

نقشه برداری مناطق دگرسان شده با استفاده از تصاویر سنجنده های استر و ETM⁺ در نیمه شمالی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت

فیض اله معصومی^۱ و حجت اله رنجبر^۱

^۱ بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۰۶

چکیده

منطقه مورد بررسی بخش هایی از کمربند آتشفشانی- رسوبی دهج- ساردوئیه و کمربند افیولیتی در نیمه شمالی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت را شامل می شود. هدف از انجام این پژوهش استفاده از تصاویر چندطیفی سنجنده های ASTER و ETM⁺ به منظور تعیین مناطق دگرسان شده با به کارگیری روش های مختلف پردازش تصویر است. برای تفکیک زون های دگرسان شده از ترکیب دروغین رنگی نسبت های باندی تصاویر استر استفاده شد و زون های فیلک و پروپلیتیک شناسایی شدند. ترکیب دروغین رنگی تصاویر استر برای جداسازی مناطق دگرسان شده از مناطق کربناتی بسیار مناسب بود. روش دیگر برای جداسازی مناطق دگرسان شده از رگه های کربناتی استفاده از تجزیه مؤلفه های اصلی بود. این تجزیه بر روی داده های محدوده کوتاه موج فرسوخ استر صورت گرفت و با استفاده از یک ترکیب دروغین رنگی به صورت (PC2, PC3, -PC4) این مناطق از یکدیگر تفکیک شدند. از روش نقشه بردار زاویه طیفی نیز برای شناسایی کانی های مناطق دگرسان شده مانند مسکویت، کلریت و اپیدوت استفاده شد. نمونه برداری از مناطق دگرسان شده و تجزیه نمونه ها نشان داد که می توان روش نقشه بردار زاویه طیفی برای شناسایی کانی های مناطق دگرسان شده در صورتی که دارای گسترش کافی در سطح زمین باشند، استفاده نمود.

کلیدواژه ها: استر، ETM⁺، نقشه بردار زاویه طیفی، مؤلفه های اصلی، نسبت های باندی، بافت.

*نویسنده مسئول: فیض اله معصومی

E-mail: masoumi61@gmail.com

۱- مقدمه

می توان به بیوتیت، سریسیت، کائولینیت، اپیدوت، کلسیت و کلریت اشاره کرد (Lowel & Guilbert, 1970). بیشتر این کانی ها را می توان با استفاده از روش های سنجش از دور بارزسازی نمود. یکی از مزایای روش سنجش از دور به کمیته رساندن بررسی های سطحی، بویژه در مناطق غیر قابل دسترسی بر اساس اطلاعات طیفی به دست آمده از نقاط دیگر با کانی سازی معلوم است.

پژوهشگران از روش های مختلف پردازش تصویر به منظور بارزسازی مناطق دگرسان شده با استفاده از تصاویر سنجنده ETM⁺ استفاده کرده اند (Abrams et al., 1983; Sabins, 1999; Tangestani & Moore, 2000; Rowan and Mars (2003); Crosta et al. (2003); (۱۳۸۹). اعلمی نیا و همکاران، (۱۳۸۹). Hubard and Crowley (2005); Mars and Rowan, (2006;2010); Tangestani et al. (2008); Moore et al. (2008) و رنجبر و شهریاری (۱۳۸۵) از تصاویر استر به منظور نقشه برداری از مناطق دگرسان شده استفاده نموده اند. این پژوهشگران از روش های نسبت های باندی، تجزیه مؤلفه های اصلی، ترکیبات دروغین رنگی، نقشه بردار زاویه طیفی و تجزیه طیفی کانی ها به منظور بارزسازی مناطق دگرسان شده و تفکیک واحدهای سنگی استفاده نموده اند.

به کارگیری روش تقسیم باندی برای بارزسازی عوارض خاص در داده های چندطیفی مناسب است. از روش یادشده برای کاهش اثرات روشی خورشید، توپوگرافی و بارزسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می شود (Gupta, 2003). برای شناسایی مناطق دگرسان شده گرمابی دو نشانه خوب که در تصاویر ماهواره ای قابل شناسایی هستند وجود اکسید آهن و کانی های هیدروکسیل است و البته از ارتباط مناطق دارای شکستگی نیز می توان برای اکتشاف کانسارها استفاده نمود.

در کانسارهای مس پورفیری، کلاهیک های آهنی (گوسان) بر روی زون های پتاسیک و فیلک تشکیل می شوند و بنابراین نشانه خوبی برای شناسایی نهشته های پورفیری هستند. با توجه به این که کلاهیک های آهنی (گوسان) دارای مقادیر زیادی از اکسیدهای آهن هستند، بنابراین در تصاویر دورسنجی با استفاده از بارزسازی کانی های اکسیدهای آهن می توان به دنبال این پدیده ها گشت. با توجه به این

اطلاعات با ارزشی که از تصاویر ماهواره ای در کمترین زمان ممکن نسبت به دیگر روش های اخذ اطلاعات زمین شناسی و اکتشافی حاصل می شود، اهمیت استفاده از این روش در اکتشاف کانسارها را بیش از پیش آشکار ساخته است. نقشه برداری از کانی های مناطق دگرسان شده و شناسایی مناطق با شکستگی بالا از مهم ترین کاربردهای دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی است. سنجنده استر که بر روی سکوی ترا نصب شده است از سال ۱۹۹۹ میلادی تصاویر چند طیفی را به زمین مخابره می نماید. این سنجنده در ۱۴ باند طیفی تصویربرداری می نماید. سه باند طیفی اول که با نام مرئی و فرسوخ (مادون قرمز) نزدیک شناخته می شوند در طول موج های بین ۰/۸۶-۰/۵۲ μm با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، شش باند طیفی دوم که به تصاویر فرسوخ کوتاه موج معروفند، در طول موج های ۰/۴۳۰-۲/۴۳۰ μm با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند سوم که با عنوان تصاویر مادون سرخ حرارتی شناخته می شوند در طول موج های ۱۱/۶۵-۸/۱۲۵ μm با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر، دریافت می شوند (Abrams, 2002).

استر نخستین سنجنده ای است که دارای باندهای حرارتی با قدرت تفکیک طیفی مناسب است. این سنجنده در طول یک روز ۵۰۰ تصویر ۶۰×۶۰ km را برداشت می کند (Ninomiya, 2005). اما این سنجنده ابزاری را در اختیار دارد که با انحراف زاویه ای (±۲۴°) قابلیت گسترش عرض تصویر تا ۲۳۲ کیلومتر را دارد (Fujisada, 1995). سنجنده نقشه بردار موضوعی پیشرفته با ETM⁺ آخرین سنجنده قرار گرفته بر روی ماهواره لندست ۷ (پرتاب شده در سال ۱۹۹۹) است. این سنجنده دارای ۸ باند طیفی است. باند ۸ پانکروماتیک بوده و قدرت تفکیک مکانی آن ۱۵ متر است. باند ۶ با قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر در طول موج حرارتی تصویربرداری می کند. باندهای ۱ تا ۷ این سنجنده در محدوده ۰/۴۵-۲/۳۵ μm با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر هستند. ابعاد تصاویر این سنجنده ۱۸۵ × ۱۸۵ کیلومتر است (Lillesand et al., 2004). تصاویر سنجش از دور دو کاربرد عمده در اکتشاف مواد معدنی دارند (Sabins, 1999):
۱- تهیه نقشه زمین شناسی و شناسایی گسل ها و شکستگی هایی که نهشته های معدنی را در بر دارند.
۲- شناسایی سنگ های دگرسان شده بر اساس ویژگی های طیفی آنها. از کانی های موجود در دگرسانی های ناشی از کانسارهای مس پورفیری

شدند. تصاویر استر مورد استفاده تا سطح 1B تصحیح رادیومتری شده بودند. در مرحله پیش پردازش داده ها از کسر اثر تیرگی (Dark subtract) که در اینجا مقادیر کمینه هر باند تصویر در محاسبات در نظر گرفته شد، استفاده گردید. این روش اثر پراکنش جوی را حذف می نماید. افزون بر این، از روش میانگین بازتابش داخلی نسبی (Internal Average Relative Reflectance) نیز استفاده شد. در این روش میانگین طیف تصویر، محاسبه و به عنوان مرجع در نظر گرفته می شود. سپس میانگین طیف به دست آمده بر طیف پیکسل های باندها تقسیم می شود (Kruse et al., 1985).

