

دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۲ و ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰

ص ۱۸۷ تا ۲۰۲

## بارسازی نهشته های کواترنری آهن پلاستی توسط تلفیق داده های نسبت بانندی سنجش از دور و مغناطیس سنجی و زمین شناسی به روش WOI و مقایسه با روش های SAM و FCC در ورقه یکصد هزارم همدان

افشین بادکوبه هزاوه\*؛ دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه خوارزمی تهران،  
ایران

خلیل رضایی؛ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۱

### چکیده

نهشته های پلاستی کواترنری از اهمیت روزافزونی برخوردار هستند. سنجش از دور به عنوان ابزاری بسیار قدرتمند در بارسازی نواحی دگرسان شده مرتبط با توده های نفوذی کانسار ساز موثر بوده و به طور قابل توجهی هزینه و زمان اکتشافات را کاهش داده است. در این پژوهش، به منظور شناسایی مناطق آبرفتی آهن دار در محدوده ورقه یکصد هزارم همدان از تکنیک های پردازش تصاویر ماهواره ای نظیر نسبت بانندی (B.R)، ترکیب رنگی کاذب (FCC) و روش نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) بر روی داده های مرئی و مادون قرمز نزدیک به علاوه مادون قرمز طول موج کوتاه (VNIR+SWIR) سنجنده ASTER استفاده شده است. داده های مهم اکتشافی نظیر نقشه زمین شناسی، گسل ها و خطواره ها، مغناطیس سنجی و نسبت بانندی اعمال شده بر داده های سنجنده ASTER، پراکندگی آهن دو بار مثبت (Fe<sup>2+</sup>) و آهن سه بار مثبت (Fe<sup>3+</sup>) ایجاد و به روش شاخص همپوشانی وزن دار (WOI) باهم تلفیق شدند. سپس کانی های مهم آهن دار مثل مگنتیت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت بوسیله نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) بارسازی شدند، همچنین سنگ آهن منطقه به روش ترکیب رنگی کاذب (FCC) نیز بارسازی شد و نتیجه روش های SAM و FCC با تلفیق شاخص همپوشانی وزن دار (WOI) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به بازدید صحرایی منطقه و این که نتیجه پردازش هر سه روش، همدیگر را به خوبی تایید کردند، می توان در نبود داده های اکتشافی تکمیلی نظیر ژئوشیمی و ژئوفیزیک، به نتایج روش های SAM و FCC به تنهایی و یا در کنار هم استناد کرد.

