



بخش از دور
و
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰
Vol.13, No. 1, Spring 2021

۹۳-۱۱۶
مقاله پژوهشی

استفاده همزمان و تلفیق دو سری داده‌های ماهواره‌ای سنجنده استر (ASTER) و
مغناطیس‌سنجی زمینی برای پتانسیل‌یابی مناطق امیدبخش کانی‌زایی آهن‌دار
(مطالعه موردی: شمال شرق نیریز- استان فارس)

سعید مجرد^{۱*}

۱. مری، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه بجنورد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

چکیده

منطقه مورد مطالعه در نیمه شمال شرق نیریز در استان فارس واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی ساختاری، منطقه مورد مطالعه در زون سنجند- سیرجان و با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق قرار دارد. واحدهای زمین‌شناسی را واحدهای آهکی، سربست- کلریت شیست و آمفیبولیتی تشکیل می‌دهند. در این پژوهش، از تصاویر سنجنده استر (ASTER) و داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی، به منظور پتانسیل‌یابی و شناسایی نواحی امیدبخش دگرسانی و تحلیلی بر سیستم حاکم کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه، استفاده شده است. علاوه بر این، روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت‌گیری باندی و تحلیل مؤلفه اصلی روی داده‌های استر به کار رفت و مناطق دارای کانی‌زایی آهن‌دار و دگرسانی‌های هیدروکسیدهای آهن مشخص شدند. با استفاده از پردازش‌های کمی و کیفی داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی، نقشه‌های باقی‌مانده مغناطیسی، نقشه برگردان به قطب، ادامه فراسو، مشتق قائم مرتبه اول، زاویه کجی (نقشه تیلت)، سیگنال تحلیلی در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در نهایت و پس از تمامی پردازش‌های دورسنجی و مغناطیس‌سنجی زمینی، چهار آنومالی کانی‌زایی آهن‌دار امیدبخش در این منطقه شناسایی شد. برای اعتبارسنجی این نتایج، حدود ۵۲ نمونه از منطقه برداشت شد و نمونه‌ها به روش XRD تجزیه شدند. پنج گمانه حفاری، تا عمق حدود ۱۴۰ متری از سطح زمین، انجام شد که با نتایج حاصل از پردازش‌های صورت گرفته مطابقت و هم‌خوانی کامل دارند. به همین دلیل، استفاده از روش‌های یادشده برای دسترسی به نتایج مناسب‌تر، به منظور انطباق نتایج داده‌ها با هم، ضروری به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: استر (ASTER)، دورسنجی، مغناطیس‌سنجی زمینی، آهن‌دار، نیریز.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: شرکت زمین نقش مهار موج‌بنیان، بجنورد. تلفن: ۰۹۱۰۵۵۲۸۹۱۲

۱- مقدمه

انعکاس طیفی باندهای مرئی و مرئی نزدیک سریع‌ترین و ارزان‌ترین ابزار در تشخیص کانی‌شناسی نمونه‌ها و ترکیب شیمیایی کانی‌ها شمرده می‌شود. موقعیت، شکل، عمق و تقارن طیف عارضه‌هایی مانند کانی و سنگ از طریق ساختارها و ترکیب کانی جذب‌کننده تعیین می‌شود. اطلاعات باارزشی که از تصاویر سنجنده‌های فضایی، در کمترین زمان ممکن، در مقایسه با دیگر روش‌های اخذ و دریافت اطلاعات اکتشافی و زمین‌شناسی حاصل می‌شود اهمیت استفاده از این روش را در اکتشاف کانسارها، بیش‌ازپیش آشکار کرده است. استفاده از روش‌های پردازش و تحلیل طیفی باندهای سنجنده استر^۱ به‌منظور بارزسازی مناطق دگرسان‌شده و تفکیک واحدهای سنگی بسیار ارزشمند است (Crosta & Moore, 1989; Sabins, 1999; Ranjbar et al., 2004; Noorollahi et al., 2007). عملیات مغناطیس‌سنجی از قدیمی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی است که برای فعالیت‌های اکتشافی در زمینه‌های گوناگون و به‌ویژه اکتشاف ذخایر فلزی و آهن مورد استفاده قرار گرفته است (Nabighian, 1972). 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 (Blakely, 1996; Gunn et al., 1997). مطالعه در شمال شرق نیریز، در استان فارس، واقع شده است. هدف این پژوهش استفاده هم‌زمان از چندین سری داده اکتشافی مهم زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی زمینی، به‌منظور اکتشاف و پتانسیل‌یابی منابع آهن‌دار، است. در این پژوهش، ابتدا، از داده یک برگ از سنجنده استر، از نوع Level-1A که تاریخ آن به سال ۲۰۰۹ برمی‌گردد، استفاده شد. با به‌کارگیری روش‌های دورسنجی شامل پردازش و

تحلیل طیفی گوناگون ترکیب رنگی، نسبت‌گیری بانندی، تحلیل مؤلفه اصلی^۲ با نرم‌افزار ENVI و Geomatica، که روی داده‌های استر انجام پذیرفت، پهنه‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد نظر مشخص و مطالعات صحرایی زمین‌شناسی و آنالیزهای XRD لازم تهیه شد. در مرحله بعد، داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی با استفاده از نرم‌افزار Oasis Montaj، ورژن ۸.۲ پردازش و تحلیل شد.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد نظر، براساس تقسیم‌بندی ساختاری ایران از سوی اشتوکلین^۳ (۱۹۶۸)، افتخارنژاد (۱۹۸۳) و علوی^۴ (۱۹۹۱)، در کمربند دگرگونی سنندج- سیرجان جنوبی قرار گرفته است. فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته ایران باعث برخورد دو صفحه ایران و عربستان و تشکیل کمربند کوه‌زایی زاگرس شد. شمال شرق محدوده مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی و واحدهای سربستی- کلریت شیست تشکیل می‌دهد. در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه، واحدهای آمفیبولیت گسترش چشمگیری دارد؛ به طوری که پس از واحدهای سربستی- کلریت شیست، بیشترین گسترش متعلق به واحدهای آمفیبولیتی در این محدوده است (افتخارنژاد، ۱۹۸۳).

زون سنندج- سیرجان، در واقع، نوعی کافت درون‌قاره‌ای است که فرایندهای رسوب‌گذاری، تکاپوهای ماگمایی و پدیده‌های دگرگونی عوامل اصلی تکوین سرگذشت آن بوده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳). در مرز غربی و شمال غرب این زون با رشته‌کوه زاگرس، به‌صورت ناپیوسته، افیولیت‌های نیریز- کرمانشاه و در مرز شرقی و شمال شرق آن، افیولیت‌های خوی و

1. ASTER
2. Principal Component Analysis (PCA)
3. Stöcklin
4. Alavi

در محدوده مورد نظر، چندین نمونه برای مقطع میکروسکوپی آورده شده است:

نمونه الف) اغلب دارای سربست، کلریت، بیوتیت و موسکویت شیبست است که کانی‌های اصلی آن را کوارتز، فلدسپار، موسکویت، بیوتیت، کلریت، سربست و اپیدوت تشکیل می‌دهد و کانی‌های فرعی آن نیز زیرکن، تورمالین و کانه مات هستند. بافت این نمونه میکروسکوپی اغلب به صورت لیپیدوبلاستیک شیبستوز یا چشمی است و رخساره دگرگون شده این نمونه دگرگونی شیبست سبز است. مقطع مورد مطالعه نشان‌دهنده سنگی دگرگونی متعلق به گروه شیبست‌هاست. نمونه مورد مطالعه، متأثر از شرایط دگرگونی، واجد سطوح شیبستوزیته شده است که در امتداد آن بلورهای موسکویت، بیوتیت و کلریت رشد و توسعه یافته و سبب شکل‌گیری لیپیدوبلاستیک در نمونه شده است. بلورهای سربست به صورت تجمع‌های لنزی (بادامی) بافت چشمی را در سطح مقطع تشکیل می‌دهند و گاه بلورهای اپیدوت به همراه آنها مشاهده می‌شود. ساختارهای چشمی ممکن است بازمانده بلورهای پورفیروکلاست فلدسپار باشد که در مرحله بعد، با سربست و به مقدار کمتر، با اپیدوت جانشین شده است. بلورهای کوارتز و فلدسپار واجد جهت‌یافتگی ترجیحی در امتداد تنش‌های وارد به سنگ‌اند و کشیدگی را به‌نمایش می‌گذارند. شکل ۲ مقطع میکروسکوپی نمونه الف مورد نظر را نشان می‌دهد.

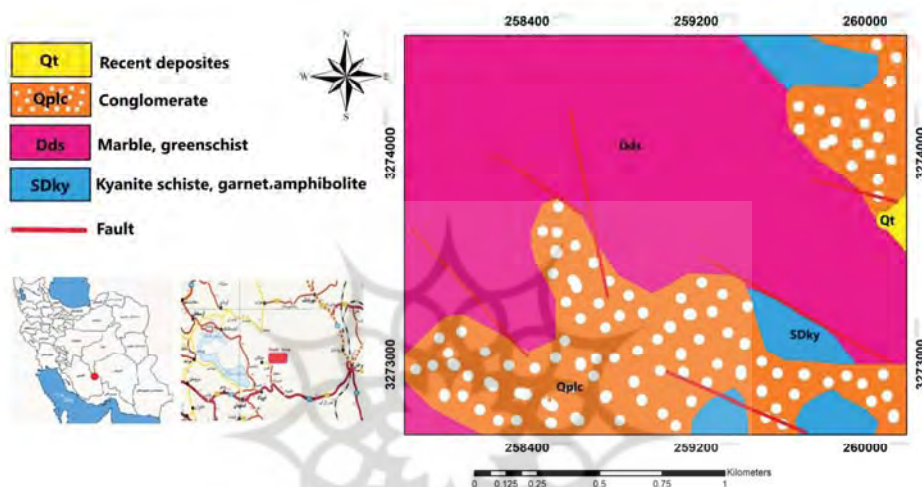
نمونه ب) مقطع میکروسکوپی: این نمونه اغلب دارای اپیدوت، گارنت، کلریت، موسکویت، سربست شیبست است و کانی‌های اصلی آن شامل کوارتز، فلدسپار، سربست، موسکویت، کلریت، گارنت، اپیدوت (ژئوسیت) می‌شود. نمونه مورد نظر دارای بافت لیپیدوبلاستیک شیبستوز و رخساره دگرگونی آن آمفیبولیت (زون گارنت) است. مقطع مورد مطالعه نشان‌دهنده سنگی دگرگونی، متعلق به گروه شیبست‌ها، است. نمونه واجد سطوح شیبستوز است که در امتداد آنها بلورهای موسکویت، سربست و کلریت رشد و

نابین- بافت دیده می‌شوند. ویژگی‌های برجسته بارز کمر بند سنندج- سیرجان این است که فرایندهای دگرگونی آن در همه جا یکسان نیست. بر همین اساس، افتخارنژاد (۱۹۸۳) کمر بند سنندج- سیرجان را به دو بخش سنندج- سیرجان شمالی (گلپایگان- سنندج) و سنندج- سیرجان جنوبی (سیرجان- گلپایگان) تقسیم کرد.

