



Inverse modeling of resistivity and induced polarization data for Copper mineralization exploration in Chahshen area, east of Miami, Semnan

Hossein Riahipour ¹ , Alireza Arab-Amiri ^{2*} , Fereydoun Sharifi ³

¹ M.Sc. Student, Department of Exploration, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Associate Professor, Department of Exploration, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Ph.D., Department of Exploration, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 15 April 2023
 Revised: 17 July 2023
 Accepted: 18 July 2023

Keywords

Resistivity
 Induced Polarization
 Inverse Modeling
 Copper
 Miami

*Corresponding author

Alireza Arab Amiri
 ✉ alirezaarabamiri@shahroodut.ac.ir

ABSTRACT

In recent decades, various methods have been developed for mineral exploration. Geophysical methods are one example, which have seen significant development in recent years and have become a common approach in the field of mining exploration, particularly in Iran. The objective of this study is to investigate the exploration area of Chahshen in terms of the potential for copper mineralization using geophysical methods and to identify promising areas for drilling. During field visits, it was observed that the main mineralization on the surface is of the oxide type, specifically malachite and azurite. Therefore, to explore the potential expansion of sulphide mineralization at greater depths, induced polarization and resistivity methods were employed. For this purpose, a rectangular array with a data collection distance of 20 meters and a line distance of 40 meters was used to determine the general trends in the region. Subsequently, six profiles were designed and measured using dipole-dipole and pole-dipole arrangements at 20-meter intervals. Through modeling of the studied sections, two-dimensional models depicting chargeability and resistivity were generated. The two-dimensional models indicated that the eastern regions exhibited more anomalies. However, due to the relatively weak nature of these anomalies, the possibility of developing a sulphide zone at shallow depths was detected. To validate the obtained results, drilling points were proposed. Profile 1 suggested a drilling point at station -10 with a depth of 45 meters, while profile 2 proposed a drilling point at station -10 with the same depth.

How to cite this article

Riahipour, H., Arab-Amiri, A. and Sharifi, F., 2023. Inverse modeling of resistivity and induced polarization data for Copper mineralization exploration in Chahshen area, east of Miami, Semnan. *Journal of Economic Geology*, 15(3): 103–123. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.81784.1073>



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Iran possesses significant mineralization potential, although only a limited number of cases have been discovered and exploited thus far. Given the rising demand and the scarcity of exploratory information available, it becomes imperative to expand and enhance exploratory studies. This article focuses on a specific area located in the eastern part of Semnan province, covering approximately 30 square kilometers, known as Chahshen. The objective of this research is to assess the potential for copper mineralization in the region through the application of geophysical methods.

Methodology and Approaches

To conduct exploratory studies in the Chahshen area, geophysical methods, specifically Induced Polarization and Resistivity methods, were employed. The equipment utilized included a TX III transmitter model manufactured by GDD company, a GRx8-32 receiver model, a processing device, and a 5000-watt power generator provided by Honda company.

Initially, a rectangular array was utilized to gain a general overview of the area. The data collection points were spaced at 20-meter intervals, while the lines for data collection were set at 40-meter distances. The electric current line covered a distance of 600 meters. In the first stage of data collection, a total of 350 data points were gathered. These data points were then interpolated and mapped using Surfer software.

Following the determination of rock chargeability and resistivity variations in the region, as well as field observations, four profiles were designed. These profiles extended north-south and were 500 meters in length. The pole-dipole array was employed to collect data points along the profiles, with a data collection interval of 20 meters. In the second stage of data collection, an additional 150 data points were gathered. These data were used in Res2DINV software to model chargeability and resistivity sections in a reverse manner.

Based on the obtained results from profiles 1, 5, and 2, along with the presence of mineral outcrops, two control profiles measuring 440 and 500 meters in length were designed. Data collection using a dipole-dipole array was conducted along these control

profiles, and chargeability and resistivity sections were generated using the same approach.

Finally, for a comprehensive comparison of the obtained sections, all the gathered information was visualized in a 3D block using Voxler software.

Results

Through interpolation of the data obtained from the rectangular array, it was observed that the eastern part of the study area exhibited the highest recorded chargeability, reaching approximately 18 mV/V. In terms of resistivity, the maximum value measured within the rectangular arrangement was approximately 180 Ohm meters.

Moreover, upon processing the data collected from the profiles, it was determined that profile 1 displayed the highest chargeability, reaching around 23 mV/V, while profile 2 exhibited the lowest chargeability, measuring approximately 4 mV/V. As for resistivity, profiles 1, 6, 5, 3, 2, and 4 recorded the highest values in consecutive order.

Discussion

In disseminated-type mineralization, regions and zones with high chargeability and high resistivity can indicate mineralization in those areas. In the study area, these mentioned zones have also been examined in the studied sections. Considering the conditions of the region, if mineralization exists, it is likely to be of the disseminated type. Therefore, geophysical methods were employed to identify the resistant and chargeable zones in the study area. The analysis of induced polarization and resistivity measurements in a rectangular arrangement revealed that the eastern part of the region has a higher potential for mineralization compared to other studied areas. Additionally, the results obtained from inverse modeling of the acquired profiles confirmed the higher potential in the eastern part, as the eastern profiles recorded higher chargeability and resistivity values. Although the measured resistivity values in this area have been very low, significant variations are observed in these zones. Considering the variations in resistivity zones, it appears that the fault zones predominantly exhibit a northeast-southwest trend, while the amphibolite zones show an east-west trend. Additionally, it seems that the sections with higher resistivity also have higher chargeability values. Based on geological investigations, it has been determined that there is a volcanic unit

(andesite) in the mentioned area. Considering the low chargeability values, it should be considered that mineralization may exist within the body of the andesite rock, resulting in weak chargeability readings. However, on the other hand, the anomalies recorded in the chargeability sections, based on the range of variations in chargeability presented by

[Telford et al. \(1990\)](#) for copper deposits, are weak. Therefore, the likelihood of the development of a sulfide zone at depth is low or weak if it exists. So, two drilling points were suggested for the validation of the results obtained from the geophysical operations.



مدل سازی وارون داده‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه برای اکتشاف کانی سازی مس در محدوده اکتشافی چاه‌شن، شرق میامی، سمنان

حسین ریاحی پور^۱، علیرضا عرب‌امیری^{۲*}، فریدون شریفی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲ دانشیار، گروه اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۳ دکتری، گروه اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

در دهه‌های گذشته برای اکتشاف معادن روش‌های متعددی توسعه یافته است. روش‌های ژئوفیزیکی نمونه‌ای از آن‌ها است که در سال‌های اخیر توسعه زیادی پیدا کرده و به یکی از روش‌های متداول در زمینه اکتشاف معدن، به خصوص در ایران، تبدیل شده است. هدف از این مطالعه بررسی محدوده اکتشافی چاه‌شن بلحاظ احتمال کانی‌سازی مس با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و معرفی مناطق امیدبخش جهت حفاری‌های اکتشافی است. با توجه به بازدهی‌های صحرایی صورت گرفته عمده کانی‌سازی در سطح از نوع اکسیدی (مالاکیت و آزوریت) می‌باشد. لذا برای بررسی گسترش احتمالی کانی‌سازی سولفیدی در عمق، از روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه استفاده شده است. برای این منظور، ابتدا برای مشخص شدن روندهای کلی در منطقه از آرایه مستطیلی با فاصله داده‌برداری ۲۰ متر و فاصله خطوط ۴۰ متر استفاده شد. سپس با توجه به نتایج بدست آمده، تعداد ۶ پروفیل طراحی و با استفاده از آرایش دایپل-دایپل و پل-دایپل در فواصل ۲۰ متری برداشت شد. در نهایت با مدل‌سازی مقاطع برداشت شده، مدل‌های دوبعدی بارپذیری و مقاومت ویژه بدست آمد. با توجه به مدل‌های دوبعدی ساخته شده، مناطق شرقی آنومالی‌های بیشتری را نشان دادند. اما با توجه به ضعیف بودن آنومالی‌ها، احتمال توسعه سولفید مس در عمق، کم تشخیص داده شد. بمنظور صحت‌سنجی نتایج بدست آمده، دو نقطه حفاری بر روی پروفیل ۱ در ایستگاه ۱۰- با عمق ۴۵ متر و پروفیل ۲ در ایستگاه ۱۰- با عمق ۴۵ متر، پیشنهاد شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷

واژه‌های کلیدی

مقاومت ویژه

قطبش القایی

مدلسازی وارون

اکتشاف مس

میامی

نویسنده مسئول

علیرضا عرب‌امیری



alirezaarabamiri@shahroodut.ac.ir

استناد به این مقاله

ریاحی پور، حسین؛ عرب‌امیری، علیرضا و شریفی، فریدون. ۱۴۰۲. مدل‌سازی وارون داده‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه برای اکتشاف کانی‌سازی مس در محدوده

اکتشافی چاه‌شن، شرق میامی، سمنان. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۵(۳): ۱۰۳-۱۲۳. <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.81784.1073>

مقدمه

کانی سازی مس سهم عمده ای از معادن ایران را دربر می گیرد. در این میان، سهم کانسارهای پورفیری از کانی سازی مس در ایران و جهان قابل توجه است. فلز مس بعلت کاربرد فراوان در صنایع مختلف از جمله الکتریکی، ساختمانی، دریایی و نظامی، یکی از ده فلز استراتژیک محسوب می شود (Ghorbani, 2008). در اکتشاف سولفیدهای مس، بکارگیری روش های ژئوفیزیکی به عنوان بخشی از پروسه اکتشاف، مرسوم است. روش های ژئوفیزیکی بعنوان یکی از روش های اکتشافی زیرسطحی شناخته می شود که در دهه های گذشته توسعه یافته است (Keary et al., 2002). از مهم ترین علل اهمیت این روش می توان به شناسایی منابع معدنی و ساختارهای زیرسطحی اشاره نمود.

