler, verilen iki frekanstaki özdirenç değerlerinin formülde yerlerine koyularak hesaplanabilir. Ayrıca bu parametrelerle birlikte, yer altındaki iletkenlik, farklı frekanslardaki akımın davranışları ölçülebilir ve bununla ilgili yer altındaki metalik minerallerin varlığıyla alakalı anomaliler de belirlenebilir.

Frekans ortamındaki alınan ölçülerden elde edilen parametreler, zaman ortamı IP ölçülerinden de elde edilebilir. Ancak yüklenebilirlik değeri, frekans ortamında doğrudan ölçülemezken, sadece zaman ortamında ölçülebilmektedir.

Zaman ortamı IP ölçülerinde, belirli bir süre (örneğin 2 saniye) akım verilerek yeraltı indüklenir. 2 saniyelik bu akım, sinyal/gürültünün oranının artması ve daha kaliteli veri alabilmek için periyodik şekilde verilir. Bunu insan eli ile yapmak zor hatta imkânsızdır. Elektronik devreler ve cihazlar geliştikçe, cihazlar bunu otomatik olarak yapabilir duruma gelmiştir.

İlk zamanlarda frekans ortamında, verilen her bir frekans değerinde özdirenç hesaplanıyor ve bu değerler formülde yerine yazılarak üç parametre hesaplanıyordu. Yanlışlık yapmamak adına da, bu ölçüleri aynı noktada 2-3 defa tekrarlamak gerekiyordu. Ancak zaman ortamı ölçümlerinde bu zorluk ortadan kalkmıştır. Zaman ortamında istenildiği kadar stack (yığma) yapılabilir. Ortalama olarak 20-30 yığmalı alınan bir ölçüyü, cihaz kendi kendine ölçerek bu değerlerin ortalamasını vermektedir.

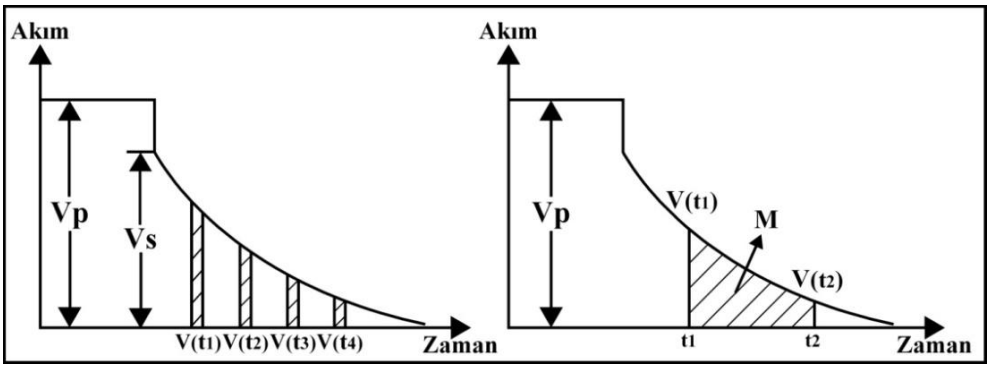
Zaman ortamının en önemli tercih nedenlerinden birisi de, bu ölçüleri kendi içerisinde baz alarak, ölçülerin sağlıklı olup olmadığını gösteren standart sapma değeri

vermesidir. Bu da ölçülen yüklenebilirlik değerinin sağlıklı olup olmadığını gösteren bir parametredir. Buna ek olarak, yüklenebilirliğin hesaplamasında kullanılan sönüm eğrisinin (akımın kapatılmasından sonra elde edilen eğri) düzgünlüğü ve doğruluğunu ölçü esnasında kullanıcının bilgisine sunuyor olmasıdır. Bununla beraber manyetik etkiler, kublaj etkileri, vericiden kaynaklı akım düzensizliği gibi ya da herhangi bir nedenden dolayı yanlış ölçü alınması durumunda, bu hemen fark edilerek yeni bir ölçü alınarak duruma müdahale edilmesini sağlamaktadır. Tüm bu olanaklar göz önüne alındığında, araştırmacılar IP ölçüsünü zaman ortamında yapmayı daha çok tercih etmektedirler.

Bununla birlikte 90'lı yıllardan beri teknik gelişmelere paralel olarak hemen hemen tüm çalışmalarda zaman ortamı IP yöntemi yaygın hale gelmiştir (Bekâr, 2016). Zaman ortamı IP yöntemi, sönüm eğrisinin incelenmesi üzerine kurulmuştur (Başokur, 2003).

Zaman ortamı IP ölçüsünde yer altına akım verilir ve daha sonra verilen bu akım aniden kesilerek, potansiyel elektrotları arasındaki voltaj farkının azalması ölçülür. Bu ölçüm; t kadar süreyi 20 pencereye bölerek, 20 farklı pencerede her bir voltaj değerinin pik noktaları (Vs) işaretlenerek yapılır. İşaretlenen bu noktalar birleştirilerek sönüm eğrisi elde edilir (Şekil 10). Yüklenebilirlik değeri de, sönüm eğrisi altında kalan alan hesabından elde edilmektedir.

Ayrıca bu pencerelerin başındaki ilk 2-3 pencere ile en sondaki pencereler ölçülemeyen ya da bozuk verilerdir. Özellikle sönüm eğrisinin başındaki ilk pencereler tellürik gürültülerin olduğu pencerelerdir.



Şekil 10. Sönüm eğrisinin incelenmesi (Bekâr, 2016'dan düzenlenerek)

1.6.4.1. Görünür Özdirenç

Görünür özdirenç değeri, yere verilen akıma karşılık ölçülen gerilim farkına denir ve denklem (3.1) ile hesaplanır. Yeni nesil kayıtçılarda görünür özdirenç yere akım verilmesi anında ölçülür. Birimi ohm.m'dir ve görünür özdirenç değeri ile yer altı litolojisi belirlenebilmektedir.

$$\rho_\alpha = k.\frac{\Delta V}{I} \tag{3.1}$$

Denklemde k (birim: m), elektrotların dizilimine göre geometrik açılım faktörünü, ΔV, gerilim farkını (birim: mV) ve I yere verilen akımın değerini (birim: mA) göstermektedir.

1.6.4.2. Yüklenebilirlik (Şarjabilite)

IP olayı sönüm eğrisi altında kalan alan ile açıklanabilir (Bertin ve Loeb, 1976). Akım kesildikten sonra, elde edilen sönüm eğrisinin t1 ve t2 zamanları arasında hesap edilen integral değerinin, akım kesilmesinden hemen önceki akım değerine (Vp) oranıdır (Denklem 3.2). Dolayısıyla, birimi mV/V veya ms (milisaniye) olarak ifade edilir. Yüklenebilirlik değeri ile sülfür varlığı ayırt edilebilir.

$$M = \frac{1}{Vp}\frac{\int_{t1}^{t2} Vsdt}{tr} \tag{3.2}$$

t_1: İntegrasyon diliminin başlangıç zamanı,

t_2: İntegrasyon bitiş zamanı,

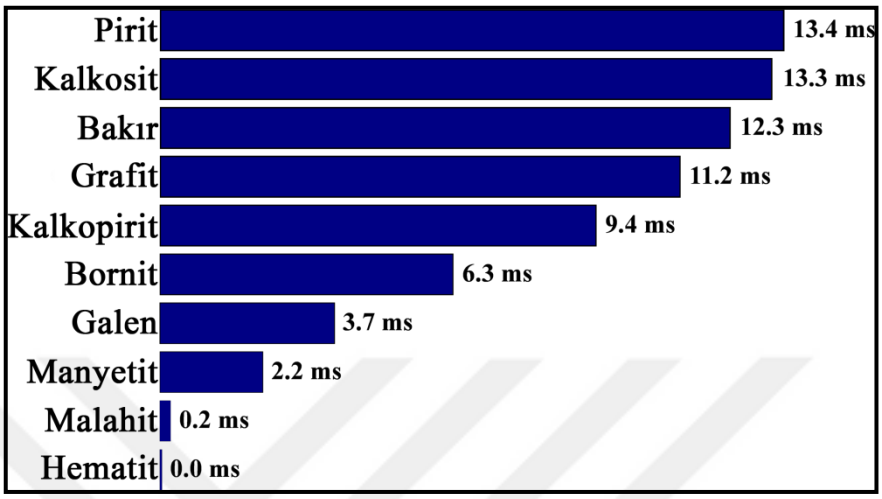
tr: t_1-t_2 (integrasyon periyodu),

V_p: Akım kesilmeden önceki gerilim,

V_s: Akım kesilmesinden hemen sonra integrasyon periyodu boyunca ölçülen gerilim.

Metalik maden aramalarında özellikle kalkopirit, galen ve sfalerit gibi sülfür minerallerinin aranmasında birincil yöntem olarak kullanılan IP yönteminin en büyük avantajı, birim hacim içinde en az % 0.5 oranında bulunan saçılmış sülfit yapılarının IP etkisini ve doğrudan belirtiye neden olan yapıyı göstermesidir (Sumner, 1976)

Zaman ortamı IP yönteminde, sönüm genliği ve sönüm zamanının büyüklüğü yer altındaki metalik mineralizasyon yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Bazı önemli sülfür minerallerinin sönüm zamanları Şekil 11'de verilmektedir (Bekâr, 2016).



Şekil 11. Bazı önemli sülfür minerallerinin IP sönüm zamanları (Telford, 1976'dan düzenlenerek)

Şekil 11'de görüldüğü gibi bakır içeriği olmayan pirit, bakır ve kurşun minerallerinden daha yüksek yüklenebilirlik değeri verdiğinden, IP etütlerinde bu durum yalancı anomali oluşmasına neden olur. Özellikle yoğun pirit saçınımlı sahalarda bu durum cevheri maskelediğinden açmazlara neden olabilir.

Farklı jeolojik malzemelerin yüklenebilirlik süreleri Tablo 1'de verilmiştir. Bununla birlikte uzun süren indükleme sürelerinin, uzun sürede azalan voltajı gösterdiği Tablo 1'den anlaşılmaktadır. Bir IP araştırması sırasında yapılan DC direnç ölçümü yararlı verilerdir. Yüklenebilirlik genellikle özdirenç verileriyle birlikte yorumlanır (Telford vd, 1990).

Tablo 1: Mineral ve farklı jeolojik malzemelerin yüklenebilirlik üzerinde etkisi (Telford vd., 1990)

Jeolojik Malzeme	Yüklenebilirlik, m (ms)	Jeolojik Malzeme	Yüklenebilirlik, m (ms)	Mineral	Yüklenebilirlik, m (ms)
%20 Sülfürler	2.000-3.000	Yer altı suyu	0	Pirit	13.4
%8-20 Sülfürler	1.000-2.000	Alüvyon	1-4	Kalkosit	13.2
%2-8 Sülfürler	500-1.000	Çakıllar	3-9	Bakır	12.3
Volkanik tüfler	300-800	Prekambriyen volkanikleri	8-20	Grafit	11.2
Kumtaşı, silttaşı	100-500	Prekambriyen gnayslar	6-30	Kalkopirit	9.4
Yoğun volkanik kayaçlar	100-500	Şistler	5-20	Bornit	6.3
Şist	50-100	Kumtaşları	3-12	Galen	3.7
Granit, granodiyorit	10-50	Arjilitler	3-10	Manyetit	2.2
Kireçtaşı, dolomit	10-20	Kuvarsitler	5-12	Malakit	0.2
				Hematit	0.0

1.6.5. Mineral ve Tane Boyutu Ayırımı

Geleneksel IP yöntemi mineral ayrımı için kullanılamaz. Bununla birlikte ilerleyen zaman içerisinde geliştirilen Spektral IP parametreleri olarak nitelendirilen Cole-Cole parametrelerinin (zaman sabiti "tau" ve frekans bağılı "c"), metalik mineralleşme dokusu ile ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Doku, mineralin türüne bağlı olduğundan, zaman sabiti (tau) ve frekans bağılının (c) incelenmesi ile birlikte mineral ayrımı

gerçekleştirilebilir. Arazi çalışmaları ve araştırmalar zaman sabitinin tane büyüklüğü ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Artan tane büyüklüğü zaman sabitini arttırırken azalan tane büyüklüğünde zaman sabiti düşer. Özellikle, cevherleşme görülen ana damarları, bölgesel saçılmış bölgelerden ayırmak mümkündür (Pelton vd., 1978).

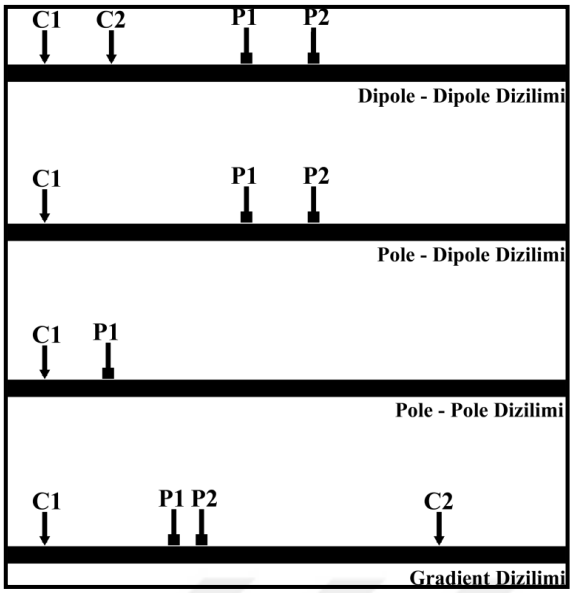
Zaman ortamı yönteminde Spektral IP'de yapılabilir. Spektral IP; klasik IP'nin bazı spektral parametrelerin hesaplanması ya da ölçülmesi esasına dayanır. Bu spektral parametreler "tau" zaman sabiti ve "c" frekans bağılıdır. Eğer veri çok sağlıklı ve düzgünse, bu parametrelerin çizdirilmesiyle, özellikle minerallerin tane boyutuyla alakalı yerin altındaki dağılımı hakkında fikir verebilir. Örneğin, klasik IP yönteminde pirit ve kalkopirit ayırt edilemez. Ancak kalkopiritin tane boyutu piritten daha büyük olduğu için, ya da ortamda saçınımlı pirit var ve bunun içerisinde grafit var ise, grafiti ayırt edebilmenin en güzel yollarından birisi "tau" parametresidir. Yüklenebilirlikli (şarjabiliteli) zonun içerisinde tau'nun anomali verdiği yerler kalkopirit ya da grafitle eşdeğer anlamına gelebilecek yorumlar yapılabilir. Zaman sabitinin en büyük artılarından birisi de spektral parametreleri verebilmesi, hesaplama yapabilmesidir.

Masif sülfürler için Cole-Cole parametrelerinin değişim aralığı bilinirse, yan kayaçtaki saçılmış sülfür parçacıklarının IP yanıtı ayırt edilebilir. Ancak, yöntemin mineralleşmenin türünü ayırt edeceği ve sonuçların bütün jeolojik koşullarda geçerli olacağı yönünde bir garantisi bulunmamaktadır (Başokur, 2003).

1.6.6. IP Yönteminde Kullanılan Elektrot Dizilimleri

IP çalışmasına başlamadan önce kullanılacak elektrot dizilim türünün belirlenmesi çok önemlidir. Bunun yanı sıra profil aralıkları, profil hatlarının doğrultusu ve pot aralıklarının seçimi de önem taşır. Bu seçim, cevher kütlesinin büyüklüğü ve türüne göre seçilir.

