

تلفیق و آنالیز داده‌های زمین‌شناسی و روش دورسنجی جهت شناسایی و تفکیک زون‌های دگرسانی کانسار آهن کامو (میمه - اصفهان)

جهانگیر اسماعیلی^۱، احمد خاکزاد^۲ و منصور وثوقی عابدی^۳

^۱دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

^۳دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۶

چکیده

امروزه فن سنجش از دور (RS) به دلیل داده‌هایی با دید وسیع و یکپارچه و محدوده‌های طول موجی مختلف، از یکی از بهترین روش‌های اکتشاف معدنی است. یکی از مناطق مستعد جهت پی‌جویی و اکتشاف فلزات از جمله آهن، در شمال شرق بخش کامو (میمه اصفهان) و به مرکزیت طول جغرافیایی 51,16,58 E و عرض جغرافیایی 33,40,16 N واقع شده است. از نظر تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری، منطقه مورد مطالعه در ایران مرکزی و در زون ماگمایی ارومیه-دختر قرار دارد. این محدوده در یک سین سنجنده ETM ماهوار لندست به شماره 37_164 و تصویر سنجنده استر ماهواره ترا به شماره 0108220733380109011021 AST_L1A:002:ASTL1A قرار گرفته است. از تصاویر سنجنده مذکور در ترکیب‌های باندهی مختلف برای استخراج ساختارهای زمین‌شناسی و انواع دگرسانی‌ها (اکسید آهن، کربناتی) استفاده می‌شود و برای شناسایی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف در سطح زمین، محدوده طیفی 1/5 تا 2/5 میکرون مناسب‌تر و دقیق‌تر است. این محدوده طیفی شامل محدوده مادون قرمز کوتاه تا متوسط می‌شود که 6 باند سنجنده استر (باند‌های SWIR) را می‌پوشاند. از سوی دیگر جهت استفاده از منحنی بازتاب طیفی نمونه کانی‌های مزبور در کتابخانه طیفی نرم‌افزار USGS ENVI جهت انجام آنالیز طیفی لازم است که منحنی‌ها به دامنه طیفی شش باند SWIR+Resample+Matched Filtering+LS-Fit (Linear Band Prediction) و Band RATIO از تصاویر استر برای تمام کانی‌ها و دگرسانی‌های آهن و نیز برای اکسیدهای آهن از تفسیر بصری و از تصاویر ETM در ترکیب باندهی RGB:531 استفاده شد. با در نظر گرفتن وضعیت سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگه 1:25000 کامو) نوع دگرسانی و کانی‌های شاخص آن شامل دگرسانی‌های آهن (گوتیت، هماتیت و جاروسیت و لیمونیت)، دگرسانی آرژیلیک (کانولینیت، مونت‌موریلونیت، ایلیت و هالوزیت) کربنات (کلسیت و دولومیت) تعیین شده است. دگرسانی‌های پردازش شده در مطالعات سنجش از دور با نتایج آنالیزهای مطالعات صحرایی مطابقت دارند.

کلیدواژه‌ها: دگرسانی، کامو، استر، تراء، آرژیلیت، هماتیت.

*نویسنده مسئول: جهانگیر اسماعیلی

E-mail: Esmaeili_Jahan@Yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

یکی از مناطق مستعد جهت پی‌جویی و اکتشاف اندیس‌های فلزی از جمله آهن، در شمال شرق بخش کامو اصفهان قرار دارد. محدوده مورد مطالعه به مرکزیت طول جغرافیایی 51,16,58 E و عرض جغرافیایی 33,40,16 N واقع شده و فاصله آن تا بخش کامو 5 کیلومتر است. در منطقه کامو به دلیل نبود راه دسترسی و ملاحظات زیست‌محیطی تا سال ۱۳۸۵ هیچگونه عملیات اکتشافی سیستماتیک انجام نشده بود. در سال ۱۳۸۷ عملیات پی‌جویی و اکتشافی توسط بخش خصوصی شروع و به موازات آن کارهای تحقیقی آغاز شد. بیشترین مطالعات صحرایی در منطقه توسط سازمان زمین‌شناسی انجام گرفته که نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰، ۰۰۰ کامو از جمله آنهاست (قهرمانی‌پور و کریمی، ۱۳۸۹).

از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در ایران مرکزی و در زون ارومیه-دختر قرار دارد. ایالت فلز زایی ارومیه-دختر نواری به طول ۱۵۰۰ کیلومتر و به عرض تقریبی ۱۰۰ کیلومتر است و در راستای زون سندج-سیرجان و به موازات آن قرار دارد. قدیمی‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی محدوده کامو آهک و دولومیت‌های سازند شتری و جدیدترین تشکیلات زمین‌شناسی رسوبات آبرفتی و آلویال کواترنر هستند (آقاباتی، ۱۳۸۳). برونزد وسیعی از توده گرانیتوئیدی در محدوده مورد مطالعه و اطراف آن (گرانیت‌های کرکس) وجود دارد که بیشتر واحدهای چینه‌شناسی قبل از الیگومیوسن منطقه را قطع کرده است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۴). سن مطلق توده گرانودیوریتی کرکس ۱۷ تا ۱۹ میلیون سال است (امامی، ۱۳۷۹). سنگ‌های دگرگون‌شده با محلول‌های هیدروترمال ابزار مناسبی جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر معدنی هستند. از طرفی داده‌های MSS نیز وسیله‌ای برای نشان دادن اکسید

و هیدروکسید آهن (Limonite) است. نقشه‌برداری و تلفیق تغییرات از راه دور و داده‌های ژئوشیمی منطقه‌ای روش جدید محاسبات جغرافیایی-آماری و کمی مواد معدنی است (Barnes, 1997).