در سال های اخیر، در زمینه اکتشاف مس و استفاده از روش های مقاومت ویژه و قطبش القایی مطالعات فراوانی انجام شده است. در ایران، در مطالعه ای که توسط مشتاقیان و همکاران (Moshtaghiyan et al., 2022) در منطقه دالی انجام شد، روش های قطبش القایی، مقاومت ویژه و مغناطیس سنجی به منظور بررسی ارتباط میان نواحی سولفیدی مرتبط با کانی سازی مس و تغییرات خودپذیری مغناطیسی موجود در منطقه استفاده شد. نتایج این پژوهش برای محدوده شمالی دالی پتانسیل بالای کانی سازی مس و طلا را نشان داد. جانقریان و همکاران (Janghorban et al., 2022) در محدوده کوه لخت استان اصفهان به بررسی ارتباط میان خودپذیری مغناطیسی، بارپذیری و مقاومت ویژه در منطقه پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داد همبستگی بالایی بین تغییرات خودپذیری مغناطیسی در منطقه با افزایش بارپذیری و کاهش مقاومت ویژه وجود دارد. علایی و همکاران (Alaei et al., 2022) به شناسایی کانسار پلی متال واقع در منطقه عشوند پرداختند. در این بررسی داده های ژئوالکتریکی به وسیله روش معکوس سازی لی - الدنبرگ پردازش شدند و در پایان نقاطی جهت حفاری معرفی گردیدند.

نظری و همکاران (Nazari et al., 2021) با بکارگیری روش های ژئوالکتریک در منطقه چهارگنبد کرمان به بررسی احتمال کانی سازی مس در عمق پرداختند. نتایج حاصل از مدل سازی های معکوس انجام شده، کانی سازی احتمالی مس در عمق را نشان داد. ولی و همکاران (Wali et al., 2021) با بکارگیری روش های ژئوالکتریک و مغناطیس سنجی در منطقه پیرمردان طرود پنج نقطه را جهت حفاری برای بررسی کانی سازی پنهان مس پیشنهاد کردند. در پژوهشی از احمدی و لشکری (Ahmadi and Lashgari, 2021) که در معدن مس علی آباد انجام شد، با استفاده از داده ها و نتایج بدست آمده از روش های قطبش القایی و مقاومت ویژه در منطقه، به طبقه بندی عیار کانسار پرداختند. در این طبقه بندی از یک شبکه عصبی احتمالاتی استفاده شد. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2020) منطقه شریف آباد را بلحاظ کانی سازی مس مورد بررسی قرار دادند. آنان در این مطالعه از روش های مقاومت ویژه و قطبش القایی استفاده کردند. در پایان نامه صابری و همکاران (Saberi, 2020) به بررسی و مدل سازی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه در محدوده معدن مس آسمانو پرداخته شد. آنان در این مطالعه با بررسی مقاطع دوبعدی و اطلاعات زمین شناسی نقاطی را جهت حفاری پیشنهاد کردند. در منطقه زرشوران پژوهشی توسط فتحی و همکاران (Fathi et al., 2019) بمنظور شناسایی محدوده های کانی سازی طلا انجام شد. آنان با تفسیر نتایج حاصل از روش های مقاومت ویژه و قطبش القایی محدوده هایی با بارپذیری بالا را تفکیک کردند و در نهایت نقاطی جهت حفاری معرفی کردند. در مطالعه ای از مطاعی و همکاران (Motaee, 2015) روش های قطبش القایی و مقاومت ویژه را بمنظور بررسی کانی سازی مس در منطقه شمال شرق خرائق به کار بردند. نتایج مطالعات آنان زون هایی با بارپذیری بالا را در منطقه نشان داد. در نهایت چهار نقطه جهت حفاری با عمق های ۲۰، ۳۰، ۳۰ و ۴۰ متری ارائه کردند. در جهان نیز مطالعات فراوانی انجام شده است، از جمله مقاله ای از

افیولیت فرومد - سبزوار می باشد که در محدوده رخنمون یافته است. مرز این واحد با واحدهای جوان تر خود یک گسل و راندگی می باشد که باعث شده این واحدهای قدیمی تر بر روی واحدهای جوان تر تراست شدگی نشان دهند. سن این واحد سنگی پالئوسن - کرتاسه پایانی می باشد و قدیمی ترین واحد سنگی موجود در محدوده می باشد، ۲- تناوب گدازه های الیوین بازالتی، تراکی بازالتی، تراکی آندزیتی و بازالتی: این واحد سنگی با ترکیب بازالتی و سن زیرین ترین بخش ائوسن زیرین متشکل از الیوین بازالت، تراکی بازالت و تراکی آندزیتی می باشد. مرز این واحد با واحد جوان تر خود از نوع تراست شدگی می باشد. این واحد نیز در مرکز محدوده رخنمون یافته است. ظاهراً خصلت ترکیبی این واحد از نوع بازالت های تولیتی و فوران زیر دریایی باشد، ۳- سنگ آهک ماسه ای میکرایتی به همراه آهک ماری: این واحد بصورت میان لایه های قابل تفکیک در واحد F^2 می باشد که سن ائوسن زیرین را نشان می دهد. مرز این واحد با واحد جوان تر از خود، از نوع تراست شدگی و با واحدهای قدیمی تر از خود بصورت مرز شارپ و بدون گسل می باشد، ۴- تناوب توف داسیتی سبزرنگ، شیل، سیلیستون، ماسه سنگ و سنگ آهک توفی: این واحد متشکل از توف داسیتی سبزرنگ، شیل، سیلت استون، ماسه سنگ و آهک توفی می باشد که خصلت فوران زیر دریایی را نشان می دهد. این واحد سن ائوسن زیرین داشته و در مرکز محدوده رخنمون یافته است و با توجه به آلتراسیون شدید آن، فرسایش زیادی نشان داده و در برخی مناطق برونزدهای آن توسط رسوبات جوان و مخروط افکنه ها پوشیده شده است، ۵- گدازه های تراکی بازالتی - تراکی آندزیتی: این واحد سنگی دومین حجم بزرگ سنگی در محدوده را تشکیل داده که در جنوب - جنوب شرق محدوده با امتداد شرقی - غربی رخنمون یافته است. سن این واحد سنگی ائوسن میانی می باشد و شامل تراکی بازالت و تراکی آندزیت می باشد. مرزهای این واحد سنگی تراست شدگی را نشان می دهد، ۶- ماسه سنگ

گورین و همکاران که در سال ۲۰۱۵ (Gurin et al., 2015) در روسیه روش قطبش القایی را برای اکتشاف طلا و نقره به کار گرفتند، همچنین مطالعات ژئوفیزیکی ژو و همکاران در سال ۲۰۰۰ (Guo et al., 2000) بمنظور کشف طلا در ایالت گانزو^۱ چین و پژوهش های انجام شده در نورژ که در سال ۲۰۰۷ توسط سلمیرینه و تورونن (Salmirinne and Turunen, 2007) برای اکتشاف طلا در منطقه ای به نام ایزو کوتکو^۲ با استفاده از روش های HLEM، VLF و IP انجام شده است.

استان سمنان یکی از استان های معدنی کشور به شمار می آید که پتانسیل های زیادی را در بخش معدن و بخصوص معادن مس دارا است. منطقه اکتشافی چاه شن در شرق شهرستان میامی در استان سمنان واقع شده است. طی بازدیدهای صحرایی در این منطقه رخنمون هایی از ماده معدنی مشاهده شده است. بنابراین در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از روش های ژئوفیزیکی از قبیل روش های قطبش القایی و مقاومت ویژه احتمال وجود بی هنجاری های بارپذیر بررسی شود و سپس به کمک مدل سازی بی هنجاری های ثبت شده در منطقه، مناطق امیدبخش بمنظور حفر گمانه های اکتشافی معرفی گردد.

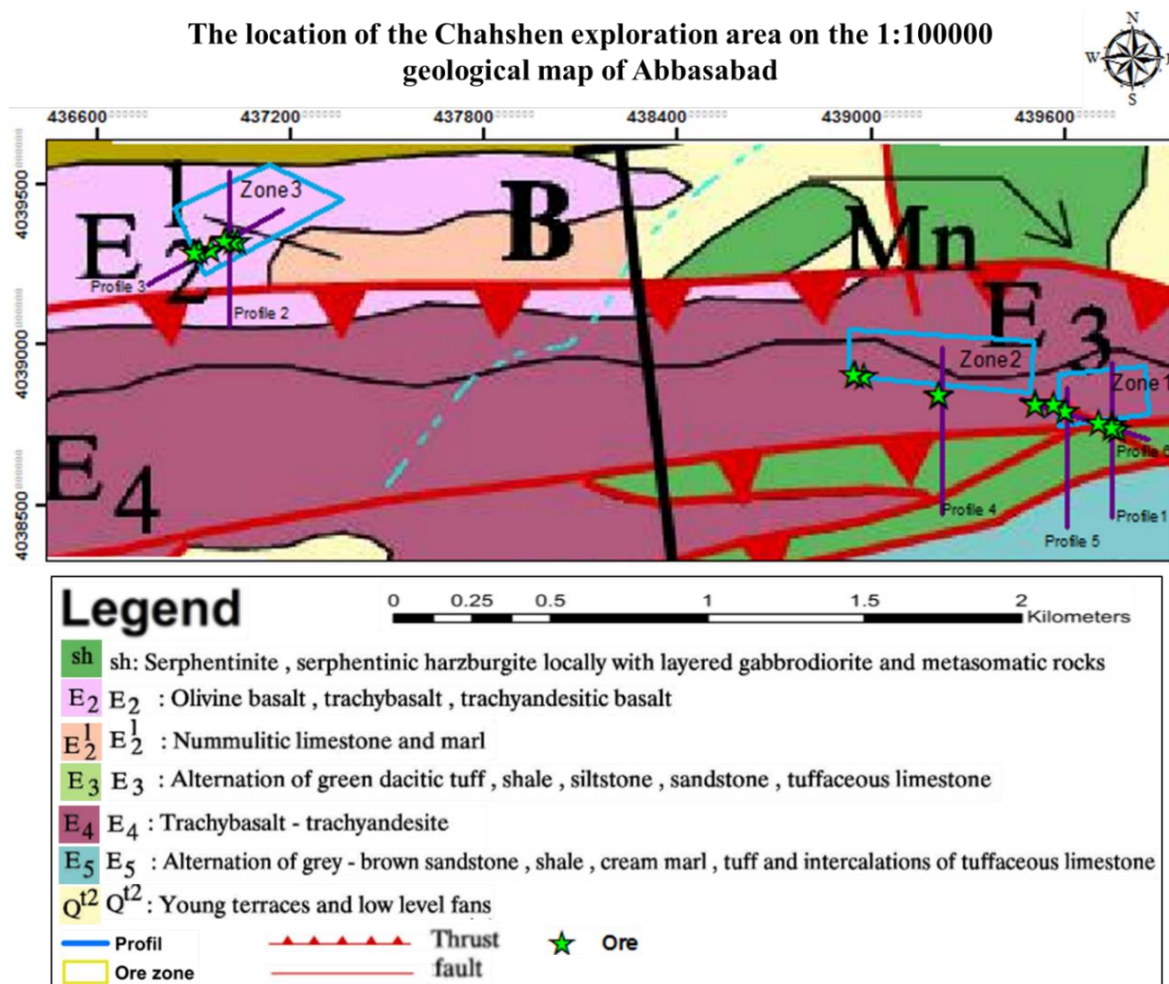
مواد و روش

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده اکتشافی چاه شن به مساحت ۲۸ کیلومتر مربع، در شرق استان سمنان و در شمال ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس آباد قرار دارد. به طور کلی زمین شناسی عباس آباد، دربرگیرنده واحدهای سنگی دوران ژوراسیک تا سنوزوئیک است که عمده ای آنان را نهشته های رسوبی و آتش فشانی ائوسن تشکیل داده است. این واحدها در منطقه بترتیب عبارت اند از: ۱- سرپانتینیت، هارزبورژیت های سرپانتینیتی شده همراه با گابرو - دیوریت لایه ای و متاسوماتیت ها: این واحد شامل سرپانتینیت، هارزبورژیت سرپانتینیتی شده همراه با گابرو دیوریت های لایه ای و سنگ های متاسوماتیسم شده می باشد. این مجموعه سنگی ادامه