Yapay uçlaşma (IP) yönteminde kullanılan birçok dizilim türü vardır. Bunlar; Wenner, Schlumberger, Dipole-Dipole, Pole-Dipole, Pole-Pole, Gradient gibi dizilimlerdir. Belirtilen dizilim türleri içerisinden en yaygın kullanılanlar Pole-Dipole, Dipole-Dipole, Pole-Pole ve Gradient dizilim türleridir. Bu dizilim türleri şematik olarak Şekil 12'de verilmiştir.

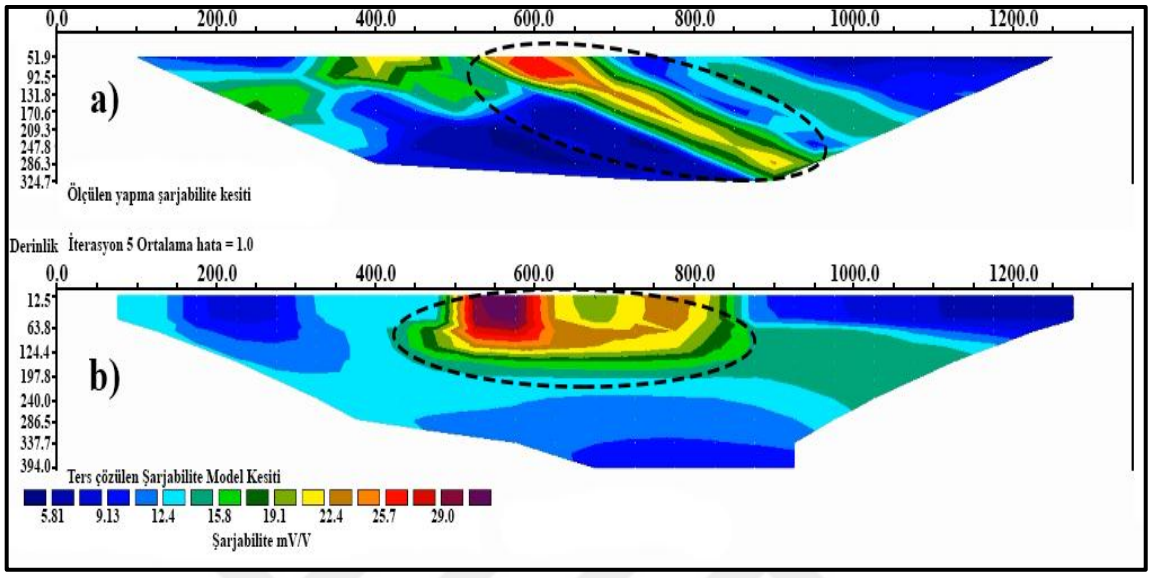


Şekil 12. IP etütlerinde sıklıkla kullanılan elektrot dizilimleri

Günümüzde sinyal/gürültü oranının yüksekliği, araştırma derinliği gibi faktörler nedeniyle yaygın olarak Pole-Dipole elektrot dizilimi kullanılmaktadır. Ancak diğerleri de yeri geldiği zaman kullanılan dizilim türleridir. Bunlardan her şey uygunsa (saha düz ve açılımla ilgili sıkıntı yoksa vb.) kesinlikle Pole-Dipole dizilimi kullanılır. Çünkü Pole-Dipole'ün, Dipole-Dipole'e göre sinyal/gürültü oranı çok daha yüksektir ve dolayısıyla daha kaliteli sinyal vermektedir. Ayrıca jeolojik ortama bağlı olarak yaklaşık iki kat araştırma derinliği vermektedir ve buna ek olarak, arazide biri sonsuzda (uzak akım) olmak üzere tek akım ile ilerleme yapma imkânıyla ekip kolaylığı da sunmaktadır. Ancak öyle araziler vardır ki, kısıtlı bir alanda olma durumunda ya da sonsuz noktasını yerleştirecek yer yok ise, mecburen Dipole-Dipole dizilimi kullanılır. Dipole-Dipole dizilim türünde daha gürültülü veriler ölçülmektedir. Dipole-Dipole diziliminde yere iki elektrot ile verildiğinden, bu akımlar girişim yaparak birbirlerini sönümlemeye ve dolayısıyla sinyal/gürültü oranının düşmesine neden olur. Bu da, Dipole-Dipole diziliminden elde edilen veri setlerinin Pole-Dipole veri setlerinden daha gürültülü olmasına neden olur.

Önceki yıllarda modelleme programlarının olmadığı, programların yetersizliği nedeniyle genel olarak Dipole-Dipole dizilim türü uygulanmaktaydı. Çünkü Dipole-Dipole'de, yeraltındaki yapının vermiş olduğu görünür değerler (özdirenç, yüklenebilirlik) simetriktir. Örneğin araştırma alanında küre biçimli bir cevher olduğu düşünülürse, küre üzerinde alınan anomali değeri, küreyi kapsayacak şekilde anomali vermektedir. Ancak

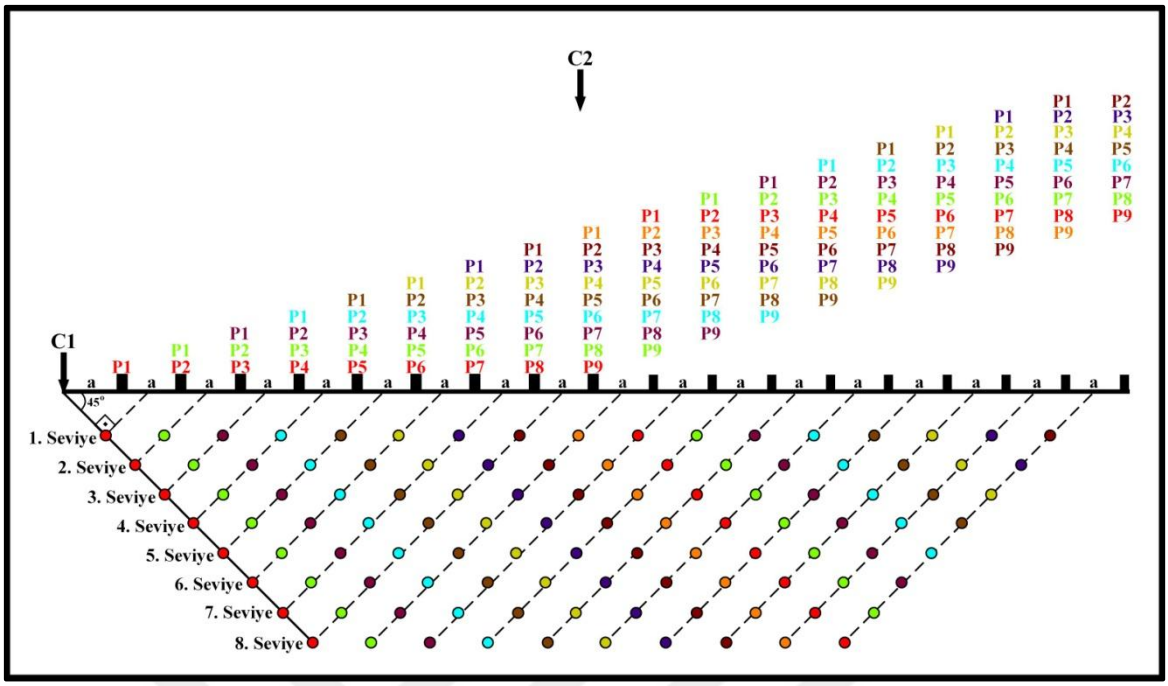
Pole-Dipole'de ise, akım ne taraftaysa akıma doğru eğik bir anomali gözlemlenir. Bu olay Şekil 13a'da örnek bir IP kesiti üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 13. a) Akım yönüne doğru eğilim gösteren anomali, b) Ters çözüm uygulanmış anomali

Dizilim türünün geometrisinden kaynaklı bu durum ters çözüm parametreleri uygulayarak giderilir ve anomali olması gereken konuma getirilmektedir. Şekil 13a'daki kesite düzeltme uygulandığında elde edilen anomali Şekil 13b'de gösterilmiştir. Böylece Pole-Dipole'un anomalisinin asimetrik olmasından dolayı tercih edilmeme nedeni ortadan kalkmış, hatta daha çok tercih edilir hale gelmiştir.

Nadir durumlarda Pole-Pole dizilim türü de kullanılabilir. Mevcut elektrot dizilimleriyle ve işçi sayısıyla inilemeyecek olan nüfuz derinliklerine inilmesi gerekebilir. Örneğin Pole-Dipole'de 9 pot, 8 seviye ile çalışıldığında jeolojik durumlara bağlı olarak yaklaşık 370 metre derinlikten bilgi alınabilir (Şekil 14). Ancak 600-700 metre derinlikten bilgi alınmak istenir ama yeterli sayıda işçinin olmadığı durumlarda akım ve pot'un birisi sonsuz noktasında olacak şekilde alıcı cihazında toplamda 2 pot kablosu takılabilir. Bu şekilde daha derinden bilgi alınabilir ancak çözünürlüğün zayıf olacağı göz önüne alınmalıdır.



Şekil 14. Tek akımlı pole-dipole elektrot dizilimine ait arazi yerleşim şeması. C1 hareketli akım elektrotunu, C2 uzak ve sabit akımı göstermektedir.

IP arazi uygulamasında elektrot dizilimi seçiminde göz önüne alınması gereken çok sayıda faktör vardır. Önemine göre sırasıyla bunlar;

1. Sinyal-gürültü oranı,
2. EM kuplaja dayanıklılık,
3. Etüt hızı ve maliyeti,
4. Yer altı yapılarının çözünürlüğü,
5. Dizilim simetrisi,
6. Diğer faktörler: güvenlik, topoğrafik etki, haberleşme ve yorum kolaylığı.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Uygulanan Yöntemler

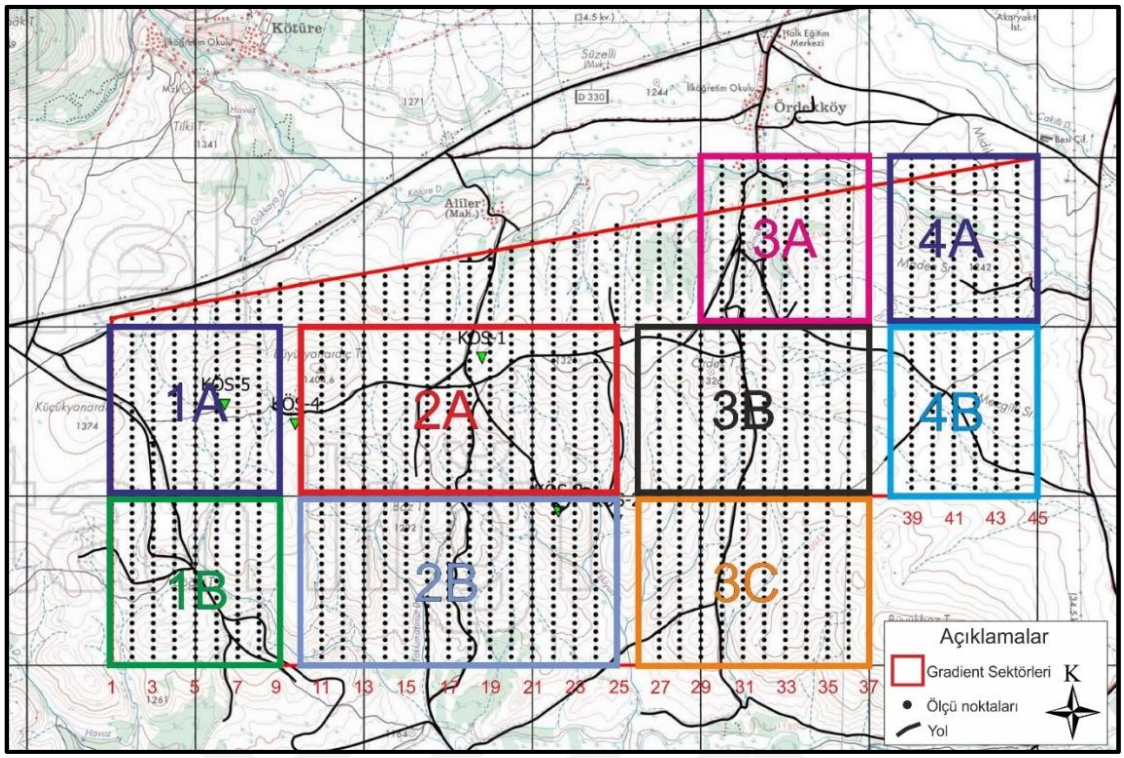
Bu tez çalışması kapsamında teze konu olan sahadaki sülfürlü cevher potansiyelinin varlığını ve konumunu belirlemek için, ardışık olarak Gradient IP ve Pole-Dipole IP yöntemleri kullanılmıştır. Veriler MTA'nın 2017-32-13-24 proje özel kodu ile yürütülen Ruhsat Etütleri Projesi kapsamında ve 07.11.2017-23.02.2018 tarihleri arasında tarafımdan toplanmıştır.

2.1.1. Gradient IP

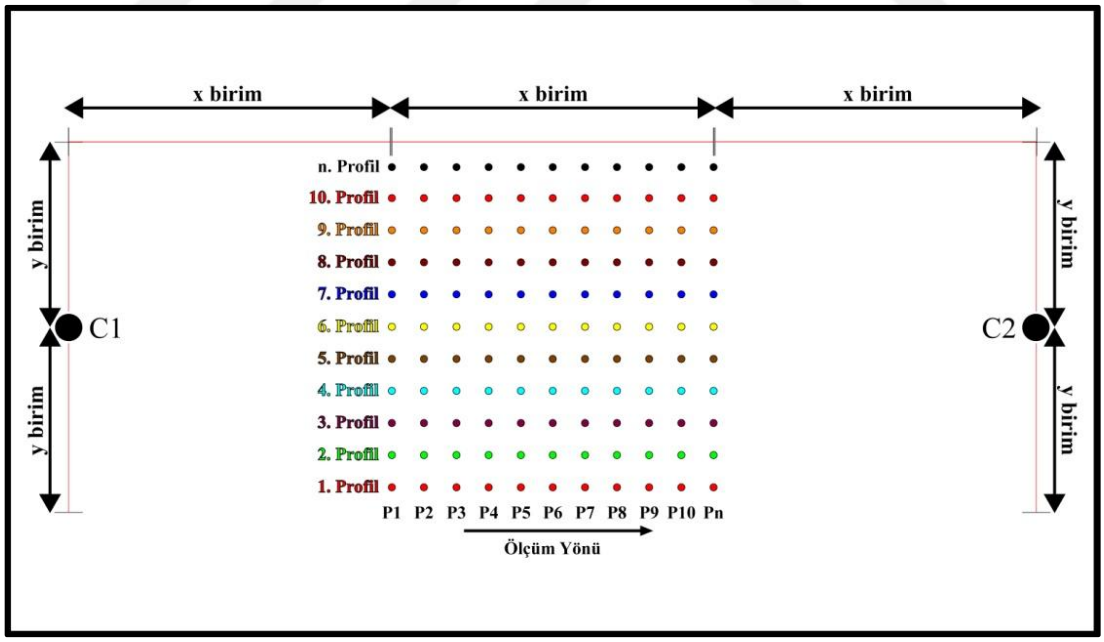
Bu çalışmada 400 metre araştırma derinliği için, akım noktaları sektörlerin (gradient ölçüm alanı) kuzey ve güneylerinde olmak üzere 3000 metre mesafeli olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Ölçüm alanı, çalışma sahasını kaplayacak şekilde genellikle 1 km genişliğinde kare şeklinde belirlenir. Bununla birlikte eğer sahada potansiyel üretilebiliyorsa (potlara yeterli miktarda akım geliyorsa), ölçüm alanı akım eksenine dik olarak dikdörtgen şeklinde de uzatılabilir. Burada 2A, 2B, 3A ve 3B sektörleri dikdörtgen olarak uzatılmıştır. Ölçü ilerleme yönü akım elektrotları ekseni boyunca olmalıdır. Bu saha için tüm sabit akım noktaları K-G yönlerinde alınmıştır. Potansiyel elektrotlarının aralıkları yanal yönde ölçüm çözünürlüğü için istenilen mesafelerde yerleştirilebilir. Fakat çok küçük elektrot aralıkları potansiyel oluşumunda ciddi düşüşlere yol açabileceğinden sağlıklı ölçü alımını zorlaştırabilir.