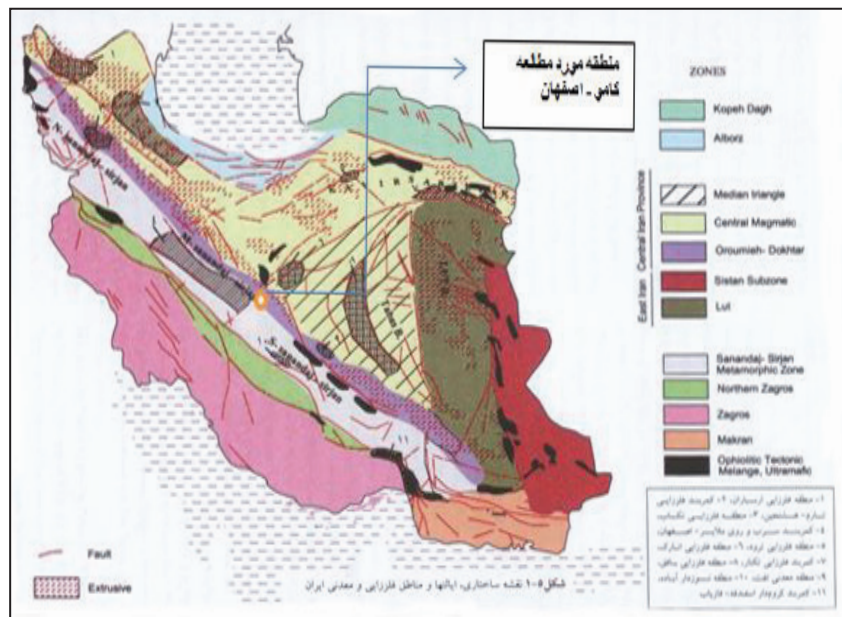
محدوده مورد مطالعه در یک سین ETM به شماره 37_164 و تصویر ماهواره ترا سنجنده استر به شماره 0108220733380109011021 AST_L1A:002:ASTL1A قرار گرفته است (شکل‌های ۱ و ۲).

۲- اهداف و روش‌ها

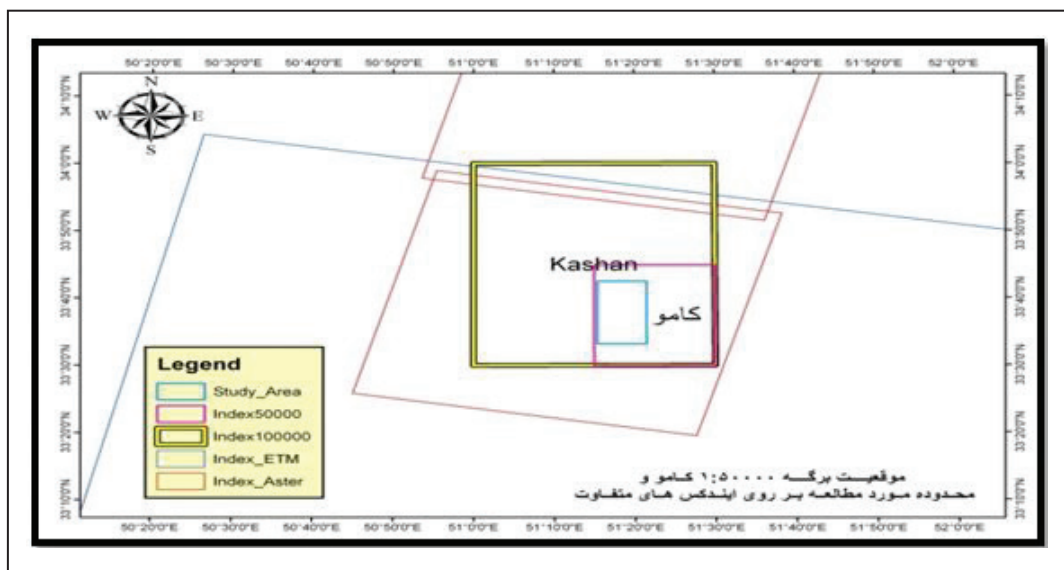
هدف از مطالعات دورسنجی در این منطقه شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های موجود در اطراف توده نفوذی مولد کانسار آهن کامو و نحوه تمرکز کانی‌های اقتصادی موجود بوده است. همچنین خطواره‌های اصلی مؤثر در تمرکز کانه‌زایی‌های منطقه استخراج شده‌اند. برای این منظور دگرسانی اکسیدهای آهن به عنوان شاخص‌ترین کانی‌زایی در سطح منطقه مد نظر قرار گرفته شد تا عوامل تمرکز آهن و پاراژن‌های کانیایی مورد مطالعه دقیق‌تری قرار گیرند. جهت مطالعات دورسنجی در منطقه مورد مطالعه از برگه 1:25000 کامو استفاده شده است. داده‌های ماهواره‌ای به روش‌های پیش‌بینی خطی (LS-Fit)، فیلترگذاری انطباقی (MS)، نسبت باندهی و تصاویر رنگی کاذب بررسی شده‌اند و با دخالت دادن این دسته عوارض، می‌توان مناطق تمرکز کانه‌زایی را مشخص کرد. در مطالعات صحرایی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی از ساختارهای خطی بازدید صورت گرفت و از رخنمون‌ها سنگی و دگرسانی‌های موجود در منطقه 50 نمونه به روش‌های کلوخه‌ای و شیاری برداشت شد و در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

با مدل HORBIA XGT 7200 و آنالیز BSEI (Back scattered electron image) SEM X-Ray image مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی با داده‌های حاصل از دورسنجی تطبیق و با تلفیق، تحلیل و تفسیر داده نتیجه‌گیری خواهد شد.

و شرکت کانساران بینالود به روش‌های پراش اشعه ایکس (XRD) با مدل D500 ساخت شرکت Siemens، طیف‌سنج فلورسانس اشعه ایکس (XRF) با مدل ARL PERFORMIR - X، آنالیز نقطه‌ای (X-Ray Prob Micro Analyzer) XPMA



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در زون‌های ساختاری، ایالت‌ها و مناطق فلزایی ایران (قربانی، ۱۳۸۶).



شکل ۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی ایندکس‌های زمین‌شناسی و دورسنجی استر و ETM.

۳- سنجنده استر

تصاویر Landsat8/OLI یک عملکرد قوی برای اکسیدهای آهن حتی در مناطق حاره رشد داده و نتایج خوبی برای نقشه‌برداری از سنگ‌های آهن‌دار ارائه کرده‌اند (Ducart, 2016). از تصاویر استر می‌توان به عنوان ابزاری نیرومند در اکتشاف ذخایر معدنی در مراحل ابتدایی به منظور کانی‌شناسی مقدماتی و تهیه نقشه‌های دگرسانی با هزینه کم و دقت بالا استفاده کرد (شکل ۳) (Sabins, 1999).

عرض تصویربرداری توسط این سنجنده ۶۰ کیلومتر است و به صورت فریم‌های استاندارد ۶۰ در ۶۰ کیلومتر ارائه می‌شود. کاربرد داده‌های استر در زمین‌شناسی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، خطوط و روندهای ساختاری در طول نواحی که احتمال کانی‌سازی وجود دارد.
- شناسایی مناطق دگرسان شده مرتبط با توده‌های کانسار.

- تهیه اطلاعات زمین‌شناسی پایه.