غرب محدوده با واحد Sh مرز تراست شده نشان می دهد، ۷- پادگانه های آبرفتی کم ارتفاع: این واحدهای رسوبی مشتمل بر پادگانه های آبرفتی عهد حاضر، رسوبات مخروط افکنه ای و کانال رودخانه ای قدیمی تر و رسوبات مخروط افکنه ای مخروط های جدید می باشد. این رسوبات در انواع قدیمی تر به صورت سخت شده می باشند و سن پلئوستوسن تا کواترنری و جوان تر را نشان می دهند. این واحد سنگی از نظر امکان وجود آب های زیر زمینی و رسوبات پلاستی و کانه های فلزی موجود در پلاسترها حائز اهمیت و توجه می باشند (شکل ۱)

خاکستری- قهوه ای، شیل، مارن کرم رنگ، توف سبزرنگ همراه با میان لایه ها و عدسی های سنگ آهک نومولیت دار و سیلیستون: این واحد سنگی دارای یک رخنمون کوچک در جنوب محدوده و رخنمون بزرگ در غرب محدوده می باشد. در واقع بخش غربی محدوده کلا از این واحد سنگی تشکیل شده است و حالت تپه ماهوری نشان می دهد. سن این واحد سنگی بخش فوقانی ائوسن میانی می باشد. سنگ شناسی این واحد شامل تناوبی از ماسه سنگ قهوه ای- خاکستری، شیل، مارن کرم رنگ، توف و میان لایه های آهک توفی می باشد. این واحد سنگی در



شکل ۱. نقشه زمین شناسی محدوده چاهشن (Khalatbari et al., 2000)

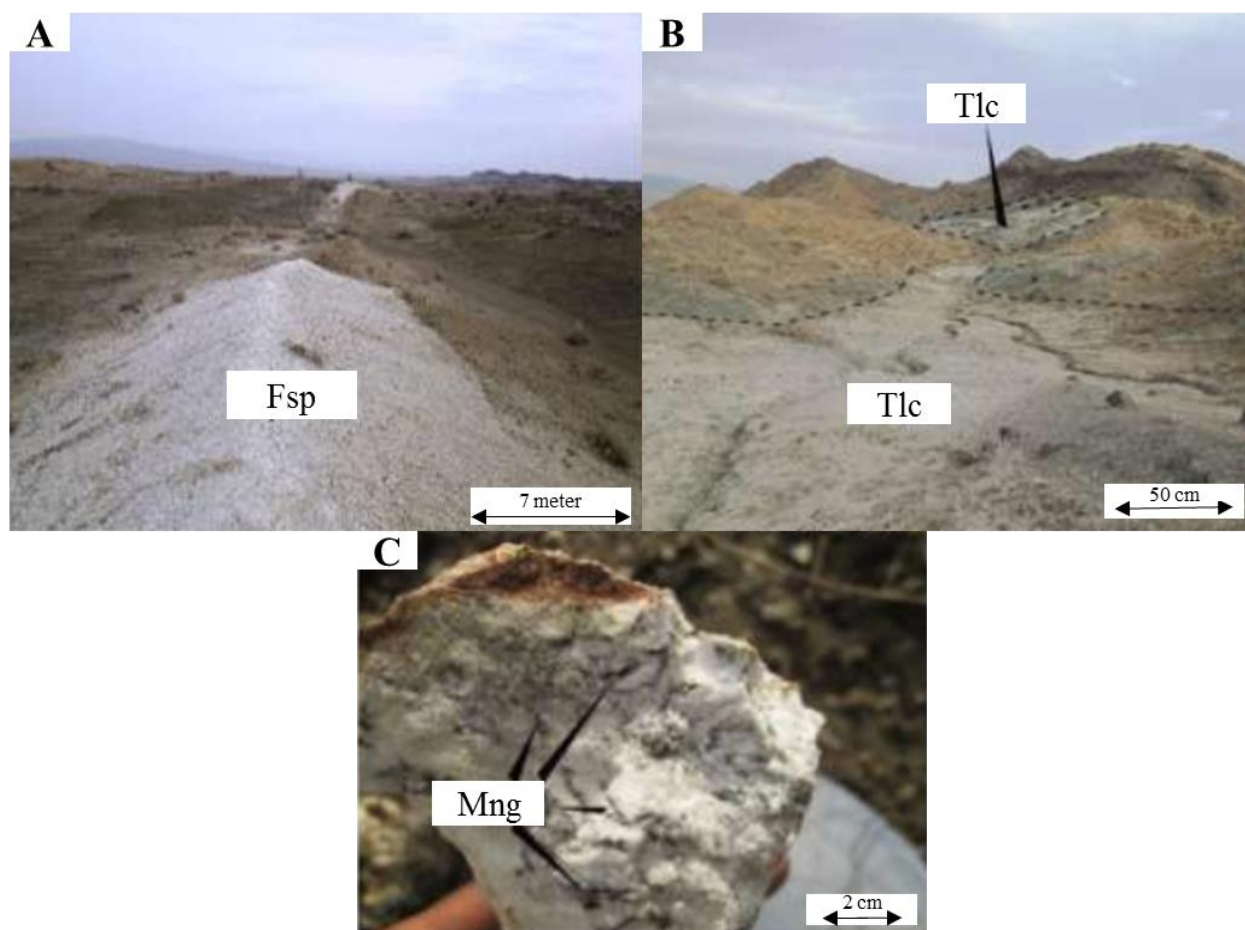
Fig. 1. Geological map of Chahshen area (Khalatbari et al., 2000)

از نظر تکنیکی محدوده اکتشافی چاه‌شن از دو گسل اصلی میامی و گسل اصلی افیولیت سبزوار متأثر شده است. گسل میامی و دنباله‌ی آن که گسل محمدآباد نامیده شده با راستای شمال شرق - جنوب غرب در قسمت شمالی خارج از محدوده دیده می‌شود که مرز دشت با سنگ‌های افیولیتی سبزوار را از هم جدا می‌کند. این گسل به سمت شرق تا شمال سبزوار و پس از آن تا شمال نیشابور ادامه دارد. در واقع این گسل قدیمی ترین گسل موجود در نزدیکی محدوده می‌باشد. ظاهراً جایگیری افیولیت سبزوار باعث تأثیر بر گسل میامی شده است. همچنین در اطراف محدوده اکتشافی چاه‌شن دو گسل بزرگ مقیاس دیده می‌شود که حرکات این گسل‌ها تأثیر مهمی بر روی ساختارهای موجود در محدوده چاه‌شن داشته است. اولین آن، گسل کال چاه‌شن می‌باشد که در محدوده چاه‌شن و نزدیکی آن قرار دارد و ظاهراً قبل از تراست شدگی و فرارانش افیولیت وجود داشته است. این گسل توسط تراست شدگی و راندگی‌های افیولیتی جایجایی نشان می‌دهد. دومین آن، گسل چاه‌شور می‌باشد که در اثر فرارانش افیولیت فعال شده است و در نزدیکی آن جداکننده واحدهای ولکانیکی و ولکانی کلاستیک‌های سکانس خروجی افیولیت سبزوار - فرومد از سنگ‌های الترامافیکی وجود دارند. تکنیک منطقه چاه‌شن شامل شکستگی‌های غربی - شرقی هستند که عمدتاً بصورت تراست و نرمال عمل کرده‌اند و حاصل از عملکرد دو گسل یادشده می‌باشند (Khalatbari et al., 2000). پس از پی‌جویی‌های صحرایی انجام‌شده در منطقه چاه‌شن، محدوده‌ای به مساحت حدود چهار کیلومتر مربع جهت انجام مطالعات اکتشافی تفصیلی تعیین شد. کانی‌سازی در این محدوده بصورت فلزی و غیرفلزی اتفاق افتاده است: ۱- کانی‌سازی خاک‌های صنعتی فلدسپات؛ این کانی‌سازی بصورت یک لایه از جنس سنگ گدازه‌ای یا توف با طول حداقل ۴۰۰ متر با عرض بین ۴ تا ۲۷ متر بصورت میان‌لایه در محدوده دیده می‌شود (شکل ۲-۱A). در نمونه صحرایی این کانی‌سازی با رنگ سفید شاخص خود قابل