Çalışmada yaklaşık 13 km^2'lik bir alan 9 gradient ölçü bölgesine bölünerek Gradient IP ölçümü ile taranmıştır (Şekil 15). Gradient ölçü alım tekniği Şekil 16'da şematik olarak verilmiştir. Bu ölçü tekniğinde belirlenen iki sabit akım noktası ortasında kalan 1/3'lük bölgede potansiyel elektrotları bir hat üzerinde dizilerek her iki potansiyel elektrotu arasındaki görünür özdirenç ve yüklenebilirlik değerleri kaydedilmiştir. Yapılan ölçümlerde görünür özdirenç ve yüklenebilirlik değerleri yanında yüklenebilirlik/özdirenç oranından üretilen metal faktör haritası da hazırlanmıştır. Yüklenebilirlik ve metal faktör ortak anomalilerinin metalik mineralizasyon açısından güvenilirliği artmaktadır.



Şekil 15. Ördek köy sahası jeofizik IP gradient bölgeleri konum haritası



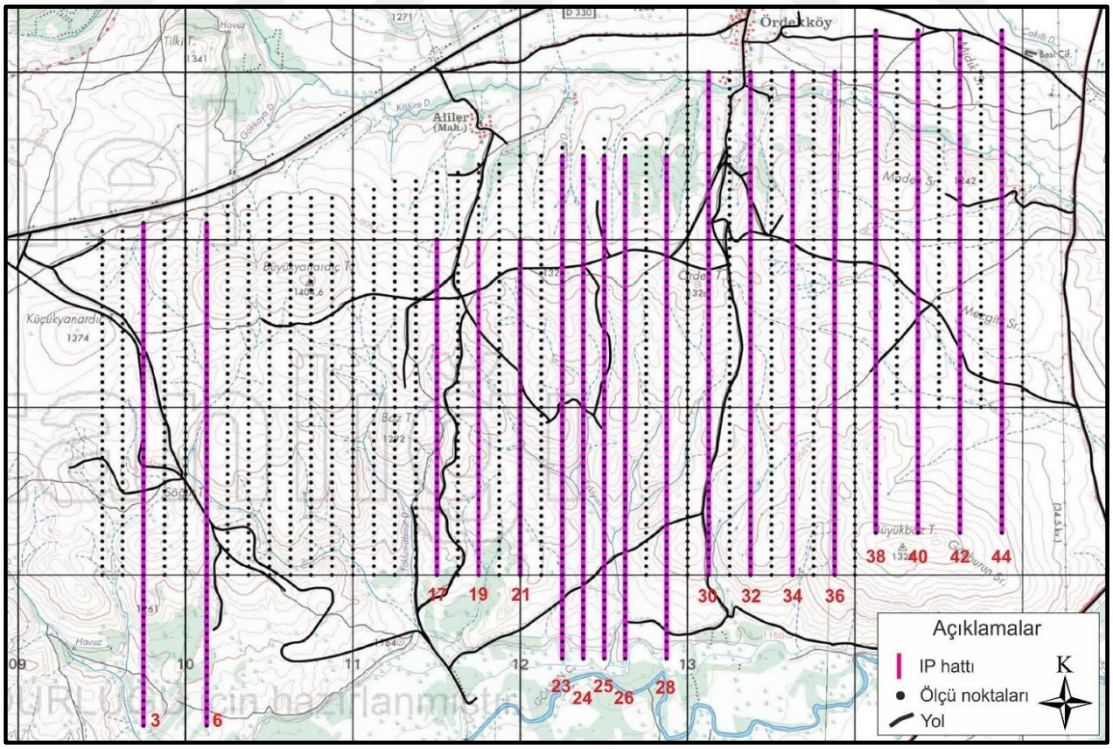
Şekil 16. IP gradient ölçü alım sisteminin şematik olarak gösterimi

2.1.2. 2B İndüksiyon Polarizasyon (2B IP)

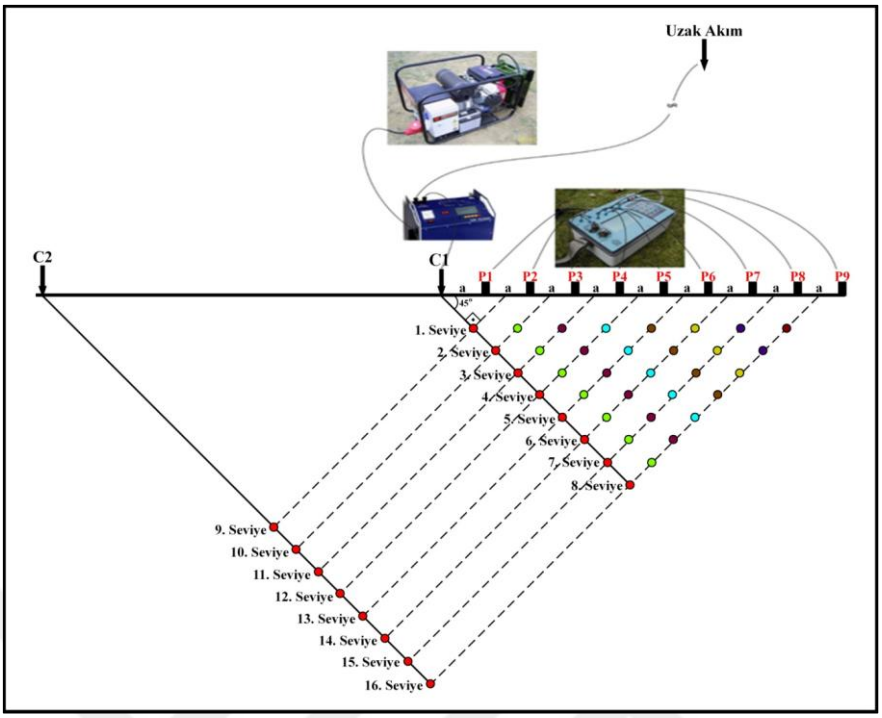
Sahada IP gradient çalışması sonucu elde edilen bilgiler eşliğinde anomali belirlenen hatlarda 2B IP çalışmaları (Şekil 17) gerçekleştirilmiştir. Sahada başlangıçta üç hat üzerinde (17, 19, 21 nolu hatlar), 9 seviyede ve 390 m araştırma derinliği veren ölçüler alınmıştır. Sonrasında diğer 15 IP hattı daha derin araştırma derinliğinin gerektiği düşüncesi ile çift akım ekibi ile 690 m araştırma derinliği veren 16 seviyede ölçülmüştür.

Tüm IP profilleri, 100 m elektrot aralıklı ve 50 m ilerleme aralıklı olarak gerçekleştirilmiştir. 16 seviyede ölçülen hatlar çift akımlı Pole-Dipole elektrot dizilimi ile alınmıştır. Toplam profil uzunluğu 51000 m. uzunluğundadır (Şekil 17). Kullanılan elektrot diziliminin IP donanımı ile arazi yerleşimi şematik olarak Şekil 18'de verilmiştir.

Pole-dipole elektrot diziliminde sonsuz (çok uzak akım elektrotu) noktası, hat üzerindeki tüm ölçü noktalarına eşdeğer olarak etki etmesi nedeniyle genelde profil hattına dik yönde yerleştirilir. Sonsuz akım noktasının mesafesi serim boyunun en az beş katı olacak şekilde yerleştirilmesi durumunda hat üzerindeki ölçülere etkisinin %5'in altında olacağı kabul edilir (URL-1).



Şekil 17. Ördek köy sahası jeofizik IP hatları konum haritası



Şekil 18. Çift akımlı pole-dipole elektrot diziliminin IP donanımı ile arazi yerleşimi (Bekâr, 2016'dan düzenlenerek)

Çift akımlı ölçümlerde; öncelikle C1 akım elektrotlarından yeraltına akım verilmektedir. Daha sonra akım kesilerek ölçü sonlandırılmaktadır. Burada 8 seviyede ölçü alınmış olunur. Ölçü sonlandırıldıktan sonra ilerleme yapılmadan (yeni bir ölçüye geçilmeden), C2 akım elektrotlarından yeraltına akım verilir (Burada 16 seviyede ölçü alınmış olunur). Böylece ikinci akım ile daha derinden bilgi alınması sağlanır.

2.2. Kullanılan Ekipmanlar

Arazide kullanılan IP donanımı aşağıda sıralanmıştır.

Verici (Kaynak): VIP 10000

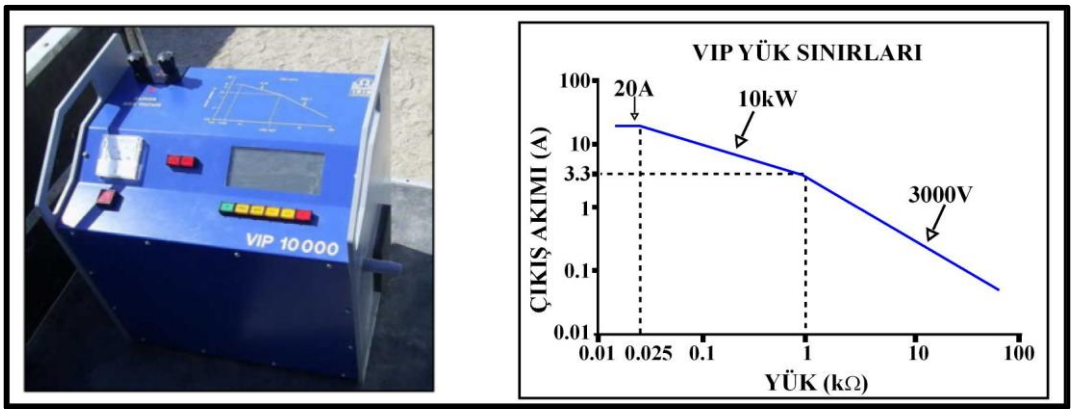
Tamamen mikroişlemci kontrollü (Şekil 19).

Çıkış Gücü : 10000 W maksimum

Çıkış Voltajı : 3000 V maksimum

Çıkış Akımı : 20 A maksimum

Ağırlık : 35 kg



Şekil 19. a) VIP 10000 IP Vericisi b) VIP 10000 Yükleme Limitleri (Bekar, 2016'dan düzenlenerek)

Alıcı (Kaydedici): Elrec Pro

Programlanabilir 20 pencerede yüklenebilirlik ölçümü (Şekil 20).

Voltaj Hassasiyeti	: % 0.2
Voltaj Çözünürlüğü	: 1μV
Yüklenebilirlik Hassasiyeti	: % 0.6
Giriş Empedansı	: 100 MΩ
Ağırlık	: 6 kg

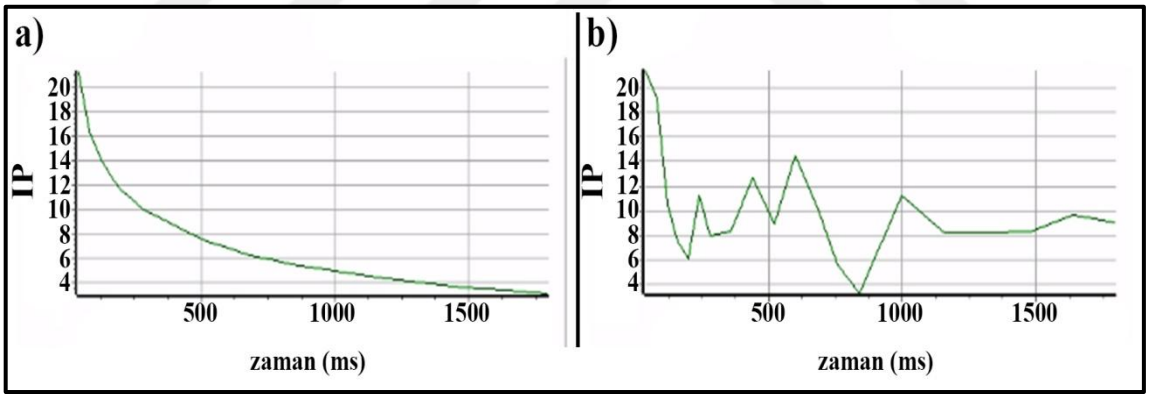


Şekil 20. Elrec Pro IP alıcısı

2.3. Kullanılan Veri Değerlendirme Yazılımları ve Veri İşlem

Çalışmada arazi ve ölçü planlamasında GIS programı olarak Mapinfo, Gradient verilerinin haritalamasında Oasis Montaj programları kullanılmıştır. 2B IP verilerinin veri işleminde IRIS Prosys II programı kullanılırken, ters çözümünde Res2DInv programı, ters çözümü yapılan tüm verilerin ortak renk skalasını belirlemek için de Surfer programı kullanılmıştır.

Şekil 21'de 2B IP ölçüsünden elde edilen sönüm eğrilerinden örnek gösterilmektedir. Ölçülen verilerde her iki potansiyel elektrotuna gelen Vp voltaj değerinin düşüklüğü, sönüm eğrilerinde bozukluk ve standart sapmalarda yükselmeler gibi sonuçlar doğurabilir. Bu gibi veri bozulmalarının önüne geçmek için yere daha yüksek akım verilir ya da ölçü yığma (stack) sayısı arttırılabilir. Buna rağmen özellikle yersel etkiler (bir kil tabakası, ya da yeraltı su seviyesinin aşırı yüksekliği gibi) nedeniyle bunun önüne geçilemeyebilir. Bu gibi aşırı iletken bir tabakanın bulunması durumunda negatif yüklenebilirlik değerleri ölçülebilir.