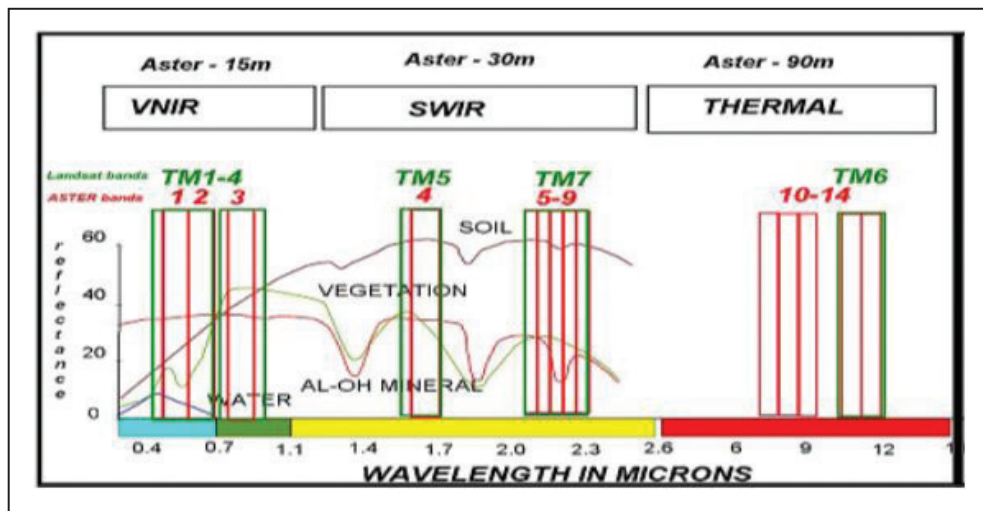
برای شناسایی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف سطح زمین، محدوده طیفی ۱/۵ تا ۲/۵ میکرون بسیار مهم است. این محدوده طیفی شامل محدوده مادون قرمز کوتاه تا متوسط می‌شود که شش باند سنجنده استر باندهای (SWIR) را می‌پوشاند (مسعودی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

اطلاعات ماهواره‌ای در ابتدا دارای خطاهای هندسی و رادیومتریک هستند. خطاهای هندسی از تغییرات سرعت حرکت ماهواره، تغییر وضعیت تعادلی آن، تغییر ارتفاع آن و خطاهای سیستم سنجنده به وجود می‌آیند. خطاهای رادیومتری (اتمسفری) بر اثر عوامل جوی در مسیر انعکاس امواج، خطاهای اپتیکی و موارد مربوط به صفحه

تبدیل می‌شوند (Abrams and Ramachandran, 2004). تصحیحات فوق بر روی تصاویرهای مورد نظر ETM و ASTER اعمال و در ادامه از تصاویر تصحیح شده استفاده شد.

حساس دوربین ناشی می‌شوند. برای تصحیحات خطاهای اتمسفری و موازنه تابش از نرم‌افزار Erdas استفاده شد. داده‌های سنجنده استر به صورت Digital Number هستند که با استفاده از ضرایب (Unit Conversion Coefficients) به رادیانس



شکل ۳- کانال‌های تصاویر استر و ETM و ویژگی‌های طیفی و طول موج آنها (Woldi and Amara, 2007).

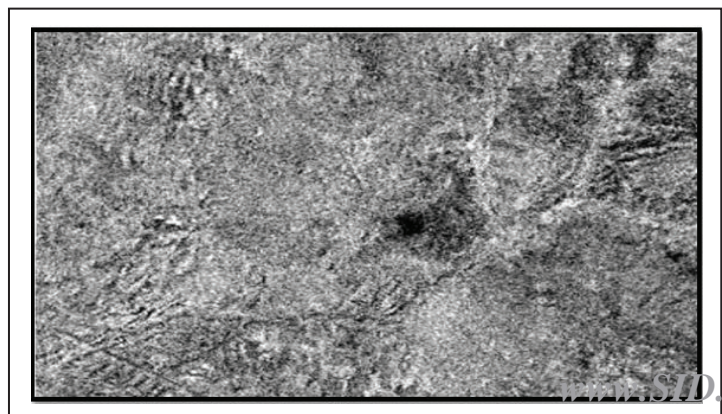
۵- انواع روش‌های پردازش داده‌های ماهواره‌ای

و تفکیک شدند. از سوی دیگر جهت استفاده از منحنی بازتاب طیفی کانی‌های مزبور در کتابخانه طیفی USGS-ENVI برای انجام آنالیز طیفی لازم است که منحنی‌ها به دامنه طیفی باندهای Resample, ASTER شوند. از روش‌های LS-Fit اکسیدهای آهن و نیز از تفسیر بصری و تصاویر ETM در ترکیب باندهای RGB:531 استفاده شد. داده‌های حاصل عبارتند از:

۵-۱ روش پیش‌بینی خطی باند LS-Fit

در این روش چنانچه در یک رگرسیون خطی فرکانس‌های بالا (جذب) و فرکانس‌های پایین (بازتاب) که شکل‌دهنده روند هستند، حضور داشته باشند و به آنها یک چند جمله‌ای Fit و نتیجه از کل روند کسر شود، تنها فرکانس‌های بالا (جذب) باقی می‌مانند و تصویری تولید می‌شود که تنها جذب دارد (خادم پارسا و مسعودی، ۱۳۹۵). در روش LS-Fit پس از اعمال تصحیحات اتمسفری بر تصویر خام هر یک از فریم‌ها و Resample کردن منحنی طیفی هر یک از کانی‌های شاخص با اعمال الگوریتم موجود، تصویری حاصل می‌شود که در آن مکان‌های هدف به رنگ سیاه دیده می‌شوند (شکل ۴). این روش به‌طور خیلی محدودی برای اکسیدهای آهن و بعضی مناطق جواب داده ولی به‌طور کلی روش مناسبی برای شناسایی این دگرسانی‌ها نبوده است.