تشخیص می‌باشد. این نمونه خاک صنعتی در مقیاس رخنمونی مقاومت مکانیکی کمی داشته و براحتی قابل استخراج می‌باشد. با توجه به بررسی صورت گرفته رخنمون‌های خاک نسبت به افزایش عمق ضخامت بیشتری نشان می‌دهند. در این رخنمون‌ها که امتداد شرقی غربی نشان می‌دهند در یک نقطه رخنمون بزرگی دیده می‌شود. این رخنمون‌ها در مکان‌هایی که توسط آبراهه‌ها قطع شده‌اند، بوسیله‌ی رسوبات رودخانه فصلی پوشیده شده‌اند. ۲- کانی‌سازی خاک‌های صنعتی تالک: با توجه به وجود سنگ‌های الترامافیکی در محدوده، امکان وجود تالک نیز در نتیجه آلتراسیون الترامافیک‌ها وجود دارد لذا محدوده جهت امکان وجود این نمونه خاک صنعتی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲-۱B). تالک ناشی از دگرسانی الترامافیک‌ها می‌باشد که در محدوده در مجاورت این واحد سنگی به چشم می‌خورد. در محدوده دو نمونه تالک دیده می‌شود که یک نمونه از نوع تالک نابالغ می‌باشد درحالی‌که در چند نقطه از محدوده رخنمون‌های کامل تالک دیده می‌شود. این رخنمون‌های بصورت عدسی شکل با کشیدگی شرقی - غربی دیده می‌شوند که گاه درون آن‌ها بقایای سنگ منشأ اولیه نیز مشاهده می‌گردد. این نمونه کانی‌سازی با رنگ روشن تا طوسی، توپوگرافی پست، هوازدگی شدید و خصلت چرب اینگونه خاک‌ها قابل شناسایی می‌باشد. ۳- کانی‌سازی منگنز: در محدوده در چندین نقطه شواهدی از وجود منگنز درون سنگ‌های کربناته دیده می‌شود. این منگنزها در مرکز برخی پیلولاواها که شدیداً آلتزه شده‌اند دیده می‌شود (شکل ۲-۱C). همچنین این کانی‌سازی درون رگچه‌های کربناته ناشی از آلتراسیون الترامافیک‌ها نیز بصورت پراکنده دیده می‌شود. در واقع در محدوده سنگ میزبان کانه‌های منگنزدار کربنات‌های کلسیم سفیدرنگ ثانویه ناشی از آلتراسیون پیلولاواها می‌باشد. از طرفی با توجه به تشکیل تالک در شرایط با کمبود مقادیر آب کافی و دی‌اکسید کربن بالا (به دلیل نبود مقادیر آب کافی در سیالات آلتزه‌کننده) امکان شست‌وشو و ته‌نشست مجدد منگنز فراهم نبوده است لذا مقادیر

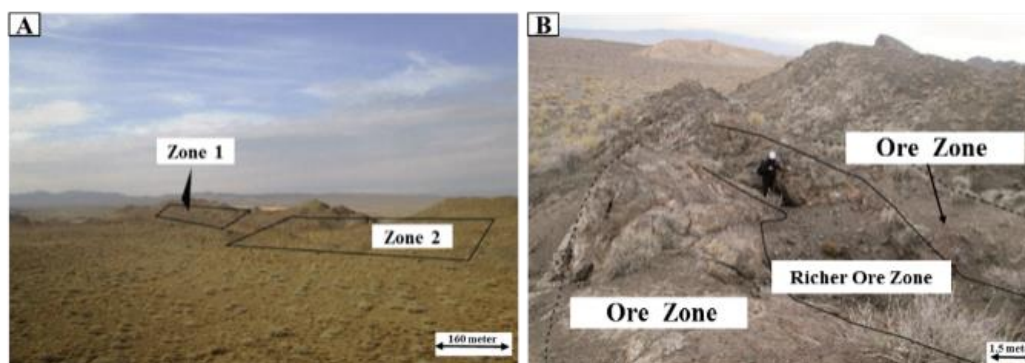
همین طور موقعیت این زون ها در منطقه، در شکل ۳ ارائه شده است. لازم بذکر است که مساحت زون ۱ در شکل A-۳ برابر با ۴۲۴۵۰، زون ۲ در شکل A-۳ برابر با ۸۷۹۰۰ و زون ۳ در شکل B-۳ برابر با ۸۵۹۷۰ مترمربع است. همچنین کانی سازی مذکور بصورت مس اکسیدی و مس سولفیدی در زون ۱ شکل D-۴، زون ۲ در شکل C-۴ و زون ۳ در شکل A-۴ و B-۴ اتفاق افتاده است.

قابل توجه منگنز در محدوده در مقیاس رخنمونی مشاهده نگردید. در محدوده همراه با واحد آهکی در هیچ نقطه ای کانی سازی منگنز دیده نشد. همچنین در سکانس ولکانیکی و ولکانو- رسوبی موجود در محدوده نیز کانی سازی منگنز دیده نمی شود. ۴- کانی سازی مس: این نوع کانی سازی در ۳ زون بر روی واحدهای گدازه های البوین بازالتی، تراکی بازالتی و تراکی آندزیتی اتفاق افتاده است. موقعیت جغرافیایی این ۳ زون بر روی نقشه زمین شناسی منطقه در شکل ۱ مشخص گردیده است.



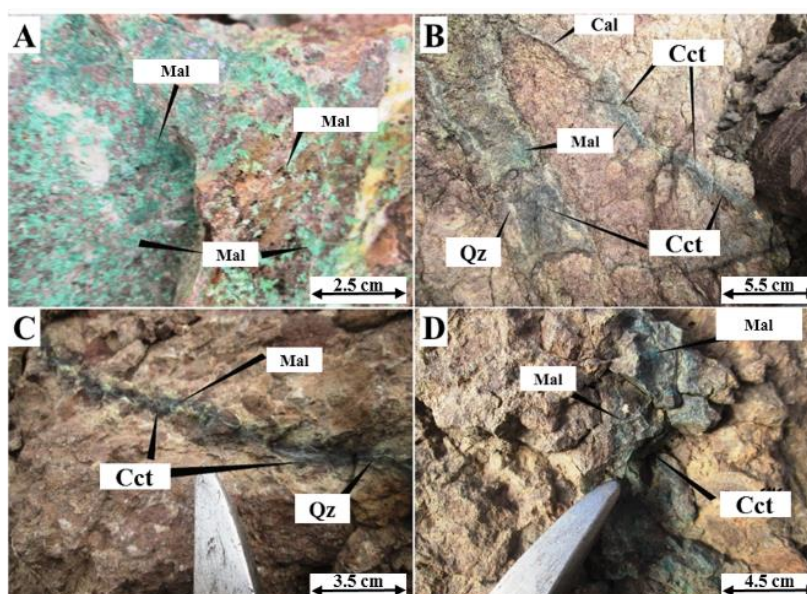
شکل ۲. کانی سازی A: فلدسپات، B: تالک و C: اکسیدمنیزیم موجود در منطقه چاهشن. علائم اختصاری بر اساس ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. (Fsp: فلدسپات، Tlc: تالک و Mng: اکسیدمنیزیم)

Fig. 2. Mineralization A: Feldspar, B: Talc and C: Manganosite in Chahshen area. symbols from Whitney and Evans (2010). (Fsp: Feldspar, Tlc: Talc, Mng: Manganosite)



شکل ۳. زون‌های کانه‌دار A: زون ۱ و زون ۲ در شرق و B: زون ۳ در غرب محدوده مطالعاتی چاه‌شن

Fig. 2. Ore zones A: zone 1 and zone 2 in east, B: zone 3 in west of studied area of Chahshen



شکل ۴. کانی‌سازی در نمونه‌های دستی A (زون ۳): مالاکیت، B (زون ۳): کالکوسیت، مالاکیت، کلسیت و کوارتز. C (زون ۲): کالکوسیت، مالاکیت و کوارتز. D (زون ۱): کالکوسیت و مالاکیت موجود در منطقه چاه‌شن. علائم اختصاری بر اساس ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده‌است (Cal: کلسیت، Qz: کوارتز، Cct: کالکوسیت، Mal: مالاکیت)

Fig. 4. Mineralization in hand samples A(zone 3): Malachite, B(zone 3): Chalcocite, Malachite, Calcite, and Quartz, C(zone 2): Chalcocite, Malachite, and Quartz, D(zone 1): Chalcocite and Malachite in Chahshen area. symbols from Whitney and Evans (2010) (Cal: Calcite, Qz: Quartz, Cct: Chalcocite, Mal: Malachite)

روش قطبش‌القایی^۳ تکنیکی بسیار مناسب در ژئوالکترونیک کاربردی محسوب می‌شود که عمدتاً در اکتشاف فلزات پایه‌سولفیدی کاربرد دارد. این روش همچنین ناهنجاری‌های

مواد و روش انجام کار

برای انجام فعالیت‌های اکتشافی و داده‌برداری در منطقه مورد مطالعه، از دو روش قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه استفاده شد.

برداشت بر روی این خطوط در فاصله ۲۰ متری از یکدیگر قرار گرفته‌اند و فاصله خط جریان ۶۰۰ متر در نظر گرفته شد. سپس داده‌های برداشت‌شده در این مرحله، در محیط نرم‌افزار *surfer* وارد شد و بوسیله درون‌یابی، نقشه تغییرات بارپذیری و مقاومت‌ویژه تهیه شد.

سپس با توجه به روند تغییرات زون‌های بارپذیری و مقاومت‌ویژه بدست آمده، تعداد ۴ پروفیل با روند شمالی-جنوبی عمود بر بیشترین تغییرات، طراحی و با آرایه پل-دایپل برداشت شد (شکل ۶). تعداد دو پروفیل نیز در مستطیل‌های شماره یک و در جهت کنترل نتایج، پروفیل‌های ۱، ۲ و ۵ طراحی و با آرایه دایپل-دایپل برداشت شد (جدول ۱). در این مرحله از برداشت، فاصله نقاط برداشت بر روی پروفیل‌ها ۲۰ متر در نظر گرفته شد. پس از آن، داده‌های برداشت‌شده با استفاده از نرم‌افزار *Res2DINV* در طی ۵ تکرار مدل‌سازی شدند. مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار *Res2DINV* طی یک فرآیند تکراری صورت می‌گیرد بدین صورت که ابتدا نرم‌افزار با توجه به داده‌های برداشت‌شده، یک مدل را برای داده‌ها تخمین می‌زند. منظور از مدل، بیان ریاضی کمیت‌های فیزیکی مقطعی از زمین است که داده‌برداری انجام شده است. سپس در یک مسیر بازگشتی، با استفاده از روابط ریاضی، پاسخی را برای مدل تخمین زده شده محاسبه می‌کند. منظور از پاسخ، داده‌های ساختگی است که می‌تواند در مرحله داده‌برداری برای آن مدل زیرسطحی بدست آید. در این مرحله از فرآیند مدل‌سازی توسط نرم‌افزار، مراحل ذکرشده دوباره تکرار می‌شود. در هر مرحله از تکرار، نرم‌افزار سعی می‌کند مدلی را تخمین بزند که پاسخ آن به داده‌های برداشت‌شده نزدیک باشد. این فرآیند تا رسیدن به خطای مجاز یا تعداد تکرار موردنظر ادامه می‌یابد (Dahlin, 2001; Loke, 1996).