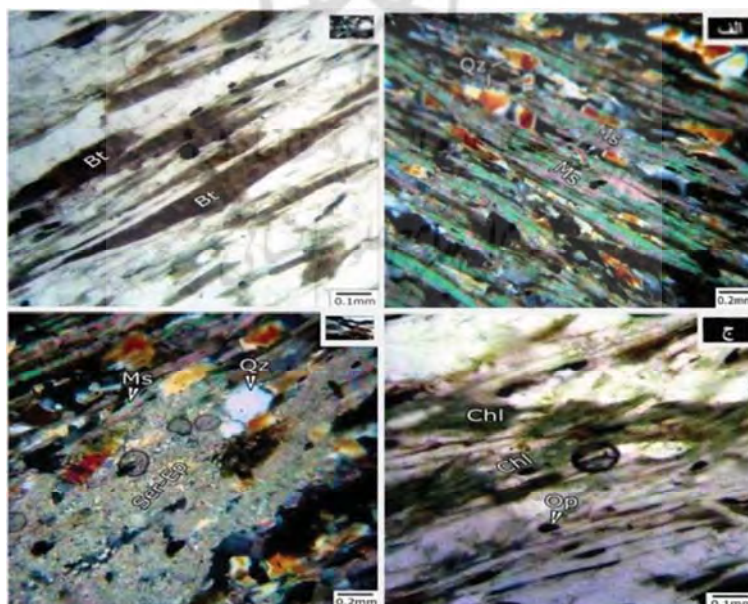
تشکیل ریفت ناقص در زون سنندج- سیرجان جنوبی، در زمان دونین، منجر به تشکیل گدازه‌ها و توده‌های نیمه عمیق بازیکی شد که اغلب ترکیبی بازالتی تا دیابازی داشته‌اند. این سنگ‌ها، طی دگرگونی زون یادشده، به آمفیبولیت دگرگون شده‌اند. این واحد در رخ‌نمون‌ها به رنگ سبز تیره است که سبب می‌شود بتوان به راحتی آن را از واحدهای دیگر جدا کرد. برگ‌وارگی ضعیفی در این سنگ‌ها دیده می‌شود. این واحد با واحدهای سربست- کلریت شیبست و سنگ آهک به صورت همبری دیده می‌شود. براساس مطالعات میکروسکوپی و مشاهدات صحرایی، هورنبلاند شاخص‌ترین کانی موجود در این واحد است که همراه با کانی‌هایی مانند پلاژیوکلاز، کوارتز، اپیدوت، بیوتیت و کلریت دیده می‌شود. وجود هورنبلاند به منزله 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 معمولاً روند شمال غرب- جنوب شرق و شیبی اغلب به سوی شمال شرق دارند. 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 کرد که واحدهای زمین‌شناسی آن شامل شیبست، ماسه سنگ دگرگونه، کوارتزیت و توده‌های دیابازیک دگرگونه می‌شود (Sheikholeslami et al., 2008). کانسار آهن گل‌گهر کانسار آهن نواری از نوع راپیتان است. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

دگرگونی پیش‌رونده از واکنش کانی‌های رخساره پایین‌تر با آن ایجاد شده باشد. کانه‌های مات اجزای فرعی سازنده سنگ را تشکیل می‌دهند. پروتولیت سنگ دگرگونی می‌تواند از انواع سنگ‌های پلیتی، از جمله شیل ماسه‌ای، باشد که در زون گارنت از رخساره آمفیبولیت دگرگون شده است. شکل ۳ مقطع میکروسکوپی نمونه ب مورد نظر را نشان می‌دهد.

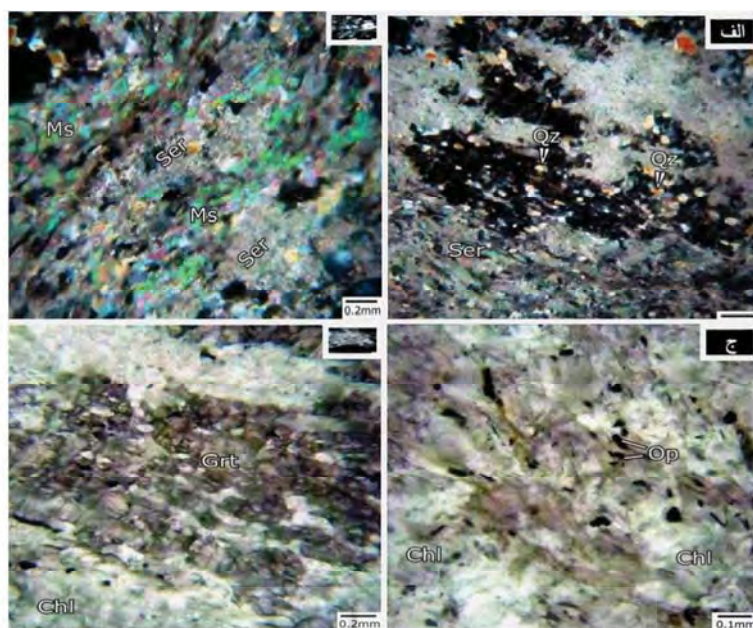
تبلور یافته‌اند. همچنین، بلورهای گارنت دارای بردارهایی از بلورهای کوارتزند و در نتیجه، بافت پوئیکیلوبلاستیک در نمونه ایجاد شده است. بلورهای گارنت با سریسیت و کلریت، با درجات متوسط تا تقریباً شدید، جانشینی نشان می‌دهند که این ممکن است نشانی از دگرگونی قهقرایی باشد. البته بخشی از کلریت چه بسا همراه با گارنت و در نتیجه



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، به اقتباس از نقشه یکصد هزار کرسفید- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور



شکل ۲. مقطع میکروسکوپی نمونه الف محدوده مورد مطالعه: نمایی از بلورهای کوارتز و موسکویت با شیب‌توزیته مشخص (الف)؛ نور PPL نشان‌دهنده بلورهای بیوتیت جهت‌یافته است (ب)؛ نمایی از کانه مات در مجاورت بلورهای کلریت جهت‌یافته (ج)؛ تجمع‌های چشمی سریسیت- اپیدوت در کنار بلورهای کوارتز و موسکویت. بلورهای سریسیت ممکن است، در مرحله بعد و در نتیجه دگرگونی پس‌رونده یا دگرسانی‌های بعدی، جانشین بلورهای پورفیرو کلاست فلدسپار شده باشند.



شکل ۳. مقطع میکروسکوپی نمونه ب محدوده مورد مطالعه: دربرداری کوارتز در بلور پورفیروبلاست گارنت (حاوی انکلوژیون‌های کوارتز) در زمینه سربیتی (الف)؛ بلورهای موسکویت و سربیت جهت یافته (ب)؛ نور PPL نشان‌دهنده کانه‌های مات در زمینه کلریتی (ج)؛ نمایی از بلورهای پورفیروبلاست گارنت در نور PPL که کم‌پیش با کلریت جانشین شده است.

۳- مطالعات سنجش از دور

یکی از کاربردهای علم سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای استخراج اطلاعات مورد نیاز برای کشف معادن روی زمین است؛ به گونه‌ای که می‌توان، با استفاده از تصاویر سنجنده‌های گوناگون و به‌کارگیری الگوریتم‌های خاص و پردازش تصاویر، اطلاعات لازم را برای شناسایی معادن گوناگون روی کره زمین به‌دست آورد (نجفیان و دیگران، ۱۳۹۰).

استفاده بهینه از داده‌های ماهواره‌ای به‌منظور اکتشاف مواد معدنی، به‌ویژه در اکتشاف کانسارها و شناخت و نقشه‌برداری محدوده‌های دگرسانی مرتبط، کمک شایانی به اکتشاف ذخیره منابع معدنی زیرزمینی و به‌خصوص، آهن می‌کند. در این روش برای شناسایی هدف، پس از پیش‌پردازش‌ها و تصحیحات، از روش‌های گوناگونی به‌منظور بارسازی و شناسایی هدف اکتشافی مورد نظر استفاده می‌شود (Noorollahi et al., 2007). انرژی الکترومغناطیس یکی از مهم‌ترین نیروهای است که در سنجش از دور کاربرد اساسی دارد و

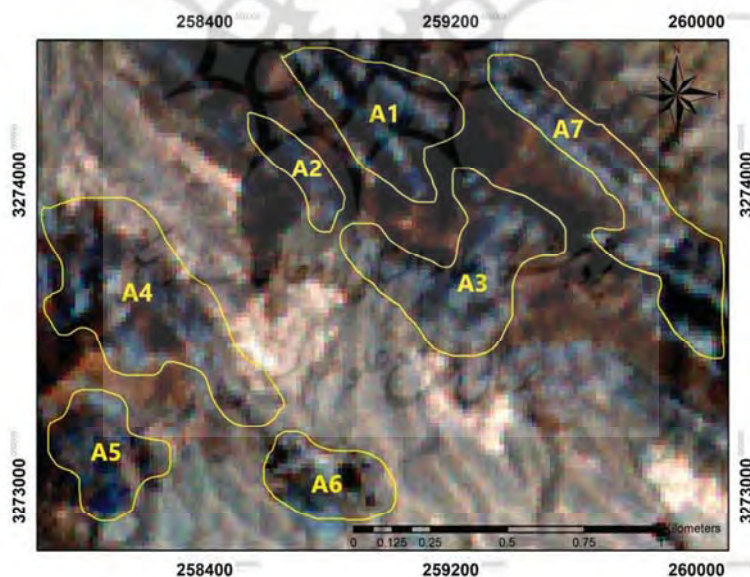
سریع‌ترین وسیله ارتباطی میان اجسام دور و سنجنده است (Ranjbar et al., 2004). این انرژی، پس از برخورد به اجسام موجود، به‌طرف سنجنده برگشت داده می‌شود؛ بعد از ثبت امواج الکترومغناطیس به‌صورت رقومی، امکان ارزیابی و تشخیص الگوها و در نهایت، شناخت پدیده‌های زمینی میسر می‌شود (Ranjbar et al., 2004; Sabins, 1999; Richard, 1999). هدف از مطالعات روش سنجش از دور استفاده از پهنای باندی و وسعت چشمگیر پوشش است. در این پژوهش، با استفاده از داده یک برگ از سنجنده استر، از نوع Level-1A و با تاریخ سال ۲۰۰۹، استفاده شده است. تمامی پیش‌پردازش‌ها همچون تصحیحات رادیومتریک، هندسی و جوی روی داده‌های خام انجام شده است.

۳-۱- ترکیب رنگی کاذب

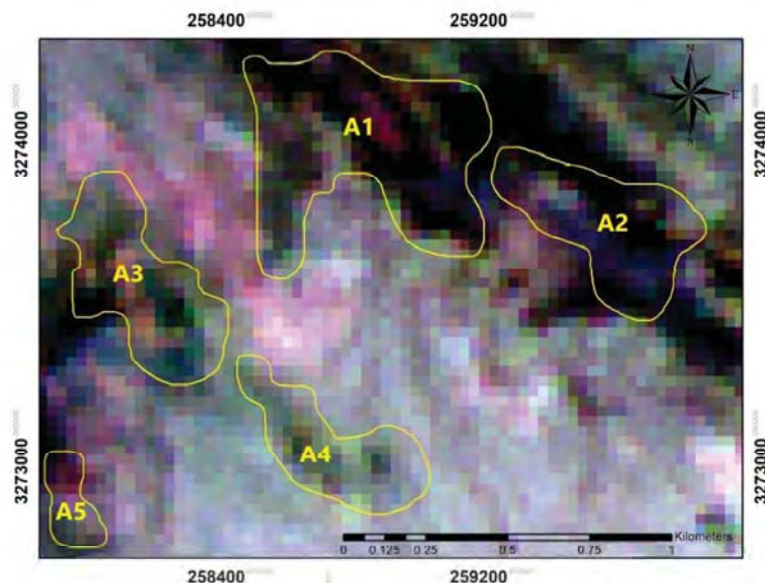
تصاویر دیجیتالی معمولاً به سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB)، به‌صورت ترکیب رنگی، نمایش داده می‌شوند (Tommaso & Rubinstein, 2007). افزودن

یکدیگر و در راستای شمال غرب- جنوب شرق جای گیری کرده اند که این حاکی از تأثیرات گسل ها و ناپیوستگی های منطقه و زون زمین شناسی سنندج- سیرجان است. شکل ۴ ترکیب رنگی (۱۲۳) RGB را نشان می دهد. ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB روی داده های سنجنده استر پردازش شد و تفسیر منطقه مورد مطالعه، با توجه با اطلاعات زمین شناسی صحرایی در منطقه، این گونه است که واحدهای دگرگونه مرمر و شیست سبز و آمفیبولیت ها، در شمال و مرکز منطقه، با رنگ سبز تیره متمایز شده اند و کانی های کلریتی، آمفیبولیتی و سریسیتی نیز به صورت گسترده پراکنده اند. در بخش هایی در این منطقه نیز، کانی های رسی مانند موسکویت، مونت مورینیت و ایلیت با رنگ صورتی متمایز شده است. شکل ۵ این ترکیب رنگی را نشان می دهد.