تصاویر سنجنده ASTER در سه دامنه طیفی مشخص با قدرت تفکیک مکانی متمایز در دسترس هستند که در راستای پهنه‌بندی مناطق دگرسانی به خصوص اکسیدهای آهن لازم است از تصاویر دارای سه باند مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) و برای دگرسانی‌های آرژیلیک و پروپیلتیک و کربناتی از تصاویر مادون قرمز با طول موج کوتاه SWIR - که در آن کانی‌های شاخص مناطق دگرسان بیشترین تمایز را از نظر میزان بازتاب طیفی خواهند داشت - استفاده شود. طیف‌سنجی با نور مادون قرمز (IR) ابزاری توانمند برای رمزگشایی از گروه‌های مولکولی در کانی‌هاست. جهت معرفی نمودار طیفی مرجع روش‌های طبقه‌بندی طیفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با در نظر گرفتن وضعیت سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگه ۱:۲۵۰۰۰ کامو؛ قهرمانی‌پور و کریمی، ۱۳۸۹) و به دلیل اینکه بر اثر نفوذ توده‌های اسیدی در آهک‌های کامو، اسکارن تشکیل شده و متأثر از پالس‌های نفوذی بعدی (دم‌های داسیتی) پدیده سوپرژن نیز شکل گرفته است؛ بنابراین نوع کانی‌های شاخص به شرح زیر تعیین و از کتابخانه USGS انتخاب شد؛ کانی‌های آهن (گوتیت، هماتیت و جاروسیت و لیمونیت) و دگرسانی‌های آرژیلیک (کائولینیت، مونت‌موریلونیت، ایلیت و هالوزیت) و کربنات (کلسیت و دولومیت) به عنوان کانی‌های شاخص در نظر گرفته شدند و نمودار طیفی آنها استخراج شد. با توجه به نتایج XRD کانی‌های آلپیت، آندرادیت، کلریت، گیبسیت و مسکوویت شناسایی

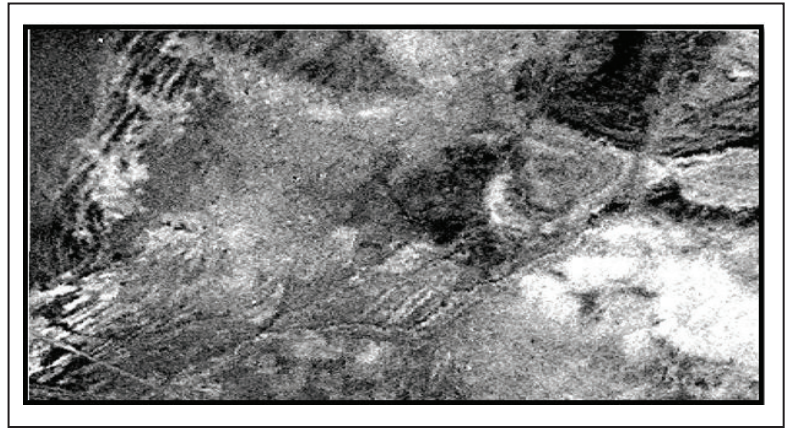


شکل ۴- تصویر حاصل از اعمال الگوریتم LS-FIT برای شناسایی مناطق کائولینیتی (نواحی تیره تصویر نشان‌دهنده مناطق کائولینیتی است).

۵-۲. روش فیلترگذاری انطباقی (MF)

(Bedini, 2012). این روش وسیله‌ای سریع برای شناسایی مواد خاص بر اساس تطبیق End member منحنی بازتاب طیفی با تصویر و نیز روش مناسبی برای شناسایی دگرسانی‌های آرژیلیک، اکسید آهن، کربناتی و پروپیلیتیک است که در آن مکان‌های هدف به رنگ سفید دیده می‌شوند (شکل ۵).

فیلترگذاری انطباقی یک روش طیفی بدون تداخل و هدف آن مشخص کردن کلاس‌های طیفی مطلوب با حذف سایر طیف رنگهاست. در روش فیلترگذاری انطباقی (MF) استفاده از End member های تعریف شده توسط کاربر، پاسخ End member های معلوم را افزایش می‌دهد و مانع پاسخ زمینه می‌شود



شکل ۵- مکان‌های هدف به رنگ سفید (دگرسانی آرژیلیک).

۵-۳. نسبت بانندی

ترکیب توده نفوذی و سنگ‌های رسوبی دربر گیرنده، عمق جاگیری و فوکاسیته اکسیژن دارد (Einaudi and Burt, 1982; Shimazaki, 1980). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در این پهنه قرار دارد، سنگ‌های آهنی و دولومیتی متأثر از توده‌های نفوذی، اسکارن کامو را شکل داده‌اند. در نتیجه نفوذ محلول‌های ماگمایی حاصل از پالس‌های بعدی، دگرسانی‌های هیدروترمالی تشکیل شد. از طرفی معدن آهن کامو بر روی یک کلاهک آهنی قرار دارد که پدیده سوپرژن بودن بخشی از کانی‌زایی را اثبات می‌کند. جهت حصول اطمینان، دانه‌های پیریت این نمونه‌ها از نظر محتوای عناصر Ni و CO، مگنتیت‌ها از نظر مقدار CO (کبالت) و کالکوپیریت‌ها از نظر مقدار Cu توسط دستگاه میکروپروپ مورد آنالیز نقطه‌ای (XPMA) قرار گرفتند که جمعاً ۳۰ نقطه حاوی عناصر فوق مطالعه و شناسایی شده که نتایج آنالیزهای قبلی مورد تأیید بوده است و در بعضی از نمونه‌ها میزان Cu10 تا ۴۰ درصد به همراه دیگر کانی‌های فلزی نظیر مگنتیت حضور دارد. در برخی از سیستم‌ها ممکن است دگرسانی آرژیلیکی به صورت لیتوکپ بر روی سیستم اصلی چنگ اندازد و باعث پوشیده شدن سیستم پورفیری شود (مهرنیا و همکاران، ۱۳۹۰).

یکی از راه‌های رایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای روش نسبت بانندی است. با به‌کارگیری این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را در تصاویر کاهش داد (Hewson and Cudahy, 2001). با توجه به حضور کانی‌هایی نظیر لیمونیت، گوئیت، هماتیت در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ETM و بهره‌گیری از نسبت بانندی می‌توان آشکارسازی کانی‌های اکسیدی آهن‌دار را انجام داد. نسبت بانندی ۳/۱ نیز برای آشکارسازی آهن کل مفید خواهد بود. اما در مورد تصاویر استر نسبت ۴/۳ برای آشکارسازی Fe^{3+} استفاده می‌شود (Yetkin and Topark, 2003). با نگاهی به نمودار جذب طول موج کانی‌هایی که در ساختار خود Fe^{3+} دارند، علت استفاده از نسبت‌های فوق روشن می‌شود و به راحتی می‌توان انعکاس و جذب را در باندهای مورد استفاده در نسبت بانندی تشخیص داد. بدیهی است که این کنتراست سبب آشکارسازی خواهد شد.