در پایان برای مقایسه بهتر بین مقاطع بدست آمده، مدل‌ها در یک بلوک سه‌بعدی در محیط نرم‌افزار *Voxler* نمایش داده شدند.

کوچک و نسبتاً عمیق، ناهنجاری‌هایی که به وسیله لایه‌های هادی مدفون شده‌اند و ناهنجاری‌های مرکب را بخوبی تشخیص می‌دهد (Telford et al., 1990). روش مقاومت‌ویژه با استفاده از جریان مستقیم یا جریان متناوب با فرکانس بسیار کم، تغییرات مقاومت‌ویژه ظاهری سنگ‌های اعماق زمین را اندازه‌گیری می‌کند. البته مقاومت‌ویژه اندازه‌گیری شده یک عدد مطلق نبوده و نشان‌دهنده مقاومت واقعی لایه‌ها نمی‌باشد. برای تعیین مقاومت‌ویژه واقعی پس از تصحیح فاکتور هندسی، باید داده‌های اندازه‌گیری شده مدل‌سازی شوند. عوامل مختلفی از جمله وجود مواد هادی، درجه تراکم لایه‌ها و جنس لایه بر روی مقدار مقاومت‌ویژه اثرگذار هستند (Kalagari, 1992).

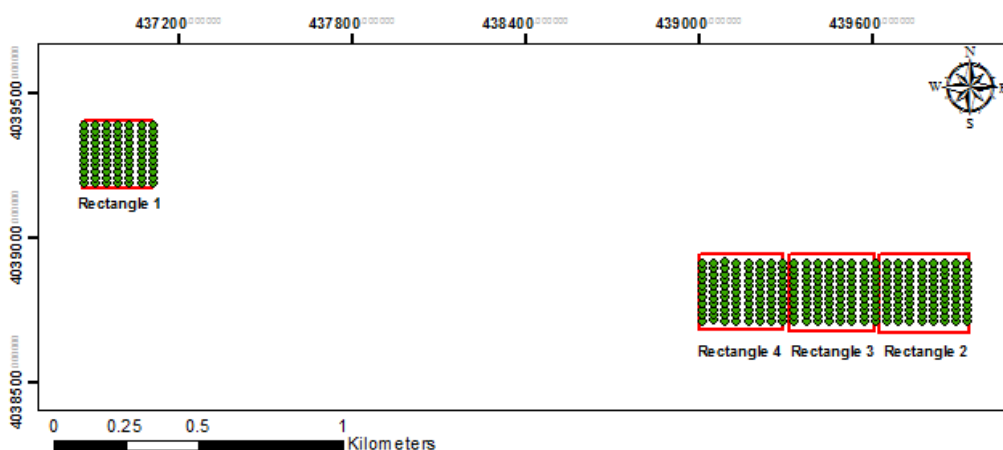
در این مطالعه، دستگاه‌های: ترانس‌میتر مدل TX III ساخت شرکت GDD، گیرنده مدل GRx8-32 و دستگاه پردازش، مولد برق با توان ۵۰۰۰ وات ساخت شرکت هوندا مورد استفاده قرار گرفته است.

آرایه‌های مستطیلی و دوقطبی جهت انجام مطالعات ژئوفیزیکی در منطقه انتخاب شدند. بکارگیری آرایه مستطیلی در مواقعی است که هدف، اکتشاف مقدماتی ژئوفیزیکی بوده و از نظر زمین‌شناسی وجود ناهنجاری و گسترش آن مشخص نبوده و احتمال کانی‌سازی در اعماق مختلف وجود داشته باشد. و یا این که طبقات بوسیله آبرفت پوشیده باشد؛ چون در این صورت، عمق کانی‌سازی زیر آبرفت مشخص می‌شود. ترکیب آرایه‌های مستطیلی و دوقطبی می‌تواند به آشکارسازی حداکثری تغییرات زیرسطحی در منطقه کمک کند. بنابراین در مرحله اول با توجه به پوشیده بودن رخنمون سنگی توسط آبرفت، جهت مشخص شدن روندهای عمومی موجود در منطقه و تغییرات کلی منطقه، چهار مستطیل در بخش‌های شرقی و غربی منطقه طراحی و با استفاده از آرایه مستطیلی برداشت شد. مستطیل‌های شماره ۲، ۳ و ۴ در بخش شرقی و مستطیل شماره ۱ در بخش غربی قرار گرفت (شکل ۵). خطوط برداشت در این مستطیل‌ها با روند شمالی-جنوبی و در فاصله ۴۰ متر از یکدیگر قرار دارند و نقاط

جدول ۱. مشخصات پروفیل‌های IP-Rs در منطقه چاشن

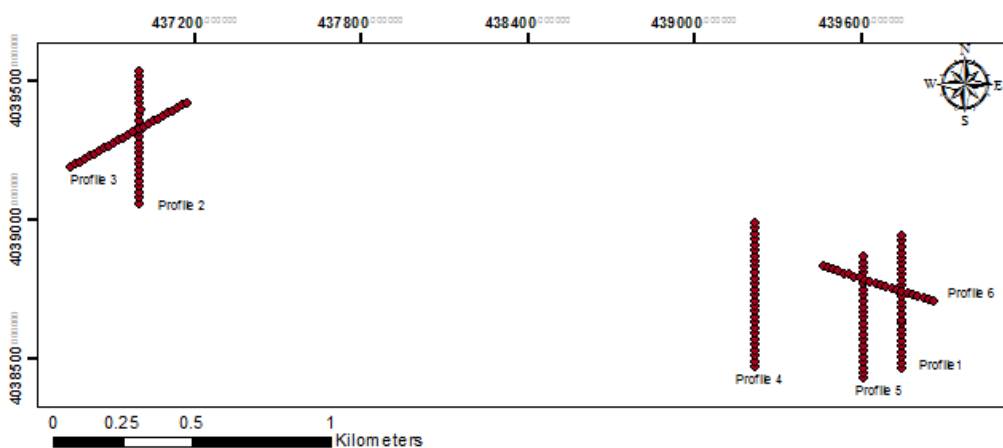
Table 1. The specifications of IP-Rs profiles in the Chashen area

Name	Type of array	Symbol	Location (in which rectangle)
Profile 1	Dipole-Dipole	DD1	Rec. 2
Profile 2	Dipole-Dipole	DD2	Rec. 1
Profile 3	Pole-Dipole	PD3	Rec. 1
Profile 4	Dipole-Dipole	DD4	Rec. 3
Profile 5	Dipole-Dipole	DD5	Rec. 4
Profile 6	Pole-Dipole	PD6	Rec. 2,3



شکل ۵. موقعیت مستطیل‌های طراحی‌شده در منطقه چاشن

Fig. 5. The position of designed rectangles in the Chahshen area



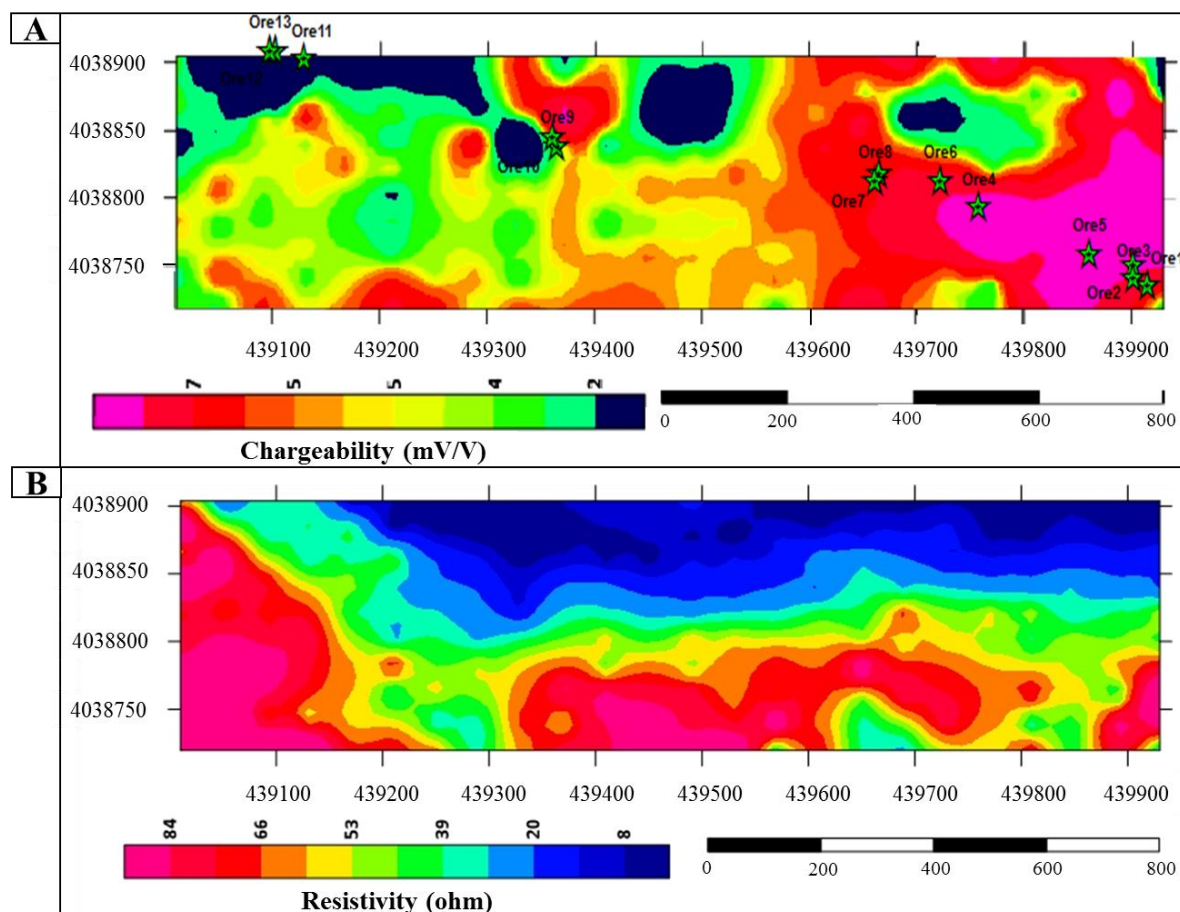
شکل ۶. موقعیت پروفیل‌های IP-Rs در منطقه چاشن

