

## تلفیق داده‌های زمین‌فیزیکی با حفاری‌های اکتشافی در محدوده مرکزی منطقه شکسته‌سبز

## شمال غرب بیرجند

مریم جاویدی مقدم

دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی، مشهد

محمد حسن کریم پور

استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

محمد رضا حیدریان شهری

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

آزاده ملک زاده سفارودی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱۷

javidi\_geo@yahoo.com

## چکیده

منطقه شکسته‌سبز در شرق ایران و در ۹۶ کیلومتری شمال غرب بیرجند واقع شده است. این محدوده شامل برونزدهایی از آتشفشانی‌های پالئوسن-انوسن با ترکیب آندزیتی بوده که واحدهای نیمه‌عمیق در آنها نفوذ کرده است. کانی‌سازی به اشکال رگه‌ای و رگچه‌ای دیده می‌شود. به دلیل وجود آثار شدادی و کانی‌سازی رگه‌ای، نمونه‌برداری‌های زمین‌شیمیایی و برداشت‌های مغناطیسی در مرکز منطقه صورت گرفته است. محدوده تغییرات عناصر در نمونه‌های زمین‌شیمیایی سطحی بر مبنای سنگ برای مس ۲۴۰۰۰-۲۸ گرم در تن، روی ۶۶۵-۱۴ گرم در تن و سرب ۳۹۴-۲ گرم در تن می‌باشد. پروفیل‌های شدت کل میدان مغناطیسی و نقشه‌های RTP Grey Scale Sunshade دو نوع ساختار خطی (گسل) را در محدوده برداشت‌های مغناطیس‌سنجی بارزسازی کردند. برای شناسایی رگه‌ها در عمق، در محلی با کمترین شدت میدان مغناطیسی پروفیل IP/RS برداشت گردیده است. تلفیق نتایج حفاری با نتایج داده‌های زمین‌فیزیکی نشان داد گمانه‌هایی با بیشترین ناهنجاری زمین‌شیمیایی و کانی‌سازی در محل‌هایی با شدت میدان مغناطیسی بالا، منطبق بر واحد لیتیک توف حفر شده‌اند. بنابراین آنومالی مغناطیسی ردیاب سنگ میزبان کانی‌سازی (لیتیک توف) می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** بلوک لوت، مگنتومتری، IP/RS، زمین‌شیمی، شکسته‌سبز.

## مقدمه

منطقه اکتشافی شکسته‌سبز در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های جغرافیایی  $21^{\circ}58'$  تا  $23^{\circ}48'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ}14'$  تا  $33^{\circ}42'$  شمالی و در فاصله ۹۶ کیلومتری شمال غرب بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع شده است (شکل ۱). این محدوده در شمال روستای خور قرار گرفته است. شمال خور به دلیل حجم عظیم سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای نوع سرب، روی و مس (شورک) و مس (شکسته‌سبز، 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، نیمه‌تفصیلی و تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سرایان مربوط به سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی، توسط شرکت پارس کانی و شرکت ایتوک انجام شده است. منطقه شکسته‌سبز نیز قسمتی از این پروژه اکتشافی بوده است. شرکت ایتوک اطلاعاتی درباره زمین‌شناسی و زمین‌شیمی ارائه نموده و شرکت پارس کانی برداشت‌های زمین‌فیزیکی را در منطقه انجام داده است (جمع، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷). اطلاعات زمین‌فیزیکی توأم با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی و زمین‌شیمی محل‌های مناسب برای حفاری را تعیین و در صورت موفقیت مقدار ذخیره کانسار نیز تخمین زده می‌شود. در سطح جهانی نمونه‌های فراوانی از استفاده از IP/RS و مغناطیس‌سنجی در اکتشاف ذخایر دیده می‌شود (Barr et al., 1979; Bishop and Lewis, 1992; Esdale et al., 1987; Tarlowski et al., 1997; Willocks and Moore, 1999; Willocks, 1999; Rajagopalan and Haydon, 1999;

Rajagopalan, 1999; Haydon, 1999; Guo et al., 2000; White et al., 2001; Busuttill and Law, 2001; Dentith and Stuart, 2002; Karen and Barry, 2005, Sultan, 2009; Shah et al., 2009).

هدف از این کار پژوهشی، تفسیر برداشت‌های مغناطیس‌سنجی زمینی و IP/RS بوسیله مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و داده‌های زمین‌شیمیایی سطحی و تحت‌الارضی برای اکتشاف بخش‌های پنهان کانی-سازی در منطقه‌ای به وسعت تقریبی یک کیلومتر مربع در مرکز منطقه شکسته‌سبز می‌باشد.

## روش مطالعه

برای دستیابی به اکتشاف بخش‌های پنهان کانی‌سازی مطالعات زیر در محدوده مورد مطالعه صورت گرفته است:

\* مطالعه حدود ۱۵۰ مقطع نازک، نازک صیقلی و بلوک صیقلی از نمونه‌های سطحی و زیرسطحی به منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی سطحی و زیر سطحی. نمونه‌برداری از واحدهای لیتیک توف، برش آتشفشانی، آندزیت، واحدهای آذرآواری بین لایه‌ای با برش آتشفشانی و رگه‌های دارای کانی‌سازی انجام گرفت. بطوریکه نمونه‌برداری هم در سطح و هم از مغزه‌ها صورت گرفت.

\* تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و دگرسانی سطحی رقومی از منطقه شکسته-سبز به وسعت ۲۰ کیلومتر مربع با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و از مرکز منطقه شکسته‌سبز با وسعت تقریبی یک کیلومتر مربع با مقیاس ۱:۵۰۰۰.

\*مطالعه و تفسیر داده‌های زمین‌شیمیایی بر مبنای ۱۴۵ نمونه خرده‌سنگی سطحی، حاصل از برداشت‌های سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی به روش ICP-MS که در آزمایشگاه ALS-CHEMX کشور کانادا انجام شده است (جمع، ۱۳۸۷) (جدول ۱).

\*اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بیش از ۲۰۰ نمونه از واحدهای آذرآواری، آتشفشانی و نفوذی و نمونه‌های کانی‌سازی سطحی و زیرسطحی.

\*تهیه نقشه‌های TMI، RTP، مشتق اول قائم و فراسو با استفاده از داده‌های خام مغناطیسی برداشت شده توسط شرکت پارس کانی (جمع، ۱۳۸۷)، به کمک نرم افزار ER Mapper.

\*تهیه نمودارهای چاه‌نگاری زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و زمین‌شیمی ۶ چاه با مقیاس ۱:۱۰۰، در مجموع ۲۹۱/۷ متر حفاری اکتشافی.

\*تفسیر برداشت‌های مغناطیسی‌سنجی زمینی و IP/RS با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و زمین‌شیمی سطحی و زیر سطحی.

### زمین‌شناسی و دگرسانی

بلوک لوت که منطقه مورد مطالعه در شمال آن قرار گرفته است، بخشی از خرد قاره ایران مرکزی است (آقانباتی، ۱۳۸۳). منطقه مورد مطالعه در شمال غرب بیرجند و در برگه ۱/۲۵۰۰۰۰ بشرویه (اشتوکلین و نبوی، ۱۹۶۹) و در قسمت جنوب شرق نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سارغنج (لطفی، ۱۹۹۵) قرار دارد. با تاکید بر روی محدوده اصلی کانی‌سازی و دگرسانی، نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه گردید (شکل ۲-الف). براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی شناسایی شده در گستره پی‌جویی شکسته‌سبز را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد: ۱- سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری پالئوسن- ائوسن ۲- توده‌های نیمه‌عمیق هورنبلند پیروکسن دیوریت پورفیری و هورنبلند دیوریت پورفیری که برای اولین بار شناسایی شدند و در سنگ‌های آتشفشانی نفوذ نموده‌اند. ۳- تراسه‌های آبرفتی متعدد و رسوبات رودخانه‌های عهدحاضر (جاویدی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۲). از محل برداشت‌های زمین‌فیزیکی در مرکز منطقه نقشه ۱:۵۰۰۰ تهیه شد. در بخش مرکزی واحدهای آذرآواری بین لایه‌ای با برش آتشفشانی و لیتیک توف در سطح رخنمون دارند (شکل ۲-ب). چهار نوع دگرسانی اصلی در سطح و بخش مرکزی منطقه شناسایی شده است که عبارتند از: ۱- پروپلیتیک-آرژیلیک ۲- آرژیلیک-پروپلیتیک ۳- سیلیسی-کربناته و ۴- آرژیلیک-کربناته-پروپلیتیک. دگرسانی‌های پروپلیتیک-آرژیلیک و سیلیسی-کربناته در مرکز منطقه بیشترین گسترش را نشان می‌دهند (شکل ۲-ب).

دگرسانی آرژیلیک-پروپلیتیک عمدتاً واحدهای لیتیک توف و آذرآواری-های بین لایه‌ای با برش آتشفشانی را تحت تاثیر قرار داده است. در این دگرسانی پلاژیوکلازهای موجود در قطعات سنگی، دگرسان شده و اغلب به رس (۱۰-۱۵ درصد) و به‌طور بخشی به اپیدوت (۳ تا ۵ درصد) و کلسیت (کمتر از ۲ درصد) دگرسان شده‌اند. اغلب کانی‌های فرمونیزین کلریتی (۲ تا ۵ درصد) شده‌اند. دگرسانی سیلیسی-کربناته عمدتاً در واحد برش آتشفشانی ایجاد شده است. در این دگرسانی زمینه سنگ ۳-۵ درصد سیلیسی شده است. کلسیت گاه تا بیش از ۱۰ درصد در این زون دیده می‌شود. دگرسانی پروپلیتیک-آرژیلیک واحد آذرآواری‌های بین لایه‌ای با برش آتشفشانی را تحت تاثیر قرار داده است. در این دگرسانی کانی‌های پلاژیوکلاز به‌طور بخشی به اپیدوت (۵ تا ۷ درصد) و کربنات (۳ درصد) دگرسان شده‌اند. کانی‌های پلاژیوکلاز نیز به کانی‌های رسی (۵ تا ۱۲ درصد) دگرسان شده‌اند. دگرسانی آرژیلیک-کربناته-پروپلیتیک در واحد لیتیک توف ایجاد شده است. در این دگرسانی پلاژیوکلازها علاوه بر تبدیل شدن به کانی‌های رسی (۵-۱۲ درصد)،

تبدیل شدگی آنها را به کلسیت (تا ۷ درصد) شاهد هستیم. هورنبلندها تا حدودی کلریتی (کمتر از ۵ درصد) شده‌اند. همچنین در بعضی قسمت‌ها پلاژیوکلازها در امتداد ماکل به اپیدوت (۲ تا ۵ درصد) تبدیل شده‌اند.

### کانی‌سازی و زمین‌شیمی

کانی‌سازی در محدوده شکسته‌سبز به شکل رگه‌ای و رگچه‌ای دیده می‌شود. امتداد رگه‌ها عمدتاً شمال غرب- جنوب شرق تا شمال شرق- جنوب غرب با شیب ۸۵ درجه تا قائم و عرض حداکثر یک متر می‌باشند. طبق شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، دگرسانی سیلیسی و آرژیلیکی عمده‌ترین دگرسانی حاشیه رگه‌ها بوده و ضخامت آنها از چند سانتیمتر تا یک متر متغیر است. به دلیل تاثیر شدید فرآیندهای هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی در منطقه گسترش وسیعی یافته است. با توجه به مجموعه کانی‌شناسی پدید آمده، کانی‌سازی عمده در سطح شامل مالاکیت، آزوریت، اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و به میزان کمتر کانی‌های سولفیدی مس از جمله کولیت و کالکوزیت می‌باشد.

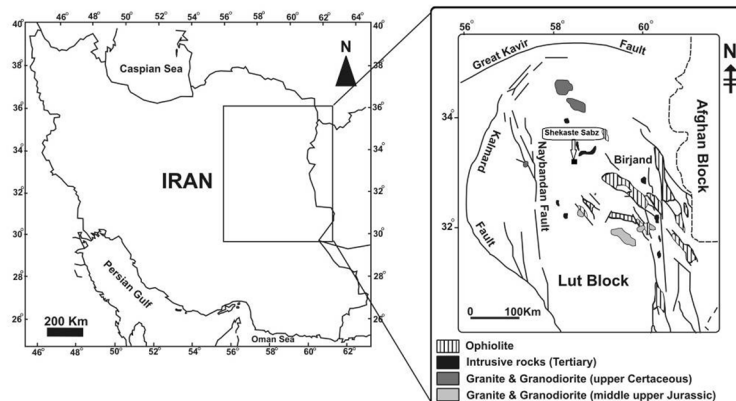
در مطالعات زمین‌شیمیایی بر مبنای سنگ، داده‌های حاصل از آنالیز ۱۴۵ نمونه که توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی انجام گرفته است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جمع، ۱۳۸۷) (جدول ۱). برداشت این نمونه‌ها در یک شبکه بندی منظم و به روش خرده‌سنگی در بخش مرکزی منطقه و همچنین در محل ترانشه‌ها، از داخل ترانشه‌ها صورت گرفته است. آنالیز نمونه‌های زمین‌شیمیایی بر مبنای سنگ برداشت شده در آزمایشگاه ALS-CHEMX کانادا به روش ICP-MS بوده است (جمع، ۱۳۸۷). در ۱۴۵ نمونه برداشت شده میزان تغییرات مس ۲۴۰۰۰-۲۸ گرم در تن (شکل ۳-الف)، سرب ۲-۳۹۴ گرم در تن، روی ۶۶۵-۱۴ گرم در تن، نقره ۶۱۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم در تن (شکل ۳-ب)، و مولیبدن ۱۸۰-۰ میلی‌گرم در تن می‌باشد. بیشترین بی‌هنجاری‌های مس در مرکز منطقه مربوط به واحد لیتیک توف با دگرسانی آرژیلیک-پروپلیتیک می‌باشد (شکل ۳-الف). همچنین بیشترین بی‌هنجاری‌های مس دارای روند شمال غرب- جنوب شرق تا شمالی جنوبی می‌باشند. کانی‌سازی در واحد لیتیک توف به صورت رگه‌ای در سطح دیده می‌شود. بیشترین بی‌هنجاری‌های نقره در مرکز منطقه مربوط به واحد لیتیک توف با دگرسانی آرژیلیک-پروپلیتیک می‌باشد (شکل ۳-ب). سرب و روی بی‌هنجاری قابل توجهی نشان نمی‌دهند. بنابراین می‌توان گفت بیشترین بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی در واحد لیتیک توف با دگرسانی آرژیلیک-پروپلیتیک می‌باشد.