سه رنگ قرمز، سبز و آبی در تصاویر چندطیفی، برای نمایش طیف شاخص کانی، به صورت ترکیب رنگی به کار می رود که نشان دهنده بیشترین انعکاس در طیف آن کانی است. این روش آشکارسازی با ترکیب باندهای مرئی و فروسرخ حاصل می شود (Crosta & Moore, 1989). در ابتدا، ترکیبات رنگی روی تصاویر سنجنده ماهواره ای استر، در محدوده مورد مطالعه، قرار گرفت. ترکیب رنگی (۱۲۳) RGB روی داده های سنجنده استر پردازش شد و تفسیر منطقه مورد مطالعه، با توجه با اطلاعات زمین شناسی صحرایی در منطقه، بدین صورت است که واحدهای کانی زایی آهن دار به رنگ آبی تیره مشاهده می شوند. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، این واحدها، با توجه به رنگشان، از دیگر واحدها متمایز شده اند. بیشتر واحدهای منطقه موازی با



شکل ۴. ترکیب رنگی (۱۲۳) RGB و آنومالی های کانی زایی آهن دار با رنگ آبی تیره، در منطقه مورد مطالعه (آنومالی های A1، A2، A3، A4، A5، A6 و A7 در نیمه شمالی محدوده و آنومالی های A4، A5 و A6 در نیمه جنوبی محدوده واقع شده است که موازی یکدیگر و منطبق بر روند ساختارهای زمین شناسی منطقه اند)



شکل ۵. ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB و آنومالی‌های کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه (آنومالی‌ها و کانه‌زایی‌های آهن‌دار با رنگ‌های سبز تیره و لجنی دیده می‌شوند. این نشان‌دهنده دگرسانی واحدهای آهکی، شیست سبز و آمفیبولیت‌هاست که هم‌روند با شیب عمومی ساختارهای منطقه شمال غرب- جنوب شرقی‌اند)

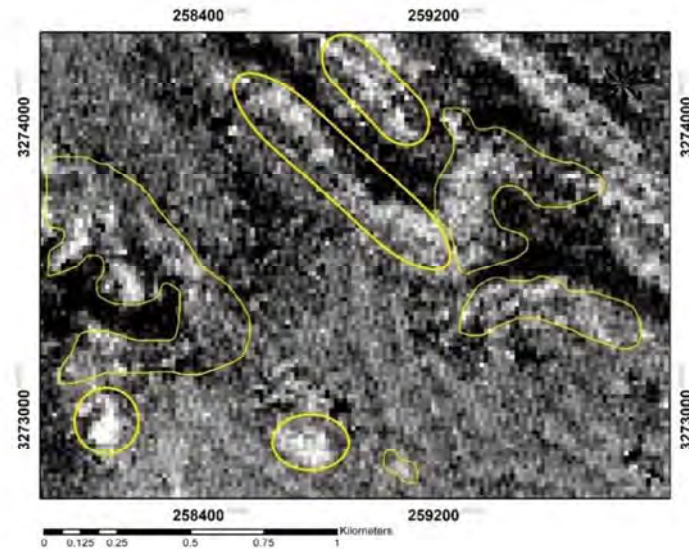
از دیگر واحدها متمایز شده است. طبق این شکل‌ها، کانه‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه اغلب در راستای شمال غرب- جنوب شرق جای گیر شده‌اند و موازی با یکدیگر قرار گرفته‌اند. در شکل ۷، نسبت‌گیری باندهی $\text{Band 6} / (\text{Band 5} + \text{Band 7})$ روی داده‌های سنجنده استر اعمال و پردازش شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده کانی‌های سربیسیت، موسکویت، ایلیت و اسمکتیت است و این مجموعه آلتراسیون فیلیک را در منطقه مورد نظر، از دیگر واحدها متمایز کرده است.

۳-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

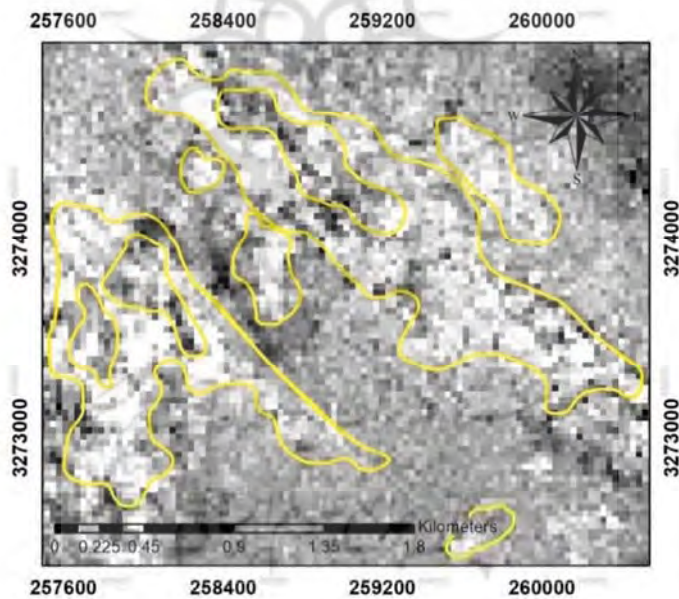
باندهای گوناگون تصاویر چندطیفی سنجنش از دور اغلب همبستگی دارند. وجود این همبستگی حکایت از وجود اطلاعات مشترک و یا، به عبارت دیگر، تکرار اطلاعات است (Shoham, 1978). تبدیل مؤلفه‌های اصلی تبدیلی خطی است که در آن محورهای مختصات فضایی چندباندی به گونه‌ای می‌چرخند که اولین محور

۳-۲- نسبت‌گیری باندهی

نسبت‌گیری باندهی از روش‌های پردازش تصویر چندطیفی است که شامل تقسیم یک باند بر باند دیگر می‌شود (Silver et al., 2011). این روش شیوه‌ای بسیار کاربردی برای محاسبه و به‌نقشه‌درآوردن لیتولوژی مناطق است. تقسیمات و محاسبات ریاضیاتی و ارزش پیکسل‌های هر باند طیفی با دیگر باندها می‌تواند باعث افزایش بازتاب طیفی مواد شود؛ همچنین، تأثیرات توپوگرافی را کاهش می‌دهد و در تشخیص و شناسایی منطقه، بسیار مهم و مؤثر است (Van Der Meer et al., 2012; Tangestani et al., 2011; Richards, 2012; Harris et al., 2014; Mwaniki et al., 2015). نسبت‌های ریاضیاتی $\text{Band 5} / \text{Band 4}$ و نسبت باندهی $\text{Band 6} / (\text{Band 5} + \text{Band 7})$ روی داده‌های سنجنده استر اعمال و پردازش شد و با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی صحرایی، مناطق کانه‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. در شکل‌های ۶ و ۷ عوامل کانه‌زایی آهن‌دار، به صورت پیکسل‌های روشن،



شکل ۶. نسبت‌گیری باندی Band 5 / Band 4 و آنومالی‌های کانن‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷. نسبت‌گیری باندی (B5+B7)/B6 و آنومالی‌های آلتراسیون فیلک (کانن‌زایی آهن‌دار) در منطقه مورد مطالعه (مناطق روشن در شکل نشان‌دهنده مناطق کانن‌زایی آهن‌دار و آلتراسیون فیلک در منطقه مورد مطالعه است که دارای روند عمومی شمال‌غرب- جنوب‌شرق‌اند)

در PC تجزیه و تحلیل نیستند زیرا در PC پایین‌تر نویز افزایش می‌یابد و تصویر دچار از هم پاشیدگی می‌شود (Arkani and Urquhart, 1990). برای مطالعه و شناسایی مناطق کانن‌زایی آهن‌دار و دگرسانی‌های پروپلیتیک در منطقه مورد مطالعه، از باندهای ۳، ۵، ۸

در راستای حداکثر واریانس ارزش‌های باندها و دومین محور عمود بر محور اول و در راستای واریانس باقی‌مانده قرار می‌گیرد. به این ترتیب، از تعداد n باند شرکت‌کننده در این تبدیل، n باند جدید ایجاد می‌شود که فاقد همبستگی یادشده با یکدیگرند و دو باند اول

مقادیر ویژه زون فیلیک، بیشترین اختلاف بین باندهای مجازی RGB حاصل از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی PC3 در ۷ و ۶ در ترکیب رنگی مجازی RGB حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (RGB: PC3(2), PC5-t1, PC1/PC6) در شکل ۹ نشان داده شده است.

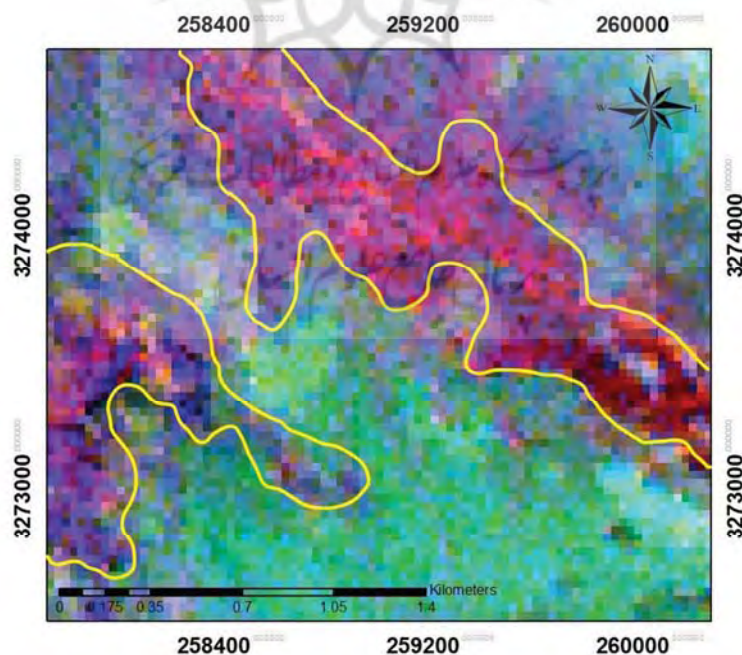
و ۹ (جدول ۱) استفاده شده است. تصویر ترکیب رنگی مجازی RGB حاصل از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (RGB: PC4-t1, -PC3-t1, -PC1) در شکل ۸ نشان داده شده و مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه اصلی دگرسانی فیلیک در جدول ۲ آمده است. در بررسی‌های ماتریس

جدول ۱. مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹

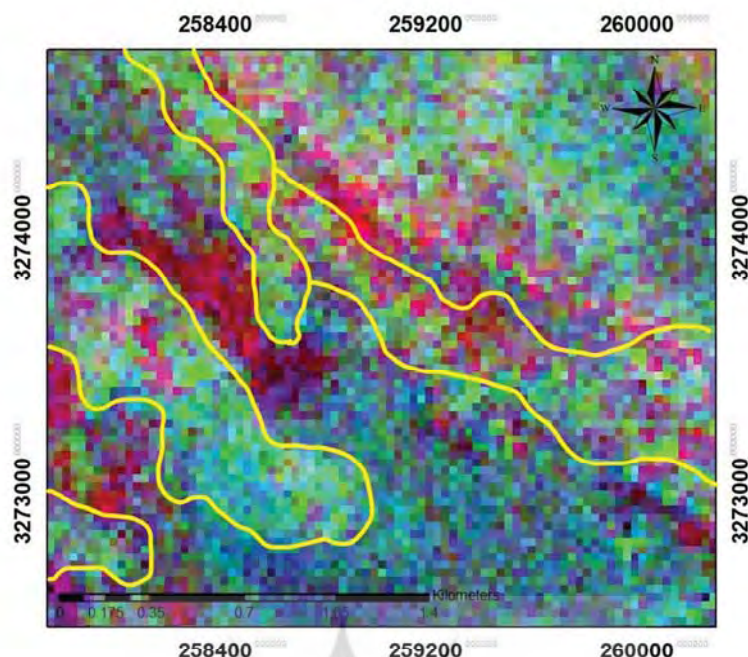
Eigenvector	Band 3	Band 5	Band 8	Band 9
PC1	0.994	0.016	-0.057	0.090
PC2	0.012	-0.999	-0.019	0.036
PC3	0.070	-0.024	0.986	-0.148
PC4	0.080	-0.031	-0.155	-0.984

جدول ۲. مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه اصلی باندهای ۴، ۶ و ۷

Eigenvector	Band 4	Band 6	Band 7
PC1	0.567	0.822	0.030
PC2	0.601	-0.389	-0.696
PC3	0.561	-0.413	0.719



شکل ۸. تحلیل مؤلفه اصلی (RGB: PC4-t1, -PC3-t1, -PC1) آلتراسیون پروپلیتیکی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹. تحلیل مؤلفه اصلی (RGB: PC3(2), PC5-t1, PC1/PC6) آلتراسیون فیلیکی در منطقه مورد مطالعه

به کار می‌رود. پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیسی اهمیت فراوانی دارد. این روش، به صورت زمینی و هوایی، برای کشف توده‌های معدنی، ساختارهای زمین‌شناسی، حوزه‌های رسوبی و موارد دیگر انجام می‌شود. از مزیت‌های برداشت‌های مغناطیسی بر سایر روش‌های ژئوفیزیکی، می‌توان به سهولت برداشت و هزینه پایین‌تر آن اشاره کرد.

