سنجش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۸
Vol.1, No.2, Summer 2009

۱-۱۶

تفکیک دگرسانی‌های مربوط به کانی‌سازی ماسیوسولفید غنی از طلای باریکا (شرق سردشت) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM و ASTER

زهرا اکبری[۱]*، علی یارمحمدی[۲]، ابراهیم راستاد[۳]، ایرج رسا[۴]

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۲- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۳- دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت مدرس تهران
۴- دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۷/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۴

چکیده

محدوده معدنی باریکا در فاصله ۲۷ کیلومتری شرق شهرستان سردشت، در جنوب استان آذربایجان غربی قرار دارد. کانی‌سازی طلا و نقره باریکا در منتهی‌الیه شمال غربی پهنه ساختاری سنندج ـ سیرجان قرار گرفته است. واحدهای گسترش‌یافته در این منطقه شامل توالی سنگ‌های آتشفشانی ـ رسوبی زیردریایی دگرگون‌شده به همراه سن کرتاسه است. سنگ‌های میزبان کانه‌زایی در منطقه باریکا شامل واحد آندزیتی و تراکی ـ آندزیتی است. براساس مطالعات انجام شدهٔ قبلی، کانه‌زایی طلا و نقره در محدوده معدنی باریکا بیشترین شباهت را با کانسارهای ماسیوسولفید غنی از طلا دارد که تحت تأثیر پهنه برشی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، استفاده از فناوری سنجش از دور و انجام آنالیزهای مختلف بر روی داده‌های ماهواره‌ای ETM, ASTERبه منظور زون‌بندی تیپ‌های مختلف آلتراسیونی است. در این تحقیق از روش‌های مختلف پردازش تصویر از جمله روش نسبت باندی، تحلیل مؤلفه اصلی، و پردازش طیفی داده‌های ماهواره‌ای برای تفکیک کانی‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی طلا استفاده شده است. به‌منظور شناسایی مناطق دگرسانی از طیف آزمایشگاهی USGS، طیف تصویر و الگوریتم Match filtering برای بارزسازی مناطق دگرسانی استفاده شد. نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محدوده نشان‌دهنده الگوی پراکندگی دگرسانی‌های سریسیتی، کلریتی، کلسیتی، اپیدوتی و اکسید آهن است. دگرسانی سریسیتی با شدت زیاد در مرکز سیستم و کلریتی، کلسیتی و اپیدوتی در اطراف به‌وضوح مشاهده می‌شود. طبق مطالعات صحرایی اکسیدهای آهنی که با دگرسانی سریسیتی همراه‌اند، ناشی از اکسید شدن سولفیدهای موجود در زون‌های کانی‌سازی است. نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای در این ناحیه مطالعاتی می‌تواند راهنمای مناسبی برای اکتشاف این نوع کانی‌سازی در مناطق مشابه باشد.

کلیدواژه‌ها: باریکا، ماسیوسولفید، تصاویر ASTER ، تفکیک طیفی کانی‌ها.

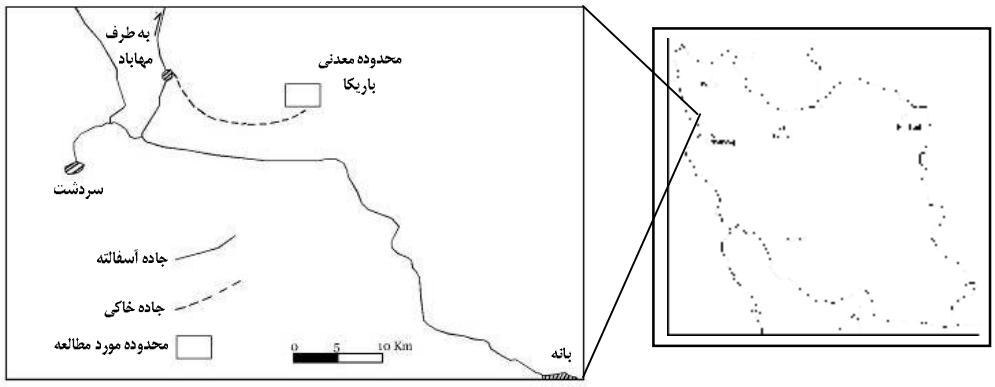
* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، پونک، آبشناسان، کوی طور، خیابان اخلاص، کوچه ستاره، پ ۴۲، واحد ۴. تلفن: ۰۹۱۲۱۹۰۱۸۴۱-۴۴۸۲۲۷۳۹
Email: Akbari_sbu@yahoo.com

۱- مقدمه

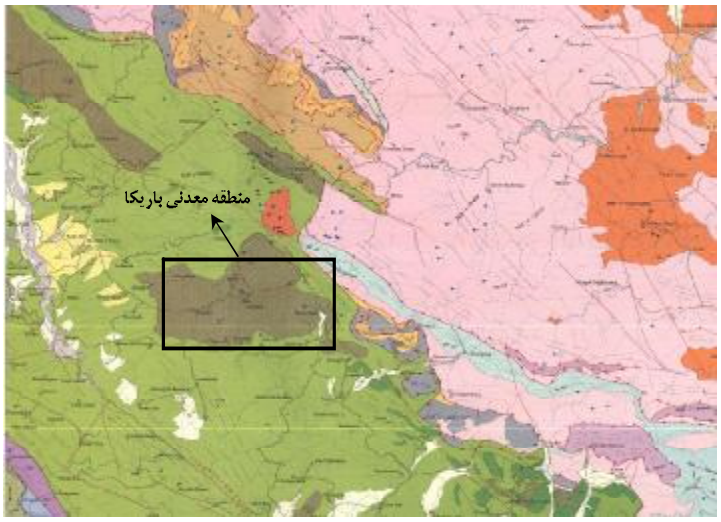
محدوده معدنی باریکا در فاصله ۲۷ کیلومتری شرق شهرستان سردشت، در جنوب استان آذربایجان غربی قرار دارد (شکل ۱). کانه‌زایی طلا ـ نقره و باریت در ۴۰۰ متری جنوب روستای باریکا رخ داده است که هم‌اکنون برای باریت در دست استخراج، و برای طلا و نقره در دست اکتشاف است. مطالعات متعددی به‌منظور شناخت ویژگی‌های این کانی‌سازی در منطقه در قالب پروژه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین پایان‌نامه‌های دانشگاهی انجام پذیرفته است. در این تحقیق گسترش انواع دگرسانی‌ها با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد بررسی قرار گرفت. پیش از این تحقیق، مطالعات صحرایی دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی در محدوده مورد بررسی قرار گرفته است (Yarmohammadi, 2006) که انطباق مناسبی را با نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی نشان می‌دهد. بنابراین نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در پی‌جویی کانی‌سازی مشابه از طریق تفکیک دگرسانی‌ها با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در ناحیه بسیار مفید واقع شود.