### برداشت‌های مغناطیسی‌سنجی

به علت وجود کانی‌سازی‌های رگه‌ای، آثار کنده‌کاری‌های قدیمی و ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی در مرکز منطقه، این محدوده جهت عملیات مغناطیسی‌سنجی زمینی انتخاب شده است. برداشت‌های مغناطیسی‌سنجی در ۱۶ پروفیل با راستای شمالی-جنوبی و فواصل ۵۰ متر از یکدیگر صورت گرفته است (شکل ۴). در مجموع شدت کل میدان مغناطیسی در ۲۸۱ نقطه اندازه‌گیری شده است. دستگاه مغناطیسی‌سنجی مورد استفاده در این پژوهش از نوع ENVIMAG با دقت ۰/۱ گاما، ساخت شرکت سینترکس کانادا می‌باشد (جمع، ۱۳۸۷). محدوده تغییرات شدت کل میدان از ۴۶۹۵۵ تا ۴۸۳۸۵ گاما بوده است. به منظور تصحیح روزانه از روش Tie line در اندازه‌گیری‌های مغناطیسی‌سنجی زمینی استفاده شده است. پس از انجام تصحیح روزانه بر روی داده‌های حاصل از مغناطیسی‌سنجی زمینی، نیمرخ شدت کل میدان مغناطیسی بر حسب فاصله برای هر پروفیل ترسیم گردید. در منطقه مورد مطالعه میدان مغناطیسی اصلی زمین با استفاده از برنامه اینترنتی IGRF

۲/۹ با در نظر گرفتن زمان برداشت و طول و عرض جغرافیایی منطقه بدست آمد. محصول نهایی پردازش داده‌ها، نقشه‌های مغناطیسی مختلف بوده که هر کدام اطلاعات خاصی را در ارتباط با ناهنجاری‌های مغناطیسی نشان می‌دهد.

مقدار ۴۷۶۰۰ گاما در نظر گرفته شده است (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>). بنابراین مقادیر بالاتر یا پایین تر از این مقدار ناهنجاری محسوب می‌گردد. همچنین زاویه میل و انحراف بر اساس این برنامه به ترتیب ۵۰/۸ و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه اکتشافی شکسته‌سبز در شرق ایران و بلوک لوت (Tarkian et al., 1983).

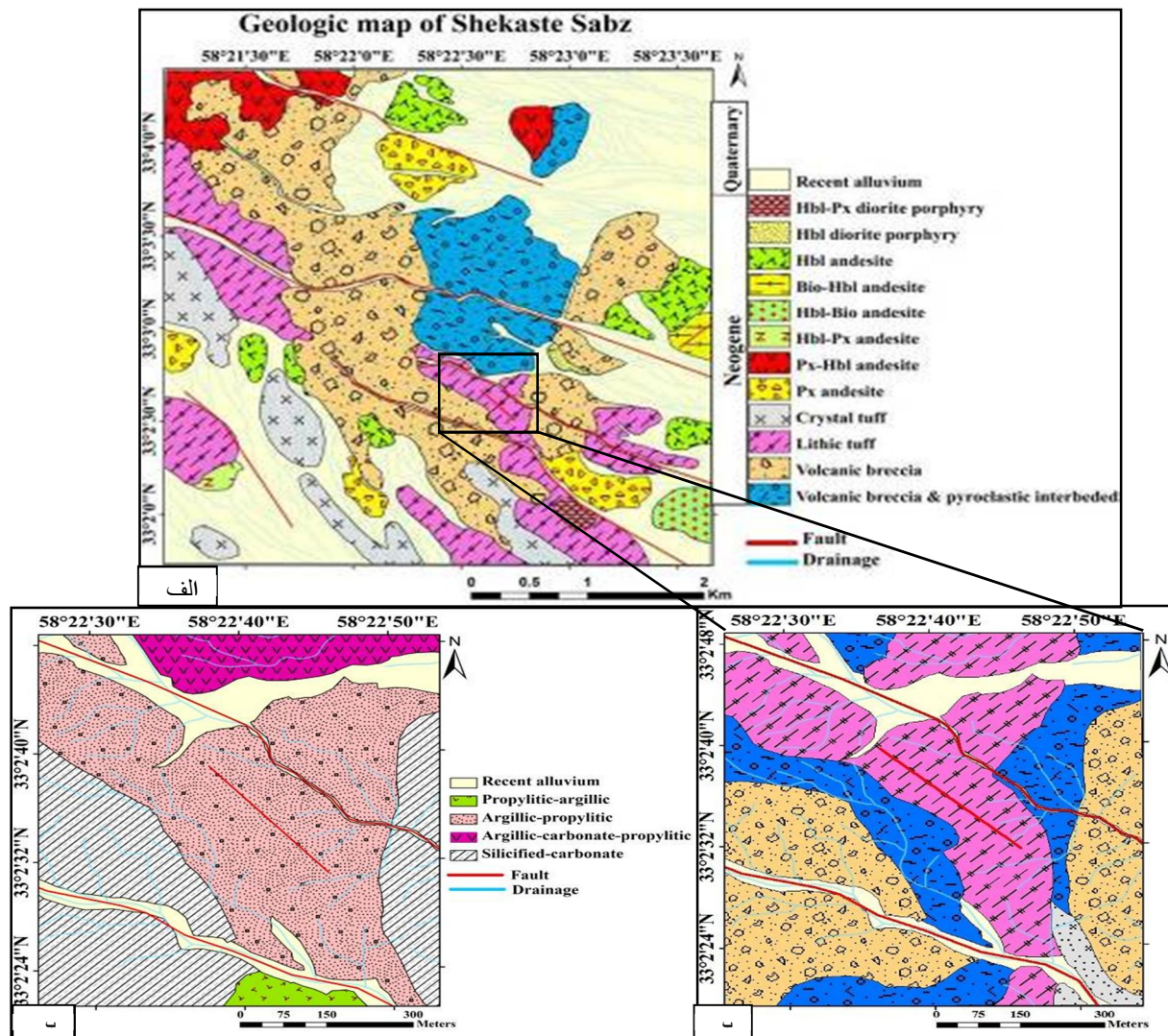
جدول ۱. نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی به روش خرده‌سنگی در بخش مرکزی منطقه شکسته‌سبز (جمع، ۱۳۸۷).

Sample NO.	X	Y	As(ppb)	Cu(ppm)	Ag(ppb)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
۱	۶۲۸۵۴۰	۳۶۵۶۹۶۰	۴۰۰۰	۸۲	۲۰۰	۱	۹	۴۸
۲	۶۲۸۵۴۰	۳۶۵۷۰۰۰	۶۰۰۰	۸۲	۲۰۰	۲	۱۳	۴۸
۳	۶۲۸۵۴۰	۳۶۵۷۰۴۰	۷۰۰۰	۵۱	۲۰۰	۱	۹	۵۴
۴	۶۲۸۵۴۰	۳۶۵۷۰۸۰	۶۰۰۰	۵۸	۲۰۰	۱	۷	۶۳
۵	۶۲۸۴۸۰	۳۶۵۷۱۶۰	۶۰۰۰	۵۹	۲۰۰	۲	۷	۷۶
۶	۶۲۸۴۸۰	۳۶۵۷۱۲۰	۵۰۰۰	۱۰۹	۲۰۰	۲	۶	۷۳
۷	۶۲۸۴۸۰	۳۶۵۷۰۸۰	۲۰۰۰	۸۵	۲۰۰	۱	۲	۱۴
۸	۶۲۸۴۸۰	۳۶۵۷۰۴۰	۴۰۰۰	۴۰	۲۰۰	۱	۷	۳۹
۹	۶۲۸۴۸۰	۳۶۵۷۰۰۰	۵۰۰۰	۸۹	۲۰۰	۱	۷	۵۵
۱۰	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۲۰۰	۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰۰	۱۷۴	۱۰	۲۷
۱۱	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۱۶۰	۶۰۰۰	۷۹	۲۰۰	۲	۱۰	۵۲
۱۲	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۱۲۰	۵۰۰۰	۹۵	۲۰۰	۱	۹	۴۱
۱۳	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۰۸۰	۲۰۰۰	۵۲	۲۰۰	۱	۸	۴۳
۱۴	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۰۴۰	۴۰۰۰	۵۰	۲۰۰	۱	۱۰	۵۰
۱۵	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۰۰۰	۳۰۰۰	۲۹۵	۲۰۰	۲	۱۳	۷۲
۱۶	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۹۶۰	۳۰۰۰	۹۹	۲۰۰	۱	۱۰	۵۷
۱۷	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۹۲۰	۶۰۰۰	۵۰	۲۰۰	۱	۱۳	۷۱
۱۸	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۸۸۰	۳۰۰۰	۴۶	۲۰۰	۱	۹	۵۴
۱۹	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۸۴۰	۵۰۰۰	۲۳۶	۲۰۰	۱	۱۴	۱۰۱
۲۰	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۸۰۰	۴۰۰۰	۵۴	۲۰۰	۱	۹	۵۴
۲۱	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۷۶۰	۲۰۰۰	۵۴	۲۰۰	۱	۹	۵۶
۲۲	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۷۲۰	۵۰۰۰	۲۸	۲۰۰	۱	۸	۵۸
۲۳	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۶۸۰	۵۰۰۰	۳۱	۲۰۰	۱	۹	۵۸
۲۴	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۶۴۰	۴۰۰۰	۶۷	۲۰۰	۱	۸	۵۵
۲۵	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۶۰۰	۴۰۰۰	۱۴۷۰	۲۰۰	۱۱۲	۲۴	۸۲
۲۶	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۵۶۰	۸۰۰۰	۸۷	۲۰۰	۱	۹	۶۷
۲۷	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۶۵۲۰	۳۰۰۰	۶۹	۲۰۰	۱	۶	۳۷
۲۸	۶۲۸۹۶۰	۳۶۵۷۱۶۰	۸۰۰۰	۵۰	۳۰۰	۲	۹	۴۸
۲۹	۶۲۸۹۶۰	۳۶۵۷۱۲۰	۶۰۰۰	۱۵۸	۲۰۰	۹	۱۰	۵۰
۳۰	۶۲۸۹۶۰	۳۶۵۷۰۸۰	۲۰۰۰	۳۰	۲۰۰	۱	۶	۵۴
۳۱	۶۲۸۹۶۰	۳۶۵۷۰۴۰	۲۰۰۰	۱۶۶	۲۰۰	۱	۶	۵۷
۳۲	۶۲۸۶۰۰	۳۶۵۷۲۴۰	۵۰۰۰	۵۸	۲۰۰	۱	۴	۷۲
۳۳	۶۲۸۶۰۰	۳۶۵۷۲۰۰	۸۰۰۰	۷۷۸	۲۰۰	۱	۵	۶۸
۳۴	۶۲۸۵۴۰	۳۶۵۷۲۸۰	۲۰۰۰	۷۹	۲۰۰	۱	۸	۵۶
۳۵	۶۲۸۵۴۰	۳۶۵۷۲۴۰	۳۰۰۰	۴۲	۲۰۰	۱	۵	۶۹
۳۶	۶۲۸۶۶۰	۳۶۵۷۲۴۰	۱۲۰۰۰	۴۸	۲۰۰	۱	۶	۷۵
۳۷	۶۲۸۶۶۰	۳۶۵۷۲۸۰	۳۰۰۰	۳۸	۲۰۰	۱	۶	۵۸
۳۸	۶۲۸۶۶۰	۳۶۵۷۳۲۰	۲۰۰۰	۳۹	۲۰۰	۱	۴	۵۹
۳۹	۶۲۸۷۲۰	۳۶۵۷۳۲۰	۳۰۰۰	۵۹	۲۰۰	۱	۵	۶۷
۴۰	۶۲۸۷۲۰	۳۶۵۷۲۸۰	۵۰۰۰	۴۴	۲۰۰	۱	۳	۷۵