**کلیدواژه ها:** پلاستی، کواترنری، اکتشاف، اکسید آهن، تصاویر ماهواره ای، کانسار فلزی، مغناطیس سنجی.

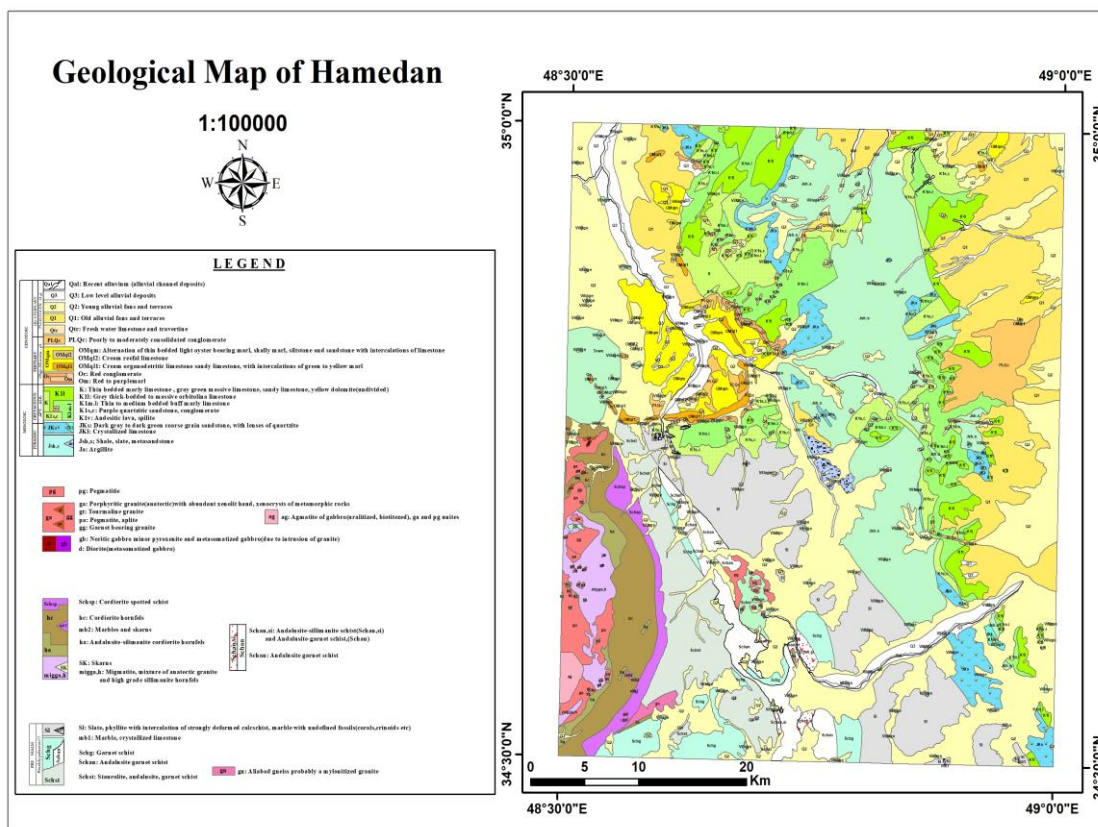
## مقدمه

در سال ۱۹۷۲ نهشته‌های پلاسر برای اولین بار توسط گری و همکاران به عنوان نهشته‌های سطحی متشکل از کانی‌های سنگین تعریف شده است (الز و اریکسون، ۲۰۰۶). مکانیسم پیدایش پلاسرهای عبارت از تفکیک مواد آواری برحسب اندازه دانه، وزن مخصوص، شکل دانه‌ها، سایش سطح دانه‌ها و نیز جدا شدن آن‌ها از یکدیگر براساس درجه پایداری مکانیکی و شیمیایی به هنگام حرکت بر روی زمین می‌باشد. پلاسرهای در محیط‌های رسوبی از قبیل مخروط افکنه، دریا، رودخانه و یخچال نهشته می‌شوند (دیل و لودویگ، ۲۰۰۸). کانسارهای پلاسری در زمان‌های مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند، لیکن بخش اعظم ذخایر پلاسری کشف شده مربوط به زمان‌های ترشیاری و کواترنر است. ایران دارای شرایط و محیط‌های رسوبی مناسب جهت تشکیل و حفظ انواع نهشته‌های پلاسری با ارزش اقتصادی بالا می‌باشد. از پلاسرهای مهم می‌توان پلاسر تیتان و آهن‌دار کهنوج، پلاسر مگنتیت معدن سنگ آهن سنگان، پلاسر هماتیت و مگنتیت شمال غرب نیشابور، سیرجان و شمال چادرمو و کرومیت پلاسری بندان را نام برد. زمین‌شناسان مدت هاست که از سنجش از دور برای تشخیص و ترسیم نقشه سنگ‌ها و کانی‌ها استفاده می‌کنند (آبرامز و همکاران، ۱۹۸۳؛ کروستا و موور، ۱۹۹۰؛ لافلین، ۱۹۹۱؛ کوداهی و همکاران، ۲۰۰۰؛ کلارک و همکاران، ۲۰۰۷؛ تنگستانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ مارس و روون، ۲۰۱۰؛ کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۴). امضاهای طیفی کلیدی مواد زمینی امکان شناسایی مستقیم مواد معدنی، سنگ‌ها، پوشش گیاهی و نقشه‌برداری از واحدهای سنگ‌شناسی مهم، کانی‌های دگرسانی گرمایی و منابع معدنی را فراهم می‌کند (روون و مارس، ۲۰۰۳؛ روون و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵). پژوهشگران بسیاری در داخل و خارج از کشور (برای نمونه: ساینز، ۱۹۹۹؛ تنگستانی و موور، ۲۰۰۲؛ روون و مارس، ۲۰۰۳؛ رنجبر و همکاران، ۲۰۰۱؛ عزیزی و همکاران، ۲۰۱۰) در زمینه کاربرد روش‌های سنجش از دور در شناسایی زون‌های دگرسانی برای اکتشاف ذخایر معدنی، مانند طلا و مس کار کرده‌اند، در این میان شناسایی و تفکیک نواحی پتانسیل‌دار آهن با استفاده از داده‌های سنجش از دور کمتر مورد بررسی و توجه قرار گرفته است. بدین جهت، هدف این تحقیق شناسایی مناطق آهن‌دار محدوده ورقه یکصد هزارم همدان با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER است که می‌تواند شرایط را برای اکتشاف کانسارهای آهن آسان کند. بختیاری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER، مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، منشأ پلاسرهای IOCG حاوی مگنتیت منطقه انار را بررسی کردند. بدینی (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های ASTER و HyMap نقشه سنگ‌شناسی Kap Simpson در غرب Green Land را تهیه و با الگوریتم فیلتر تطبیقی، جاروسیت و اکسیدهای آهن را بارزسازی کرد. پوور و همکاران (۲۰۱۱) با تحلیل مولفه اصلی و نسبت بانندی با تصاویر ASTER در طول موج VNIR/SWIR در مرکز ایران اکسیدهای آهن را بارزسازی کردند. راجندران و همکاران (۲۰۱۱) با تصاویر ASTER و ETM+ و داده مغناطیسی رادیومتری هوابرد، نقشه تغییر دگرسانی مس پورفیری سرچشمه را در جنوب ایران با تحلیل مولفه اصلی و نقشه بردار زاویه طیفی و نسبت بانندی (۴/۹-۷/۶) ترسیم کردند و با تصویر PC5 بدست آمده از ETM+ توانستند اکسیدهای آهن را به خوبی بارزسازی کنند و در تحقیقی دیگر سنگ معدن آهن را توسط