۲- زمین‌شناسی

منطقه معدنی باریکا در منتهی‌الیه شمال غربی پهنه ساختاری سنندج ـ سیرجان قرار گرفته است. این منطقه در برگهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد و در برگهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آلوت (Omrani and Khabazian, 2003) قرار دارد. زمین‌شناسی منطقه براساس این نقشه‌ها شامل سنگ‌های آتشفشانی ـ رسوبی زیردریایی به همراه سن کرتاسه است که از نظر ترکیب سنگ‌شناختی بیشترین حجم آن لاتیت‌ـ آندزیت و پس از آن آندزیت، تراکی آندزیت، لاتیت ــ آندزیت کوارتزدار (شکل ۲) و سنگ‌های بازیک اسپیلیتی شده به همراه واحدهایی رسوبی چون آهک و شیل است (Omrani and Khabazian, 2003). تغییرات بافتی بخش آتشفشانی زیاد است و حتی می‌توان بخش‌های توفی تا توف برشی را در آن دید. Eftekharnejad در سال ۱۳۸۳، این واحدهای آتشفشانی را مجموعه‌ای از آندزیت‌ها و توف‌ها نامید و آنها را رخساره‌ای از واحدهای کرتاسه در نظر گرفت که دارای ویژگی‌های زیردریایی‌اند و ساخت بالشی نیز به‌طور محلی در آن توسعه پیدا کرده است. فعالیت ولکانیکی زیردریایی در این زون در طول یک ریفت و یا یک کافت اقیانوسی در کرتاسه زیرین شکل گرفته است. براساس نقشه زمین‌شناسی ـ ساختمانی ۱/۱۰۰۰۰ محدوده معدنی باریکا (Mohajjel, 2003) توالی آتشفشانی ـ رسوبی کرتاسه در منطقه باریکا تحت تأثیر پهنه‌های برشی شکنا ـ شکل‌پذیر با روند شمال‌غرب ـ جنوب‌شرق



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



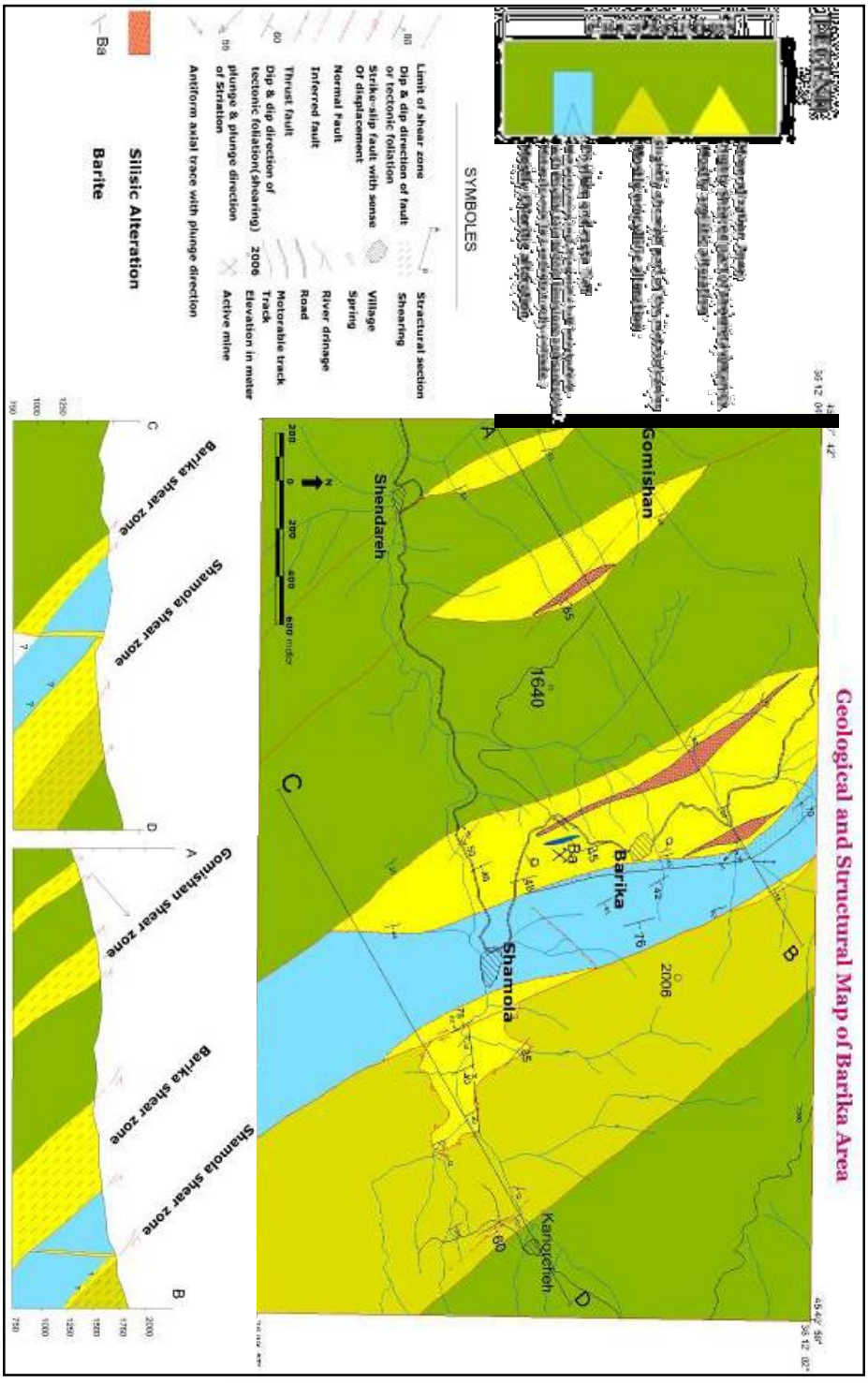
شکل ۲. بخشی از نقشه زمین‌شناسی یکصدهزارم آلوت (عمرانی و همکاران، ۱۳۸۲) و موقعیت منطقه مورد مطالعه

قرار گرفته است. کانی‌سازی طلا و نقره باریکا در داخل اصلی‌ترین و بزرگ‌ترین پهنه برشی منطقه (پهنه برشی باریکا) واقع شده است. این پهنه برشی حدود ۳ کیلومتر طول و ۴۰۰ متر عرض دارد (شکل ۳).

۲-۱- کانی‌سازی و دگرسانی

کانه‌زایی طلا، نقره، فلزات پایه و باریت در منطقه باریکا در قسمت فوقانی واحد آندزیتی ـ تراکی آندزیتی قرار دارد و به‌صورت عدسی‌های کوچک و بزرگ و هم‌روند با برگوارگی پهنه برشی دیده می‌شود. به‌طور کلی کانه‌زایی در منطقه باریکا برحسب کانی‌شناسی، از پایین به بالا در سه زون قابل بررسی است (Yarmohammadi, 2006):

- زون سیلیسی سولفیددار که طولی حدود ۵۰۰ متر و عرض میانگین ۲۰۰ متر را در بخش تحتانی کانی‌سازی دارد.
- زون پیریتی ـ باریتی که گسترش آن در زیر عدسی‌های باریتی است.
- زون کانسنگ باریتی که فوقانی‌ترین بخش کانی‌سازی است، متشکل از عدسی‌های کوچک و بزرگ باریتی که بزرگ‌ترین آنها دارای طولی حدود ۷۰ متر و عرض میانگین ۱۲ متر است. عیار طلا و نقره در زون‌های سه‌گانه کانی‌سازی متفاوت است و طلا از ۰/۵ گرم در تن، و نقره از ۵۰ گرم در تن در زون سیلیسی سولفیددار تا حداکثر طلا ۹ گرم در تن و نقره ۸۰۰ گرم در تن، در زون کانسنگ باریتی نوسان دارد. براساس مطالعات صحرایی، مقاطع میکروسکوپی از زون‌های دگرسان در محدوده باریکا، دگرسانی‌های سریسیتی، سیلیسی، پیریتی، کلریتی و کلسیتی گسترش دارند. مهم‌ترین دگرسانی شامل سریسیتی ـ سیلیسی است، منطبق بر پهنه برشی در محدوده، به‌طوری که واحدهای سنگی در راستای پهنه برشی دگرشکلی زیادی را متحمل می‌شوند و دارای برگوارگی شدیدی هستند. کانه‌زایی در محدوده باریکا در بخش فوقانی این پهنه دگرشکل و دگرسان واقع شده است. دگرسانی کلریتی و کربناتی دومین دگرسانی مهم در محدوده است و در واحدهای حد واسط آندزیتی ـ تراکی‌آندزیتی کمرپایین ماده معدنی دیده می‌شود. براساس مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و دگرسانی،کانه‌زایی طلا و نقره در محدوده باریکا بیشترین شباهت را با کانسارهای ماسیوسولفید غنی از طلا دارد که تحت تأثیر پهنه برشی قرار گرفته است (Yarmohammadi, 2006).