۵-۴. تصاویر رنگی کاذب از نسبت بانندی‌ها

تصاویر رنگی کاذب می‌تواند اطلاعات مهمی در خصوص رخنمون‌های موجود در سنگ بستر در منطقه در اختیار ما قرار دهد. منطقه دگرسانی معدن مس سرچشمه کرمان در مطالعات داده‌های لندست ۸ در محدوده تصاویر رنگی قرمز، آبی و سبز قرار گرفته است (Beiranvand Pour and Hashim, 2015). کانی‌ها و سنگ‌های دارای یون آهن و کانی‌های دگرسانی آرژیلیک در این تصاویر به رنگ‌های نارنجی و زرد دیده می‌شوند (Mia and Fujimitsu, 2012). با کمک تصاویر ETM و روش تفسیر بصری و ترکیب رنگی RGB:531، دگرسانی آهن به رنگ نارنجی تا قهوه‌ای تیره دیده شد که دقیقاً با روش‌ها و الگوریتم‌های به دست آمده از تصاویر استر برای اکسیدهای آهن مطابقت دارد. با ترکیب رنگی RGB:468 استر، آرژیلیک‌ها صورتی و کربنات‌ها زرد تا سفید نمایان شدند.

۶- بحث

بسیاری از نهشته‌های معدنی و کانه‌زایی‌ها در ارتباط با تکنونیک منطقه هستند. ساختارهای منطقه (خطواره‌ها، گسل‌ها و ساختارهای حلقوی ...) نقش بسیار مؤثری در بالا آمدن ماگمای کانه‌زا دارند و به عبارتی روند کانی‌سازی را تعیین و کنترل می‌کنند. در واقع گسل‌ها، محل مناسبی برای جایگیری مواد معدنی به شمار می‌روند. یکی از بهترین راه‌های مشاهده ساختارها، پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. تجربه نشان داده است که بسیاری از دگرسانی‌های مهم در محل تقاطع گسل‌ها و یا ساختارهای حلقوی رخ داده‌اند؛ بنابراین شناخت و ترسیم آنها در تصویر ماهواره‌ای کمک قابل توجهی به اکتشاف پتانسیل‌های معدنی خواهد کرد. با استفاده از ترکیب رنگی RGB (431, 742) ساختارهای موجود در منطقه و روند ساختارها و واحدهای لیتولوژی عمده را به خوبی نشان داده شده است (شکل ۶).

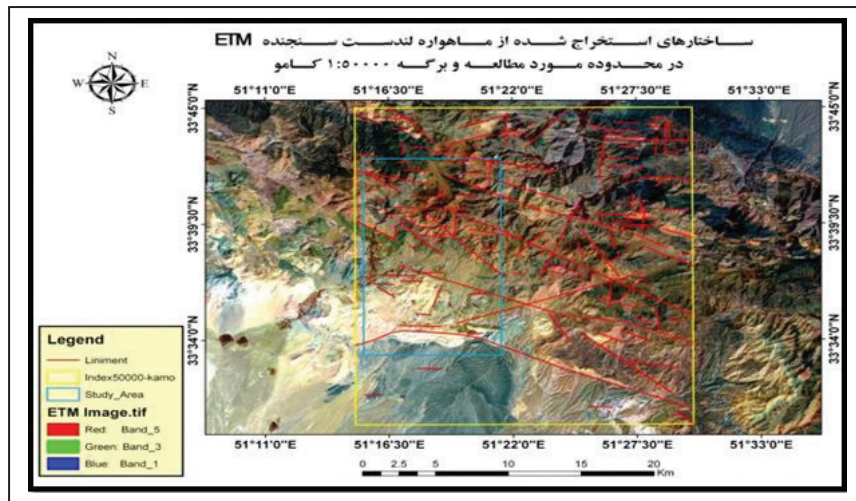
۶-۱. نتایج حاصل از استخراج مناطق دگرسان شده در تصاویر ماهواره‌ای

در بررسی‌های استخراج مناطق دگرسان (آرژیلیک و اکسید آهن و کربنات و کانی‌های آلپیت، آندرادیت، کلریت، گیبسیت و مسکویت و دگرسانی سیلیسی) از الگوریتم‌های مختلف استفاده شد. مقایسه الگوریتم‌های مختلف نشان می‌دهد که در دگرسانی آرژیلیک از روش‌های LS-Fit (Linear Band Prediction) و Matched Filtering استفاده شده که از بین این روش‌ها، الگوریتم Matched Filtering

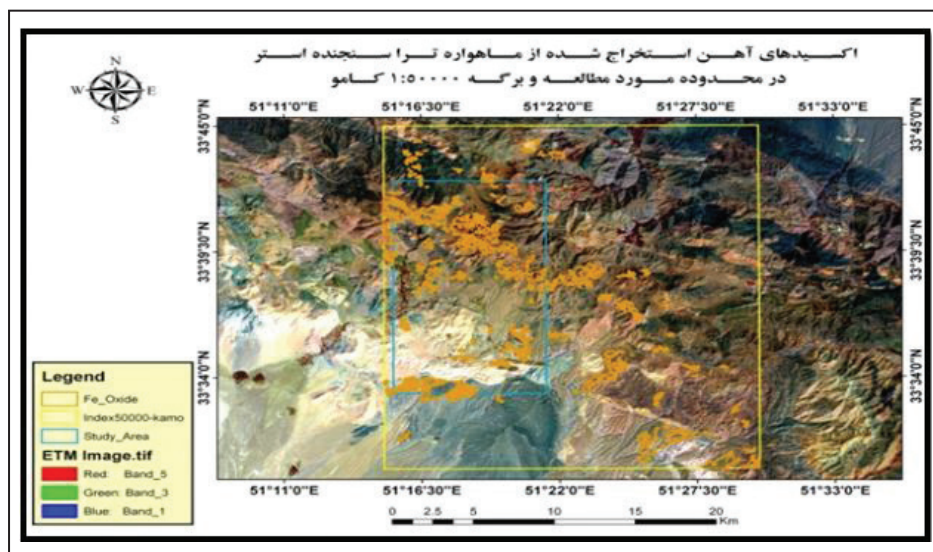
اولین معیار برای پی‌جویی و اکتشاف یک ماده معدنی، انتخاب مناطق مناسب در مقیاس کشوری و جهانی است. در این مطالعات محدوده دگرسانی‌های منطقه با استفاده از ابزارهای تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد و با استفاده از ابزارهای آنالیز دستگاهی و مشاهدات صحرائی زون‌های دگرسانی شناسایی و تفکیک شدند. فعالیت‌های ماگمایی گسترده در پهنه ارومیه-دختر در زمان سنوزویک سبب تزریق توده‌های نفوذی شده است. تشکیل و گسترش یک اسکارن خاص بستگی به نوع و

آهن به رنگ نارنجی تا قهوه‌ای تیره دیده شدند که دقیقاً با روش‌ها و الگوریتم‌های به دست آمده از تصاویر استر برای اکسیدهای آهن مطابقت دارد. دگرسانی‌های شناسایی شده در این مطالعه و پراکنش آنها در سطح کل منطقه در شکل‌های ۷ تا ۱۰ و کانی‌های استخراج شده از آنالیز نمونه‌ها در محدوده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. همچنین وضعیت تکنیکی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۶).

