

مطالعات کانی‌سازی، دگرسانی و زمین شیمی در سطح و حفاری‌های اکتشافی و تفسیر داده‌های IP/RS در

شمال منطقه مهرخش

مریم جاویدی مقدم

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

محمدحسن کریم‌پور

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

محمد رضا حیدریان شهری

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

آزاده ملک‌زاده سفارودی

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۷

karimpur@um.ac.ir

چکیده

منطقه مهرخش در شرق ایران و در ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب بیرجند واقع شده است. این محدوده شامل برونزدهایی از ولکانیک‌های پالئوسن-اتوسن با ترکیب آندزیتی بوده که واحد نیمه‌عمیق کوارتز دیوریتی در آنها نفوذ نموده‌است. دگرسانی‌های اصلی شامل پروپلیتیک، آرژیلیک و سیلیسی-کربناته است. کانی‌سازی عمده در سطح شامل مالاکیت، آزوریت، اکسیدهای آهن، کوولیت و کالکوزیت می‌باشد. تلفیق نتایج حفاری با نتایج داده‌های IP/RS نشان می‌دهد که بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در گمانه‌هایی است که در محل‌های با ناهنجاری‌های بالای شارژابیلیته و مقاومت ویژه کم حفر شده و منطبق بر دگرسانی آرژیلیک با کانی‌سازی عمدتاً رگچه‌ای بوده‌است. درحالیکه گمانه‌های با ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی کمتر در محل‌های با ناهنجاری‌های شارژابیلیته و مقاومت ویژه بالا بوده که کانی‌سازی عمدتاً به صورت پراکنده و کمتر رگچه‌ای همراه با دگرسانی سیلیسی-کربناته می‌باشد. نتایج این پژوهش، کارایی روش IP/RS را در اکتشاف کانسارهای اپی‌ترمال که در آنها کانی‌سازی به شکل رگه، رگچه و پراکنده بوده، تایید می‌کند.

واژگان کلیدی: بلوک لوت، IP/RS، ژئوشیمی، آرژیلیک، مهرخش.

مقدمه

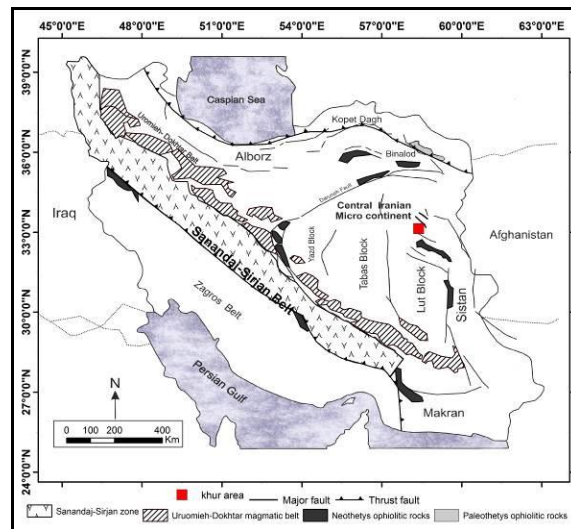
منطقه اکتشافی مهرخش در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های " ۵۸°۲۰'۱۵ تا ۵۸°۲۲'۴۴ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳°۶'۲۳ تا ۳۳°۹'۱۴ شمالی و در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع شده است این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در شمال بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱) (Ruttner and Stöcklin, 1967; Alavi, 1991; Berberian and King, 1981).

در سال‌های اخیر بررسی‌های زیادی بر روی انواع کانی‌سازیهایی اپی‌ترمال و پورفیری در بلوک لوت انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مناطق چاه شلمجی (ارجمندزاده، ۱۳۹۰)، شوراب (طالع فاضل، ۱۳۸۸)، کوه شاه (عبدی، ۱۳۹۱)، ماهرآباد و خوپیگ (ملکزاده سفارودی، ۱۳۸۸)، حوض رئیس (ملکزاده سفارودی و کریم‌پور، ۱۳۹۱) اشاره نمود.

محدوده مهرخش در ۲۵ کیلومتری شمال روستای خور قرار گرفته است. شمال خور به دلیل حجم عظیم سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، حضور کانی-سازی‌های رگه‌ای نوع سرب، روی و مس (شورک) و مس شکسته‌سبز (جاویدی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳ الف و ب)، حوض‌دغ، مهرخش، رشیدی و غار کفتری، وجود حفاری‌های قدیمی و سرباره‌های فراوان، سیستم شکستگی‌ها و نفوذ دایک‌های متعدد حائز اهمیت است. تا کنون پروژه‌های اکتشاف مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سربان

مربوط به سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی، توسط شرکت پارس کانی و شرکت ایتوک انجام شده‌است که منطقه مهرخش نیز قسمتی از این پروژه اکتشافی بوده است (جمع، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷). شرکت ایتوک اطلاعاتی درباره زمین‌شناسی، ژئوشیمی و برداشت‌های IP/RS در منطقه ارائه نموده است (جمع، ۱۳۸۷). روش IP/RS در تعیین محل، گسترش و عمق کانی‌سازی سولفیدی در کانسارهای مختلفی مانند کانسار المپیک‌دم در استرالیا (Esdale et al., 1987)، کانسارهای ماسیو سولفید در استرالیا (Bishop and Lewis, 1992; Rajagopalan and Haydon, 1999; Haydon, 1999)، اکتشاف فلزات پایه در ویکتوریا در استرالیا (Willocks and Moore, 1999)، کانسار مس پورفیری در منطقه ویکتوریا در استرالیا (Rajagopalan, 1999)، سرب و روی چنگ در چین (Guo et al., 2000)، منطقه کالکارو در شمال غرب معدن بروکن هیل در استرالیا (Busuttill and Law, 2001) و کانسار پورفیری پبل در آلاسکا (Shah et al., 2013; al., 2009) به کار رفته است.

هدف از این کار پژوهشی، تفسیر برداشت‌های IP/RS بوسیله مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و داده‌های ژئوشیمیایی سطحی و تحت الارضی برای اکتشاف بخشهای پنهان کانی‌سازی در منطقه‌ای به وسعت تقریبی یک کیلومتر مربع در شمال منطقه مهرخش می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در بلوک لوت (Ruttner and Stöcklin, 1967; Alavi, 1991; Berberian and King, 1981).

روش مطالعه

- برای دستیابی به اکتشاف بخشهای پنهان کانی سازی مطالعات زیر در محدوده مورد مطالعه صورت گرفته است.
- ۱- مطالعه حدود ۱۲۰ مقطع نازک، نازک صیقلی و بلوک از نمونه های سطحی و زیرسطحی به منظور بررسی های سنگ شناسی، دگرسانی و کانی سازی سطحی و زیر سطحی.
 - ۲- تهیه نقشه زمین شناسی و دگرسانی سطحی رقومی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۳۰۰۰.
 - ۳- مطالعه و تفسیر داده های ژئوشیمیایی بر مبنای ۱۱۲ نمونه خرده سنگی سطحی، حاصل از برداشت های سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی به روش ICP MS که در آزمایشگاه ALS-CHEMX کشور کانادا انجام شده است (جمیع، ۱۳۸۷)
 - ۴- تهیه نمودارهای چاهنگاری زمین شناسی، دگرسانی، کانی سازی و ژئوشیمی ۶ چاه با مقیاس ۱:۱۰۰، در مجموع ۲۹۸ متر حفاری اکتشافی.
 - ۵- تفسیر برداشتهای IP/RS با توجه به اطلاعات زمین شناسی، دگرسانی، کانی سازی و ژئوشیمی سطحی و زیر سطحی.