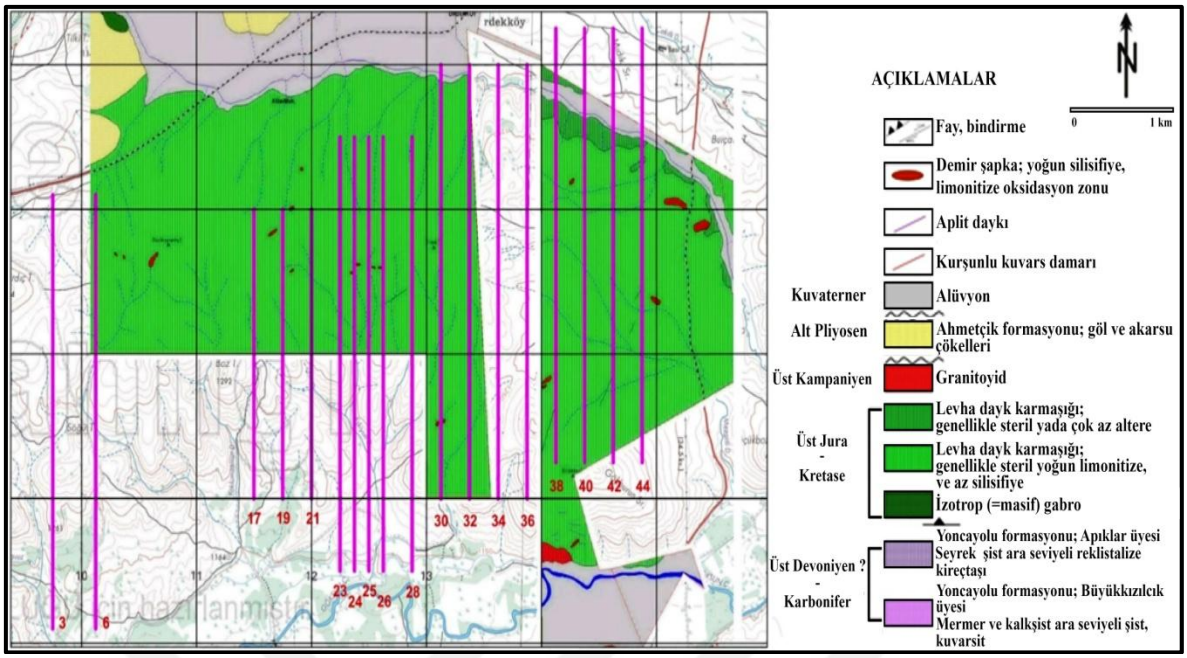
Şekil 21. 2B IP ölçüsünden elde edilen sönüm eğrilerinden örnek. a) Düzgün sönüm eğrisi, b) Bozuk sönüm eğrisi

2.4. Profil Bilgileri

Arazi çalışmasında 18 profil üzerinde alınan IP ölçülerinin, profil uzunluklarına ait bilgileri içeren Tablo 2 aşağıdadır. IP hatlarının jeolojik harita üzerindeki görünümü Şekil 22'de verilmektedir.

Tablo 2. IP profil uzunluk bilgileri

Profil No	Uzunluğu (m)
3	3000
6	3000
17	2000
19	2000
21	2000
23	3000
24	3000
25	3000
26	3000
28	3000
30	3000
32	3000
34	3000
36	3000
38	3000
40	3000
42	3000
44	3000
TOPLAM	51000

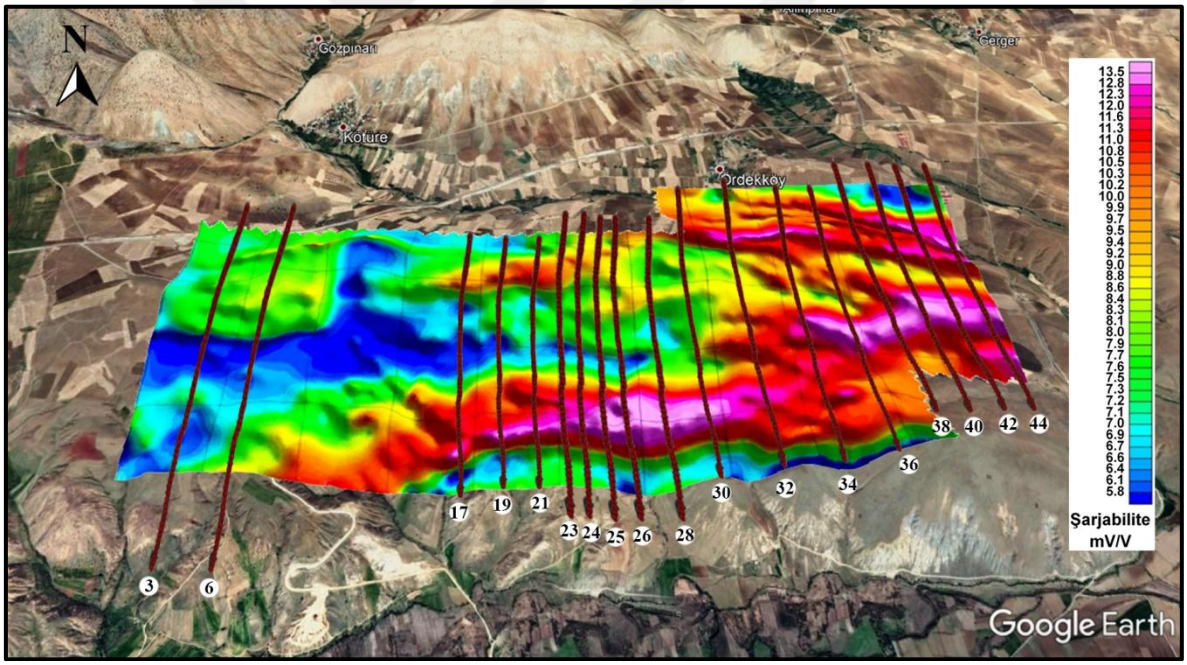


Şekil 22. Jeofizik IP hatlarının jeolojik birimler (Vergili vd., 2010) üzerindeki konumları

3. BULGULAR

3.1. Genel Değerlendirme

Çalışma alanının büyüklüğü nedeniyle öncelikle Gradient IP ile sahanın potansiyel özdirenç ve yüklenebilirlik (şarjabilite) haritası ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma sonucu özellikle sülfürlü mineralizasyon açısından önemli olan görünür yüklenebilirlik verilerinin sahanın batısında zayıf olması nedeniyle 2B IP çalışmaları sahanın ortası ve doğusunda yoğunlaştırılmıştır. Bununla birlikte batısında da iki profil üzerinde ölçüler alınarak Gradient IP ile 2B IP verilerinin korelasyonu yapılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. 2B IP profil hatları ve gradient yüklenebilirlik haritasının coğrafik olarak 3B gösterimi (Google earth, 26.09.2018)

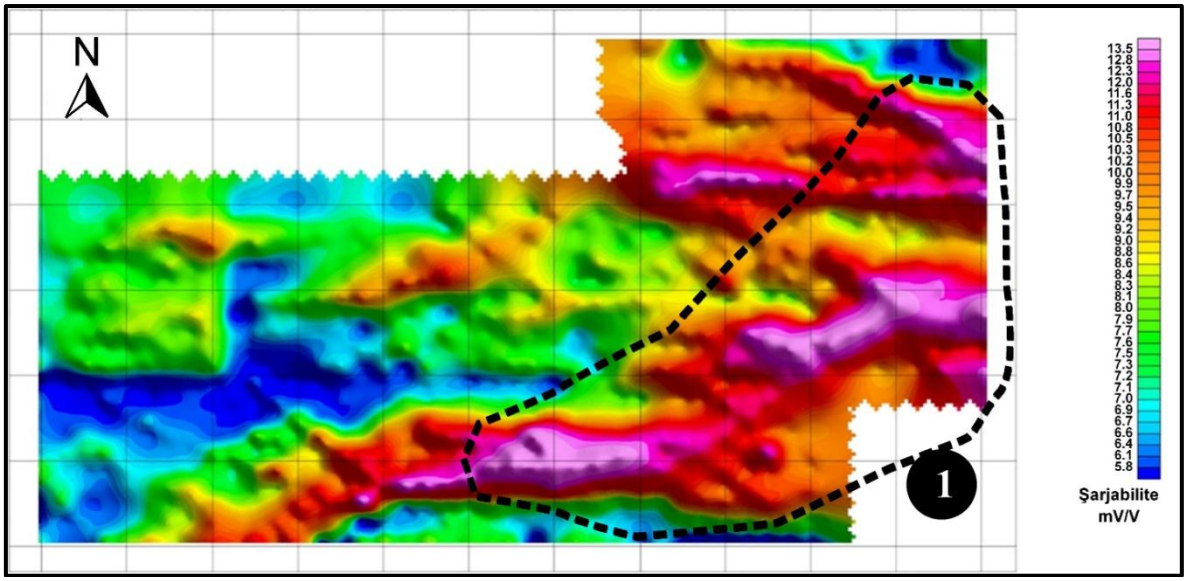
Yapılan IP çalışması sonucu ölçülen görünür özdirenç değerleri 139 Ohm.m ile 1860 Ohm.m arasında değişirken, görünür yüklenebilirlik değerleri 2.6mV/V ile 17.1mV/V olarak gözlenmektedir. Sahanın doğusuna doğru nispeten artan görünür yüklenebilirlik değerleri verilerin ters çözüm sonucu 23.3mV/V hesaplanan yüklenebilirlik değerine kadar yükselmektedir.

Arazi verilerinin ters çözümü sonucu elde edilen hesaplanan özdirenç değerleri yer yer 21200 Ohm.m değerine kadar ulaşsa da, sahanın ortalama özdirenç değerleri 1000 Ohm.m civarındadır. Özellikle sahanın ortasından doğusuna doğru yüklenebilirlik anomalilerinin özdirenç karşılıklarının sahanın ortalamasından düşük olması, bu anomali zonlarının potansiyel bir sülfürlü mineralizasyona karşılık gelebileceğini göstermektedir.

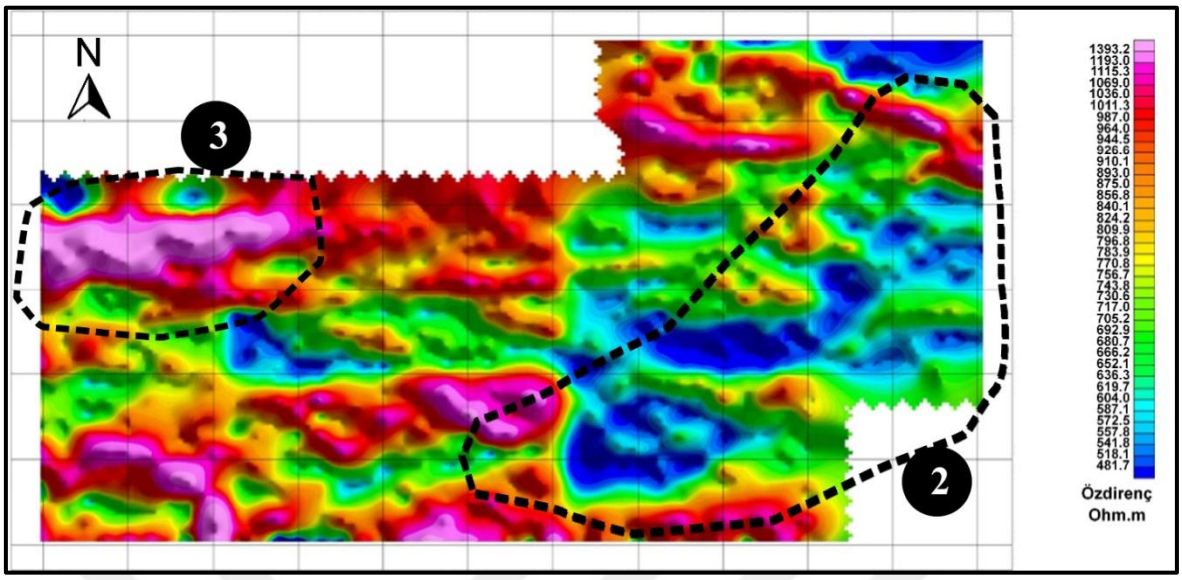
3.2. Gradient Haritalarının Değerlendirilmesi

Gradient IP çalışması ile elde edilen yüklenebilirlik (şarjabilite) haritası Şekil 24'te verilmektedir. Haritadan görülebileceği gibi sahanın güneyinde gözlenen kuvvetli yüklenebilirlik anomalisi sahanın doğusu ve kuzeydoğusuna doğru yaygınlaşarak devam etmektedir. Sahanın batısında ise nispeten zayıf değerler gözlenmektedir.

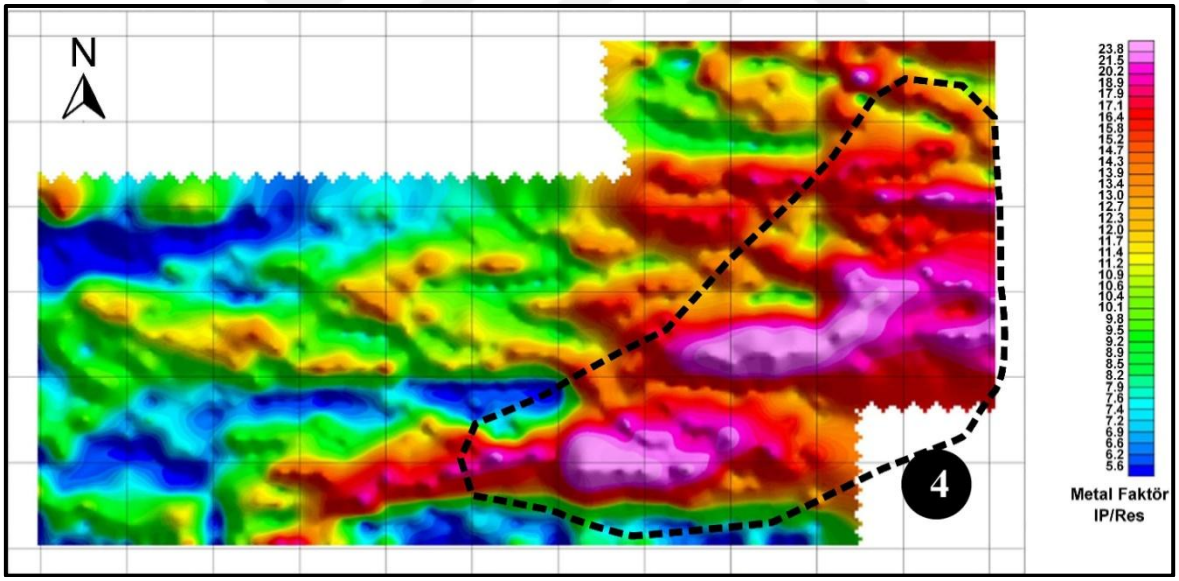
Çalışma alanının gradient özdirenç haritasında sahanın kuzeybatısında gözlenen yüksek özdirençli anomalilerin muhtemel kaynağı yüzeyin hemen altında yer alan granitoidler ya da silis oluşumlarıdır (Şekil 25, 3 nolu eliptik alan). Sahanın doğusunda yer alan düşük özdirençli zonlar (2 nolu eliptik alan) ise yüksek yüklenebilirlikli zonlar (1 nolu eliptik alan) ile eşleniktir. Bu alanların sülfürlü mineralizasyon açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Yaklaşık aynı zonlar üzerinde (Şekil 26, 4 nolu eliptik alan)'da verilen metal faktör haritasında da benzer anomaliler gözlenmektedir.



Şekil 24. Ördek köy sahası gradient yüklenebilirlik haritası. 1 nolu siyah eliptik çizgi ile belirtilen alan anomali alanlarını göstermektedir



Şekil 25. Ördek köy sahası gradient özdirenç haritası. 2 ve 3 nolu siyah eliptik çizgi ile belirtilen alanlar anomali alanlarını göstermektedir



Şekil 26. Ördek köy sahası gradient metal faktör haritası. 4 nolu siyah eliptik çizgi ile belirtilen alan anomali alanlarını göstermektedir

3.3. IP Kesitlerinin Değerlendirilmesi

Sahada IP ölçüm profilleri Şekil 27'den 44'e kadar verilmektedir. Çalışma alanında ilk önce ölçülen 17, 19 ve 21 nolu profiller 2000 m uzunluğunda olup 390 m araştırma derinliği sunmaktadır. Bu profillerin sığ kaldığı düşüncesiyle sonraki tüm profiller 3000 m uzunluğunda ve 690 m araştırma derinliği verecek şekilde tasarlanmışlardır.