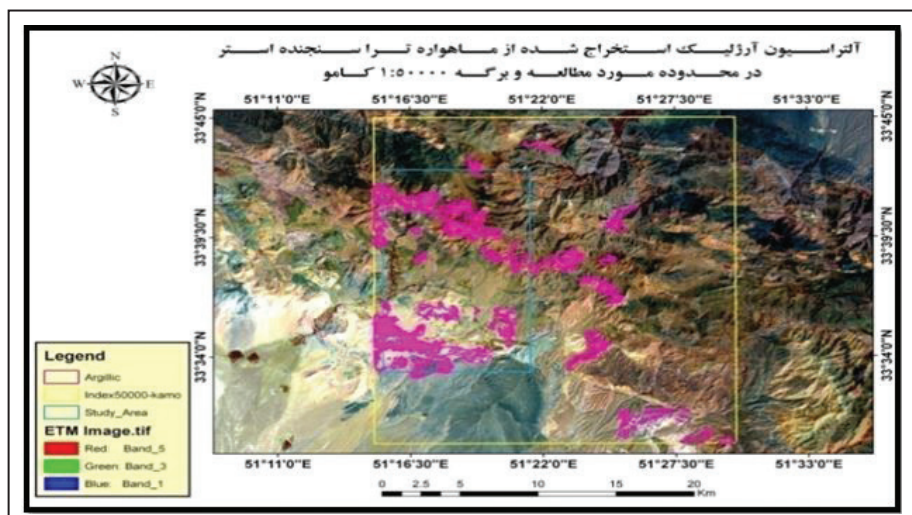
موفق‌تر بوده، البته روش LS-Fit (Linear Band Prediction) نیز نتیجه قابل قبولی در بعضی مناطق به صورت خیلی محدودتری ارائه داده است. دگرسانی‌های اکسید آهن نیز با روش Matched Filtering و LS-Fit (Linear Band Prediction) در بعضی مناطق و روش نسبت بانندی ۱/۲ و ۲/۱ بهترین بارسازی را مشخص کرد. در ضمن با کمک تصاویر ETM و باروش تفسیر بصری و با کمک ترکیب رنگی RGB:531 دگرسانی‌های



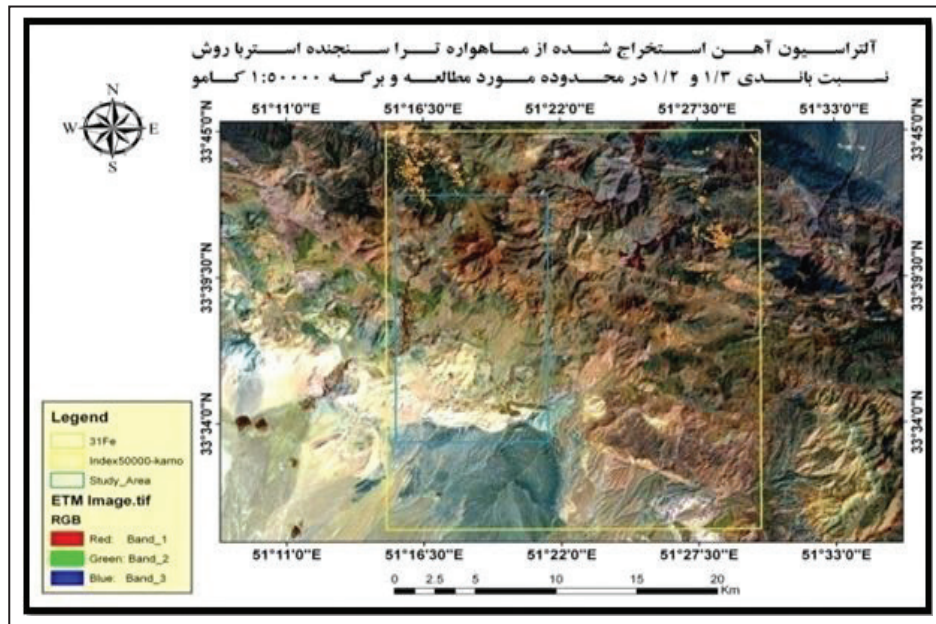
شکل ۶- تلفیق کلیه دگرسانی‌ها و ساختارهای خطی در یک نقشه.



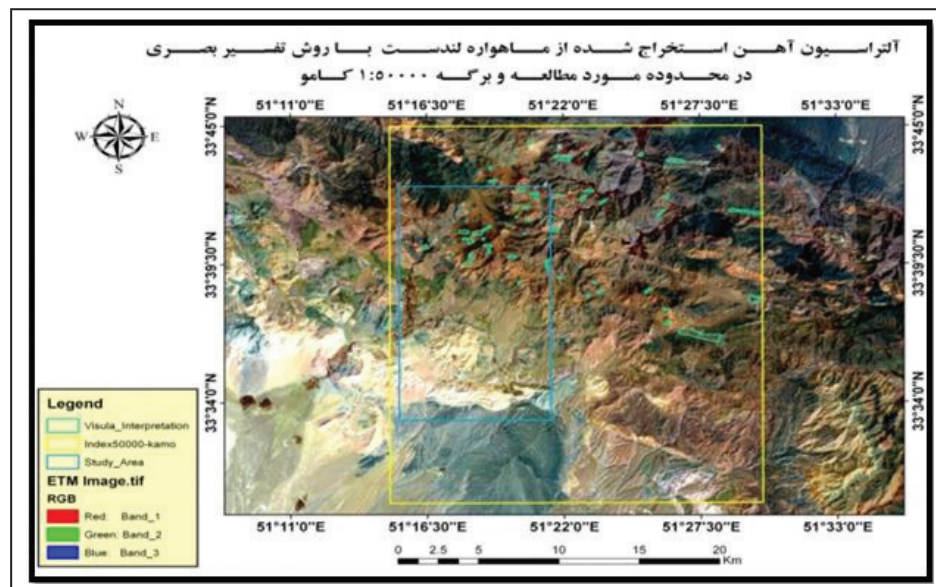
شکل ۷- پراکنده‌گی دگرسانی آهن با کلیه روش‌ها به صورت فایل یکپارچه شده در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۸- پراکنده‌گی دگرسانی آرژلیک با کلیه روش‌ها به صورت فایل یکپارچه شده در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۹- جداسازی و تفکیک دگرسانی آهن با روش نسبت بانندی ۱/۲ و ۱/۳ در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۱۰- جداسازی و تفکیک دگرسانی اکسید آهن با روش تفسیر بصری 531:RGB در محدوده مورد مطالعه.

