



DOI: 10.30479/jmre.2020.9950.1216

پتانسیل یابی منابع سنگ آهن با روش‌های دورسنجی و مغناطیس‌سنجی زمینی در محدوده شمال شرقی نی ریز فارس

سعید مجرد^{۱*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، شرکت زمین فناوریان آسیا، شاهرود

(دریافت ۱۳۹۷/۱۰/۲۵، پذیرش ۱۳۹۸/۱۰/۲۱)

چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی شهرستان نی ریز و در نزدیکی روستای قوری در استان فارس واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی واحدها در زون سنندج- سیرجان و با روند عمومی شمال غربی- جنوب شرقی قرار دارند. اغلب این واحدها را واحدهای آهنی، واحدهای سرسیت- کلریت شیبست و واحدهای آمفیبولیتی تشکیل می‌دهند. در این پژوهش، با استفاده از دو سری داده سنجش از دور سنجنده ASTER و مغناطیس‌سنجی زمینی برای پتانسیل‌یابی و شناسایی مناطق امیدبخش کانه‌زایی آهن در محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است. با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER، روش‌های ترکیب رنگی کاذب (FCC)، نسبت‌گیری بانندی (BR)، تحلیل مولفه اصلی (PCA) و روش کمترین مربعات (LS-Fit) استفاده شد و مناطق دارای آلتراسیون‌های پروپلیتیکی، کلریتی و فیلیک مشخص شدند که منجر به شناسایی چهار منطقه امیدبخش A، B، C و D تقریباً موازی یکدیگر با روند عمومی شمال غرب - جنوب شرق شد. با استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی، روش‌های برگردان به قطب (RTP)، ادامه فراسو تا ارتفاع ۱۰۰ متری، مشتق قائم مرتبه اول، سیگنال تحلیلی و زاویه تیلت (کجی) استفاده شد که کلیه نتایج منجر به شناسایی چهار نوع آنومالی A، B، C و D شد که این چهار نوع آنومالی نیز روند شمال غرب- جنوب شرق دارند. نتایج هر دو روش منطبق بر یکدیگرند. آنومالی‌های A و B مربوط به دو دایک و با عمق کم در شمال منطقه و آنومالی‌های C و D مربوط به دو توده بزرگ با عمق منشا بیشتر از صد متر در قسمت مرکزی و جنوب منطقه مورد مطالعه شناسایی و اکتشاف شد.

کلمات کلیدی

مغناطیس‌سنجی زمینی، سنجش از دور، آهن، دایک.

۱- مقدمه

سیستم‌های سنجش از دور و روش‌های پیشرفته پردازش تصاویر، امکانات مناسبی را برای آنالیزهای مکانی، طیفی و زمانی برای محققان، مدیران و برنامه‌ریزان فراهم کرده است. از جمله مزایای استفاده از سنجش از دور، مقرون و به صرفه بودن آن و امکان به روزرسانی سریع آن است [۸]. کانی‌های رسی و آهن جزو محصولات دگرسانی گرمایی سنگ‌ها هستند که با استفاده از خواص طیفی این کانی‌ها می‌توان مناطق دگرسان شده را شناسایی کرد [۹]. داشتن اطلاعاتی از رفتار طیفی اجسام در طول موج‌های گوناگون، بر اساس منحنی‌های شاخص بازتابندگی و جذب طیف، در سنجش از دور اهمیت زیادی دارد [۱۰].

محدوده مورد مطالعه، در شمال شرقی استان فارس و در نیمه شمالی شهرستان نی‌ریز واقع شده است. در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده یک برگ از سنجنده ASTER که از نوع Level-1A و مربوط به تاریخ سال ۲۰۰۷ استفاده شده است و با به کارگیری روش‌های دورسنجی شامل پردازش و تحلیل طیفی مختلف ترکیب رنگی و نسبت‌گیری بانندی با نرم افزار ENVI که روی داده‌های ASTER انجام پذیرفت، پهنه‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی آهن در منطقه مشخص شد. در مرحله بعد، از داده‌های ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی زمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است و به پردازش و تحلیل داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی با نرم‌افزار Oasis Montaj پرداخته شده است. در نهایت با استفاده هم‌زمان از هر دو سری داده‌های اکتشافی مهم، مناطق مهم کانی‌زایی سنگ آهن در محدوده مورد مطالعه شناسایی و پی‌جویی شده است.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری ایران توسط اشتوکلین (۱۹۶۸) [۱۱]، افتخارنژاد (۱۹۸۳) [۱۲] و علوی (۱۹۹۱) [۱۳] در کمربند دگرگونی سندانج-سیرجان جنوبی قرار گرفته است.

فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته ایران باعث برخورد دو صفحه ایران و عربی تشکیل کمربند کوهزایی زاگرس شده است. شمال شرقی محدوده مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی و واحدهای سرسیتی-کلریت شیبست تشکیل می‌دهند. در قسمت مرکزی محدوده مورد مطالعه، واحدهای آمفیبولیت گسترش چشمگیری دارد به طوری که پس از

عملیات مغناطیس‌سنجی از قدیمی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی است که برای فعالیت‌های اکتشافی در زمینه‌های مختلف و به ویژه اکتشاف ذخایر آهن مورد استفاده قرار گرفته است. برداشت اصولی و تفسیر صحیح داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی در کنار دیگر داده‌های اکتشافی می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌ها، اطلاعات ارزشمندی در مورد موقعیت، عمق و ابعاد بخش‌های پنهان ذخایر آهن در اختیار پژوهشگران قرار دهد [۲،۱].

روش مغناطیسی، یک ابزار اکتشافی اولیه در پی‌جویی کانی‌ها به شمار می‌رود. در عرصه‌های دیگر، استفاده از این روش از کاربردهای متداولی چون به نقشه درآوردن ساختار سنگ بستر، به طیف وسیع‌تری از کاربردها گسترش پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به تعیین محل گسل‌ها در محیط‌های رسوبی، آشکار ساختن همبری‌های سنگ‌شناسی پنهان، تعیین موقعیت گنبد‌های نمکی در محیط‌های رسوبی با پاسخ مغناطیسی ضعیف و در نهایت مدلسازی ساختارهای مورد نظر به وسیله برگردان سه‌بعدی داده‌های مغناطیس‌سنجی اشاره کرد. این کاربردهای جدید، موجب گسترش استفاده از این روش در زمینه‌های متنوعی چون اکتشاف منابع معدنی، نفت و گاز، منابع زمین‌گرمایی، آب‌های زیرزمینی و همین‌طور اهداف دیگری مانند ارزیابی بلایای طبیعی، تعیین محل برخورد شهاب‌سنگ‌ها و مطالعات مهندسی و زیست‌محیطی شده است. مغناطیس‌سنجی متداول‌ترین روش ژئوفیزیکی برای نقشه‌برداری زمین‌شناسی، اکتشاف مواد معدنی و نفت است [۳]. پی‌جویی‌های هوایی گرادیان گرانی به همراه مغناطیس به طور موفقیت‌آمیزی در سال‌های اخیر برای اکتشاف هماتیت و منیتیت در قسمت‌های مختلف جهان از جمله شمال کانادا، غرب آفریقا و آمریکای جنوبی انجام گرفته است [۴]. در منطقه بافین ایسلند کشور کانادا نیز مطالعات نقشه‌های پالئومغناطیس و رادیومتری منجر به کشف ذخایر پنهان روی شده است [۵]. بیشتر یافته‌های جدید اکتشافی، ژئوفیزیک نقش موثری در اکتشاف و نمایش ذخایر پنهان در عمق دارد [۶]. با استفاده از خواص مختلف ذخایر سولفیدی نیز در منطقه شرقی کشور فنلاند با استفاده از مغناطیس‌سنجی و اشعه گاما جایگاه ذخایر شناخته شده در ابتدا مشخص شد و سپس بر اساس همین خواص جایگاه ذخایر کشف نشده یا پنهان تعیین شد [۷].

کرد که واحدهای زمین‌شناسی سنگ آهن گل‌گهر شامل شیست، ماسه سنگ دگرگونه، کوارتزیت و توده‌های دیابازیک دگرگونه است [۱۴]. کانسار آهن گل‌گهر یک کانسار آهن نواری نوع راپیتان است. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۳- مطالعات سنجش از دور

یکی از کاربردهای علم سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای استخراج اطلاعات مورد نیاز برای کشف معادن بر روی زمین است. به گونه‌ای که می‌توان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مختلف و به کارگیری الگوریتم‌های خاص و پردازش تصاویر، اطلاعات مورد نیاز را برای شناسایی معادن مختلف بر روی کره زمین به دست آورد.

استفاده بهینه از داده‌های ماهواره‌ای برای اکتشاف مواد معدنی، به ویژه در اکتشاف کانسارها، شناخت و نقشه‌برداری محدوده‌های دگرسانی مرتبط کمک شایانی به اکتشاف ذخیره منابع معدنی زیرزمینی و به ویژه آهن می‌کند. در این روش برای شناسایی هدف، پس از انجام پیش‌پردازش‌ها و تصحیحات از روش‌های مختلفی برای بارسازی و شناسایی هدف اکتشافی مورد نظر استفاده می‌شود [۱۵].

انرژی الکترومغناطیس یکی از مهم‌ترین نیروهایی است که در سنجش از دور کاربرد اساسی دارد و سریع‌ترین وسیله ارتباطی میان اجسام دور و سنجنده است [۱۶]. این انرژی پس از برخورد به اجسام موجود به طرف سنجنده برگشت داده

واحدهای سرسیت- کلریت شیست بیشترین گسترش مربوط به واحدهای آمفیبولیتی در این محدوده است.