از آن جاکه که متاسوماتیسم سنگ‌های دولومیتی سبب تشکیل مگنتیت فراوان می‌شود؛ در اسکارن‌های منیزیمی، علائم شدید مغناطیسی سبب تشخیص حضور کانسار و نوع پروتولیت خواهد شد (Chermeninov, 1988).

داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی، با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنج مگنومتر GEM و با فاصله‌های پروفیلی ۱۶۰ متر و فاصله بین نقاط برداشت بیستمتری، برداشت شده است. روی داده‌های برداشت‌شده، تصحیحات مورد نیاز مانند تصحیح IGRF، تغییرات روزانه، تصحیح ارتفاعی، تصحیح ایستگاه مبنایی و تصحیحات طول و عرض جغرافیایی

همان‌طور که در شکل‌های ۸ و ۹ تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های سنجده استر، در منطقه مورد مطالعه، مشاهده می‌شود؛ طیف کانی‌زایی آهن‌دار منطبق بر روند ساختارهای زمین‌شناسی شمال غرب- جنوب شرق است که آلتراسیون فیلیکی و پروپلیتیکی هم‌راستا و موازی بر یکدیگرند. این نکته بیانگر وجود کانی‌زایی آهن‌دار و همچنین، تأثیرات گسل‌ها و ساختارها در روند کانی‌زایی در این منطقه است.

۴- مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی

مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی مؤثرترین روش ژئوفیزیکی برای اکتشاف و پتانسیل‌یابی مستقیم منابع آهن‌دار مگنتیتی و هماتیتی است (حیدریان شهری، ۱۳۸۴؛ تلفورد و دیگران، ۱۳۶۸) (Dobrin & Savit, 1998; Donohve et al., 2012).

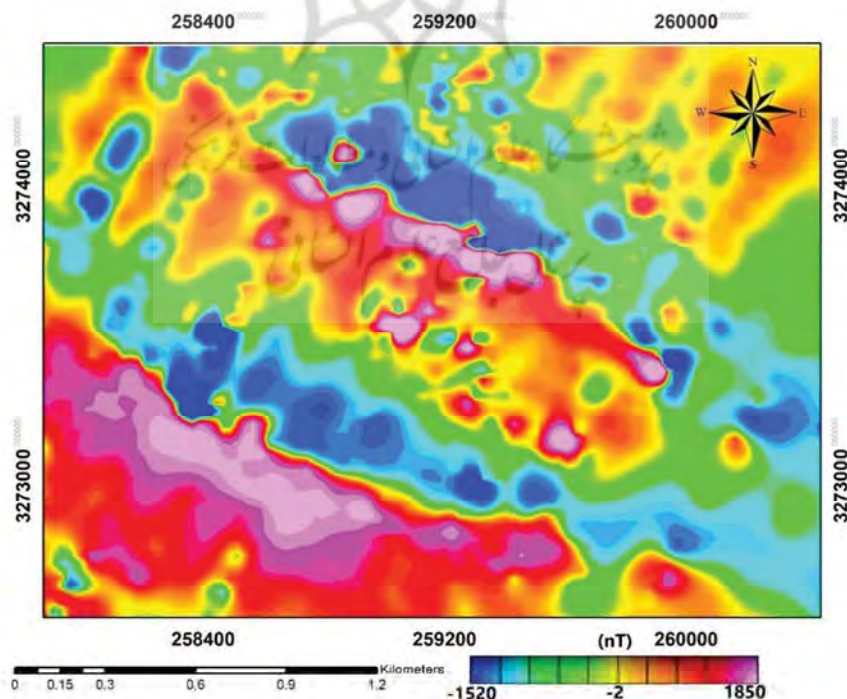
برداشت داده‌های مغناطیسی، به طور مستقیم، برای تشخیص توده‌های دارای خاصیت مغناطیسی بالا (مانند کانسارهای آهن) و به طور غیرمستقیم، برای اکتشاف هاله‌های اطراف کانسارها (مانند کانسارهای سولفیدی)

نقطه نشان‌دهنده میدان کل زمین است و این میدان شامل اثر ناحیه‌ای و اثر محلی در هر نقطه می‌شود (نوروزی، ۱۳۸۸). نقشه میدان مغناطیسی باقی‌مانده، برای محدوده مورد مطالعه، تهیه و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این نقشه، چند آنومالی مشاهده می‌شود که اغلب در یک روند و در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند.

۴-۱- نقشه برگردان به قطب شده (RTP)

استفاده از انتقال به قطب، به منظور دستیابی به محل واقعی بی‌هنجاری‌ها، باید با اعمال زاویه میل و انحراف مربوط به منطقه مورد بررسی صورت گیرد (Clark et al., 1997). در تفسیر داده‌های مغناطیسی، اولین گام حذف اثر دوقطبی میدان مغناطیسی است. برای این منظور، از روش برگردان به قطب استفاده می‌شود. با استفاده از این فیلتر، میدان مغناطیسی از عرضی مغناطیسی، که در آن بردار میدان زمین مایل و شیب‌دار است، به قطب مغناطیسی منتقل می‌شود؛ یعنی جایی که میدان القایی قائم است (Arkani & Urquhart, 1990, Gunn et al., 1997).

صورت گرفته است. میدان مرجع ژئومغناطیس، به صورت تجربی، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و رصدخانه‌های بین‌المللی ژئومغناطیس (IGRF) مدل شده است. IGRF را می‌توان، برای اعمال تصحیحات ناحیه‌ای، روی داده‌ها اعمال کرد و به هر حال، این تصحیحات ناحیه‌ای یک طول موج کمینه، در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر، دارد. تغییرات IGRF مرتب رصد می‌شود و هر پنج سال یکبار، تجدیدنظر می‌شود (Shoham, 1978). مقدار میدان مغناطیسی زمین در منطقه مورد مطالعه دارای زاویه انحراف میدان مغناطیسی زمین ۲.۹ درجه و زاویه شیب میدان مغناطیسی زمین ۴۶.۳ درجه و شدت کل میدان مغناطیسی زمین در آن محدوده ۴۵۹۲۰ نانوتسلا است. تغییرات مکانی میدان مغناطیسی زمین بر حسب مختصات جغرافیایی نقاط پیش‌بینی پذیر و اندک است ولی وجود کانی‌های مغناطیسی، مانند مگنتیت، ممکن است، به صورت محلی یا منطقه‌ای، در میدان زمین اغتشاش ایجاد کند. از سویی، میدان مغناطیسی هر

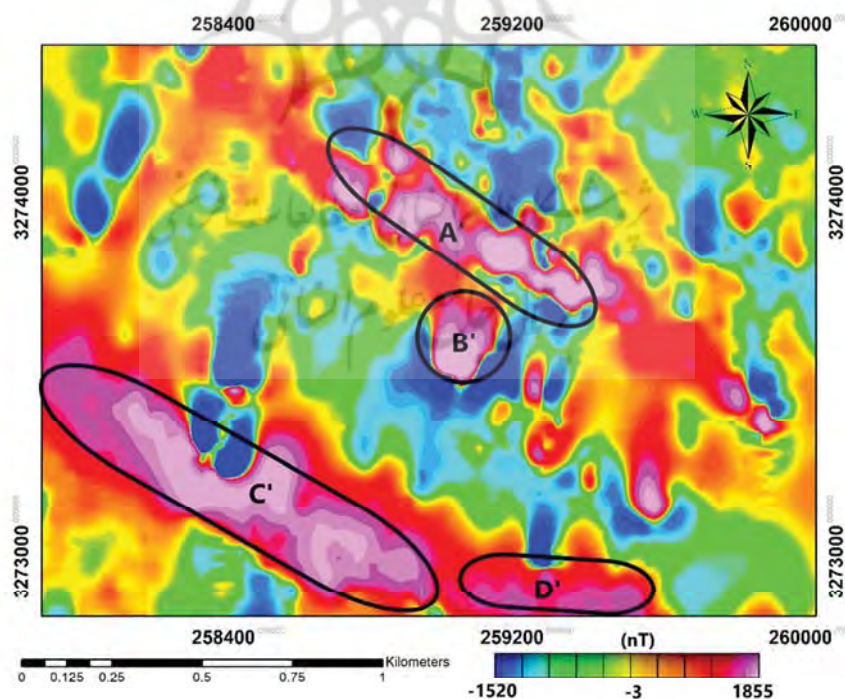


شکل ۱۰. نقشه میدان مغناطیسی باقی‌مانده در منطقه مورد مطالعه

می‌شویم که این آنومالی از دو ساختار دایکی شکل با امتداد عمومی ساختارهای منطقه، که احتمالاً در عمق کم واقع شده، تشکیل است. آنومالی B' نیز توده‌ای مغناطیسی در بخش جنوبی از آنومالی A' و در مرکز محدوده مورد مطالعه قرار دارد. آنومالی‌های C' و D' نیز در بخش جنوبی محدوده قرار گرفته‌اند و از این بین، بزرگ‌ترین آنها به آنومالی شماره C' بازمی‌گردد که هم‌رند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه و به صورت شمال غرب- جنوب شرق جای‌گیری کرده است. براساس تحلیل پاسخ مغناطیسی توده‌ها، به نظر می‌رسد آنومالی‌های C' و A' مرتبط با کانی‌زایی آهن در منطقه باشند که در اعماق منطقه و زیر واحدهای آهکی و کنگلومراها واقع شده است. در تفسیر اولیه، به نظر می‌رسد، با توجه به شدت میدان مغناطیسی، کانی‌زایی هماتیت و یا مگنتیت- هماتیت در راستای شمال غرب- جنوب شرق اتفاق افتاده و آنومالی‌های C' و A' ناشی از دو دایک مغناطیسی بزرگ در منطقه است.

تفسیر و تحلیل‌ها در مورد مجموعه داده‌های مغناطیسی روی داده‌های انتقال یافته به قطب صورت می‌گیرد (Nabighian, 1972; Nakatsuka & Okuma, 2006). در نقشه برگردان به قطب شده در این محدوده، بی‌هنجاری‌هایی که با مقادیر بالا در مرکز منطقه قرار گرفته کمی به طرف شمال جابه‌جا شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نقشه‌های برگردان به قطب شده، عملاً مرکز توده مغناطیسی در زیر بیشینه مقدار میدان قرار می‌گیرد. به همین دلیل، تفسیر و تحلیل توده‌ها ساده‌تر می‌شود. در شکل ۱۱، نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، پس از برگردان به قطب نشان داده شده است. مشخص است که شماره آنومالی‌های مغناطیسی A', B', C' و D' به صورت موازی با یکدیگر و در راستای شمال غرب- جنوب شرق جای‌گیری کرده‌اند.