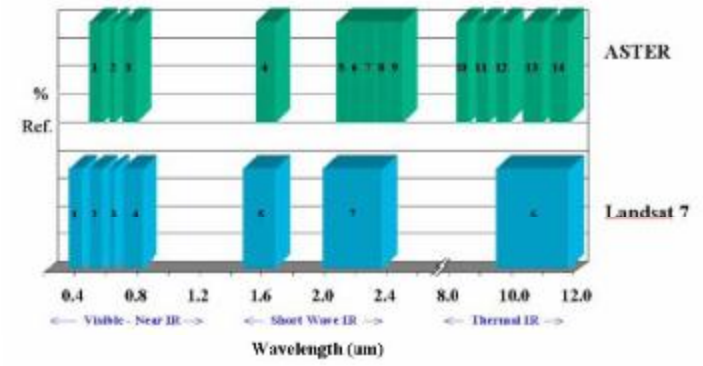
شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی – ساختمانی ۱/۱۰۰۰۰ محدوده معدنی باریکا (مجبل، ۱۳۸۳)

۳- مطالعات سنجش از دور[1]

اکتشاف را می‌توان به صورت استفاده از داده‌های علوم زمینی برای استنباط فرایندهای مشاهده‌شدنیِ زمین که منجر به کانی‌سازی شده‌اند، از روی پدیده‌های زمین‌شناسی مشاهده‌پذیر تعریف کرد. فناوری‌های مختلف می‌توانند برای ثبت، برداشت و اندازه‌گیری پدیده‌های مشاهده‌شدنی زمین، به‌عنوان شاهد مستقیم یا غیرمستقیم کانی‌سازی، مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از فناوری ماهواره‌ای یا همان دورسنجی از جدیدترین و مؤثرترین روش‌ها و فناوری‌های اکتشافی است. دورسنجی به‌طور موفقیت‌آمیزی در اکتشاف منابع معدنی فلزی و غیرفلزی در کنار سایر داده‌های علوم زمین به‌کار گرفته شده است. روش‌های مدرن دورسنجی انعکاسی، حرارتی و راداری همگی مبتنی بر اندازه‌گیری انرژی الکترومغناطیسی در تعامل با مواد (سنگ‌ها در حالت عام و کانه‌سازی در حالت خاص) هستند.

امروزه در اکتشافات، داده‌های ASTER[2] و ETM[3] به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این داده‌ها می‌توان گروه‌های معینی از کانی‌ها، به خصوص انواع مرتبط با دگرسانی‌ها در سطح را نقشه‌برداری کرد (Mars and Rowan, 2006).

داده‌های ASTER درواقع مکمل ETM هستند و معمولاً متعاقب تحلیل‌های انجام‌گرفته بر روی ETM پردازش می‌شوند. سنجنده ASTER تشعشع خورشید را در ۱۴ باند، ۳ باند تصاویر مرئی مادون قرمز نزدیک[4] (VNIR) در محدوده (۰/۵۲−۰/۸۶μm)، ۶ باند تصاویر مادون قرمز موج کوتاه[5] (SWIR) (۱/۶۰−۲/۴۳μm) با رزولوشن به ترتیب ۱۵ و ۳۰ متر ثبت می‌کند. به‌علاوه، تشعشعات ارسالی از خورشید با وضوح ۹۰ متر در ۵ باند در محدوده تصاویر مادون قرمز حرارتی (TIR) (۸/۱۲−۱/۶۵μm) اندازه‌گیری می‌شود. پهنای پوشش[6] آن ۶۰ کیلومتر است و دید به پهلویی[7] ۳ تا ۲۳۲ کیلومتر دارد. داده‌های ETM با هفت باند (مولتی اسپکترال) با قابلیت تفکیک زمینی ۳۰ متر و باند هشت (باند پانکروماتیک) با قابلیت تفکیک زمینی ۱۵ متر است (شکل ۴).



شکل۴. مقایسه باندهای تصاویر ماهواره‌ای ASTER و سنجنده ETM

1. Remote Sensing
2. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)
3. Enhanced Thematic Mapper (ETM)
4. Visible & Near Infra Red
5. Short Wave Infra Red
6. Swath width
7. Cross Track (Pointing)

یکی از مهم‌ترین کلیدهای اکتشافی در پی‌جوییِ کانسارهای ماسیوسولفید غنی از طلا، دگرسانی موجود مرتبط با این کانسارهاست (Venkataraman et al., 2000). بنابراین با توجه به اهمیت دگرسانی، علاوه بر مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، مطالعات سنجش از دور می‌تواند در تعیین گسترش دقیق دگرسانی‌ها در محدوده مؤثر واقع گردد.

در این مطالعه به‌منظور شناسایی و تفکیک کانی‌های دگرسانی هیدروترمالی و گسترش آن در محدوده معدنی باریکا، از فریم تصویر در تراز ASTER 1B به شماره ۳۶۳-۰۳۰۹۰۱- aster 1b در تاریخ ۲۰۰۱/۰۹/۰۳ و صحنه ETM به شماره ۱۶۸/۳۵ به تاریخ ۲۰۰۱ استفاده شده است (شکل ۵). به‌منظور تبدیل به داده‌های انعکاسی و از بین بردن تأثیرات توپوگرافی و جوی، باید تصحیحات رادیومتریک روی این داده‌ها صورت گیرد. برای پردازش و آنالیز داده‌های ماهواره‌ای از نرم‌افزار Envi ver. 4.2 استفاده شده است.

۴- مرحله پیش‌پردازش

هنگامی که تصویری به‌وسیله سنجنده ماهواره‌ای ثبت می‌شود، پیکسل‌ها در آن دارای خطا در موقعیت هندسی و مقدار روشنایی[1] اندازه‌گیری‌شده هستند، که به ترتیب به نام خطای هندسی و رادیومتری نامیده می‌شوند و به مجموعه‌ای از تصحیحات یا پیش‌پردازش‌ها نیاز دارند تا آماده پردازش اصلی شوند.