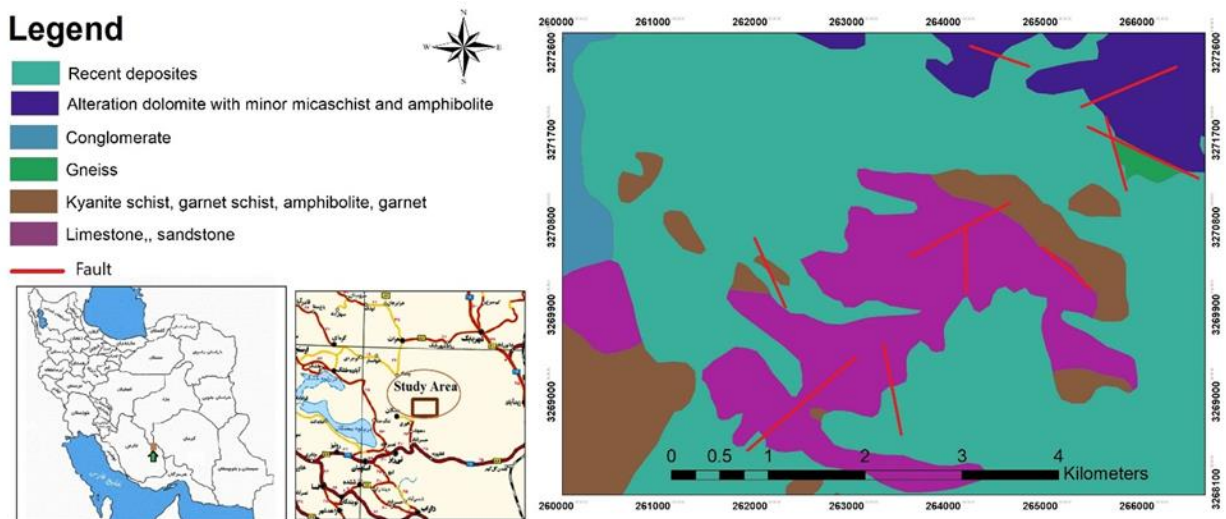
تشکیل ریفت ناقص در زون سنندج- سیرجان جنوبی در زمان دونین منجر به تشکیل گدازه‌ها و توده‌های نیمه عمیق بازیکی شده که ترکیبی عموماً بازالتی تا دیابازی داشته‌اند. این سنگ‌ها در طی دگرگونی زون سنندج- سیرجان به آمفیبولیت دگرگون شده‌اند. این واحد در رخنمون‌ها به رنگ سبز تیره است که سبب می‌شود به راحتی بتوان آن را از واحدهای دیگر جدا کرد. برگوارگی ضعیفی در این سنگ‌ها دیده می‌شود. این واحد با واحدهای سرسیت- کلریت شیست و سنگ آهک به صورت همبری دیده می‌شوند.

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و مشاهدات صحرایی، هورنبلند شاخص‌ترین کانی موجود در این واحد است که همراه با کانی‌هایی مانند پلاژیوکلاز، کوارتز، اپیدوت، بیوتیت و کلریت دیده می‌شود.

وجود هورنبلند به عنوان کانی شاخص و نبود کانی‌هایی مانند استارولیت، کیانیت، سلیمانیت و ترمولیت نشان می‌دهد که گدازه‌های بازالتی و دیاباز پروتولیت‌ها، آمفیبولیت را تشکیل می‌دهند.

برگوارگی در این واحدها عموماً روند شمال غرب- جنوب شرق و با شیبی عموماً به سوی شمال شرق دارد.

از نظر زمین‌شناسی اقتصادی در زون سنندج- سیرجان ذخایر متعددی از کانی‌زایی آهن وجود دارد. از ذخایر مهم سنگ آهن در این زون می‌توان به سنگ آهن گل‌گهر اشاره



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

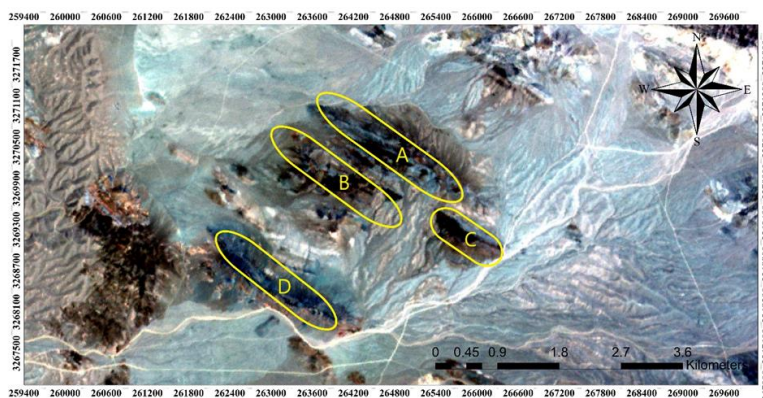
منطقه مورد مطالعه با توجه با اطلاعات زمین‌شناسی صحرایی در منطقه بدین صورت است که واحدهای کانی‌زایی آهن‌دار به رنگ آبی تیره مشاهده می‌شوند.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود این واحدها از بقیه واحدها متمایز شده‌اند، شکل ۲ این ترکیب رنگی را نشان می‌دهد. ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB بر روی داده‌های سنجنده استر پردازش شد و تفسیر منطقه مورد مطالعه با توجه با اطلاعات زمین‌شناسی صحرایی در منطقه بدین صورت است که واحدهای سنگ آهک در شمال شرقی منطقه با رنگ زرد متمایز شده است، در قسمت جنوبی در راستای این واحدهای آهکی در شمال شرقی منطقه، کانی‌های رسی مانند مسکوویت، مونتموریونیت و اپلیت مشاهده می‌شود که در شکل با رنگ صورتی روشن از دیگر واحدها متمایز شده است. واحدهای کانی‌زایی آهن‌دار در مرکز شکل با رنگ‌های آبی تیره وجود کانی‌های کلریتی، سرسیتی و آمفیبولیتی را از دیگر واحدها نشان می‌دهد (شکل ۳).

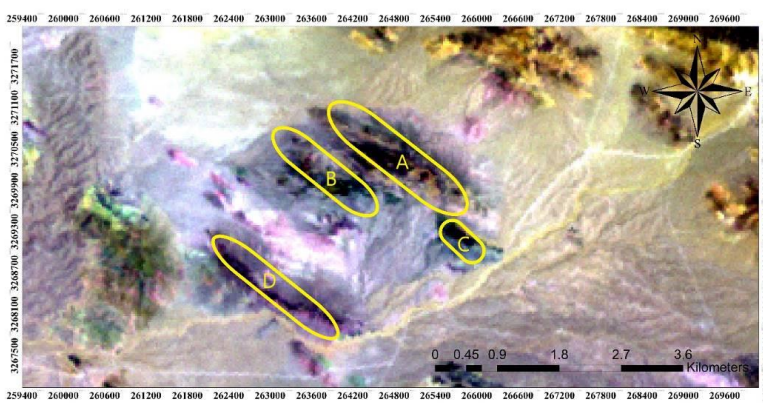
می‌شود و بعد از ثبت امواج الکترومغناطیس به صورت رقومی امکان ارزیابی و تشخیص الگوها و در نهایت شناخت پدیده‌های زمینی میسر می‌شود.

۳-۱- روش ترکیب رنگی

تصاویر دیجیتالی معمولاً به ۳ رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به صورت ترکیب رنگی نمایش داده می‌شوند [۱۷]. افزودن سه رنگ قرمز، سبز و آبی در تصاویر چند طیفی، برای نمایش طیف شاخص کانی به صورت ترکیب رنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده بیشترین انعکاس در طیف آن کانی است. این روش آشکارسازی به وسیله ترکیب باندهای مرئی و مادون‌قرمز حاصل می‌شود [۱۸]. در ابتدا ترکیبات رنگی بر روی تصاویر سنجنده ماهواره‌ای استر در محدوده مورد مطالعه قرار گرفت. ترکیب رنگی (۱۲۳) RGB بر روی داده‌های سنجنده ASTER پردازش شد و تفسیر



شکل ۲: ترکیب رنگی (۱۲۳) RGB و آنومالی‌های کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳: ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB و آنومالی‌های کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه

۳-۲- روش نسبت‌گیری باندی

نسبت‌گیری باندی، یک روش پردازش تصویر چند طیفی است که شامل تقسیم یک باند بر باند دیگر است. این عمل، صرف نظر از روشن‌سازی مناطق، باعث بهسازی تصاویر می‌شود. این روش، اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را از بین می‌برد، اختلاف بین درجات روشنایی را آشکارتر و مرزها را مشخص‌تر می‌کند، بنابراین از این روش می‌توان برای جداکردن مرز واحدهای سنگی استفاده کرد. با شناخت ویژگی‌های انعکاسی پدیده‌های مختلف و با استفاده از روش یاد شده، می‌توان پدیده‌های مختلف را آشکار ساخت [۱۹].

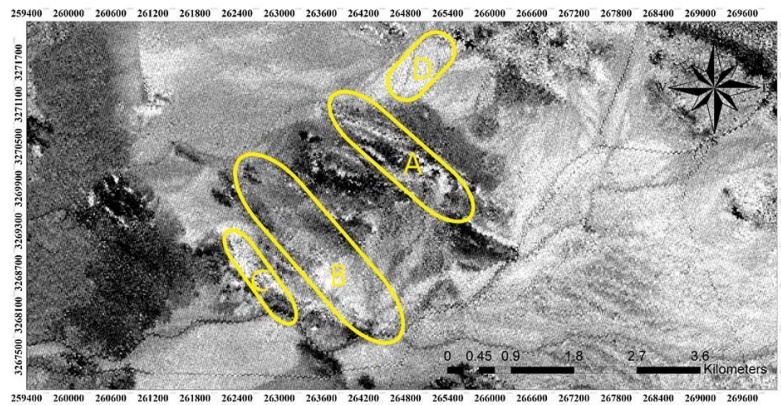
در روش نسبت باندی باید بسته به منطقه و نوع کاربرد، باندهای مختلف را برهم تقسیم کرد تا بهترین نتیجه حاصل شود.

برتری اصلی این روش آن است که ویژگی‌های رنگی یا

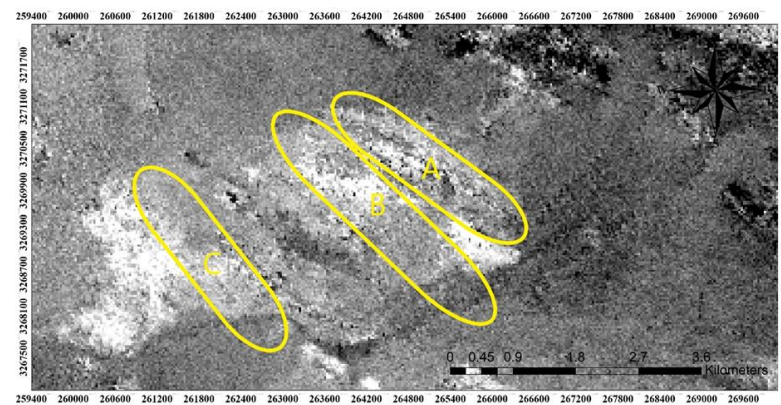
طیفی پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منطقه که بر اثر تغییرات توپوگرافی ایجاد می‌شود، منتقل و بر محتوای رنگ داده تاکید می‌کند [۹].

روش نسبت‌گیری باندی با نسبت ریاضیاتی $\text{Band 3} / \text{Band 1}$ و نسبت باندی $\text{Band 4} / \text{Band 5}$ نیز بر روی داده‌های سنجنده استر اعمال و پردازش شد و تفسیر منطقه مورد مطالعه با توجه با اطلاعات زمین‌شناسی صحرایی در منطقه بدین صورت است که در این شکل پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده عوامل کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه‌اند. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج روش نسبت‌گیری باندی $\text{B5} / \text{B3}$ و B4 سنجنده استر را نشان می‌دهد.