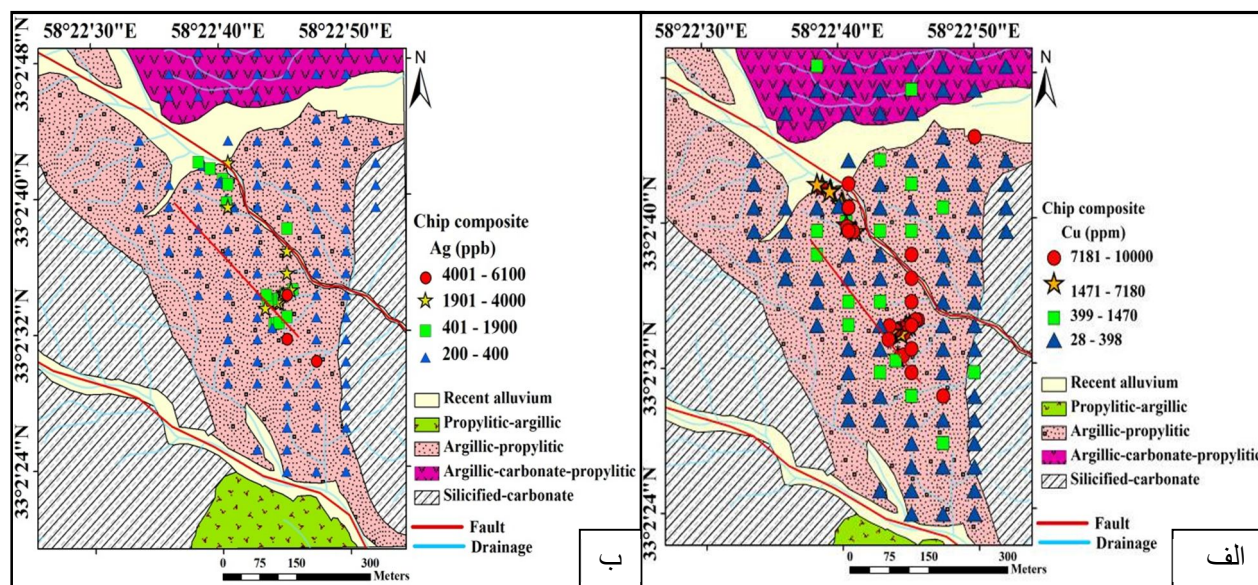
ادامه جدول ۱

۴۱	۶۲۸۷۲۰	۳۶۵۷۲۴۰	۲۰۰۰	۶۷	۲۰۰	۱	۷	۷۱
۴۲	۶۲۸۷۸۰	۳۶۵۷۲۴۰	۲۰۰۰	۶۴	۲۰۰	۱	۴	۷۲
۴۳	۶۲۸۷۸۰	۳۶۵۷۲۸۰	۵۰۰۰	۴۳۸	۲۰۰	۱۴	۴	۷۳
۴۴	۶۲۸۷۸۰	۳۶۵۷۳۲۰	۲۰۰۰	۵۹	۲۰۰	۱	۳	۶۳
۴۵	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۳۲۰	۱۰۰۰۰	۶۴	۲۰۰	۱	۶	۷۱
۴۶	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۳۸۰	۴۰۰۰	۷۲	۲۰۰	۱	۵	۷۱
۴۷	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۳۸۰	۷۰۰۰	۱۰۶	۲۰۰	۱	۶	۶۶
۴۸	۶۲۸۹۰۰	۳۶۵۷۳۲۰	۷۰۰۰	۱۱۱	۲۰۰	۱	۵	۷۴
۴۹	۶۲۸۹۶۰	۳۶۵۷۳۲۰	۲۰۰۰	۳۷۸	۲۰۰	۱	۸	۴۶
۵۰	۶۲۸۹۶۰	۳۶۵۷۱۱۷	۹۰۰۰	۳۱۴۰	۲۰۰	۳	۵	۶۵
۵۱	۶۲۸۹۰۹	۳۶۵۷۱۱۴	۷۰۰۰	۹۰۷۰	۳۰۰	۲	۱۰	۱۰۲
۵۲	۶۲۸۹۲۶	۳۶۵۷۱۱۰	۷۰۰۰	۲۸۴۰	۴۰۰	۵	۲۵	۷۹
۵۳	۶۲۸۹۲۴	۳۶۵۷۱۰۸	۲۰۰۰	۶۱۹۰	۹۰۰	۱۴	۱۷۸	۲۸۷
۵۴	۶۲۸۹۴۹	۳۶۵۷۰۸۹	۱۲۰۰۰	۷۱۸۰	۹۰۰	۹	۴۴	۱۸۷
۵۵	۶۲۸۹۴۶	۳۶۵۷۰۸۷	۱۴۰۰۰	۳۸۷۰	۲۰۰	۱۰	۱۷	۲۷۶
۵۶	۶۲۸۹۴۳	۳۶۵۷۰۸۴	۱۴۰۰۰	۳۶۹	۲۰۰	۱	۷	۷۵
۵۷	۶۲۸۹۴۱	۳۶۵۷۰۸۲	۱۱۰۰۰	۱۵۸	۲۰۰	۱	۶	۷۷
۵۸	۶۲۸۹۵۶	۳۶۵۷۰۵۵	۵۰۰۰	۱۲۰۰	۲۰۰	۲	۱۰	۸۱
۵۹	۶۲۸۹۵۶	۳۶۵۷۰۵۱	۵۰۰۰	۳۹۱۰	۳۰۰	۶۹	۱۷	۶۷
۶۰	۶۲۸۹۵۷	۳۶۵۷۰۴۷	۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۹۰۰	۱۸۷	۴۹	۵۸
۶۱	۶۲۸۹۷۳	۳۶۵۷۰۴۰	۸۰۰۰	۳۷۵۰	۴۰۰	۲	۱۶	۷۶
۶۲	۶۲۸۹۶۹	۳۶۵۷۰۳۹	۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	۴۰۰	۱	۱۳	۵۴
۶۳	۶۲۸۹۷۲	۳۶۵۶۸۸۹	۱۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۴۰۰	۸	۱۰	۶۰
۶۴	۶۲۸۹۸۸	۳۶۵۶۸۸۹	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۳۲۰۰	۲	۱۲	۵۶
۶۵	۶۲۸۹۷۶	۳۶۵۶۸۸۱	۹۰۰۰	۴۲۴۰	۱۷۰۰	۱	۱۱	۷۴
۶۶	۶۲۸۹۷۳	۳۶۵۶۸۸۱	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۴۰۰	۱	۹	۵۵
۶۷	۶۲۸۹۷۰	۳۶۵۶۸۸۰	۱۰۰۰۰	۳۴۹۰	۲۶۰۰	۱	۹	۶۹
۶۸	۶۲۸۹۶۴	۳۶۵۶۸۷۵	۱۱۰۰۰	۷۸۸۰	۳۰۰۰	۸	۹	۶۸
۶۹	۶۲۸۹۶۱	۳۶۵۶۸۷۵	۱۶۰۰۰	۱۰۰۰۰	۳۹۰۰	۳	۱۰	۶۵
۷۰	۶۲۸۹۶۵	۳۶۵۶۸۶۶	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰	۱	۲۰	۷۰
۷۱	۶۲۸۹۶۰	۳۶۵۶۸۶۷	۱۳۰۰۰	۶۶۴۰	۲۶۰۰	۱	۱۲	۷۳
۷۲	۶۲۸۹۵۱	۳۶۵۶۸۷۲	۷۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۹	۲۷	۱۰۸
۷۳	۶۲۸۹۴۸	۳۶۵۶۸۷۲	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۷۰۰	۸	۲۳	۶۸
۷۴	۶۲۸۹۴۳	۳۶۵۶۸۷۰	۶۰۰۰	۵۵۶۰	۱۲۰۰	۳	۱۱	۶۰
۷۵	۶۲۸۹۴۱	۳۶۵۶۸۶۹	۱۸۰۰۰	۶۰۵۰	۱۰۰۰	۲	۱۳	۶۱
۷۶	۶۲۸۹۳۸	۳۶۵۶۸۷۹	۷۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۸۰۰	۱	۹	۶۰
۷۷	۶۲۸۹۳۶	۳۶۵۶۸۵۶	۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۳۰۰	۱	۹	۵۹
۷۸	۶۲۸۹۵۴	۳۶۵۶۸۲۷	۶۰۰۰	۴۶۸۰	۱۱۰۰	۲	۱۰	۱۰۴
۷۹	۶۲۸۹۵۹	۳۶۵۶۸۲۸	۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰	۱۴	۲۰	۱۰۴
۸۰	۶۲۸۹۶۴	۳۶۵۶۸۲۹	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۹۰۰	۷۱	۴۸	۷۴
۸۱	۶۲۸۹۵۰	۳۶۵۶۸۲۰	۸۰۰۰	۱۳۶۵	۴۰۰	۱	۷	۶۸
۸۲	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۵۶۰	۱۱۰۰۰	۲۵۳	۲۰۰	۲	۹	۷۳
۸۳	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۶۴۰	۱۲۰۰۰	۶۶	۲۰۰	-	۱۰	۵۹
۸۴	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۶۸۰	۸۰۰۰	۸۸۰	۲۰۰	-	۱۰	۸۰
۸۵	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۷۲۰	۲۰۰۰	۳۶	۲۰۰	۱	۱۳	۸۶
۸۶	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۷۶۰	۲۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۵۹۰۰	۱	۸	۴۲
۸۷	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۸۰۰	۷۰۰۰	۵۶	۲۰۰	۱	۱۱	۷۷
۸۸	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۸۴۰	۶۰۰۰	۲۸	۲۰۰	۱	۷	۳۸
۸۹	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۸۸۰	۷۰۰۰	۴۴	۲۰۰	-	۶	۸۵
۹۰	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۹۲۰	۷۰۰۰	۴۳	۲۰۰	-	۷	۷۳
۹۱	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۶۹۶۰	۵۰۰۰	۳۷	۲۰۰	-	۴	۹۶
۹۲	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۰۰۰	۶۰۰۰	۸۱	۲۰۰	۱	۱۰	۷۰
۹۳	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۰۴۰	۱۰۰۰۰	۴۲	۲۰۰	-	۱۰	۶۲
۹۴	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۰۸۰	۷۰۰۰	۶۳۶	۲۰۰	۱	۱۰	۵۳
۹۵	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۱۲۰	۶۰۰۰	۶۲	۲۰۰	-	۹	۵۵
۹۶	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۱۶۰	۶۰۰۰	۲۷۷	۲۰۰	-	۵	۶۹
۹۷	۶۲۸۸۴۰	۳۶۵۷۲۰۰	۶۰۰۰	۳۹	۲۰۰	۱	۱۱	۶۶
۹۸	۶۲۸۷۸۰	۳۶۵۷۱۶۰	۷۰۰۰	۶۰	۲۰۰	۱	۸	۷۱
۹۹	۶۲۸۷۸۰	۳۶۵۷۱۲۰	۷۰۰۰	۱۰۷۰	۲۰۰	۴	۹	۶۷
۱۰۰	۶۲۸۷۸۰	۳۶۵۷۰۸۰	۶۰۰۰	۳۵	۲۰۰	-	۸	۷۰



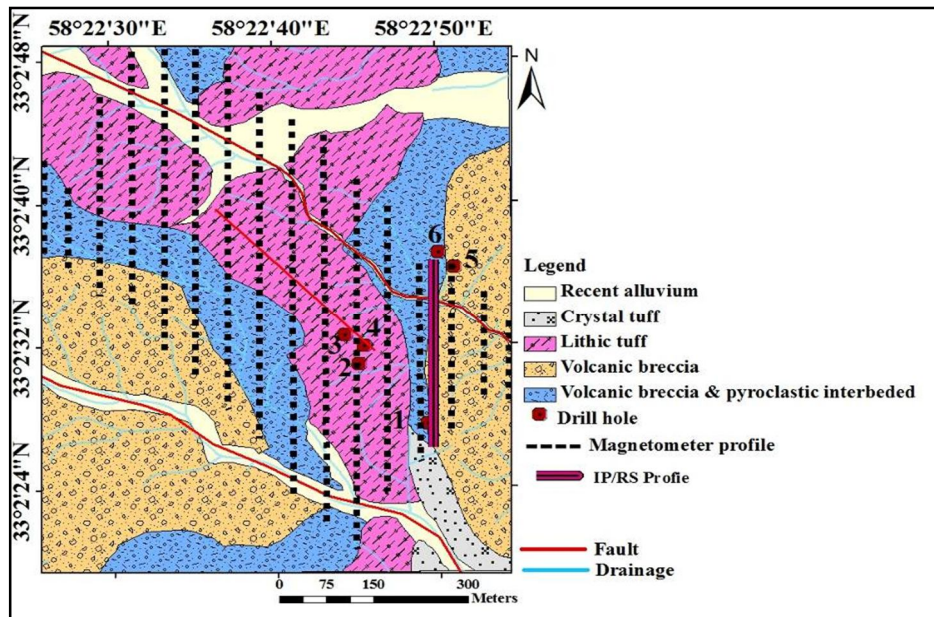


شکل ۲. الف) نقشه زمین‌شناسی منطقه شکسته‌سبز با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، ب) نقشه زمین‌شناسی و پ) نقشه آلتراسیون محدوده مرکزی منطقه شکسته‌سبز با مقیاس ۱:۵۰۰۰.