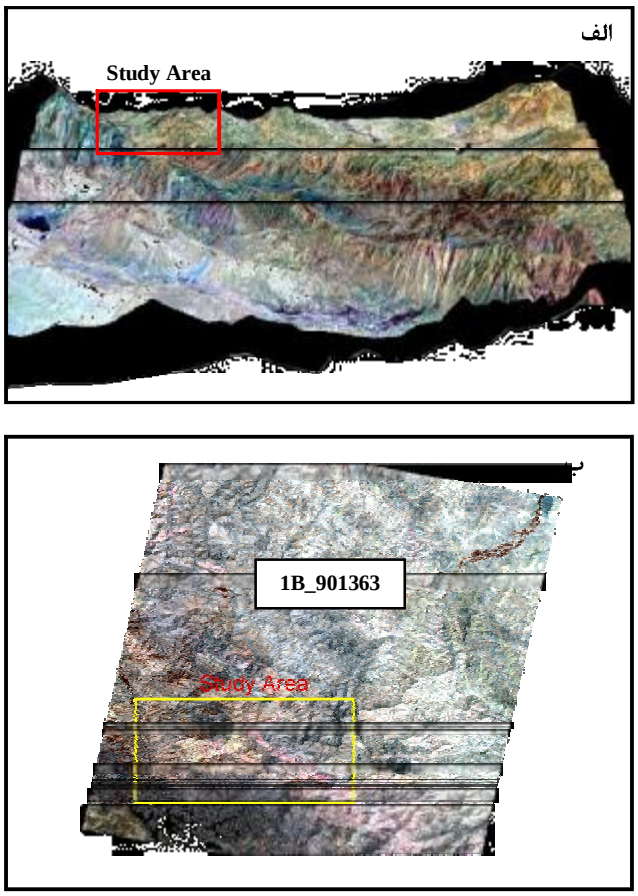
به‌منظور انجام تصحیحات هندسی، با در نظر گرفتن مدل‌های ماهواره‌ای داده‌های ASTER و ETM و اطلاعات (پارامترهای) مداری موجود در تصاویر خام و انتخاب نقاط کنترل زمینی مناسب با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰، امکان بازسازی هندسه تصویربرداری و حذف تأثیرات ناشی از جابه‌جایی‌های ارتفاعی برای تصحیح تک‌تک پیکسل‌های تصویر فراهم شد. سین ماهواره‌ای ASTER و ETM به طور جداگانه مورد تصحیح هندسی قرار گرفتند. تصحیح رادیومتری شامل تبدیل DN ثبت‌شده به‌وسیله سنجنده به رادیانس و آن‌گاه تبدیل رادیانس به داده انعکاسی در سطح زمین است. طی تصحیح رادیومتری، اثر جمعی انتشار[2] اتمسفر، اثر تفریقی جذب[3] گازها و بخار آب موجود در اتمسفر و اثر ضربی رادیانس ورودی[4] خورشید از تک‌تک باندها حذف می‌شود، به‌طوری که در پیکسل‌های تصویر به دست آمده تنها پدیده باقی‌مانده در تصویر جذب و بازتاب ناشی از پراکنش انرژی الکترومغناطیسی با مواد سطح زمین است.

برای انجام تصحیحات رادیومتریک، روش‌هایی چون تصحیح نشت باندی[5] (برای باندهای SWIR سنجنده ASTER)، همسنجی[6] باندها (اعمال مجموعه‌ای از ضرایب برای هر باند Aster از داده‌های خام ثبت‌شده) و تصحیحات اتمسفری به روش تعدیل[7] اتمسفری صورت گرفت. تعدیل اتمسفری با حذف اثر انتشاری یا رادیانس مسیر اتمسفر با تقریب زدن میزان رادیانس افزوده شده به هر باند، براساس باندهای طول موج بلند (باند ۷ سنجنده ETM و باند ۹SWIR داده ASTER) و حذف اثر جذبی گازهای اتمسفر و تابش خورشید با روش‌های آماری بر مبنای سین انجام شد. با اعمال روش‌های مذکور بر روی سین‌های داده‌های ASTER و ETM، داده‌های انعکاس نسبی تولید شد.

۵- مرحله پردازش و تفسیر دگرسانی‌ها

محدوده‌های VNIR، SWIR ، TIR سنجنده ASTER مجموعه کاملی از داده‌ها را برای به نقشه درآوردن واحدهای زمین‌شناختی فراهم می‌کنند. سه باند VNIR منبع مهمی برای شناسایی فلزات انتقالی و به‌خصوص

1. Brightness value
2. Scattering
3. Absorption
4. Incomming Radiance (Irradiance)
5. Cross-Talk Correction
6. Calibration
7. Atmospheric Adjustment



شکل۵. الف) تصویر ماهواره‌ای سه‌بعدی صحنه ETM با ترکیب رنگی(531):RGB؛
ب) تصویر ماهواره‌ای استر SWIR (468):RGB و موقعیت منطقه مورد مطالعه

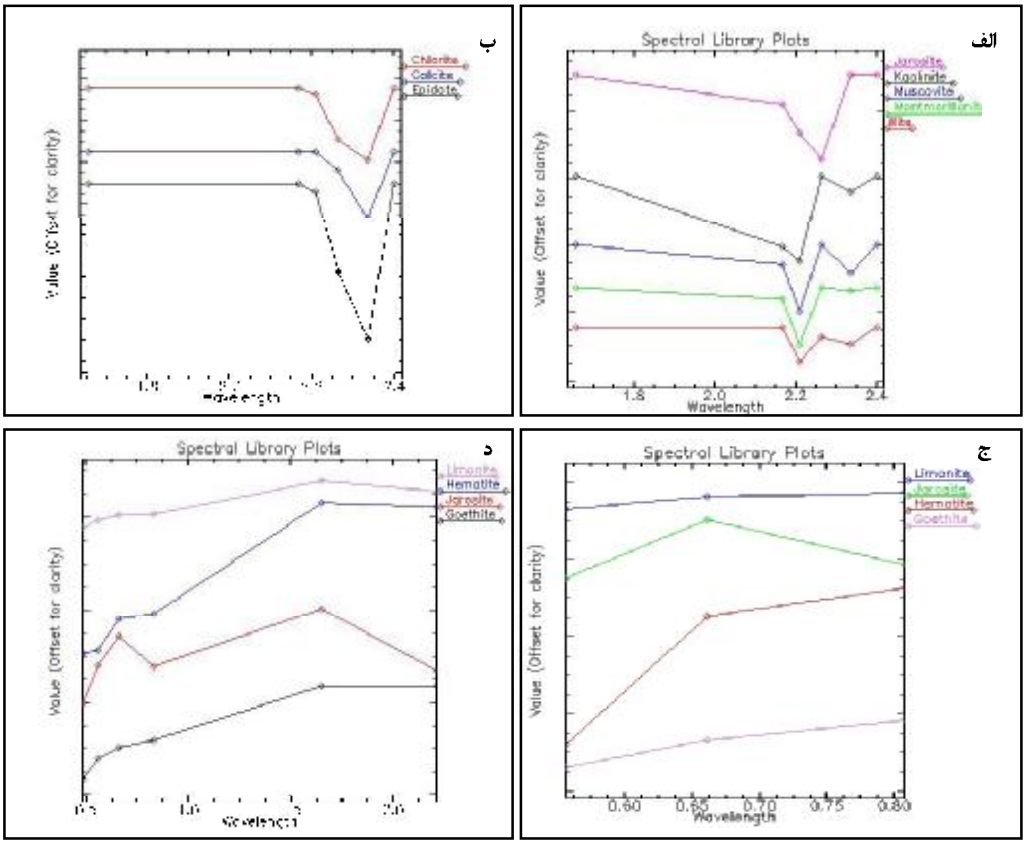
آهن هستند. در باند ۶ SWIR کانی‌های کربناته، هیدرات‌ها و هیدروکسیدها دارای پدیده جذب مولکولی هستند و لذا برای به نقشه درآوردن ترکیب کانی‌شناختی سطح زمین مناسب‌اند. با اینکه کانی‌هایی چون کوارتز و فلدسپات که از سازنده‌های اصلی سنگ‌ها محسوب می‌شوند، در محدوده SWIR و VNIR پدیده جذب خاصی از خود نشان نمی‌دهند، ولی بسیاری از آنها جذب مولکولی بارزی در طول موج حرارتی TIR دارند (Di Tommaso & Rubinstein, 2006).