تصاویر ASTER با روش تحلیل مولفه اصلی و نسبت باندی (1+3/2) و (5+7/6) و (3+5/4) در جنوب هند بارزسازی کردند. مظهری و همکاران (۲۰۱۷) نقشه‌ی معادن آهن در سنگان شهرستان خواف واقع در استان خراسان رضوی را توسط داده‌های سنجنده ASTER و داده‌های ژئوفیزیکی هوابرد و تلفیق روش نسبت باندی و تحلیل مولفه اصلی (R:5+7/6 , G:PC3 , B:PC5) بارزسازی کردند. در این پژوهش از داده‌های سنجنده ASTER، مربوط به ماهواره Terra، و از داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی به تعداد ۲۵۰۰ برداشت به منظور مکان‌یابی توده‌های فلزی استفاده شده است. سپس با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری نظیر نسبت باندی (B.R) و ترکیب رنگی کاذب (FCC) و تلفیق لایه‌های اکتشافی مهم (سنگ میزبان، گسل‌ها و خطواره‌ها، مغناطیس‌سنجی، پراکندگی آهن  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$ ) به روش شاخص همپوشانی وزن‌دار (WOI)، نقشه آنومالی نواحی پتانسیل‌دار آهن تهیه شد. همچنین با استفاده از طیف الکترومغناطیس اکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت) که متعلق به کتابخانه طیفی USGS است، نقشه پراکندگی آهن در منطقه به روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) به دست آمد. بررسی نتایج روش تلفیق شاخص همپوشانی وزن‌دار (WOI) با روش‌های SAM و FCC هدف اصلی این مطالعه است.

### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

ناحیه مورد بررسی در طول جغرافیایی  $30^{\circ}48' - 30^{\circ}49'$  شرقی و عرض‌های  $35^{\circ}00' - 34^{\circ}30'$  شمالی قرار گرفته است (اقلیمی، ۲۰۰۰). ناحیه همدان از دیدگاه زمین‌شناختی ساختاری (اشتوکلین، ۱۹۶۸) در محدوده زون سنندج سیرجان جای گرفته است. زون سنندج سیرجان پرتکاپوترین پهنه ساختاری ایران است که فازهای دگرگونی و ماگماتیسیم مهمی را پشت سر گذاشته است. وجود سنگهای گوناگون رسوبی، دگرگونه و آذرین، بیشترشان بی‌فسیل، بلوره و دگرگونه بودن واحدهای سنگی و تغییرشکل یافتن آن‌ها موجب پیچیدگی زمین‌شناسی این منطقه شده است (شکل ۱). از این رو، سن نهشته‌های تخریبی دانه‌ریز که در یک حوضه رسوبی عمیق و باریک از سنندج تا گلپایگان نهشته شده‌اند به درستی معلوم نیست. وجود مسئله دگرگونی ناحیه‌ای، تکتونیک فعال (به سبب وجود راندگی متعدد) موجب پیچیدگی وضع ساختمانی در این ورقه شده است و به لحاظ موضع تکتونیکی خاص این زون ساختاری، ارتباط واحدهای رسوبی به طور معمول گسله است. از این رو در ناحیه همدان که در بخش شمالی زون سنندج سیرجان واقع شده، سازوکار فازهای تکتونیکی مختلف بر آن موثر بوده است. این ناحیه کوهستانی، و دارای زمستان‌های سرد و طولانی است و وجود دشت‌ها در مجاورت نواحی مرتفع و کوهستانی، وزش بادهای تند و موسمی را در سطح استان موجب می‌شود (اقلیمی، ۲۰۰۰). دو فاکتور مهم در ارتباط با شرایط حوضه رسوبی در تشکیل نهشته‌های پلاسری مانند عامل رسوبگذاری و محیط رسوبگذاری می‌باشد که از عوامل رسوبگذاری می‌توان به رواناب حاصل از بارندگی، باد، گراویته و یخ اشاره کرد (الز و اریکسون، ۲۰۰۶). با توجه به عوامل فرساینده گفته شده و این که در شیب و اسلیت‌های پایین دستی نهشته‌های آهن مشاهده شده، پس منشأ پلاسری آهن در مناطق بالادستی وجود دارد.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقلیمی، ۲۰۰۰)