زمین شناسی

بلوک لوت که منطقه مورد مطالعه در شمال آن قرار گرفته است، بخشی از خرد قاره ایران مرکزی است (آقنباتی، ۱۳۸۳). منطقه مورد مطالعه در شمال غرب بیرجند و در برکه ۱/۲۵۰۰۰۰ بشرویه (اشتوکلین و نبوی، ۱۹۶۹) و در قسمت جنوب شرق نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ سارغنج (لطفی، ۱۹۹۵) قرار دارد. با تاکید بر روی محدوده اصلی کانی سازی و دگرسانی، نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه گردید (شکل ۲-الف). براساس مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین شناسی شناسایی شده در گستره پی جویی مهرخش را می توان به ۳ بخش تقسیم کرد: ۱- سنگ های آتشفشانی و آذرآواری پالئوسن-اؤسن ۲- توده نیمه عمیق هورنبلند بیوتیت کوارتز دیوریت پورفیری ۳- تراسهای آبرفتی متعدد، رسوبات مخروط افکنه ای، دشت سیلابی و رسوبات رودخانه های عهدحاضر. از محل برداشت های ژئوفیزیک در شمال منطقه نقشه ۱: ۳۰۰۰ تهیه شد. در بخش شمالی

واحدهای توف سنگی، برش ولکانیکی و آندزیت در سطح رخنمون دارند (شکل ۲-ب).

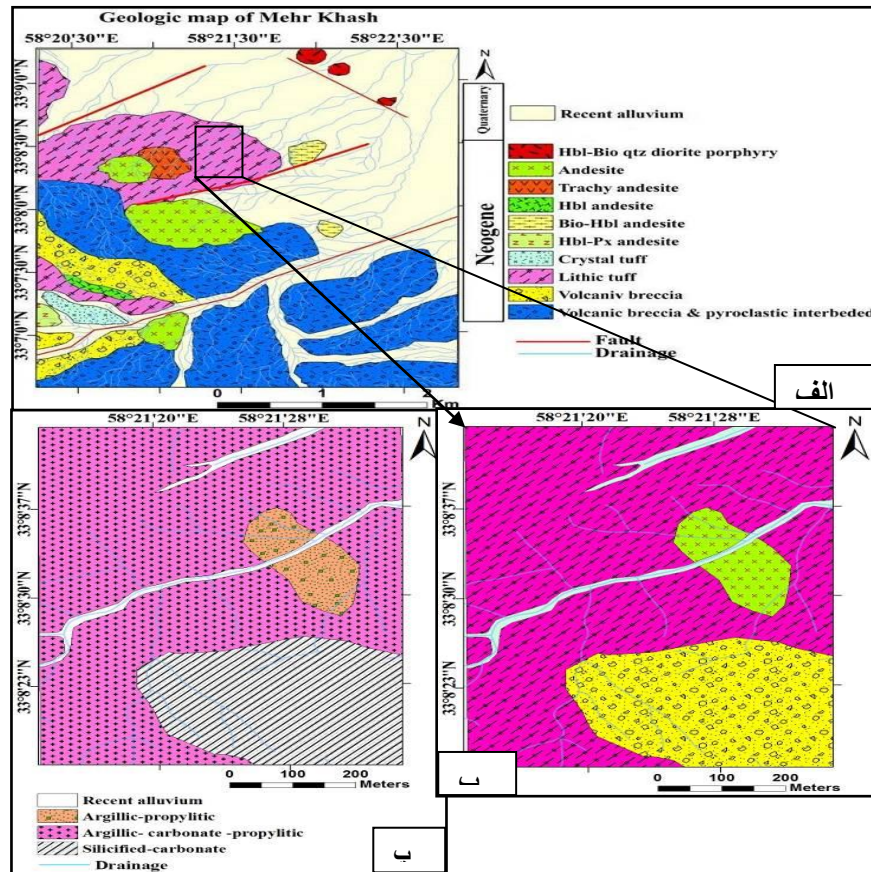
دگرسانی

دگرسانی در منطقه گسترش زیادی داشته و تمام واحدهای آتشفشانی، نفوذی و آذرآواری را تحت تاثیر قرار داده است. براساس مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی ۳ نوع دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شده است که عبارتند از: ۱- پروپلیتیک ۲- آرژیلیک ۳- سیلیسی-کربناته. دگرسانی های غالب در بخش مرکزی آرژیلیک- پروپلیتیک، آرژیلیک-کربناته- پروپلیتیک و سیلیسی-کربناته می باشند (شکل ۲-پ).

دگرسانی آرژیلیک- پروپلیتیک گسترش کمی در شرق منطقه داشته و واحد آندزیتی را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۲-پ). پلاژیوکلازهای موجود دگرسان شده و اغلب به رس (۱۰ تا ۱۵ درصد) تبدیل شده اند. همچنین پلاژیوکلازها به طور بخشی به اپیدوت (۳ تا ۵ درصد) و کربنات (۲ تا ۵ درصد) دگرسان شده اند. اغلب کانی های فرومینزین کلریتی شده اند.

دگرسانی آرژیلیک-کربناته- پروپلیتیک گسترش نسبتا زیادی در کل منطقه داشته و واحد توف سنگی را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۲-پ). در پلاژیوکلازها علاوه بر تبدیل شدن آنها به کانی های رسی (۱۰ تا ۱۵ درصد)، تبدیل شدگی آنها را به کلسیت (۵ تا ۷ درصد) را شاهد هستیم. هورنبلند ها تا حدودی کلریتی شده اند (۳ تا ۷ درصد). همچنین در بعضی قسمت ها پلاژیوکلازها در امتداد ماکل به اپیدوت تبدیل شده اند. حفرات سنگ اغلب با کلسیت و زئولیت (۲ تا ۳ درصد) پر شده است. بخشی از زئولیت هایی که حفرات سنگی را پر کرده اند، به رنگ قهوه ای روشن دیده می شوند که ناشی از آغستگی زمینه سنگ به اکسیدهای آهن است.

دگرسانی سیلیسی- کربناته واحد برش ولکانیکی را تحت تاثیر قرار داده است. عمدتا در قسمت های جنوب شرق و تا حدودی مرکز منطقه رخنمون دارد (شکل ۲-پ). زمینه سنگ نیز سیلیسی (۳ تا ۷ درصد) شده است. کلسیت گاه تا بیش از ۸ درصد در این زون دیده می شود. سرسیت همراه با کانی های اپک از دیگر کانی های این دگرسانی می باشند. سیلیس به صورت رگه-رگچه ای و پرکننده حفره ها مشاهده می شود که بافت اسفرولیتی را ایجاد کرده است.



شکل ۲. الف) نقشه زمین‌شناسی مهرخش، ب) نقشه زمین‌شناسی و پ) نقشه دگرسانی بخش شمالی محدوده مهرخش.

کانی‌سازی

در منطقه مهرخش، کانی‌سازی‌ها عمدتاً به شکل رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده دیده می‌شود.

کانی‌سازی رگه‌ای: عمدتاً در قسمت‌های شمال، مرکز و غرب منطقه دیده می‌شود. کانی‌زایی در رگه‌های سیلیسی-سولفیدی صورت گرفته است. امتداد این رگه‌ها عمدتاً شمال غرب-جنوب شرق تا شمالی-جنوبی با شیب ۸۵ درجه تا قائم و با عرض حداکثر ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند. طبق شواهد صحرایی، دگرسانی سیلیسی و آرزیلیکی عمده‌ترین دگرسانی حاشیه رگه‌ها است و ضخامت آنها از چند سانتیمتر تا یک متر متغیر است. تمامی این رگه‌ها در امتداد زونهای گسلی و شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند.

کانی‌سازی رگچه‌ای: در بخش‌های شمال و شرق منطقه و عمدتاً در واحدهای آتشفشانی دیده می‌شود. از نظر ترکیب کانی‌شناسی شامل رگچه‌های کوارتز-اکسیدهای آهن، سیلیس-اکسیدهای آهن-مالاکیت، کلسیت-اکسید آهن، کلسیت-سیلیس و سیلیس-کالکوسیت-هماتیت-اکسیدهای آهن می‌باشد. رگچه‌ها دارای عرض‌های متفاوت از بیش از ۱۰ سانتی‌متر تا رگچه‌هایی مویی را نشان می‌دهد.