۴- روش بررسی

روش های پردازش تصویری مانند نسبت های باندی، مؤلفه های اصلی، نقشه بردار زاویه طیفی و ترکیبات رنگی برای بارزسازی دگرسانی های منطقه به کار گرفته شد که در زیر به آنها پرداخته می شود.

۴-۱. نسبت های باندی

با توجه به حضور کانی های رسی مونتموریلونیت، کائولینیت و اپلیت و کانی سریسیت در دگرسانی های گرمابی از شاخص های طیفی موجود در منحنی طیفی این کانی ها برای انتخاب نسبت باندی مناسب می توان استفاده نمود (شکل ۳).

با بررسی شکل ۳ می توان چنین نتیجه گیری کرد که برای بارزسازی کانی سریسیت (دگرسانی چیره منطقه) و کانی های رسی می توان از نسبت های باندی ۴/۹، ۷/۹، ۴/۶ و ۷/۶ سنجنده استر و ۵/۷ سنجنده ETM^+ استفاده کرد. به همین منظور نسبت های یاد شده به کار گرفته شد. در همه تصاویر تداخل طیفی مناطق دگرسان شده با رگه های کربناتی در باختر منطقه و پوشش گیاهی در برخی مناطق وجود داشت. برای جداسازی این مناطق از یکدیگر از روش های دیگری استفاده شد که در زیر به آنها پرداخته شده است. برای جدایش پوشش گیاهی از دگرسانی ها از شاخص پوشش گیاهی NDVI (Jensen, 2000) که به صورت زیر تعریف شده است، استفاده شد.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

که در آن NIR باند موجود در محدوده فرو سرخ نزدیک (باند ۳ استر و ETM^+) و R باند موجود در محدوده طول موج سرخ (باند ۲ استر و ETM^+) هستند.

۴-۲. تصاویر رنگی دروغین از نسبت های باندی

ترکیب رنگی نسبت های باندی می تواند اطلاعات بیشتری را در ارتباط با دگرسانی های مختلف در اختیار قرار دهد. در شکل ۴ کانی های سریسیت و رسی، کلریت، اپیدوت، کلسیت و سرپانتینیت موجود در منطقه با استفاده از یک تصویر ترکیب رنگی نسبت های باندی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ از باندهای سنجنده استر نشان داده شده است. در این تصویر مناطق حاوی کانی های سریسیت و رسی با پیکسل های روشن و در اطراف آنها کانی های زون پروپلیتیک با رنگ سبز دیده می شوند. در تصویر رنگی به دست آمده مناطق دارای رگه های کربناتی در باختر منطقه نیز بارز شده اند. در مجموعه افیولیتی دگرسانی هایی مانند ساسوریتی شدن، سرپانتینیتی شدن و وجود کلریت که طیف های مشابهی در محدوده باندهای استر دارند، با رنگ سبز پسته ای مشخص شده اند (شکل ۴).

همچنین ترکیب دروغین رنگی نسبت های باندی ۵/۷ (کانی های رسی در رنگ سرخ)، ۳/۱ (اکسید آهن در رنگ سبز) و مجموع این دو نسبت در رنگ آبی (پیشنهاد شده توسط Crippen et al., 1988) برای داده های ETM^+ به کار گرفته شد.

در این تصویر در مناطقی که زون های دارای کانی های رسی و سریسیت همراه با اکسید آهن باشند، با رنگ سفید نشان داده شده اند. با توجه به این نکته که رگه های کربناتی از نظر طیفی رفتاری مشابه با کانی های رسی و سریسیت دارند، این مناطق نیز به همان صورت آشکار شده اند. این تصویر نشان می دهد که در مناطقی که دگرسانی از نوع سریسیتی و رسی رخ داده است، کانی های اکسید آهن هم دیده می شوند که

نکته که سنجنده ETM^+ دارای یک باند در محدوده جذب (باند ۱) و یک باند در محدوده بازتاب بالای اکسیدهای آهن است (باند ۳)، انتظار می رود که مناطق با اکسید آهن را بهتر از سنجنده استر مشخص سازد. ولی برای بارز نمودن کانی های رسی و مسکوویت که در دگرسانی های گرمابی دیده می شوند سنجنده استر به دلیل باندهای طیفی بیشتر مناسب تر است. (Yuhas et al. (1992) و Kruse et al. (2003) روش نقشه بردار زاویه طیفی را برای شناسایی کانی ها با استفاده از مقایسه طیف های مرجع و طیف های استخراج شده از تصاویر ماهواره ای معرفی کردند. هدف از انجام این پژوهش استفاده از تصاویر چندطیفی سنجنده های ASTER و ETM^+ به منظور تعیین مناطق گرسان شده با به کارگیری روش های مختلف پردازش تصویر است.

۲- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی بخش هایی از کمربند آتشفشانی- رسوبی دهج- ساردوئیه و کمربند افیولیتی در استان کرمان را دربر گرفته است. این منطقه به طور عموم دارای پستی و بلندی های فراوان و توپوگرافی کوهستانی و خشن است، به طوری که بالاترین نقطه منطقه دارای ارتفاع ۴۳۷۶ متر از سطح دریا است. این مناطق مرتفع در مدت زیادی از سال پوشیده از برف هستند. (شکل ۱) تصویر رنگی باندهای استر (باند ۲ در سرخ، باند ۳ در سبز و باند ۱ در آبی) که بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه (استخراج شده از تصاویر سنجنده استر) انداخته شده است را نشان می دهد. ریخت شناسی منطقه به خوبی در این شکل مشخص است.

آمیزه های رنگین با سن کرتاسه پسین در بخش جنوب باختر منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). سرپنتینیت، هارزبورجیت، اسپیلیت، دیاباز، ماسه سنگ، گابرو و سنگ آهک، سنگ های عمده آمیزه رنگین را تشکیل می دهند. این سنگ ها دستخوش دگرسانی شدید ساسوریتی، اورالیتی و سرپنتینیتی شده اند. سنگ های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، آندزیت بازالت، آگلومرا و توف با سن ائوسن بخش عمده ای از منطقه را پوشانده است. رگه های متعدد آهکی سیلیسی شده در محدوده باختر منطقه رخنمون دارند. با توجه به الگوی جایگیری این رگه ها نسبت به سنگ های آتشفشانی ائوسن و جهت یافتگی نامنظم آنها در این سنگ ها به نظر می رسد که این رگه های کربناتی حاصل فرایند چرخش محلول های گرمابی و رسوب کربنات و سیلیس در زون های شکسته باشد. این رگه ها ممکن است با کانی سازی همراه باشند. اما تاکنون گزارشی از کانی سازی همراه این رگه ها منتشر نشده است. سیلتستون، کنگلومرا، سنگ آهک، آندزیت، آندزیت پیروکسن دار، و آندزیت بازالت با سن میوسن در مناطق جنوب خاور منطقه تشکیل شده اند. جدیدترین واحدها شامل رسوبات کواترنر است. توده های نفوذی موجود در منطقه که در بعضی مناطق باعث دگرسانی و ایجاد کانی سازی شده اند به طور عمده در میوسن میانی و با ترکیبات گرانودیوریت، دیوریت پورفیری و کوارتز- دیوریت تشکیل شده اند (Srdic et al., 1972). کانسارهای منطقه به طور عمده پورفیری و رگه ای هستند که در امتداد کانسارهای مختلف موجود بر روی کمربند آتشفشانی- رسوبی ارومیه- دختر به وجود آمده اند (Dimitrijevic, 1977). موقعیت کانسارهای موجود در منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است. کانسارهای مس حراران، پی نگی، لاله زار ۳ و لاله زار ۴ از نوع پورفیری و کانسارهای گوغر و آب بحری از نوع رگه ای هستند. کانسارهای رگه ای معمولاً اثر دگرسانی چندان در سطح زمین نشان نمی دهند.