نسبت‌گیری باندی $\text{Band 6} / (\text{Band 5} + \text{Band 7})$ بر روی داده‌های سنجنده استر اعمال و پردازش شد، همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده



شکل ۴: نسبت‌گیری باندی $\text{Band 3} / \text{Band 1}$ و آنومالی‌های کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵: نسبت‌گیری باندی $\text{Band 5} / \text{Band 4}$ و آنومالی‌های کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه

این تبدیل، n باند جدید ایجاد می‌شود که همبستگی بالایی با یکدیگر ندارند و دو باند اول PC در تجزیه و تحلیل نیستند زیرا در PC پایین‌تر نویز افزایش یافته و تصویر حالت از هم پاشیدگی پیدا می‌کند [۲۲].

برای تفکیک پهنه‌های دگرسانی نوع پروپلیتیکی از باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ که در جدول ۱ آمده است استفاده شده است. تصویر ترکیب رنگی مجازی RGB حاصل از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (RGB: PC4-t1, -PC3-t1, -PC1) در شکل ۷ نشان داده شده است که در شکل به رنگ زرد لیمویی از دیگر واحدها متمایز شده است و مقادیر ویژه تحلیل مولفه اصلی دگرسانی فیلیک در جدول ۲ آمده است، در بررسی‌های ماتریس مقادیر ویژه زون فیلیک، بیشترین اختلاف بین باندهای ۶ و ۷ در PC3 مشاهده می‌شود. در تصویر حاصل

جدول ۱: مقادیر ویژه تحلیل مولفه اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹

Eigenvector	Band 3	Band 5	Band 8	Band 9
PC1	۰٫۹۹۴	۰٫۰۱۶	-۰٫۰۵۷	۰٫۰۹۰
PC2	۰٫۰۱۲	-۰٫۹۹۹	-۰٫۰۱۹	۰٫۰۳۶
PC3	۰٫۰۷۰	-۰٫۰۲۴	۰٫۹۸۶	-۰٫۱۴۸
PC4	۰٫۰۸۰	-۰٫۰۳۱	-۰٫۱۵۵	-۰٫۹۸۴

جدول ۲: مقادیر ویژه تحلیل مولفه اصلی باندهای ۴، ۶ و ۷

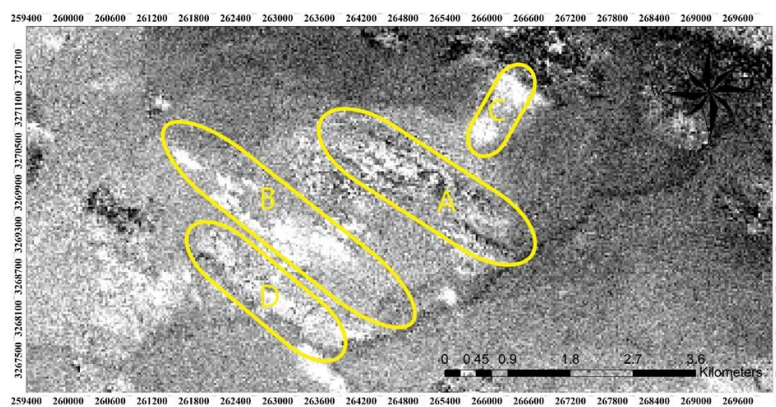
Eigenvector	Band 4	Band 6	Band 7
PC1	۰٫۵۶۷	۰٫۸۲۲	۰٫۰۳۰
PC2	۰٫۶۰۱	-۰٫۳۸۹	-۰٫۶۹۶
PC3	۰٫۵۶۱	-۰٫۴۱۳	۰٫۷۱۹

کانی‌های سرسیت، مسکوویت، ایلیت و اسمکتیت‌اند که این مجموعه آلتراسیون فیلیک را در منطقه مورد مطالعه از دیگر واحدها متمایز کرده است. شکل ۶ نتایج نسبت‌گیری باندی $(B5+B7)/B6$ را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در تمامی داده‌های سنجنده استر پردازش شده، آنومالی‌های شماره‌های A، B، C و D از دیگر واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه متمایز شده‌اند.

۳-۳- روش تحلیل مولفه‌های اصلی^۱

اطلاعات باندهای مختلف تصاویر چندطیفی سنجش از دور، غالباً همبستگی دارند. معمولاً همبستگی منفی مابین باندهای مرئی و مادون قرمز و مثبت بین باندهای مرئی بر روی پوشش‌های خاکی و سنگی وجود دارد. وجود همبستگی مابین تصاویر باندهای چندطیفی حکایت از وجود اطلاعات مشترک و یا به عبارت دیگر تکرار اطلاعات است. وجود اطلاعات مشترک در باندها به صورت همبستگی مابین آن‌ها آشکار می‌شود. آنالیز مولفه‌های اصلی در اصل برای فشرده‌سازی داده‌ها به کار می‌رود ولی در سنجش از دور برای حذف اطلاعات تکراری و یا اضافی طیفی و متمرکز کردن اطلاعات چند باند که کم و بیش همبستگی دارند، در یک باند با واریانس بالا به کار می‌رود [۲۱، ۲۰].

تبدیل مولفه‌های اصلی یک تبدیل خطی است که در آن محورهای مختصات فضایی چندباندی به گونه‌ای می‌چرخند که اولین محور در راستای حداکثر واریانس ارزش‌های باندها و دومین محور عمود بر محور اول و در راستای واریانس باقی‌مانده قرار می‌گیرد و به این ترتیب از تعداد n باند شرکت‌کننده در



شکل ۶: نسبت‌گیری باندی $(B5+B7)/B6$ و آنومالی‌های آلتراسیون فیلیک (کانی‌زایی آهن‌دار) در منطقه مورد مطالعه

بعضی کانی‌های خاص اثرهای انعکاسی خود را تنها در یک باند خاص نشان می‌دهند، بنابراین میان مقادیر محاسبه شده آن‌ها با روش کمترین مربعات و مقادیر واقعی اختلاف مشاهده می‌شود که این اختلاف باقی‌مانده^۲ نامیده شده و به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. روش کمترین مربعات بر اساس مقادیر باقی‌مانده اقدام به استخراج مناطق حاوی کانی‌های مورد نظر می‌کند. نتایج حاصل از این روش برای مشخص کردن مناطق دگرسانی پروپلیتیکی در شکل ۹ نشان داده شده است.

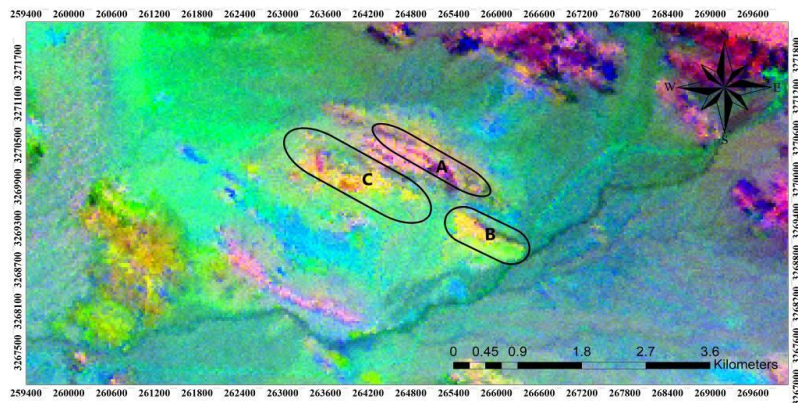
۴- مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی

زمین به صورت طبیعی دارای میدان مغناطیسی است که بر حسب زمان و مکان تغییر می‌کند. این میدان مغناطیسی تا کیلومترها در بالای آن گسترش دارد. به همین دلیل برداشت‌های مغناطیس‌سنجی از طریق هواپیما، هلیکوپتر یا

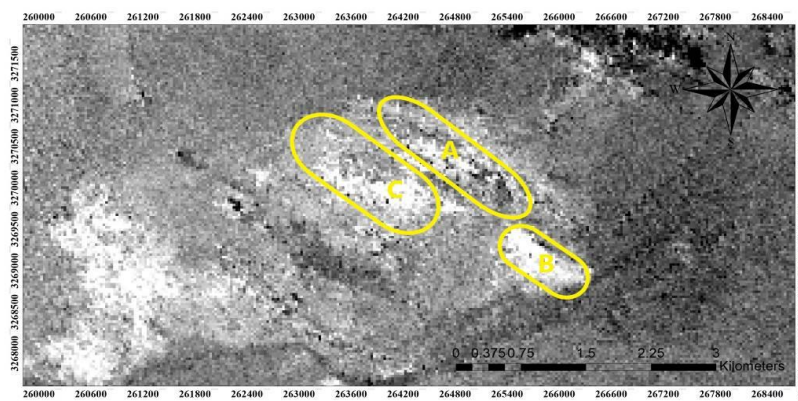
از PC3 پیکسل‌های روشن بیانگر مناطق دگرسانی فیلیک‌اند. در شکل ۸ مناطق دگرسانی فیلیک به صورت پیکسل‌های روشن نشان داده شده است.

۳-۴ روش پیش‌بینی خطی باند با استفاده از برازش کمترین مربعات (LS-Fit)

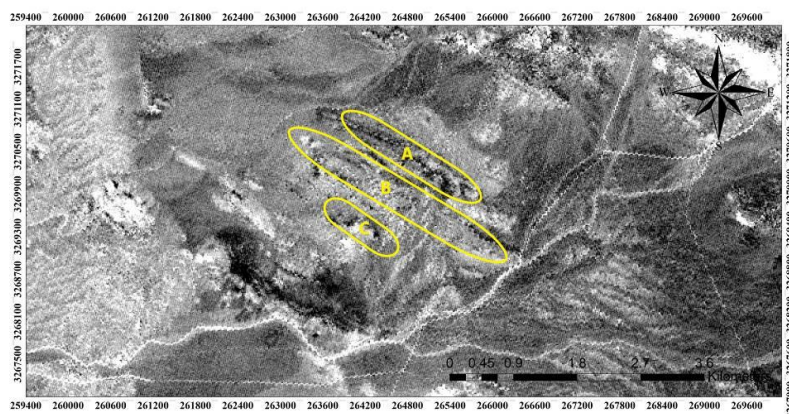
برای تفسیر و استخراج پهنه‌های دگرسانی با دقت بالا در محدوده مورد مطالعه از روش پیش‌بینی خطی باند با استفاده از برازش کمترین مربعات (LS-Fit) استفاده شد. این روش به تخمین یک باند بر اساس ترکیب خطی باندهای دیگر می‌پردازد. این روش با این فرض است که باندهای به کار گرفته شده به عنوان مقادیر ورودی می‌توانند رفتار سایر باندها را به صورت یک عبارت خطی بیان کنند. این مقدار در واقع باند پیش‌گویی‌شونده (باند مدل) نامیده شده و به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود [۲۳].