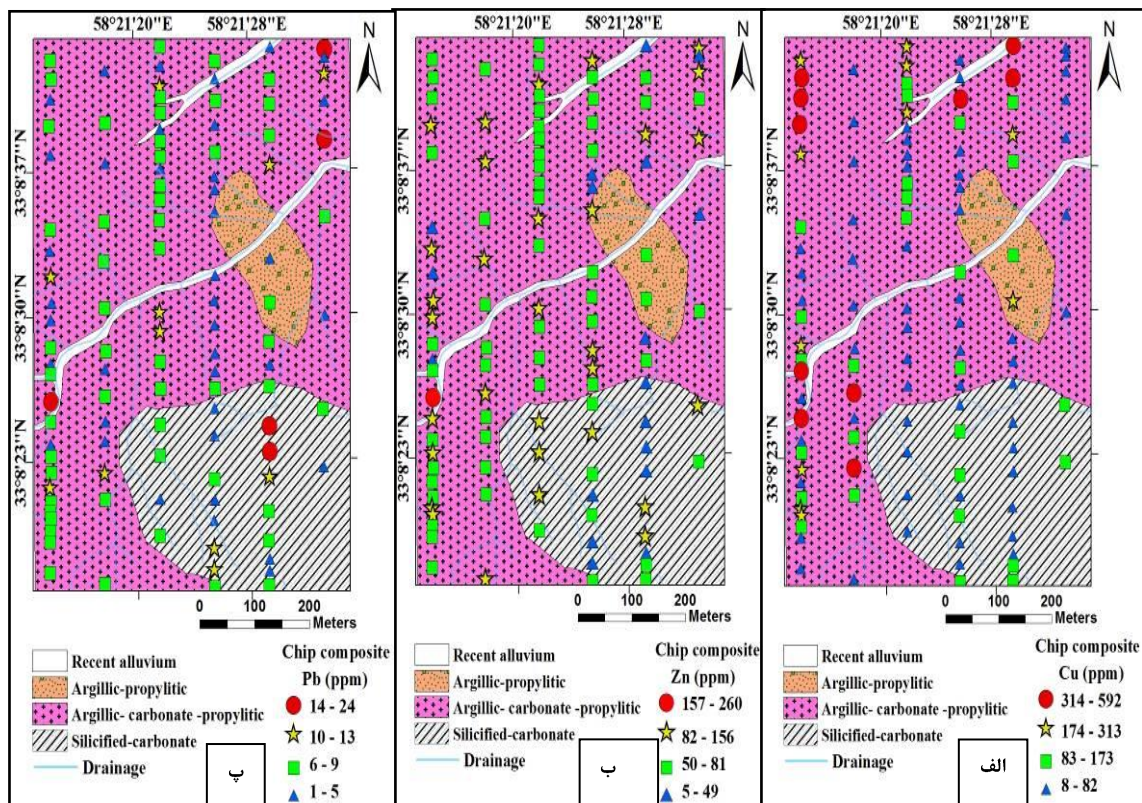
کانی‌سازی پراکنده: در قسمت شرق منطقه گسترش یافته‌است. کانی‌زایی به صورت کالکوپیریت، کولوبیت، کالکوزیت و مگنتیت در متن سنگ به صورت افشان مشاهده می‌شود و بیشترین میزان کانی‌سازی پراکنده در واحدهای هورنبلند آندزیت دیده می‌شود. به دلیل تأثیر شدید فرایندهای هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی در منطقه گسترش وسیعی یافته‌است. با توجه به نوع کانی‌شناسی پدید آمده، کانی‌سازی عمده در سطح شامل مالاکیت، آزوریت، اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و به

میزان کمتر کانی‌های سولفیدی کولوبیت، کالکوزیت و کالکوپیریت می‌باشد. وجود سیستم آبراه‌های گسترده در منطقه نقش مهمی در گسترش زون اکسیده داشته‌است. همچنین وجود دگرسانی کربناته و رگچه‌های کلسیتی در تشکیل مالاکیت به صورت گسترده در منطقه موثر بوده‌است.

زمین شیمی

در مطالعات ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ، داده‌های حاصل از آنالیز ۱۲۲ نمونه که توسط سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی انجام گرفته‌است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جمعیت، ۱۳۸۷). برداشت این نمونه‌ها در یک شبکه بندی منظم و به روش خرده‌سنگی در بخش شمالی منطقه و همچنین در محل ترانشه‌ها، از داخل ترانشه‌ها صورت گرفته‌است (شکل ۳، الف تا پ). آنالیز نمونه‌های ژئوشیمی بر مبنای سنگ برداشت شده در آزمایشگاه ALS-CHEMIX کانادا به روش ICP-MS بوده‌است (جمعیت، ۱۳۸۷). در ۱۲۲ نمونه برداشت شده میزان تغییرات مس ۵۹۲-۸ گرم در تن، روی ۲۶۰-۵ گرم در تن، سرب ۲۴-۱ گرم در تن، آرسنیک ۱/۴-۱۶/۸ میلی‌گرم در تن می‌باشد (شکل ۳، الف تا پ).

بیشترین بی‌هنجاری‌های مس در شمال و جنوب غرب منطقه مربوط به واحد توف سنگی با دگرسانی آرزیلیک-کربناته-پروپلیتیک می‌باشد (شکل ۳، الف). همچنین کمترین بی‌هنجاری‌های مس در جنوب و جنوب شرق منطقه و مربوط به واحد برش ولکانیکی با دگرسانی سیلیسی-کربناته می‌باشد. بیشترین بی‌هنجاری روی در غرب منطقه و مربوط به واحد توف سنگی با دگرسانی آرزیلیک-کربناته-پروپلیتیک می‌باشد (شکل ۳، ب). سرب بی-هنجاری نشان نمی‌دهد و بیشترین میزان آن در شمال شرق و غرب منطقه مربوط به واحد توف سنگی می‌باشد (شکل ۳، پ).



شکل ۳. نقشه پراکندگی عناصر (الف) مس، (ب) سرب و (پ) روی در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده در مرکز منطقه مهرخش.

تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی

ابتدا طراحی‌های لازم برای برداشت‌های IP در محل کانی‌سازهای رگه‌ای در شمال منطقه مورد مطالعه انجام گرفته و سپس ۱۵۶۱ نقطه اندازه‌گیری در طول ۱۴ پروفیل با آرایش Dipole-Dipole برداشت شده است (جمیع، ۱۳۸۷).

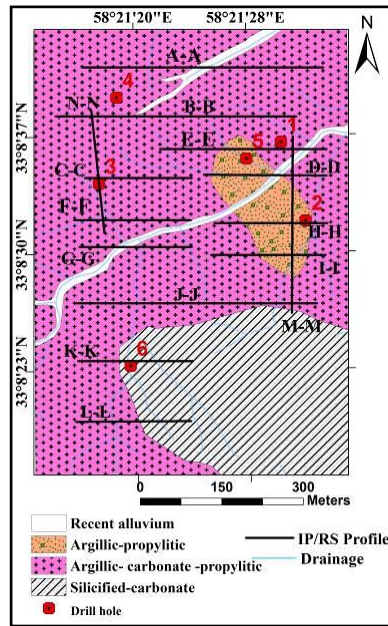
۱۴ پروفیل به نام‌های A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H, I-I, J-J, K-K, L-L, M-M و N-N انتخاب شده‌است (شکل ۴). در آرایش بکار رفته، فاصله الکترودی دوقطبی‌ها ۱۰ یا ۲۰ متر می‌باشد. طول پروفیل‌ها بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر بوده به غیر از پروفیل C-C که طول پروفیل ۲۵۰۰ متر می‌باشد. لازم به ذکر است که طول پروفیل‌ها بسته به بی-هنجاریهای دیده شده ضمن برداشت مشخص گردیده است. ۱۲ پروفیل به صورت شرقی-غربی، پروفیل M-M به صورت شمالی-جنوبی و پروفیل N-N به صورت شمال غرب-جنوب شرق برداشت شده‌است (شکل ۴). اندازه‌گیری مقادیر IP و RS توسط دستگاه Syscal R2 ساخت IRIS فرانسه انجام شده‌است (جمیع، ۱۳۸۷؛ شکل ۴).