۳- پیش پردازش داده ها

به منظور دریافت اطلاعات از تصاویر ماهواره ای لازم است پیش از استفاده از آنها پیش پردازش های رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر خام صورت گیرد. به منظور استفاده صحیح از داده ها، تصاویر هر دو سنجنده با استفاده از تصویری از منطقه که دارای مختصات صحیح بود، با روش تصحیح هندسی تصویر به تصویر، زمین مرجع

پیکسل‌ها باید به اندازه کافی باشد تا بتواند پس از عبور از جو زمین در سنجنده ثبت شود. به عنوان مثال در صورتی کانی‌های سریسیت و کلریت قابل شناسایی هستند که این کانی‌ها در بیش از نیمی از مساحت یک پیکسل پراکنده شده باشند. این کانی‌ها ممکن است در سنگ یا رسوبات و خاک در محدوده مساحت پیکسل‌ها موجود باشند. هر چقدر که شدت دگرسانی در سنگ بیشتر باشد، طیف بازتابی از سطح زمین خالص‌تر و شانس شناسایی آن کانی بیشتر است. افزون بر این، کانی‌هایی مانند پیریت و کوارتز با توجه به درصد سهم آنها در اشغال مساحت توصیف شده اثر چندانی بر روی تصویر از خود برج نمی‌گذارند. در نتیجه روش سنجنش از دور این امکان را فراهم نمی‌آورد که زون فلیک که در زمین شناسی اقتصادی تعریف خاصی دارد را به دقت مشخص نماید. در صورتی که دو نوع کانی بخش عمده‌ای از یک پیکسل را اشغال نمایند، طیف دریافتی به صورت طیف مخلوطی از دو کانی است که می‌توان با استفاده از روش‌های پردازش خاصی مانند حذف تداخل طیفی، طیف کانی مورد نظر را استخراج نمود.

برخی از کانی‌ها حاصل فرایندهای مختلفی مانند دگرسانی و یا هوازدگی سطحی هستند. به عنوان مثال کانی کائولینیت هم در زون‌های دگرسانی گرمایی و هم در بالای توده‌های گرانیتی یا محیط‌های دیگر در اثر فرایند هوازدگی تشکیل می‌شود. آن چه که از سنجنش از دور انتظار می‌رود این است که این کانی را با توجه به ویژگی‌های طیفی آن در تصاویر تجزیه شده نمایش دهد. با توجه به شباهت‌های طیفی این دو نوع کانی و همچنین محدودیت‌های دریافت تصاویر ماهواره‌ای در گستره طول موج‌های خاص، امکان تفکیک این دو نوع کانی در تصاویر ماهواره‌ای وجود ندارد. البته باید به این نکته نیز اشاره نمود که به شکل غیر مستقیم امکان تعیین زون‌های اکسایشی وجود دارد. به عنوان مثال کانی‌های سولفیدی دارای آهن در زون اکسایشی ناپایدار هستند و تولید کانی‌های حاوی اکسید آهن می‌نمایند. امکان تعیین مناطق دارای اکسید آهن با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و یا استر وجود دارد.

۴-۴. نقشه‌بردار زاویه طیفی

نقشه‌برداری زاویه طیفی یک روش طبقه‌بندی تصویر با محاسبه تشابه بین طیف تصویر و یک طیف مرجع (مانند کتابخانه‌های طیفی) است (Kruse et al., 1993). الگوریتم این روش، مشابهت بین دو طیف را به وسیله زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضای به ابعاد تعداد باندها، زاویه بین دو بردار محاسبه می‌شود. در این روش برای محاسبه زاویه جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آنها، بنابراین در این روش عامل‌های دیگر در نظر گرفته نمی‌شوند. در واقع هرچه مقدار زاویه (بین 0° تا 180°) کمتر باشد شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی که مقدار زاویه 180° باشد کل تصویر به عنوان پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود. برای مقایسه یک پیکسل، طیف پیکسل مورد نظر از منطقه بررسی شده با طیف همان پیکسل در آزمایشگاه (کتابخانه) بر روی دو باند در یک محور مختصات رسم می‌شود. سپس نقاط به دست آمده به مبدأ وصل می‌شود و زاویه بین دو خط به دست آمده به عنوان زاویه شناسایی پیکسل شناخته می‌شود. در صورتی که از تعداد n باند برای شناسایی پدیده مورد نظر استفاده شود از رابطه زیر برای به دست آوردن زاویه استفاده می‌شود:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} f_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} f_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (2)$$

که در آن nb تعداد باندها است (Kruse et al., 1993).

به منظور شناسایی مناطق دگرسان شده، برخی از کانی‌های این مناطق با روش یادشده و تصاویر استر نقشه‌برداری شد که نتایج سریسیت (در زون فلیک) و کلریت (در زون پروپیلیتیک) بهتر از دیگر کانی‌ها بود (شکل ۷). در این روش نیز ارتباط مناسبی بین مناطق دگرسان شده (زون‌های فلیک و پروپیلیتیک) و

از دید اکتشافی اهمیت دارد. اکسید آهن بر روی سنگ‌های کربناتی نیز به علت ورنی شدن صحرایی به صورت هماتیت دیده می‌شود. در این تصویر مناطق کربناتی از مناطق دارای دگرسانی قابل تفکیک نیست.

ترکیب رنگی نسبت‌های باندی ۷/۶ در آبی، ۴/۶ در سبز و ۴/۹ در سرخ سنجنده استر مناطق دگرسان شده در خاور تصویر را به صورت کامل از دیگر تداخل‌های طیفی (مناطق کربناتی) که در تصاویر پیشین وجود داشت جدا نموده و با رنگ آجری نمایش می‌دهد (شکل ۵).

