

پردازش داده‌های ماهواره‌ای در تعیین نواحی زون‌های کانه‌زایی و دگرسانی کانسار آنتیموان چوپان، خراسان جنوبی

علی نخبه‌القهایی^۱، مهرداد بهزادی^۲، محمد یزدی^۳، علی بیاتانی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴- کارشناس زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

اندیس معدنی چوپان در قسمت شمالی بلوک لوت واقع در خراسان جنوبی به عنوان بخشی از ایران مرکزی محسوب شده و عمده سنگ‌های منطقه را سنگ‌های آتشفشانی سری تولوئیتی با جنس داسیت پورفیری و آندزیت تشکیل می‌دهند. فراوانی آندزیت‌ها و نوع سری ماگمایی این سنگ‌ها و نمودارهای پتروژنیک، تشکیل سنگ‌های این منطقه را در یک زون فرورانش تایید می‌کند. کانی اصلی تشکیل دهنده رگه‌های معدنی کانی‌های گروه استیبیکونیت می‌باشد و کانی‌هایی مثل اسفالریت، ارسنوپیریت، پیریت، پیرولولوزیت، هماتیت و رامزدلیت آن را همراهی می‌کنند. دگرسانی سریسیتی در بیشتر مناطق، کانه‌زایی را همراهی می‌کند. علاوه بر آن دگرسانی آرژیلیتی، پروپیلیتی و کربناتی در منطقه به چشم می‌خورد. گسل‌های منطقه نقش مهمی در کانه‌زایی و دگرسانی همراه آن‌ها ایفا کرده‌اند. در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای تصاویر سنجنده‌های (ASTER و ETM+) جهت مطالعه مناطق دگرسانی و تهیه نقشه‌های دگرسانی به خوبی استفاده گردید. استفاده از تکنیک کروسا و تصاویر نسبی بر روی تصاویر ETM+ و استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری باندهای جذب نسبی (RBD) و فیلترگذاری تطبیقی (MF) بر روی داده‌های ASTER، بهترین نتایج را جهت تمایز مناطق دگرسانی بدست داد. در این سنجنده همچنین تصاویر ترکیب رنگی نیز توسط فاکتور شاخص بهینه (OIF) از مولفه‌های اصلی و باندهای SWIR و VNIR برای تمایز سنگ میزبان از مناطق دگرسانی تهیه شد. نتایج حاصل از این پردازش انطباق خوبی با مشاهدات صحرایی دارد. تلفیق نتایج حاصل از این پردازش با نقشه‌های زمین‌شناسی و مشاهدات صحرایی منجر به شناسایی و وسعت محدوده اکتشافی در محدوده معدنی چوپان و مناطق همجوار گردید. در این تحقیق با توجه به اهمیت و همراهی ساختارهای خطی با کانه‌زایی و دگرسانی، این ساختارها نیز از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید.