شکل ۷: تحلیل مولفه اصلی (RGB: PC4-t1, -PC3-t1, -PC1) آلتراسیون پروپلیتیکی در منطقه مورد مطالعه

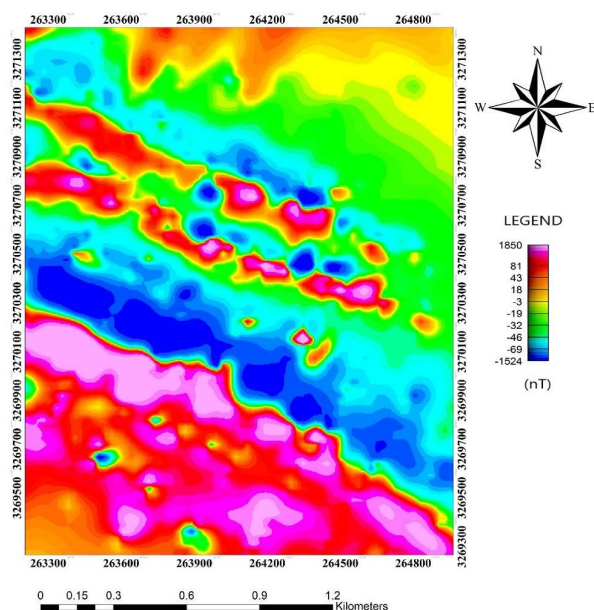


شکل ۸: تحلیل مولفه اصلی مربوط به PC3 آلتراسیون فیلیک در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹: تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات (مناطق دگرسانی پروپلیتیک) در منطقه مورد مطالعه

جغرافیایی نقاط قابل پیش‌بینی و اندک است ولی وجود کانی‌های مغناطیسی مانند منیتیت ممکن است، به صورت محلی یا منطقه‌ای در میدان زمین اغتشاش ایجاد کند و از طرفی میدان مغناطیسی هر نقطه نشان‌دهنده میدان کل زمین است که این میدان شامل اثر ناحیه‌ای و اثر محلی در هر نقطه است [۲۴]. نقشه میدان مغناطیسی باقیمانده برای محدوده مورد مطالعه تهیه و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این نقشه چند آنومالی قابل مشاهده است که عموماً در یک روند در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۰: نقشه میدان مغناطیسی باقیمانده در منطقه مورد مطالعه

ماهواره نیز امکان‌پذیر است. وجود کانی‌های مغناطیسی مانند منیتیت ممکن است، به صورت محلی یا منطقه‌ای در میدان زمین اغتشاش ایجاد کند. به طور معمول سنگ‌های آذرین و دگرگونی خاصیت مغناطیسی بیشتری نسبت به سنگ‌های رسوبی دارند. اندازه‌گیری تغییرات محلی میدان مغناطیسی اغلب ممکن است در شناسایی تغییرات سنگ‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد. برای اکتشاف کانی‌های آهن‌دار بیشتر میدان کل میدان مغناطیسی اندازه‌گیری می‌شود [۲۴].

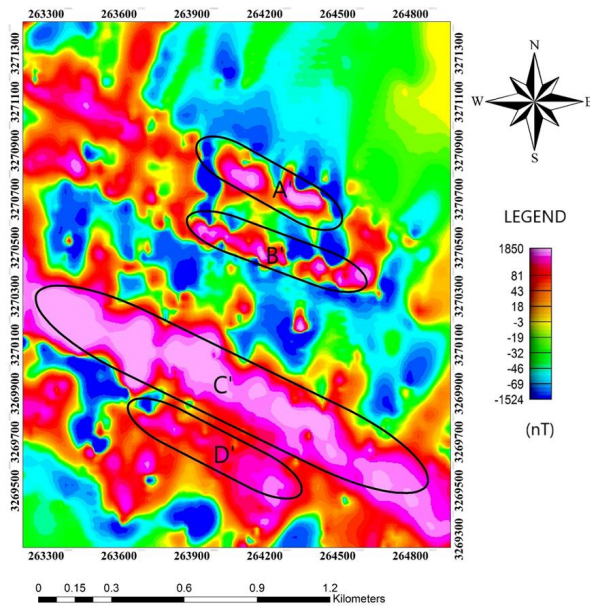
داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنج مگنتومتر GEM و با فواصل پروفیلی ۱۶۰ متر و فاصله بین نقاط برداشت ۴۰ متری برداشت شده است.

بر روی داده‌های برداشت شده تصحیحات مورد نیاز از قبیل تصحیح IGRF، تغییرات روزانه، تصحیح ارتفاعی، تصحیح ایستگاه مبنایی و تصحیحات طول و عرض جغرافیایی انجام شده است. میدان مرجع ژئومغناطیس به صورت تجربی به وسیله داده‌های ماهواره‌ای و رصدخانه‌های بین‌المللی ژئومغناطیس (IGRF) مدل شده است. IGRF برای اعمال تصحیحات ناحیه‌ای روی داده‌ها ممکن است، اعمال شود. به هر حال این تصحیحات ناحیه‌ای یک طول موج کمینه در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر دارد. تغییرات IGRF به طور مرتب رصد و هر ۵ سال یک بار تجدیدنظر می‌شود [۲۵].

مقدار زاویه انحراف میدان مغناطیسی زمین در منطقه مورد مطالعه ۲٫۹ درجه و زاویه شیب میدان مغناطیسی زمین ۴۶٫۳ درجه و شدت کل میدان مغناطیسی زمین در محدوده مورد مطالعه ۴۵۹۲۰ نانوتسلا است.

تغییرات مکانی میدان مغناطیسی زمین برحسب مختصات

۴-۱= نقشه برگردان به قطب شده (RTP)



شکل ۱: نقشه میدان مغناطیسی پس از برگردان به قطب (RTP) در منطقه مورد مطالعه

۴-۲= نقشه های گسترش به بالا (روش ادامه فراسو)

روش ادامه فراسو^۲، اثر آنومالی های سطحی با فرکانس بالا را حذف و به این طریق اثر آنومالی های عمیق تر را بهتر آشکار می سازد [۲۸]. این فیلتر تاثیر منابع محلی و کم عمق را که در نقشه های گرادیان عمودی آشکار بود، حذف می کند و بدین وسیله اثر آنومالی های عمیق را بهتر آشکار می سازد. در واقع این روش، آنومالی های با طول موج کوتاه را حذف و دامنه آنومالی را تضعیف و اختلالات را کاهش می دهد [۲۹].

برای بررسی کیفی عمق منشاهای آنومالی، سطح برداشت داده ها به ارتفاع های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ متری منتقل شد. بررسی یکپارچه نقشه های فراسو دید بسیار خوبی از نحوه گسترش آنومالی های مغناطیسی در عمق به دست می دهد و نقشه های یاد شده با استفاده از نقشه RTP تهیه شده اند. نقشه آنومالی مغناطیسی ادامه فراسو ۲۰ متر در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل مشاهده می شود، آنومالی های شدت میدان مغناطیسی تا حد زیادی باقی مانده است. به عبارتی دیگر در این نقشه فقط آنومالی های ریز و کوچک که حتی در مواردی می توان آن ها را نويز محسوب کرد، از روی نقشه شدت میدان باقیمانده حذف و یا تضعیف شده و در نتیجه

در تفسیر داده های مغناطیسی اولین گام حذف اثر دوقطبی میدان مغناطیسی است. برای این منظور از روش برگردان به قطب RTP استفاده می شود. با استفاده از این فیلتر، میدان مغناطیسی از یک عرض مغناطیسی که در آن بردار میدان زمین مایل و شیب دار است، به قطب مغناطیسی یعنی جایی که میدان القایی قائم است، منتقل می شود [۲۶، ۲۷].

ماهیت آنومالی های مغناطیسی دو قطبی است و منشا ایجاد کننده آنومالی حدودا در وسط این دو قطب قرار می گیرد. این پدیده یکی از عوامل پیچیدگی تحلیل نقشه های مغناطیسی است. برای حل این مشکل از فیلتر برگردان به قطب شمال استفاده می کنند. در قطب شمال مغناطیسی زمین بردار مغناطیسی به صورت قائم وارد زمین می شود که این باعث می شود که قطب مثبت رشد کرده و درست در بالای منشا ایجاد کننده خود قرار گیرد و قطب منفی تحلیل رفته و به حواشی آنومالی مهاجرت کند. در نقشه برگردان به قطب در این محدوده آنومالی هایی که با مقادیر بالا در مرکز منطقه قرار گرفته، کمی به طرف شمال جابه جا شده است. در نقشه های RTP، عملا مرکز توده مغناطیسی در زیر بیشینه مقدار میدان قرار می گیرد.

به همین دلیل تفسیر و تحلیل توده ها ساده تر می شود. در شکل ۱۱ نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه پس از برگردان به قطب نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می شود شماره آنومالی های مغناطیسی A' ، B' ، C' و D' با نتایج پردازش سنجش از دور کاملا مطابقت دارند.

آنومالی های A' و B' در شمال منطقه و منطبق بر سنگ های آهنی، مرمر و شیست سبز است. با مشاهده دقیق میدان مغناطیسی این آنومالی مشخص است که این آنومالی نیز از دو ساختار دایکی شکل باریک با امتداد عمومی ساختارهای منطقه که احتمالا در عمق کم واقع شده، تشکیل شده است.

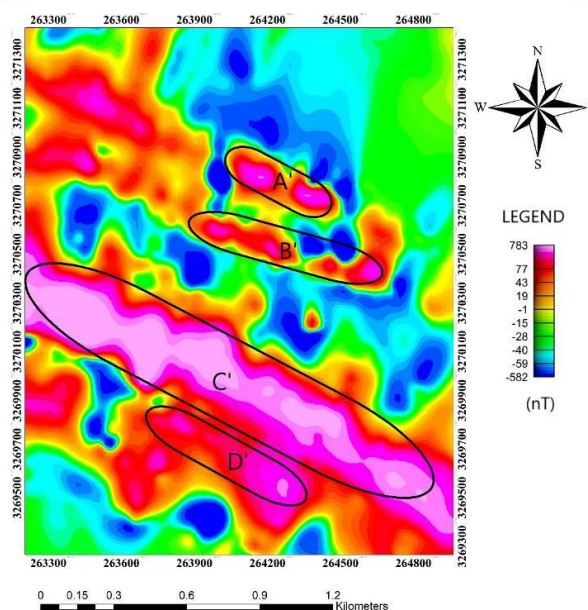
بر اساس تحلیل پاسخ مغناطیسی توده ها به نظر می رسد که آنومالی های C' و D' مرتبط با کانی زایی آهن در منطقه بوده که در اعماق منطقه و در زیر واحدهای آهنی واقع شده است. در تفسیر اولیه به نظر می رسد که با توجه به شدت میدان مغناطیسی، کانی زایی هماتیت و یا منیتیت-هماتیت در راستای شمال غرب- جنوب شرق اتفاق افتاده و آنومالی های C' و D' ناشی از دو دایک مغناطیسی مجاور هم در منطقه است.