## داده‌ها و روش کار

داده‌های ماهواره‌ای به کار رفته شده در این پژوهش شامل چهار برگ از تصاویر سنجنده ASTER است که دو برگ آن در تاریخ ۸ می ۲۰۰۴ و دو برگ دیگر در تاریخ ۸ دسامبر ۲۰۰۴ تصویربرداری شده است. به منظور آماده سازی داده‌ها برای اعمال پیش‌پردازش، این چهار برگ باهم موزاییک شدند تا تصویر ماهواره‌ای یکپارچه از محدوده یکصد هزارم همدان داشته باشیم. تمامی پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3.1 صورت پذیرفت. محدوده‌های طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک به علاوه مادون قرمز طول موج کوتاه (VNIR+SWIR) برای منطقه یکصد هزارم همدان در یک دیتاست قرار گرفتند. سپس پیش‌پردازش IARR<sup>۱</sup> روی داده اعمال گردید تا تصویر بازتاب سطحی<sup>۲</sup> منطقه ایجاد شود (بن دور و همکاران، ۱۹۹۵). بعد از آن بهترین باندهای سنجنده ASTER جهت اعمال تکنیک ترکیب رنگی کاذب (FCC) به منظور شناسایی مناطق آهن‌دار انتخاب شدند. روش نسبت باندهای (B.R) و نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) نیز روی داده‌های

1- Internal Average Relative Reflectance

2-Surface Reflectance

ماهواره‌ای اعمال شدند تا نقشه آنومالی آهن بوسیله تکنیک‌های اشاره شده بدست آید. داده‌های مغناطیس‌سنجی بکار رفته شده در این تحقیق شامل ۲۵۰۰ برداشت هوایی می‌باشد که توسط نرم‌افزار Geosoft Oasis Montaj 8.4 پردازش شدند. ابتدا داده‌های ژئوفیزیکی داخل نرم‌افزار Geosoft پیش‌پردازش شده و پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب یا RTP<sup>۱</sup> محل اصلی آنومالی‌های زیرسطح زمین نمایان شد. سپس داده‌های پردازش شده‌ی مربوطه مانند: سنگ میزبان، گسل‌ها و خطواره‌ها (برداشت شده از ورقه یکصد هزارم همدان)، مغناطیس‌سنجی (RTP) و نسبت‌های باندی  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  داخل نرم‌افزار ArcMap 10.8 به وسیله روش شاخص همپوشانی وزن‌دار (WOI) باهم ترکیب شدند و نتیجه بدست آمده از این روش در کنار نقشه‌های ترکیب رنگی کاذب (FCC) و نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) بررسی شدند تا همپوشانی نتایج بارزسازی آنومالی آهن مشخص و دقت هر روش در مقایسه با سایر روش‌ها معین گردد.

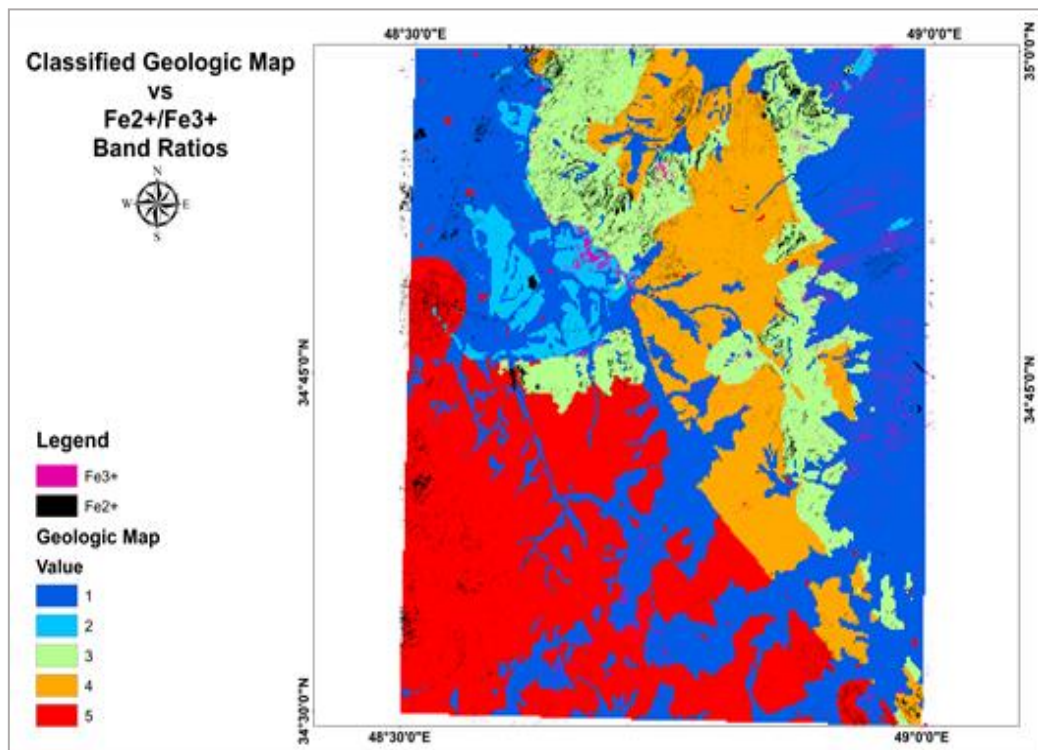
## نتایج پردازش‌ها

### - نسبت باندی (B.R)

این روش یکی از تکنیک‌های پردازش تصاویر چند طیفی است که شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر یا یک باند طیفی به پیکسل‌های متناظر آن تصویر یا باند دیگر است. روش نسبت باندی می‌تواند برای بارزسازی اختلاف طیفی بین باندها استفاده شود و اثرات سایه و اختلاف روشنایی زمین را به دلیل شیب کاهش دهد (سایینز، ۱۹۹۹؛ روون و مارس، ۲۰۰۳؛ هیوسون و همکاران، ۲۰۰۵؛ آبر، ۲۰۰۵). جهت بارزسازی آهن در منطقه مورد مطالعه از دو نسبت باندی  $Fe^{2+}$  ( $5/3+1/2$ ) و  $Fe^{3+}$  ( $2/1$ ) استفاده شد که در شکل ۳ قابل مشاهده هستند (روون و مارس، ۲۰۰۳). نقشه کلاسه‌بندی شده سنگ میزبان براساس درجه اهمیت منشأ پلاستهای آهن در مقایسه با نتایج نسبت باندی، نشانگر همخوانی مطلوب آن با واحدهای سنگی است (شکل ۲).

