

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

فیض اله معصومی<sup>۱</sup> و حجت اله رنجبر<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> 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<sup>+</sup> 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<sup>+</sup>، 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<sup>+</sup> استفاده کرده اند (Abrams et al., 1983; Sabins, 1999; Tangestani & Moore, 2000; Ranjbar et al., 2004; Ramadan & Kouny, 2004; Rowan and Mars (2003); Crosta et al. (2003); اعلمی نیا و همکاران، (۱۳۸۹). Hubbard and Crowley (2005); Mars and Rowan, (2006;2010); Tangestani et al. (2008); Moore et al. (2008) (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 یاد شده برای کاهش اثرات روشی خورشید، توپوگرافی و بارزسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می شود (Gupta, 2003). برای شناسایی مناطق دگرسان شده گرمایی دو نشانه خوب که در تصاویر ماهواره ای قابل شناسایی هستند وجود اکسید آهن و کانی های هیدروکسید 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<sup>+</sup> آخرین سنجنده قرار گرفته بر روی ماهواره لندست ۷ (پر تاب 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 داده‌ها 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 می‌نماید. 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 می‌شود. سپس میانگین طیف به دست آمده بر طیف پیکسل‌های باندها تقسیم می‌شود (Kruse et al., 1985).

#### ۴- روش بررسی

روش‌های پردازش تصویری مانند نسبت‌های باندی، مؤلفه‌های اصلی، نقشه‌بردار زاویه طیفی و ترکیبات رنگی برای بارزسازی دگرسانی‌های منطقه به کار گرفته شد که در زیر به آنها پرداخته می‌شود.

##### ۴-۱. نسبت‌های باندی

با توجه به حضور کانی‌های رسی مونتموریلونیت، کائولینیت و اپلیت و کانی سریسیت در دگرسانی‌های گرمابی از شاخص‌های طیفی موجود در منحنی طیفی این کانی‌ها برای انتخاب نسبت باندی مناسب می‌توان استفاده نمود (شکل ۳).

با بررسی شکل ۳ می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که برای بارزسازی کانی سریسیت (دگرسانی چیره منطقه) و کانی‌های رسی می‌توان از نسبت‌های باندی ۴/۹، ۷/۹، ۴/۶ و ۷/۶ سنجنده استر و ۵/۷ سنجنده  $ETM^+$  استفاده کرد. به همین منظور نسبت‌های یادشده به کار گرفته شد. در همه تصاویر تداخل طیفی مناطق دگرسان شده با رگه‌های کربناتی در باختر منطقه و پوشش گیاهی در برخی مناطق وجود داشت. برای جداسازی این مناطق از یکدیگر از روش‌های دیگری استفاده شد که در زیر به آنها پرداخته شده است. برای جدایش پوشش گیاهی از دگرسانی‌ها 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  $ETM^+$  ۴) و R باند موجود در محدوده طول موج سرخ (باند ۲ استر و  $ETM^+$  ۳) هستند.

##### ۴-۲. تصاویر رنگی دروغین از نسبت‌های باندی

ترکیب رنگی نسبت‌های باندی می‌تواند اطلاعات بیشتری را در ارتباط با دگرسانی‌های مختلف در اختیار قرار دهد. در شکل ۴ کانی‌های سریسیت و رسی، کلریت، اپیدوت، کلسیت و سرپانتینیت موجود در منطقه با استفاده از یک تصویر ترکیب رنگی نسبت‌های 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 کانی‌های سریسیت و رسی با پیکسل‌های روشن و در اطراف آنها کانی‌های زون پروپلیتیک با رنگ سبز دیده می‌شوند. در تصویر رنگی به دست آمده مناطق دارای رگه‌های کربناتی در باختر منطقه نیز بارز شده‌اند. در مجموعه افیولیتی دگرسانی‌هایی مانند ساسوریتی شدن، سرپانتینیتی شدن و وجود کلریت که طیف‌های مشابهی در محدوده باندهای استر دارند، با رنگ سبز پسته‌ای مشخص شده‌اند (شکل ۴).