برای تمام نواحی باقی مانده و صرفاً نوپرها و آنومالی‌های کوچک از داده‌ها حذف شده است. آنومالی‌های شماره A' و B' به ترتیب مربوط به آنومالی‌های سطحی‌اند که در مجاورت یکدیگر و در یک راستا قرار گرفته‌اند، این آنومالی‌ها پس از ادامه فراسو ۵۰ متری ضعیف‌تر شده و منشأ این آنومالی‌ها مربوط به اعماق خیلی زیاد نیست. آنومالی‌های شماره C' و D' به ترتیب مربوط به آنومالی‌هایی با منشأ عمیق‌اند، این آنومالی‌ها در ادامه فراسو ۵۰ متری تغییرات زیادی نسبت به آنومالی مغناطیسی باقیمانده نداشته است.

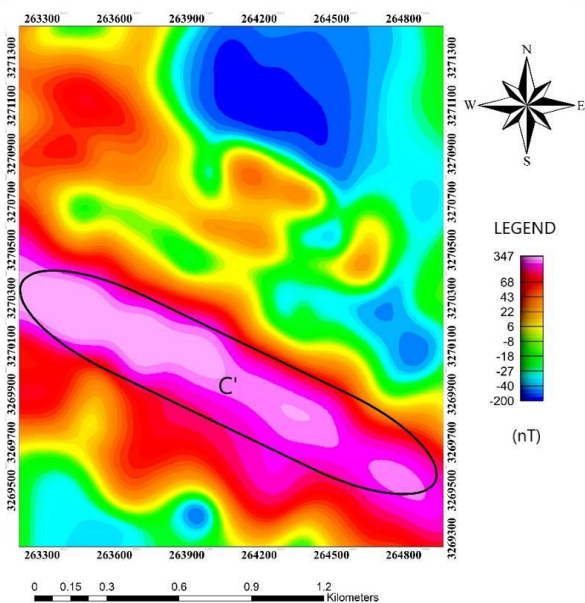
نقشه آنومالی مغناطیسی ادامه فراسو ۱۰۰ متر در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود آنومالی‌های شدت میدان مغناطیسی برای آنومالی‌های A' و B' تا حد زیادی تضعیف و روند شناسایی آن‌ها در حال محو شدن است، این مطلب نشان‌دهنده کم‌عمق بودن این آنومالی است.

همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود امتداد دو آنومالی C' و D' تقریباً یکسان بوده و احتمالاً نشان‌دهنده منشأ یکسان این دو آنومالی است، که آنومالی شماره C' همچنان وجود دارد و احتمالاً این ریشه‌دارترین آنومالی است که در اعماق وجود دارد و آنومالی شماره D' محو شده است که احتمالاً این دو آنومالی در عمق منشأ یکسانی دارند.

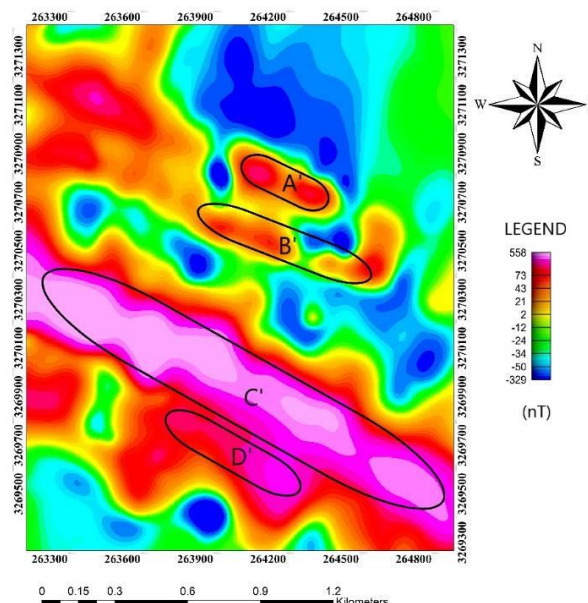
آنومالی‌های مغناطیسی مورد نظر را مناسب‌تر نمایش می‌دهد. نقشه آنومالی مغناطیسی ادامه فراسو ۵۰ متر در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود آنومالی‌های اصلی شدت میدان مغناطیسی تا حد زیادی



شکل ۱۲: نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه پس از ادامه فراسو ۲۰ متر

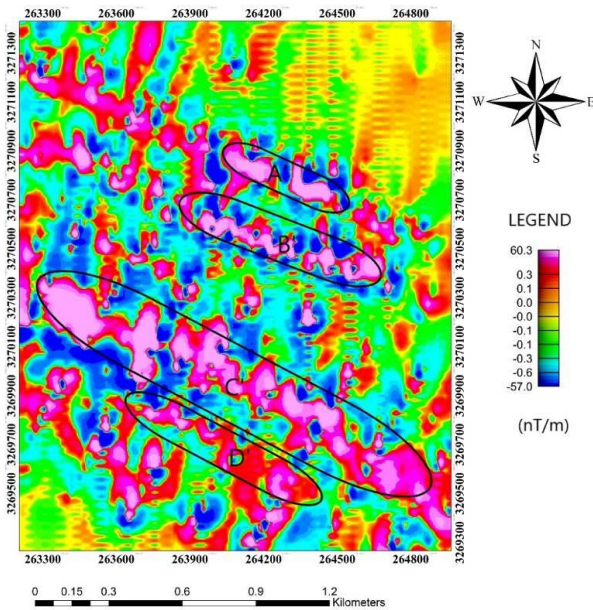


شکل ۱۴: نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه پس از ادامه فراسو ۱۰۰ متر



شکل ۱۳: نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه پس از ادامه فراسو ۵۰ متر

۴-۳- نقشه مشتق قائم مرتبه اول



شکل ۱۵: نقشه مشتق قائم مرتبه اول میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه

و همکاران (۱۹۹۲) [۳۲] نشان دادند که تصحیح انتقال به قطب چه تاثیری در جاب‌جایی سیگنال تحلیلی داده‌ها در عرض‌های جغرافیایی کم و تفسیر دایک‌ها دارد. سیگنال تحلیلی در تعیین محل منبع‌های مغناطیسی کاربرد دارد.

دامنه سیگنال تحلیلی بسته به شکل منبع، روی منبع یا روی مرزهای آن به بیشینه خود می‌رسد.

برای منبع‌های دو بعدی (دایک، استوانه افقی، سطح تماس) شکل منحنی دامنه سیگنال تحلیلی کاملاً مستقل از کمیت‌های جهت‌ی مانند مغناطیس شونده‌گی، زاویه شیب، زاویه میل، زاویه انحراف میدان و امتداد بوده و همواره یک تابع زوج و متقارن است، بنابراین مغناطیس باقی‌مانده عامل مزاحمی نخواهد بود و نیازی به دانستن آن نیست.

این کمیت‌ها فقط روی اندازه دامنه سیگنال تحلیلی تاثیر دارند. تاثیر نداشتن کمیت‌های جهت‌ی بر شکل منحنی دامنه، یک ویژگی مهم سیگنال تحلیلی در حالت دو بعدی است. این اثر، به ویژه در مناطقی که مقدار و جهت مغناطیس باقی‌مانده معلوم نیست، قابل توجه است [۳۳-۳۵]. شکل ۱۶ نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده می‌شود در این نقشه می‌توان لبه‌ها و محدوده مرز آنومالی‌ها را شناسایی کرد.

محاسبات مشتق قائم مرتبه اول میدان، یک روش پرکاربرد برای واضح‌تر کردن آنومالی‌های محلی است و اثر این روش ضعیف کردن آنومالی منطقه‌ای و تقویت آنومالی محلی است [۳۰]. با اعمال این فیلتر بر روی نقشه برگردان به قطب، آنومالی‌های سطحی نمود بیشتری پیدا می‌کند. بدین‌وسیله می‌توان رفتار این توده‌های مغناطیسی را در سطح، بهتر مورد بررسی قرار داد [۲۷].

مشتق قائم در واقع یک فیلتر بالاگذر است زیرا بسامدهای بالا را نسبت به بسامدهای پایین افزایش می‌دهد [۳۱]. روش مشتق قائم برای تقویت آنومالی‌های سطحی و کم عمق‌تر و تضعیف آنومالی‌های عمیق از جمله پی‌سنگ‌های منطقه در برداشتهای هوایی است، در برداشتهای زمینی نیز برای اکتشاف مواد معدنی در بعضی موارد اهمیت زیادی دارد. از جمله کاربردهای آن تعیین مرز منشاهای مغناطیسی و جدایش میدان زمینه از آنومالی‌ها است.

همچنین به دلیل نوفه‌دار بودن داده‌ها قبل از اعمال فیلتر مشتق، داده‌ها به ادامه فراسوی ۳ متر شیفت داده شدند. تشخیص خطواره‌های مغناطیسی یکی از مهمترین مراحل تفسیر کیفی است، نقشه مشتق قائم اول نقش بسزایی را در نمایش خطواره‌های مغناطیسی ایفا می‌کند. شکل ۱۵ نقشه مشتق قائم مرتبه اول میدان مغناطیسی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

همانطور که در این نقشه‌ها مشاهده می‌شود، مرز محدوده آنومالی‌ها با وضوح بیشتری قابل شناسایی و ردیابی است. از آنجایی که فیلتر مشتقات قائم نسبت به آنومالی‌های سطحی‌تر حساسیت بیشتری دارند بنابراین مرز آنومالی‌های A' ، B' ، C' و D' با وضوح بیشتری مشخص شده است.

۴-۴- نقشه سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی با استفاده از مشتق در جهات مختلف اثر روند منطقه‌ای که از نوع درجه اول است را در سه جهت حذف می‌کند و با حذف اثر آنومالی‌های سطحی بدنه مغناطیسی را بهتر نشان می‌دهد. مشکلات این روش یکی فاصله بدنه مغناطیسی نسبت به سطح زمین است که هر چه نزدیک‌تر باشد پاسخ مناسب‌تر است و دیگری اختلاف اثر خودپذیری بدنه مغناطیسی و سنگ‌های اطراف است که هر چه اختلاف بیشتر باشد، نقشه سیگنال تحلیلی واضح‌تر است. مکلود

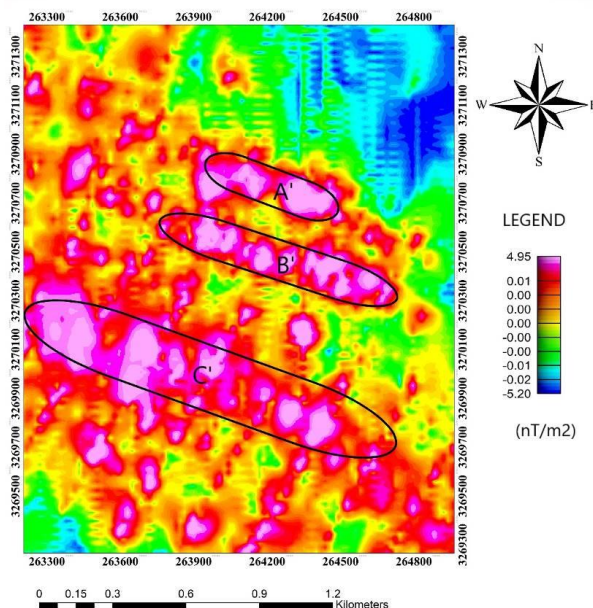
فیلتر دارای مقدار منفی خواهد بود. مقادیر زاویه تمایل با صرف نظر از مقدار مشتقات افقی و عمودی در بازه $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ قرار می‌گیرد.

با اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی داده‌های میدان مغناطیسی می‌توان ساختارها و خطواره‌های مغناطیسی را شناسایی کرد، بدین صورت که مقدار زاویه تمایل در حالی که میل (شیب) میدان مغناطیسی ۹۰ درجه است، بر روی گسل‌ها و خطواره‌ها صفر است. به کمک زاویه تمایل می‌توان تا حدودی به جهت شیب گسل‌ها نیز پی برد چون از محل گسل‌ها و خطواره‌ها در جهت شیب مقدار زاویه تمایل منفی است.

شکل ۱۷ نقشه زاویه کجی بر روی نقشه مغناطیسی زمینی برگردان به قطب شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود خطواره‌های منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است.

منطقه مورد مطالعه دارای گسل‌ها و شکستگی‌های متعدد با روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق است که طی این ساز و کارهای ساختاری، واحدهای سنگ‌شناسی کلریتی، سرسیتی-شیست و آمفیبولیتی را بسیار تحت تاثیر قرار داده است و آلتراسیون‌های پروپلیتیکی، کلریتی و فیلیک را تشکیل داده است. از واحدهای کانه‌زایی اسکارنی مهم در نزدیکی این محدوده می‌توان به مهم‌ترین و بزرگترین واحد آهن اسکارنی گل‌گهر اشاره کرد. محدوده مورد مطالعه در فاصله ۷۰ کیلومتری و هم جهت با شیب عمومی شمال غرب-جنوب شرق زون سندنجد-سیرجان و معدن گل‌گهر قرار دارد.

شکل ۱۸- الف نقشه برگردان به قطب شده مغناطیس‌سنجی زمینی از نمایی نزدیک را به همراه شکستگی‌ها و گسل‌های زمین‌شناسی در محیط گوگل ارث را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود چهار نوع دایک مغناطیسی مهم در منطقه وجود دارد که منطبق بر روند ساختاری منطقه می‌باشند. شکل ۱۸- ب نقشه طبقه‌بندی شده و تلفیقی نتایج داده‌های دورسنجی و مغناطیس‌سنجی زمینی در محیط ArcGIS است که با توجه به اینکه در روش دورسنجی و مغناطیس‌سنجی زمینی چهار نوع آنومالی شناسایی شدند، این نتایج تلفیق شد و مناسب‌ترین نقاط برازش بین دو روش تهیه شده است. شکل ۱۸- پ، نقشه برگردان به قطب شده مغناطیس‌سنجی زمینی از نمایی متفاوت نشان داده شده است که نحوه جهت‌گیری ساختارهای زمین‌شناسی و جهت‌گیری دایک‌های مغناطیسی را بهتر نشان می‌دهد. شکل ۱۸- ت، نقشه نهایی پتانسیل



شکل ۱۶: نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه

۴-۵- نقشه زاویه تیلت^۲

روش‌های مختلفی برای تشخیص مرز آنومالی‌ها معرفی شده است. کوپر و کوان [۳۶] فیلتر فاز محلی یکی دیگر از ابزارهایی است که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از ابهام در فاز داده‌ها در روش‌های معمول از ادامه فراسو قبل از اعمال فیلتر استفاده می‌شود [۳۷]. میلر و سینگ [۳۸] فیلتر فازی زاویه کجی یا تمایل را طبق رابطه ۱ تعریف کردند:

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad (1)$$

که در آن:

f : میدان مغناطیسی

TA : زاویه تمایل

$\frac{\partial f}{\partial z}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$, $\frac{\partial f}{\partial x}$

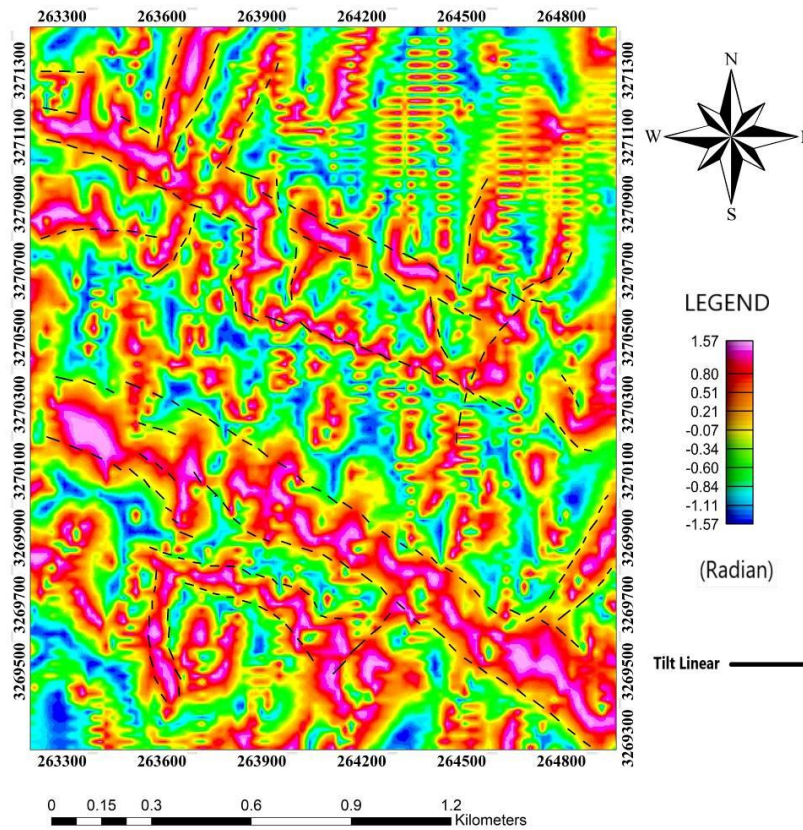
: مشتق‌های میدان نسبت به X ، Y و Z

هستند.

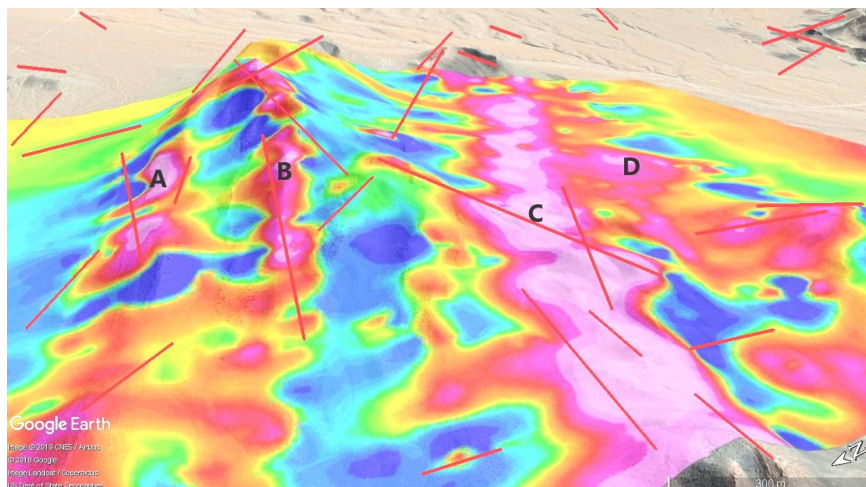
فیلتر زاویه کجی هنگامی که نقاط مشاهده روی چشمه آنومالی قرار دارد، دارای مقادیر مثبت است. در لبه آنومالی‌ها مقدار گرادیان قائم برابر با صفر و گرادیان‌های افقی بیشینه‌اند، بنابراین مقدار این فیلتر در لبه‌ها برابر با صفر و در سایر نقاط

آنومالی های مغناطیس سنجی زمینی دقیقاً مرتبط با یکدیگرند و هم پوشانی کاملی دارند.

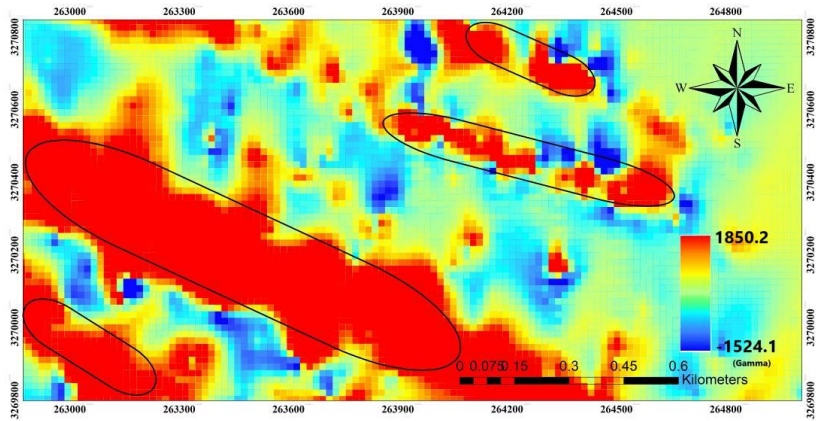
معدنی کانه زایی آهن را به همراه گسل ها و شکستگی ها نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود آلتراسیون ها



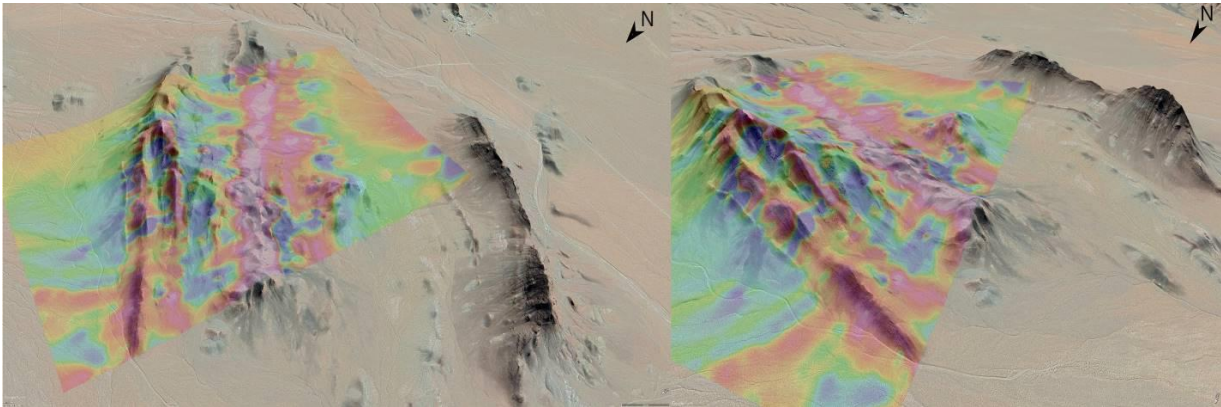
شکل ۱۷: نقشه زاویه کجی به همراه خطواره های مغناطیسی شناسایی شده منطقه مورد مطالعه