### - ترکیب رنگی کاذب (FCC)

در این روش باندهای مناسب تصویر در کانال‌های قرمز، سبز و آبی قرار می‌گیرد تا عوارض موردنظر به رنگ‌های خاصی در تصویر پدید آید. به منظور بارزسازی سنگ آهن در منطقه مورد مطالعه از ترکیب رنگی کاذب ( $R: 1+3/2$   $G: 3+5/4$   $B: 5+7/6$ ) استفاده شد که در شکل ۴ به رنگ آبی تیره متمایل به بنفش قابل مشاهده است (راجندران و همکاران، ۲۰۱۱).



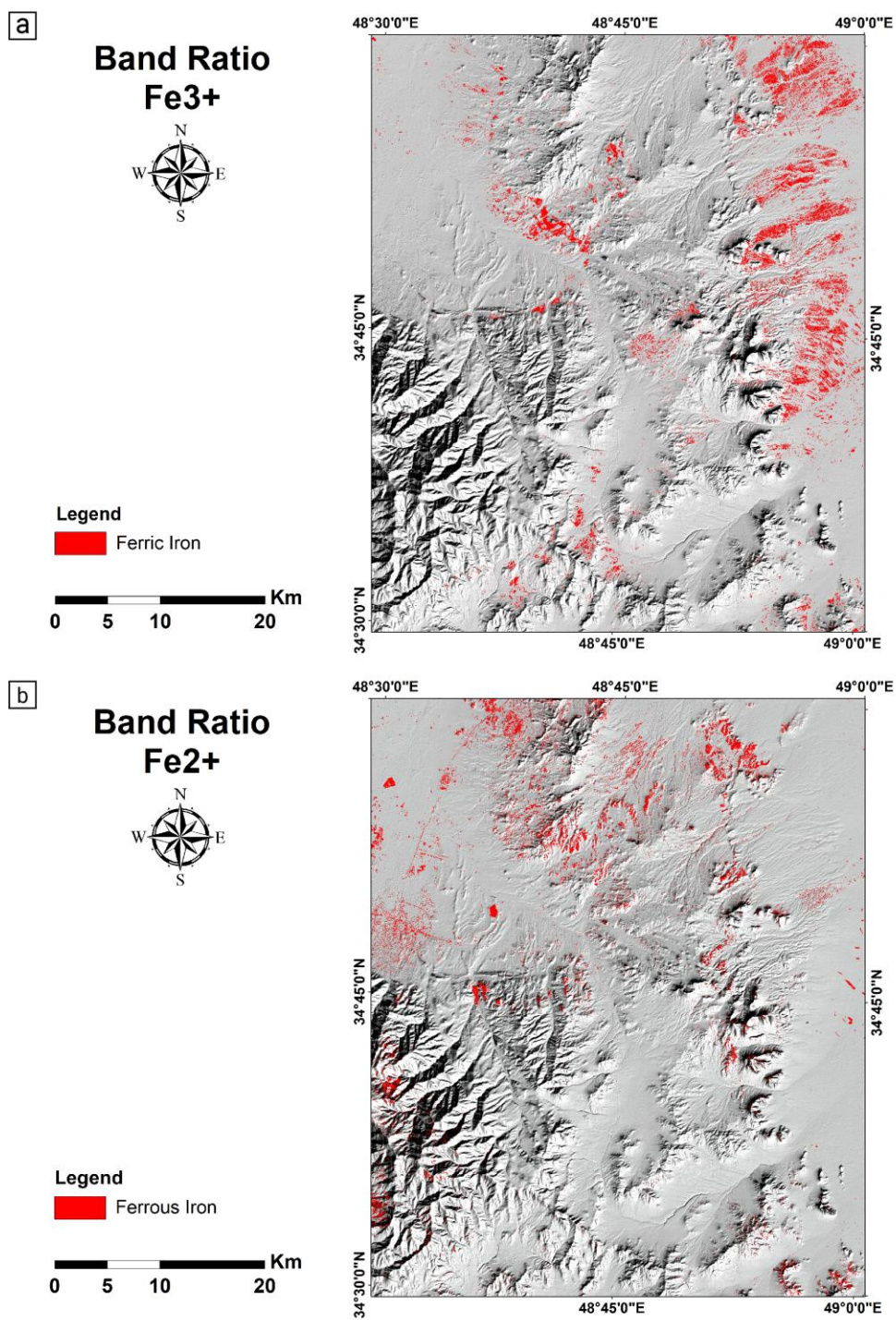
شکل ۲: نقشه سنگ میزبان کلاسه‌بندی شده بر اساس منشأ پلاسرهای آهن و تطابق آن با پراکندگی آهن به روش نسبت باندی