جدول ۱- آنالیزهای انجام شده به روش‌های XRF و XRD (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۴).

Number	Sample	Major Phase	Minor Phase	Trace Phase
1	90-E-2	Goethite	Montmorillonit + Grassular	Quartz
2	90-E-4	Magnetite	Quartz	-
3	90-E-6	Goethite + Quartz Montmorillonit + Orthoclouse	Moscovite + illite	Kaolinite
4	90-E-12	Gibbsite + Halloysite	Quartz	-
5	90-E-14	Hematite + Geotite Magnetite	Quartz	-
6	90-E-16	Quartz + Calsite + Kaolinite + Monmorillonit	Orthoclase	-
7	G-91-1	Andradite + Quartz	Calcite	Albite
8	G-91-2	Andradite	Quartz	-
9	G-91-5	Quartz + Moscovite + illite + Albite	Chlorite	-
10	G-91-6	Quartz + Albite + Moscovite	-	-

ادامه جدول ۱-

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
G-91-1	65.74	15.28	5.09	4.34	2.70	2.93	2.03	0.451	0.049
G-91-5	60.85	20.85	6.19	0.52	0.94	3.52	1.65	0.0500	0.002
G-91-6	61.58	21.58	4.23	2.33	1.80	2.01	1.22	0.527	0.001
G-91-8	65.45	17.09	3.45	3.32	2.45	2.74	1.60	0.519	0.063

Sample	P ₂ O ₅	S	L.O.I	Cl	Ba	Sr	Cu	Zn	Pb
	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
G-91-1	0.105	0.002	0.97	472	146	539	14	60	25
G-91-5	0.098	0.051	4.49	79	226	416	228	81	137
G-91-6	0.051	0.002	4.38	97	269	686	56	83	23
G-91-8	0.143	0.010	2.83	74	216	804	251	82	17

Sample	Ni	Cr	V	Ce	La	W	Zr	Y	Rb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
G-91-1	46	8	76	34	15	1	184	31	107
G-91-5	58	1	107	82	38	19	171	26	130
G-91-6	35	2	98	75	36	5	225	20	80
G-91-8	53	1	76	44	21	12	208	26	68

Sample	Co	As	U	Th	Mo	Ga	Nb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
G-91-1	1	2	1	2	2	10	1
G-91-5	2	77	1	3	5	11	1
G-91-6	5	3	1	2	2	14	1
G-91-8	2	2	1	1	3	13	1

۶-۲. نتایج مطالعات صحرایی

شواهد صحرایی نشان می‌دهد که کانسار آهن کامو در رده اسکارن‌ها قرار دارد. در این منطقه کانی‌های اسکارنی گرونا و پیروکسن به‌طور همزمان تشکیل شده‌اند و فلزات مگنتیت و پیریت به‌همراه کانی‌های فوق جزو نسل اول کانی‌سازی و در سرتاسر منطقه کامو پراکنده هستند. علاوه بر آن تیدروسلیکات‌ها (اپیدوت و اکتینولیت و ترمولیت) در جریان دگرسانی همزمان و یا بعد از آن جزو نسل دوم کانی‌سازی منطقه به‌شمار می‌روند. نسل سوم، کانی‌سازی سوپرزین بوده که سبب تشکیل کلاهایک آهنی (گوسان) و کانی‌های اکسیدی نظیر هماتیت، لیمونیت گوتیت و کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و کولولیت) شده است. با توجه به اینکه در وسعت کوچکی از محدوده معدن سنگ آهن کامو (گوسان)، کانسنگ هماتیت استخراج شده؛ اما به دلیل کاهش شدید عیار آهن در عمق غیر فعال شده است. همان‌طور که در تصاویر پردازش شده مشخص شد؛ ۴ گسل اصلی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۶). احتمالاً عمق زیاد گسل‌ها نقش اساسی در تقویت سیالات کانه‌زا و غنی‌شدگی ذخیره دارد و مناطق دگرسان شده در پیوند با گسل‌های منطقه هستند. حالت رگه‌ای دگرسانی‌ها حکایت از تکنونیزه بودن و در هم آمیخته شدن دگرسانی‌ها و کلاهایک آهنی در محدوده اسکارنی دارد. همچنین آثاری از کانی‌زایی کرنات مس مانند مالاکیت در محدوده معدنی وجود دارد. بر اساس آنالیزهای XRD و XRF، کانی‌های آلپیت، آندرادیت، کلسیت، کلریت، دولومیت، گوتیت، گیسیت، هالوزیت، هماتیت، ایلیت، ژاروسیت، کائولینیت، لیمونیت، مونت‌موریلونیت، مسکوویت و سیلیس در منطقه موجود هستند.

۷- نتیجه‌گیری

از استخراج مناطق دگرسان شده در تصاویر ماهواره‌ای در این روش با استفاده از ترکیب رنگی (431,742) RGB تصویری ایجاد شد که ساختارهای موجود در منطقه و روند ساختارها و واحدهای لیتولوژی عمده را به خوبی نشان می‌دهد.

مقایسه الگوریتم‌های مختلف نشان می‌دهد که در دگرسانی آرژلیک از روش‌های (Linear Band Prediction) LS-Fit و Matched Filtering استفاده شده که از بین این روش‌ها، الگوریتم Matched Filtering موفق‌تر است. البته روش LS-Fit (Linear Band Prediction) نیز نتیجه قابل قبولی در بعضی مناطق به‌صورت خیلی محدودتر ارائه می‌دهد. حضور دگرسانی سیلیس و آرژلیت نشان می‌دهد که بخشی از کانی‌زایی منطقه، اپی‌ترمال و از نوع سولفیداسیون است.

دگرسانی‌های اکسید آهن نیز با روش Matched Filtering و LS-Fit (Linear Band Prediction) در بعضی مناطق و روش نسبت بانندی ۱/۲ و ۲/۱ بهترین بارزسازی را مشخص کرد. در ضمن با کمک تصاویر ETM و با روش تفسیر بصری و با کمک ترکیب رنگی RGB:531 دگرسانی‌های آهن به رنگ نارنجی تا قهوه‌ای تیره دیده شدند که دقیقاً با روش‌ها و الگوریتم‌های به دست آمده از تصاویر استر برای اکسیدهای آهن مطابقت دارد.