شکل ۳. الف) نقشه پراکندگی عناصر مس و ب) نقره در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده در مرکز منطقه شکسته‌سبز.





شکل ۴. محل برداشت‌های مغناطیسی، IP/RS و گمانه‌های حفاری بر روی نقشه زمین‌شناسی محدوده مرکزی شکسته‌سبز.

تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی در هر دو جهت بررسی گردد. در (شکل ۶) به عنوان نمونه دو پروفیل یکی در راستای شمالی-جنوبی (شکل ۶-الف) و یکی در راستای شرقی-غربی (شکل ۶-ب) آورده شده است. در این پروفیل‌ها تغییرات ناگهانی در شدت کل میدان مغناطیسی دیده می‌شود که می‌تواند مربوط به وجود گسل در عمق باشد. تغییرات ناگهانی شدت کل میدان مغناطیسی بر حسب مقدار را می‌توان به ۲ دسته تقسیم کرد. این دو دسته شامل تغییرات ناگهانی بین ۱۰۰۰-۸۰۰ گاما و ۵۰۰-۳۰۰ گاما می‌باشند. این تغییرات می‌تواند مربوط به ۲ نوع ساختار خطی (گسل) در عمق باشد.

نقشه‌های مغناطیسی برای نمایش بعضی پدیده‌های ناهنجاری استفاده شده و معمولاً یک نقشه به تنهایی همه اطلاعات را در مورد مجموعه داده‌های مغناطیسی نمی‌دهد، بلکه هر یک از آنها در تشخیص طرح‌های ناهنجاری مغناطیسی مزایای خاص خود را دارند و تفسیر آنها متفاوت است (Gunn, 1996). نقشه رنگی شدت کل میدان مغناطیسی یک تجسم کلی از داده‌های مغناطیسی فراهم کرده و برای تفسیر کلی استفاده می‌شود (Urquhart, 2007). با توجه به نقشه شدت کل میدان (TMI) مشخص شد که محدوده تغییرات شدت کل میدان از ۴۶۹۵۵ تا ۴۸۳۸۵ می‌باشد (شکل ۷-الف). این مقدار تغییرات نمی‌تواند مرتبط به کانی‌سازی مگنتیت باشد بلکه مرتبط با توده‌های نفوذی سری مگنتیت و آذرآواری‌ها با پذیرفتاری‌های بالا (SI  $10^{-5} \times 3200 - 900$ ) در مرکز محدوده شکسته‌سبز می‌باشد. ناهنجاری‌ها به صورت ۲ روند جدا از هم، در جهت شمال‌غرب-جنوب‌شرق دیده می‌شوند. ناهنجاری A، ۲۰۰ متر طول و حداکثر ۵۰ متر گسترش عرضی و ناهنجاری B، ۷۰۰ متر طول و تا حدود ۲۰۰ متر عرض دارد. ناهنجاری شمالی (A) با شدت کمتر و همچنین گسترش طولی و عرضی کمتری می‌باشد (شکل ۷-ب).

از آنجایی که زاویه میل و انحراف مغناطیسی باعث می‌شود ناهنجاری‌های مغناطیسی نسبت به منبع ایجاد کننده خود انحراف داشته باشند، فیلتر RTP بر روی داده‌های مغناطیسی اعمال می‌شود (Clark, 1997). تفسیر اصلی از مجموعه داده‌های مغناطیسی بر روی داده‌های انتقال داده شده به قطب صورت می‌گیرد (Nakatsuka and Okuma, 2006). مقایسه نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (شکل ۷-الف) با نقشه انتقال به قطب (شکل ۷-ب) نشان

به منظور بررسی منابع زمین‌شناسی ناهنجاری‌های مغناطیسی، اندازه-گیری پذیرفتاری مغناطیسی بر روی نمونه‌های سطحی در منطقه شکسته‌سبز صورت گرفت (شکل ۵). پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای آتشفشانی منطقه بین  $SI \times 10^{-5} 2300 - 400$  می‌باشد. مگنتیت در این واحدها به دو صورت وجود دارد. مگنتیت اولیه که در اثر تبلور ماگما در اتاقک ماگمایی ایجاد شده است و مگنتیت ثانویه، که هورنبلندها از حاشیه به اکسیدهای آهن از جمله مگنتیت تبدیل شده‌اند. پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای نیمه عمیق منطقه بین  $SI \times 10^{-5} 1700 - 350$  می‌باشد. تغییرات زیاد در پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای آتشفشانی و نیمه عمیق مربوط به تاثیر دگرسانی‌های مختلف بر این واحدها می‌باشد. واحد لیتیک توف دارای بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه می‌باشد ( $SI \times 10^{-5} 3200 - 900$ ). در این واحد به دلیل وجود لیتیک-هایی با ترکیب آندزیتی و همچنین وجود مگنتیت ثانویه که در حاشیه هورنبلندها شکل گرفته‌اند، پذیرفتاری‌های مغناطیسی بالا است. در این واحد هرچه درصد لیتیک‌ها بیشتر بوده میزان پذیرفتاری مغناطیسی افزایش پیدا می‌کند. واحد برش آتشفشانی نیز دارای کمترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشد. با بررسی تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی می‌توان تاثیر دگرسانی بر واحدها را بررسی کرد (Nabighian et al., 2005; Shah et al., 2013). واحدهای بخش مرکزی محدوده شکسته‌سبز عمدتاً تحت تاثیر دگرسانی آرژیلیک بوده و به میزان کمتر تحت تاثیر دگرسانی پروپلیتیک قرار گرفته‌اند.

مطالعات بر روی دگرسانی واحدها و تاثیر آن بر روی پذیرفتاری مغناطیسی نشان می‌دهد، واحدهایی که تحت دگرسانی پروپلیتیک قرار گرفته‌اند، پذیرفتاری بیشتر و واحدهایی که تحت تاثیر دگرسانی آرژیلیک قرار گرفته‌اند پذیرفتاری مغناطیسی کمتری را نسبت به سنگ‌های کمتر دگرسان شده نشان می‌دهند (شکل ۵). دگرسانی آرژیلیک باعث تخریب مگنتیت و در نتیجه کاهش پذیرفتاری مغناطیسی می‌شود (Shah et al., 2013). طبق نتایج پذیرفتاری مغناطیسی، به سمت مرکز محدوده و کانی‌سازی رگه‌ای، سنگ‌ها بیشتر دچار دگرسانی آرژیلیک قرار گرفته و پذیرفتاری مغناطیسی کمتری را نسبت به همان واحدها با فاصله از کانی‌سازی رگه‌ای در مرکز نشان می‌دهند. پروفیل‌های شدت کل میدان مغناطیسی در راستای شمالی-جنوبی (راستای برداشت) و شرقی-غربی (عمود بر راستای برداشت) رسم شدند تا

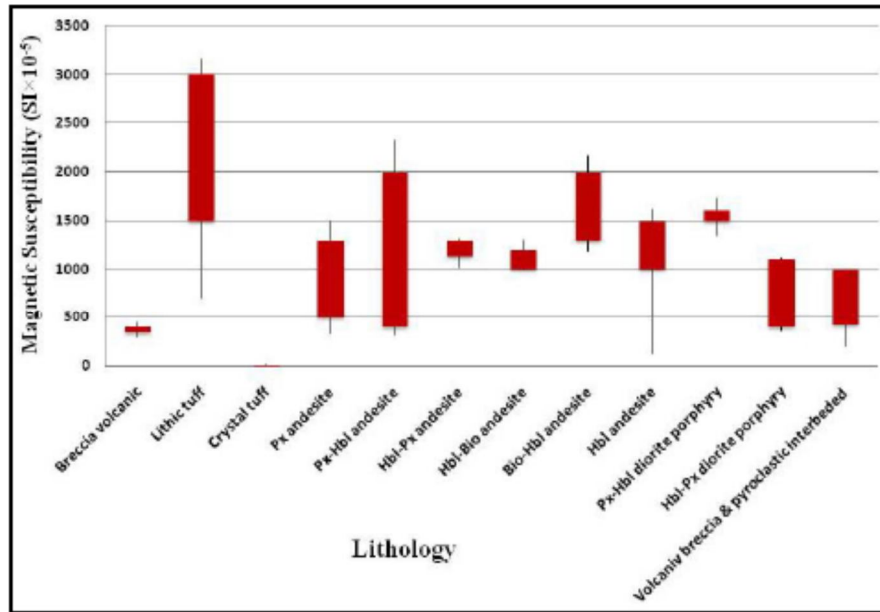
### مطالعات IP/RS

برداشت‌های IP/RS در قسمت‌هایی از منطقه برداشت‌های مغناطیسی کمترین شدت کل میدان مغناطیسی را داشتند صورت گرفته است (جمع، ۱۳۸۷) (شکل ۷-الف). با این فرض برداشت‌ها در این قسمت انجام شده که کانی‌سازی رگه‌ای احتمالی در عمق به دلیل وجود کانی‌های سولفیدی و همچنین وجود دگرسانی آرژیلیک اطراف آن، پذیرفتاری مغناطیسی پایینی را نشان خواهد داد. یک شبه مقطع شمالی- جنوبی با آرایش دایبل- دایبل با فاصله الکترودی ۵ متر و به طول ۲۵۰ متر برداشت شده است. اندازه‌گیری مقادیر IP و RS توسط دستگاه Syscal R2 ساخت IRIS فرانسه انجام شده است (جمع، ۱۳۸۷). تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در امتداد این شبه مقطع بین حداقل ۳ تا حداکثر ۲۰۰ اهم‌متر در نوسان است. همچنین این تغییرات برای شارژابیلیته بین ۱- تا ۲۵ میلی‌ولت بر ولت می‌باشد (شکل ۱۲). از مقایسه شبه‌مقطع‌های IP و RS، پنج محدوده ناهنجاری قابل تشخیص است. این پنج محدوده با شماره‌های ۱ تا ۵ شماره‌گذاری شده‌اند (شکل ۱۲). با توجه به اینکه در شبه مقطع‌های فوق، ناهنجاری‌های ۱ تا ۴ به سمت عمق باز هستند، بررسی‌ها به سمت عمق ادامه یافته‌اند. بر همین اساس با استفاده از افزایش فاصله الکترودها از ۵ متر به ۱۰ متر، عمق بررسی‌ها نیز از ۲۵ متر به ۵۰ متر افزایش داده شده است. ناهنجاری ۱ با تضعیف شارژابیلیته به سمت عمق گسترش نشان می‌دهد. ناهنجاری ۳ ضمن افزایش عمق محدوده وسیع‌تری را در بر می‌گیرد (شکل ۱۳).

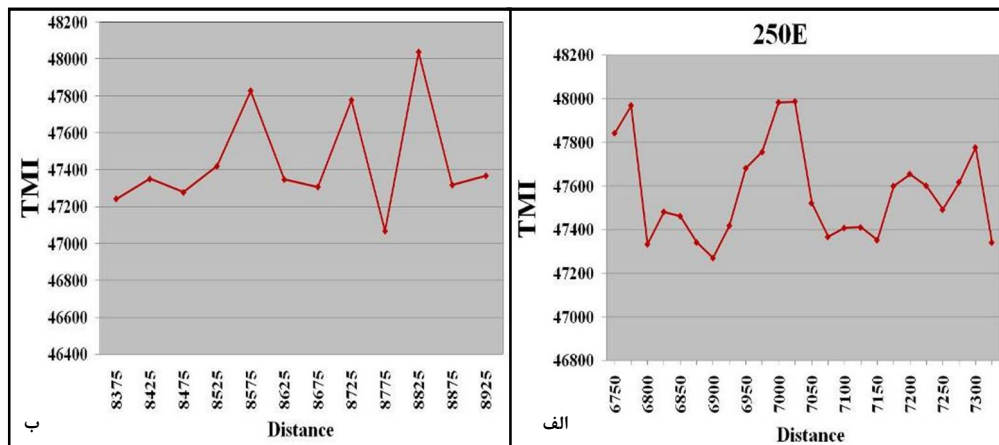
ناهنجاری ۱ در فاصله ۲۰ متری جنوب پروفیل IP/RS قرار دارد (شکل ۱۲ و ۱۳). این ناهنجاری با سایر ناهنجاری‌ها از دو جهت متفاوت می‌باشد. اول اینکه قویترین و وسیع‌ترین ناهنجاری شارژابیلیته بوده و دوم اینکه منطبق با قویترین ناهنجاری مقاومت ویژه ظاهری می‌باشد. ناهنجاری ۱ شارژابیلیته‌ای به میزان ۲۴/۶ میلی‌ولت بر ولت داشته و از فاصله ۲۰ تا ۶۵ متری مشاهده می‌شود. این ناهنجاری از عمق ۸ تا ۳۰ متری گسترش دارد. مقاومت ویژه ظاهری نیز از عمق ۸ تا ۳۰ متری به میزان ۱۸۳ اهم‌متر مشاهده می‌شود. ناهنجاری ۲ در فاصله ۷۰ متری جنوب پروفیل قرار دارد (شکل ۱۲ و ۱۳). این ناهنجاری از فاصله ۷۰ تا ۱۱۰ متر گسترش داشته و میزان آن به ۱۹/۷ میلی‌ولت بر ولت می‌رسد و تا عمق ۲۰ متر گسترش دارد. مقاومت ویژه ظاهری در این محل بالا نبوده و از عمق ۱۰ تا ۲۰ متری به ۲/۷ اهم‌متر می‌رسد. ناهنجاری ۳ در فاصله ۱۵۰ متری جنوب پروفیل قرار دارد (شکل ۱۲ و ۱۳). ناهنجاری شارژابیلیته به میزان ۲۱/۶ از فاصله ۱۵۰ تا ۱۶۵ متری مشاهده می‌شود و تا عمق ۴۰ متری گسترش دارد. مقاومت ویژه ظاهری در این محل بالا نبوده و از عمق ۱۵ تا ۲۵ متری به ۲۶/۱ اهم‌متر می‌رسد. ناهنجاری ۴ در فاصله ۱۰۰ متری شمال پروفیل قرار دارد (شکل ۱۲ و ۱۳). ناهنجاری شارژابیلیته به میزان ۱۷ میلی‌ولت بر ولت از فاصله ۱۰۰ تا ۱۶۰ متری مشاهده می‌شود و تا عمق بیشتر از ۵۰ متری گسترش دارد. مقاومت ویژه ظاهری در این محل بالا نبوده و از عمق ۱۰ تا ۲۵ متری به ۵/۶ اهم‌متر می‌رسد. ناهنجاری ۵ در فاصله ۷۵ متری شمال پروفیل قرار دارد (شکل ۱۲ و ۱۳). ناهنجاری شارژابیلیته به میزان ۱۹/۷ از فاصله ۷۵ تا ۹۵ متری مشاهده می‌شود که از سطح تا عمق حدود ۱۰ متر گسترش دارد. مقاومت ویژه در این محل به ۴۰/۳ می‌رسد. این ناهنجاری در سطح منطبق بر آثار کانی‌سازی رگه- ای مس می‌باشد. با توجه به داده‌های IP/RS گسترش عمقی ندارد.