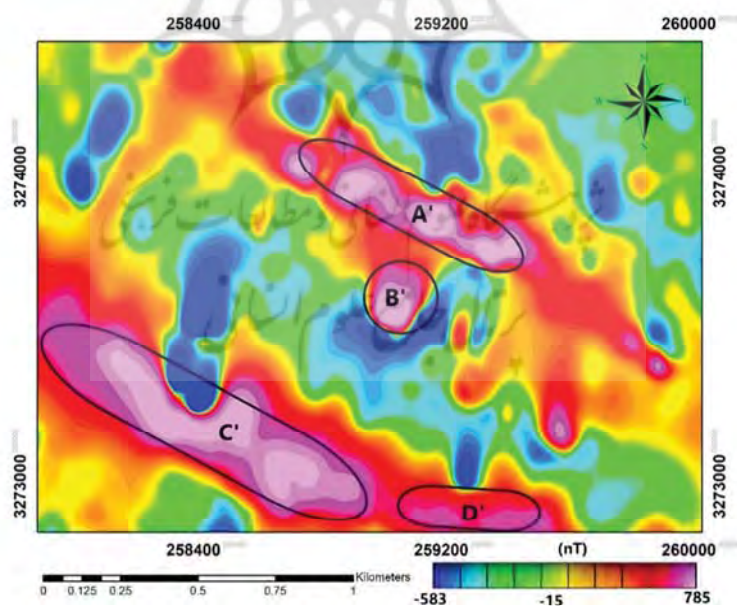
آنومالی‌های A' در شمال منطقه و منطبق بر سنگ‌های آهکی و مرمر و شیست سبز است. در صورت مشاهده دقیق میدان مغناطیسی این آنومالی، متوجه



شکل ۱۱. نقشه میدان مغناطیسی پس از برگردان به قطب (RTP) در منطقه مورد مطالعه

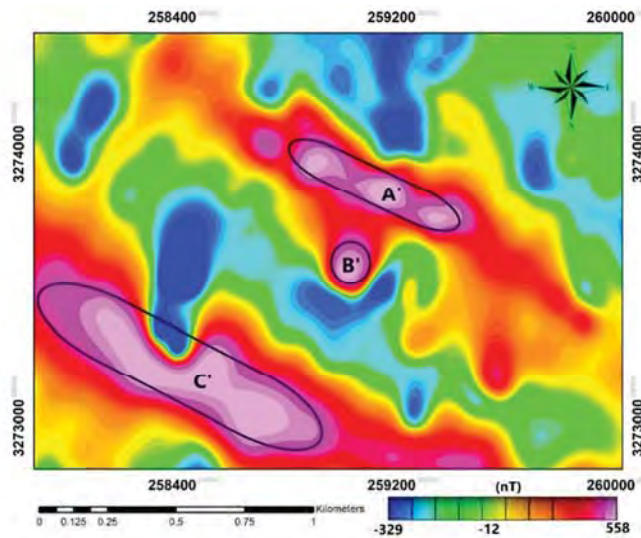
با ارتفاع ۵۰ متر از سطح زمین و در شکل ۱۴، نقشه ادامه فراسوی میدان مغناطیسی با ارتفاع ۱۰۰ متر از سطح زمین، در منطقه مورد مطالعه، نشان داده شده است. در شکل ۱۲، آنومالی‌های شناسایی شده در نقشه برگردان به قطب شده مغناطیسی با شماره‌های A', B', C' کاملاً مشخص‌اند و آنومالی D' کمی کوچک‌تر شده است. در شکل ۱۳، نقشه ادامه فراسوی با ارتفاع ۵۰ متر از سطح زمین، آنومالی‌های سطحی و آنومالی‌های کوچک‌تر در منطقه حذف شده‌اند و آنومالی شماره A' اندکی کوچک‌تر شده است. این خود نشان می‌دهد که این نوع آنومالی عمق و منشأ چندانی ندارد. آنومالی شماره B' بسیار کوچک‌تر شده است که نشان از سطحی بودن این آنومالی دارد. آنومالی شماره C' به نظر می‌رسد که در اعماق نسبتاً زیاد، به صورت ریشه‌دار وجود دارد و آنومالی شماره D' نیز با توجه به سطحی بودنش حذف شده است.

۴-۲- نقشه‌های گسترش به بالا (روش ادامه فراسوی)
 فیلتر ادامه فراسوی اثر بی‌هنجاری‌های سطحی با فرکانس بالا را حذف و به این طریق، اثر بی‌هنجاری‌های عمیق‌تر را بهتر آشکار می‌کند (Gunn, 1997). این فیلتر تأثیر منابع محلی و کم‌عمق را که در نقشه‌های گرادیان عمودی آشکار بود، حذف می‌کند و بدین ترتیب، تأثیر بی‌هنجاری‌های عمیق را بهتر آشکار می‌کند. در واقع، این روش بی‌هنجاری‌های با طول موج کوتاه را حذف می‌کند، دامنه بی‌هنجاری را تضعیف و اختلالات را کاهش می‌دهد (Tarlowski et al., 1997). فیلتر فراسوی برعکس فیلتر مشتق اول قائم عمل می‌کند؛ یعنی ناهنجاری‌های مربوط به منشأهای عمیق را تقویت، ناهنجاری‌های مربوط به سطح را تضعیف (Blakely, 1996) و تأثیر منابع محلی را کم می‌کند (حیدریان شهری، ۱۳۸۴). در شکل ۱۲، نقشه ادامه فراسوی میدان مغناطیسی با ارتفاع ۲۰ متر از سطح زمین؛ در شکل ۱۳، نقشه ادامه فراسوی میدان مغناطیسی

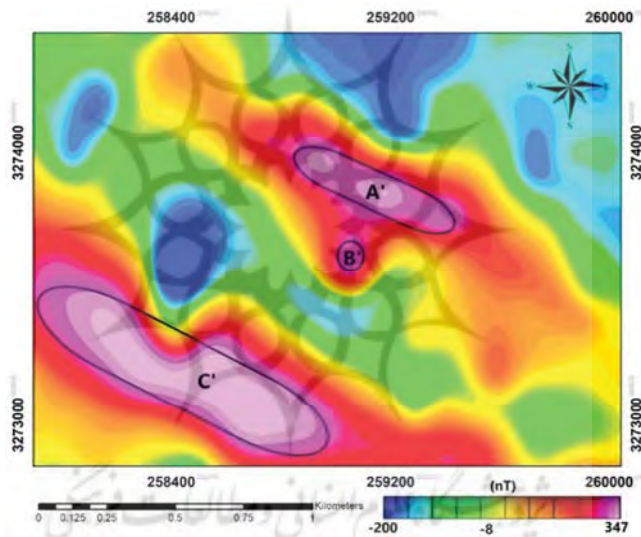


شکل ۱۲. نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، پس از ادامه فراسوی ۲۰ متر

1. Upward Continuation



شکل ۱۳. نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، پس از ادامه فراسوی ۵۰ متر



شکل ۱۴. نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، پس از ادامه فراسوی ۱۰۰ متر

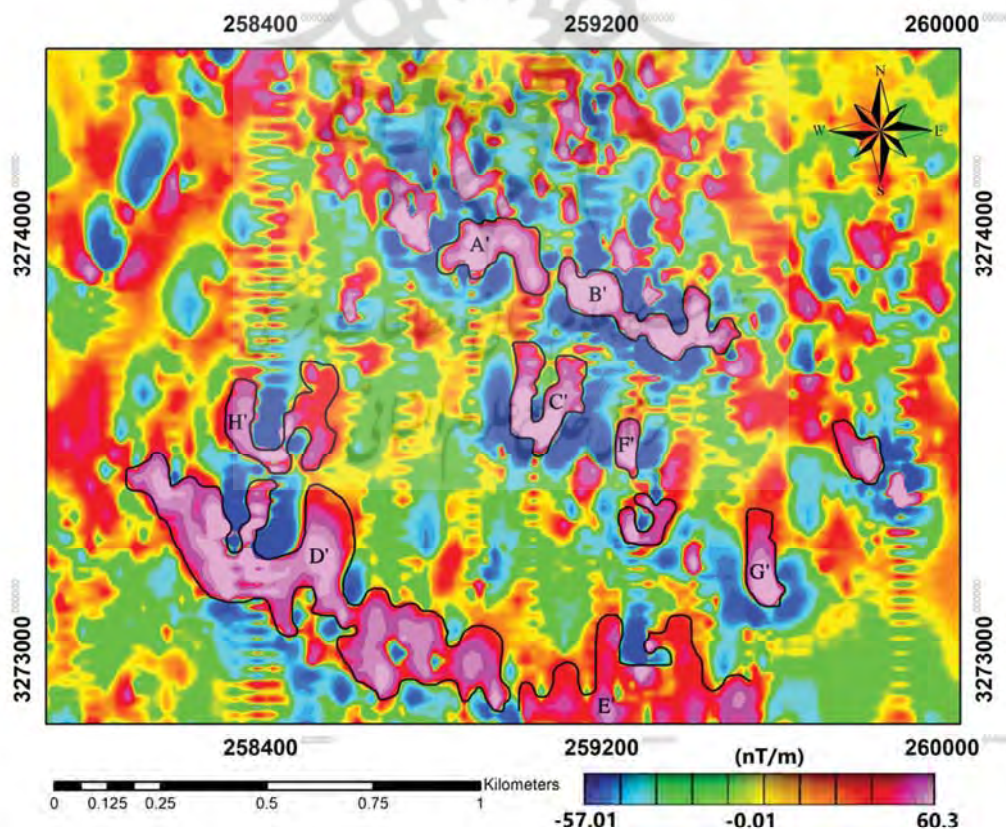
مغناطیسی منطقه مورد مطالعه است و همان‌طور که مشاهده می‌شود، در عمق ۱۰۰ متری نیز همچنان به صورت ریشه‌دار وجود دارد. آنومالی شماره D' کاملاً حذف شده است و این نشان از سطحی بودن آن دارد. در اعماق بیشتر از ۱۰۰ متر، این چهار نوع آنومالی مغناطیسی نشان می‌دهند که منشأ ایجادکننده آنها دو دایک مغناطیسی بزرگ و مهم با نام‌های آنومالی‌های A' و C' است و این نکته کانه‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه را می‌رساند.

در شکل ۱۴، نقشه ادامه فراسوی با ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین را نشان می‌دهد که آنومالی شماره A' بسیار کوچک‌تر و متمرکزتر شده است، آنومالی شماره B' به صورت توده‌ای بسیار کوچک مشاهده می‌شود و عمق منشأ این نوع آنومالی از آنومالی شماره A' می‌آید. درواقع، آنومالی شماره B' در عمق‌های بیش از ۱۰۰ متر نشان می‌دهد که منبع ریشه‌ای این آنومالی از توده مغناطیسی آنومالی شماره A' ایجاد شده و با آن مشترک است. آنومالی شماره C' بزرگ‌ترین توده

۳-۴- نقشه مشتق قائم مرتبه اول

محاسبات مشتق اول قائم میدان روشی پرکاربرد برای واضح‌تر کردن ناهنجاری‌های محلی محسوب می‌شود و اثر این روش تضعیف کردن ناهنجاری منطقه‌ای و تقویت ناهنجاری محلی است (حیدریان شهری، ۱۳۸۴). با اعمال این فیلتر روی نقشه برگردان به قطب، بی‌هنجاری‌های سطحی نمود بیشتری پیدا می‌کند. بدین ترتیب، می‌توان رفتار این توده‌های مغناطیسی را در سطح، بهتر بررسی کرد (Gunn et al., 1997). مشتق قائم، در واقع، فیلتری بالاگذر است زیرا بسامدهای بالا را به نسبت بسامدهای پایین افزایش می‌دهد (Neawsuparp et al., 2005). شکل ۱۵ نقشه فیلتر مشتق قائم مرتبه اول میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. طبق این شکل،

آنومالی‌های سطحی کاملاً مشخص و متمایز شده‌اند. تأثیرات گسل‌ها و روند عمومی مغناطیس‌سنجی زمینی و آنومالی‌ها به صورت شمال غرب- جنوب شرق‌اند که از این بین، آنومالی‌های نزدیک‌تر به سطح زمین در شکل مورد نظر نشان داده شده است. آنومالی‌های اصلی، در نقشه‌های برگردان به قطب شده و ادامه‌های فراسو، مشخص‌اند و شکل ۱۵ این آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی را شارپ‌تر و بسیار کوچک‌تر از نقشه‌های پردازشی مغناطیس‌سنجی زمینی دیگر، نمایش می‌دهد. آنومالی‌های به دست آمده سطحی بسیار کوچک‌تر شده‌اند و حتی شکل و ضخامتشان نیز تغییر بسیاری داشته است؛ بنابراین، آنومالی‌های A', B', C', D', E', F', G' و H' بسیار کوچک‌تر و روندشان با جزئیات بیشتری نمایش داده شده است.



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

۴-۴- نقشه سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی، با استفاده از مشتق در جهات متفاوت، اثر روند منطقه‌ای را که از نوع درجه اول است، در سه جهت حذف می‌کند و با حذف اثر، بی‌هنجاری‌های سطحی بدنه مغناطیسی را بهتر نشان می‌دهد (Hsu et al., 1998).