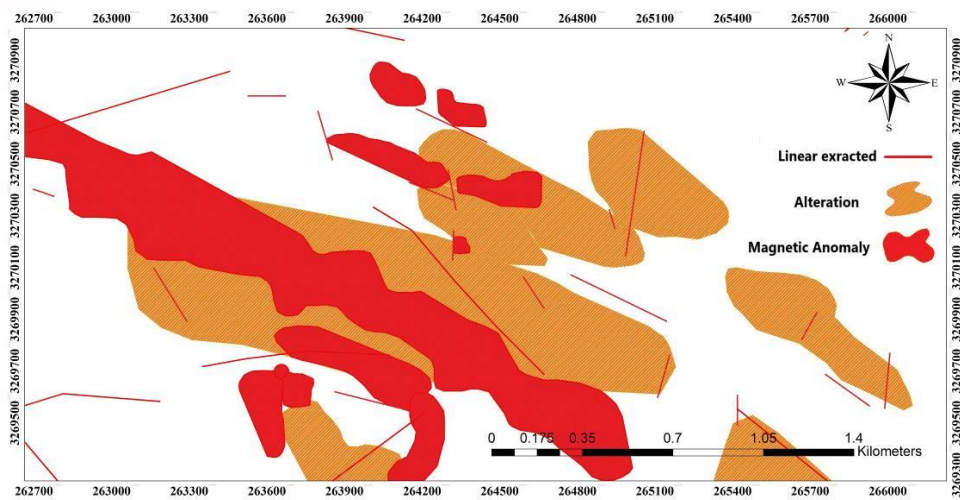
شکل ۱۸: الف) نقشه مغناطیس سنجی زمینی به همراه آنومالی های شناسایی شده و خطواره ها، گسل ها و شکستگی های محدوده مورد مطالعه (روند کلی ساختارها شمال غرب - جنوب شرق است).



شکل ۱۸: ب) نقشه تلفیق شده و طبقه‌بندی شده مغناطیسی و دورسنجی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۸: پ) نقشه آنومالی‌های مغناطیسی برگردان به قطب شده در محیط گوگل ارث منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۸: ت) نقشه پتانسیل معدنی و آنومالی‌های شناسایی شده مغناطیس‌سنجی زمینی، آلتراسیون‌ها و شکستگی‌ها و گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با توجه به مطالعات سنجش از دور و مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی چهار نوع آنومالی شناسایی و پی‌جویی شده است که در هر دو روش نتایج منطبق بر یکدیگر ند. در واقع آنومالی‌های A ، B ، C و D در روش سنجش از دور با آنومالی‌های A' ، B' ، C' و D' در روش مغناطیس‌سنجی زمینی با یکدیگر همپوشانی داشته است.

تقریباً پایدارترین تغییرات بالای میدان مغناطیسی در کلیه پردازش‌های مغناطیس‌سنجی مربوط به آنومالی‌های C' و D' است.

بر اساس نقشه زمین‌شناسی هر دو آنومالی یاد شده، عمدتاً منطبق بر سنگ‌های دگرگونی مرمریت و شیست سبز و بخشی کمی منطبق بر سنگ‌های دگرگونی آمفیبولیت و شیست است و با توجه به مجاورت توده نفوذی آذرین با سنگ‌های آهکی، به صورت کلی به نظر می‌رسد آنومالی‌های C' و D' ممکن است، ناشی از کانی‌زایی آهن از نوع اسکارن در این ناحیه باشد. وجود کانی‌زایی گارنت در این زون سبب تقویت این ادعا می‌شود.

به نظر می‌رسد که آنومالی‌های C' و D' مرتبط با کانی‌زایی آهن در منطقه بوده که در اعماق و در زیر واحدهای آهکی واقع شده است. با توجه به نقشه شدت میدان مغناطیسی، کانی‌زایی هماتیت و یا منیتیت-هماتیت در راستای شمال غرب- جنوب شرق اتفاق افتاده و آنومالی‌های C' و D' ناشی از دو دایک مغناطیسی مجاور هم در منطقه است.

آنومالی A' و B' در شمال آنومالی C' واقع شده و منطبق بر سنگ‌های مرمر و شیست سبز است. با مشاهده دقیق میدان مغناطیسی این آنومالی مشخص است که این آنومالی نیز از دو ساختار دایکی شکل باریک با امتداد عمومی ساختارهای منطقه و احتمالاً در عمق کم واقع شده است. مهم‌ترین آنومالی C' است که با توجه به طول و ضخامت توده، وضعیت کانی‌زایی مناسبی دارد. آنومالی مجاور آن نیز D' است که احتمالاً این دو آنومالی منشا یکسان دارند و به نظر می‌رسد در مرز سنگ‌های آهکی با توده نفوذی این کانی‌زایی اتفاق افتاده است. آنومالی A' و B' نیز نشان‌دهنده وجود دو دایک با روند عمومی منطقه است که نسبت به C' و D' بسیار باریک‌تر، کم عمق‌تر و کوتاه‌تر است.

۶- سپاس‌گزاری

در پایان از شرکت زمین فناوریان آسیا و جناب آقای

پروفسور محمدحسین زرین‌کوب و دکتر سید مرتضی موسوی که در جمع‌آوری داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی زحمت بسیاری را متحمل شدند، تشکر و قدردانی می‌شود. (نکته: شکل‌های ۱۸- الف تا ت با زیرنویس توسط نویسنده مرتب شود.)

۷- مراجع

- [1] Ganiyu, S. A., Badmus, B. S., Awoyemi, M. O., Akinyemi, O. D., and Olurin, O. T. (2012). "Upward continuation and reduction to pole process on aeromagnetic data of Ibadan Area". South-Western Nigeria, Earth Science Research, 2(1): 66-84.
- [2] Carlson, T. N., and Ripley, D. A. (1997). "On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index". Remote Sensing of Environment, 62(3): 241-252.
- [3] Paterson, N. R., and Reeves, C. V. (1985). "Applications of gravity and magnetic surveys: The state-of-the-art in 1985". Geophysics, 50(12): 2558-2594.
- [4] Chander, G., Markham, B. L., and Helder, D. L. (2009). "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors". Remote Sensing of Environment, 113(5): 893-903.
- [5] Siemon, B. (2001). "Improved and new resistivity depth profiles for helicopter electromagnetic data". Journal of Applied Geophysics, 4: 250-269.
- [6] Bishop, J. R., and Lewis, R. J. G. (1992). "Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive Sulfide deposits". Economic Geology, 87: 913-930.
- [7] Clark, D. A. (1999). "Magnetic petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation". Exploration Geophysics, 30(2): 5-26.
- [8] علوی‌پناه، س. ک.؛ ۱۳۸۵؛ "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین". مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۱-۴۴.
- [9] Silver, E., MacKnight, R., Male, E., Pickles, W., Cocks, P., and Waibel, A. (2011). "LiDAR and hyperspectral analysis of mineral alteration and faulting on the west side of the Humboldt Range, Nevada". Geosphere, 7(6): 1357-1368.
- [10] Gupta, H. K., and Roy, S. (2003). "Geothermal energy: an alternative resource for the 21st century". First edition, Elsevier, pp. 279.
- [11] Stöcklin, J. (1968). "Structural history and tectonics of Iran: a review". American ciation of Petroleum

- [۲۳] شبانکاره، م.؛ ۱۳۸۶؛ "تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی زون متالوژی کاشان - نائین در محیط GIS با استفاده از شبکه عصبی فازی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، ص ۷۴-۵۳.
- [۲۴] نوروزی، غ.؛ ۱۳۸۸؛ "ژئوفیزیک اکتشافی". انتشارات دانشگاه تهران، ص ۷۸-۵۳.
- [25] Shoham, Y. (1978). "Magnetotelluric geophysical exploration method – review". American Association of Petroleum Geologists (AAPG Bulletin), 62(11): 241-264.
- [26] Arkani-Hamed, J., and Urquhart, W. E. S. (1990). "Reduction to pole of the North American magnetic anomalie". Geophysics, 55(2): 218-225.
- [27] Guun, P. J., Madment, D., and Miligan, P. R. (1997). "Interpretation of aeromagnetic data in area of limited outcrop". Journal of Australian Geology and Geophysics (AGSO), 17(2): 175-185.
- [28] Ganiyu, S. A., Badmus, B. S., Awoyemi, M. O., Akinyemi, O. D., and Olurin, O. T. (2012). "Upward continuation and reduction to pole process on aeromagnetic data of Ibadan Area, South-Western Nigeria". Earth Science Research, 2(1): pp. 66.
- [29] Tarlowski, C., Gunn, P. J., and Mackey, T. (1997). "Enhancements of the magnetic map of Australia". Journal of Australian Geology and Geophysics (AGSO), 17: 77-82.
- [۳۰] شهری، م. ر.؛ ۱۳۸۴؛ "مبانی اکتشافات ژئوفیزیک". دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۴۹-۳۴.
- [31] Neawsuparp, K., Charusiri, P., and Meyers, J. (2005). "New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand". Science Asia, 31: 283-298.
- [32] Adams, J. B., Smith, M. O., and Johnson, P. E. (1986). "Spectral mixture modeling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander 1 site". Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 91(B8): 8098-8112.
- [33] Nabighian, M. N. (1972). "The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation". Geophysics, 37: 507-517.
- [34] Roest, W. R., Verhoef, J., and Pilkington, M. (1992). "Magnetic interpretation using 3-D analytic signal". Geophysics, 57: 116-125.
- [35] Hsu, S. K., Coppens, D., and Shyu, C. T. (1998). "Depth to magnetic source using the generalized analytic signal". Geophysics, 63: 1947-1957.
- Geologists Bulletin, 52(7): 1229-1258.
- [۱۲] افتخار نژاد، ج.؛ ۱۳۹۵؛ "تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی". نشریه انجمن نفت، دوره ۸۲، ص ۲۸-۱۹.
- [13] Alavi, M. (1991). "Tectonic map of the Middle East (scale 1:5,000,000)". Geological Survey of Iran, 24-37.
- [14] Sheikholeslami, M. R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H., and Emami, M. H. (2008). "Tectono-metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri-Kor-e-Sefid area (Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran)". Journal of Asian Earth Sciences, 31: 504-521.
- [15] Noorollahi, Y., Itoi, R., Fujii, H., and Tanaka, T. (2007). "GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan". Computers & Geosciences, 33(8): 1008-1021.
- [16] Ranjbar, H., Honarmand, M., and Moezifar, Z. (2004). "Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt". Journal of Asian Earth Sciences, 24: 237-243.
- [17] Tommaso, I. M., and Rubinstein, N. (2007). "Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina". Ore Geology Reviews, 32: 275-290.
- [18] Crosta, A., and Moore, J. (1989). "Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain". Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, 1173-1187.
- [19] Abrams, M., Hook, S., and Ramachandran, B. (2002). "ASTER User Handbook". Second ed. JPL Publication Laboratory, California Institute of Technology, pp. 135.
- [۲۰] علوی‌پناه، ک.؛ ۱۳۸۲؛ "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین". مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۷۱-۵۳.
- [21] Khaleghi, M., and Ranjbar, H. (2011). "Alteration Mapping for Exploration of Porphyry Copper Mineralization in the Sarduih area, Kerman Province, Iran. Using ASTER SWIR Data". Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(8): 61-69.
- [22] Crosta, A. P., and Moore, J. M. C. M. (1989). "Enhancement of landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain". In: Wolfe, W. L., and ZISSIS, G. L. (eds). Proceeding of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calagary, 1173-1187.