می‌دهد که ناهنجاری‌ها کمی به سمت جنوب جابه‌جا شده‌اند. بیشترین ناهنجاری در نقشه RTP در قسمت مرکزی قرار دارد که با توجه به نقشه زمین شناسی منطبق بر واحد لیتیک توف می‌باشد. (شکل ۸). نقشه‌های سیاه و سفید تابش نور تهیه شده از نقشه انتقال یافته به قطب برای بارزسازی ساختارهای خطی به کار می‌رود. ابتدا نور با زاویه ۱۳۵ درجه از جهت جنوب‌شرق تابیده شده است (شکل ۹-الف). نقشه تهیه شده ساختارهای خطی (گسلها) با جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب را واضح‌تر نشان می‌دهد. سپس نور با زاویه ۴۵ درجه از جهت شمال‌شرق تابیده شد (شکل ۹-ب). در این راستا ساختارهای خطی (گسلها) با جهت شمال‌غرب- جنوب‌شرق بهتر ظاهر می‌شود. با پیاده کردن نقاط روی پروفیل‌ها با بیشترین کاهش ناگهانی در شدت کل میدان مغناطیسی (شکل ۶) بر روی نقشه‌های scale RTP Grey Sunshade (شکل ۹)، انطباق خوبی بین این نقاط و ساختارهای خطی بارز شده دیده می‌شود. بر این اساس ۲ نوع ساختار گسلی در محدوده شناسایی شد. ساختارهایی با جهت شمال‌غرب- جنوب‌شرق که گسترش طولی بیشتری دارند و ساختارهایی با جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب که گسترش طولی کمتری دارند. این ساختارهای خطی از سیستم شکستگی- های منطقه شمال خور تبعیت می‌کنند. به منظور بررسی منابع سطحی ایجاد کننده ناهنجاری‌های مشاهده شده، از فیلتر مشتق اول قائم استفاده شد. نقشه مشتق اول قائم از آنجا که نوعی فیلتر بالا گذر می‌باشد، تصویری فیلتر شده از میدان مغناطیسی فراهم می‌کند که ویژگی‌های زمین‌شناسی نزدیک سطح زمین را برجسته می‌کند (Cooper and Cowan, 2004; Ford et al., 2004) (بازرسی نقشه مشتق اول قائم منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با نقشه انتقال به قطب می‌توان چنین استنتاج کرد که منبع ایجاد کننده ناهنجاری‌های سطحی A و B مرتبط به واحدهای آذرآواری منطقه بوده که در سطح نیز رخنمون دارند (شکل ۱۰).

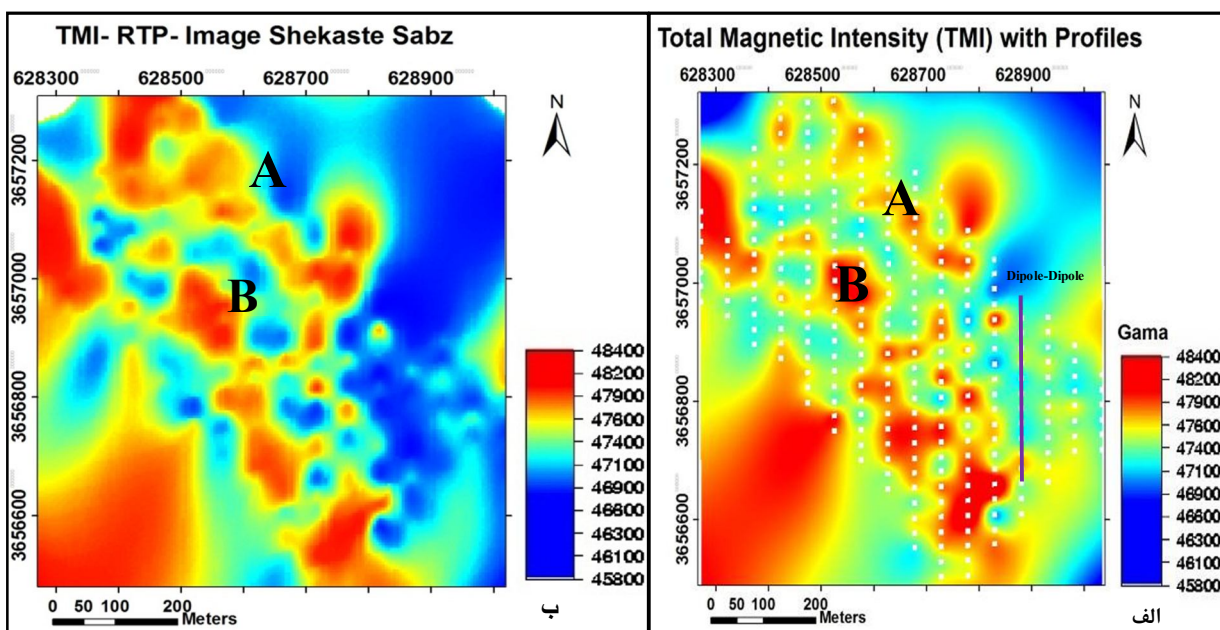
برای بررسی گسترش عمقی منابع مسبب ناهنجاری‌های مغناطیسی از فیلتر فراسو استفاده شد. نقشه فراسو اثر ناهنجاری‌های سطحی با بسامد بالا را حذف و به این طریق اثر ناهنجاری‌های عمیق تر با بسامد کم را بهتر آشکار می‌سازد (Gunn et al., 1997). هر چه منبع مغناطیسی به سطح نزدیکتر و منبع کوچکتر باشد، طول موج‌ها، کوتاه‌تر و بسامدها در واحد طول بیشتر خواهد بود و بالعکس (Tarlowski et al., 1997). نقشه‌های فراسو با ارتفاع ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری از محدوده برداشت تهیه شد. ناهنجاری A از فراسوی ۵۰ تا ۱۰۰ متر مشهود است (شکل ۱۱- الف تا ت). این ناهنجاری در فراسوی ۵۰ متر از قسمت شمال‌غربی با ناهنجاری جنوبی می‌پیوندد و در قسمت جنوبی کاملاً حذف می‌گردد. در حالیکه ناهنجاری B در فراسوی ۵۰ متر در قسمت مرکزی ضعیف‌تر شده و در قسمت شمال‌غرب به ناهنجاری شمالی می‌پیوندد. در نقشه فراسوی ۲۰۰ متر این ناهنجاری در نهایت با افزایش ارتفاع از حالت خطی خارج شده و به دو ناهنجاری یکی در شمال و یکی در جنوب تبدیل می‌شود. با تلفیق مشاهدات حاصل از نقشه‌های مشتق اول قائم و ادامه به سمت بالا این مطلب دریافت می‌شود که هر دو ناهنجاری دارای روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق بوده و همچنین در جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب نیز در بعضی قسمت‌ها قطع شده‌اند که می‌تواند تایید کننده وجود سیستم شکستگی شمال خور باشد که در نقشه سیاه و سفید تابش نور و پروفیل‌های شدت کل میدان مغناطیسی نیز شناسایی شدند. همچنین استنباط می‌شود که منبع ناهنجاری‌ها در قسمت شمال و جنوب نقشه عمیق- تر می‌باشد (شکل ۱۱).



شکل ۵. پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای سنگی سطحی موجود در منطقه شکسته سبز ( پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای کمتر دگرسان شده، — واحدهای با دگرسانی شدید)

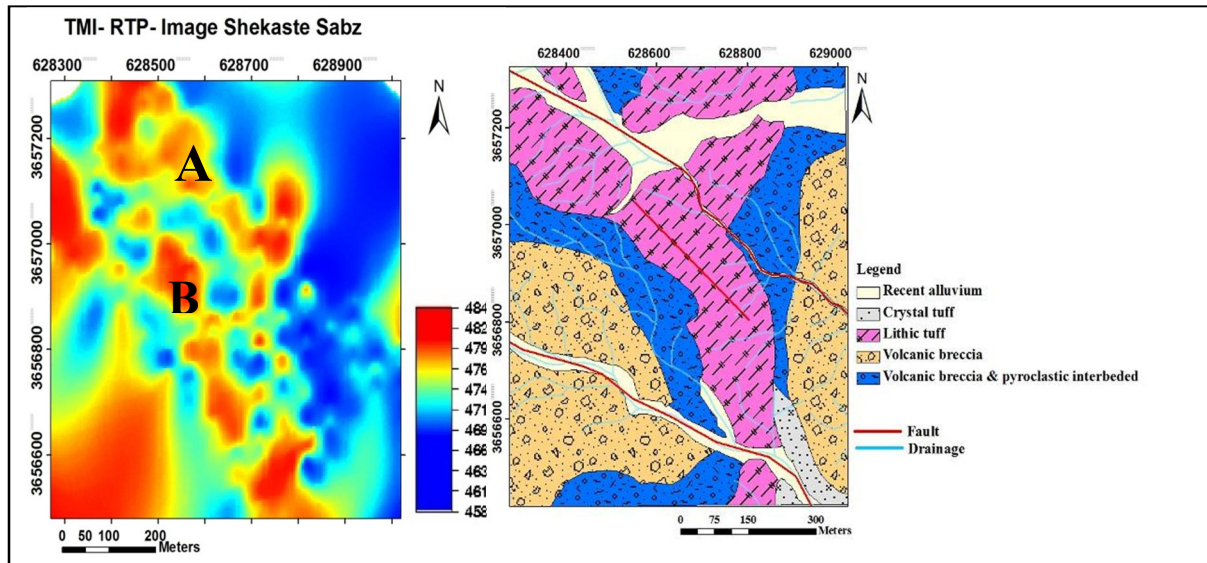


شکل ۶. نیم رخهای شدت کل میدان مغناطیسی در راستای الف ( شمالی - جنوبی و ب) شرقی - غربی.