واژه‌های کلیدی: اپی‌ترمال، دگرسانی، کانه‌زایی آنتیموان، خراسان جنوبی

مقدمه

نقشه‌برداری پیشرفته انواع مختلف سنگ‌ها با استفاده از داده‌های دورسنجی ابر طیفی و چند طیفی یکی از مهمترین هدف‌های پژوهش و تحقیق در زمین‌شناسی است. سنگ‌های دگرسان شده گرمایی از یک سو به دلیل نمایان ساختن پتانسیل معدنی و از سوی دیگر به دلیل خصوصیات مناسب برای انجام تحقیقات دور سنجی هدف بسیاری از مطالعات قرار گرفته‌اند. در سال ۱۹۹۹ میلادی ماهواره لندست با سنجنده (ETM\ Enhanced Thematic Mapper) در مدار زمین قرار گرفت که قابلیت برداشت اطلاعات در طول موج‌های نزدیک مادون قرمز VNIR و امواج کوتاه مادون قرمز SWIR را دارد. قدرت تفکیک مکانی این ماهواره در محدوده ۳۰ متر برای باندهای مادون قرمز، ۶۰ متر برای باندهای مادون قرمز حرارتی و ۱۵ متر برای باندهای پانکروماتیک است. ماهواره ASTER مخصوص مطالعات زمین‌شناسی و منابع طبیعی با ۱۴ باندهای اطلاعاتی در سال ۱۹۹۹ توسط آمریکا- ژاپن در مدار زمین قرار گرفت. تصاویر این ماهواره دارای قدرت تفکیک ۱۵ متر برای باندهای VNIR، ۳۰ متر برای باندهای SWIR و ۹۰ متر برای باندهای حرارتی است و از کیفیت بسیار خوبی برخوردارند. مقاله حاضر نتایج حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌های ETM و ASTER در مناطق تحت پی جویی شامل: روش‌های تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، تصاویر نسبتی (RBD/ Relative Band- Absorption Depth)،

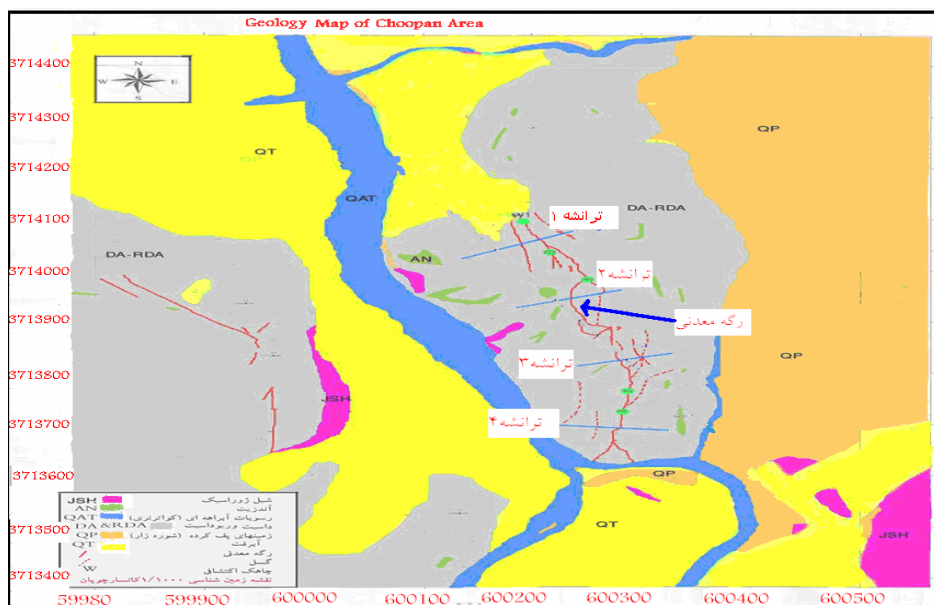
شاخص بهینه (OIF/ optimum Index Factor)، فیلترگذاری تطبیقی (MF/ Matched Filtering) و اعمال فیلترهای مناسب جهت بارزسازی روند شکستگی‌ها و رگه‌های احتمالی است. با تلفیق نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، پترولوژیکی سعی دارد که مناطق دارای بالقوه کانی‌دار رگه‌ای را در ورای منطقه آنتیموان‌دار چوپان با توجه به نحوه قرارگیری دگرسانی‌ها و کانه‌زایی‌های شناخته شده و همراهی آنها با شکستگی‌های دارای روندهای غالب، جهت تمرکز اکتشافات بعدی معرفی کند. لازم به ذکر است که این منطقه دارای آب و هوای خشک و پوشش گیاهی و خاک اندک است، بنابراین استفاده از دورسنجی در این منطقه برای اکتشاف کانسارها بسیار مناسب است.