۴-۳. تجزیه مؤلفه‌های اصلی

به منظور استخراج اطلاعات بیشتر از باندهای سنجنده‌های مختلف، بهتر است به صورت ترکیبی مورد بررسی قرار گیرند. تجزیه مؤلفه اصلی یک فناوری مفید برای تجزیه همبستگی داده‌های چند متغیره است (Davis, 1986). در صورتی که از روش تجزیه مؤلفه اصلی با انتخاب باندهای مناسب استفاده شود، نتایج مناسب‌تری را برای نمایش عوارض در بر خواهد داشت (Crosta and Moore, 1989). بر مبنای این روش و بر اساس ویژگی‌های طیفی کانی‌ها، باندهای مناسب برای انجام این روش انتخاب می‌شوند. با روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای محدوده کوتاه موج فرسوخ (SWIR) مناطق حاوی رگه‌های کربناتی از مناطق دگرسان شده به خوبی از یکدیگر تفکیک شد. نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای باندهای یادشده در جدول ۱ آورده شده است. برای به دست آوردن مناسب‌ترین مؤلفه برای جداسازی مناطق دگرسان شده از رگه‌های کربناتی باید مؤلفه‌ای اصلی را انتخاب نمود که دارای مقادیر بارگذاری بالای باندهای ۴، ۵، ۷ و مقادیر بالای نمودار طیفی کانی‌های رسی و سریسیت در محدوده این باندها) و مقادیر پایین باندهای ۹ و ۶ (مقادیر پایین نمودار طیفی کانی‌های رسی و سریسیت) باشد. بررسی جدول مؤلفه‌ها گویای این مطلب است که هر کدام از مؤلفه‌ها به تنهایی در برگزیده مقادیر بارگذاری مناسب برای همه باندهای یادشده نیست، به عنوان مثال مؤلفه سوم دارای مقدار بارگذاری $0.1/80$ - در باند چهارم و $0.4/9$ در باند ششم است و برای باندهای ۷، ۵ و ۹ دارای مقادیر مورد انتظار نیست، بنابراین بهتر است که مؤلفه‌ها به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گیرند. به همین منظور ترکیب دروغین رنگی به صورت (PC2, PC3, PC4) ساخته شد و دگرسانی‌های منطقه از رگه‌های کربناتی تفکیک شد (شکل ۶). در این تصویر دگرسانی فلیک با پیکسل‌های سرخ و در اطراف آن دگرسانی پروپیلیتیک با رنگ نارنجی (منطقه a) و مجموعه فیولیتی در جنوب باختر (منطقه b) با رنگ نارنجی دیده می‌شود. تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای باندهای سنجنده ETM^+ نیز صورت گرفت. اما در هیچیک از مؤلفه‌ها (به صورت جدا و یا ترکیبی) مناطق دگرسان شده و کربناتی به خوبی (در مقایسه با سنجنده استر) از یکدیگر تفکیک نشد. این امر می‌تواند به علت تعداد باندهای بیشتر سنجنده استر در محدوده جذب رس‌ها نسبت به سنجنده ETM^+ باشد. برای بارزسازی اکسید آهن مؤلفه پنجم که بارگذاری $0.1/69$ در باند سوم و $0.1/7$ - در باند اول را دربردارد، استفاده می‌شود. مؤلفه پنجم برای کانی‌های اکسید آهن دار انتخاب مناسبی است. در بازدید صحرایی مشخص شد که در منطقه مورد بررسی، اکسید آهن تنها با زون‌های دگرسانی همراه نیست، بلکه بر روی سنگ‌های دیگر نیز به علت پدیده ورنی صحرایی، وجود دارد. بنابراین برای شناسایی مناطق دگرسان شده از نشانه‌های اکسید آهن نمی‌توان به تنهایی استفاده نمود.

نکته مهمی که باید به آن توجه نمود این است که در سنجنش از دور انرژی بازتابیده شده از محدوده‌ای از سطح زمین - که متناظر است با اندازه پیکسلی که در تصویر ثبت می‌شود - ممکن است مخلوطی از انرژی‌های بازتابیده شده از اجسام مختلف باشد. به عنوان مثال در محدوده‌ای که سریسیت به عنوان کانی عمده در مساحت توصیف شده حضور دارد، کانی‌های دیگری مانند کوارتز و کانی‌های فلزی مانند کالکوپریت و پیریت نیز وجود داشته باشند. اما انرژی ثبت شده به طور عمده مربوط به کانی سریسیت است. در نتیجه انرژی بازتابیده شده از سطح زمین در محدوده

و ۱۰). نمونه های برداشت شده از مناطق کناری دگرسانی سرسیتی نمایانگر کانی های زون پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) بود (شکل های ۹ و ۱۰). گسترش دگرسانی آرژلیک در منطقه بسیار محدود است. دگرسانی پتاسیک تنها در منطقه حراران دیده می شود که با توجه به گسترش رخنمون ها در تصویر ماهواره ای قابل مشاهده نیست. رگه های کربناتی در تصاویر ماهواره ای پردازش شده به روشی نمایان هستند. این رگه ها با رنگ روشن نسبت به سنگ های آتشفشانی تیره رنگ به راحتی در صحرا دیده می شوند. شکل ۹-G تصویر یکی از این رگه ها را در صحرا نشان می دهد. توده های نفوذی موجود در منطقه با ترکیبات گرانودیوریت، دیوریت پورفیری و کوارتز-دیوریت به عنوان میزبان اصلی دگرسانی های فیلیک و آرژلیک بوده که این مناطق در تصاویر با دقت به نسبت خوبی ثبت شده اند. البته در برخی مکان های خاص که سنگ های آتشفشانی وجود داشته، دگرسانی فیلیک نیز دیده شده است. به عنوان نمونه در مجاورت سنگ های نفوذی و در باختر منطقه در مجاورت رگه های کربناتی این مورد دیده شده است. در جاهایی که دگرسانی پروپیلیتیک دیده شده جنس سنگ میزبان از سنگ های آتشفشانی بوده است. دگرسانی کلریتی، ساسوریتی و سرپنتینی نیز بر روی مجموعه افیولتی (در سنگ های گابرو سرپنتینیت) منطقه دیده شده است.

۵- نتیجه گیری

برای تفکیک زون های دگرسان شده از ترکیب دروغین رنگی نسبت های باندی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ تصاویر استر استفاده شد و زون های فیلیک و پروپیلیتیک شناسایی شدند. ترکیب دروغین رنگی نسبت های باندی ۷/۶ در آبی، ۴/۶ در سبز و ۴/۹ در سرخ تصاویر استر برای جداسازی مناطق دگرسان شده (زون های فیلیک و پروپیلیتیک) از مناطق کربناتی بسیار مناسب بود. در این تصویر همانند ترکیب پیشین، اثر مجموعه افیولتی و زون پروپیلیتیک مشابه بوده که به دلیل دگرسانی مجموعه افیولتی است.

روش دیگر برای جداسازی مناطق دگرسان شده از رگه های کربناتی استفاده از تجزیه مؤلفه های اصلی بود. این تجزیه بر روی داده های محدود کوتاه موج فرسوخ استر صورت گرفت و با استفاده از یک ترکیب دروغین رنگی (PC4, PC3, PC2) این مناطق از یکدیگر تفکیک شدند. تجزیه مؤلفه های اصلی بر روی داده های ETM² نیز صورت گرفت اما نتایج مناسبی را برای جداسازی مناطق کربناتی از دگرسانی های منطقه در بر نداشت.

نقشه بردار زاویه طیفی روشی است که بر اساس مقایسه طیف به دست آمده از تصویر و طیف های مرجع، کانی ها را می توان نقشه برداری نمود. نتایج این روش با استفاده از تصاویر استر برای شناسایی کانی های مناطق دگرسان شده حاکی از ارتباط مناسب مناطق دگرسان شده و کانی های این دگرسانی ها (سرسیتی در زون فیلیک و کلریت در زون پروپیلیتیک) بود. ارتباط بین دگرسانی های نقشه برداری شده با استفاده از روش یادشده و ترکیبات دروغین رنگی نسبت های باندی و مؤلفه های اصلی تصاویر استر بالا بود و هر سه روش مناطق دگرسان شده را با دقت بالایی (با نتایج به دست آمده از بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی) نقشه برداری نمودند.