### - مغناطیس‌سنجی

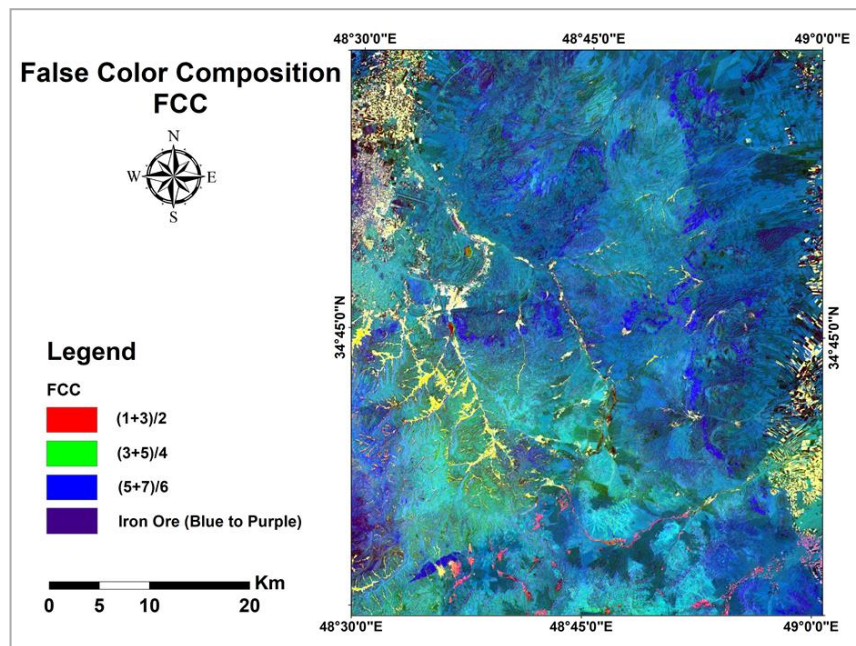
از تکنیک‌های ژئوفیزیک هوابرد برای بارزسازی آنومالی‌های فلزی سطحی و زیرسطحی استفاده می‌شود. هنگامی که این داده‌ها در ترکیب با سایر تکنیک‌های اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد، یک مدل جامع زمین شناسی تولید می‌شود (آرمسترانگ و رودگیرو، ۲۰۰۶). بدین منظور پس از پیش‌پردازش داده‌ها فیلتر برگردان به قطب (RTP) روی آن‌ها اعمال شد تا محل اصلی آنومالی‌های فلزی مشخص شود (شکل ۵). مناطقی که از نظر مغناطیس‌سنجی مقادیر بالایی را به خود اختصاص داده‌اند همپوشانی خوبی با مناطق قرمز رنگ شکل ۲ (سنگ میزبان) نشان می‌دهند. از این رو تلفیق مغناطیس‌سنجی با لایه‌های گسل، سنگ میزبان و نسبت باندی، دقت نتیجه نهایی تلفیق را بالاتر برده و حاصل پردازش قابل استنادتر است.

## - نقشه برداری زاویه طیفی (SAM)

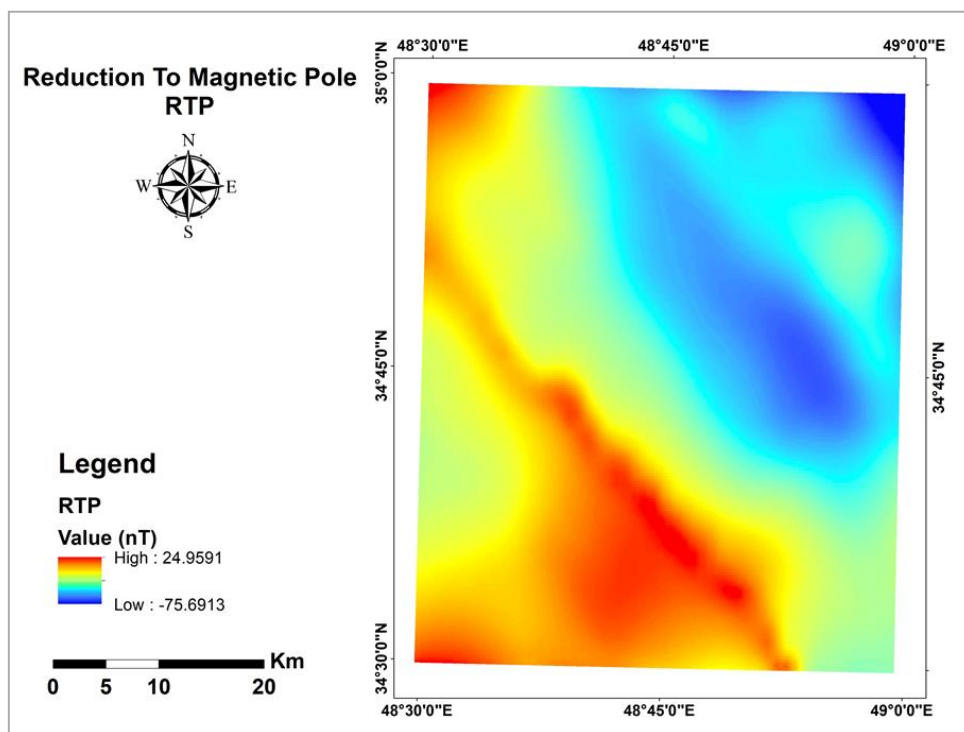
طبقه بندی نظارت شده به روش نقشه برداری زاویه طیفی بدین صورت است که نقشه برداری سریع پدیده ها را از طریق محاسبه شباهت طیفی بین بردار تصویر با داده های طیفی مرجع (برای مثال: کتابخانه طیفی USGS) ممکن می سازد (یوهاس و همکاران، ۱۹۹۲). در این پژوهش از طیف آزمایشگاهی مگنتیت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت (تهیه شده توسط USGS) به منظور تفکیک و بارزسازی مناطق آهن دار منطقه استفاده شد که در شکل ۶ قابل بررسی است. همانطور که مشخص است مناطق آهن دار بارزسازی شده به روش SAM، روش های ترکیب رنگی کاذب (شکل ۴)، نسبت باندی (شکل ۳)، مغناطیس سنجی (شکل ۵) و مناطق مستعد آهن از نظر سنگ میزبان (شکل ۲) را به خوبی تایید می کند و این امر نشان دهنده دقت مطلوب طیف های آزمایشگاهی ریسپیل شده آهن و همچنین روش نقشه برداری زاویه طیفی است.



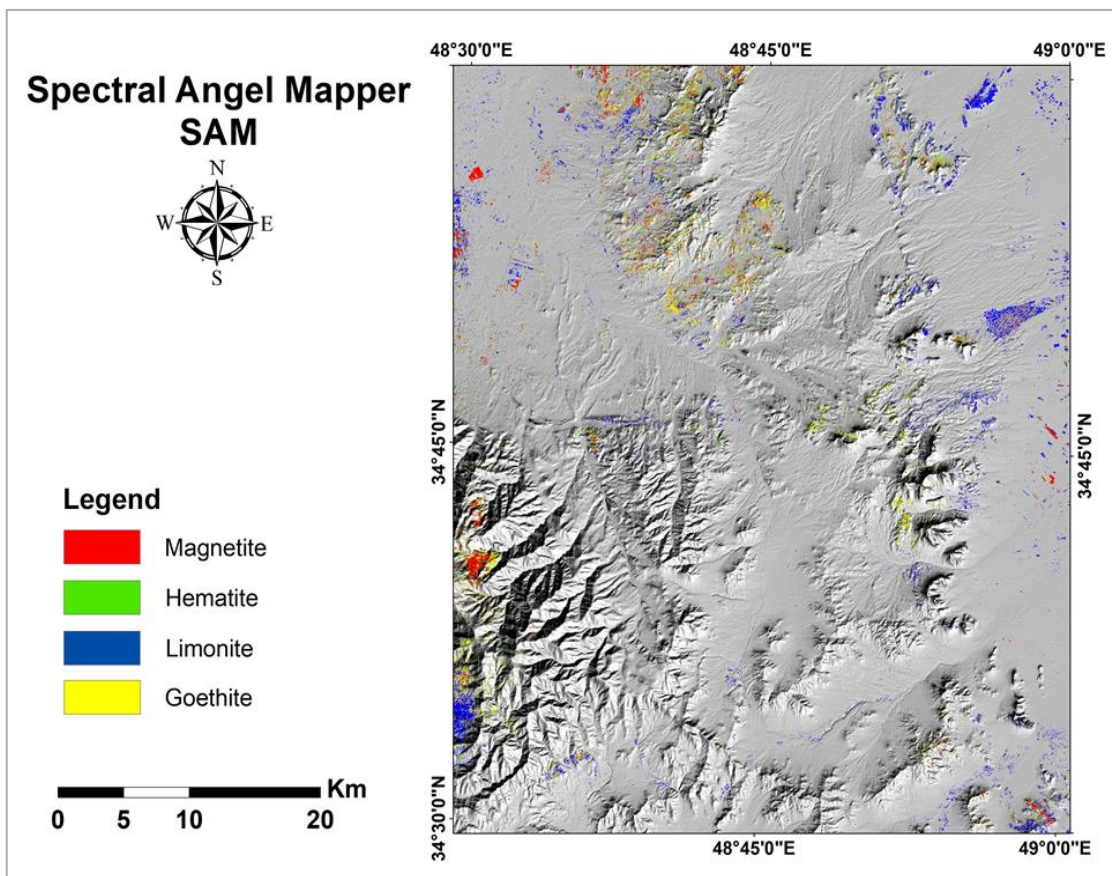
شکل ۳: الف) تصویر نسبت باندی  $Fe^{3+}$  (ب) تصویر نسبت باندی  $Fe^{2+}$