زمین‌شناسی و کانی‌زایی منطقه

اندیس معدنی چوپان در قسمت شمالی بلوک لوت، در ایران مرکزی قرار دارد و بلوک لوت بخشی از شرق ایران است که بین زون فلیش و بلوک طبس قرار گرفته است. سخت‌شدگی این بلوک را به سخت‌شدگی و فشردگی سنگ دگرگونی آن نسبت می‌دهند که در اثر کوهزایی فاز کیمبرین پیشین در تریاس میانی پدید آمده است. محدوده معدن مورد نظر در نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ بشرویه و ۱/۱۰۰۰۰۰۰ آیسک قرار گرفته است. قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که در اندیس چوپان رخنمون دارند سازند شمشک با سن بازوسین پسین که بیشتر شامل شیل، ماسه سنگ و سیلتستون است. سنگ‌های آذرین منطقه

روی مقاطع صیقلی مشخص گردید که بر خلاف کانسارهای معروف آنتیموان ایران که از نوع کانه‌زایی سولفیدی می‌باشند و کانی اصلی آنتیموان‌دار در آنها از نوع استینیت است، در این کانسار کانه‌زایی آنتیموان از نوع اکسیدی و کانی اصلی آنتیموان‌دار استیبیکونیت $Sb_2O_6(OH)$ (Stibiconite)، است. همچنین شواهد بافتی و نوع کانی‌سازی گواهی بر کانی‌سازی نوع اپی ترمال سوپرژن است که برای اولین بار در ایران مشاهده می‌شود (علاوه بر حضور کانی‌ها به صورت هیدروکسیدی- سولفیدی غنی‌شدگی آنتیموان نیز مشاهده می‌شود) [۳]. دیگر کانی‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت، ارسنوپیریت، اسفالریت، سینابر، استینیت، پیرولوزیت، مگنتیت و اکسیدهای ثانویه آهن است. در کانسار چوپان بافت جانشینی مهم و گسترده نیست و نسبت به بافت پرکننده فضای خالی اهمیت چندانی ندارد.

چوپان در گروه سری‌های آتشفشانی اواخر ائوسن قرار می‌گیرد. بر اساس مشاهدات صحرایی، مطالعه مقاطع نازک و نمودار طبقه‌بندی ژئوشیمیایی و نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی ترسیم شده برای منطقه، سنگ‌های ناحیه شامل سنگ‌های داسیتی، ریوداسیتی و آندزیتی بازالتی هستند [۳]. رگه‌های معدنی در زون معدنی چوپان در کنترل گسل‌هایی با روند N15W نقش دارند، که در داخل داسیت‌های پورفیری قرار گرفته‌اند (تصویر ۱). با توجه به مشاهدات صحرایی، مطالعات ژئوشیمیایی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای رگه اصلی در قسمت شمال رگه اصلی تا مسافت زیادی امتداد دارد که احتمالاً اکنون در زیر آبرفت مدفون است [۳] (شکل ۱۳). ۱۵ نمونه از رگه اصلی و مغزه‌ها و همچنین سنگ‌های باطله مورد تجزیه به روش (XRD)\X-Ray-diffractomerty قرار گرفتند که در نهایت با تلفیق نتایج حاصل از مطالعه بر



شکل ۱- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰ کانسار چوپان با تغییرات [۳].