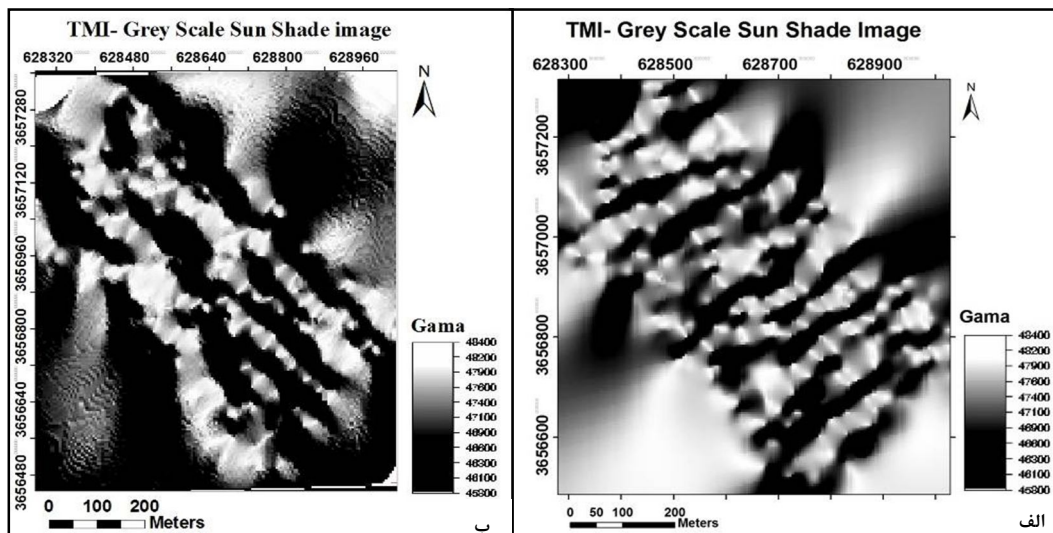


شکل ۷. الف) نقشه شدت کل میدان مغناطیسی همراه با محل پروفیل‌های برداشت ب) نقشه انتقال به قطب

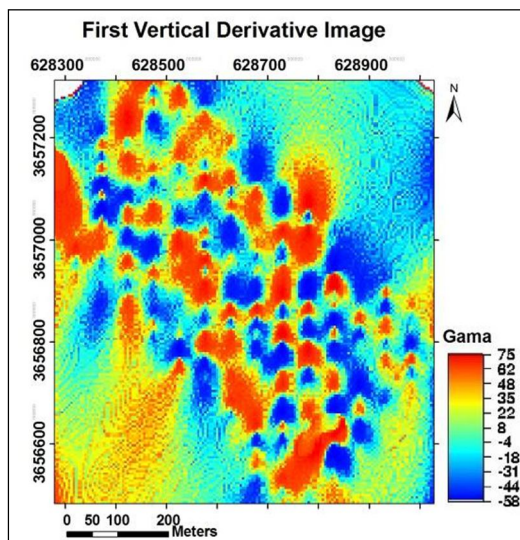




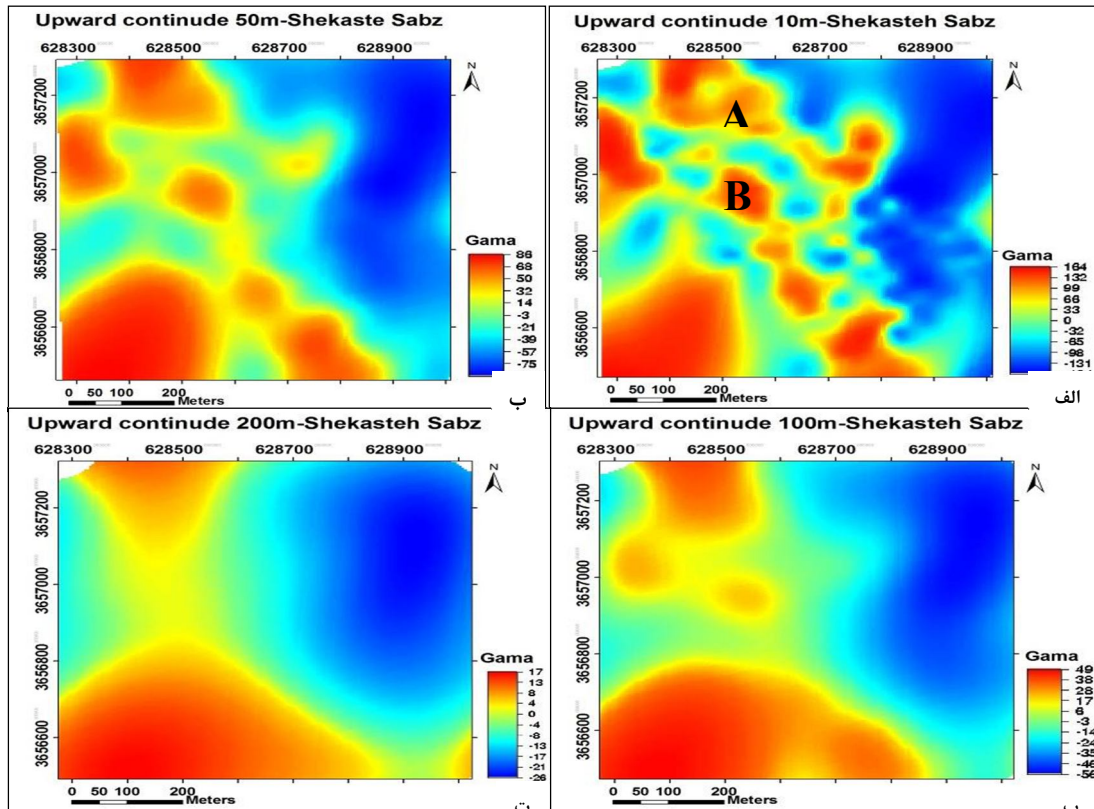
شکل ۸. نقشه RTP هم مقیاس نقشه زمین شناسی.



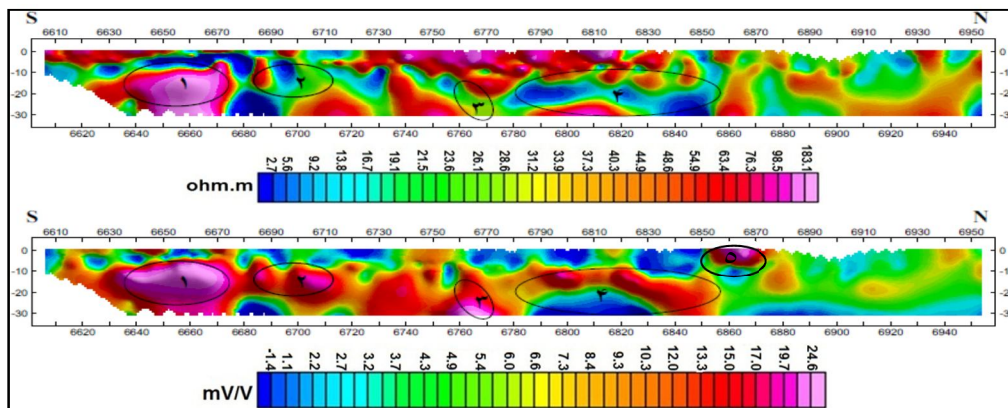
شکل ۹. نقشه سیاه و سفید تابش نور (RTP Grey scale Sunshade) با زاویه تابش الف (۱۳۵ درجه ب) ۴۵ درجه.



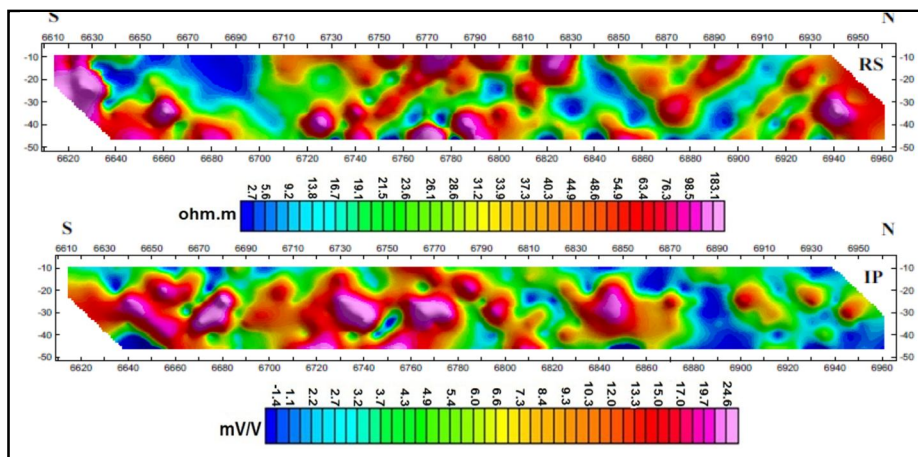
شکل ۱۰. نقشه مشتق اول قائم.



شکل ۱۱. نقشه فراسو با ارتفاع (الف) ۱۰ متر (ب) ۵۰ متر (پ) ۱۰۰ متر و (ت) ۲۰۰ متر



شکل ۱۲. شهمقطع مقاومت ویژه و شارژیابیلیته با فاصله الکترودی ۵ متر (جمع، ۱۳۸۷).



شکل ۱۳. شهمقطع مقاومت ویژه ظاهری و شارژیابیلیته با فاصله الکترودی ۱۰ متر (جمع، ۱۳۸۷).

## مطالعات چاهنگاری

با توجه به ناهنجاری‌ها در پروفیل IP/RS، در محل ناهنجاری شماره ۱ که قویترین و وسیع‌ترین ناهنجاری شارژبیلیته واقع شده، حفاری صورت گرفته است (چاه شماره ۱) (شکل ۱۴). با توجه به رضایت بخش نبودن نتایج حفاری در محل ناهنجاری شماره ۱، بقیه حفاری‌ها در محل‌هایی که کانی-سازی رگه‌ای در سطح مشاهده می‌شد صورت گرفته است. موقعیت نقاط حفاری بر روی نقشه زمین‌شناسی و نسبت به پروفیل‌های برداشت‌های مغناطیس‌سنجی و IP/RS در (شکل ۴) نشان داده شده است. پس از مطالعات مغزه‌ها، نمودار چاهنگاری آنها ترسیم گردید. ۸۲ نمونه زمین‌شیمیایی از مغزه‌ها برداشت گردیده است. آنالیز نمونه‌های زمین‌شیمیایی مغزه‌ها در آزمایشگاه ALS-CHEMخ کانادا به روش ICP-MS بوده است (جمع، ۱۳۸۷). نتایج آنالیز زمین‌شیمیایی مغزه‌ها (جمع، ۱۳۸۷) با سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی مغزه‌ها مقایسه گردید. سنگ‌شناسی غالب در مغزه‌ها، واحدهای آذرآواری بین لایه‌ای با برش آتشفشانی و لیتیک توف می‌باشد (شکل ۱۴ تا ۱۶). دگرسانی غالب در مغزه‌ها آرژیلیک-کربناته است که بین این دگرسانی و مکان‌های دارای بیشترین مقدار ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی و کانی‌سازی رابطه نزدیکی وجود دارد. کانی‌سازی غالب در مغزه‌ها به صورت رگچه‌ای بوده است. کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی در رگچه‌ها گسترش داشته و مالاکیت، آزوریت، کالکوزیت، کوولیت، همتیت و گوتیت تشکیل شده‌اند (شکل ۱۷-الف تا پ).

## انطباق ناهنجاری‌های مغناطیس‌سنجی، IP/RS و نتایج گمانه-های حفاری

ناهنجاری ۱ با بیشترین میزان شارژبیلیته بر روی پروفیل IP/RS به عنوان اولین نقطه حفاری مشخص شده است (شکل ۱۲ و ۱۳). این محل با توجه به نقشه چاهنگاری (چاه شماره ۱)، منطبق بر واحد آذرآواری و برش آتشفشانی بین لایه‌ای می‌باشد (شکل ۱۴-الف و ب). مقاومت ویژه ظاهری از فاصله ۲۵ تا ۶۵ متری و از عمق ۱۰ تا ۳۰ متری گسترش داشته و به ۱۸۳ اهم‌متر می‌رسد. بنابراین جزو سنگ‌های با هدایت ضعیف قرار می‌گیرد (Dobrin, 1998). در عمق ۱۰ تا ۳۰ متری سنگ‌ها به شدت خرد شده و تحت تاثیر دگرسانی آرژیلیک قرار گرفته‌اند. با توجه به تغییرات مشابه در چاه‌های ۵ و ۶، به نظر می‌رسد این تغییرات مربوط به وجود گسل باشد. در بین قطعات خرد شده، برش‌های آتشفشانی دیده می‌شود. بالا بودن مقاومت ویژه در این عمق مربوط به برش‌های آتشفشانی بین لایه‌ای است که دچار دگرسانی سیلیسی کربناته شده‌اند. کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای و شامل اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و به میزان کمتر کالکوزیت بوده که از عمق ۲۰ تا ۴۰ متری دیده می‌شود. کانی‌سازی منطبق بر بیشترین میزان شارژبیلیته می‌باشد. بیشترین ناهنجاری زمین‌شیمیایی در این چاه از عمق ۳۰ تا ۴۰ متر برای مس، ۱۱۹ گرم در تن و روی، ۱۰۵ گرم در تن می‌باشد. بیشترین تراکم رگچه نیز در عمق ۲۵ تا ۴۰ متر دیده می‌شود. در محل ناهنجاری‌های دیگر به دلیل پایین بودن ناهنجاری‌های شارژبیلیته نسبت به ناهنجاری ۱ و نبود آنومالی زمین‌شیمی قابل ملاحظه در محل ناهنجاری ۱ حفاری صورت نگرفت. در عوض ۵ نقطه حفاری دیگر در محل‌هایی که آثار کانی‌سازی رگه‌ای در سطح مشاهده شده است، حفر گردید. در چاه شماره ۵ ناهنجاری زمین‌شیمیایی قابل توجهی برای مس و روی دیده نشد (شکل ۱۴-الف و ب). این چاه منطبق بر واحد آذرآواری و برش آتشفشانی می‌باشد. دگرسانی‌های عمده کربناته-آرژیلیک و آرژیلیک می‌باشد. چاه شماره ۶ منطبق بر واحدهای آذرآواری، آندزیتی و برش آتشفشانی می‌باشد (شکل ۱۴-ب).