همچنین ترکیب دروغین رنگی نسبت‌های باندی ۵/۷ (کانی‌های 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 داده‌های  $ETM^+$  به کار گرفته شد.

در این تصویر در مناطقی که زون‌های دارای کانی‌های رسی و سریسیت همراه با اکسید آهن باشند، با رنگ سفید نشان داده شده‌اند. با توجه به این نکته که رگه‌های کربناتی از نظر طیفی رفتاری مشابه با کانی‌های رسی و سریسیت دارند، این مناطق نیز به همان صورت آشکار شده‌اند. این تصویر نشان می‌دهد که در مناطقی که دگرسانی از نوع سریسیتی و رسی رخ داده است، کانی‌های اکسید آهن هم دیده می‌شوند 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 می‌رود که مناطق با اکسید آهن را بهتر از سنجنده استر مشخص سازد. ولی برای بارز نمودن کانی‌های رسی و مسکوویت که در دگرسانی‌های گرمابی دیده می‌شوند سنجنده استر به دلیل باندهای طیفی بیشتر مناسب‌تر است. (Yuhas et al. (1992) و Kruse et al. (2003) روش نقشه‌بردار زاویه طیفی را برای شناسایی کانی‌ها با استفاده از مقایسه طیف‌های مرجع و طیف‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای معرفی کردند. هدف از انجام این پژوهش استفاده از تصاویر چندطیفی سنجنده‌های  $ETM^+$  و ASTER به منظور تعیین مناطق گرسان شده با به کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصویر است.

#### ۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی بخش‌هایی از کمربند آتشفشانی- رسوبی دهج- ساردوئیه و کمربند افیولیتی در استان کرمان را دربر گرفته است. این منطقه به طور عموم دارای پستی و بلندی‌های 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 می‌دهد. ریخت‌شناسی منطقه به خوبی در این شکل مشخص است.

آمیزه‌های رنگین با سن کرتاسه پسین در بخش جنوب باختر منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). سرپنتینیت، هارزبورجیت، اسپیلیت، دیاباز، ماسه سنگ، گابرو و سنگ آهک، سنگ‌های عمده آمیزه رنگین را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها دستخوش دگرسانی شدید ساسوریتی، اورالیتی و سرپنتینیتی شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، آندزیت بازالت، آگلومرا و توف با سن ائوسن بخش عمده‌ای از منطقه را پوشانده است. رگه‌های متعدد آهکی سیلیسی شده در محدوده باختر منطقه رخنمون دارند. با توجه به الگوی جایگیری این رگه‌ها نسبت به سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و جهت یافتگی نامنظم آنها در این سنگ‌ها به نظر می‌رسد که این رگه‌های کربناتی حاصل فرایند چرخش محلول‌های گرمابی و رسوب کربنات و سیلیس در زون‌های شکسته باشد. این رگه‌ها ممکن است با کانی‌سازی همراه باشند. اما تاکنون گزارشی از کانی‌سازی همراه این رگه‌ها منتشر نشده است. سیلستون، کنگلومرا، سنگ آهک، آندزیت، آندزیت پروکسن‌دار، و آندزیت بازالت با سن میوسن در مناطق جنوب خاور منطقه تشکیل شده‌اند. جدیدترین واحدها شامل رسوبات کواترنر است. توده‌های نفوذی موجود در منطقه که در بعضی مناطق باعث دگرسانی و ایجاد کانی‌سازی شده‌اند به طور عمده در میوسن میانی و با ترکیبات گرانودیوریت، دیوریت پورفیری و کوارتز- دیوریت تشکیل شده‌اند (Srdic et al., 1972). کانسارهای منطقه به طور عمده پورفیری و رگه‌ای هستند که در امتداد کانسارهای مختلف موجود بر روی کمربند آتشفشانی- رسوبی ارومیه-دختر به وجود آمده‌اند (Dimitrijevic, 1977). موقعیت کانسارهای موجود در منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است. کانسارهای مس حراران، پی‌نگین، لاله‌زار ۳ و لاله‌زار ۴ از نوع پورفیری و کانسارهای گوغر و آب بحری از نوع رگه‌ای هستند. کانسارهای رگه‌ای معمولاً اثر دگرسانی چندانی در سطح زمین نشان نمی‌دهند.