پردازش طیفی داده‌های ماهواره‌ای در منطقه شامل ورود داده‌های بازتابی / تابشی در قالب سین، کاهش ابعاد مکانی، کاهش و سفید کردن نویز در باندها، استفاده از روش تصاویر مجازی، روش نسبت باندی، تحلیل مؤلفه اصلی و شناسایی آنومالی‌ها برای بررسی اولیه تنوع طیفی در سین مطالعاتی است. در مرحله بعد انتخاب سرگروه‌ها[1] و شناسایی ماهیت آنها با الگوریتم‌های مناسب در کل تصویر است. در انتخاب سرگروه‌ها برای هر مجموعه طیفی با توجه به اینکه اطلاع لازم از منطقه و تنوع طیفی سین وجود داشت،

1. Endmembers

روش نظارت‌شده[1] اعمال گردید. در این روش اطلاعات لازم طیفی از روش‌هایی همچون آگاهی از موقعیت یک ماده و تعدادی پیکسل معرف، استفاده از طیف‌های مرجع موجود به دست آمد، که در پردازش و تفکیک دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

با شناخت خصوصیات انعکاسی پدیده‌های مختلف و با استفاده از روش پیش‌گفته می‌توان پدیده‌های مختلف را بارز ساخت. خواص انعکاسی پدیده‌های مختلف از روی دیاگرام طیفی آنان در کتب مرجع موجود است و می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد؛ و با توجه به خواص طیفی پدیده‌های مورد نظر به تفکیک واحدهای مختلف پرداخته می‌شود. در این مطالعه شناسایی مناطق دگرسانی با استفاده از طیف آزمایشگاهی USGS و طیف معرف تصویر و الگوریتم Match Filtering انجام شد. طیف تصویر با استفاده از فرایند شاخص خلوص پیکسل[2] استخراج گردید. نمودار طیفی کانی‌های مختلف طیف آزمایشگاهی مجموعه USGS بازنویسی شده به باندهای ASTER و ETM برای پردازش در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶ . پاسخ طیفی (Reflectance Spectra) کانی‌های مختلف زون‌های دگرسانی در کتابخانه طیفی مجموعه USGS امریکا

1. Supervised
2. Pixel Purity Index

عامل آنیونی Al-OH در طول موج (۲/۲ µm) (معادل باند ۶) ETM و عامل آنیونی Mg-OH و کربناتها در طول موج (۲/۳۳۶۰ µm) (معادل باند ۸) جذب مشخصی را نشان می‌دهند. بنابراین با استفاده از باندهای ۶ و ۸ ETM می‌توان کانی‌های آلومینیوم‌دار مانند کانی‌های ایلیت، کائولینیت، آلونیت و یا مسکویت ـ سرسیت را از کانی‌هایی مانند کلریت، اپیدوت و یا کربنات تشخیص داد (Rowan el al., 2006). به‌منظور مشاهده مناطق دگرسان، از ترکیب رنگی RGB:۴۶۸ استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید، در این ترکیب باندی، کانی‌های مربوط به زون پروپیلیتیک به رنگ سبز و کانی‌های رسی به رنگ صورتی مشاهده می‌گردند که با نتایج پردازش شده براساس تئوری طیفی تفکیک و شناسایی دقیق کانی‌ها انجام گرفته است، که در ادامه بیان می‌شود.

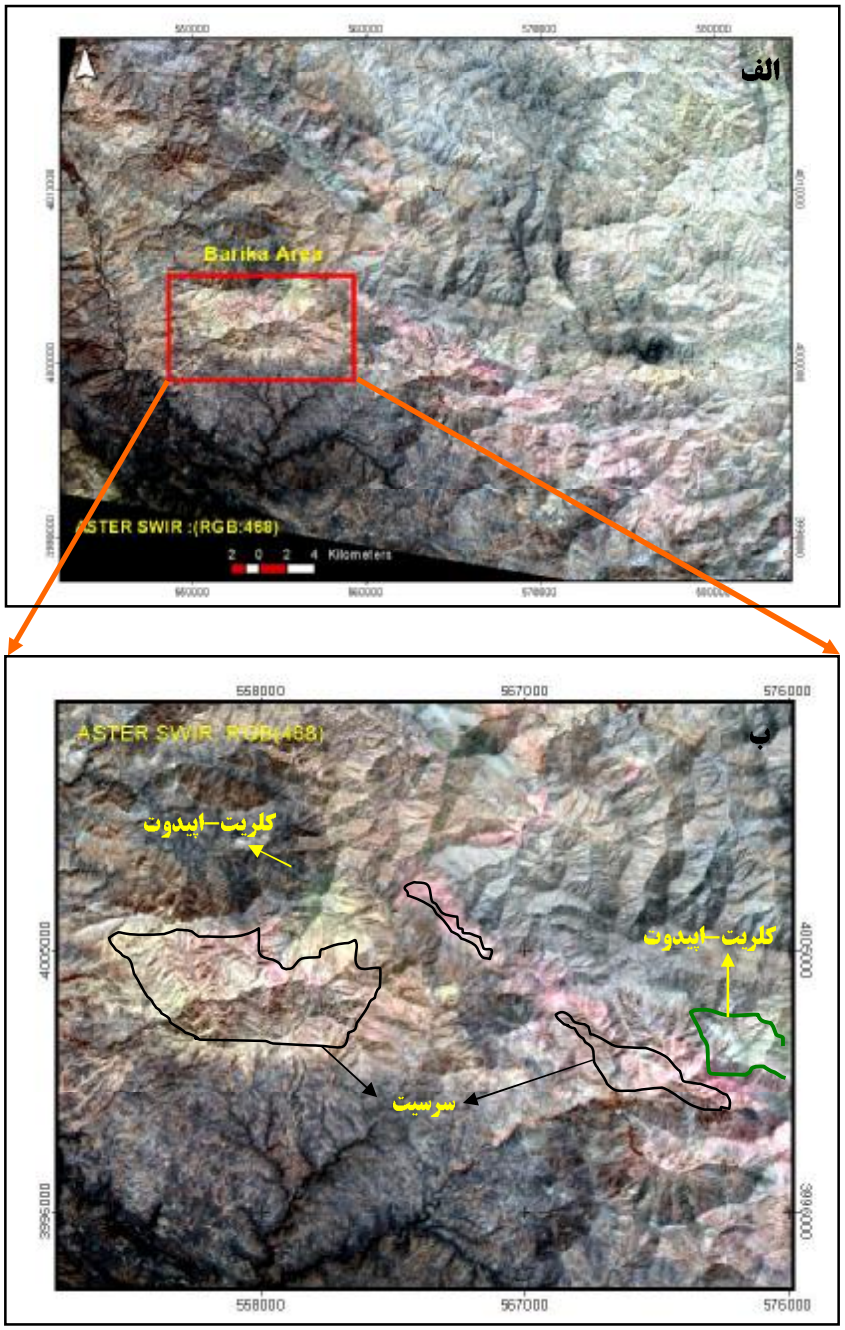
در گام نخست مناطق متأثر از دگرسانی سریسیتی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به نمودار طیفی، کانی‌های رسی (شکل ۶ الف) در باند ۶ ETM جذب نشان می‌دهند. این سنجنده توانایی تفکیک کامل آنها را از هم ندارد و در نتیجه، آنها در یک گروه بررسی می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه عمده‌ترین کانی‌های گروه AL-OH شامل کانی سریسیت و ژاروسیت است که انطباق مناسبی با مطالعات صحرایی دارد (شکل ۸). دگرسانی سریسیتی گسترش بالایی دارد و همخوانی بسیار جالبی بین گسترش این دگرسانی در تصاویر ماهواره‌ای، نقشهٔ ۱/۱۰۰۰۰ زمین‌شناسی ـ ساختمانی محدوده باریکا (Mohajjel, 2004) (شکل ۳) و شواهد صحرایی به چشم می‌خورد (اشکال ۹ و ۱۰). براساس مطالعات صحرایی، مقاطع میکروسکوپی (شکل ۱۱ و ۱۳) و نتایج آنالیز XRD نمونه‌های گرفته شده از زون‌های دگرسان در محدوده معدنی باریکا (جدول ۱)، دگرسانی‌های سریسیتی، سیلیسی و پیریتی بیشترین گسترش را دارند (Yarmohammadi, 2006).