الف و ب). دگرسانی‌های عمده در این چاه کربناته-آرژیلیک، آرژیلیک و سیلیسی-کربناته می‌باشد. در عمق ۷۰ متری بیشترین ناهنجاری مس ۱۱۷ گرم در تن و برای روی ۸۷ گرم در تن می‌باشد. این ناهنجاری‌ها منطبق بر دگرسانی آرژیلیک بوده که واحدهای آذرآواری را تحت تاثیر قرار داده است. کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای و در عمق ۶۰ تا ۷۰ متری دیده می‌شود (شکل ۱۴-الف و ب). انطباق چاه‌های شماره ۱، ۵ و ۶ وجود گسلی را در اعماق ۱۰ تا ۲۰ متر تایید می‌کنند. چاه‌های شماره ۲، ۳ و ۴ در محل‌هایی که کانی-سازی رگه‌ای در سطح مشاهده می‌شد و در محل واحد لیتیک توف که در سطح رخنمون داشت، حفر گردید. سنگ‌شناسی غالب در این چاه‌ها واحدهای آذرآواری و برش آتشفشانی می‌باشد. چاه شماره ۲ منطبق بر دگرسانی‌های آرژیلیک، سیلیسی-کربناته و کربناته-آرژیلیک است (شکل ۱۵ و ۱۶). بیشترین ناهنجاری زمین‌شیمیایی در این چاه از عمق ۴۵ تا ۵۰ متر برای مس ۲۴۳ گرم در تن و روی ۱۴۴ گرم در تن می‌باشد (شکل ۱۶). بیشترین ناهنجاری زمین‌شیمی منطبق بر دگرسانی کربناته-آرژیلیک بوده که واحد آذرآواری را تحت تاثیر قرار داده است. چاه شماره ۳ منطبق بر دگرسانی‌های آرژیلیک، آرژیلیک-پروپلیتیک و کربناته-آرژیلیک می‌باشد (شکل ۱۵ و ۱۶). بیشترین ناهنجاری زمین‌شیمیایی در این چاه در عمق ۱۰ متر برای مس ۱۲۳۱ گرم در تن و روی در عمق ۳۷ متری ۱۵۰ گرم در تن می‌باشد. بیشترین ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی منطبق بر دگرسانی‌های آرژیلیک و کربناته-آرژیلیک می‌باشد. کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای و شامل مالاکیت، همتیت، گوتیت، کالکوزیت و کوولیت می‌باشد. چاه شماره ۴ در فاصله نزدیک به چاه شماره ۲ حفاری شده است (شکل ۱۵ و ۱۶). ناهنجاری زمین‌شیمیایی قابل توجهی در این چاه برای مس مشاهده نشد. بالاترین میزان مس در عمق ۱۰ متری، ۱۰۸ گرم در تن بوده و روی ناهنجاری قابل توجهی نداشت. ناهنجاری زمین‌شیمیایی منطبق بر واحد دگرسانی آرژیلیک می‌باشد. انطباق نقشه انتقال به قطب با داده‌های زمین‌شیمیایی سطحی نشان می‌دهد که ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی بالا و شواهد کانی‌سازی بیشتر در محل‌هایی با شدت میدان مغناطیسی بالا مشاهده می‌شود (شکل ۱۸). همچنین چاه‌های شماره ۲ و ۳ که بیشترین ناهنجاری زمین‌شیمیایی و کانی‌سازی زیر سطحی را داشتند در محل‌هایی با شدت میدان مغناطیسی بالا، منطبق بر واحد لیتیک توف حفر گردیده‌اند. در حالیکه چاه‌های شماره ۱، ۵ و ۶ که ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی زیر سطحی قابل ملاحظه‌را نشان نمی‌دهند در محل‌هایی با کمترین شدت میدان مغناطیسی و منطبق بر واحد برش آتشفشانی حفر گردیده‌اند (شکل ۱۸).

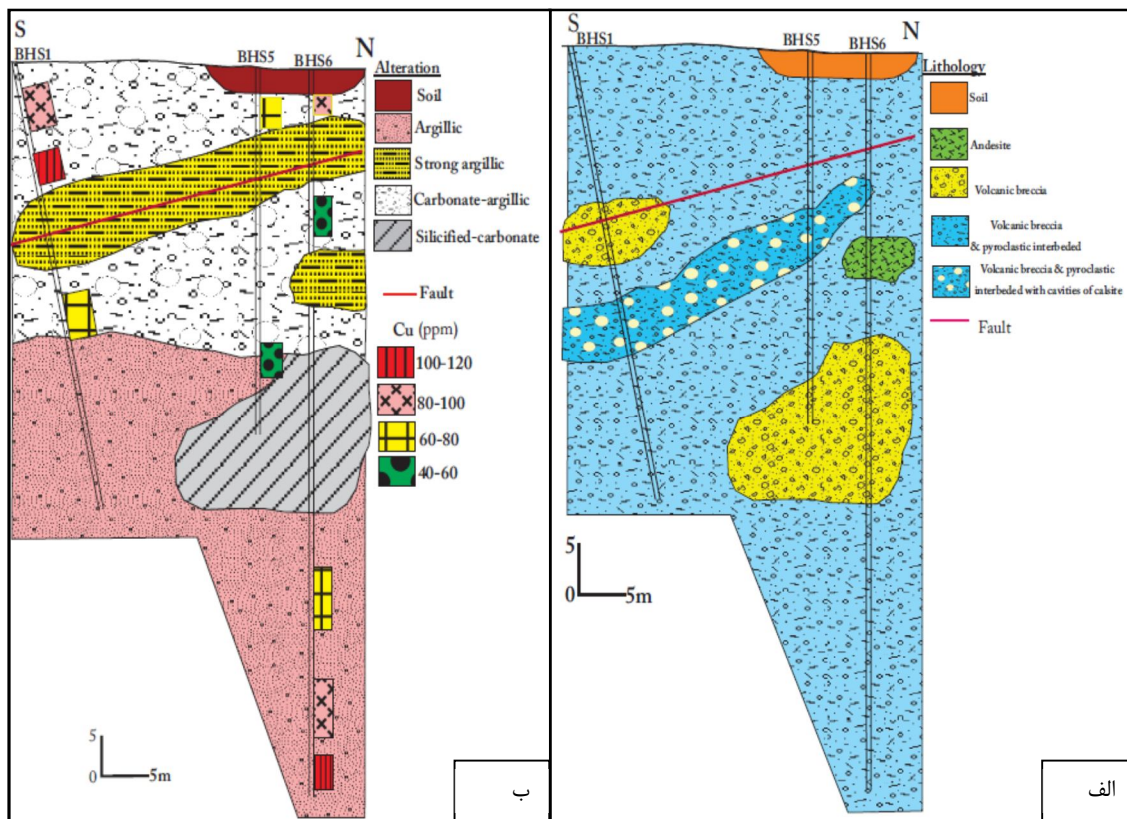
## سنگ میزبان کانی‌سازی

واحد لیتیک توف سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی بوده و نسبت به دیگر واحدها دارای بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشد. این واحد از خرده-سنگ‌هایی با ترکیب عمدتاً آندزیتی و زمین‌های با همین ترکیب تشکیل شده است. وجود خرده سنگ‌های آندزیتی و همچنین هورنبلندها که از حاشیه سوخته‌اند و به اکسیدهای آهن از جمله مگنتیت تبدیل شده‌اند در بالا بودن پذیرفتاری مغناطیسی این واحد تاثیر داشته‌اند. دگرسانی عمده در این واحد آرژیلیک می‌باشد. مطالعات میکروسکوپی نشان داد که زمینه واحد لیتیک توف تحت تاثیر دگرسانی شدیدتری (شکل ۱۹-الف) نسبت به قطعات خرده‌سنگی (شکل ۱۹-ب) این واحد بوده است. بنابراین دگرسانی آرژیلیک تاثیر کمتری در تخریب مگنتیت و کاهش پذیرفتاری مغناطیسی در قطعات خرده‌سنگی داشته‌است. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در مغزه‌های حاوی کانی‌سازی فراوان، ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی بالا و دگرسانی آرژیلیک (چاه شماره ۲ و

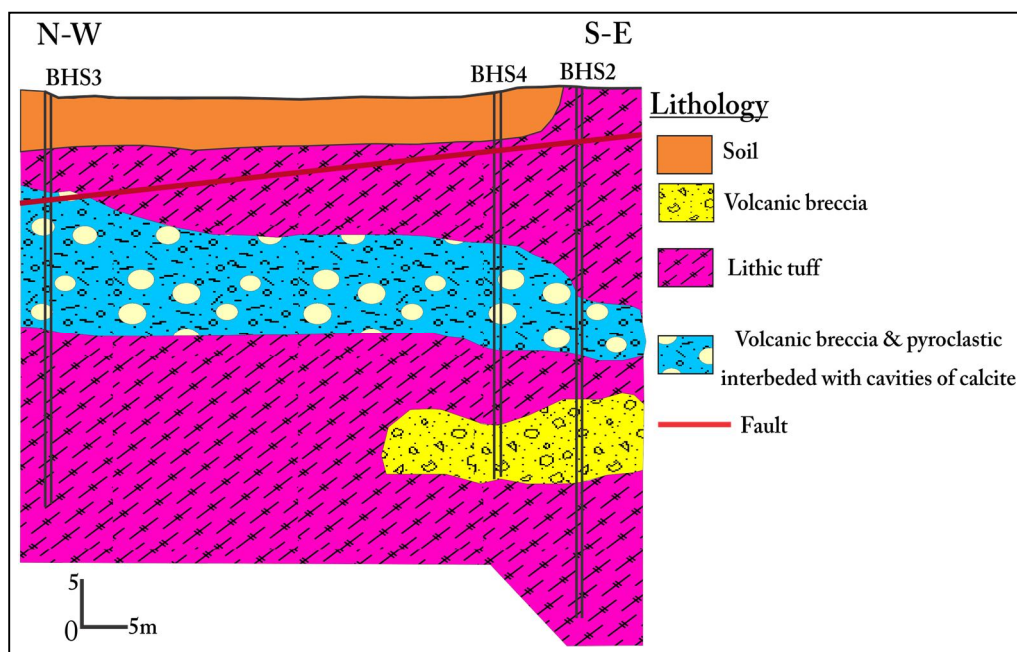


۳) این مسئله را به خوبی تایید می کند. بطوری که با وجود دگرسانی آرژیلیک و کانی سازی رگجهای در واحد لیتیک توف پذیرفتاری مغناطیسی بالا بوده و

به میزان کمی کاهش در پذیرفتاری مغناطیسی دیده می شود.

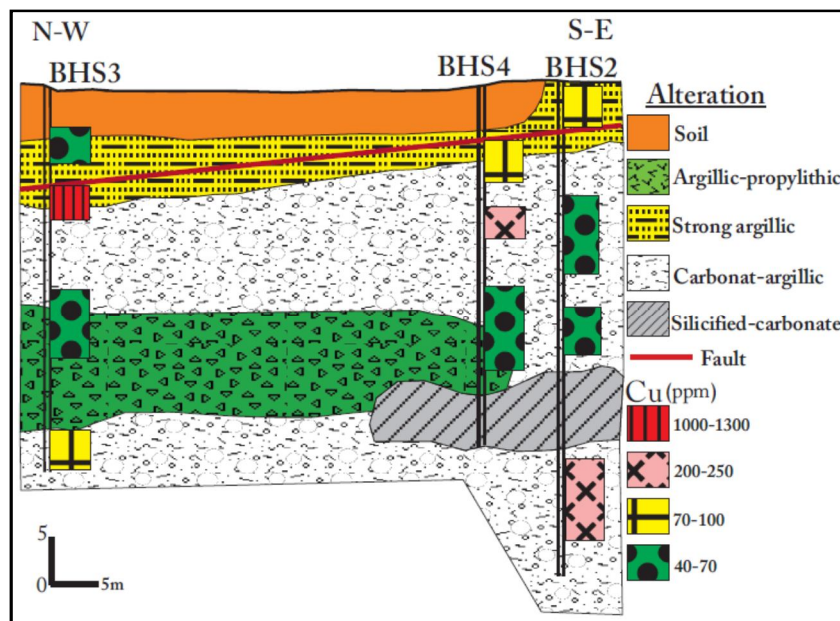


شکل ۱۴. نمودار چاهنگاری چاههای شماره ۵، ۶ و الف. سنگ شناسی ب) دگرسانی و زمین شیمی

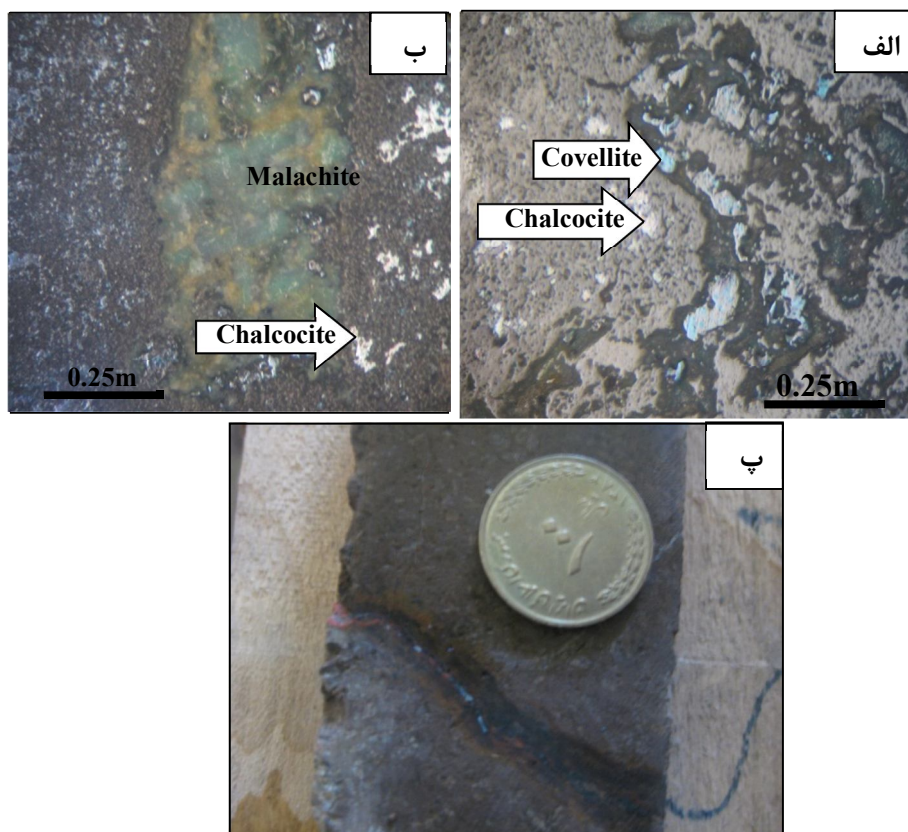


شکل ۱۵. نمودار سنگ شناسی چاهنگاری چاههای شماره ۲، ۳ و ۴.