شکل ۴: تصویر ترکیب رنگی کاذب (مناطق آبی تیره متمایل به بنفش حاوی آهن هستند)



شکل ۵: تصویر مغناطیس سنجی ورقه یکصد هزارم همدان با اعمال فیلتر RTP

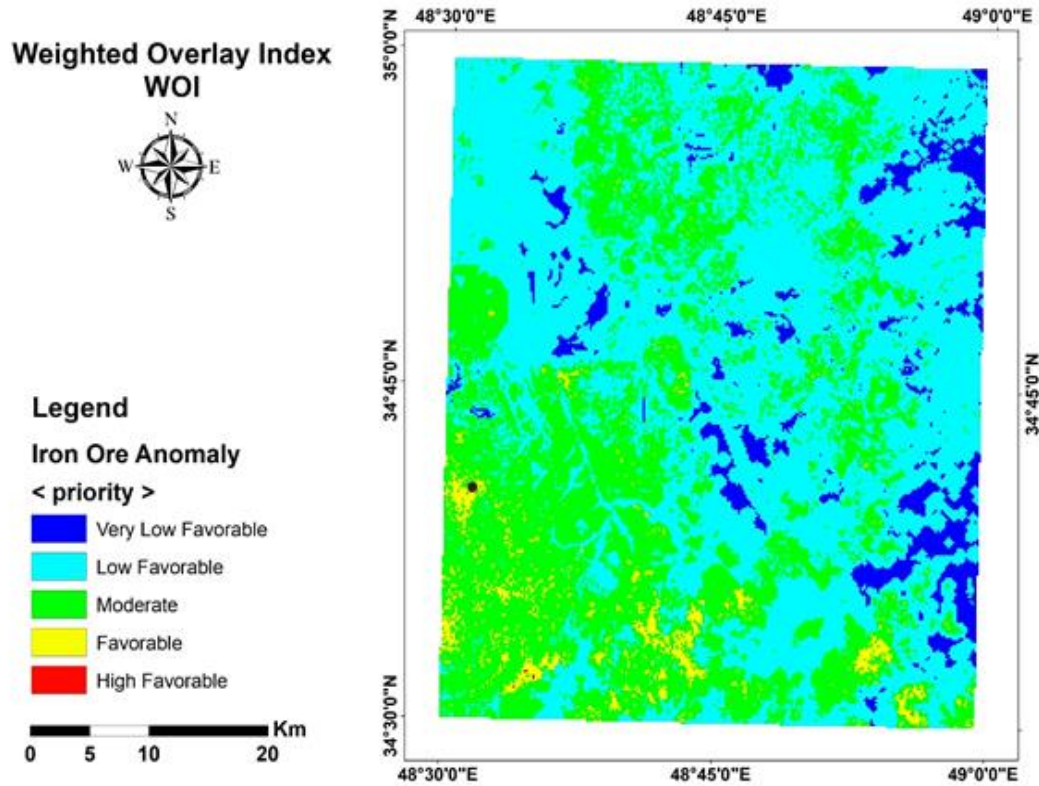


شکل ۶: بارزسازی مناطق آهن دار به تفکیک، بوسیله نقشه برداری زاویه طیفی

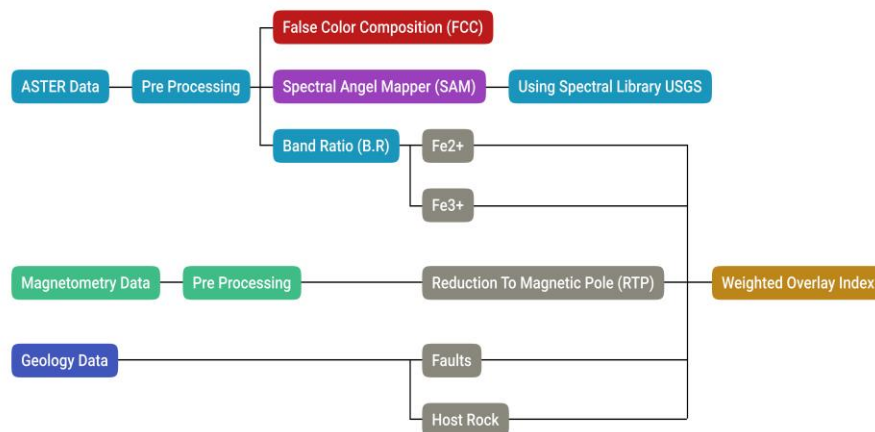
## بحث

برای دستیابی به نتیجه قابل استنادتر و بهتر از جانمایی مناطق آهن دار، لایه‌های نسبت بانندی  $Fe^{2+}$ ،  $Fe^{3+}$  لایه مغناطیس‌سنجی، سنگ میزبان کلاسه‌بندی شده و گسل (برداشت شده از ورقه یکصد هزارم همدان) باید به روش شاخص همپوشانی وزن دار بایکدیگر تلفیق شوند. به دلیل این که مقیاس منطقه مورد مطالعه بزرگ است از گسل‌ها و خطواره‌های ورقه یکصد هزارم همدان بهره می‌گیریم. اما اگر محدوده مورد بررسی کوچک مقیاس بود بهتر است تا خطواره‌ها و گسل‌ها از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شوند تا دقت پردازش در تلفیق به حداکثر برسد. بر روی لایه گسلی بافر ۵۰۰ متر جهت تلفیق اعمال شد. لایه‌های نسبت بانندی، مغناطیس‌سنجی و سنگ میزبان نیز از قبل پردازش شده و در دسترس هستند. به منظور یکدست سازی داده‌ها جهت تلفیق، ابتدا این پنج لایه نامبرده نرمال و پس از آن کلاسه‌بندی مجدد شدند. به تمام لایه‌های درگیر در روش تلفیق شاخص همپوشانی وزن یکسان داده شد و از آنجایی که وزن کل ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود وزن تمام لایه‌ها ۲۰ ثبت شد. تلفیق چند لایه اکتشافی مهم دقت کار را بالا می‌برد و احتمال خطا را کم می‌کند. نتیجه تلفیق در شکل قابل مشاهده است. به منظور اعتبارسنجی نتایج پردازش، از محل علامت‌گذاری شده در شکل ۷ بازدید بعمل

آمد که در شکل ۹ قابل بررسی است. فلوجارت تمامی مراحل پردازشی و تلفیقی صورت گرفته بر داده های مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۸ نمایش داده شده است.



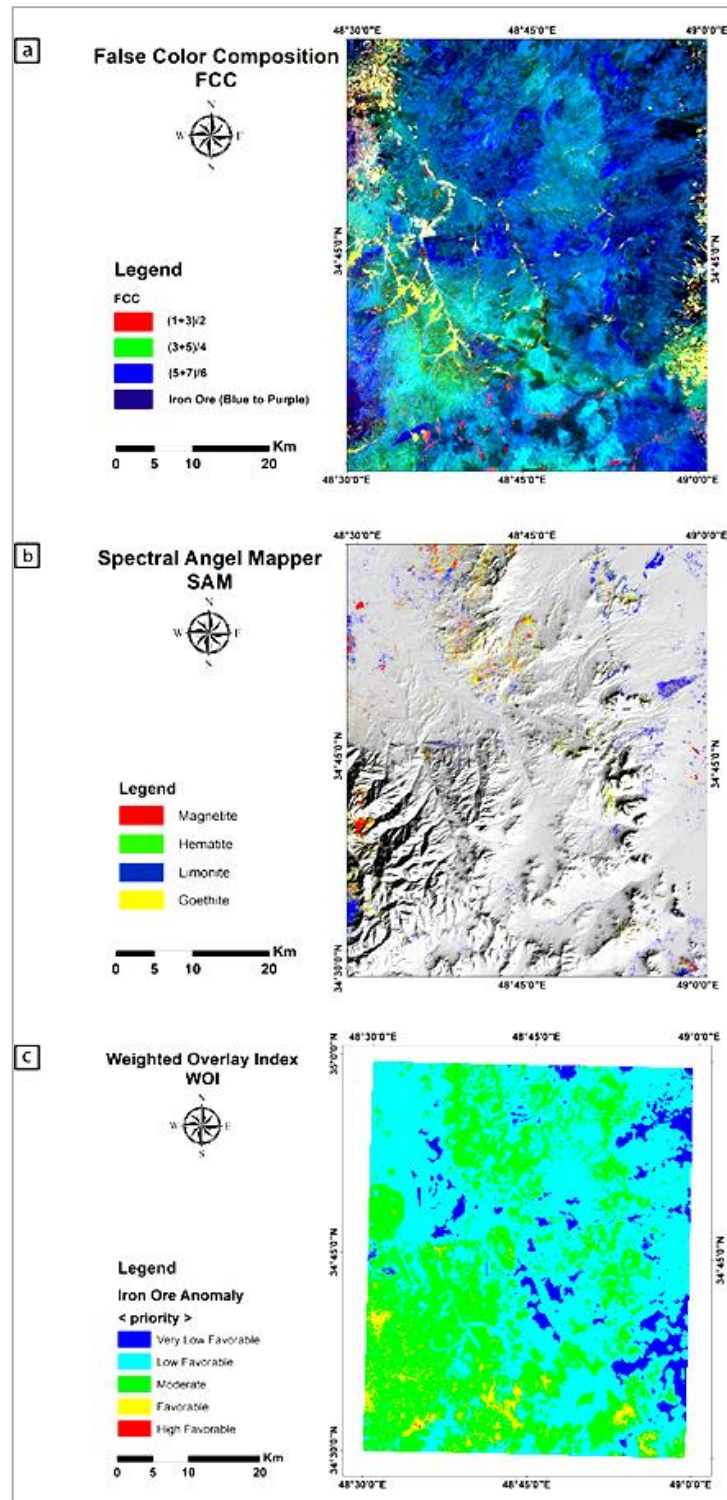
شکل ۷: نتیجه تلفیق لایه های اکتشافی مهم در بارزسازی مناطق آهن دار، ورقه یکصد هزارم همدان



شکل ۸: فلوجارت مراحل انجام کار (تهیه شده توسط نگارنده)



شکل ۹: رخنمون سنگ‌های دگرگونی حاوی مگنتیت، دارای همبری با سنگ آهک در ارتفاعات بالادستی



شکل ۱: بررسی نتایج سه روش ترکیب رنگی کاذب (a)، نقشه برداری زاویه طیفی (b) و تلفیق (c)