سنگ‌شناسی

بر اساس مطالعات پتروگرافی سنگ‌های مورد نظر همگی دارای بافت پورفیری می‌باشند که دچار دگرسانی سریسیتی، کربناتی، آرژیلیتی و اوپاسیتی شده‌اند. درشت بلورها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکویت، کانی‌های تیره و مقدار کمی آمفیبول می‌باشند. زمینه نیز عمدتاً از کوارتز و پلاژیوکلاز تشکیل شده است که اکثراً به کانی‌های ثانویه تجزیه شده‌اند. مهم‌ترین درشت بلور موجود در سنگ‌ها پلاژیوکلاز است که اغلب منطقه‌بندی نوسانی را نشان می‌دهد و به صورت شکل‌دار است و غالباً به کانی‌های ثانویه مثل سریسیت، کانی‌های رسی و کانی‌های تیره دگرسان شده است. کوارتزها دارای بافت خلیجی می‌باشند که نشانه عدم تعادل با مذاب است. بیوتیت‌ها نیز نیمه شکل‌دار و به دگرسانی کلریتی دچار شده‌اند. در مقاطع نازک بیشتر سنگ‌ها داسیت پورفیری تشخیص داده شدند. دیاگرام‌های عنکبوتی نشان می‌دهند که این سنگ‌ها نسبت به گوشته و کندریت‌ها از عناصر کمیاب غنی شده‌اند و به احتمال زیاد دلیل این امر آرایش ماگما با پوسته قاره‌ای بوده است. بر اساس مطالعات پترولوژیکی در منطقه، بیشتر نمونه‌ها در محدوده کمان آتش‌فشانی قرار می‌گیرند [۳].

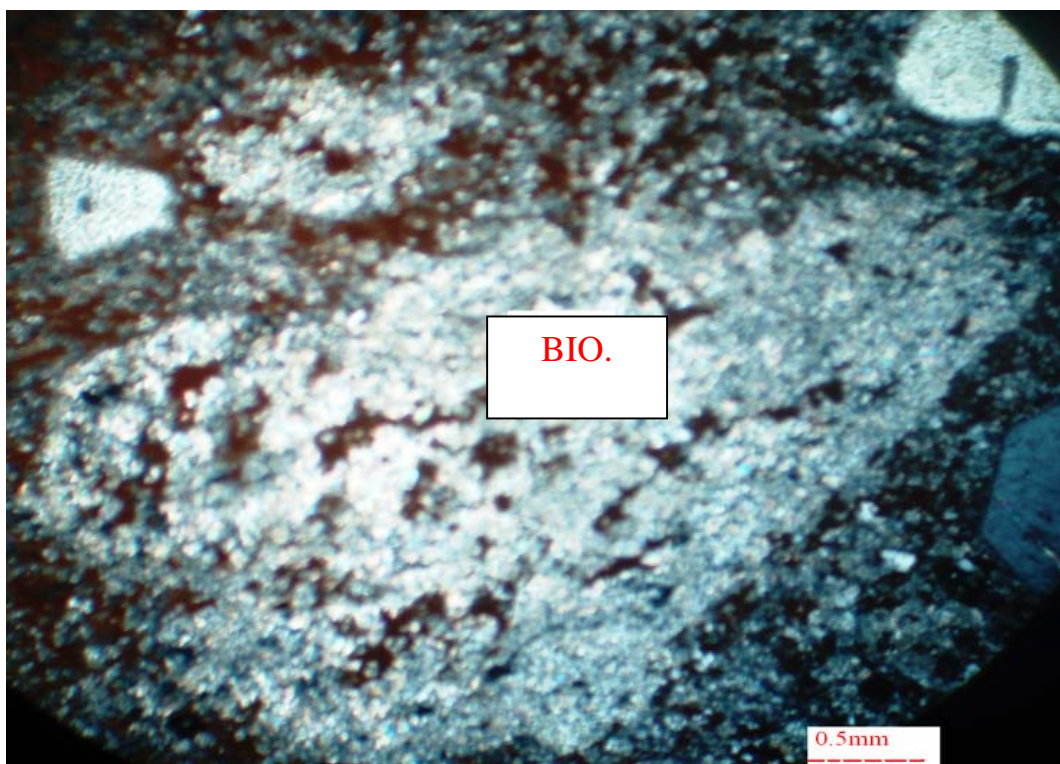
دگرسانی

بر اساس مطالعه ۵ نمونه از نتایج تجزیه (XRD) بر روی سنگ‌های دگرسان شده کانسار چوپان، مطالعات صحرائی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای و