بر اساس شبه مقطع IP/RS مربوط به پروفیل A-A یک زون بی‌هنجاری در فاصله ۲۰۰ متری از شرق پروفیل و در عمق حدود ۲۰ متر با گسترش شمالی-جنوبی دیده می‌شود (شکل ۵). شارژاییته در این زون بی‌هنجاری (A) به ۱۱ میلی‌ولت بر ولت می‌رسد و مقاومت ویژه ظاهری نیز در محل بی-هنجاری به ۶۲ اهم‌متر افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که بی‌هنجاری توسط گسل به دو بی‌هنجاری تقسیم شده است که در شبه مقطع مقاومت ظاهری بهتر قابل مشاهده است و با شماره‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌است (شکل ۵). همچنین یک بی‌هنجاری دیگر (بی‌هنجاری B) در فاصله ۱۲۰ متری از غرب پروفیل A-A دیده می‌شود که منطبق با مقادیر کمتر مقاومت ویژه ظاهری است و در عمق ۴۰ متری دیده می‌شود. این زون‌های بی‌هنجاری در پروفیل

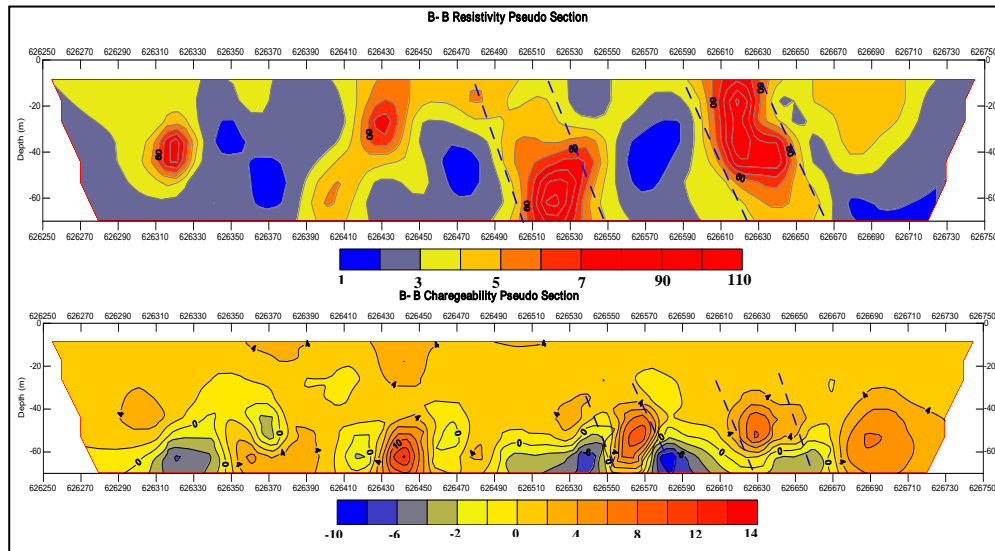
B-B نیز قابل تشخیص هستند (شکل ۶). در پروفیل B-B شارژاییته در زون‌های بی‌هنجاری به ۱۶ میلی‌ولت بر ولت می‌رسد و مقاومت ویژه ظاهری نیز در محل بی‌هنجاری به ۹۰ اهم‌متر می‌رسد (شکل ۶). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بی‌هنجاری در پیرامون نقاط پیشنهاد شده و در حد فاصل پروفیل‌های A-A تا B-B وجود دارد. بنابراین چاه شماره ۴ در حد فاصل بین دو پروفیل A-A و B-B حفر گردیده است (شکل ۴).

در پروفیل C-C یک بی‌هنجاری در شبه مقطع شارژاییته با شارژاییته-ای تا حدود ۲۸ میلی‌ولت بر ولت در فاصله ۶۰ متری از غرب پروفیل قابل تشخیص است. این آنومالی از عمق ۴۰ متر تا بیش از ۶۰ متر دیده می‌شود. در شبه مقطع مقاومت ویژه در محل همین بی‌هنجاری کاهش در میزان مقاومت ویژه را نشان می‌دهد (شکل ۷) در محل این بی‌هنجاری چاه شماره ۳ حفر گردیده است (شکل ۴).

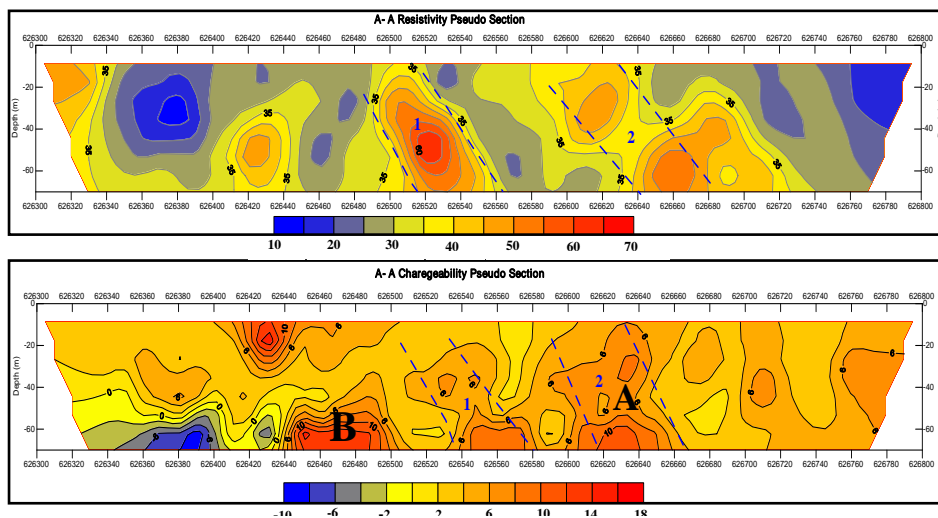
در پروفیل D-D یک بی‌هنجاری در شبه مقطع شارژاییته با شارژاییته‌ای تا حدود ۱۴ میلی‌ولت بر ولت در فاصله ۲۰ متری از شرق پروفیل قابل تشخیص است. این آنومالی از عمق ۲۵ متری دیده می‌شود. در شبه مقطع مقاومت ویژه در محل همین بی‌هنجاری کاهش در میزان مقاومت ویژه تا ۱۶ اهم‌متر را نشان می‌دهد (شکل ۸). این زون بی‌هنجاری در پروفیل E-E نیز قابل تشخیص می‌باشد. در پروفیل E-E این بی‌هنجاری در ۲۵ متری شرق پروفیل و نسبت به پروفیل D-D شارژاییته آن کاهش یافته و به ۸ میلی‌ولت بر ولت می‌رسد. در محل این بی‌هنجاری مقاومت ویژه نیز کاهش داشته و به ۱۲ اهم‌متر می‌رسد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بی‌هنجاری در پیرامون نقاط پیشنهاد شده و در حد فاصل پروفیل‌های D-D و E-E وجود دارد. بنابراین چاه شماره ۵ در حد فاصل بین دو پروفیل D-D و E-E حفر گردیده است (شکل ۴).



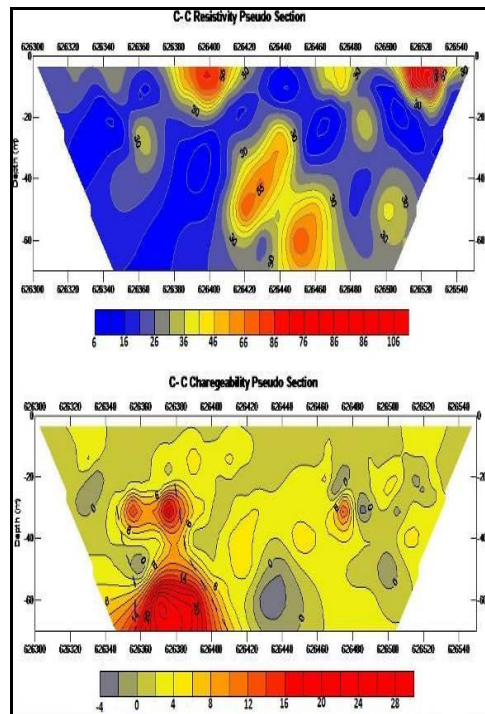
شکل ۴. موقعیت پروفیل‌های IP/RS و چهارگوش برداشت ژئوفیزیک بر روی نقشه دگرسانی محدوده مورد مطالعه.