Fig. 6. The position of IP-Rs profiles in the Chahshen area

نتایج

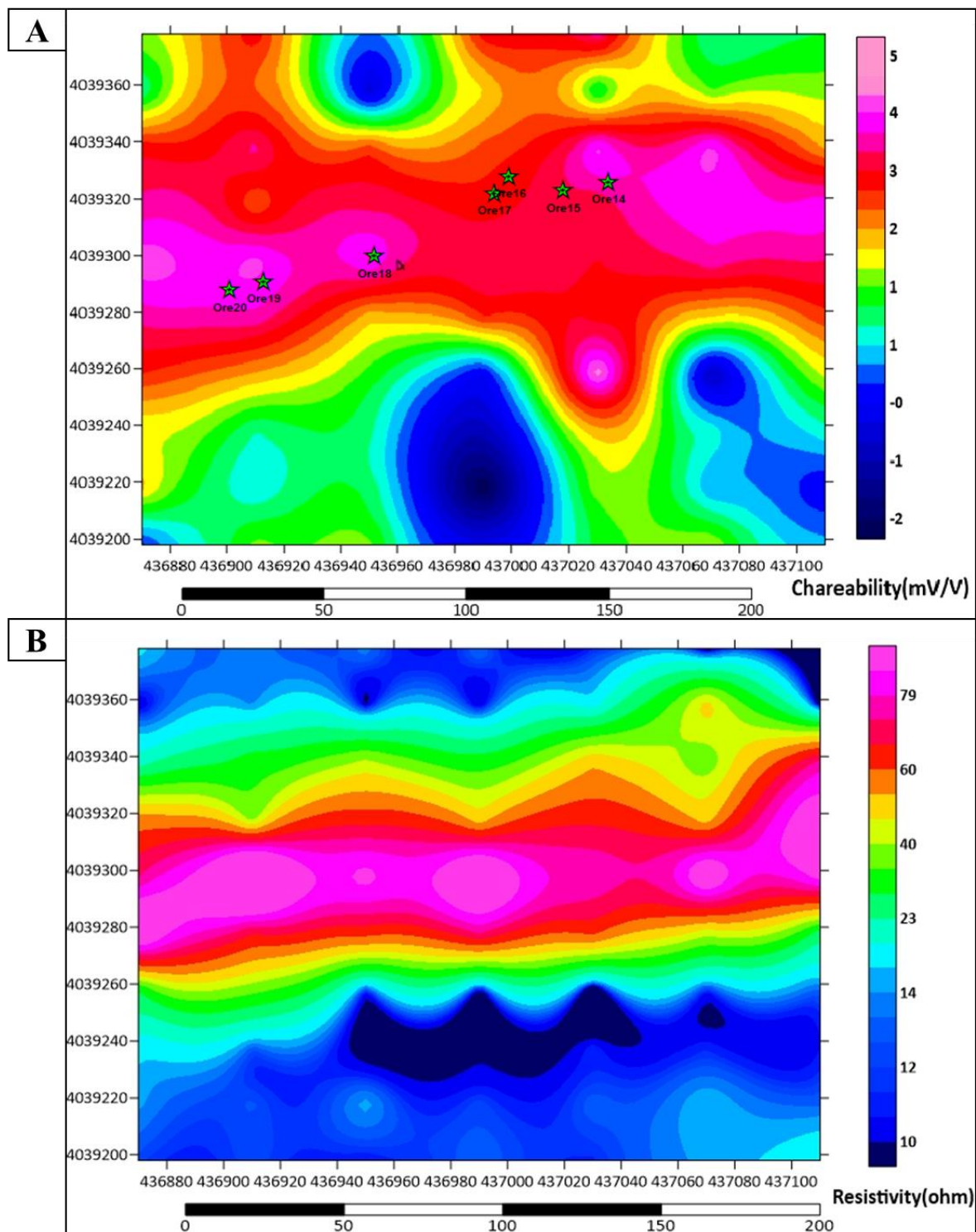
با درون‌یابی داده‌های برداشت‌شده از آرایه مستطیلی، نقشه‌های شکل ۷-A و شکل ۷-B بترتیب برای بارپذیری و مقاومت‌ویژه در قسمت شرقی منطقه حاصل شد. همچنین نقشه‌های شکل ۸-A برای بارپذیری و شکل ۸-B مقاومت‌ویژه در قسمت غربی محدوده بدست آمد. بیشترین مقدار بارپذیری در شرق محدوده برداشت ثبت شد که حدود ۱۸ میلی‌ولت بر ولت بود. و حداکثر مقدار مقاومت‌ویژه اندازه‌گیری‌شده در آرایش مستطیلی حدود ۱۸۰ اهم‌متر بود. در ادامه با پردازش بر روی داده‌های پروفیل‌های برداشت، بلوک سه‌بعدی شکل ۹-A برای شارژاییته و شکل ۹-B

مقاومت‌ویژه در پروفیل‌های شرقی و همچنین بلوک سه‌بعدی شکل ۱۰-A و شکل ۱۰-B بترتیب برای شارژاییته و مقاومت‌ویژه در پروفیل‌های غربی بدست آمده است. برای پروفیل ۱ بیشترین مقدار بارپذیری در حدود ۲۳ میلی‌ولت بر ولت و برای پروفیل ۲ کمترین مقدار بارپذیری در حدود ۴ میلی‌ولت بر ولت بدست آمد. پروفیل‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نیز بترتیب بیشترین مقاومت‌ویژه را ثبت کرده‌اند. همچنین خطای RMS برای مدلسازی مقاطع پس از ۵ مرتبه تکرار در جدول ۲ ذکر شده است.



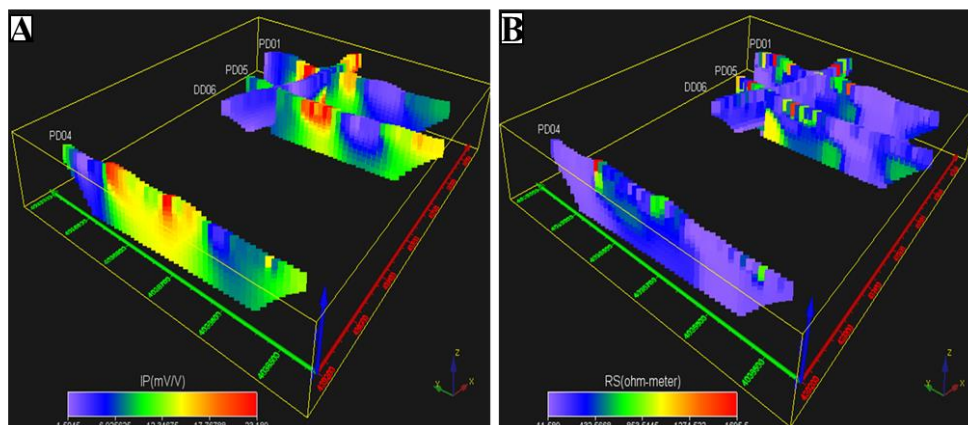
شکل ۷. نقشه‌های A: بارپذیری و B: مقاومت‌ویژه مستطیل‌های شرقی منطقه چاشن

Fig. 7. The maps of A: chargeability and B: resistivity of eastern rectangles of the Chashen area



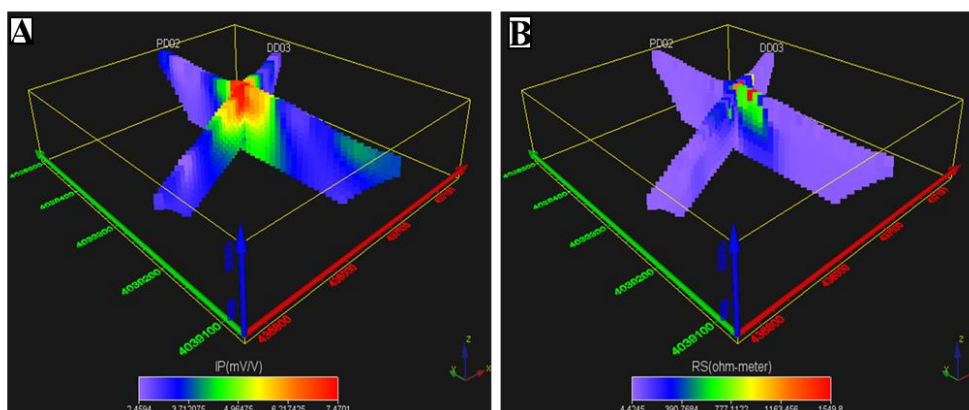
شکل ۸. نقشه های A: بارپذیری و B: مقاومت ویژه مستطیل های غربی منطقه چاشن

Fig. 8. maps of A: chargeability and B: resistivity of western rectangles of the Chashen area



شکل ۹. مقاطع A: بارپذیری و B: مقاومت‌ویژه پروفیل‌های شرقی منطقه چاشن

Fig. 9. Sections A: chargeability and B: resistivity of eastern profiles of the Chashen area



شکل ۱۰. مقاطع A: بارپذیری و B: مقاومت‌ویژه پروفیل‌های غربی منطقه چاشن

Fig. 10. Sections A: chargeability and B: resistivity of western profiles of the Chashen area

جدول ۲. خطای RMS برای مدل‌سازی معکوس پروفیل‌های منطقه چاشن

Table 2. RMS error for invers modeling profiles of the Chahshen area

Profile name	RME error of resistivity(%)	RME error of Chargeability(%)
PD1	5.5	0.76
PD2	0.99	0.45
DD3	4.00	0.59
PD4	2.5	0.34
PD5	1.7	0.70
DD6	2.1	0.79

بحث

با توجه به تغییرات زون‌های مقاومت‌ویژه قابل مشاهده در شکل ۷، یک همبری در مرکز محدوده شرقی برداشت بین زون مقاوم و هادی دیده می‌شود. هرچند مقادیر مقاومت‌ویژه اندازه‌گیری شده در این محدوده خیلی پایین بوده است ولی تغییرات زیادی در این زون‌ها دیده می‌شود. در شمال نقشه شکل ۷ مقادیر مقاومت‌ویژه کمتر از ۳۰ اهم متر بوده است اما در جنوب نقشه تغییرات زیادی در این زون‌ها مشاهده می‌شود. بنظر می‌رسد رخنمون‌های ماده معدنی بیشتر بر محدوده‌ی همبری زون مقاوم و هادی منطبق است. با توجه به تغییرات زون‌های مقاومت‌ویژه بنظر می‌رسد زون‌های گسله اکثر دارای روند شمال‌شرقی - جنوب‌غربی و زون همبری دارای روند شرقی - غربی هستند. همچنین بنظر می‌رسد بخش‌هایی که دارای مقاومت‌ویژه بیشتر است دارای مقدار بارپذیری بالاتری نیز هست. در شکل ۸ در مرکز محدوده غربی برداشت یک زون بارپذیر منطبق بر زون مقاوم وجود دارد که در اکثر بخش‌ها زون مذکور انطباق بسیار خوبی با رخنمون ماده معدنی دارد. با توجه به تغییرات مقاومت‌ویژه بدست آمده، یک زون همبری در مرکز محدوده وجود دارد که زون مقاوم و هادی را جدا کرده است. زون‌های گسله نیز اکثراً دارای روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی هستند.