## نتیجه گیری و پیشنهادات

در شکل ۱۰ نتیجه پردازش‌ها در کنارهم قرار داده شد تا بررسی بهتری انجام شود. روش تلفیقی شاخص همپوشانی وزن‌دار (WOI - 10c) به دلیل این که شامل داده‌های مغناطیس‌سنجی و زمین‌شناسی می‌شود قابل استنادتر و دقیق‌تر است. اما به دلیل پیچیدگی شرایط زمین‌شناسی در ایجاد کانسارها هیچگاه نمی‌توان به یک روش تکیه کرد. به همین دلایل نتیجه روش تلفیقی را در کنار روش‌های نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) و ترکیب رنگی کاذب (FCC) استفاده کردیم تا دقت پروژه اکتشافی بالا رفته و درصد خطا تا حد امکان کاهش یابد. همانطور که مشخص است، نقشه برداری زاویه طیفی (SAM - 10b) با وجود اینکه فقط به یک داده اتکا دارد (طیف الکترومغناطیسی) نتایج بسیار دقیقی در مقایسه با روش تلفیقی ارائه داده است. علاوه بر دقت بارزسازی امکان تفکیک سنگ آهن به انواع مختلف آن (مگنتیت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت) را برای ما مهیا نموده است. در مناطقی که در بخش c شکل ۱۰ مستعد معرفی شده‌اند (مناطق زرد و قرمز) در تصویر ترکیب رنگی کاذب (FCC - 10a) نیز به رنگ آبی تیره تا بنفش نمایش داده شده است که نشان می‌دهد تمامی روش‌های به کار گرفته شده در این پژوهش همدیگر را بخوبی تایید می‌کنند. پس در مواردی که داده‌های اکتشافی تکمیلی مانند مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی (مغناطیس‌سنجی) در دسترس نبودند، استفاده از روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) و ترکیب رنگی کاذب (FCC) در کنار هم تا حد بسیار مطلوبی کمک کننده می‌باشد و نقاط پیجویی اولیه را با دقت بالایی بدست می‌دهد. بعنوان پیشنهادات می‌توان گفت، طیف الکترومغناطیسی کانی موردنظر را با استفاده از دستگاه طیف‌سنج در محل مورد مطالعه برداشت کرده و از طیف محلی در الگوریتم‌های پردازشی طیف مینا مانند نقشه برداری زاویه طیفی استفاده کنیم و نتیجه آن با تصویر پردازش شده توسط طیف کتابخانه USGS مقایسه شود. همچنین بجای استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی از داده‌های مغناطیس‌سنجی زمینی استفاده شود تا دقت پردازش‌های مربوطه ارتقا یافته و نتیجه مطلوب‌تری در تلفیق بدست آید. در تلفیق چند لایه اکتشافی مهم جهت بارزسازی و جانمایی ماده معدنی موردنظر، حتماً لایه ژئوشیمیایی کانی هدف نیز قرار گیرد تا دقت نتایج پردازشی تا حد بسیار بالایی ارتقا یابد. همچنین از باندهای مرئی ماهواره Sentinel-2 نیز به منظور بارزسازی اکسیدهای آهن استفاده شود؛ زیرا باندهای مرئی این ماهواره از توان تفکیک مکانی ۱۰ متری برخوردار هستند و وضوح بصری بهتر و در نتیجه تفسیر دقیق‌تری را به ارمغان می‌آورد.

## منابع

- بختیاری، س.، رنجبر، ح.، شهاب پور، ج. (۱۳۹۱). بررسی منشأ پلاسرهای IOCG حاوی مگنتیت منطقه انار با استفاده از دورسنجی، مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، بیرجند
- Abera, B. G. (2005). Application of Remote Sensing and Spatial Data Integration Modeling to Predictive Mapping of Apatite-mineralized Zones in the Bikalal Layered Gabbro Complex, Western Ethiopia. ITC.
- Abrams, M. J., Brown, D., Lepley, L., & Sadowski, R. (1983). Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizona. *Economic Geology*, 78(4), 591-604.
- Armstrong, M., & Rodeghiero, A. (2006). Airborne geophysical techniques. *Proceedings of Coal 2006 Operators Conference*, Wollongong, July 6-7, p.113-131.
- Azizi, H., Tarverdi, M. A., & Akbarpour, A. (2010). Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanjan, northern Iran. *Advances in Space Research*, 46(1), 99-109.
- Bedini, E. (2011). Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data. *Advances in Space Research*, 47(1), 60-73.
- Ben-Dor, E., Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., & Banin, A. (1995). Comparison of three calibration techniques for utilization of GER 63-channel aircraft scanner data of Makhtesh Ramon, Negev, Israel. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* (Vol. 4, No. 32, p. 164A).
- Clark, R. N., Swayze, G. A., Wise, R. A., Livo, K. E., Hoefen, T. M., Kokaly, R. F., & Sutley, S. J. (2007). USGS digital spectral library splib06a (No. 231). US Geological Survey.
- Crosta, A. P., & Moore, J. M. C. M. (1990). Rehancement of LANDSAT Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A prospecting case history in Greenstone Belt terrain. In *Thematic conference on remote sensing for exploration geology. Methods, integration, solutions*. 7 (pp. 1173-1187).
- Cudahy, T. J., Okada, K., & Brauhart, C. (2000, November). Targeting VMS-style Zn mineralisation at Panorama, Australia, using airborne hyperspectral VNIR-SWIR HyMap data. In *ERIM proceedings of the 14th international conference on applied geologic remote sensing* (pp. 395-402).
- Dill, H. G., & Ludwig, R. R. (2008). Geomorphological-sedimentological studies of landform types and modern placer deposits in the savanna (Southern Malawi). *Ore Geology Reviews*, 33(3-4), 411-434.
- Eghlimi, B. (2000). 1:100000 Geological map of Hamedan, Geological Survey & Mineral Explorations of Iran (GSI).
- Els, G., & Eriksson, P. (2006). Placer formation and placer minerals. *Ore Geology Reviews*, 4(28), 373-375.
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K., & Mauger, A. J. (2005). Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 159-172.
- Karimpour, M. H., Mazhari, N., & Shafaroudi, A. M. (2014). Discrimination of different erosion levels of porphyry Cu deposits using ASTER image processing in eastern Iran: a case study in the Maherabad, Shadan, and Chah Shaljami Areas. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 88(4), 1195-1213.
- Loughlin, W. P. (1991). Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(9), 1163-1169.
- Mars, J. C., & Rowan, L. C. (2010). Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2011-2025.

- Mazhari, N., Shafaroudi, A. M., & Ghaderi, M. (2017). Detecting and mapping different types of iron mineralization in Sangan mining region, NE Iran, using satellite image and airborne geophysical data. *Geosciences Journal*, 21(1), 137-148.
- Pour, A. B., & Hashim, M. (2011). Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6), 1309-1323.
- Rajendran, S., Thirunavukkarasu, A., Balamurugan, G., & Shankar, K. (2011). Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1), 99-106.
- Ranjbar, H., Roonwal, G. S., & Ravidran, K. V. (2001). Digital image processing for lithological and alteration mapping, using spot multispectral data. A case study of Pariz area, Kerman Province.
- Rowan, L. C., & Mars, J. C. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote sensing of Environment*, 84(3), 350-366.
- Rowan, L. C., Hook, S. J., Abrams, M. J., & Mars, J. C. (2003). Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system. *Economic Geology*, 98(5), 1019-1027.
- Rowan, L. C., Mars, J. C., & Simpson, C. J. (2005). Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *Remote sensing of Environment*, 99(1-2), 105-126.
- Sabins, F. F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore geology reviews*, 14(3-4), 157-183.
- Stoecklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG bulletin*, 52(7), 1229-1258.
- Tangestani, M. H., & Moore, F. (2002). Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 23(22), 4815-4825.
- Tangestani, M. H., Mazhari, N., Agar, B., & Moore, F. (2008). Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 29(10), 2833-2850.
- Yuhas, R. H., Goetz, A. F., & Boardman, J. W. (1992, June). Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm. In *Proc. Summaries 3rd Annu. JPL Airborne Geosci. Workshop (Vol. 1, pp. 147-149)*.