بازدید صحرایی، بررسی مقاطع نازک و پراش پرتو ایکس (XRD) همه حاکی از حضور دگرسانی های فیلیک و پروپیلیتیک به عنوان دگرسانی های چیره منطقه بود و نیز بیانگر روش های صحیح پردازش تصویر برای نقشه برداری از مناطق دگرسان شده است. با توجه به نتایج بالا می توان از قابلیت بالاتر تصاویر استر نسبت به ETM² به دلیل باندهای طیفی بیشتر و تداخل طیفی کمتر برای نقشه برداری از مناطق دگرسان استفاده کرد. در مواردی که نقشه برداری از اکسید/هیدروکسید آهن هدف کار باشد، از ترکیب داده های هر دو سنجنده می توان بهره گرفت. با مقایسه موقعیت کانسارهای مس پورفیری با نقشه های دگرسانی منطقه می توان این گونه نتیجه گیری نمود که مناطق دگرسانی در این منطقه به طور عمده با کانی سازی مس گزارش شده از نوع

کانی های شناسایی شده دیده می شود. در این تصویر بخش عمده سرسیت بر روی مناطق مرکزی دگرسان شده در خاور منطقه و تا حدودی در بخش های شمالی و باختری منطقه دیده می شود. دگرسانی کلریتی و اپیدوتی بخش عمده ای از منطقه را می پوشاند. با توجه به این نکته که کلسیت دارای طیف مشابهی نسبت به کلریت است (شکل ۳)، مناطق حاوی رگه های کربناتی در منطقه به شکل بارزی مشخص شده اند. در محدوده آمیزه رنگین، کانی هایی مانند کلریت، ساسوریت و سرپانتینیت به علت داشتن طیف مشابه در محدوده باندهای استر، با رنگ سبز مشخص شده اند. دگرسانی رسی به شکل کائولینیت به صورت بخش های کوچکی در خاور منطقه دیده می شود. در این منطقه گسترش این دگرسانی در سطح زمین محدود است.

منطقه مورد بررسی از نظر پوشش گیاهی در طول سال بجز فصل بهار فقیر است. پوشش گیاهی فصلی باعث می شود که اثر دگرسانی در تصاویر ماهواره ای ضعیف تر شود. در چنین مواردی تصاویر برداشته شده در فصل تابستان ترجیح داده می شود. حتی در برخی موارد وجود پوشش گیاهی ضعیف همراه با خاک هایی که اثرات دگرسانی را در خود نداشته باشند، باعث می شود که اثر دگرسانی در تصویر ماهواره ای بازسازی نشود (شکل ۹-D).

۴-۵. بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی

پس از تحلیل تصاویر ماهواره ای، مناطق خاصی با توجه به امکانات و شرایط دسترسی منطقه و همچنین نوع دگرسانی، به منظور نمونه برداری انتخاب شدند. افزون بر نقاط نمونه برداری شده، از اندیس های ثبت شده توسط سازمان زمین شناسی کشور (گزارش کارشناسان یوگسلاو، GSI, 1973) نیز به عنوان مناطق کنترلی استفاده شد (شکل ۸). از آن جا که بخش عمده دگرسانی ها در محدوده خاور منطقه وجود دارند، بیشتر نمونه ها نیز از این منطقه تهیه شده اند.

بر اساس نتایج به دست آمده از روش های مختلف پردازش تصویر برای بررسی مناطق دگرسان شده، ۲۷ نقطه از منطقه برای تهیه نمونه (نمونه سنگی) و انجام بررسی های کانی شناسی مقطع نازک و در صورت لزوم پراش پرتو ایکس (XRD) انتخاب شد. در حالی که مناطق بیشتری از منطقه به منظور بررسی های صحرایی انتخاب شدند و بررسی های صحرایی در آنها انجام گرفت. موقعیت نمونه ها در شکل ۸ نشان داده شده است.

بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی نشان داد که دگرسانی های عمده منطقه، دگرسانی سرسیت-کوارتز (فیلیک) و دگرسانی پروپیلیتی (کلریت، اپیدوت و کلسیت) است. دگرسانی رسی بخش کوچکی از منطقه را شامل می شود. نمونه های ۱۰، ۳، ۱، ۱۱ و ۱۸ که در آنها مقادیر زیادی از کانی های رسی و در برخی موارد کوارتز دیده شد، برای شناسایی نوع کانی رسی روش تجزیه پراش پرتو ایکس (XRD) انتخاب شد. در دیگر نمونه ها کانی های سرسیت، کوارتز، کلریت، اپیدوت و کلسیت در برش نازک به سادگی تشخیص داده شدند.

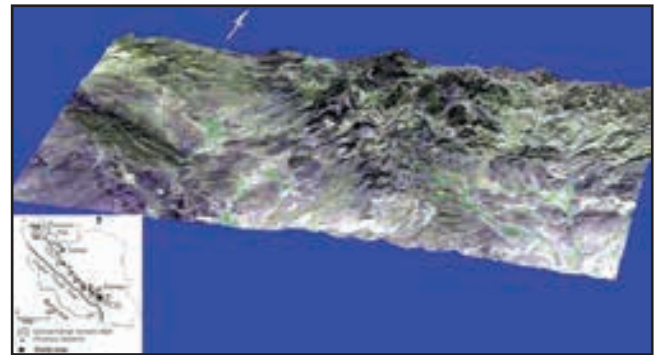
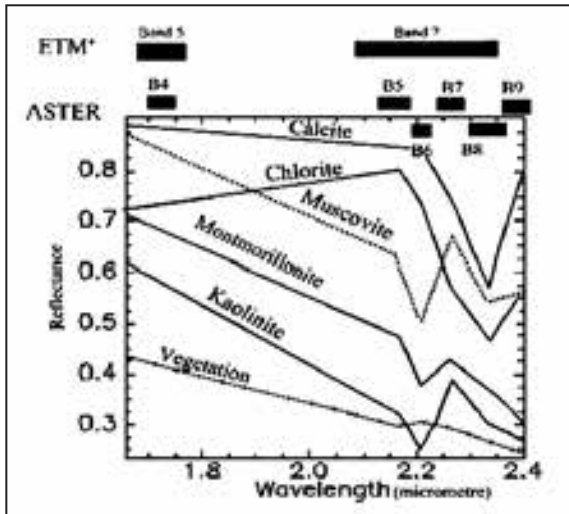
پس از بررسی نتایج تجزیه نمونه ها، در نمونه شماره ۱ کانی هایی مانند کائولینیت، کوارتز و کلسیت مشخص شد. کانی کوارتز در برش نازک نیز دیده شده بود. این نمونه که در بخش کناری دگرسانی های منطقه قرار گرفته است، وجود دگرسانی آرژلیک در بخش کوچکی از منطقه را تأیید می کند.