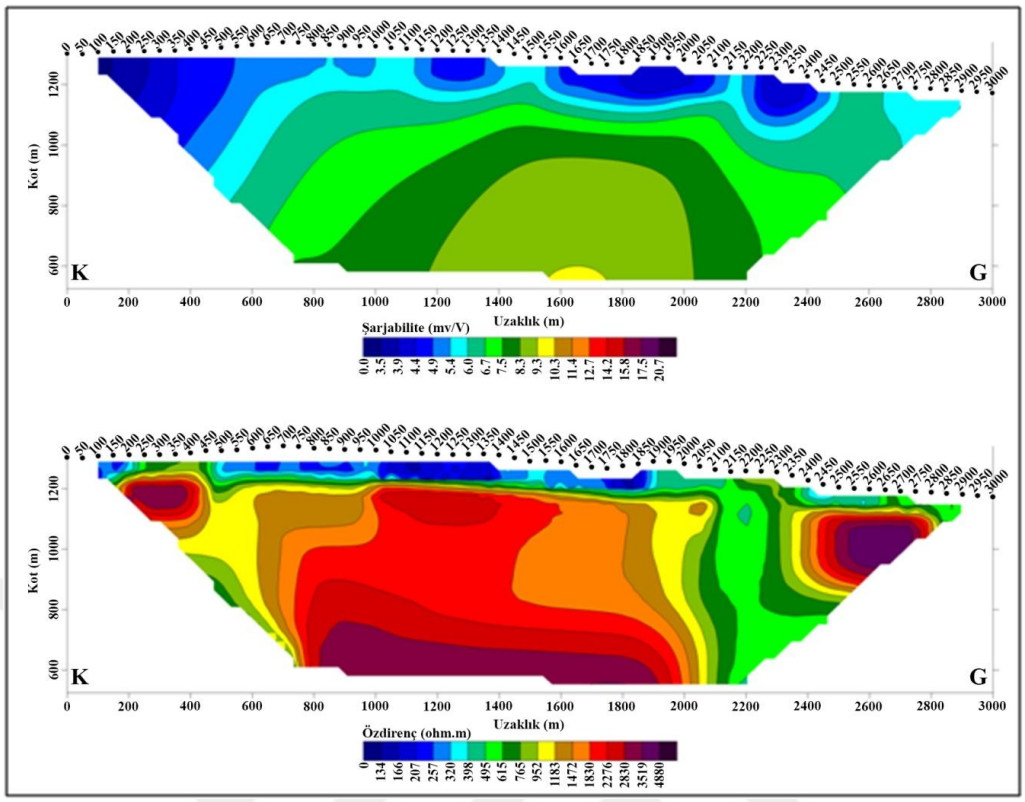
Ölçüm alanı sınırları içerisinde yoğun pirit saçınımı olmaması nedeniyle yüklenebilirlik değerlerinin eşik değerleri nispeten düşüktür. Bu saha için metalik mineralizasyon eşik değerinin 12.7mV/V olduğu düşünülmektedir.

Sahanın en batısında 3000 m uzunluğunda ölçülen 3 ve 6 nolu profiller Gradient IP haritasında gözlenen yüklenebilirlik düşüklüğünü doğrulamak amacıyla ölçülmüş olup, elde edilen değerlerin düşüklüğü Gradient IP ile 2B IP verilerinin tutarlılığını ortaya koymaktadır. Şekil 27 ve 28'de verilen bu iki profilde en yüksek yüklenebilirlik değerleri 10.3mV/V değerine ulaşmakla birlikte ortalaması yaklaşık 5mV/V'dur. Sülfür mineralizasyonu açısından her iki profil de verimsiz sayılmaktadır. Dolayısı ile sahanın batısında yer alan her iki profilde de metalik mineralizasyonun iyi gelişmediği söylenebilir.

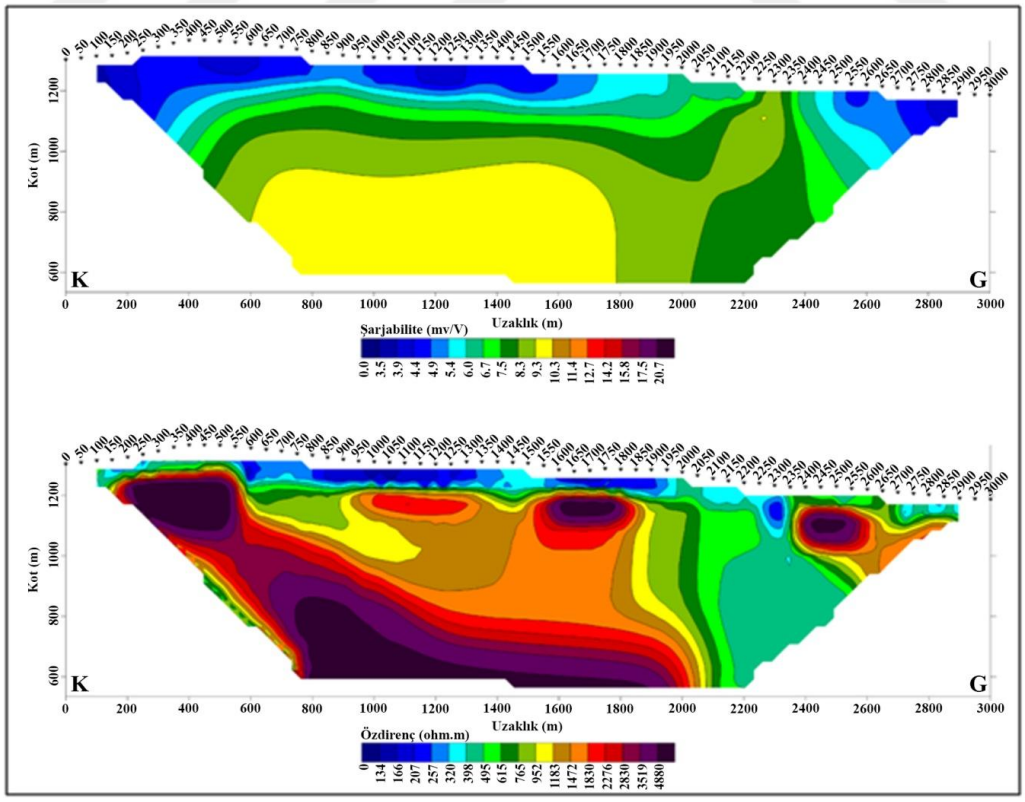
6 nolu profilin 1375 m doğusunda yer alan 17 nolu profil ile devamında ölçülen 19 ve 21 nolu profiller sahada ilk ölçülen 2B IP hatları olup 390 m araştırma derinliği vermektedir (Şekil 29-31). Her üç profilin de güney ucuna doğru düşük özdirenç değerine sahip yüksek yüklenebilirlik değerli anomaliler belirlenmiştir.

Şekil 32-36 arasında yer alan 23, 24, 25, 26 ve 28 nolu kesitlerde ise profillerin 2000 metrelerinde benzer karakter sergileyen düşük özdirençli ve yüksek yüklenebilirlik anomalileri gözlenmektedir.

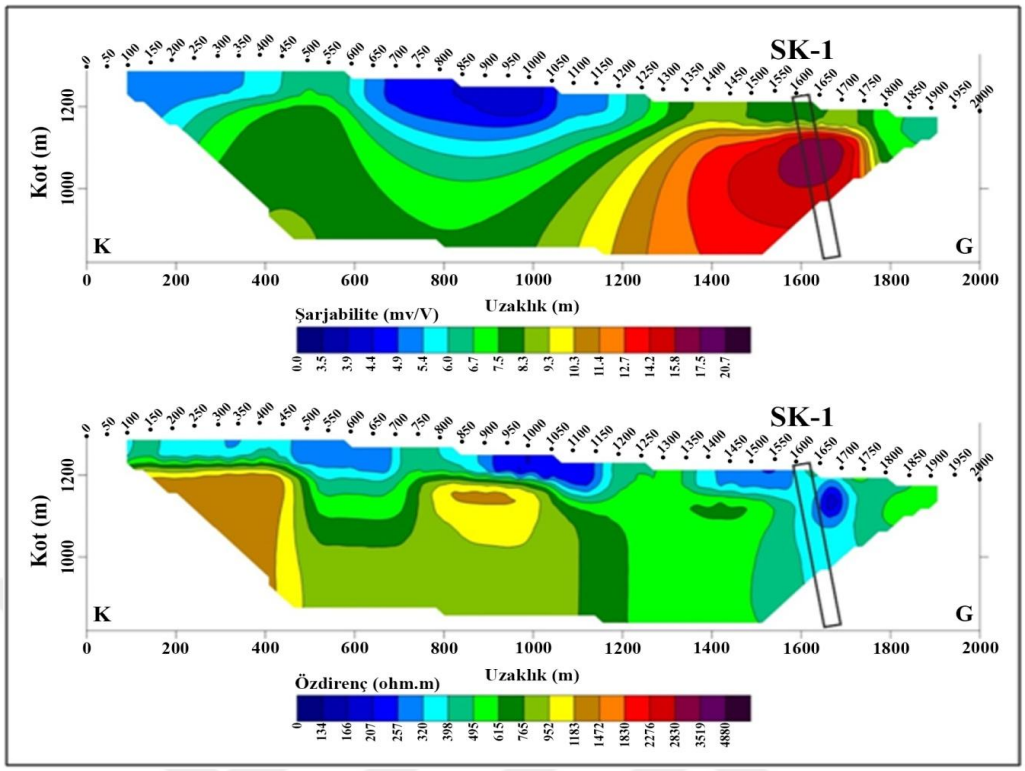
Her bir profile ait kestirilen özdirenç ve yüklenebilirlik değerleri göz önünde bulundurularak, önerilen sondaj lokasyonları önerilmiş olup kesitlerde belirtilmiştir. Önerilen sondajlara ait detaylı bilgiler ise sonuçlar başlığında görülebilir.



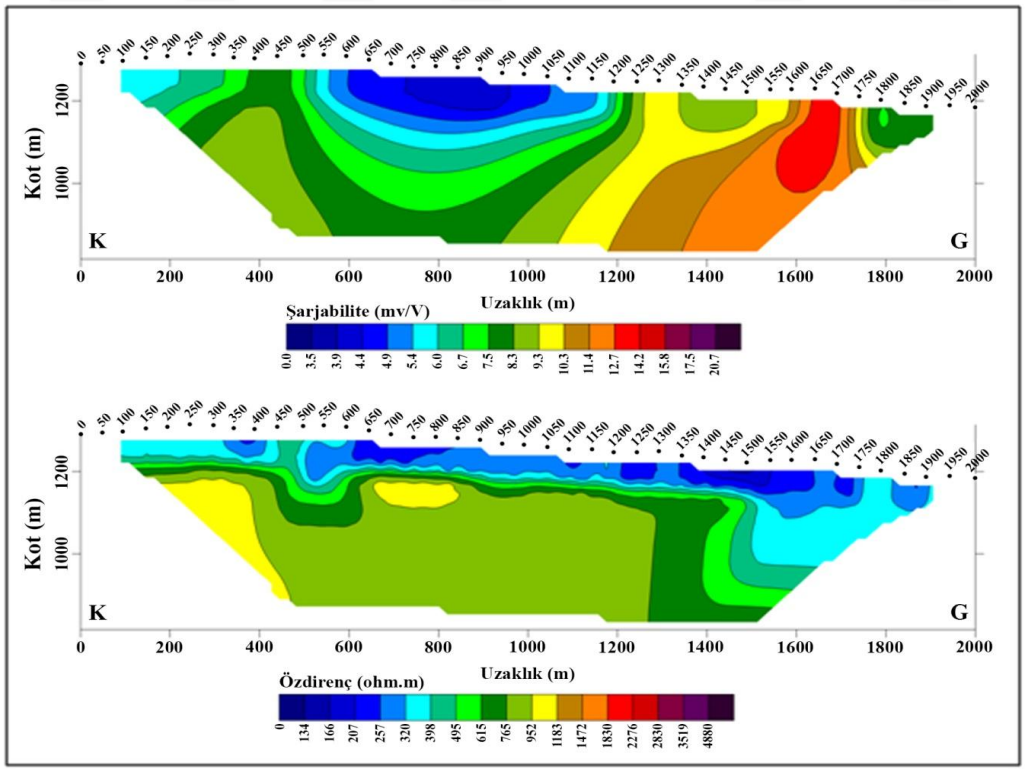
Şekil 27. 3 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti



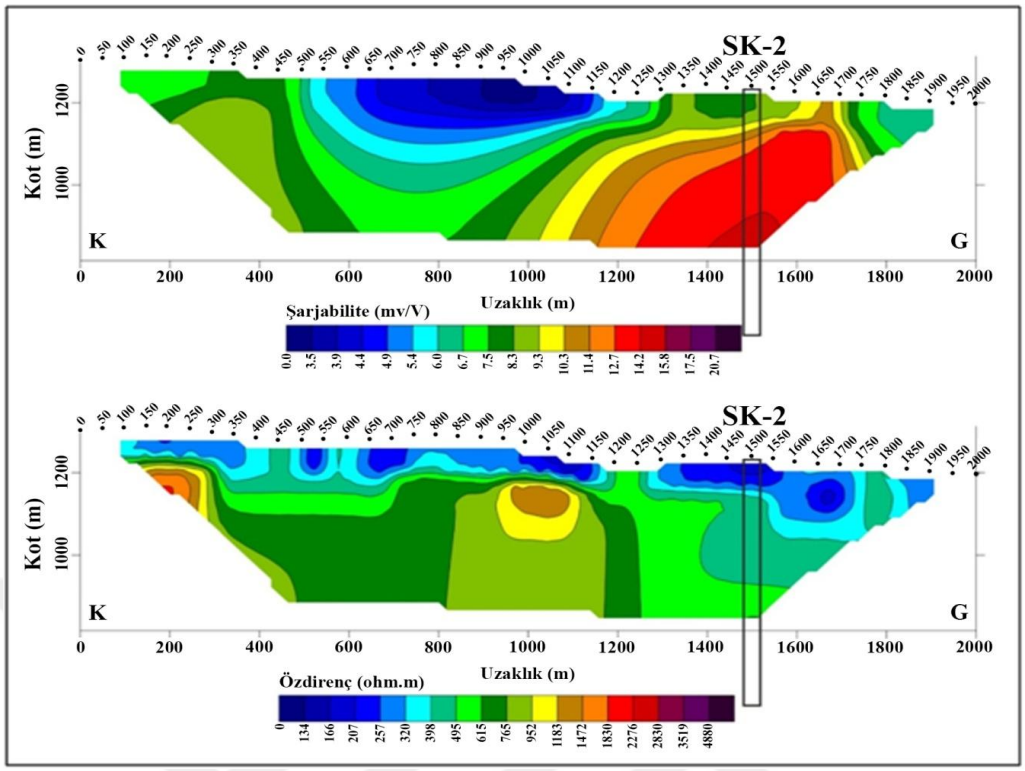
Şekil 28. 6 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti