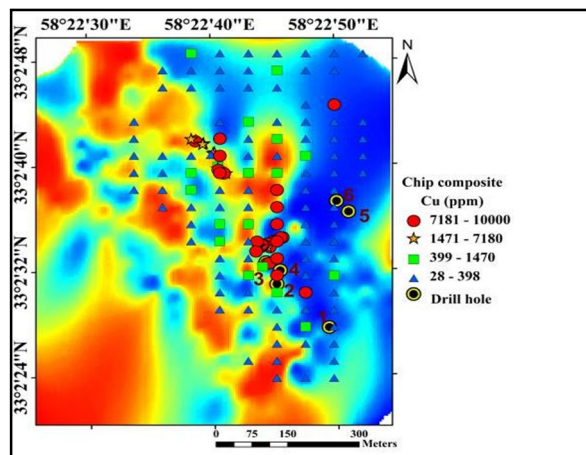




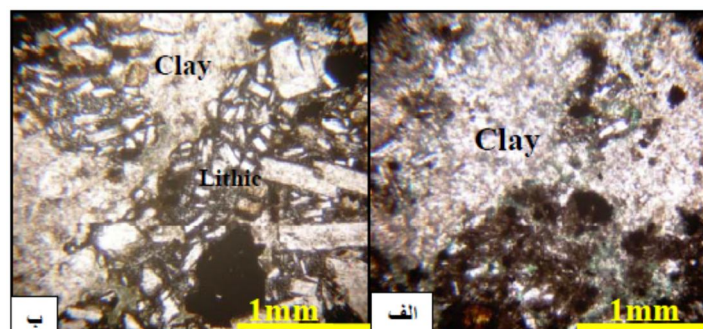
شکل ۱۶. نمودار دگرسانی و زمین شیمی چاه‌های شماره ۲، ۳ و ۴.



شکل ۱۷. تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی (الف) کالکوزیت و کوولیت، (ب) مالاکیت و کالکوزیت و نمونه دستی از کانی‌سازی در مغزه‌ها (پ) رگچه کالکوزیت، هماتیت و مالاکیت.



شکل ۱۸. نقشه انتقال به قطب منطقه و نتایج زمین‌شیمیایی مربوط به عنصر مس.



شکل ۱۹. الف) واحد لیتیک توف (XPL) و ب) زمینه قطعات خرده‌سنگی (XPL).

## بحث و نتیجه‌گیری

خوبی بین ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی سطحی با مقادیر بالای شدت میدان مغناطیسی می‌باشند. همچنین تلفیق نتایج حفاری با داده‌های زمین‌فیزیکی نشان داد گمانه‌هایی که شواهد کانی‌سازی بهتری را نشان می‌دهند در محل‌هایی با میزان بیشتر شدت میدان مغناطیسی حفر شده‌اند (چاه شماره ۳ و ۴). توجه به خصوصیات سنگ‌شناسی و فیزیک سنگ میزبان کانی‌سازی در تفسیر نتایج زمین‌فیزیکی مهم می‌باشد. در این منطقه به دلیل اینکه سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی لیتیک توف بوده و تحت تاثیر دگرسانی آرژیلیک همچنان پذیرفتاری‌های بالایی را نشان می‌دهد باید پروفیل‌های برداشت IP/RS در محل‌هایی با شدت‌های بالای میدان مغناطیسی صورت می‌گرفت. رضایت بخش نبودن نتایج حفاری (چاه شماره ۱) حاصل از برداشت‌های IP/RS در محل‌هایی با شدت کم میدان مغناطیسی و مشاهده ناهنجاری زمین‌شیمیایی بالا و شواهد کانی‌سازی بیشتر در محل‌هایی با شدت میدان مغناطیسی بالا در این مطالعه (چاه شماره ۲ و ۳) این مسئله را تایید می‌کند. این مطالعه نتیجه می‌دهد که راستای پروفیل‌های برداشت IP/RS بایستی در راستای ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی (راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق) و منطبق بر ناهنجاری‌های بالای شدت کل میدان مغناطیسی (که منبع آن سنگ میزبان کانی‌سازی است) باشد تا پاسخ کانی‌سازی بهتر منعکس شود. همچنین این مطالعه تایید می‌کند که محل‌های پوشیده و پنهان کانی‌سازی آنومالی‌های مغناطیسی نشان می‌دهد. تلفیق نتایج داده‌های زمین‌فیزیکی با زمین‌شناسی، کانی‌سازی و دگرسانی در موفقیت اکتشاف نقش با ارزشی دارد.

## قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاری سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی، بخصوص آقای مهندس اشراقی و خانم مهندس خواجه میری تشکر می‌نمایند.

جمیع و همکاران (۱۳۸۷) به علت وجود کانی‌سازی‌های رگه‌ای، آثار کنده‌کاری‌های قدیمی و ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی در مرکز منطقه، این محدوده را جهت عملیات مغناطیس‌سنجی زمینی انتخاب کردند. خصوصیات فیزیکی سنگ برای انتخاب روش مناسب زمین‌فیزیکی و تفسیر داده‌های زمین‌فیزیکی ضروری است (Clark, 1997). مگنتیت یک کانی فری-مغناطیس بوده و خاصیت پذیرفتاری مغناطیسی بالایی داشته و می‌تواند بی-هنجاری‌های مغناطیسی بالا ایجاد کند. از آنجایی که کانی‌سازی رگه‌ای در محدوده مورد مطالعه عمدتاً سولفیدی بوده و رگه‌های حاوی کانی سازی فاقد مگنتیت بودند محل‌هایی با کمترین شدت میدان مغناطیسی برای برداشت پروفیل‌های IP/RS انتخاب شدند. برای اکتشاف کانی‌های سولفیدی به دلیل خاصیت مقاومت ویژه الکتریکی کم و هدایت الکتریکی بالا IP/RS بهترین روش می‌باشد (Dobrin, 1998). پروفیل‌های شدت کل میدان مغناطیسی و نقشه‌های RTP Grey Scale Sunshade دو نوع ساختار خطی (گسل) را در محدوده برداشت‌های مغناطیس‌سنجی بارزسازی کردند. ساختارهایی با جهت شمال‌غرب-جنوب‌شرق که گسترش طولی بیشتری دارند و ساختارهایی با جهت شمال‌شرق-جنوب‌غرب که گسترش طولی کمتری دارند. در نقشه‌های مشتق اول قائم و فراسو نیز جدایش ناهنجاری‌ها در این راستاها به خوبی مشهود است. این ساختارهای خطی از سیستم شکستگی‌های منطقه شمال خور تبعیت می‌کنند. امتداد رگه‌ها نیز در منطقه عمدتاً شمال-غرب-جنوب‌شرق تا شمال‌شرق-جنوب‌غرب می‌باشد. بنابراین کانی‌سازی در هر دو سیستم شکستگی شکل گرفته است. محل برداشت‌های IP&RS بر روی بخش‌های با شدت کم میدان مغناطیسی طراحی شده بود. انطباق نقشه انتقال به قطب با داده‌های زمین‌شیمیایی سطحی نشان می‌دهد که انطباق

## منابع

- اشتوکلین، ج.، نبوی، م.ح.، ۱۹۶۹، نقشه زمین‌شناسی بشرویه، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- آقابیاتی، س.ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- جاویدی‌مقدم، م.، کریم پور، م.ح.، ملکزاده شفارودی، آ.، حیدریان شهری، م.ح.، زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و زمین‌شیمی محدوده اکتشافی شکسته سبز شمال غرب بیرجند، مجله بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران، در حال چاپ.
- جمیع، ع.، ۱۳۸۶، اکتشاف نیمه‌تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سراپان، شرکت پارس کانی و شرکت تحقیق و گسترش صنایع معدنی، ۲۰۵ ص.
- جمیع، ع.، ۱۳۸۷، پروژه اکتشاف تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سراپان، سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی، ۲۰۴ ص.
- لطفی، م.، ۱۹۹۵، نقشه زمین‌شناسی سارغنج، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Barr.D.j., Chenoweth.L.M., Shugg.K.G., Thampson.M.J., 1979, Benambra M.E.L.S-Progress report 1977-79. K/2473, Western Mining Corporation Ltd (unpubl), 45p.
- Bishop.J.R., Lewis.R.J.G., 1992, Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive sulfide deposits, Economic Geology, Vol: 87, p: 913-930.
- Busuttill.S., Law.S., 2001, The geophysics of the Kalkaroo prospect, Olary Domain, South Australia, Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits, p: 121-126.
- Clark.D.A., 1997, Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys, AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, Vol: 17, No: 2, p: 83-103.
- Cooper.G.R.J., Cowan.D.R., 2004, Filtering using variable order vertical derivatives, Computers & Geosciences, Vol: 30, p: 455-459.
- Dentith.M., Stuart.R., 2002, Sediment-hosted stratiform copper deposits in the Adelaide Geosyncline, South Australia, Geophysical responses of mineralisation and themineralised environment, Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits, p: 169-195.
- 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, 5 th ASEG Conference, p: 47-49.
- Ford.K., Keating.P., Thomas.M.D., 2004, overview of Geophysical signature Associated with canadaian or Deposits, Geological Survey of Canada, 601 Booth Street, Ottawa, Ontario, K1A0E8.
- Gunn.P.J., 1996, Workshop Interpretation of aeromagnetic data, AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, Vol: 17, No: 2, p: 105-113.
- Gunn.P.J., Madment.D., Milligan.P.R., 1997, Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop, AGSO Journal of Australia Geology & Geophysics, Vol: 17, No: 2, p: 175-185.
- Guo.W., Dentith.M., Zhao.Y., 2000, Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc orefield Gansu Province, China, Exploration Geophysics, Vol: 31, 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.
- <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/point/>
- Karen.P., Barry.B., 2005, The geophysical response of the tusker gold deposit, Lake Victoria gold fields, Tanzania.
- Nabighian.M.N., Grauch.V.J.S., Hansen.R.O., LaFehr.T.R., Li.Y., Peirce.J.W., Phillips.J.D., and Ruder.M.E., 2005, The historical development of the magnetic method in exploration: Geophysics, Vol: 70, No. 6, 33ND- 61ND, doi: 10.
- Nakatsuka.T., Okuma.S., 2006, Reduction of magnetic anomaly observations from helicopter surveys at varying elevations, Exploration Geophysics, Vol: 37, p: 121-128.
- 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.
- Shah.A., Bedrosian.P., Anderson.E., Kelley.K., and 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., and 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.
- Sultan.A.S., 2009, Geophysical exploration for gold and assosiatedeed mainerals, case study:Wadi El Bedia area, south eastern desert, Egypt: Journal of Geophysics and Engineering.
- Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., 1983, Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran, Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No: 51, p:357-383.
- Tarlowski.C., Gunn.P.J, Mackey.T., 1997, Enhancements of the magnetic map of Australia, AGSO Journal of Australia Geology & Geophysics, Vol: 17, No: 2, p: 77-82.
- Urquhart.W.E.S., 2007, Airborne magnetic data compilation and interpretation, Geophysical Airborne Survey Compilation and Interpretation, p: 1-13.

- White.R.M.S., Collins.S., Denne.R., Hee.R., Brown.P., 2001, A new survey design for 3D IP modelling at Copper hill, Exploration Geophysics, Vol: 32, p: 152-155.
- Willocks.A.J., 1999, Geophysical responses over the Mount Ararat Prospect, Australian Society of Exploration Geophysics special publication, No: 11, p: 81-112.
- 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.