مکلود و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که تصحیح انتقال به قطب چه تأثیری در جابه‌جایی سیگنال تحلیلی داده‌ها، در عرض‌های جغرافیایی کم، و تفسیر دایک‌ها دارد. سو^۱ و همکاران (۱۹۹۸) این نکته را مطرح کردند که سیگنال تحلیلی چگونه باعث تفسیر بهتر عمق بدنه مغناطیسی می‌شود. دامنه سیگنال تحلیلی، با توجه به شکل منبع، روی منبع یا روی مرزهای آن به بیشینه خود می‌رسد. شکل ۱۶ نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

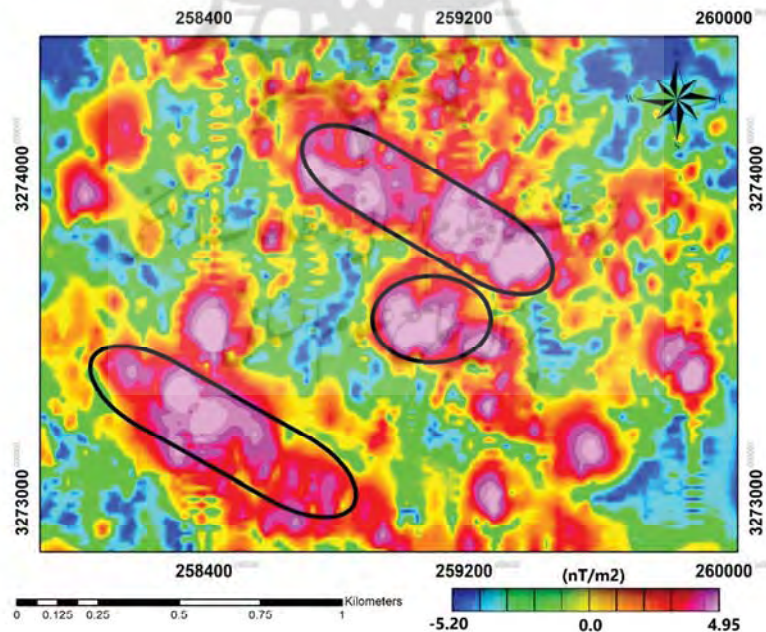
در نقشه شکل ۱۶، می‌توان لبه‌ها و محدوده مرز آنومالی‌ها را شناسایی کرد و آنومالی‌ها و توده‌های مغناطیسی کاملاً مشخص و متمرکزند.

۴-۵- نقشه زاویه تیل^۲

روش‌های متفاوتی برای تشخیص مرز آنومالی‌ها معرفی شده‌اند. فیلتر فاز محلی یکی دیگر از ابزارهایی است که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد (Cooper & Cowan, 2006). برای جلوگیری از ابهام در فاز داده‌ها در روش‌های معمول، از ادامه فراسو پیش از اعمال فیلتر استفاده می‌شود (Verduzco et al., 2004). میلر و سینگ^۳ (۱۹۹۴) فیلتر فازی زاویه کجی یا تمایل را به صورت زیر معرفی کردند:

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

رابطه (۱)



شکل ۱۶. نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه

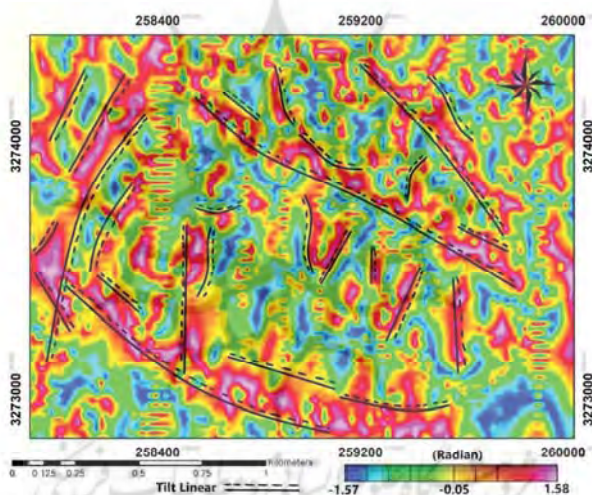
1. Hsu
3. Miller & Singh

2. Tilt Angle

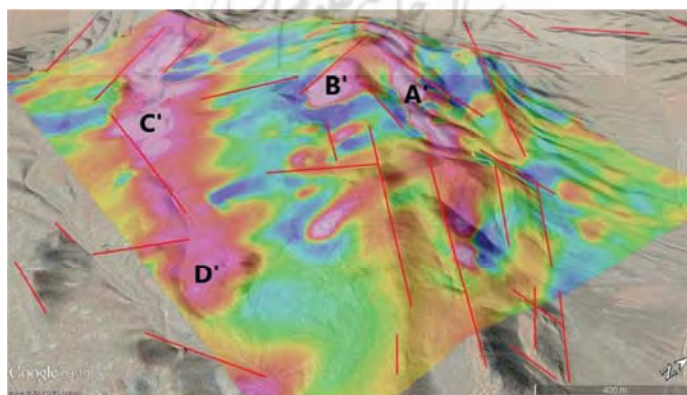
قرار می‌گیرد. با اعمال فیلتر زاویه‌تماییل روی داده‌های میدان مغناطیسی، می‌توان ساختارها و خطواره‌های مغناطیسی را شناسایی کرد؛ بدین‌صورت که مقدار زاویه‌تماییل، درحالی‌که میل (شیب) میدان مغناطیسی ۹۰ درجه است، روی گسل‌ها و خطواره‌ها صفر است. به‌کمک زاویه‌تماییل، می‌توان تاحدودی به جهت شیب گسل‌ها نیز پی برد؛ چون از محل گسل‌ها و خطواره‌ها در جهت شیب، مقدار زاویه‌تماییل منفی است.

شکل ۱۷ نقشه‌زاویه‌کجی روی نقشه مغناطیسی زمینی برگردان‌به‌قطب‌شده را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خطواره‌های مغناطیسی این منطقه شناسایی شده است.

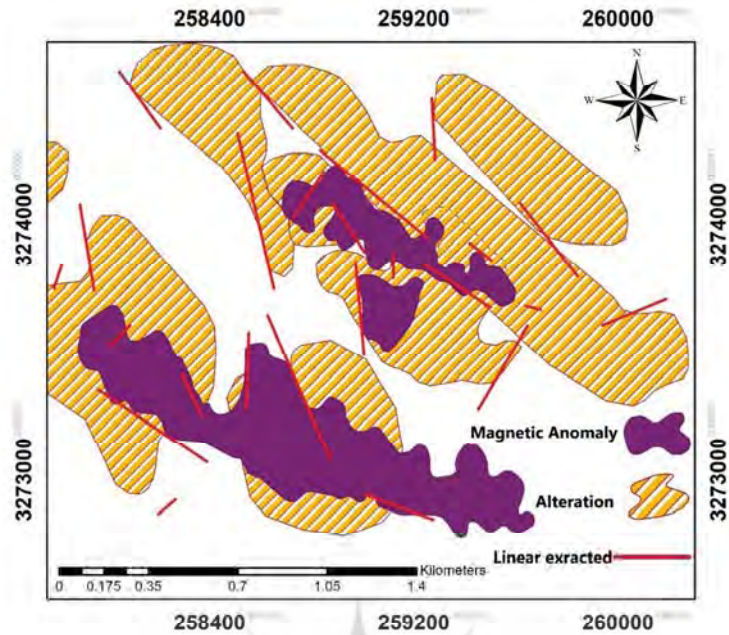
که f میدان مغناطیس، TA زاویه‌تماییل، $\frac{\partial f}{\partial x}$ ، $\frac{\partial f}{\partial y}$ و $\frac{\partial f}{\partial z}$ مشتق‌های میدان نسبت به x ، y و z است. هنگامی که نقاط مشاهده روی چشمه‌آنومالی قرار دارد، فیلتر زاویه‌کجی دارای مقادیر مثبت است. در لبه‌آنومالی‌ها، مقدار گرادیان قائم برابر با صفر و گرادیان‌های افقی بیشینه است؛ بنابراین، مقدار این فیلتر در لبه‌ها برابر با صفر و در سایر نقاط، فیلتر دارای مقدار منفی است. مقادیر زاویه‌تماییل، با صرف‌نظر کردن از مقدار مشتقات افقی و عمودی، در بازه $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$



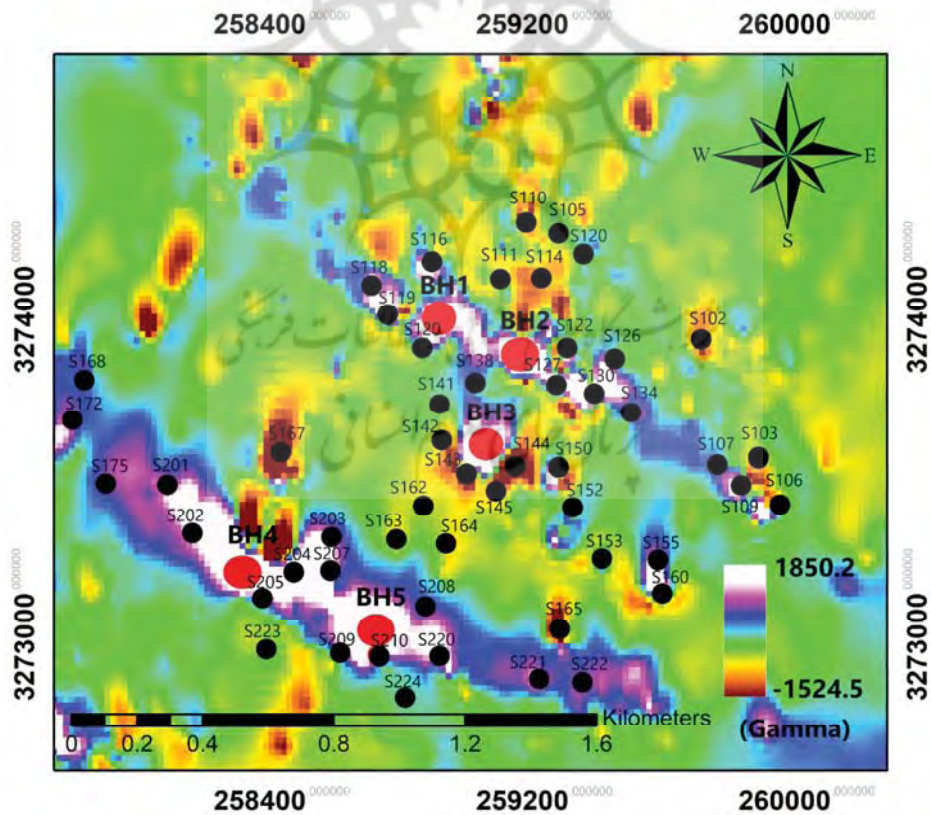
شکل ۱۷. نقشه زاویه‌کجی به‌همراه خطواره‌های مغناطیسی شناسایی‌شده منطقه مورد مطالعه



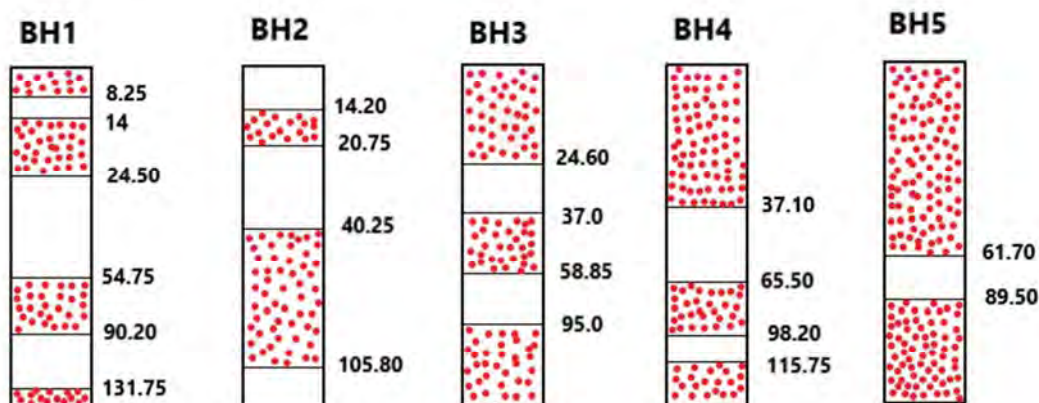
شکل ۱۸-الف. نقشه مغناطیس‌سنجی زمینی به‌همراه آنومالی‌های شناسایی‌شده و خطواره‌ها، گسل‌ها و شکستگی‌های محدوده مورد مطالعه (روند کلی ساختارها شمال‌غرب-جنوب‌شرق است)