#### ۳- پیش پردازش داده‌ها

به منظور دریافت اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای لازم است پیش از استفاده از آنها پیش پردازش‌های رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر خام صورت گیرد. به منظور استفاده صحیح از داده‌ها، 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. نقشه بردار زاویه طیفی

نقشه برداری 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 سه بعدی 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 ۰ تا ۱) کمتر باشد شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی که مقدار زاویه ۱ 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:

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

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 نقشه برداری 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 باندهای 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 ۰/۸۰- در باند چهارم و ۰/۴۹ 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<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> باشد. برای بارسازی اکسید آهن مؤلفه پنجم که بارگذاری ۰/۶۹ در باند سوم و ۰/۷- 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). نمونه‌های برداشت شده از مناطق کناری دگرسانی سرسیتی نمایانگر کانی‌های زون پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) بود (شکل‌های ۹ و ۱۰). گسترش دگرسانی آرژلیک در منطقه بسیار محدود است. دگرسانی پتاسیک تنها در منطقه حراران دیده می‌شود که با توجه به گسترش رخنمون‌ها در تصویر ماهواره‌ای قابل مشاهده نیست. رگه‌های کربناتی در تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده به روشی نمایان هستند. این رگه‌ها با رنگ روشن نسبت به سنگ‌های آتشفشانی تیره رنگ به راحتی در صحرا دیده می‌شوند. شکل ۹-G تصویر یکی از این رگه‌ها را در صحرا نشان می‌دهد. توده‌های نفوذی موجود در منطقه با ترکیبات گرانودیوریت، دیوریت پورفیری و کوارتز-دیوریت به عنوان میزبان اصلی دگرسانی‌های فیلیک و آرژلیک بوده که این مناطق در تصاویر با دقت به نسبت خوبی ثبت شده‌اند. البته در برخی مکان‌های خاص که سنگ‌های آتشفشانی وجود داشته، دگرسانی فیلیک نیز دیده شده است. به عنوان نمونه در مجاورت سنگ‌های نفوذی و در باختر منطقه در مجاورت رگه‌های کربناتی این مورد دیده شده است. در جاهایی که دگرسانی پروپیلیتیک دیده شده جنس سنگ میزبان از سنگ‌های آتشفشانی بوده است. دگرسانی کلریتی، ساسوریتی و سرپنتینی نیز بر روی مجموعه افیولتی (در سنگ‌های گابرو سرپنتینیت) منطقه دیده شده است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

برای تفکیک زون‌های دگرسان شده از ترکیب دروغین رنگی نسبت‌های باندی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ تصاویر استر استفاده شد و زون‌های فیلیک و پروپیلیتیک شناسایی شدند. ترکیب دروغین رنگی نسبت‌های باندی ۷/۶ در آبی، ۴/۶ در سبز و ۴/۹ در سرخ تصاویر استر برای جداسازی مناطق دگرسان شده (زون‌های 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 رگه‌های کربناتی استفاده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی بود. این تجزیه بر روی داده‌های 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 مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های ETM<sup>+</sup> نیز صورت گرفت اما نتایج مناسبی را برای جداسازی مناطق کربناتی از دگرسانی‌های منطقه در بر نداشت.