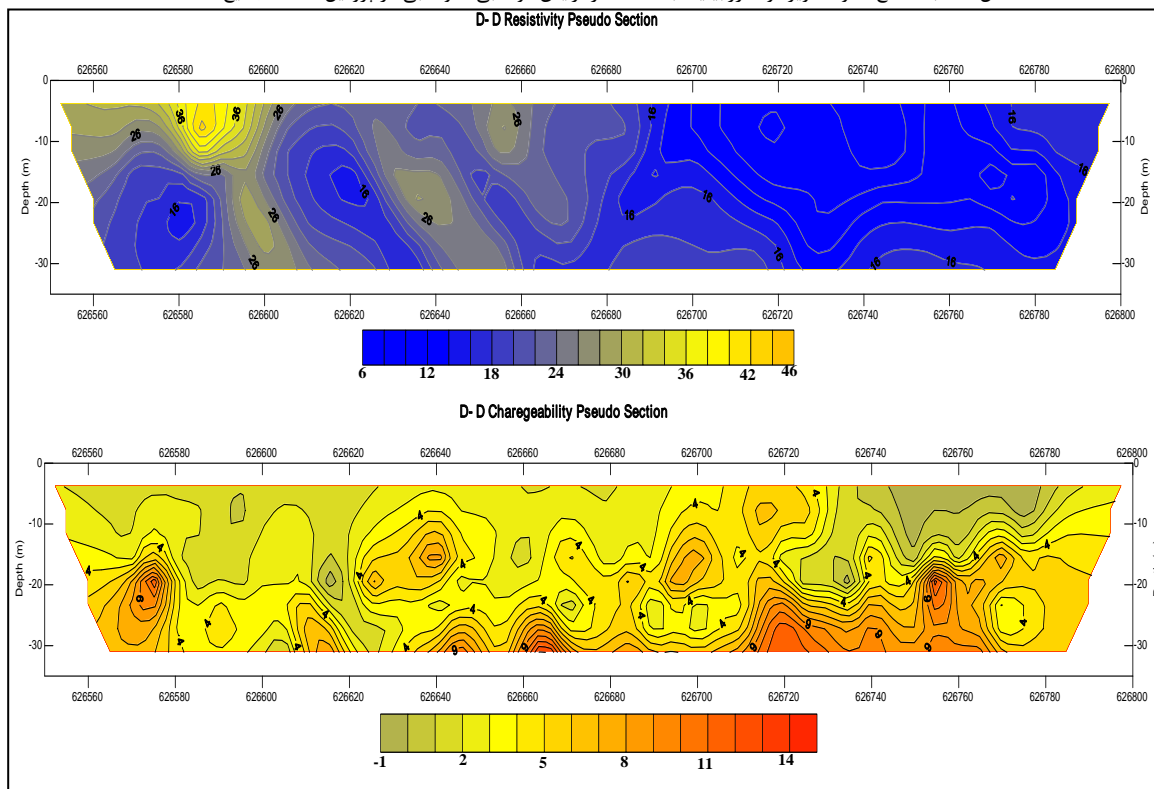
شکل ۵. شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژابیلیته با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در پروفیل A-A (جمیع، ۱۳۸۷).



شکل ۶. شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژابیلیته با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در پروفیل B-B (جمیع، ۱۳۸۷).



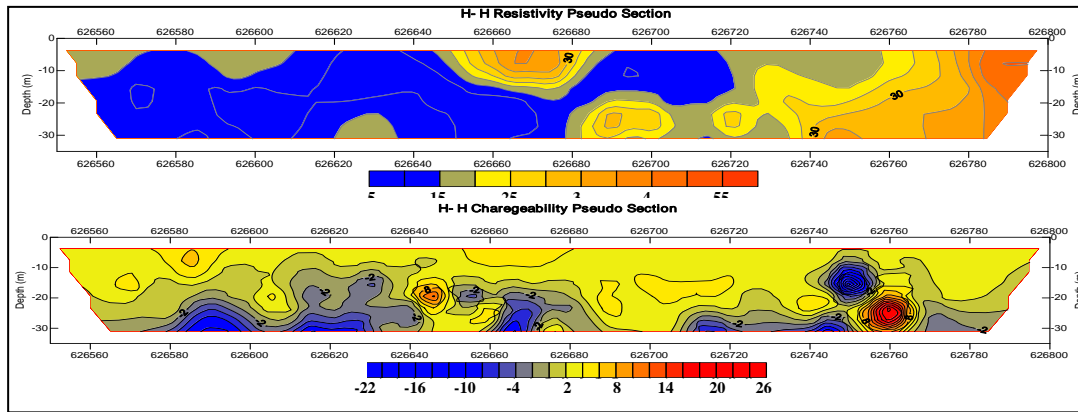
شکل ۷. شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژابیلیته با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در پروفیل C-C (جمع، ۱۳۸۷).



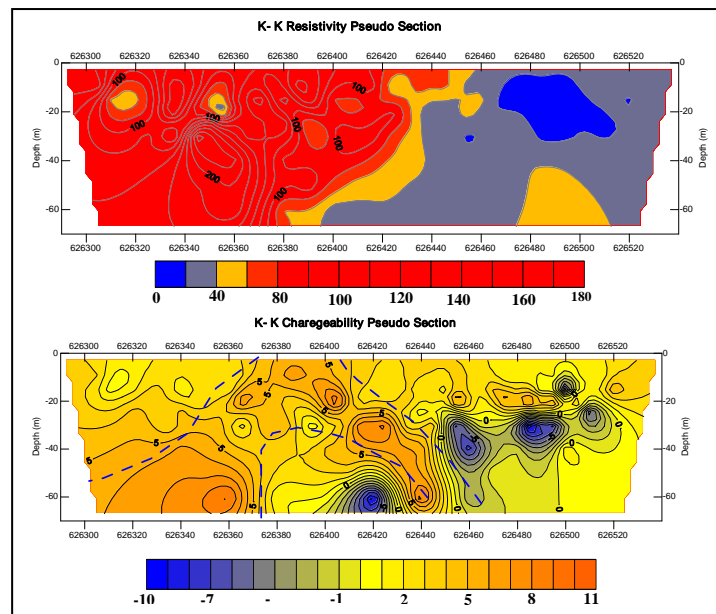
شکل ۸. شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژابیلیته با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در پروفیل D-D.

در پروفیل K-K یک بی‌هنجاری با شارژابیلیته حدود ۱۰ میلی‌ولت بر ولت در فاصله ۶۰ متری غرب پروفیل دیده می‌شود. مقاومت ویژه در محل این آنومالی در بعضی قسمت‌ها به ۲۰۰ اهم‌متر می‌رسد (شکل ۱۰). بی‌هنجاری مشاهده شده در پروفیل K-K در شبه مقاطع J-J و L-L نیز قابل ردیابی و مشاهده هستند. چاه شماره ۶ در حد فاصل پروفیل‌های K-K و L-L حفر گردیده است.

در پروفیل H-H یک بی‌هنجاری در ۴۰ متری شرق پروفیل وجود دارد که شارژابیلیته‌ای بالا تا حدود ۲۴ میلی‌ولت بر ولت نسبت به پروفیل‌های دیگر قابل تشخیص است. مقاومت ویژه در محل بی‌هنجاری به ۳۵ اهم‌متر می‌رسد. این بی‌هنجاری گسترش چندانی نداشته است (شکل ۹). چاه شماره ۲ در محل این آنومالی حفر گردیده است (شکل ۴).



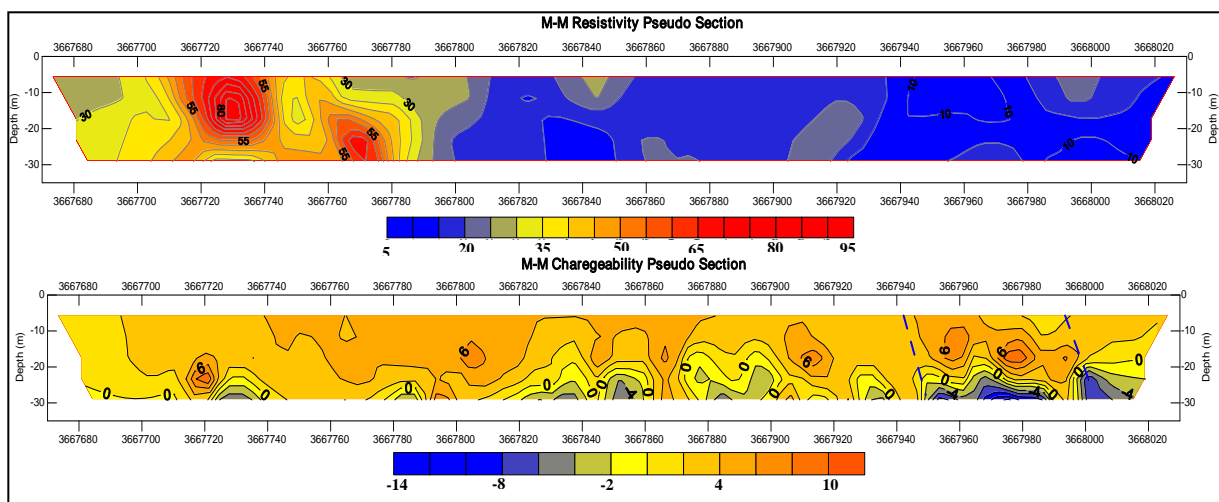
شکل ۹. شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژابیلیته با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در پروفیل H-H.