شکل ۱۸- ب. نقشه پتانسیل معدنی و آنومالی‌های شناسایی شده مغناطیس‌سنجی زمینی، آلتراسیون‌ها و شکستگی‌ها و گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۹. نقشه پتانسیل یابی منابع آهن‌دار مغناطیس‌سنجی زمینی به‌همراه موقعیت نمونه‌های XRD و موقعیت گمانه‌های حفاری شده در منطقه مورد مطالعه (نمونه‌های XRD با دایره مشکی، ۵۲ نمونه، و محل گمانه‌های حفاری شده با دایره‌های قرمز، پنج گمانه، مشخص شده است)



شکل ۲۰. گمانه‌های حفاری شده در منطقه مورد مطالعه (حفاری در تمامی گمانه‌ها تا عمق ۱۴۰ متری از سطح زمین انجام گرفته است و دایره‌های قرمز موقعیت کانه‌زایی آهن‌دار را در عمق نشان می‌دهد)

جدول ۳. نتایج کانی‌شناسی XRD در محدوده مورد مطالعه

S. NO	XRD RESULTS	S. NO	XRD RESULTS
S-110	Jarosite+ Quartz	S-102	QUARTZ+ CLAYMINERALS+SERPENTINE
S-105	CALCITE.	S-107	Alunite+ QUARTZ+Clay minerals
S-120	QUARTZ+MONTMORILLONITE+FELDSPAR.	S-103	Alunite+ Clay minerals
S-114	Jarosite+ QUARTZ+Tridymite+Crystobalite	S-106	Jarosite+ QUARTZ
S-111	Jarosite+ QUARTZ+ Crystobalite	S-109	Cryptomelane+ QUARTZ
S-116	Calcite+ QUARTZ	S-141	Feldspar+ QUARTZ+ (Clay minerals)
S-118	feldspar	S-142	QUARTZ+Goetite+Felspar+Mica+Clay minerals
S-119	feldspar	S-143	QUARTZ+ Clay minerals (minor).
S-120	QUARTZ+ILLITE+HEMATITE (minor).	S-144	QUARTZ.
S-138	QUARTZ+FELDSPAR+ Clay minerals (ILLITE+KAOLINITE).	S-145	QUARTZ.
S-122	QUARTZ+KAOLINITE.	S-150	ALUNITE+ Clay minerals (minor).
S-127	QUARTZ.	S-152	CRYPTOMELANE +QUARTZ.
S-126	QUARTZ+PYROPHYLLITE+KAOLINITE+ILLITE	S-153	FELDSPAR+QUARTZ+ Clay minerals (minor).
S-130	FELDSPAR+ CLAYMINERAL.	S-155	FELDSPAR+QUARTZ+ Clay minerals (minor).
S-134	FELDSPAR+ QUARTZ	S-160	QUARTZ+GOETHITE+FELDSPAR+MICA+ CLAYMINERAL.
S-162	QUARTZ+ CRYPTOMELANE+ HEMATITE	S-202	ILLITE+ HEMATITE
S-163	ALUNITE+ ILLITE+ QUARTZ+ Jarosite	S-203	FELDSPAR+ GOETHITE+ QUARTZ
S-164	CLAYMINERALS+SERPENTINE+	S-204	MAGNETIC+Clay mineral (minor)
S-165	GOETHITE+ PYROPHYLLITE	S-205	QUARTZ
S-167	MAGNETIC+ QUARTZ+ ALUNITE	S-207	ALUNITE+ FELDSPAR
S-168	ILLITE+ HEMATITE+ FELDSPAR	S-208	GOETHITE+ PYROPHYLLITE+ QUARTZ
S-172	QUARTZ+ KAOLINITE	S-209	Jarosite+ QUARTZ
S-175	GOETHITE+ Clay minerals (minor).	S-210	GOETHITE+ FELDSPAR
S-201	KAOLINITE+ ILLITE+ QUARTZ	S-220	QUARTZ
S-221	GOETHITE+ PYROPHYLLITE+ QUARTZ	S-223	FELDSPAR+ CALCITE+ Crystobalite+ QUARTZ
S-222	GOETHITE+ Clay minerals (minor)+ QUARTZ	S-224	GOETHITE+ PYROPHYLLITE+ QUARTZ+ FELDSPAR

منطقه مورد مطالعه دارای گسل‌ها و شکستگی‌های متعدد با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق است که طی این سازوکارهای ساختاری، واحدهای لیتولوژی کنگلومراها، واحدهای آهکی، کلریتی، سریسیتی- شیبست و آمفیبولیتی را بسیار تحت تأثیر قرار داده 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 هم‌جهت با شیب عمومی شمال غرب- جنوب شرق زون سندنج- سیرجان و معدن گل‌گهر قرار دارد.

شکل ۱۸- الف نقشه برگردان به‌قطب‌شده مغناطیس‌سنجی زمینی را از نمایی نزدیک، به‌همراه شکستگی‌ها و گسل‌های زمین‌شناسی، در محیط گوگل ارث نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، واحدهای لیتولوژیکی منطقه دارای شیب عمومی شمال غرب- جنوب شرق‌اند، آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی نیز دقیقاً منطبق بر واحدهای زمین‌شناسی منطقه است، اغلب گسل‌ها و شکستگی‌ها نیز هم‌جهت با این روند در منطقه‌اند و چهار نوع دایک مغناطیسی مهم در منطقه وجود دارد که منطبق بر روند ساختاری منطقه‌اند. شکل ۱۸- ب نقشه نهایی پتانسیل معدنی کانه‌زایی آهن را به‌همراه گسل‌ها و شکستگی‌ها، نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که آلتراسیون‌ها و آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی دقیقاً مرتبط با یکدیگرند و هم‌پوشانی کاملی دارند. شکل ۱۹ نقشه پتانسیل‌یابی منابع آهن‌دار مغناطیس‌سنجی زمینی را به‌همراه موقعیت نمونه‌های XRD و موقعیت گمانه‌های حفاری‌شده را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (نمونه‌های XRD با دایره‌های مشکی، ۵۲ نمونه، و محل گمانه‌های حفاری‌شده با دایره‌های قرمز، پنج گمانه، مشخص شده است). نمونه‌برداری‌ها روی مناطق مهم دگرسانی‌ها و کانی‌زایی‌های آهن‌دار و مناطق مهم نتایج حفاری‌ها و لاگ‌های حفاری نشان‌دهنده تیپ

آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی انجام گرفته و در جدول ۳، نتایج آنالیزشده آزمایشگاهی XRD آمده است. این نقشه حاصل تطبیق و آنومالی‌های مشترک روش‌های دورسنجی و مغناطیس‌سنجی در منطقه مورد مطالعه است. شکل ۲۰ نتایج حفاری‌های انجام‌شده در منطقه را نشان می‌دهد. محل حفاری‌ها منطبق بر هر دو روش دورسنجی و مغناطیس‌سنجی زمینی است که در این پژوهش انجام شده است. مناطق حفاری‌شده دقیقاً در موقعیت‌هایی قرار دارند که آنومالی‌های دورسنجی، کانی‌زایی‌ها و آلتراسیون‌های پروپلیتیکی، کلریتی و فیلیکی به‌خوبی مشهود بوده‌اند. همچنین، آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی حاصل از تطبیق تمامی روش‌های استفاده‌شده مورد تأیید بوده و برآیند هر دو روش موقعیت‌های حفاری‌شده قرار گرفته است. همه گمانه‌های حفاری‌شده معمولاً تا عمق حدود ۱۴۰ متری از سطح بررسی شد و این پنج گمانه بسیار موفقیت‌آمیز بود. نتایج حاکی از این است که مناطق مشخص‌شده در هر دو مطالعه دورسنجی و مغناطیس‌سنجی زمینی کاملاً با یکدیگر هم‌خوانی و مطابقت دارند و منطقه مورد مطالعه کاملاً پتانسیل کانی‌زایی آهن‌دار را دارد. طبق شکل‌های ۱۸- ب و ۱۹، آلتراسیون‌های پروپلیتیکی، کلریتی و فیلیکی هم‌روند با ساختارها و گسل‌های زمین‌شناسی منطقه جای‌گیری کرده‌اند و به‌موازات آنها، آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی و نیز توده‌های مغناطیس‌پذیر و آنومالی‌های کانی‌زایی آهن‌دار کاملاً هم‌جهت و هم‌روند با ساختارها و آلتراسیون‌های دورسنجی دیده می‌شوند. در شکل ۲۰، نتایج حفاری‌های انجام‌گرفته روی مناطق شناسایی‌شده با هر دو روش، به‌صورت هم‌زمان، آنومالی‌های کانی‌زایی آهن‌دار نشان می‌دهد و بنابراین، استفاده از روش‌های تکمیلی، همچون دورسنجی و مغناطیس‌سنجی، می‌تواند در کاهش هزینه‌های اکتشافی بسیار مهم و ارزشمند باشد.

شکل ۱۸- الف نقشه برگردان به‌قطب‌شده مغناطیس‌سنجی زمینی را از نمایی نزدیک، به‌همراه شکستگی‌ها و گسل‌های زمین‌شناسی، در محیط گوگل ارث نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، واحدهای لیتولوژیکی منطقه دارای شیب عمومی شمال غرب- جنوب شرق‌اند، آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی نیز دقیقاً منطبق بر واحدهای زمین‌شناسی منطقه است، اغلب گسل‌ها و شکستگی‌ها نیز هم‌جهت با این روند در منطقه‌اند و چهار نوع دایک مغناطیسی مهم در منطقه وجود دارد که منطبق بر روند ساختاری منطقه‌اند. شکل ۱۸- ب نقشه نهایی پتانسیل معدنی کانه‌زایی آهن را به‌همراه گسل‌ها و شکستگی‌ها، نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که آلتراسیون‌ها و آنومالی‌های مغناطیس‌سنجی زمینی دقیقاً مرتبط با یکدیگرند و هم‌پوشانی کاملی دارند. شکل ۱۹ نقشه پتانسیل‌یابی منابع آهن‌دار مغناطیس‌سنجی زمینی را به‌همراه موقعیت نمونه‌های XRD و موقعیت گمانه‌های حفاری‌شده را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (نمونه‌های XRD با دایره‌های مشکی، ۵۲ نمونه، و محل گمانه‌های حفاری‌شده با دایره‌های قرمز، پنج گمانه، مشخص شده است). نمونه‌برداری‌ها روی مناطق مهم دگرسانی‌ها و کانی‌زایی‌های آهن‌دار و مناطق مهم

واحدهای آهکی واقع شده‌اند. با توجه به نقشه شدت میدان مغناطیسی، کانی‌زایی هماتیت یا مگنتیت-هماتیت در راستای شمال غرب- جنوب شرق اتفاق افتاده و آنومالی‌های A' و C' ناشی از دو دایک مغناطیسی بزرگ مجاور هم در منطقه است.

آنومالی A' در شمال آنومالی بزرگ C' قرار دارد و منطبق بر سنگ‌های مرمر و شیست سبز است. در صورت مشاهده دقیق میدان مغناطیسی این آنومالی، متوجه می‌شویم که این آنومالی نیز، دارای ساختار دایکی شکل باریک، با امتداد عمومی ساختارهای منطقه و احتمالاً در عمق کم واقع شده است. آنومالی B' در جنوب آنومالی A' و در شمال آنومالی C' قرار گرفته است. آنومالی B' در پردازش‌های داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی، در نقشه‌های ادامه فراسو با ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین (شکل ۱۴)، مشاهده می‌شود و منشأ اصلی و ریشه آن آنومالی شماره A' است. در واقع، در اعماق بیشتر از ۱۰۰ متری، این آنومالی منشأ واحدی دارد که همان آنومالی شماره A' و سنگ‌های مرمر و شیست سبزند. به دلیل روند گسل‌ها و ساختارهای منطقه مورد مطالعه، در نزدیکی سطح زمین، آنومالی شماره B' از منشأ خود، آنومالی A' جدا شده و متمایز گردیده است.