نقشه‌بردار زاویه طیفی روشی است که بر اساس مقایسه طیف به دست آمده از تصویر و طیف‌های مرجع، کانی‌ها را می‌توان نقشه‌برداری نمود. نتایج این روش با استفاده از تصاویر استر برای شناسایی کانی‌های مناطق دگرسان شده حاکی از ارتباط مناسب مناطق دگرسان شده و کانی‌های این دگرسانی‌ها (سرسیت در زون فیلیک و کلریت در زون پروپیلیتیک) بود. ارتباط بین دگرسانی‌های نقشه‌برداری شده با استفاده از روش یادشده و ترکیبات دروغین رنگی نسبت‌های باندی و مؤلفه‌های اصلی تصاویر استر بالا بود و هر سه روش مناطق دگرسان شده را با دقت بالایی (با نتایج به دست آمده از بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی) نقشه‌برداری نمودند.

بازدید صحرائی، بررسی مقاطع نازک و پراش پرتو ایکس (XRD) همه حاکی از حضور دگرسانی‌های فیلیک و پروپیلیتیک به عنوان دگرسانی‌های چیره منطقه بود و نیز بیانگر روش‌های صحیح پردازش تصویر برای نقشه‌برداری از مناطق دگرسان شده است. با توجه به نتایج بالا می‌توان از قابلیت بالاتر تصاویر استر نسبت به ETM<sup>+</sup> به دلیل باندهای طیفی بیشتر و تداخل طیفی کمتر برای نقشه‌برداری از مناطق دگرسان استفاده کرد. در مواردی که نقشه برداری از اکسید/هیدروکسید آهن هدف کار باشد، از ترکیب داده‌های هر دو سنجنده می‌توان بهره گرفت. با مقایسه موقعیت کانسارهای مس پورفیری با نقشه‌های دگرسانی منطقه می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود که مناطق دگرسانی در این منطقه به طور عمده با کانی‌سازی مس گزارش شده از نوع

کانی‌های شناسایی شده دیده می‌شود. در این تصویر بخش عمده سرسیت بر روی مناطق مرکزی دگرسان شده در خاور منطقه و تا حدودی در بخش‌های شمالی و باختری منطقه دیده می‌شود. دگرسانی کلریتی و اپیدوتی بخش عمده‌ای از منطقه را می‌پوشاند. با توجه به این نکته که کلسیت دارای طیف مشابهی نسبت به کلریت است (شکل ۳)، مناطق حاوی رگه‌های کربناتی در منطقه به شکل بارزی مشخص شده‌اند. در محدوده آمیزه رنگین، کانی‌هایی مانند کلریت، ساسوریت و سرپانتینیت به علت داشتن طیف مشابه در محدوده باندهای استر، با رنگ سبز مشخص شده‌اند. دگرسانی رسی به شکل کائولینیت به صورت بخش‌های کوچکی در خاور منطقه دیده می‌شود. 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 می‌شود که اثر دگرسانی در تصاویر ماهواره‌ای ضعیف‌تر شود. در چنین مواردی تصاویر برداشته شده در فصل تابستان ترجیح داده می‌شود. حتی در برخی موارد وجود پوشش گیاهی ضعیف همراه با خاک‌هایی که اثرات دگرسانی را در خود نداشته باشند، باعث می‌شود که اثر دگرسانی در تصویر ماهواره‌ای بازسازی نشود (شکل ۹-D).

#### ۴-۵. بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی

پس از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، مناطق خاصی با توجه به امکانات و شرایط دسترسی منطقه و همچنین نوع دگرسانی، به منظور نمونه‌برداری انتخاب شدند. افزون بر نقاط نمونه‌برداری شده، از اندیس‌های ثبت شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور (گزارش کارشناسان یوگسلاو، GSI, 1973) نیز به عنوان مناطق کنترلی استفاده شد (شکل ۸). از آن جا که بخش عمده دگرسانی‌ها در محدوده خاور منطقه وجود دارند، بیشتر نمونه‌ها نیز از این منطقه تهیه شده‌اند.