شکل ۱۰. شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژابیلیته با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در پروفیل K-K.

آномالی حفر گردیده است (شکل ۴). بقیه پروفیل‌ها بی‌هنجاری قابل توجهی نداشتند.

در پروفیل M-M یک زون بی‌هنجاری با شارژابیلیته ای در حدود ۱۰ میلی-متر بر ولت در شمال پروفیل دیده می‌شود. در محل این بی‌هنجاری مقاومت ویژه تا حدود ۸۵ اهم‌متر می‌رسد (شکل ۱۱). چاه شماره ۱ در محل این



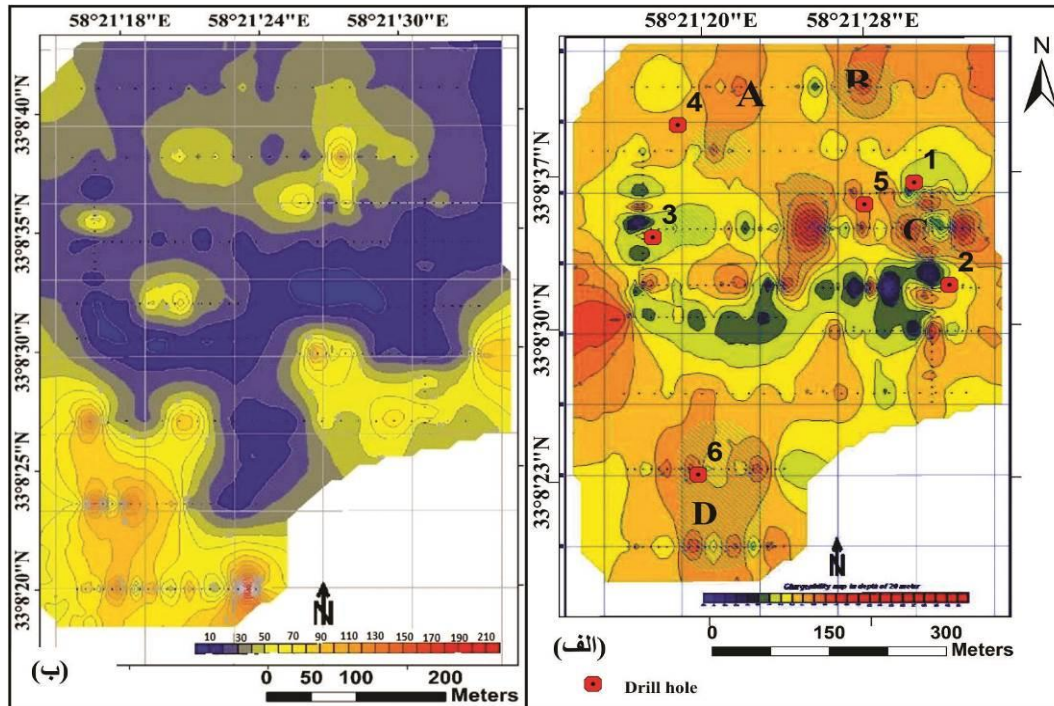
شکل ۱۱. شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژابیلیته با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در پروفیل M-M.

گرفته است (شکل ۱۲).

مطالعات چاه‌نگاری

بر اساس مشاهدات سطحی و برداشت های ژئوفیزیک در منطقه ۶ نقطه برای حفاری انتخاب شده است. موقعیت نقاط حفاری بر روی نقشه دگرسانی و نسبت به پروفیل های IP/RS مشخص شده است (شکل ۴). پس از مطالعات مغزه‌ها، نمودار چاه‌نگاری آنها ترسیم گردید. ۱۱۶ نمونه ژئوشیمیایی از مغزه‌ها برداشت گردیده است. آنالیز نمونه‌های ژئوشیمی مغزه‌ها در آزمایشگاه ALS-CHEMIX کانادا به روش ICP-MS بوده است (جمع، ۱۳۸۷). نتایج آنالیز ژئوشیمیایی مغزه‌ها (جمع، ۱۳۸۷) با لیتولوژی، دگرسانی و کانی‌سازی مغزه‌ها مقایسه گردید. لیتولوژی غالب در مغزه‌ها، واحدهای هورنبلند آندزیت، برش ولکانیکی، تراکی آندزیت و واحدهای نیمه عمیق پیروکسن دیوریت پورفیری و مونزودیوریت پورفیری می‌باشند (شکل ۱۳ و ۱۴). دگرسانی غالب در مغزه‌ها آرژیلیک و آرژیلیک-کربناته است. کانی‌سازی غالب در مغزه‌ها به صورت رگچه‌ای و به میزان کمتر به صورت پراکنده بوده است. کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی در رگچه‌ها گسترش داشته و مالاکیت، آزوریت، کالکوزیت، کولیت، همتایت و گوتیت تشکیل شده‌اند.

نقشه شارژابیلیته و مقاومت ویژه با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی در عمق ۲۰ متری از محدوده برداشت‌ها تهیه شده است (شکل ۱۲). در نقشه شارژابیلیته مربوط به عمق ۲۰ متر ۴ آنومالی A, B, C و D قابل شناسایی است. بر اساس میزان مقاومت ویژه الکتریکی در محل بی‌هنجاری‌های شارژابیلیته، می‌توان ۳ نوع بی‌هنجاری شارژابیلیته را مشخص کرد. ۱- بی-هنجاری شارژابیلیته D (پروفیل‌های K-K, J-J, L-L) (در نقشه شارژابیلیته) که منطبق بر بیشترین مقادیر مقاومت ویژه، به میزان بیش از ۱۰۰ تا ۲۰۰ اهم‌متر (در نقشه مقاومت ویژه) می‌باشد و در جنوب‌غرب منطقه قرار دارد (شکل ۱۲). ۲- بی‌هنجاری‌های A (پروفیل A-A) و B (پروفیل A-A و B-B) در شمال منطقه که منطبق بر مقاومت ویژه تا حدود ۶۲ اهم‌متر می‌باشند. ۳- بی‌هنجاری‌های E و C منطبق بر مقادیر خیلی پایین مقاومت ویژه الکتریکی (کمتر از ۲۰ اهم‌متر) در مرکز منطقه می‌باشند. بی-هنجاری شرقی (بی‌هنجاری E) در پروفیل‌های E-E, D-D, H-H و M-M قابل رویت می‌باشد. در محل این بی‌هنجاری، بیشترین میزان شارژابیلیته به ۱۸ میلی‌ولت بر ولت می‌رسد. بیشترین میزان شارژابیلیته در محل بی‌هنجاری C (پروفیل C-C) نیز به حدود ۱۸ میلی‌ولت بر ولت می‌رسد. محل حفاری‌ها بر روی نقشه شارژابیلیته مربوط به عمق ۲۰ متر مشخص



شکل ۱۲. نقشه (الف) شارژابیلیته و (ب) مقاومت ویژه با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی در عمق ۲۰ متری در محدوده مورد مطالعه (جمع، ۱۳۸۷).