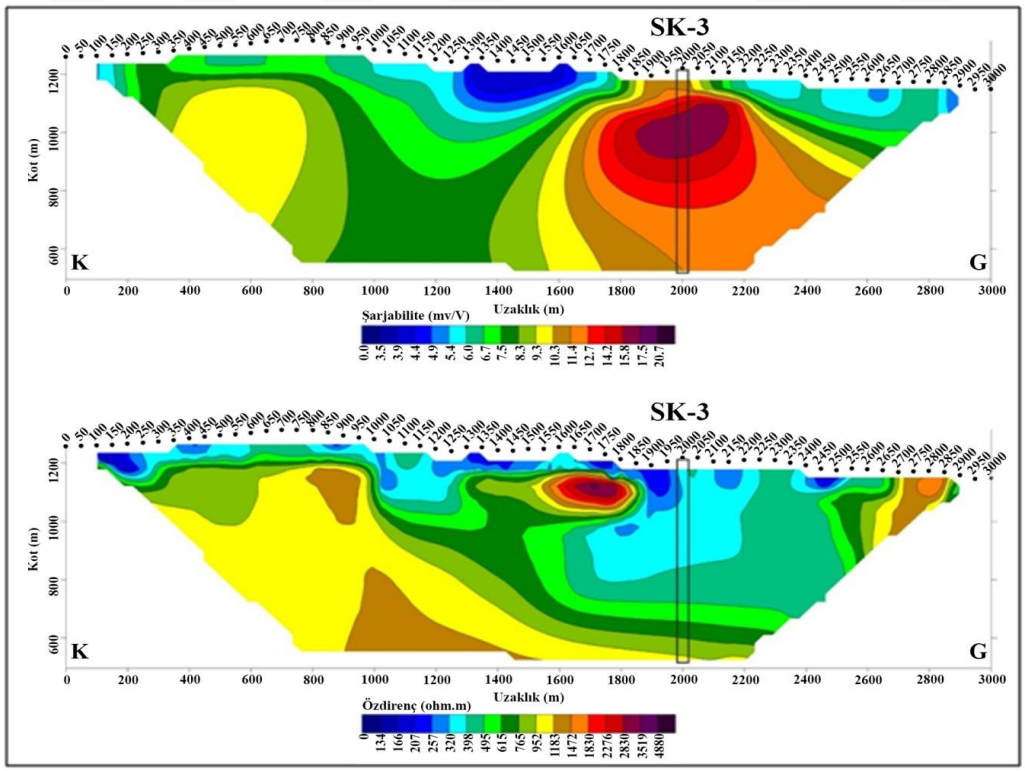
Şekil 29. 17 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-1 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



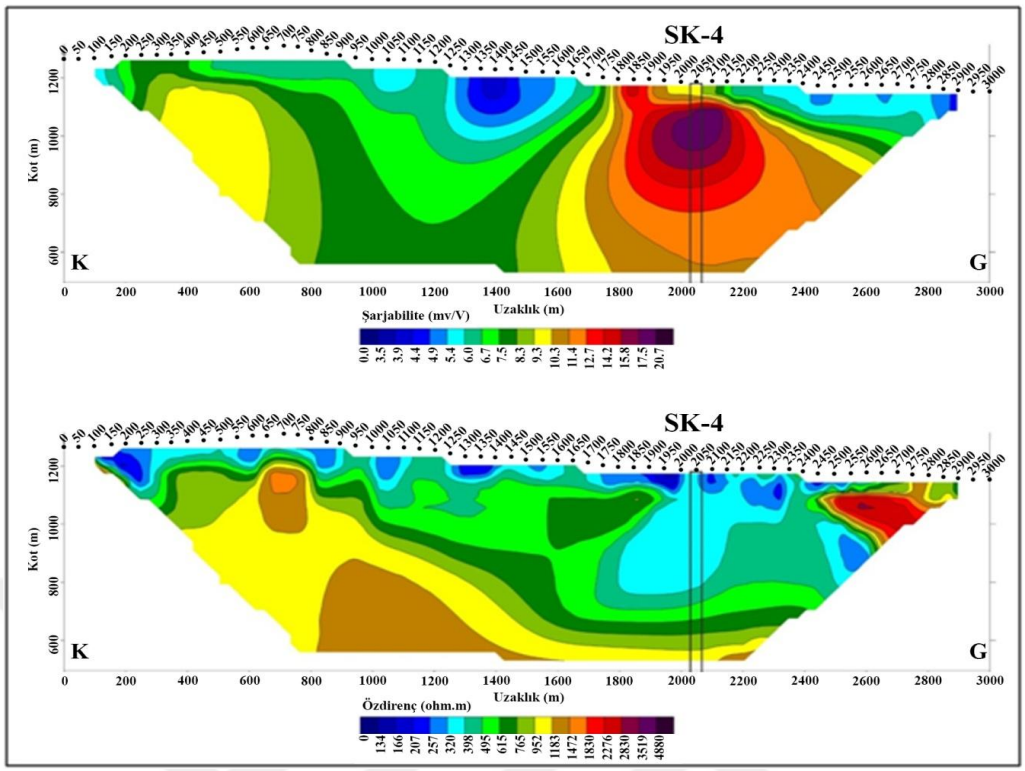
Şekil 30. 19 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti



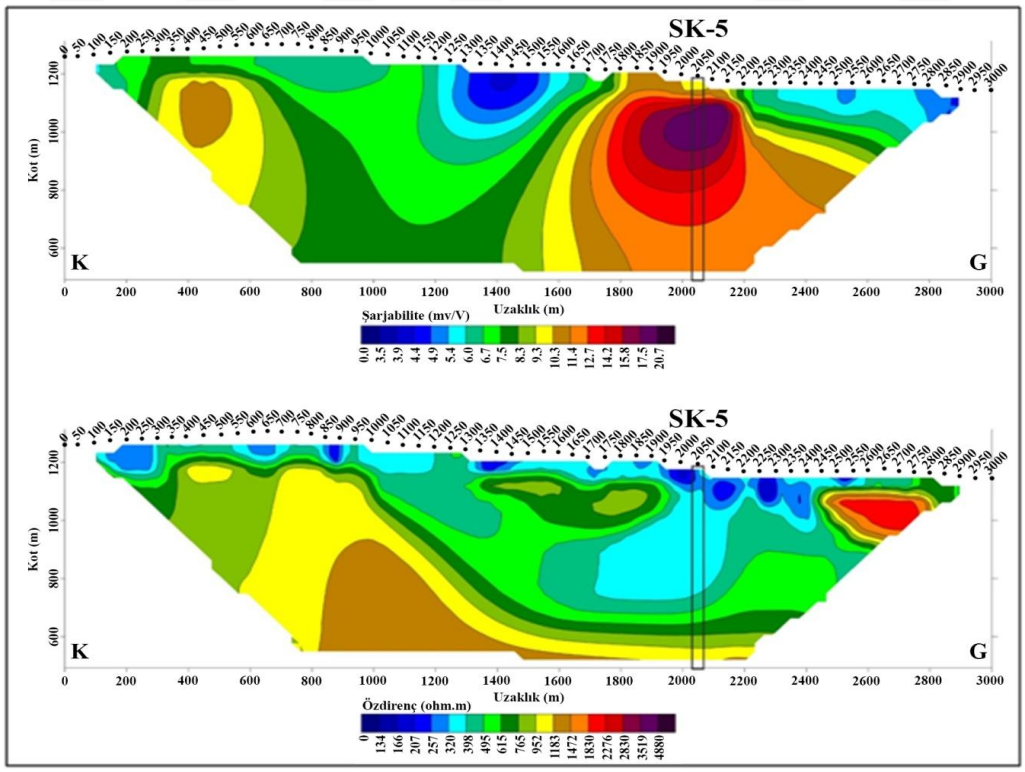
Şekil 31. 21 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-2 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



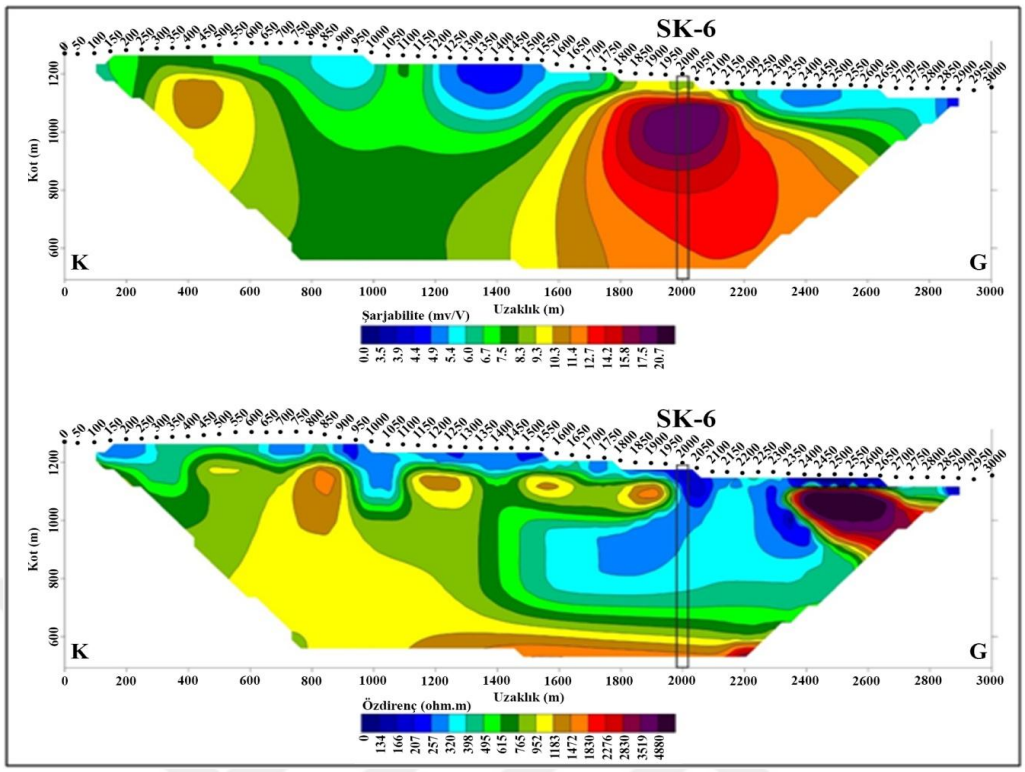
Şekil 32. 23 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-3 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



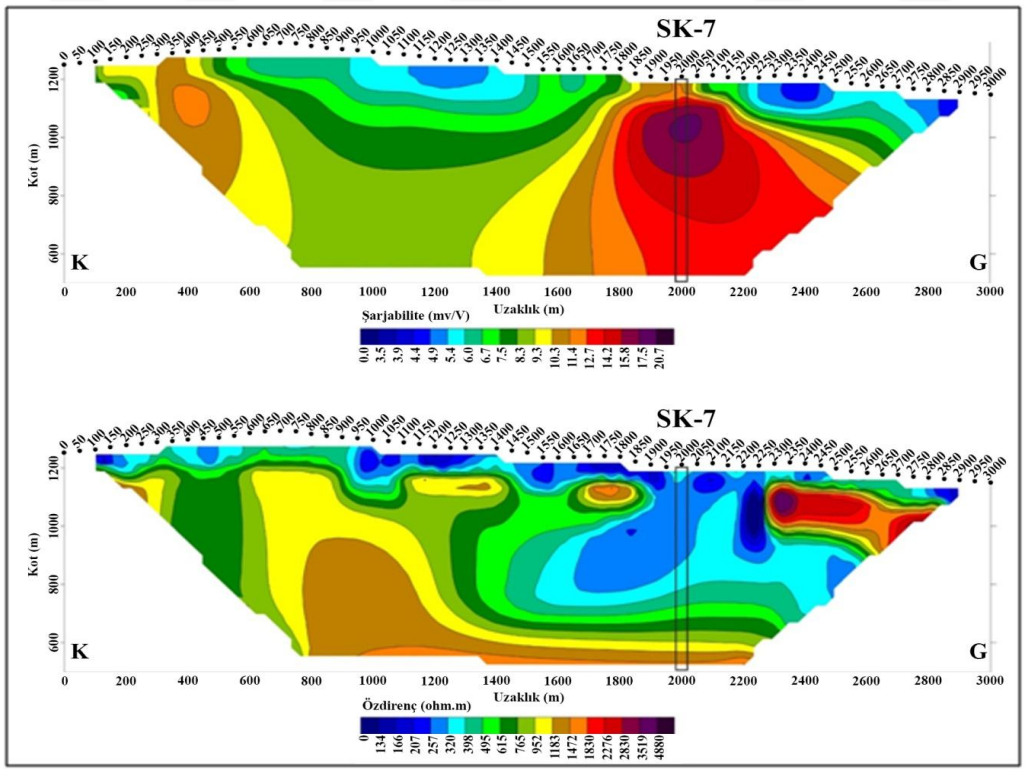
Şekil 33. 24 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-4 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



Şekil 34. 25 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-5 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir

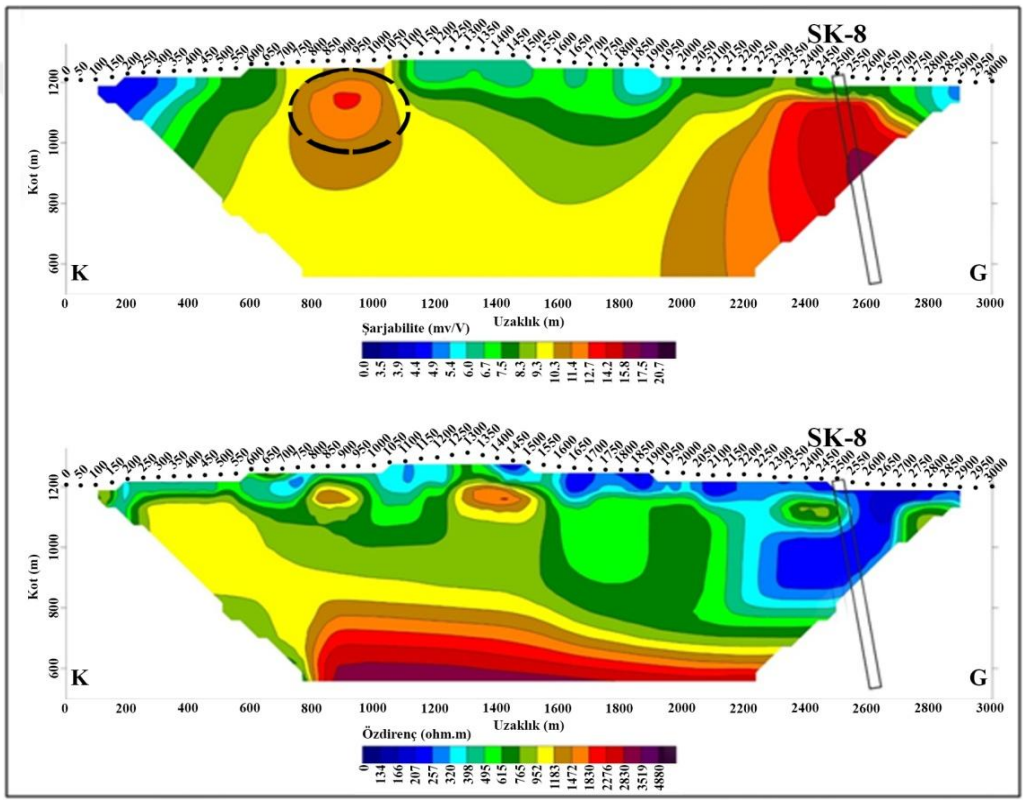


Şekil 35. 26 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-6 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