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

بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی نشان داد که دگرسانی‌های عمده منطقه، دگرسانی سرسیت-کوارتز (فیلیک) و دگرسانی پروپیلیتی (کلریت، اپیدوت و کلسیت) است. دگرسانی رسی بخش کوچکی از منطقه را شامل می‌شود. نمونه‌های ۱۰، ۳، ۱، ۱۱ و ۱۸ که در آنها مقادیر زیادی از کانی‌های رسی و در برخی موارد کوارتز دیده شد، برای شناسایی نوع کانی رسی تجزیه پراش پرتو ایکس (XRD) انتخاب شد. در دیگر نمونه‌ها کانی‌های سرسیت، کوارتز، کلریت، اپیدوت و کلسیت در برش نازک به سادگی تشخیص داده شدند.

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

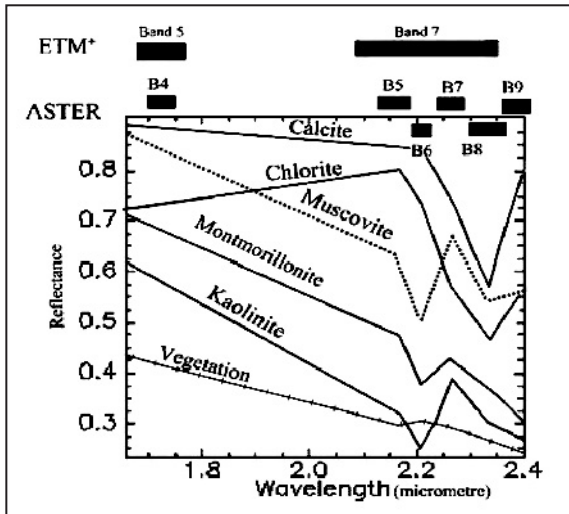
تجزیه پراش پرتو ایکس روی نمونه‌های شماره ۳ و شماره ۱۲ کانی‌های کوارتز، کائولینیت و گوتیت را نشان داد. این نمونه‌ها نیز متعلق به زون آرژلیک هستند. نمونه شماره ۱۰ حاوی کانی‌های آلپیت، کوارتز و مسکوویت-ایلپیت است. در نمونه شماره ۱۸ کانی‌های آلپیت، کوارتز، مسکوویت-ایلپیت، کلسیت و کلریت وجود دارند. نمونه‌های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



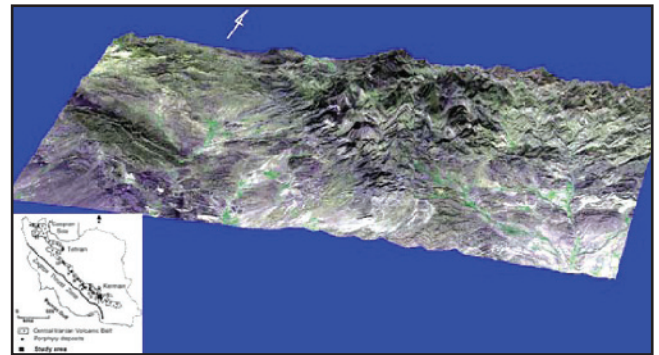
### سپاسگزاری

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.