می‌باشد که دچار دگرسانی سیلیسی-کربناته شده است. بنابراین واحد برش ولکانیکی جزو سنگ‌های با هدایت ضعیف قرار می‌گیرد (Dobrin, 1998). بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در این چاه از عمق ۱۲ تا ۱۶ و ۲۰ تا ۳۵ متری برای مس، ۲۳۰ گرم در تن و روی، ۱۰۸ گرم در تن می‌باشد. کانی‌سازی عمدتاً به صورت پراکنده و در عمق ۲۵ تا ۳۵ متر دیده می‌شود. ژئوشیمیایی و کانی‌سازی رگچه‌ای در محل همین خرد شدگی شدید دیده می‌شود (شکل ۱۳).

چاه شماره ۳ در محل ناهنجاری شارژابیلیته بر روی پروفیل C-C حفار گردیده است (شکل ۱۳. الف-ب). بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در این چاه

انطباق ناهنجاری‌های IP/RS و نتایج گمانه‌های حفاری

چاه شماره ۴ در حد فاصل بین دو پروفیل A-A و B-B حفار گردیده است (شکل ۱۲). بالا بودن مقاومت ویژه در محل ناهنجاری شارژابیلیته (A) از عمق حدود ۲۰ تا ۴۰ متری بر روی پروفیل IP/RS با توجه به نقشه چاه-نگاری (چاه شماره ۴) (شکل ۱۳. الف-ب)، منطبق بر واحد برش ولکانیکی همچنین در عمق حدود ۱۲ متری خرد شدگی شدید و دگرسانی آرژیلیک شدید مشاهده می‌شود که در چاه شماره ۳ نیز در عمق ۱۶ تا ۱۸ متری مشاهده می‌شود که می‌تواند مربوط به وجود گسل باشد که داده‌های IP/RS در پروفیل A-A نیز آن را تایید می‌کند. بخشی از ناهنجاری‌های

توجه نبودن کانی سازی در این چاه حفاری در عمق ۲۲ متری متوقف شده است.

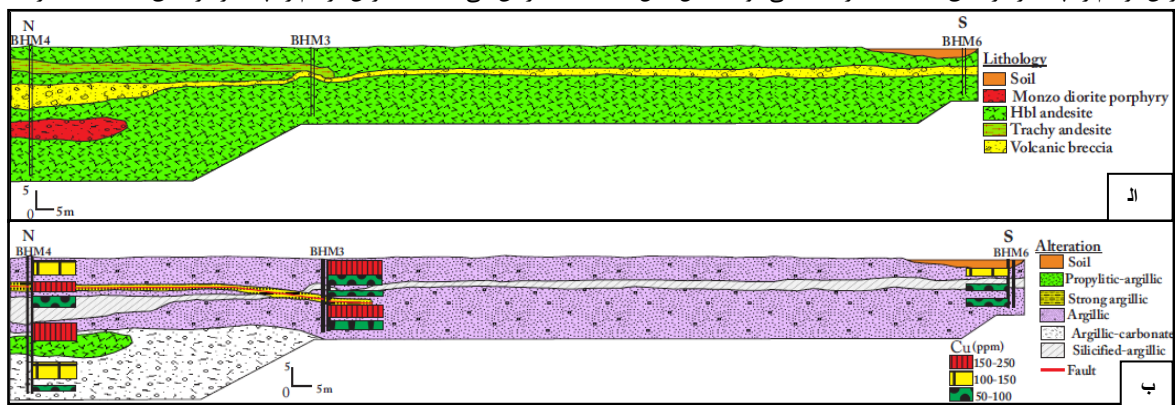
چاه شماره ۱ بر روی پروفیل M-M حفر شده است (شکل ۱۴. الف-ب). بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در این چاه از عمق ۲۰ تا ۳۰ و ۵۰ تا ۶۲ متر برای مس، ۱۷۷ گرم در تن و روی، ۲۲۷ گرم در تن می باشد. بیشترین تراکم رگچه نیز در عمق ۵۰ تا ۶۲ متر دیده می شود. مقاوت پایین در پروفیل IP/RS به دلیل آلتراسیون آرژیلیک بوده که واحدهای هورنبلند آندزیت را تحت تاثیر قرار داده است. همچنین واحد پیروکسن دیوریت پورفیری در عمق ۴۵ تا ۵۰ متری شناسایی شد.

چاه شماره ۵ در حد فاصل پروفیل‌های D-D و E-E حفر گردیده است (شکل ۱۳. الف-ب). در شبه مقطع مقاوم ویژه در محل بی‌هنجاری کاهش در میزان مقاوت ویژه تا ۱۶ اهم‌متر را نشان می‌دهد که مربوط دگرسانی آرژیلیک می باشد که واحد هورنبلند آندزیت را تحت تاثیر قرار داده است. این زون بی‌هنجاری در پروفیل E-E نیز قابل تشخیص می‌باشد. بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در این چاه از عمق ۷ تا ۱۰ و ۲۵ تا ۳۵ متری برای مس، ۱۱۸ گرم در تن و روی، ۱۴۳ گرم در تن می‌باشد. بیشترین تراکم رگچه نیز در عمق ۲۵ تا ۴۰ متر دیده می‌شود.

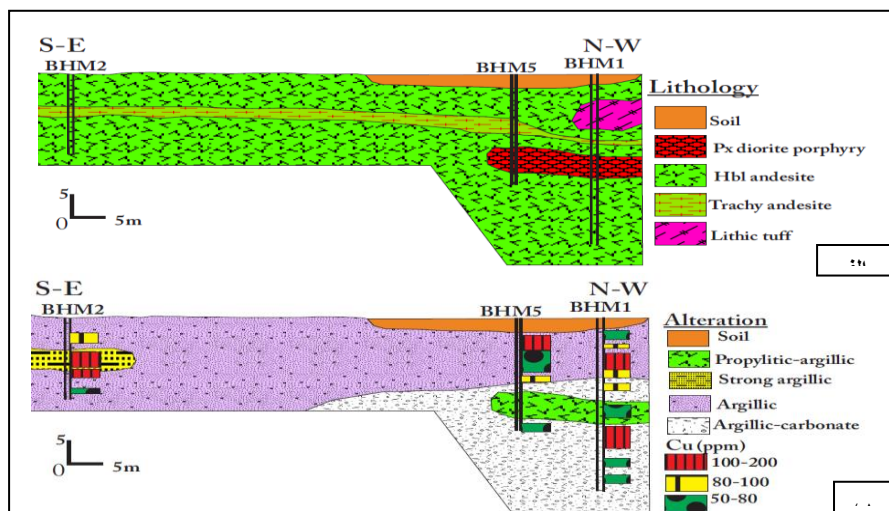
چاه شماره ۲ بر روی ناهنجاری شارژابیلیته بر روی پروفیل H-H حفر گردیده است (شکل ۱۳. الف-ب). بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در این چاه از عمق ۷ تا ۱۰ و ۲۰ تا ۳۵ متر برای مس، ۱۸۰ گرم در تن و روی، ۱۴۳ گرم در تن می‌باشد. بیشترین تراکم رگچه نیز در عمق ۲۰ تا ۳۰ متر دیده می‌شود.

از عمق ۵ تا ۱۰ متر و ۱۸ تا ۳۰ متری برای مس، ۱۸۵ گرم در تن می باشد. ناهنجاری ژئوشیمیایی در این چاه برای روی بین ۱۰۷ تا ۳۱۷ گرم در تن می باشد. بیشترین تراکم رگچه نیز در عمق ۲۵ تا ۳۵ متر دیده می‌شود. در شبه مقطع مقاوم ویژه در محل همین بی‌هنجاری کاهش در میزان مقاوت ویژه را نشان می‌دهد که مربوط به دگرسانی آرژیلیک می باشد که واحد هورنبلند آندزیت را تحت تاثیر قرار داده است. همچنین در عمق ۱۶ تا ۱۸ متری خرد شدگی و دگرسانی شدید آرژیلیکی دیده می شود که می تواند مربوط به وجود گسلی باشد که در چاه شماره ۴ نیز قابل رویت می‌باشد. همانند چاه شماره ۴ بخشی از ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و کانی‌سازی رگچه‌ای در محل همین خرد شدگی دیده می‌شود.