تجزیه پراش پرتو ایکس روی نمونه های شماره ۳ و شماره ۱۲ کانی های کوارتز، کائولینیت و گوتیت را نشان داد. این نمونه ها نیز متعلق به زون آرژلیک هستند. نمونه شماره ۱۰ حاوی کانی های آلپیت، کوارتز و مسکوویت-ایلیت است. در نمونه شماره ۱۸ کانی های آلپیت، کوارتز، مسکوویت-ایلیت، کلسیت و کلریت وجود دارند. نمونه های برداشت شده از منطقه، درستی شناسایی دگرسانی های منطقه با استفاده از تصاویر را تأیید نمود. بررسی مقاطع نازک نمونه های برداشت شده از منطقه در بیشتر نمونه ها دگرسانی سرسیتی (سرسیت-کوارتز) را نشان داد (شکل های ۹

سپاسگزاری

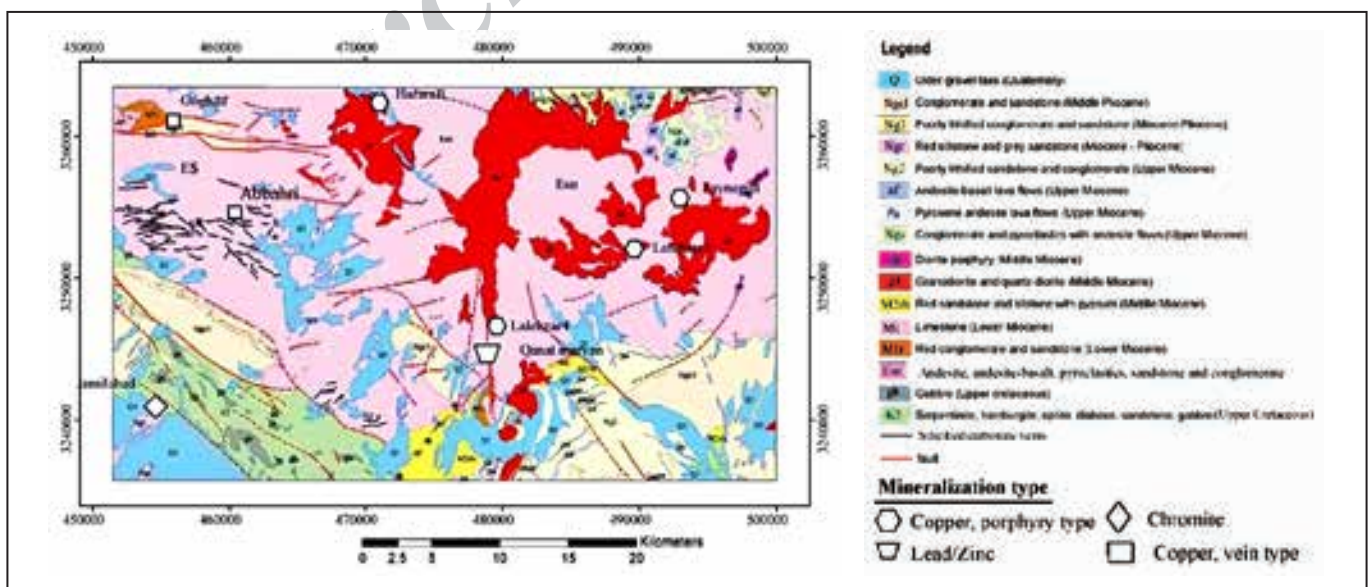
سازمان صنایع و معادن استان کرمان امکانات نمونه برداری از منطقه را فراهم نموده است که به این وسیله تشکر و قدردانی می شود. سرکار خانم دکتر عطاپور از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی استان کرمان، نویسندگان را در تهیه عکس و تفسیر مقاطع نازک یاری نموده اند که در اینجا لازم است از ایشان سپاسگزاری گردد.

پورفیری در ارتباط هستند و پیشنهاد می شود که مناطق مشخص شده در این بررسی با استفاده از روش های اکتشافی دیگری مانند ژئوشیمی محیط سنگی و آبراهه ای مورد بررسی تفصیلی قرار بگیرند. از روش های مؤلفه های اصلی و نقشه بردار زاویه طیفی و با استفاده از تصاویر استر می توان به منظور نقشه برداری دگرسانی در دیگر مناطق با زمین شناسی و شرایط آب و هوایی مشابه سود جست.

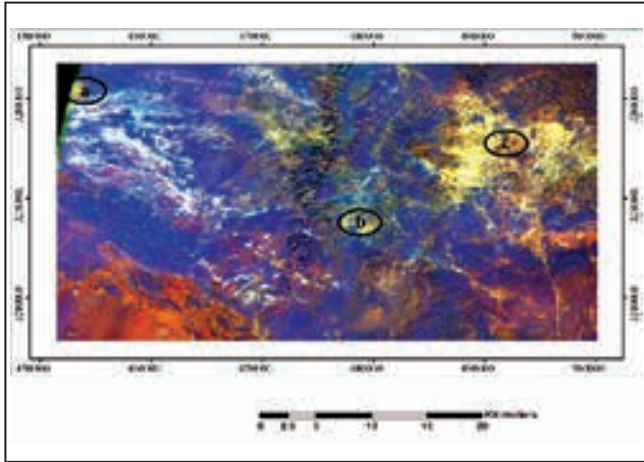


شکل ۱- مدل سه بعدی مجازی منطقه بررسی شده. در این تصویر پستی و بلندی های منطقه به خوبی نمایان است. در بخش های مرکزی منطقه بلندترین کوه ها وجود دارند. پوشش گیاهی منطقه با رنگ سبز نشان داده شده است.

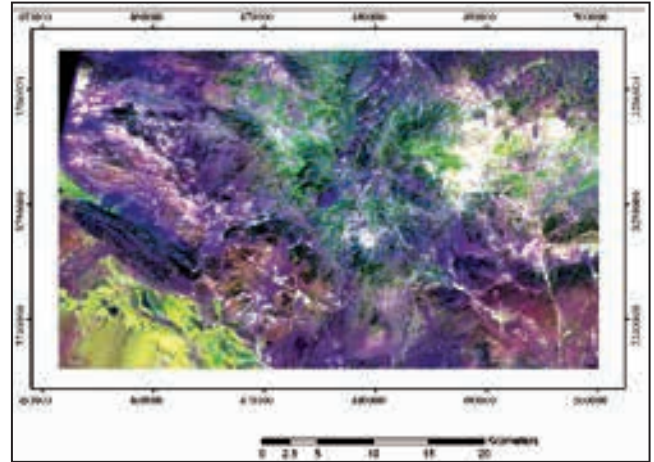
شکل ۳- نمودارهای طیفی کانی های مناطق دگرسان شده به همراه طیف پوشش گیاهی که نسبت به باندهای کوتاه موج استر (باندهای ۴ الی ۹) باز نمونه گیری شده اند. پهنای باندهای ۵ و ۷ سنجنده ETM^+ نیز نشان داده شده اند. طیف ها بر اساس طیف های (Livo et al., 1993) رسم شده اند.



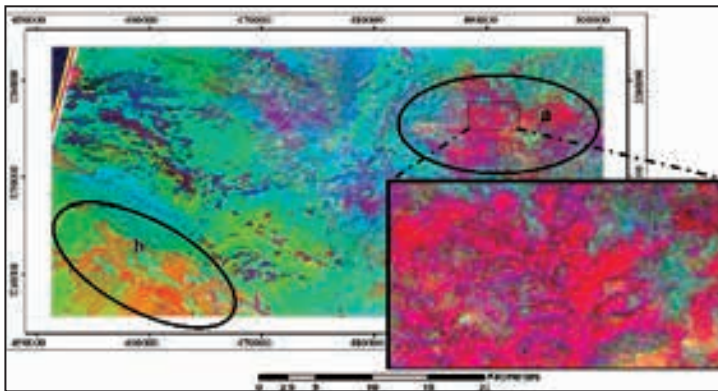
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی، همراه با کانی سازی های مهم آن (بر گرفته از Srdic et al., 1972 و GSI, 1973).



شکل ۵- ترکیب رنگی نسبتی ۷/۶ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ سنجنده استر. در این تصویر مناطق دگرسان شده در خاور منطقه به طور کامل متمایز از رگه‌های کربناتی در باختر تصویر است. معدن سرب و روی قنات مروان (b) و کانسارهای مس هاراران (a) و پی‌نگین (c) بر روی مناطق دگرسان قرار گرفته‌اند.