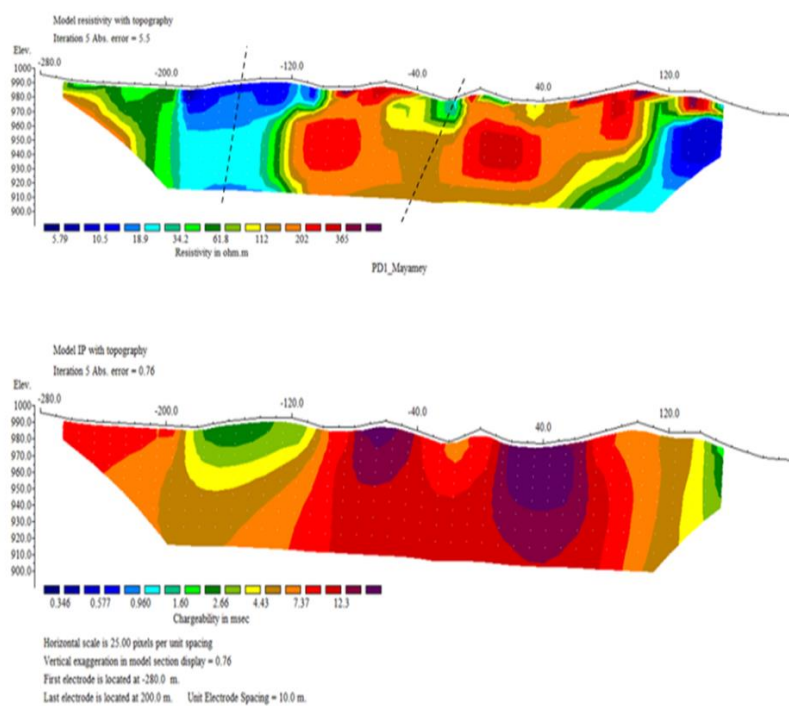
در شکل ۹ مقاطع بارپذیری و مقاومت‌ویژه پروفیل‌های شرقی و موقعیتشان نسبت به هم نمایش داده شده است. در پروفیل ۱ رخنمون ماده معدنی بین ایستگاه ۰ و ۲۰- است. در فاصله ایستگاه‌های ۶۰ تا ۲۰، زون بارپذیر وجود دارد که از سطح تا عمق گسترش دارد. همچنین در این محدوده یک زون مقاوم نیز بر روی مقطع مقاومت‌ویژه قابل تشخیص است و در فاصله ایستگاهی ۸۰- تا ۴۰- نیز یک زون بارپذیر و یک زون مقاوم مشخص شده است (شکل ۱۱). نکته‌ای که حائز اهمیت است این است که هیچکدام از این دو محدوده ذکر شده در محل رخنمون ماده معدنی که در فاصله ایستگاهی ۰ تا ۲۰- ثبت شده قرار

ندارند. اما باید توجه داشت که مقدار بارپذیری بدست آمده در این ناحیه نسبت به پروفیل‌های دیگر بالاترین مقدار است. لذا پروفیل شماره ۶ در امتداد شمال‌غربی - جنوب‌شرقی جهت کنترل نتایج و بررسی بیشتر پروفیل شماره ۱ طراحی شده است. در پروفیل ۶ رخنمون‌ها بترتیب منطبق بر ایستگاه صفر و بین ایستگاه ۲۴۰- تا ۲۶۰- است، محل ایستگاه صفر پروفیل ۶ منطبق بر ایستگاه صفر پروفیل شماره ۱ و محل ایستگاه ۲۵۰- پروفیل شماره ۶ منطبق بر ایستگاه صفر پروفیل شماره ۵ است. بر روی این پروفیل یک زون بارپذیر در ایستگاه ۲۰- وجود دارد که بسمت جنوب‌شرقی پروفیل کشیده شده است. همین‌طور در این محدوده دو زون مقاوم در فاصله ایستگاهی ۵۰ تا ۱۰۰ و ۰ تا ۴۰ روی مقطع مقاومت‌ویژه مشهود است. با توجه به جهت قرارگیری الکترودهای جریان در این پروفیل، مقادیر بارپذیری بدست آمده در محدوده ایستگاه ۰ تا ۲۰ مقطع شماره ۶ متفاوت از مقطع شماره ۱ است و نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی سولفیدی در محدوده ایستگاه ۲۰ تا ۲۰- در این مقطع است. بنابراین بنظر می‌رسد که جابه‌جایی زون‌های آنومالی در مقطع پروفیل ۱ بعلت توپوگرافی نسبتاً خشن و جهت قرارگیری الکترودهای جریان در این پروفیل باشد. پروفیل ۵ دارای رخنمون ماده معدنی در ایستگاه صفر است. با توجه به مشاهدات صحرائی، بی‌هنجاری بدست آمده در شکل ۱۲ در محدوده ۷۰- تا ۱۴۰- مربوط به یک واحد پیریت‌دار بوده که این واحد از نظر کانی‌سازی مس دارای اهمیت اکتشافی نیست و با وجود این که این واحد دارای بارپذیری بالاتری نسبت به محدوده بین ایستگاهی ۴۰ تا ۴۰- است ولی بر روی آن پیشنهاد حفاری داده نمی‌شود (شکل ۱۲). در پروفیل ۴ رخنمون ماده معدنی تقریباً در غرب و نزدیکی ایستگاه‌های ۰ تا ۲۰- این مقطع قرار می‌گیرد. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده در آرایش مستطیلی قابل پیش‌بینی بود که مقدار بارپذیری و مقاومت‌ویژه بدست آمده در این مقطع پایین‌تر از مقاطع دیگر در این محدوده باشد. با مقایسه‌ی زون‌های آنومالی بارپذیری در این مقطع و نتایج بدست آمده در آرایه‌ی مستطیلی،

توجه به مقدار پایین بارپذیری باید این احتمال را در نظر گرفت که شاید کانی سازی در بطن سنگ آندزیت وجود داشته است و حاصل آن ثبت بارپذیری ضعیف بوده است. محل رخنمون ماده معدنی در پروفیل ۳ در ایستگاه صفر است. همچنین ایستگاه صفر پروفیل ۳ بر ایستگاه صفر پروفیل ۲ منطبق است. مقادیر بارپذیری و مقاومت ویژه این پروفیل نیز مانند پروفیل ۲ پایین است. به کمک نقشه زمین شناسی منطقه یک واحد آندزیتی در محدوده ایستگاهی ۸۰ تا ۱۰۰- بر روی این پروفیل تشخیص داده شده است. در این مورد نیز به طور مشابه استدلال می شود، با توجه به احتمال وجود کانی سازی در بطن سنگ آندزیت و بارپذیری ضعیف این محدوده، احتمال این می رود که شارژشدگی مذکور حاصل کانی زایی پراکنده در بطن سنگ باشد.

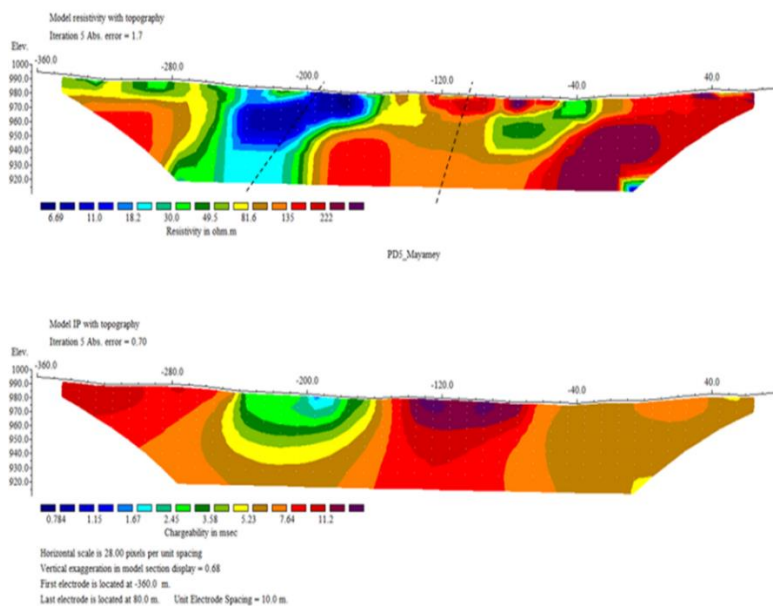
مشخص شد که مقادیر آنومالی در این مقطع در حدود مقادیر زمینه در منطقه است. لذا بی هنجاری قابل توجهی را نمی توان معرفی نمود.