وسیع‌ترین و مهم‌ترین دگرسانی شامل سریسیتی ـ سیلیسی است که حدود ۳ کیلومتر با عرض میانگین ۴۰۰ متر در کمر پایین ماده معدنی گسترش دارد. گسترش بیشتر این دگرسانی به طرف شمال و شمال غرب محدوده معدنی است. همان‌طور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ دیده می‌شود، کانه‌زایی در محدوده معدنی باریکا در بخش فوقانی این پهنه دگرسان واقع شده است، و به همین دلیل تعیین گسترش این دگرسانی در مقیاس ناحیه‌ای دارای اهمیت بسیاری است.

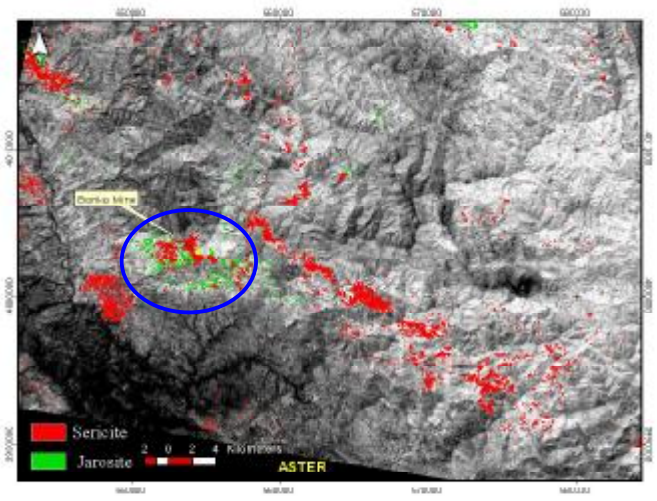
دگرسانی آرژیلی نیز به میزان خیلی کمتر در برخی از قسمت‌ها مشاهده می‌شود. در متاتوف‌های کمر بالای ماده معدنی دگرسانی آلبیتی نیز با شدت و گسترش کمتر وجود دارد. این دگرسانی اصلی‌ترین دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی طلا و نقره و باریت در داخل این دگرسانی است.

جدول ۱. نتایج آنالیز XRD از ۶ نمونه منتخب از دگرسانی‌های اصلی موجود در محدوده (یارمحمدی، ۱۳۸۵)

نوع دگرسانی	نمونه	کانی‌شناسی	مختصات جغرافیایی
سریسیتی	۱	Quartz- sericite- Pyrite- Barite- clay minerals	X=۵۵۸۴۸۰ Y=۴۰۰۴۱۹۰
	۲	Quartz- sericite- hematite- Calcite- clay minerals	X=۵۵۹۶۸۰ Y=۴۰۰۳۹۸۰
	۳	Quartz- sericite- muscovite- Chlorite- Pyrite	X=۵۶۴۲۱۰ Y=۴۰۰۵۹۳۰
کلریتی- کلسیتی- اپیدوتی	۴	Quartz- Chlorite- sericite- muscovite- Calcite- Pyrite	X=۵۵۹۸۳۰ Y=۴۰۰۶۴۷۰
	۵	Quartz- Chlorite- Calcite - sericite - Epidote	X=۵۶۰۹۷۰ Y=۴۰۰۶۵۰۰
	۶	Quartz- Calcite- Chlorite- Epidote- sericite	X=۵۶۰۹۱۰ Y=۴۰۰۵۰۰۰



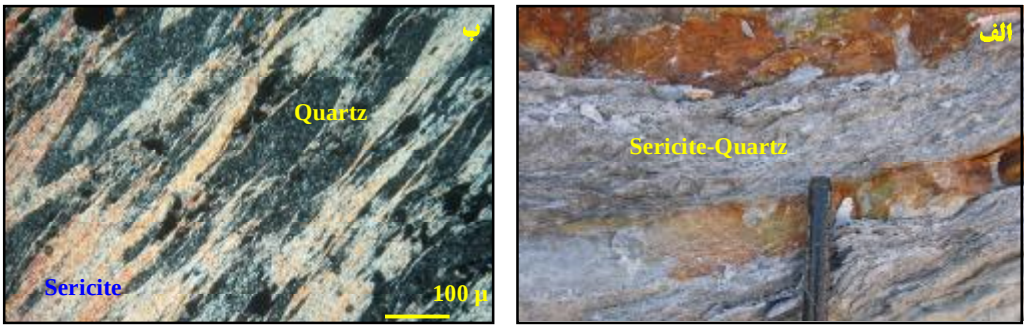
شکل ۷. تصویررنگی SWIR استر برای آشکارسازی واحدهای سنگی و دگرسانی‌ها در (RGB:468): الف) موقعیت منطقه مطالعاتی، و ب) پیکسل‌های صورتی مناطق محتمل دگرسانی سریسیتی، پیکسل‌های سبز کلریت - اپیدوت را نشان می‌دهد.



شکل ۸. نقشه تفکیک کانی‌های سریسیت و ژاروسیت منطقه مورد مطالعه در تصویر استر

شکل ۹. پهنه دگرسان سریسیتی و موقعیت کانی‌سازی طلا و نقره و معدن باریت در آن- دید به سمت جنوب شرق

شکل ۱۰.الف) موقعیت عدسی‌های باریتی در پهنه دگرسان سریسیتی در معدن باریت باریکا؛
ب) نمایی از دگرسانی شدید سریسیتی در منطقه باریکا

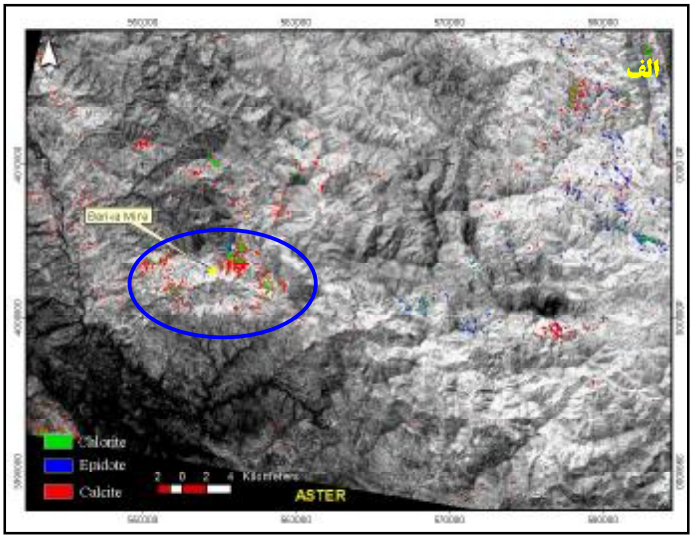


شکل ۱۱.الف) بخش‌های سریسیتی کاملاً دگرشکل موجود در زون‌های کانی‌سازی؛ و
ب) مقطع میکروسکوپی از این بخش‌ها که شامل سریسیت وکوارتزهای ریزدانه است.