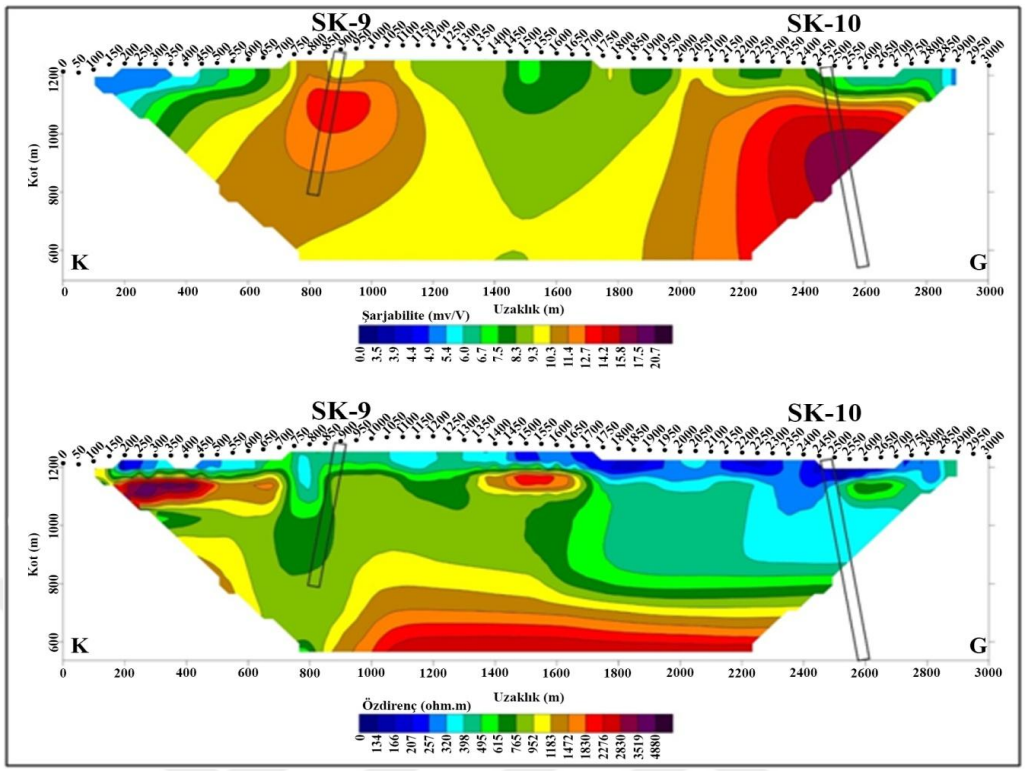
Şekil 36. 28 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-7 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir

28 nolu profilin batısında genelde hatların güney zonunda yer alan IP anomalileri, bu profilin doğusundaki profillerde güney zonuna ek olarak kuzey zonunda da gözlenmeye başlanmıştır. Şekil 37'deki 30 nolu profilde 900 metrelerde gözlenmeye başlayan bu doğu-batı yönlü anomali zonu (eliptik alan ile gösterilmiştir) 36 nolu profile kadar kuvvetlenerek varlığını devam ettirmektedir. 38 nolu profilden itibaren ise doğuya doğru olan tüm profillerde bu iki ayrı anomali zonu birleşerek daha kuvvetli ve derine doğru artan değerde gözlenmektedir.

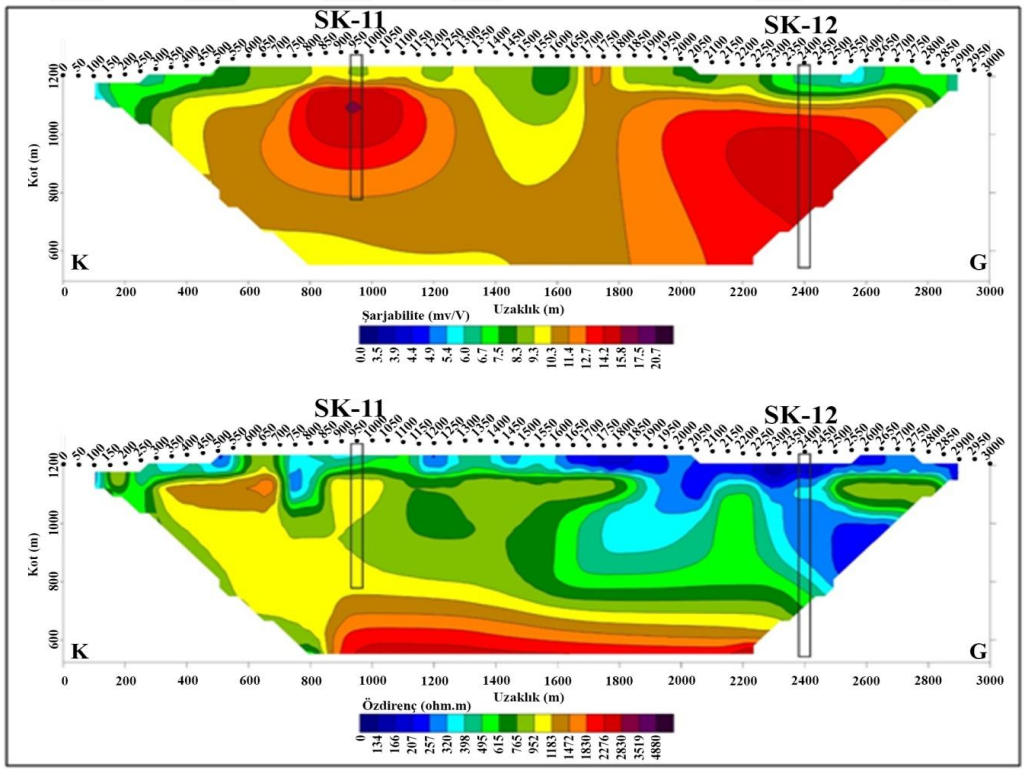


Şekil 37. 30 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-8 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir

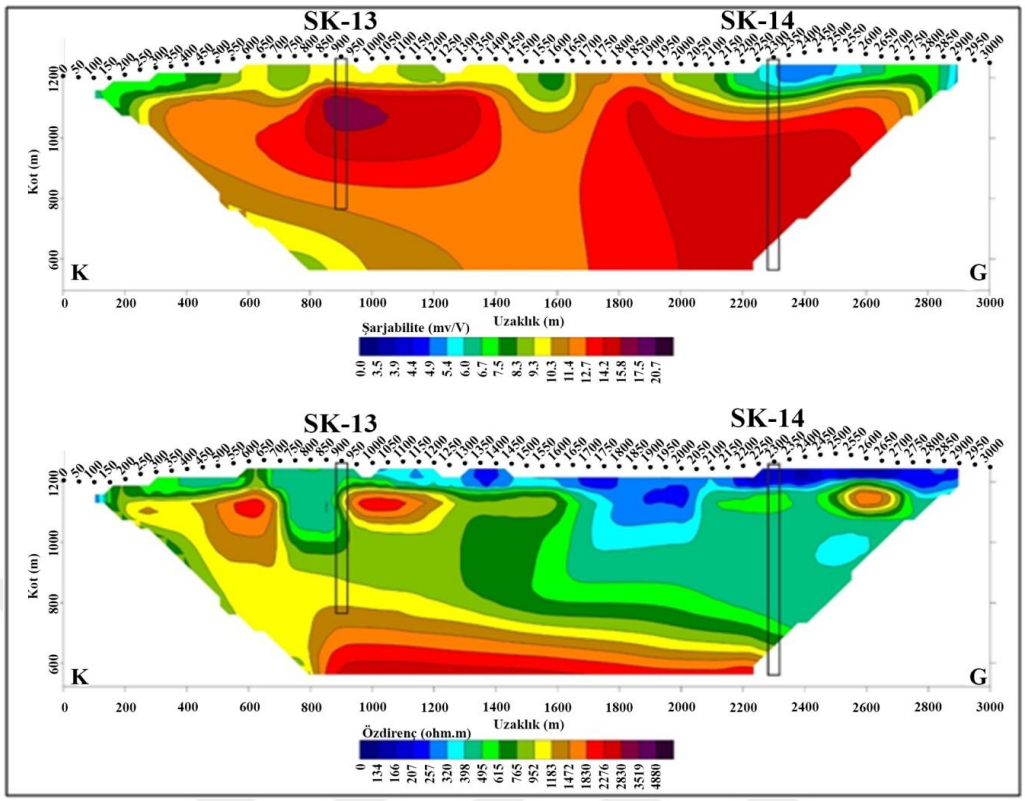
Şekil 38, 39 ve 40 da yer alan 32, 34 ve 36 nolu profillerde güneyde gözlenen anomalileri karakteristik olarak 300 ohm.m den daha düşük özdirenç değerli ve yüksek yüklenebilirlik değerli iken, kuzeydeki anomali zonları genelde 900 Ohm.m'den yüksek özdirenç ve yüksek yüklenebilirlik değerlidir.



Şekil 38. 32 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-9 ve SK-10 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir

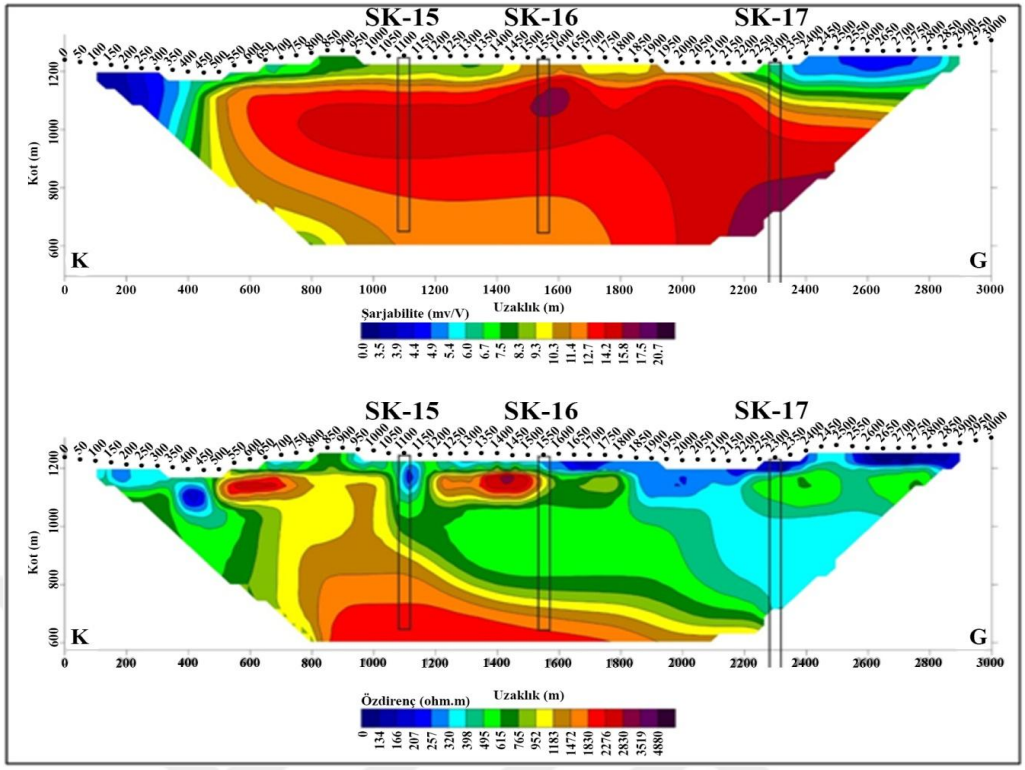


Şekil 39. 34 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-11 ve SK-12 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir

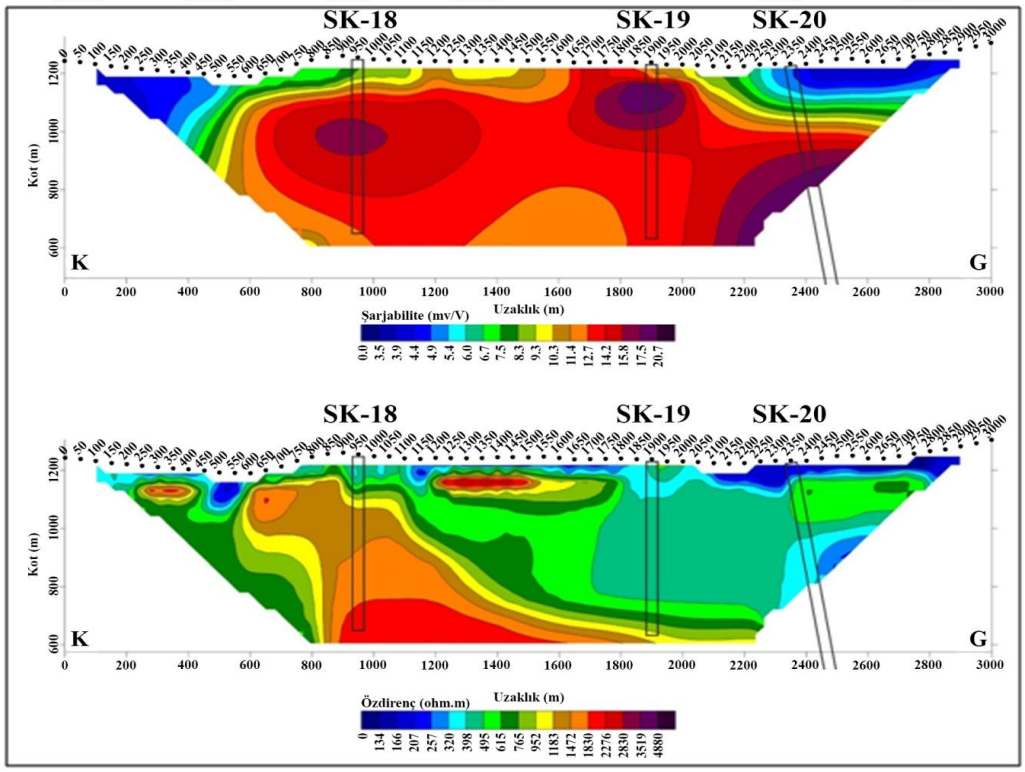


Şekil 40. 36 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-13 ve SK-14 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir

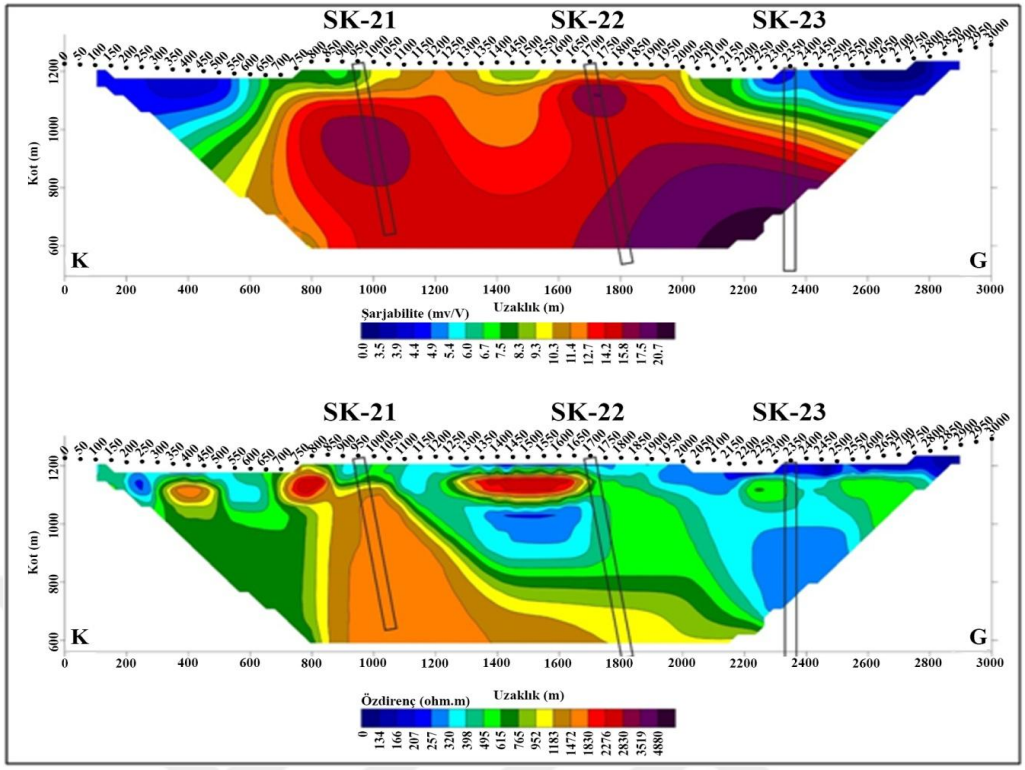
Şekil 41-44 arasında yer alan 38, 40, 42 ve 44 nolu profillerde sülfürlü mineralizasyonla ilişkili olabilecek yüklenebilirlik anomalisi profillerin güney ucundan ve derinden gelerek kuzey ucuna doğru bir yayılım göstermektedir. Yüklenebilirlik anomalisinin en kuvvetli olduğu yerler profillerin güney kısmında yer alan 2000-2200 metreleri arasında ve oldukça derin metrajlardadır.