در مورد مقاطع پروفیل های غربی که در شکل ۱۰ نمایش داده شده اند، در مقطع پروفیل ۲ مقدار بارپذیری پایین و کمتر از ۳ میلی ولت بر ولت است. به همین دلیل قسمت اعظم مقطع بارپذیری دارای رنگ بندی بارپذیری بالا است. رخنمون ماده معدنی در ایستگاه ۰ تا ۱۰- وجود دارد. در فاصله ایستگاه های ۴۰ تا ۸۰- یک زون بارپذیر بر روی مقطع بارپذیری در شکل ۱۳ وجود دارد که گسترش آن تا عمق است و یک زون مقاوم نیز در این محدوده در شکل ۱۳ قابل مشاهده است. با توجه به بررسی های زمین شناسی مشخص شد در محدوده ذکر شده در بالا، یک واحد ولکانیکی (سنگ آندزیت) وجود دارد که با



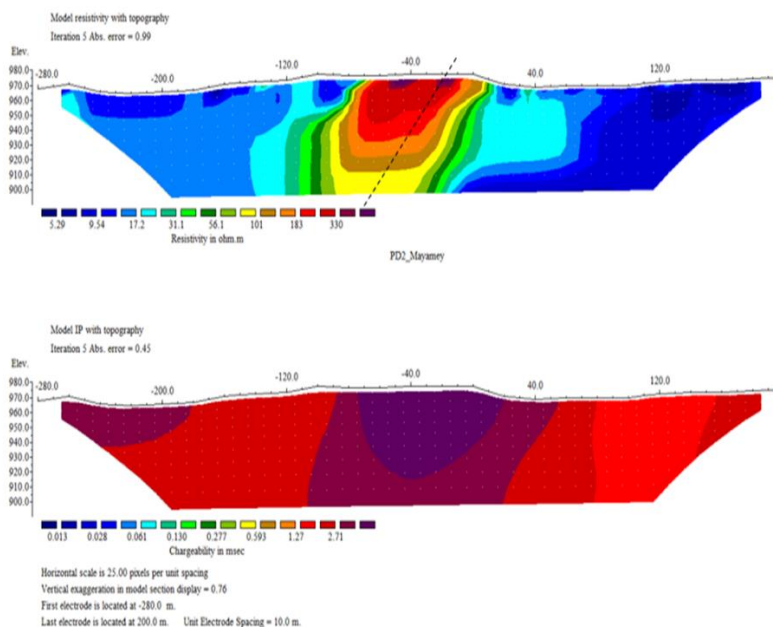
شکل ۱۱. مدل دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری پروفیل ۱ منطقه چاهشن

Fig. 11. Two-dimensional model of resistivity and chargeability of profile 1 of the Chahshen area



شکل ۱۲. مدل دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری پروفیل ۵ منطقه چاه شن

Fig. 12. Two-dimensional model of resistivity and chargeability of profile 5 of the Chahshen area



شکل ۱۳. مدل دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری پروفیل ۲ منطقه چاه شن

Fig. 13. Two-dimensional model of resistivity and chargeability of profile 2 of the Chahshen area

نتیجه گیری

در منطقه مورد مطالعه شواهدی از کانی سازی اکسیدهای مس یافت شد. این شواهد همراه با سایر اطلاعات زمین شناسی موجود و تکتونیک منطقه و نیز زون های آنومالی در مقاطع مورد بررسی قرار گرفته اند. با در نظر گرفتن شرایط منطقه، کانی سازی در صورت وجود احتمالاً از نوع افشان باشد. بنابراین با بکارگیری روش های ژئوفیزیکی، زون های مقاوم و بارپذیر در منطقه مورد مطالعه مشخص شدند. در بررسی نتایج برداشت های قطبش القایی و مقاومت ویژه در آرایش مستطیلی مشخص شد که شرق منطقه نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه از پتانسیل بیشتری برای

کانی سازی برخوردار است. همچنین نتایج حاصل از مدل سازی وارون پروفیل های برداشت، پتانسیل بیشتر قسمت شرقی را تایید کردند بگونه ای که پروفیل های شرقی بارپذیری و مقاومت ویژه بالاتری را ثبت کردند. اما از سویی دیگر آنومالی های ثبت شده در مقاطع بارپذیری، بر مبنای رنج تغییرات بارپذیری ارائه شده توسط تلفورد و همکاران (Telford et al., 1990) برای کانسارهای مس (جدول ۳)، ضعیف هستند و لذا احتمال توسعه زون سولفیدی در عمق، کم و یا در صورت وجود ضعیف می باشد. در انتها دو نقطه حفاری جهت صحت سنجی نتایج حاصل از عملیات ژئوفیزیک پیشنهاد شد (جدول ۴).

جدول ۳. بارپذیری انواع مختلف سنگ ها و کانی ها (Telford et al., 1990)

Table 3. Chargeability of various minerals and rocks (Telford et al., 1990)

Material	Chargeability(ms)
20% sulfides	2000-3000
8-20% sulfides	1000-2000
2-8% sulfides	500-1000
Volcanic tuffs	300-800
Sandstone, siltstone	100-500
Dense volcanic rocks	100-500
Shale	50-100
Granite, grandodiorite	10-50
Limestone, dolomite	10-20

جدول ۴. مشخصات گمانه ها پیشنهادی در منطقه چاه شن

Table 4. The specifications of proposed boreholes in the Chashen area

BH_ID	X	Y	Dip	Azimuth	Depth(m)	Profile name	Point
BH1	439750	4038735	90	0	45	PD01	-10
BH2	437005	4039328	90	0	45	PD02	-10

قدردانی

از شرکت زمین شناسی و مهندسی علوم زمین امید که در عملیات صحرائی ما را یاری کردند تشکر و قدردانی می نمایم.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

- Ahmadi, R., and M. Lashgari, 2021. Using probabilistic neural network method to classify the grade of Aliabad copper deposit, Yazd. *Journal of Engineering Geology*, 14(3): 65-76 (In Persian) Retrieved March 22, 2023 from https://www.jiraeg.ir/article_133732.html
- Alaei, Z., Nejati, A., Arab Amiri, A., & Jafari, F., 2022. The use of Li-Oldenburg and smoothness constrained methods for inversion of IP and resistivity data in order to identify a polymetal deposit in Oshvand area. *Journal Of Research On Applied Geophysics*, 8(1): 1-13 (In Persian with English abstract) Retrieved July 9, 2023 from https://jrag.shahroodut.ac.ir/article_1900.html
- Dahlin, T., 1996. 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications. *First Break*, 14(7), 275-284, <https://doi.org/10.3997/1365-2397.1996014>
- Fathi, S., Arab Amiri, A., Kamkar, A., & Ali Moradi, A., 2019. Remote sensing and geophysical explorations using IP and specific resistivity methods in Zarshuran gold mining area, northwest of Iran. *Journal Of Research On Applied Geophysics*, 5(1): 85-106 (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22044/jrag.2017.961>
- Ghanbari, H., Arab Amiri, A., Ebrahimi, S., & Mehri, M., 2020. Modeling and Interpretation of the Induced Polarization and Resistivity Data in Sharifabad Exploration Area, Northwest of Bardaskan. *Journal Of Research On Applied Geophysics*, 6(1): 13-23 (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22044/jrag.2018.5782.1123>
- Ghorbani, M., 2008. *Economic Geology of Iran's Mineral Deposits and Signs*. Arin Zemin Publications, Tehran, 674 pp. (In Persian)
- Guo, W., Dentith, M. & Zhao, Y., 2000. Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc orefield Gansu Province, China. *Exploration Geophysics*, 31(1-2), 243-247. <https://doi.org/10.1071/EG00243>
- Gurin, G.V., Tarasov, A.V., Il'in, Y.T. & Titov, K.V., 2015. Application of the Debye decomposition approach to analysis of induced-polarization profiling data (Julietta gold-silver deposit, Magadan Region). *Russian Geology and Geophysics*, 56(12), 1757-1771. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.11.008>
- Janghorban, G., Abtahi, M., Mushtaqian, K., Asadi, H., & Sadeghi, H., 2022. Inversion modeling of magnetic and geoelectrical data and their interpretation in the epithermal gold index of Lakht mountain. *Journal of Geosciences*, 32(2): 121-132 (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22071/gsj.2021.259045.1861>
- Kalagari, A.A., 1992. *Principles of Geophysical Exploration*. Tabriz University Press, Tabriz, 558pp. (In Persian)
- Keary, P., Brooks, M., & Hill, I., 2002. *An introduction to geophysical exploration*. Blackwell, Amsterdam, 276 pp. Retrieved March 22, 2023 from <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-introduction-geophysical-exploration.pdf>
- Khalatbari, M., Khabaznia, A., Pushtkahi, M., Ezzatian, F., Arujnia, P., Asgari, Q., & Vakili, F., 2000. Geological map report of Abbas Abad 1:100000. Geological Organization and Country discoveries. (In Persian) Retrieved March 22, 2023 from <https://www.ngdir.ir/contents/934>
- Loke, M. H., 2001. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Res2dinv 3.5 Software. 136pp. Retrieved July 5, 2023 from https://www.researchgate.net/publication/264739285_Tutorial_2-D_and_3-D_Electrical_Imaging_Surveys
- Motaei, N., 2015. Two-dimensional modeling of geoelectrical data with specific resistivity and induced polarization methods for copper exploration in Kharanaq area of Yazd. M.Sc. Thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, 95pp. Retrieved March 22, 2023 from <https://shahroodut.ac.ir/fa/thesis/thesis.php?thid=TN567>
- Moshtaghian, K., Abtahi, M., Esadi, H., Haj Heydari, M., & Jangarban, G., 2022. Inversion modeling of magnetic and IP/RS data with the aim of exploration of the northern porphyry copper-gold deposit of Dali. *Journal of Geosciences*, 33(3): 79-92 (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22071/gsj.2021.272272.1886>

- Nazari, S., Arab Amiri, A., Kamkar, A., & Karimpouli S., 2021. Application of Remote Sensing and Field Geophysics for Exploration of Cu Deposits in Bab-Zangoeie, Chahar-Gonbad Region of Kerman, Iran. *Journal of Engineering Geology*, 15(2): 337-360 (In Persian)
<http://doi.org/10.52547/jeg.15.2.337>
- Saberi, N., 2020. Modeling and interpretation of resistivity and induced polarization data in Asmanu copper mine, Miami city, Semnan province. M.Sc. Thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, 98pp. Retrieved March 22, 2023 from
<https://shahroodut.ac.ir/fa/thesis/thesis.php?thid=TN956>
- Salmirinne, H. and P., Turunen, 2007. Ground Geophysical Characteristics of Gold Targets in the Central Lapland Greenstone Belt. Geological Survey of Finland, Special Paper, 44(1): 209-223. Retrieved July 5, 2023 from
<https://www.researchgate.net/publication/228844502>
- Telford, W.M., Geldart, L.P., & Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, Cambridge, 760pp. Retrieved March 22, 2023 from
https://books.google.com/books/about/Applied_Geophysics.html?id=Q8ogAwAAQBAJ
- Wali, Sh., Nejati, A., & Arab Amiri, A., 2021. Induced Polarization Metal Exploration and Airborne Magnetism in Pirmardan-Troud-Shahroud Region. *Journal Of Research On Applied Geophysics*, 7(4): 317-332 (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22044/jrag.2019.7977.1229>
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, 95(1):185-187.
<http://doi.org/10.2138/am.2010.3371>