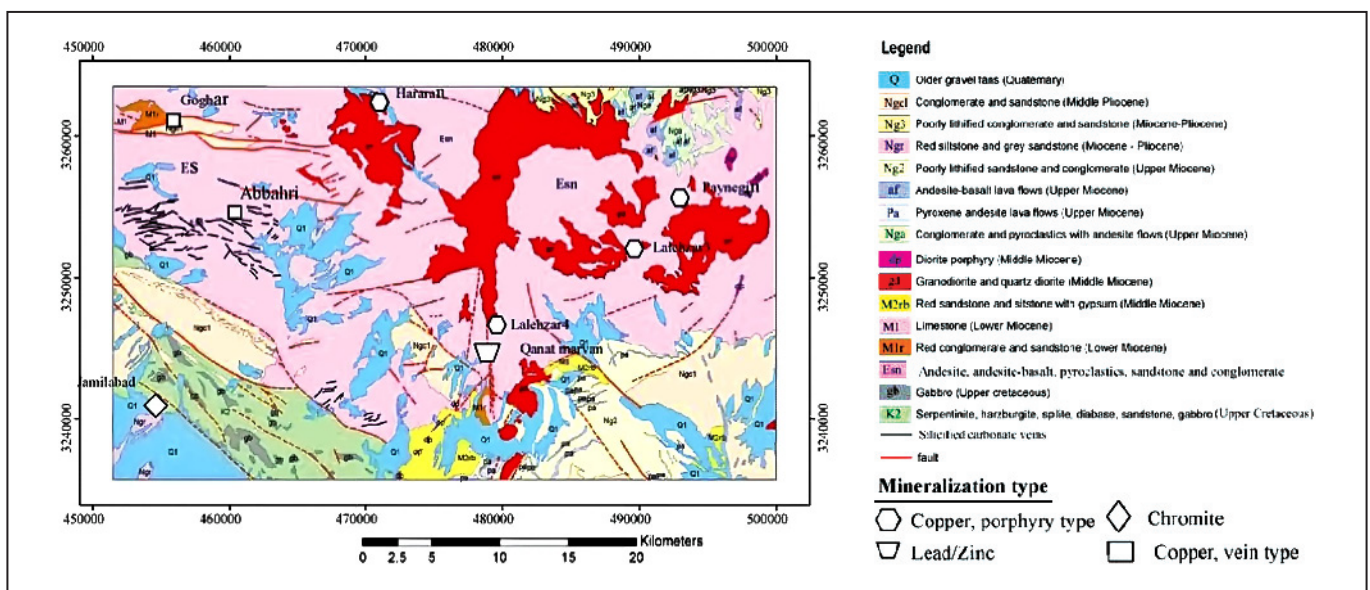
پورفیری در ارتباط هستند و پیشنهاد می شود که مناطق مشخص شده در این بررسی با استفاده از روش های اکتشافی دیگری مانند ژئوشیمی محیط سنگی و آبراهه ای مورد بررسی تفصیلی قرار بگیرند. از روش های مؤلفه های اصلی و نقشه بردار زاویه طیفی و با استفاده از تصاویر استر می توان به منظور نقشه برداری دگرسانی در دیگر مناطق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



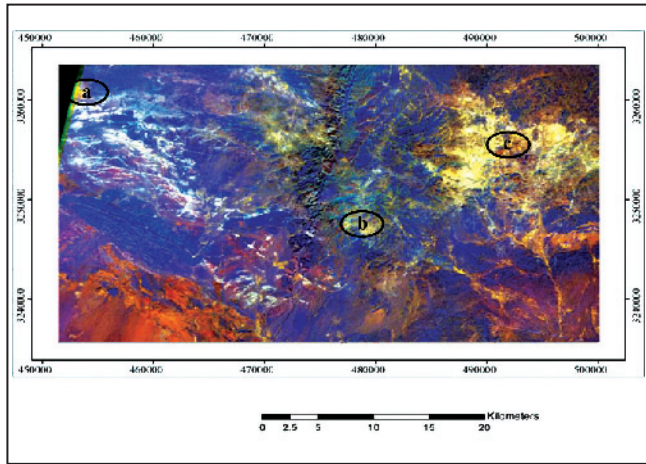
شکل ۳- نمودارهای طیفی کانی های مناطق دگرسان شده به همراه طیف پوشش گیاهی که نسبت به باندهای کوتاه موج استر (باندهای ۴ الی ۹) باز نمونه گیری شده اند. پهنای باندهای ۵ و ۷ سنجنده ETM<sup>+</sup> نیز نشان داده شده اند. طیف ها بر اساس طیف های (Livo et al., 1993) رسم شده اند.