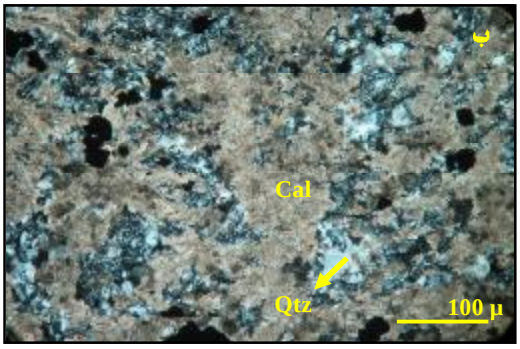
برای شناسایی مجموعه کانی‌های زون پروپلیتیک که شامل کانی‌های اپیدوت، کلریت و کلسیت است، از نمودار طیفی این کانی‌ها از مجموعه طیفی (USGS) و طیف‌های معرف کانی‌های مذکور که در بررسی‌های صحرایی از منطقه به دست آمده بود، استفاده شد. عامل آنیونی Mg-OH و کربنات‌ها در طول موج ۲/۳۳ µm) معادل باند ۸ ETM، جذب شاخصی را نشان می‌دهند (شکل ۶.ب). شکل ۱۲.الف تصویر حاصل از پردازش طیفی روی تصویر باند ۱ ETM را که گسترش دگرسانی کلریتی، اپیدوتی و کلسیتی است نشان می‌دهد. این دگرسانی‌ها در منطقه در اطراف دگرسانی سریسیتی گسترش می‌یابند و انطباق جالبی با گسترش این دگرسانی‌ها در بررسی‌های زمینی دارند (شکل ۱۲.ب). این زون‌بندی آلتراسیون‌ها در منطقه مطالعاتی از دیدگاه اکتشافی اهمیت می‌یابد. طی بررسی‌های صحرایی مشخص شد که دگرسانی کلریتی و کربناتی دومین دگرسانی مهم در محدوده است و در واحدهای حد واسط آندزیتی ـ تراکی آندزیتی کمر پایین ماده معدنی دیده می‌شود (شکل ۱۲.ب و ۱۳). علاوه بر این، دگرسانی کلریتی و کربناتی و به میزان کمتر اپیدوتی در آندزیت‌های شمال شرق محدوده باریکا نیز گسترش زیادی دارد.

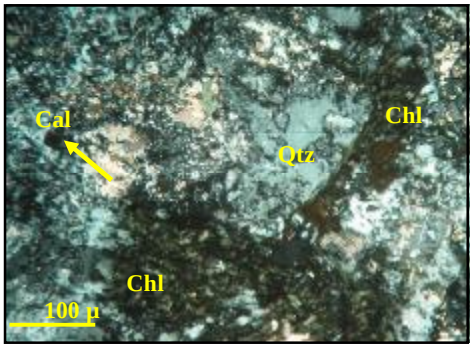
فعالیت مشابهی نیز برای تشخیص کانی‌های اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن انجام شد. بازتاب طیفی تمام این کانی‌ها در محدوده امواج مرئی و مادون قرمز نزدیک ۰/۱–۰/۳۵ µm قرار می‌گیرد. بیشترین جذب طیفی شاخص کانی‌های اکسید آهن (گوتیت و لیمونیت هماتیت و ژاروسیت) در این محدوده امواج صورت می‌پذیرد (شکل ۶. ج و د). لذا در این تحقیق از ۳ باند اول مادون قرمز مرئی نزدیک (VNIR) ETM و باندهای مرئی سنجنده ETM استفاده شد. با توجه به پاسخ طیفی این کانی‌ها نسبت به ETM (شکل ۶. د)، حداقل انعکاس در محدوده باند ($\lambda = ۰/۴$ µm) و بیشترین انعکاس در باند ۳ ($\lambda = ۰/۶$ µm) مشاهده می‌شود. بنابراین تصاویر نسبتی ETM3/ETM1 به عنوان شاخصی برای تعیین و تشخیص نواحی دگرسان مورد توجه است. به‌منظور شناسایی کانی‌های آهن‌دار، از روش PC۳(۱,۳,۴,۵) استفاده شد (Zhang et al., 2007). بدین منظور مؤلفه‌های اصلی (PC) باندهای مورد نظر محاسبه گردید و از آنها در ترسیم نقشه دگرسانی استفاده شد. به‌علاوه، از نمودار طیفی کانی‌های آهن‌دار نیز طبق روش‌های گفته شده در بخش‌های قبلی برای تفکیک و شناسایی استفاده گردید.

در پردازش تصاویر ETM نیز ترکیب رنگی باندی RGB:۱۲۳ برای استخراج کانی‌های آهن‌دار استفاده شد. در این ترکیب باندی بازتاب کانی‌های آهن‌دار بین تن‌های رنگی سفید تا زردرنگ تغییر می‌کند. در نهایت، با استفاده از تمام روش‌های پردازشی، انواع کانی‌های اکسید ـ هیدروکسیدهای آهن در منطقه شناسایی شدند (شکل ۱۴.الف).

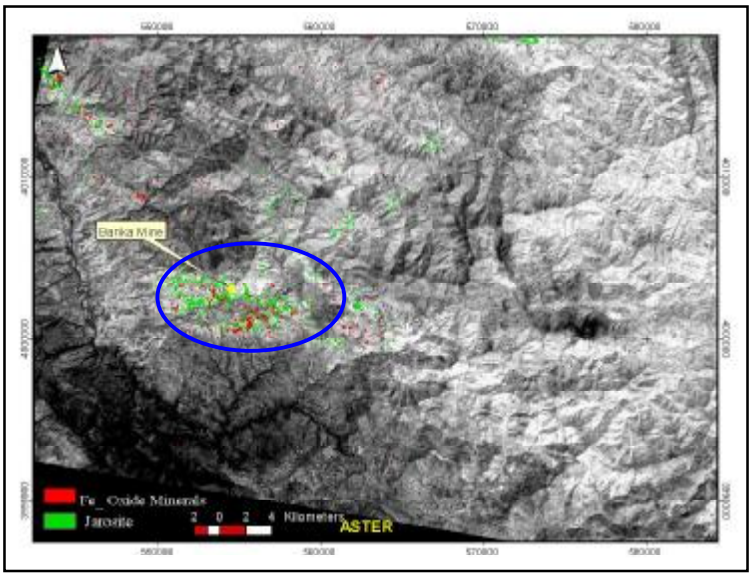


شکل ۱۲.الف) نقشه تفکیک کانی‌های اپیدوت، کلریت و کلسیت در منطقه مورد مطالعه در تصویر ماهواره‌ای استر؛
ب) موقعیت دگرسانی کلریتی- کلسیتی و اپیدوتی که در اطراف دگرسانی سریسیتی دیده می‌شود (دید به سمت شرق).





شکل ۱۳. الف) دگرسانی غالب کلریتی (Chl) و به میزان کمتر کلسیتی (Cal)؛
ب) دگرسانی غالب کلسیتی (Cal). این دگرسانی‌ها در اطراف پهنه دگرسانی سرسیتی مشاهده می‌شوند.