بر اساس نتایج آنالیز، کانی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه شامل هماتیت، کائولینیت، آندرادیت، لیمونیت، آلپیت، گوتیت، کلسیت، کلریت، دولومیت، گیسیت، هالوزیت، ایلیت، ژاروسیت، مونت‌موریلونیت و کانی‌های سولفیدی

کانی‌سازی در منطقه وجود دارد: کانی‌های اسکارنی، سوپرژن و حاصل از دگرسانی. دگرسانی‌های موجود در بررسی‌های سنجش از دور با مشاهدات صحرائی و نتایج به دست آمده از انواع آنالیزهای انجام شده کاملاً مطابقت دارند.

(پیریت، کالکوپیریت و کولیت) هستند. بر اساس مطالعات صحرائی و آنالیزهای انجام شده به روش الکترون میکروپروپ، XRD و XRF دگرسانی‌های پردازش شده از تصاویر ماهواره‌ای، ۳ نسل

کتابنگاری

- اسماعیلی، خ، خاکزاد، ا، بهزادی، م. و وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۹۴- کانی شناسی و ژئز کانسار آهن کامو (میمه- اصفهان)، رساله دکترای زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۹۵ ص.
- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، جلد اول، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۵۸۶ ص.
- امامی، م.، ۱۳۷۹- مگماتیسیم در ایران، سازمان زمین شناسی کشور، ۶۰۷ ص.
- خادم پارسا، م. و مسعودی، ف.، ۱۳۹۵- الگوی اکتشافی ذخایر اسکارنی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM در شمال شرق دلیجان، فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۷، صص. ۱۶۹ تا ۱۸۴.
- قربانی، م.، ۱۳۸۶- زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آراین زمین، ۴۹۲ ص.
- قهرمانی پور، م. و کریمی، ح.، ۱۳۸۹- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵، ۰۰۰ کامو، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- مسعودی، م.، فریدونی، ف. و متکان، ع.، ۱۳۸۹- کاربرد سنجش از دور در پی جویی پومیس در پیرامون دماوند، فصلنامه علوم زمین شماره ۷۶، ص. ۳ تا ۸.
- مهرنیا، ا.، رسا، ا.، علیرضایی، س.، اسدی هارونی، ه. و کریمی، ج.، ۱۳۹۰- تهیه نقشه دگرسانی مس پورفیری سریدن با استفاده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای استر و تجزیه XRD، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۹، ص. ۱۲ تا ۳.

References

- Abrams, M. H. and Ramachandran, B., 2004- Aster using Hand book version 2. Jet Propulsion Laboratory, 4800 oak Grove Dr. Pasadena, CA91109.
- Barnes, H. L., 1997- Geochemistry of hydrothermal ore deposits. John Wiley Sons, New York, p.780.
- Bedini, E., 2012- mapping Alteration minerals at malamberg molybdenum by kohonen self- organization Map and matched filter analyses of Mymap data Central East greenland, R, v. 32, p. 939- 961.
- Beiranvand Pour, A. and Hashim, M., 2015- Hydrothermal alteration mapping from Landsat-8 data, sarcheshmeh Copper mining district, south-eastern of iran, Journal of Tayba for science university, Malaysia, 9, p. 155- 166.
- Ducart, D. F., 2016- Mapping iron oxides with Landsat-8/OLI and EO-1/Hyperion imagery from the Serra Norte iron deposits in the Carajás Mineral Province, Brazil, Brazilian Journal of Geology vol.46.N.3, pp 331- 349.
- Einaudi, M. T. and Burt, D. M., 1982- Introduction, terminology and classification of Skarn deposits, Economic Geology 22: 120- 251.
- Hewson, R. D. and Cudahy, T. J., 2001- Geologic and alteration mapping at Mt Fitton S, Australia, using Aster satellite-borne data, IEEE, p.724- 726.
- Mia, B. and Fujimitsu, Y., 2012- mapping hydrothermal altered mineral deposits using Landsat 7 ETM+ image in around Kuju volcano, Kyushu, Japan, Journal of Earth System Science, v.121, p. 1049- 1057.
- Sabins, F. F., 1999- Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews, v.14, p. 157- 183.
- Shimazaki, H., 1980- Characteristics of Skarn deposits and related acid magmatism in Japan, Economic Geology 75: 173- 183.
- Woldai, T. and Amara, S. A., 2007- Spectral Remote Sensing of hydrothermal alteration associated with volcanic massive sulphide deposits Gorob-Hope area, ITC, P. 64.
- Yetkin, E. and Toprak, V., 2003- Alteration Mapping by Remote Sensing: Application to Hasandag-Melendiz Volcanic Complex Central Turkey, METU, Ankara Turkey, P. 97.

Integration and analysis of geology data and remote sensing methods for identification and separate of alternations iron ore of kamoo (Meymeh-Isfahan)

J. Esmaeili^{1*}, A. Khakzad² and M. Vothoughi Abedi³

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

³Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2018 February 22

Accepted: 2018 June 27

Abstract

Today the Remote sensing (RS) technique is one of the best method of Mineral exploration due to its wide visibility data and a wide range of wavelengths. One of the prone areas where following the explorations of metal indices such as iron is in the northern east of Kamoo district (Meymeh, Isfahan) is located in the longitude E51,16,58 and latitude N33,40,16. The studied area has been located in the central Iran and in Magmatic Uromieh- Dokhtar zone. This area has been located in a scene ETM No. 164-37 and ASTER linear band prediction satellite image No. AST-L1A:002:ASTL1A 0108220733380109011021. Such measured images in different band combinations will be used for extracting of geological structures and types of alterations (iron oxide, Argillite and Carbonate) and for detecting different stones and minerals of the ground, a spectrum range of 1.5 to 2.5 μ is very important. This range includes short to average IR range covering six linear band predictions (SWTR bands). On the other side, to use spectral reflectance curves of such minerals in USGS ENVI spectral library for spectral analysis, it is necessary to resample the curves to the spectral range of ASTER. Linear Band Prediction methods, LS-Fit, Matched Filtering and BandRATIO used of ASTER images for all Minerals and iron alterations and for iron oxides there were also used visual interpretations and ETM images were used in band combination of RGB:531. Considering the petrological and geological situation of studied area (Scale 1:25000 of Kamoo), the type of Alteration and its index minerals detailed as below; Alteration of iron (Goethite, Hematite and Jarosite and Limonite), alteration of Argillic (Kaolinite, Montmorillonite, Illite and Halloysite) and carbonate (Calcite and Dolomite) have been considered. Alterations present in remote sensing studies are in conformity with field and results obtained from types of analysis conducted.

Keywords: Alteration, Kamoo, ASTER, TERRA, Argillite, Hematite.

For Persian Version see pages 15 to 22

*Corresponding author: J. Esmaeili; E-mail: Esmaeili_Jahan@yahoo.com