[36] Cooper, G. R. J., and Cowan, D. R. (2006). "Enhancing potential field data using filters based on the local phase". Computers & Geosciences, 32: 1585-1591.

[37] Verduzco, B., Fairhead, D. J., Chris, M. G., and Chris, M. (2004). "New insights into magnetic derivatives for structural mapping". The Leading Edge, 23(2): 116-119.

[38] Miller, H. G., and Singh, V. (1994). "Potential field tilt, a new concept for location of potential field sources". Journal of Applied Geophysics, 32: 213-217.

¹ Principal Component Analysis (PCA)

² Residual

³ Upward continuation

⁴ Tilt Angle



DOI: 10.30479/jmre.2020.9950.1216

Iron Ore Potential Mapping Using Remote Sensing and Magnetometric Geophysical Surveys in Northeast of Neyriz, Fars Province

Mojarad S.^{1*}

1- M. Sc, Asia Geo Technology Company, Shahrood, Iran
Mojaradsaeed021@gmail.com

(Received: 15 Jan. 2019, Accepted: 11 Jan. 2020)

Abstract: In this study, processing and interpretation methods in remote sensing such as visual and spectral analysis have been performed on the ASTER (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) data from northeast of neyriz area, and as a result, the alteration zones in the area have been identified. Then, the results of magnetometric data, using geological information, alteration and mineralization from the have been interpreted. The emergence and expansion of a measuring instrument for geological and mineralogy in the field of mine mineral resources in recent decades are due to the importance of this industry. The study area is located in the northeast of neyriz and near the village of Ghori in Fars province. Geologically, the units of the study area are located in the zone-Sanandaj-Sirjan and with the general northwest-southeastern trend.

Keywords: Remote Sensing, Magnetometric, ASTER, Neyriz, Ghori.

INTRODUCTION

Development of advanced tools in remote sensing and geophysical exploration during recent decades indicates the necessity and importance of these tools in industry. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) is an advanced multispectral satellite imaging system that has created new opportunities for the mapping of geological structures and detecting certain alteration minerals or assemblages [1]. In this paper, ASTER sensor imagery and magnetometric data have been used in order to determine alteration zones, analyze mineralization system and identify the hidden mineralization in northeast of neyriz located in the north of the province of Fars. For this purpose, a variety of image processing methods are used. magnetometric method have an important role for exploration of metallic ore deposits. To achieve good results from these methods as well as minimizing the noise in the study area.

Methodology and Approaches

The study area is located in the northeast of Fars province and in the northern half of the city of Neyriz. In this study, using first-order data from an ASTER sensor of type-1A, which was used in 2007, was first used by using remote sensing methods including spectral analysis of color combinations and bandaging with software The ENVI, which carried out the ASTER data, the alteration zones associated with iron

mineralization were identified in the region. In the next step, the geomorphic data of ground magnetic measurement in the study area has been used and has been applied to the processing and analysis of ground magnetic magnetization data using OasisMontaj software. Finally, with the simultaneous use of both major exploratory data, significant areas of iron ore mineralization have been identified and investigated within the study area. In summary, in order to identify alteration zones, image processing methods such as FCC (false color composite), BR (band ratio), PCA (principal component analysis), LS-Fit (linear band prediction) using ENVI software were applied on the ASTER images from the study area. After Data processing and interpretation is done using magnetometry.

FINDINGS and CONCLUSIONS

In terms of economic geology, in the Sanandaj-Sirjan zone, there are numerous reserves of iron mineralization. The important iron ore reserves in this zone can be noted that the Gol-Gohar iron ore geological units Gol-Gohar iron ore schists, metamorphic sandstone, quartzite, and metamorphic masses are diabasic. The RGB color combination (123) has been processed on ASTER sensor data, and the interpretation of the studied area with respect to field geological information in the region is such that iron-metallurgical units are observed in dark blue. The color composition (468) RGB was processed on ASTER sensor data, and the interpretation of the studied area is due to the field geological information in the region. ASTER False color composite 468 (RGB) images typically show argillic- and phyllic-altered rocks as red tones, and propylitic-altered rocks as green tones due to Al-O-H (centered at ASTER band 6) and Fe-,Mg-O-H (centered at ASTER band 8) absorption features, respectively [2]. Figure 1 ASTER false color composition RGB 468 shown on the northwest neyriz area. In this image, rockswith phyllic (sercitic) and argillic alteration are enhanced with red color, and green color shows rockswith propylitic alteration. Band Ratio is the image processing method that involves dividing a band into another band. The bonding method with a mathematical ratio of Band 3 / Band 1 and Band 5 / Band 4 ratio was also applied to ASTER sensor data. The ratio (Band 5 + Band 7) / Band 6 was applied to the ASTER sensor data, as presented in the figure, bright pixels showing sericite, muscovite, Illite and smectite minerals. As seen in all processed ASTER data, the anomalies of numbers A, B, C, and D differ from other geological units in the study region. Ground magnetic field data were collected using GEM magnetometer with a distance of 160 meters and a distance between 40-meter margin points. Using methods of ground magnetic processing, many methods were used to identify the sources. In the study area, we were able to identify four anomalies under the ground that it is very important. The geological structure of these anomalies is Northwest-South East. Rock magnetic properties provide critical new interpretation of these magnetic anomalies [3]. Fe ore deposits present distinct field relationships, textural characteristics and compositions, depending upon the formation mechanism [4]. Investigation on formation mechanisms may also provide an important exploration tool for locating associated mineral deposits other than iron, and it could contribute to a better understanding of the systems in which these deposits were formed [5]. Anomalies A and anomalies B are related to

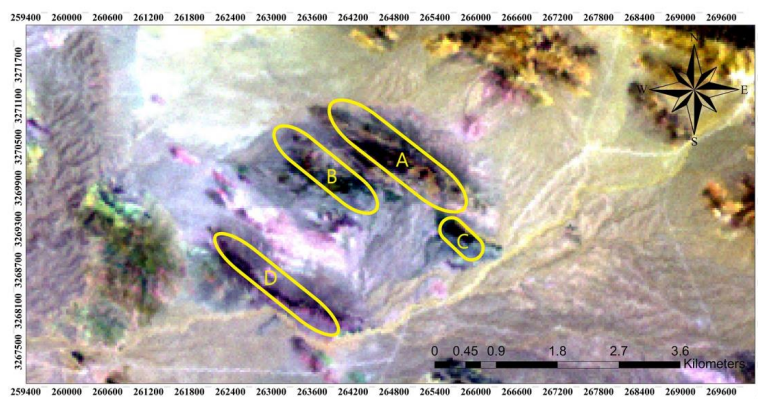


Figure 1. ASTER false color composition RGB 468 shown on the northwest neyriz area. In this image, rockswith phyllic (sercitic) and argillic alteration are enhanced with red color, and green color shows rockswith propylitic alteration

two geological dikes with a lower depth than other anomalies. Anomalies C and anomalies D are much larger and longer. And they have an important source at high depths. According to the results of method Analytic Signal and method Vertical Derivative, we were able to identify the edges of these anomalies Figure 2 total anomaly map shown on the northwest neyriz area. In this study, according to remote sensing studies and ground magnetic studies, four anomalies have been discovered. In both methods, the results are consistent with each other. In fact, the anomalies A, B, C and D in the remote sensing method overlap with the anomalies A', B', C 'and D' in the method of ground magnetization. The most stable changes in the magnetic field in all magnetometric analyzes are related to the C 'and D' anomalies.

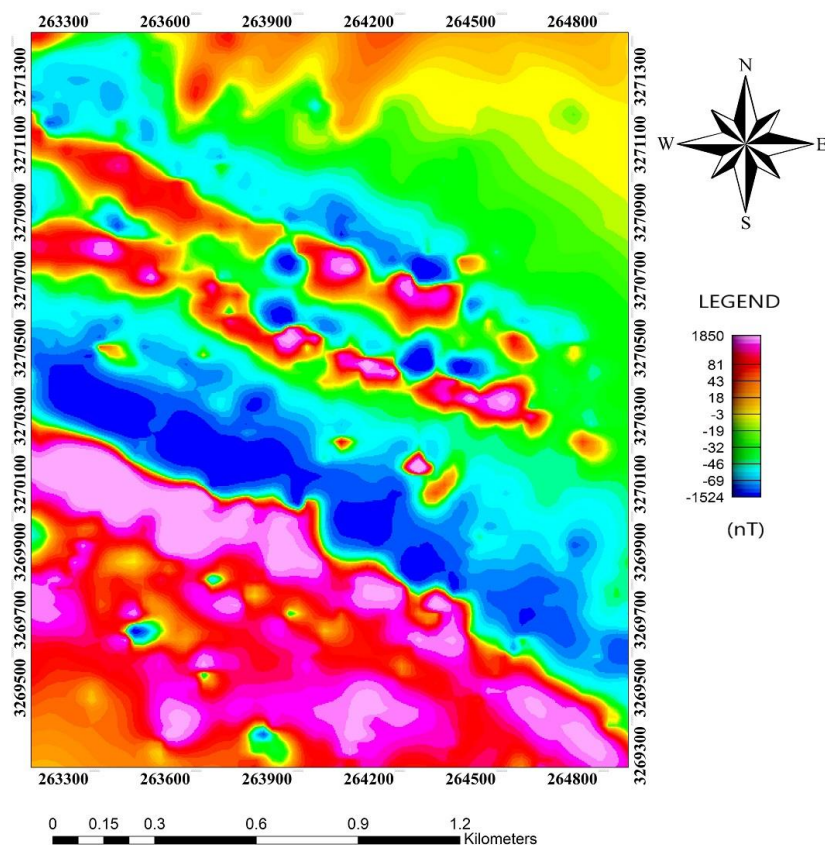


Figure 2. Total anomaly map shown on the study area

REFERENCES

- [1] Chander, G., Markham, B. L., and Helder, D. L. (2009). "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors". *Remote Sensing of Environment*, 113(5): 893-903.
- [2] Tommaso, I. M., and Rubinstein, N. (2007). "Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina". *Ore Geology Reviews*, 32: 275-290.
- [3] Nabighian, M. N. (1972). "The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation". *Geophysics*, 37: 507-517.
- [4] Neawsuparp, K., Charusiri, P., and Meyers, J. (2005). "New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand". *Science Asia*, 31: 283-298.
- [5] Tarlowski, C., Gunn, P. J., and Mackey, T. (1997). "Enhancements of the magnetic map of Australia". *Journal of Australian Geology and Geophysics (AGSO)*, 17: 77-82.