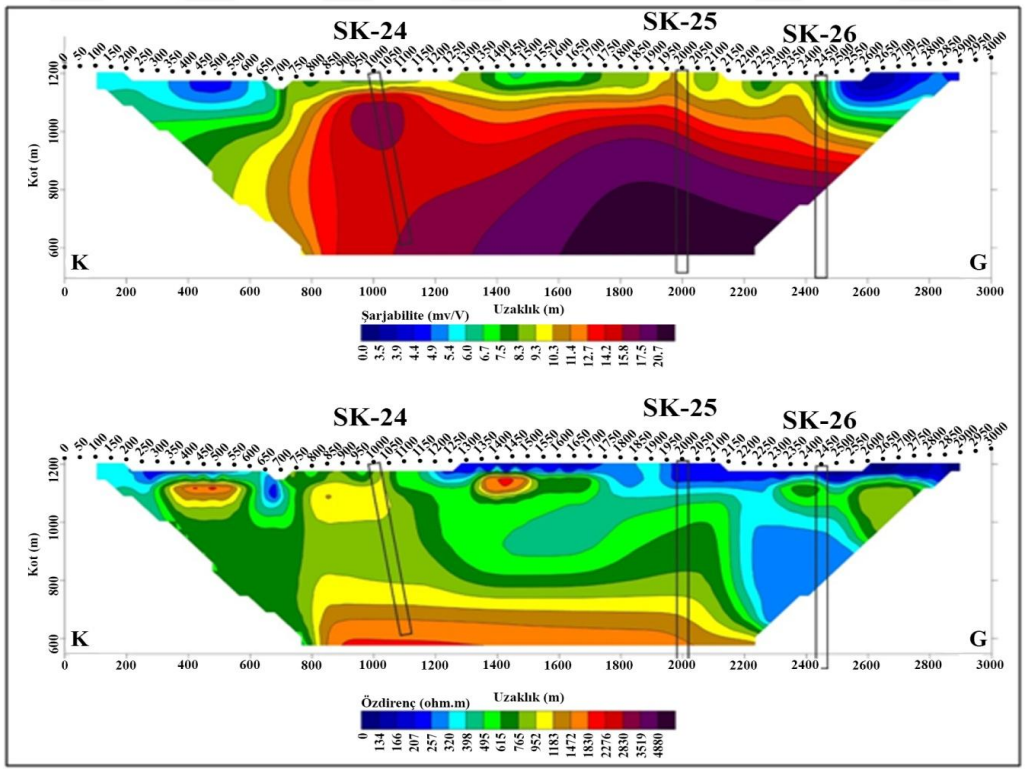
Şekil 41. 38 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-15, SK-16 ve SK-17 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



Şekil 42. 40 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-18, SK-19 ve SK 20 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



Şekil 43. 42 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-21, SK-22 ve SK-23 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir



Şekil 44. 44 nolu profilin yüklenebilirlik (üstte) ve özdirenç (altta) kesiti. SK-24, SK-25 ve SK-26 önerilen sondaj kuyusunu göstermektedir

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Afşin Kötüre ve Ördek Köyü sahasının sülfür mineralizasyonun araştırılması amacıyla öncelikle Gradient IP ölçüleri ile sahanın yüklenebilirlik ve özdirenç taraması yapılmış ve sonrasında anomalilerin yoğunlaştığı bölgelerde bu zonların derinlik boyutunun araştırılması için K-G yönlü 18 adet profil üzerinde toplam 51 km uzunluğunda IP ölçüsü alınmıştır.

Çalışma alanında 2B IP çalışmasına başlamadan önce Gradient IP yapılarak, potansiyel cevher alanları çok hızlı bir şekilde belirlenmiştir. Ayrıca Gradient IP ile 2B IP arasındaki uyum ortaya konulmuş, zaman başta olmak üzere işçilik ve diğer maliyetlerde çok büyük oranda kazanç elde edilmiştir. Bununla birlikte Pole-Dipole diziliminin yanal ve düşey yönde kaliteli çözünürlük elde edilebileceği gösterilmiştir.

Gradient IP ile hızlı olarak taraması yapılan bu çalışma yaklaşık 135 iş günde tamamlanması beklenirken, 81 iş gününde tamamlanmıştır. Böylece zaman açısından yaklaşık %60'lık bir kazanç elde edilmiştir.

Elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesi sonucu sahanın batısının sülfür mineralizasyonu açısından zayıf olduğu, buna karşılık güneyi ve doğusunda nispeten kuvvetli anomalilerin varlığı ortaya konulmuştur. Çalışma alanında ölçülen yaklaşık 1000 Ohm.m' den yüksek özdirençli zonların granit apofizleri (çıkıntıları) ile silisifiye zonlarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Sahadaki hakim birimlerin levha dayk karmaşığı üyesi olan diyabaz ve gabrolardan oluşması, kesitlerin ortalama özdirenç değerlerinin 600-1000 Ohm.m arasında olmasına yol açmıştır. 300 Ohm.m ve altı değerlerin ise alterasyon zonları ya da sülfür mineralizasyon yoğunluğuna bağlı olduğu düşünülmektedir.

Sahanın güneyinde yaklaşık doğu-batı doğrultulu olan ve düşük özdirenç eşlenikli yüksek yüklenebilirlik anomalileri önemli görülmüş ve her biri için sondaj lokasyonu olarak önerilmiştir. Bununla birlikte 32 nolu profil ve doğusunda yer alan diğer profillerin kuzeyinde gözlenen nispeten yüksek özdirenç eşlenikli yüksek yüklenebilirlik anomalileri de silisifiye zonlarda oluşabilecek sülfürlü mineralizasyon için önemli kabul edilmiştir. Sahanın cevherleşme türünün ortaya konulabilmesi için bu iki farklı karakterdeki anomali zonunun araştırılması gereklidir.

IP çalışması sonunda, belirlenen anomalilerin incelenebilmesi için toplam 15 adedi birinci öncelikli, 11 adedi ikinci öncelikli olmak üzere toplam 26 adet sondaj önerilmiştir.

1. öncelikli sondajların olumlu çıkması halinde ikinci öncelikli sondaj yerleri de önem kazanacaktır (Tablo 3).

Sonuç olarak, IP yönteminin geniş araştırma sahalarında uygulanması sürecinde hızlıca anomali alanlarının belirlenerek, ilgili cevheri içeren yapıların derinlik ve yanal uzanımlarının belirlenmesi için Gradient IP ve sonrasında Pole-Dipole IP yönteminin kullanılmasının yararları açıklanmış ve örnek bir çalışmasıyla gösterilmiştir. Bu tür çalışmalarına daha ekonomik ve sonuçları açısından güvenilir olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Jeofizik çalışma sonucu yapılan 1. ve 2. öncelikli sondaj önerileri

1. ÖNCELİKLİ SONDAJ ÖNERİLERİ			2. ÖNCELİKLİ SONDAJ ÖNERİLERİ		
Sondaj No	Azimut/Eğim	Metraj (m)	Sondaj No	Azimut/Eğim	Metraj (m)
SK-3	Dik	700	SK-1	180/80	400
SK-4	Dik	700	SK-2	Dik	600
SK-5	Dik	700	SK-9	0/80	500
SK-6	Dik	700	SK-11	Dik	500
SK-7	Dik	700	SK-12	Dik	700
SK-8	180/80	700	SK-13	Dik	500
SK-10	180/80	700	SK-15	Dik	600
SK-14	Dik	700	SK-16	Dik	600
SK-17	Dik	800	SK-18	Dik	600
SK-19	Dik	600	SK-21	180/80	600
SK-20	180/80	800	SK-24	180/80	600
SK-22	180/80	700			
SK-23	Dik	700			
SK-25	Dik	700			
SK-26	Dik	700			
TOPLAM		10600	TOPLAM		6200

5. KAYNAKLAR

Aktaş, K., 1993. İndüksiyon Polarizasyon Düşey Elektrik Sondajı Verilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Arslan, C., 2010. TKİ-Ilgın Linyit Ocağı ÇG-2 Panosunun Elektriksel Direnç Ölçümüyle Rezerv Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Başokur, A., T., 2003. Maden Aramalarında Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler, Kurs Notu, Ankara Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl., Ankara.

Başokur, A., T., 2016. Maden Aramalarında Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler**,** Jeofizik Bülteni, 76-77, 16-43.

Bedi, Y., Yusufoğlu, H., Özkan, M.K., Beyazpirinç, M., Usta, D. ve Baran, C., 2009. Malatya-Elbistan Dolayının Tektono-Stratigrafik Özellikleri: 388 s. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11150.

Bekar, K., Alaca, A. ve Akın, U., 2015. Kahramanmaraş-Afşin-Hüyüklü Sahası Gravite Manyetik ve IP Etüt Raporu, MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11802.

Bekar, K., 2016. Metalik Maden Araştırmalarında Yapay Uçlaşma (Induced Polarization - IP) Yöntemi, Jeofizik Bülteni, 76-77, 58-67.

Bertin, J. ve Loeb, J., 1976. Experimental and Theoretical Aspects of Induced Polarization, 1, Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Bhattacharya, B. B. ve Dutta, I., 1982. Depth of investigation studies for gradient arrays over homogeneous isotropic half-space, Geophysics, 47, 8, 1135-1234.

Candansayar, M., E., 2016. JFM316 Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notu, Ankara Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl., Ankara.

Candansayar, M., E., 1997. Doğru Akım Özdirenç Yönteminde Modelleme ve İki Boyutlu Sığ Yapıların Aranmasında Elektrod Dizilimlerinin Ayrımlılıklarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Edwards L. S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization, Geophysics, 42, 939-1087.

Fink, J. B., McAlister, E. O., Sternberg, B. K., Wieduwilt, W. G. ve Ward, S. H., 1990. Induced polarization applications and case histories, 421, Society of Exploration Geophysicists**.**

Gündoğdu, N., Y., 2005. Zaman Ortamı Yapay Uçlaşma Verilerinin Mühendislik Jeofiziğinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Marshall, D. J. ve Madden, T. R., 1959. Induced Polarization, A Study Of Its Causes, Geophysics, 24, 658-827.

Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, P.G., Sills, W.R. ve Nelson, P.H., 1978. Mineral Discrimination and Removal of Inductive Coupling with Multifrequency IP, Geophysics, 43, 497-638.

Seigel, H. O., 1959. Mathematical formulation ve type curves for induced polarization, Geophysics, 24, 3, 417-606.

Seigel, H. O., Vanhala, H., and Sheard, S., N., 1997. Some case histories of source discrimination using time-domain spectral IP, Geophysics, 62, 5, 1394-1408.

Sumner, J.S., 1976. Principles of induced polarization for geophysical exploration. Developments in Economic Geology, vol. 5.

Telford, W.M., Geldart, L.P., ve Sheriff, R.E. 1990. Applied Geophysics, 2nd ed. Xx+770 pp. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney: Cambridge University Press.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A. 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press.

Tezel, O., 2017. Zaman Ortamı IP Yöntemiyle Jeotermal Arama, Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2, 118-125.

URL-1. RES2DINV ver. 3.59. 02.05.2019 user manual, www.geoelectrical.com

Vacquier, V., Holmes, C. R., Kintzinger, P. R. and Lavergne, M., 1957. Prospecting for Graund Water By Induced Electrical Polarization, Geophysics, 22, 523-713.

Vergili, Ö., vd., 2010., MTA, Kahramanmaraş-Osmaniye Polimetal Maden Aramaları Projesi Raporu(yazım aşamasında).

Vergili, Ö., 2012. Kahramanmaraş-Afşin-Kötüre AR: 200905925 Numaralı Ruhsat Sahasına Ait Terk Raporu, 2012.

Vergili, Ö., Taptık, M. A., Çakır C. ve Öcal H., 2013. Ülkemizde bir ilk; Okyanusal yayda keşfedilen Hüyüklü porfiri Cu-Mo yatağı, Afşin, Kahramanmaraş, Türkiye, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı 16, 97-108.

6. EKLER

EK-1: MTA İzin Belgesi

T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Etüt Ve Arama Dairesi Başkanlığı

Sayı : 42205291-199[199]-E.27240 10.04.2019
Konu : Tez Çalışma Talebi

Sayın Ercan DURMAZ
Yeni Mahallesi Fatih Caddesi Cemre Apt. No:13
Karakoçan/ELAZIĞ

İlgi : 21.03.2019 tarihli dilekçeniz.

Daire Başkanlığımız koordinatörlüğünde yürütülen ve Genel Müdürlüğümüz adına kayıtlı Afşin-Elbistan Ördekköy ruhsat sahasından elde edilen jeoloji ve jeofizik verilerinin, KTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde yapmış olduğunuz yüksek lisans tezinde kullanımına ilişkin ilgide kayıtlı talebiniz Kurumumuzca uygun bulunmuştur.

Bilgilerinize rica ederiz.

e-imzalıdır
Mustafa KIRIKOĞLU
Koordinatör

e-imzalıdır
Cahit DÖNMEZ
Daire Başkanı

Not: 5070 sayılı elektronik imza kanunu gereği bu belge elektronik imza ile imzalanmıştır.
Evrak Doğrulama Kodu : QRRMXBARJZUSNTTDTUNY Evrak Takip Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/enerji-ebys
Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No:139 06800 Çankaya/ANKARA
(0312) 201 10 00
Bilgi için:Meliha GÜNAY CETİN
Mühendis

ÖZGEÇMİŞ

1 Ağustos 1988 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Bahçelievler Yayla İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini ise Balıkesir Sındırgı Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi'nde Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama bölümüne başladı ve 2 yıl eğitim süresi sonunda 2010 yılında mezun oldu. Mezun olduğu yıl üniversite sınavına girdi. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümüne başladı ve Şubat 2015'te mezun oldu. Mezun olduğu dönemden çok kısa bir süre sonra 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Yüksek Lisans bölümüne başladı. Ağustos 2016'da Dokuz Eylül Üniversitesi'nin Koca Piri Reis gemisinde yürüttüğü Gaz Hidrat Arama projesinde Jeofizik Mühendisi, Temmuz 2017'de Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) Jeofizik IP ekibinde Jeofizik Mühendisi olarak çalıştı. Bir çok mesleki programlara hakim ve iyi derecede bilgisayar bilgisine sahiptir.