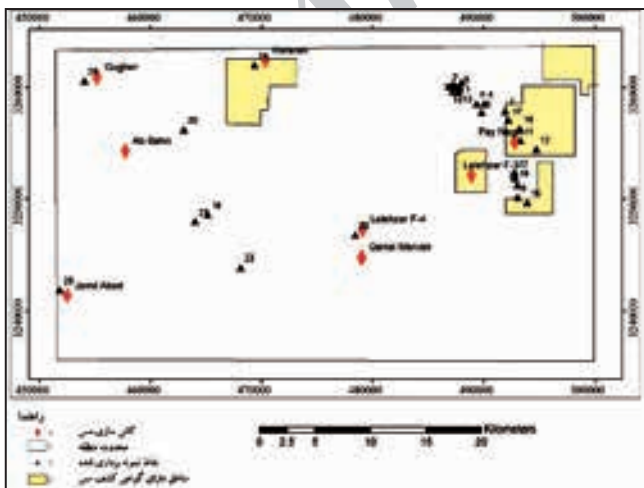
شکل ۴- تصویر ترکیب رنگی نسبتی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ از باندهای سنجنده استر. مناطق دگرسان شده با پیکسل‌های روشن در خاور، شمال مرکز و باختر تصویر، و در اطراف آنها کانی‌های زون پروپلیتیک با رنگ سبز دیده می‌شوند. در مجموعه افیولیتی دگرسانی‌هایی مانند ساسوراتی شدن، سرپانتینی شدن و وجود کلریت که طیف‌های مشابهی در محدوده باندهای استر دارند، با رنگ سبز پسته‌ای مشخص شده‌اند.



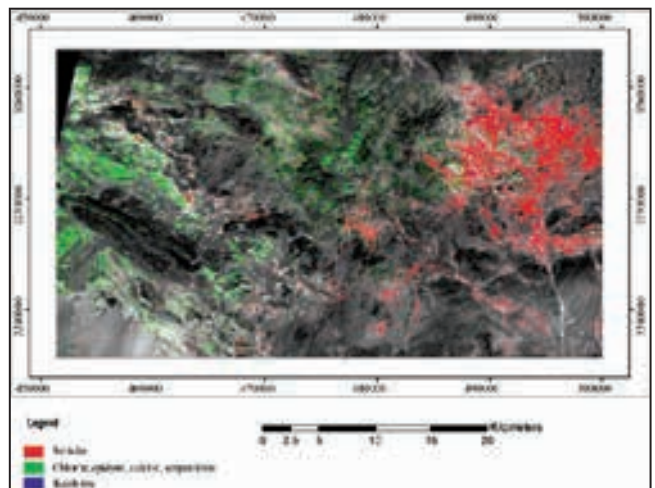
شکل ۶- تصویر ترکیب دروغین رنگی (PC2, PC3, -PC4). منطقه a بر روی دگرسانی‌های منطقه و منطقه b بر روی مجموعه افیولیتی قرار گرفته است. در این تصویر رگه‌های کربناتی نسبت به دگرسانی‌های منطقه تیره تر دیده می‌شوند.

جدول ۱- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای محدوده فروسرخ کوتاه موج سنجنده استر.

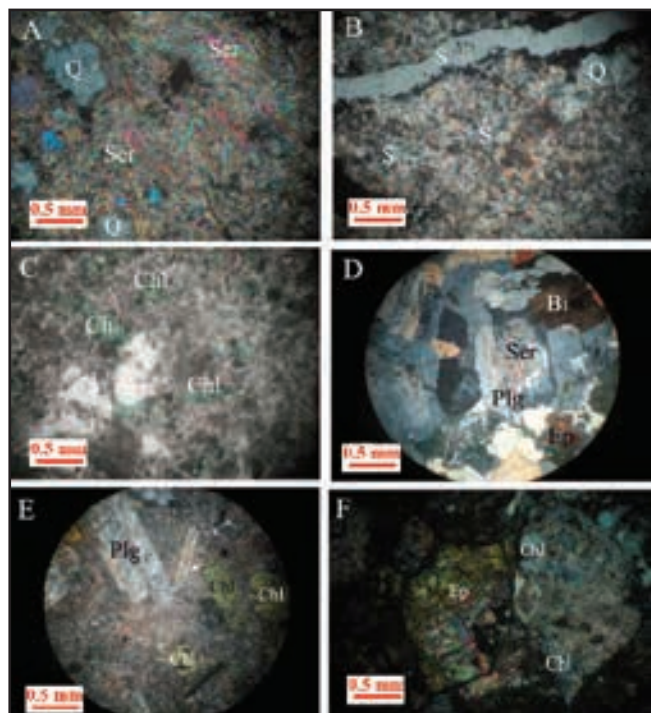
باند / مؤلفه	۴	۵	۶	۷	۸	۹
PC1	0.43	0.36	0.40	0.40	0.44	0.42
PC2	0.36	0.38	0.49	-0.47	-0.45	-0.25
PC3	-0.80	0.21	0.50	-0.14	0.12	0.18
PC4	-0.13	0.01	0.21	0.63	-0.04	-0.73
PC5	-0.14	0.46	-0.31	0.37	-0.64	0.35
PC6	-0.07	0.68	-0.46	-0.25	0.43	-0.28



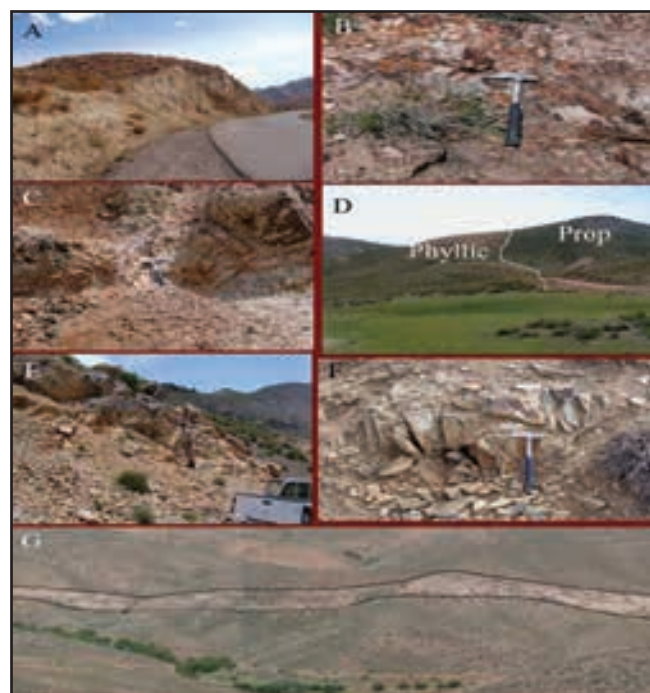
شکل ۸- نقشه مناطق نمونه‌برداری شده، کانی‌سازی مس گزارش شده توسط سازمان زمین‌شناسی و مناطق دارای گواهی کشف مس در سازمان صنایع و معادن استان کرمان. کانسارهای حراران، پی‌نگین، لاله‌زار ۳ و لاله‌زار ۴ از نوع پورفیری هستند. نوع کانسارها در شکل ۲ نیز نمایش داده شده است.



شکل ۷- نقشه برداری از کانی‌های محدوده‌های دگرسانی با استفاده از روش نقشه‌بردار زاویه طیفی.