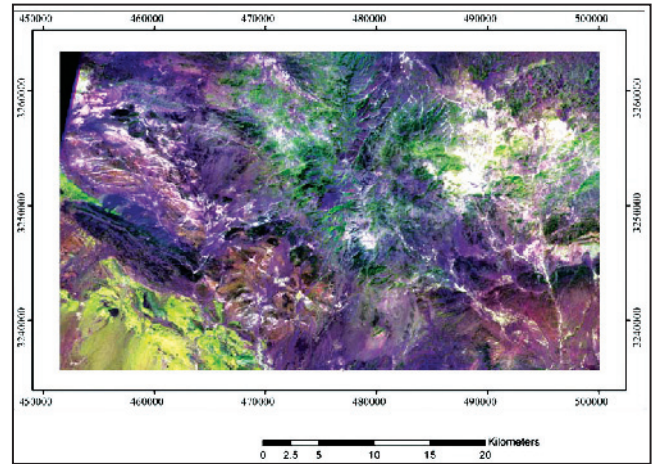
شکل ۱- مدل سه بعدی مجازی منطقه بررسی شده. در این تصویر پستی و بلندی های منطقه به خوبی نمایان است. در بخش های مرکزی منطقه بلندترین کوه ها وجود دارند. پوشش گیاهی منطقه با رنگ سبز نشان داده شده است.



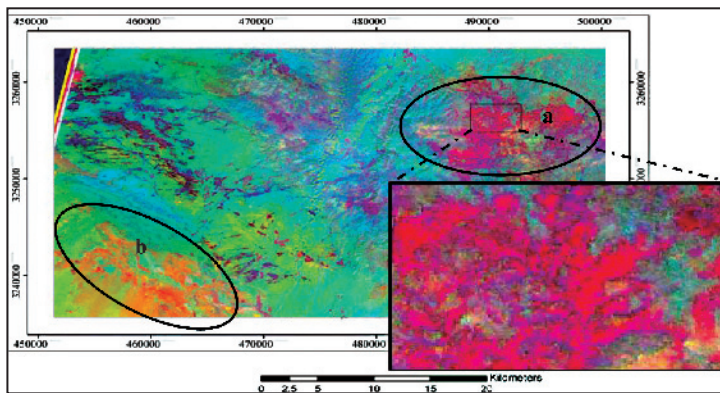
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی، همراه با کانی سازی های مهم آن (بر گرفته از Srdic et al., 1972 و GSI, 1973).



شکل ۵- ترکیب رنگی نسبتی به صورت ۴/۵ 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 رگه های کربناتی در باختر تصویر است. معدن سرب و روی قنات مروان (b) و کانسارهای مس هاراران (a) و پی نگین (c) بر روی مناطق دگرسان قرار گرفته اند.



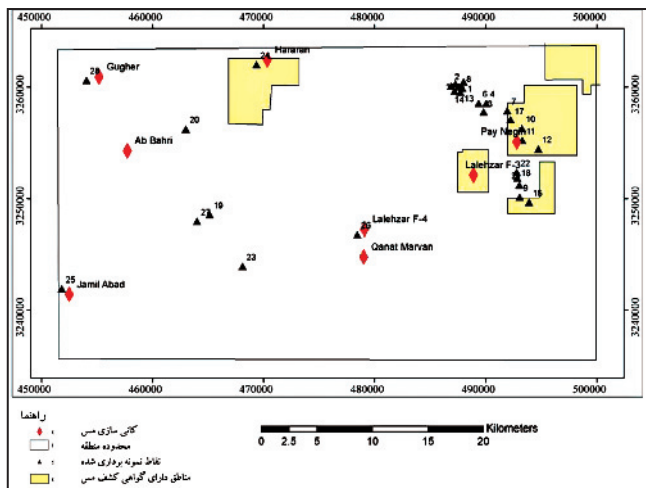
شکل ۴- تصویر ترکیب رنگی نسبتی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ از باندهای سنجنده استر. مناطق دگرسان شده با پیکسل های روشن در خاور، شمال مرکز و باختر تصویر، و در اطراف آنها کانی های زون پروپلیتیک با رنگ سبز دیده می شوند. در مجموعه افولیتی دگرسانی هایی مانند ساسوراتی شدن، سرپانتینی شدن و وجود کلریت که طیف های مشابهی در محدوده باندهای استر دارند، با رنگ سبز پسته ای مشخص شده اند.