چاه شماره ۶ بین پروفیل‌های K-K و L-L و در نزدیکی پروفیل K-K در محل ناهنجاری شارژابیلیته مشاهده شده حفر گردیده است (شکل ۱۳. الف-ب). بالا بودن مقاوم ویژه در محل ناهنجاری شارژابیلیته مربوط به واحد برش ولکانیکی می باشد که دچار دگرسانی سیلیسی-کربناته شده است. همچنین دگرسانی آرژیلیک در محل چاه شماره ۶ و در واحد هورنبلند آندزیت کمتر تاثیر داشته و دگرسانی آرژیلیک ضعیف می‌باشد. کانی‌سازی عمدتاً به صورت پراکنده و میزان کمتر به صورت رگچه‌ای و شامل اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و به میزان کمتر کالکوزیت، کوولیت و مالاکیت بوده که از عمق ۷ تا ۲۲ متری دیده می‌شود. بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در این چاه از عمق ۷ تا ۱۲ متر برای مس، ۱۱۰ گرم در تن و روی، ۹۸ گرم در تن می‌باشد. بیشترین تراکم رگچه نیز در عمق ۷ تا ۱۰ متر دیده می‌شود. بدلیل قابل



شکل ۱۳. نمودار چاه‌نگاری چاه‌های شماره ۳، ۴ و ۶ (الف) لیتولوژی (ب) دگرسانی و ژئوشیمی.



شکل ۱۴. نمودار چاه‌نگاری چاه‌های شماره ۱، ۲ و ۵ (الف) لیتولوژی (ب) دگرسانی و ژئوشیمی.

نتیجه گیری

انطباق خوبی بین میزان شارژابیلیته، کانی سازی سولفیدی و بی-هنجاری-های ژئوشیمیایی در مغزه‌ها مشاهده گردید. دگرسانی غالب در مغزه‌ها آرژیلیک است که بین این دگرسانی و مکان‌های دارای بیشترین مقدار ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و کانی سازی هم‌آهنگی وجود دارد. کانی سازی غالب در مغزه‌ها به صورت رگچه‌ای بوده است. به دلیل تاثیر فرآیندهای ثانویه بر کانی سازی اولیه، کانی سازی ثانویه اکسیدی-سولفیدی گسترش وسیعی در عمق داشته است. کانی سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی در رگچه‌ها شامل مالاکیت، آزوریت، کالکوزیت، کوولیت، همتایت و گوتیت سبب پایین بودن میزان شارژابیلیته (۱۰ تا ۲۸ میلی‌ولت بر ولت) در پروفیل‌های IP/RS شده-است.

در پروفیل‌های IP/RS، بیشترین مقاومت ویژه الکتریکی مربوط به واحد برش ولکانیکی با دگرسانی سیلیسی-کربناته و کمترین میزان مقاومت ویژه مربوط به واحد هورنبلند آندزیت با دگرسانی آرژیلیک می‌باشد که نشان دهنده پاسخ IP/RS به آلتراسیون است. در چاههای شماره ۱، ۲، ۳ و ۵ همراه با

منابع

- ارجمندزاده. ر.، ۱۳۹۰، مطالعات کانی سازی، ژئوشیمی، سن سنجی و تعیین جایگاه نکتونوماگمایی توده‌های نفوذی در اندیس معدنی ده سلم و چاه شلجی، بلوک لوت، شرق ایران، رساله دکتری (Ph.D) زمین شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۶۹ صفحه.
- اشتوکلین. ج.، نبوی. م.ح.، ۱۹۶۹، نقشه زمین شناسی بشرویه، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- آقانیاتی. س.ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- اکتشاف نیمه تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سرایان، ۱۳۸۶، شرکت پارس کانی و شرکت تحقیق و گسترش صنایع معدنی، ۲۰۵ ص.
- جاویدی مقدم، م.، کریم پور. م.ح.، ملک زاده شفاوردی. آ.، حیدریان شهری. م.، ج.، ۱۳۹۳ الف، زمین شناسی، دگرسانی، کانی سازی و ژئوشیمی محدوده اکتشافی شکسته سبز شمال غرب بیرجند، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳ (۲۲)، ص ۵۰۷-۵۲۰.
- جاویدی مقدم، م.، کریم پور. م.ح.، ملک زاده شفاوردی. آ.، حیدریان شهری. م.، ج.، ۱۳۹۳ ب، تلفیق داده‌های زمین فیزیکی با حفاری‌های اکتشافی در محدوده مرکزی منطقه شکسته سبز، شمال غرب بیرجند، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۲، ص ۲۵-۴۰.
- جمع. ع.ر.، ۱۳۸۷، پروژه اکتشاف تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سرایان، سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی، ۲۰۴ ص.
- طالع فاضل. ا.، ۱۳۸۸، بررسی ژئوشیمی، سیالات درگیر و وزن کانسار پلی متال شوراب (جنوب فردوس)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۸۰ صفحه.
- عدی. م.، کریم پور. م. ح.، ۱۳۹۱، زمین شناسی، دگرسانی، کانه زایی، پتروژنز، سن سنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوابرد اکتشافی منطقه کوه شاه، جنوب غربی بیرجند، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۱ (۴)، ص ۷۷-۱۰۷.
- لطفی. م.، ۱۹۹۵، نقشه زمین شناسی سارغنج، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- ملکزاده شفاوردی. الف.، ۱۳۸۸، زمین شناسی، کانی سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشاء کانی سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خویبک، استان خراسان جنوبی، رساله دکتری (Ph.D) زمین شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۰۰ صفحه.
- ملکزاده شفاوردی. آ.، کریم پور. م.ح.، ۱۳۹۱، زمین شناسی، کانی سازی و مطالعات سیالات درگیر کانسار سرب-روی-مس حوض رئیس، شرق ایران، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۶، ص ۶۳-۷۳.
- Alavi. M., 1991, Tectonic map of the Middle East, scale 1:2,900,000, Geological Survey of Iran.
- Berberian. M., King. G.C.P., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Canadian Journal of Earth Sciences, Vol: 18, No: 2, p: 210-265.
- Bishop. J.R., Lewis. R.J.G., 1992, Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive sulfide deposits, Economic Geology, Vol: 87, No: 3, p: 913-930.
- Busuttil. S., Law. S., 2001, The geophysics of the Kalkaroo prospect, Olary Domain, South Australia, Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits, No: 13, p: 121-126.
- Dobrin. M.B., 1988, Geophysical prospecting McGraw Hill international, 886 p.
- Esdale. D.J., Pridmore. D.F., Coggen. J.H., Muir. P.M., Williams. P.K., Fritz. F.P., 1987, Olympic Dam deposit- Geophysical case history, 5th ASEG Conference, p: 47-49.
- Guo. W., Dentith. M., Zhao. Y., 2000, Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc Orefield Gansu Province, China, Exploration Geophysics, Vol: 31, No: 2, p: 243-247.
- Haydon. S.J., 1999, Geophysical and exploration of the volcanic hosted massive sulphide prospect near Wickliffe, western Victoria, Australian Society of Exploration Geophysics special publication, No: 11 p: 67-80.

- Rajagopalan. S., 1999, Porphyry-type copper deposits, eastern Victoria, Australian Society of Exploration Geophysics special publication, No: 11, p: 113-136.
- Rajagopalan. S., Haydon. S.J., 1999, The Benambra volcanic hosted massive sulphide deposits, Australian Society of Exploration Geophysics special publication, No: 11, p: 23-65.
- Ruttner. A., Stöcklin. J., 1967, Geological map of Iran, scale 1:1000, 000, Geological Survey of Iran.
- Shah. A., Bedrosian. P., Anderson. E., Kelley. K., Lang. J., 2009, Geophysical data used to characterize the regional setting of the Pebble porphyry deposit in southwest Alaska, Geological Society of America Abstracts with Programs, Vol: 41, No: 7, p: 493.
- Shah. A., Bedrosian. P., Anderson. E., Kelley. K., Lang. J., 2013, Integrated geophysical imaging of a concealed mineral deposit: A case study of the world-class Pebble porphyry deposit in southwestern Alaska, Geophysics, Vol: 78, No: 5, p: 317-328.
- Willocks. A. j., Moore. D. H., 1999, Geology and geophysical exploration of base metals in Victoria, geology survey of Victoria Report 119, Australian Society of Exploration Geophysics special. Publication, No: 11, p: 1-22.