شکل ۹-۱۰ (A) دگرسانی فلیک شدید در سنگ گرانودیوریتی. کانی های کوارتز (Q) و سریسیت (Ser) در برش نازک مشخص هستند (XPL). (B) برشی نازک از گرانودیوریت سیلیسی شده همراه با سیلیس (S) و کوارتز (Q) (XPL). (C) برشی نازک از نمونه ای با دگرسانی کلریتی (Chl) همراه با رس شدگی (مناطق تیره) (PPL). (D) برشی نازک از سنگ گرانودیوریتی که در آن تبدیل پلاژیوکلاز (Plg) به سریسیت (Ser) دیده می شود. اپیدوت (Ep) و بیوتیت (Bi) نیز در شکل دیده می شوند (XPL). (E) برشی نازک از یک سنگ آندزیتی با بافت پورفیری که دگرسانی کلریتی (Chl) همراه با رسی شدن پلاژیوکلاز (Plg) را نشان می دهد. (F) دگرسانی پروپلیتیک همراه با کلریت (Chl) و اپیدوت (Ep) (XPL).



شکل ۸-۹ (A) نمایی از دگرسانی آرژیلیکی که با رنگ روشن دیده می شود (محدوده کانسار حراران در شکل ۸). (B) رخنمونی از محدوده سیلیسی شده در منطقه (اطراف نقطه ۶ در شکل ۸). (C) رخنمونی از دگرسانی فلیک همراه با گوتیت و ژاروسیت در سطح سنگ (اطراف نقطه ۴ در شکل ۸). (D) همبری دگرسانی فلیک (phyllitic) و پروپلیتیک (Prop). (E) رخنمونی از دگرسانی فلیک همراه با گوتیت و ژاروسیت در سطح سنگ (اطراف نقطه ۱۱ در شکل ۸). (F) رخنمونی از دگرسانی پتاسیک در منطقه حراران (نقطه ۲۴ در شکل ۸). (G) تصویری از یک رگه کربناتی سیلیسی شده در باختر منطقه بررسی شده. دید به سمت شمال است. محل عکس برداری باختر نقطه ۱۹ در شکل ۸ است.

کتابنگاری

- اعلمی نیا، ز.، کریمپور، م. ح.، حیدریان شهری، م. ر.، ۱۳۸۹- زمین شناسی، دگرسانی و مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه کلاته تیمور، شمال شرق ایران، مجله زمین شناسی اقتصادی، ۱، صفحه ۲۱۷-۲۳۴.
- رنجبر، ح. و شهریاری، ه.، ۱۳۸۵- مقایسه داده های سنجنده ETM+ و سنجنده ASTER جهت نقشه برداری مناطق دگرسان شده در بخش مرکزی کمربند دهج- ساردوییه استان کرمان. مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران. پاییز و زمستان ۸۵ صفحه ۳۶۷-۳۸۲.
- هنرمند، م. و رنجبر، ح.، ۱۳۸۴- کاربرد روشهای مختلف پردازش تصویر داده های ETM+ به منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه ای در منطقه کوه مزار-کوه پنج در استان کرمان. مجله علوم زمین، ۱۵، صفحه ۱۱۰-۱۲۷.

References

- Abrams, M. J., Brown, L., Lepley, R., Sadowski, P., 1983- Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona. *Economic Geology*, 78: 591-604.
- Abrams, M., 2002- ASTER user handbook. Jet Propulsion Lab.
- Crippen, R. E., Blom, R. G. and Heyada, J. R., 1988- Directed band ratioing for the retention of perceptually-independent topographic expression in chromaticity-enhanced imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 9: 749-765.
- Crosta, A. P., De Souza Filho, C. R., Azevedo, F. and Brodie, C., 2003- Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 24: 4233-4240.

- Crosta, A. P. and Moore, J. McM., 1989- Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. Proceedings of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, pp.1173-1187.
- Crosta, A. P., Sabine, C. and Taranik, J. V., 1998- Hydrothermal Alteration Mapping at Bodie, California, using AVIRIS Hyperspectral Data. Remote Sensing of Environment, 65: 309-319.
- Davis, J. C., 1986- Statistics and data analysis in geology, John Wiley and Sons, 646p.
- Dimitrijevic, M. D., 1977- Geology of Kerman region, Report YU/52, Iran, Geological Survey of Iran.
- Fujisada, H., 1995- Design and performance of ASTER instrument. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering, 2583, 16-25.
- Geological Survey of Iran (GSI), 1973- Exploration for ore deposit in Kerman Region. Geological Survey of Iran Report Yu/53, 220p.
- Gupta, R. P., 2003- Remote Sensing Geology, second edition, Springer Verlag, 655.
- Hubbard, B., E. & Crowley, J. K., 2005- Mineral Mapping on the Chilean-Bolivian Altiplano using Co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: Data dimensionality issues and solutions. Remote Sensing of Environment, 99:173-186.
- Jensen, J., 2000- Remote sensing of the environment, an Earth resource perspective. Prantice Hall, New Jersey, 544p.
- Kruse, F. A., Boardman, J. W., Lefkoff, A. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. and Goetz, A. F. H., 1993- The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. Remote Sensing of Environment, 44:145-163.
- Kruse, F. A., Raines, G. I. and Watson, K., 1985- Analytical techniques for extracting geologic information from multichannel airborne spectroradiometer and airborne imaging spectrometer data. In Proceedings of the 4th Thematic Conference on Remote Sensing of the Environment, Remote Sensing for exploration geology, Sanfransisco, California, 1-4 April, pp. 309-324.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. and Chipman, J. M., 2004- Remote Sensing and Image Interpretation, fifth edition, Wiley and Sons, 763p.
- Livo, K. E., Clark, R. N. and Knepper, D. H., 1993- Spectral plot program for accessing the USGS digital spectral library database with MS-DOS personal computers. USGS open-file 93-593. Denver, Colorado.
- Lowell, J. D. & Guilbert, J. M., 1970- Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits, Economic Geology, 65:373–408.
- Mars, J. C. and Rowan, J. C., 2006- Regional Mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Space borne Thermal and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. Geosphere, 2: 161-186.
- Mars, J. C. and 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: 2011-2025.
- Moore, F., Rastmanesh, F., Asadi, H. and Modabberi, S., 2008- Mapping mineralogical alteration using principal-component analysis and matched filter processing in the Takab area, north-west Iran, from ASTER data, International Journal of Remote Sensing, 29: 2851–2867.
- Ninomiya, Y. and Fu, B., 2005- Detecting Lithology with Advanced Space-borne thermal Emission and Reflectance Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data. Journal of remote sensing of Environment, 99: 127-139.
- Ramadan T. M. and Kontny, A., 2004- Mineralogical and structural characterization of alteration zones detected by orbital remote sensing at Shalatein District, SE Desert, Egypt, Journal of African Earth Sciences, 40: 89–99.
- 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, Journal of Asian Earth Sciences, 24: 237-243.
- Rowan, L.C. and 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, 84:350–366.
- 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, Remote Sensing of Environment, 104: 74–87.
- Sabins, F., 1999- Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews 14: 157–183.
- Srdic, A., Dimitrijevic, M. N., Cvetic, S. & Dimitrijevic, M., D., 1972- Geological map of Baft, 1:100000, sheet series7348, Geological survey of Iran.
- Tangestani, M. H., Mazhari, N., Agar, B. and Moore, F., 2008- Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semiarid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran, International Journal of Remote Sensing . 29: 2833–2850.
- Tangestani, M. H. and Moore, F., 2000- Iron-oxide and hydroxyl enhancement using the Crosta method: A case study from the Zagros Belt, Fars province, Iran, Journal of Applied Geosciences, 2: 140-146.
- Yuhas, R. H., Goetz, A. F. H. and Boardman, J. W., 1992- Discrimination Among Semi-Arid Landscape Endmembers Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm. Summaries of the 4th JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication, pp. 92-41.