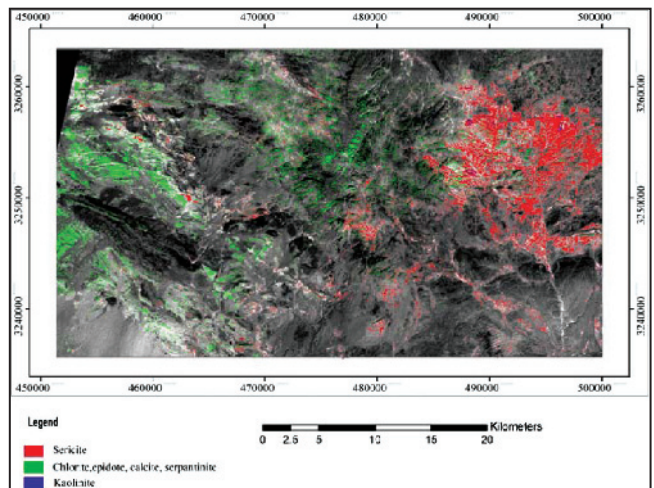
شکل ۶- تصویر ترکیب دروغین رنگی (PC2, PC3, -PC4). منطقه a بر روی دگرسانی های منطقه و منطقه b بر روی مجموعه افولیتی قرار گرفته است. در این تصویر رگه های کربناتی نسبت به دگرسانی های منطقه تیره تر دیده می شوند.

جدول ۱- نتایج تجزیه مؤلفه های 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

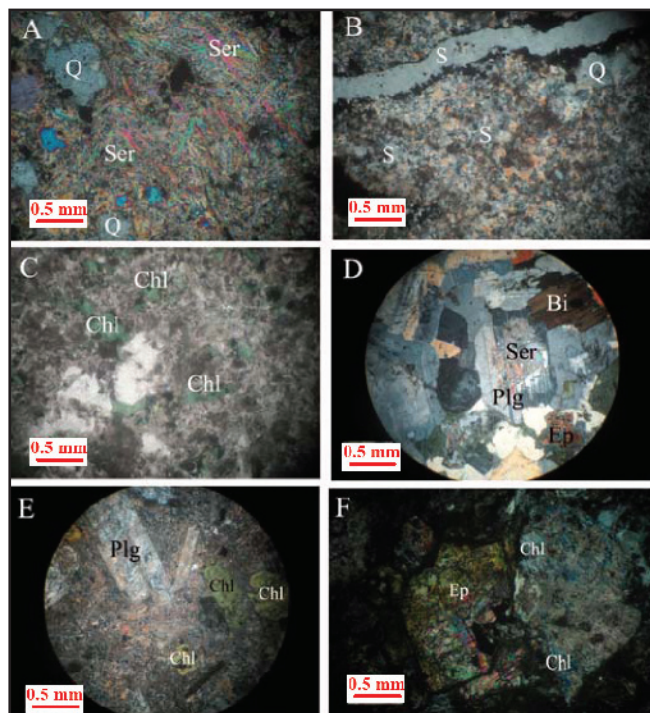


شکل ۸- نقشه مناطق نمونه برداری شده، کانی سازی مس گزارش شده توسط سازمان زمین شناسی و مناطق دارای گواهی کشف مس در سازمان صنایع و معادن استان کرمان. کانسارهای حراران، پی نگین، لالهزار ۳ و لالهزار ۴ از نوع پورفیری هستند. نوع کانسارها در شکل ۲ نیز نمایش داده شده است.



شکل ۷- نقشه برداری از کانی های محدوده های دگرسانی با استفاده از روش نقشه برداری زاویه طیفی.





شکل ۹-۱۰ (A) دگرسانی فیلک 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 فیلک همراه با گوتیت و ژاروسیت در سطح سنگ (اطراف نقطه ۴ در شکل ۸). (D) همبری دگرسانی فیلک (phyllic) و پروپلیتیک (Prop). (E) رخنمونی از دگرسانی فیلک 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 کمر بند 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.