مهم‌ترین آنومالی C' است که با توجه به طول و ضخامت توده، وضعیت کانی‌زایی مناسبی دارد. آنومالی مجاور آن نیز D' است و احتمالاً این دو دارای منشأ یکسان‌اند. به نظر می‌رسد این کانی‌زایی در مرز سنگ‌های آهکی با توده نفوذی اتفاق افتاده باشد. با توجه به پردازش‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته از نتایج هم‌زمان هر دو روش، آنومالی‌های شناسایی با بی‌هنجاری‌های کانی‌زایی آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه مطابقت کامل دارند و بررسی‌های آزمایشگاهی XRD با حفاری‌های صورت گرفته تطبیق کاملی داشته است. با توجه به مطالعات این پژوهش، استفاده هم‌زمان از روش‌های دورسنجی و مغناطیس‌سنجی زمینی در کاهش هزینه‌های اکتشافی منابع معدنی نقش بسیار مهم و ارزشمند ایفا می‌کند.

کانی‌زایی آهن‌دار نوع اسکارنی و نواری (راپیتان) در منطقه مورد مطالعه است. ساختارهای شمال غرب- جنوب شرق زون سنندج- سیرجان بر اثر حجم بسیار عظیمی از رژیم تکتونیکی حاصل شده که تمامی لیتولوژی‌های منطقه مورد مطالعه و نیز نواحی بزرگ‌تر را تحت تأثیر خود قرار داده است؛ به طوری که گسل‌های بسیار فعال و اصلی در منطقه نقش مهمی در روند، حجم، جای‌گیری و شیب کانی‌زایی آهن‌دار از نوع نواری یا اسکارنی داشته‌اند. از بزرگ‌ترین معادن نوع اسکارنی در فاصله بسیار اندکی از محدوده مورد مطالعه، می‌توان به معدن آهن گل‌گهر اشاره کرد که نحوه و روند کانی‌زایی آهن اسکارن در آن کاملاً مشهود و نشانه صحت این ادعا است.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با توجه به مطالعات سنجش از دور و مغناطیس‌سنجی زمینی، چهار نوع آنومالی شناسایی و پی‌جویی شده است که در هر دو روش، نتایج منطبق بر یکدیگرند. در واقع، آنومالی‌ها و مناطق کانه‌زایی آهن‌دار در روش سنجش از دور، با آنومالی‌های A' ، B' ، C' و D' در روش مغناطیس‌سنجی زمینی، هم‌پوشانی داشته است. تقریباً پایدارترین تغییرات بالای میدان مغناطیسی در تمامی پردازش‌های مغناطیس‌سنجی به آنومالی‌های A' و C' بازمی‌گردد.

بر اساس نقشه زمین‌شناسی، هر دو آنومالی یادشده اغلب منطبق بر سنگ‌های دگرگونه مرمریت و شیست سبز و بخش اندکی از آن منطبق بر سنگ‌های دگرگونه آمفیبولیت و شیست است. با توجه به مجاورت توده نفوذی آذرین با سنگ‌های آهکی، به صورت کلی به نظر می‌رسد آنومالی‌های A' و C' در این ناحیه ممکن است ناشی از کانی‌زایی آهن، از نوع اسکارن، باشد. وجود کانی‌زایی گارنت در این زون سبب تقویت این ادعا می‌شود.

به نظر می‌رسد که آنومالی‌های A' و C' مرتبط با کانی‌زایی آهن در منطقه‌اند که در اعماق و زیر

- to a Borehole Section, Soviet Geology and Geophysics, 29, PP. 88-97.
- Clark, D. A., 1997, **Magnetic Petrophysics and Magnetic Petrology: Aids to Geological Interpretation of Magnetic Surveys**, AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17(2), PP. 83-103.
- Cooper, G. R. J. & Cowan, D.R., 2006, **Enhancing Potential Field Data Using Filters Based on the Local Phase**, Computers & Geosciences, 32, PP. 1585-1591.
- Crosta, A. & Moore, J., 1989, **Enhancement of Landsat Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW Minais Gerais State, Brazil: A Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain**, Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, PP. 1173-1187.
- Dobrin, M. B. & Savit, C. H., 1998, **Geophysical Prospecting**, Fourth edition.
- Donohve, J., Hil, Q. & Brewster, D., 2012, **Geophysics at the Howsons Iron Project, NSW, Eastern Australia's New Magnetite Resource**, ASEG: Australian Society of Exploration Geophysics, 2012(1), PP. 1-6..
- Guun, P.J., Madment, D. & Miligan, P.R., 1997, **Interpretation of Aeromagnetic Data in Area of Limited Outcrop**, AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17(2), PP. 175-185.
- Harris, J.R., Juan, H.X., Rainbird, R. & Behnia, P., 2014, **A Comparison of Different Remotely Sensed Data for Classifying Bedrock Types in Canada's Arctic: Application of the Robust Classification Method and Random Forests**, Geosci. Canada, 41(4), PP. 557-584.
- Hsu, S.K., Coppens, D. & Shyu, C.T., 1998, **Depth to Magnetic Source Using Thegeneralized Analytic Signal**, Geophysics, 63, PP. 1947-1957.
- Miller, H.G. & Singh, V., 1994, **Potential Field Tilt, a New Concept for Location of Potential Field Sources**, Journal of Applied Geophysics, 32, PP. 213-217.
- ۶- سپاسگزاری
در پایان، از مدیرعامل و ریاست محترم هیئت مدیره شرکت زمین نقش مهار موج‌بنیان، برای همکاری و پیش‌برد اهداف، کمال تشکر و قدردانی را دارم.
- ۷- منابع
آقائباتی، ع.، ۱۳۸۳، **زمین شناسی ایران**، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
افتخارنژاد، ج.، ۱۳۹۵، **تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی**، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ۱۹-۲۸.
تلفورد، دبلیو.ام.، جلدارت، ال.پی.، شریف، آرای، کیز، دی.ا.، ۱۳۶۸، **ژئوفیزیک کاربردی**، ترجمه زمردیان و حاجب حسینی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.
حیدریان شهری، م.ر.، ۱۳۸۴، **مبانی اکتشافات ژئوفیزیک**، دانشگاه فردوسی مشهد.
نجفیان، ط.، رنجبر، ح.، فتحیان‌پور، ن.، ۱۳۹۰، **بررسی قدرت تفکیک آلتراسیون‌های مرتبط با کانسارهای مس پورفیری با استفاده از تجمع طیفی داده‌های ASTER، ALI**، اولین کنگره جهانی مس، تهران.
نوروزی، غ.، ۱۳۸۸، **ژئوفیزیک اکتشافی**، انتشارات دانشگاه تهران.
Alavi, M., 1991, **Tectonic Map of the Middle East (Scale 1:5,000,000)**, Geological Survey of Iran.
Arkani-Hamed, J. & Urquhart, W.E.S., 1990, **Reduction to Pole of the North American Magnetic Anomalie**, Geophysics, 55 (2), PP. 218-225.
Blakely, R. J., 1996, **Potential Theory in Gravity and Magnetic Application**, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
Chermeninov, V.B., 1988, **Mapping of Hydrothermally Altered Rocks According**

- Mwaniki, M.W., Matthias, M.S. & Schellmann, G., 2015, **Application of Remote Sensing Technologies to Map the Structural Geology of Central Region of Kenya**, IEEE J. Sel. Top. Appl. EARTH Obs. Remote Sens., 8, PP. 1855-1867.
- 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, PP. 507-517.
- Nakatsuka, T. & Okuma, S., 2006, **Reduction of Magnetic Anomaly Observations from Helicopter Surveys at Varying Elevation**, Exploration Geophysics, 37, PP. 121-128.
- Neawsuparp, K., Charusiri, P. & 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, PP. 283-298.
- Noorollahi, Y., Itoi, R., Fujii, H. & Tanaka, T., 2007, **GIS Model for Geothermal Resource Exploration in Akita and Iwate Prefectures, Northern Japan**, Computers & Geosciences, 33(8), PP. 1008-1021.
- Ranjbar, H., Honarmand, M. & 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**, J. Asian Earth Sci., 24, PP. 237-243.
- Richards, J.A., 1999, **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Sabins, F.F., 1999, **Remote Sensing for Mineral Exploration**, Ore Geology Reviews, 14(3-4), PP. 157-183.
- Sheikholeslami, M.R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H. & Emami, M.H., 2008, **Tectono-Metamorphic Evolution of the Neyriz Metamorphic Complex, Quri-Kor-e-Sefid Area (Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran)**, J Asian Earth Sci, 31, PP. 504- 521.
- Shoham, Y., 1978, **Magnetotelluric Geophysical Exploration Method – Review**, AAPG Bull - Am. Assoc. Petrol. Geol., 62 (11), P. 2362.
- Silver, E., MacKnight, R., Male, E., Pickles, W., Cocks, P. & Waibel, A., 2011, **LiDAR and Hyperspectral Analysis of Mineral Alteration and Faulting on the West Side of the Humboldt Range, Nevada**, Geosphere, 7(6), PP. 1357-1368.
- Stöcklin, J., 1968, **Structural History and Tectonics of Iran: A Review**, American Ciation of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7), PP. 1229-1258.
- Tangestani, M.H., Jaffari, L., Vincent, R.K. & Sridhar, B.B.M., 2011, **Spectral Characterization and ASTER-Based Lithological Mapping of an Ophiolite Complex: A Case Study from Neyriz Ophiolite, SW Iran**, Remote Sens. Environ., 115, PP. 2243-2254.
- Tarlowski, C., Gunn, P.J. & Mackey, T., 1997, **Enhancements of the Magnetic Map of Australia**, AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17, PP. 77-82.
- Tommaso, I.M. & Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina. Ore Geol. Rev. 32, 275–290.
- van der Meer, F.D., van der Werff, H.M.A., van Ruitenbeek, F.J.A., Hecker, C.A., Bakker, W.H., Noomen, M.F., van der Meijde, M., Carranza, E.J.M., de Smeth, J.B. & Woldai, T., 2012, **Multi-and Hyperspectral Geologic Remote Sensing: A Review**, Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 14, PP. 112-128.
- Verduzco, B., Fairhead, D., Green, C.M. & MacKenzie, C., 2004, **New Insights into Magnetic Derivatives for Structural Mapping**, The Leading Edge, 32(2), PP. 116-119.



نشر از دور

و
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰
Vol.13, No. 1, Spring 2021

93-116

Integration of ASTER Remote Sensing and Magnetometer Data to Identify Iron Sources (Case Study Northeast Neyriz-Fars Province)

Mojarad S.^{1*}

1. Instructor, Surveying Group, University of Bojnourd

Abstract

The study area is located in the northeast of Neyriz and near the village of Ghorri in Fars province. Geologically, the units of the study area are located in the zone-Sanandaj-Sirjan and with the general northwest-southeastern trend. Most of these units are calcareous units, units sericitic-chlorite schist and amphibolite units up. In this research, ASTER sensor images and ground magnetometric data were used to explore and identify iron-rich regions in the study area. In this investigation, we applied methods of False Color Composite (FCC), Band Ratio (BR), Principle Component Analysis (PCA) using ASTER images and areas with severe alterations propellitic, phyllic and sericite. Using methods of ground magnetometric processing, many methods reduce to pole (RTP), upward continuation, Analytic Signal, Tilt Angle, Vertical Derivative were used to identify the sources and we were able to identify the edges of these anomalies. In the study area, we were able to identify four anomalies under the ground that it is very important. The results of both methods explored four anomalies. Aster imager process and magnetometric data led to primary potential mineral map of the area. For credibility of results, 52 samples were taken and analyzed by XRD methods. Five boreholes have been drilled to a depth of 140 meters and all results are consistent with each other. The methods used are important and valuable.

Keywords: ASTER, Remote sensing, Magnetometric, Iron, Tilt angle.

* Correspondence Address: Bojnourd, Zamin Naghsh Mahar Mouj Company, Tell: 09105528912
Email: Mojaradsaeed021@gmail.com