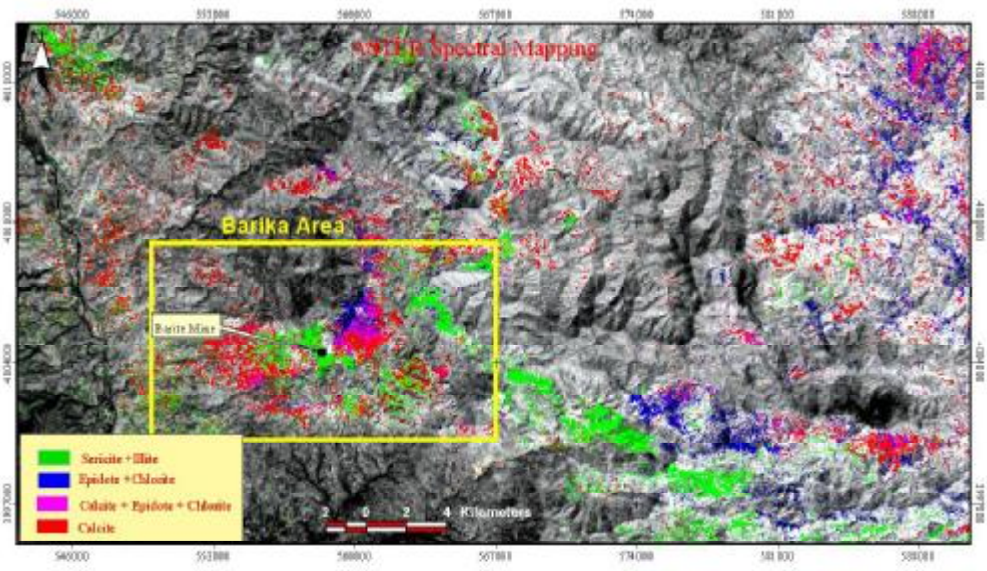
شکل۱۴. الف) نقشه تفکیک و شناسایی کانی‌های اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن منطقه مورد مطالعه در تصویر ماهواره‌ای استر و ETM ؛ ب) اکسیدهای آهن موجود در پهنه دگرسان سریسیتی که از اکسید شدن سولفیدها به‌وجود آمده‌اند.

طبق مطالعات صحرایی اکسیدهای آهنی که با دگرسانی سریسیتی همراه‌اند، از اکسید شدن سولفیدهای موجود در زون‌های کانی‌سازی ناشی می‌شوند که تشخیص گسترش آنها با تکنیک سنجش از دور در منطقه، برای ردیابی زون‌های کانی‌سازی بسیار اهمیت دارد (شکل ۱۴.ب ، شکل ۱۵). در سایر مناطقی که گسترش کانی‌های اکسید ـ هیدروکسیدهای آهن در آنها مشاهده می‌شود، مربوط به بالا بودن میزان این کانی‌ها در سنگ ولکانیکی منطقه است.

۶- نتیجه‌گیری

تعیین گسترش انواع دگرسانی‌ها در محدوده معدنی باریکا به‌وسیله پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نتایج جالبی را دربر داشته است. مهم‌ترین دگرسانی‌های تفکیک شده شامل دگرسانی‌های سریسیتی، کلریتی، کلسیتی و اپیدوتی و همچنین تعیین گسترش کانی‌های اکسید ـ هیدروکسیدهای آهن است. گسترش این دگرسانی‌ها الگوی منظم و مشخصی را نشان می‌دهد، به‌طوری که دگرسانی سریسیتی با شدت و گسترش زیاد در مرکز و دگرسانی‌های کلریتی، کلسیتی و اپیدوتی در اطراف دگرسانی سریسیتی مشاهده می‌شود (شکل ۱۵). این الگوی گسترش با مطالعات صحرایی در منطقه انطباق نسبتاً خوبی دارد. به‌طور کلی در ذخایر ماسیوسولفید غنی از طلا دگرسانی سریسیتی ـ سیلیسی بیشترین گسترش را دارد و در مرکز سیستم، زون‌های کانی‌سازی را همراهی می‌کند. در حاشیه سیستم، دگرسانی کلریتی و به میزان کمتر کلسیتی و اپیدوتی گسترش دارد و کل سیستم کانی‌سازی را در بر می‌گیرد (Large et al., 2001). کانی‌های اکسیدآهن بیشترین گسترش را همراه با دگرسانی سریسیتی دارند که این خود نشان‌دهنده اکسید شدن سولفیدها در زون‌های کانی‌سازی است. در منطقه، گسترش زیاد کانی‌های اکسیدآهن در سطح زمین، همراه و اطراف زون‌های کانی‌سازی دیده می‌شود.

در مجموع، با توجه به انطباق مناسب نتایج به دست آمده از مطالعات دورسنجی و صحرایی در منطقه کانی‌سازی شده طلا و نقره باریکا، تشخیص و تفکیک انواع دگرسانی‌ها و تعیین الگوی پراکندگی آنها از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در پی‌جویی ذخایر مشابه در مقیاس ناحیه‌ای مفید واقع شود.



شکل ۱۵. الگوی پراکندگی دگرسانی‌های سریسیتی، کلریتی، کلسیتی و اپیدوتی روی باند ۱ استر . همان‌طور که ملاحظه می‌شود، دگرسانی سریسیتی با شدت زیاد در مرکز سیستم و کلریتی، کلسیتی و اپیدوتی در اطراف، کاملاً مشاهده‌شدنی است.

۷- منابع

Di Tommaso, I.M., Rubinstein, N., 2006, **Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Data in the Infiernillo Porphyry Deposit**, Argentina, Journal of Ore Geology Reviews, Vol. 29, pp. 1-16.

Eftekharnejad, J., 2004, **Report of Mahabad Geological Map, in Scale of 1:250000**, Geological Survey of Iran.

Large R.R., Mc Phie J., Gemmell j.B., Davidson G., 2001, **The Spectrum of Ore Deposits Types, Volcanic Environment, Alteration Halos, and Related Exploration Vectors in Submarine Volcanic Succession, Some Example From Australia, Econ,** Geol, 96, pp. 913-938.

Mars, J.C., and Rowan, L.C., 2006, **Regional Mapping of Phyllic and Argilic Altered Rocks in Zagros Magmatic Arc**, Iran, Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Radiometer (ASTER) Data and Logical Operator Algorithms, Geophere, 2, 161-186.

Mohajjel, M., 2004, **Report of Geological and Structural Study in Alut Area**, Geological Survey of Iran.

Omrani, A., Khabazian, R., 2003, **Report of Alut Geological Map, in Scale of 1:100000**, Geological Survey of Iran.

Rowan, L.C., Schmidt, R.G., Mars, J.C., 2006, **Distribution of Hydrothermally Altered Rocks in the Reko Diq, Pakistan Mineralized Area Based on Spectral Analysis of ASTER Data**, Journal of Remote Sensing of Environment, Vol. 104, pp.74-87.

Venkataraman, G., Babu Madhavan, B., Ratha, D.S. And SinhaRoy, S. , 2000, **Spatial Modeling for Base-Metal Mineral Exploration Through Integration of Geological Datasets**, Natural Resources Research Journal Vol.-9, NO-1 , PP. 27-42.

Yarmohammadi, 2006, **Mineralogy, Geochemistry, Structure & Texture and Genesis of Gold Mineralization (Silver, Base Metal and Barite) in Barika Area, East of Sardasht**, M.Sc. thesis, Economic Geology, Tarbiat Modares University.

Zhang, G.F., Shen, X.H. Zou, L.J., Li, C.J. Wang Y.L., and Lu., S.L., 2007, **Detection of Hydrocarbon Bearing Sand Through Remote Sensing Technique in Western Slope Zone of Songliao Basin**, China, International Journal of Remote Sensing, 28, pp. 1819-1833.