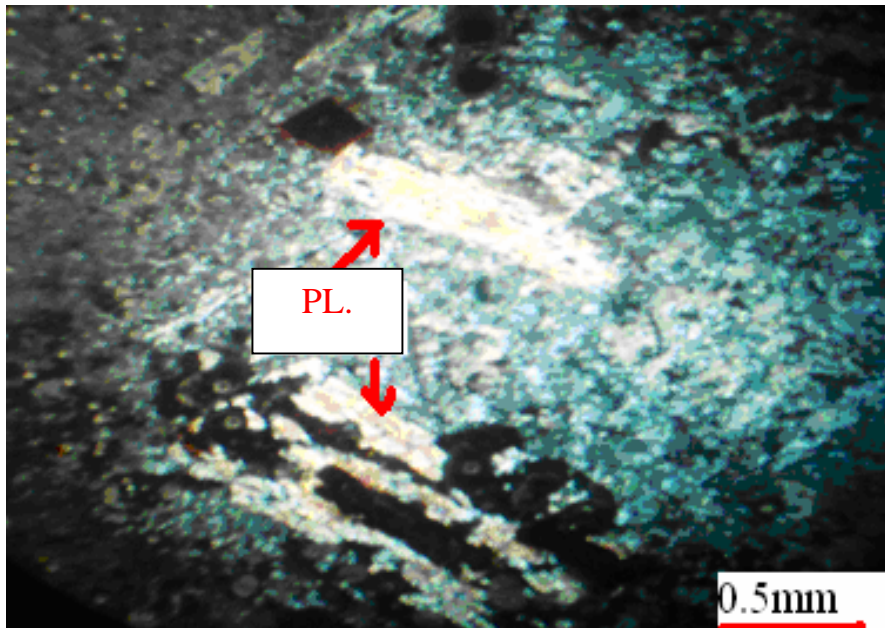
مقاطع نازک، دگرسانی در منطقه چوپان گسترده بوده و شامل انواع سریسیتی، آرژیلیتی و پروپیلیتی است. گسترده‌ترین و نزدیک‌ترین دگرسانی به رگه‌های معدنی دگرسانی سریسیتیک است، این نوع دگرسانی تقریباً در تمام مقاطع نازک کانسار مورد مطالعه شناسایی گردید، به طوری که اکثر کانی‌های اصلی مانند، بیوتیت و پلاژیوکلاز به این نوع دگرسانی دچار شده بودند (تصاویر ۲ و ۳). مشاهده مغزه‌ها نیز نشان از ادامه داشتن این دگرسانی در امتداد عمودی تا عمق قابل توجه دارد. در ضمن نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نیز حکایت از گستردگی این دگرسانی در یک منطقه وسیع می‌باشد. کانی‌های مهم این دگرسانی در چوپان شامل سریسیت، کوارتز، کائولن و پیریت است. با توجه به اینکه رشد سریسیت نیازمند وجود محلول‌های سرشار آب و پتاسیم است به نظر می‌رسد چنین شرایطی در منطقه نیز فراهم بوده است و شدت دگرسانی خود شاهده‌ی بر این ادعا است. با توجه به موقعیت این دگرسانی که رگه معدنی را همراهی می‌کند می‌توان از آن برای پی‌جویی دیگر مناطق امید بخش بهره گرفت. دگرسانی آرژیلیکی در کانسار چوپان با فراوانی کائولینیت و ایلیت مشخص می‌شود که در تجزیه با دستگاه XRD و تصاویر حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای نیز به خوبی شناسایی شدند. با توجه به فراوانی ایلیت در کانسار چوپان و از آن جا که محدوده‌های پایداری حرارتی ایلیت از ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است، می‌تواند به عنوان یک زمین‌دماسنج اثرات حرارتی پیشرونده

کانی‌هایی مثل کلسیت، آنکرایت و دولومیت اشاره کرد. همچنین دگرسانی بر روی کانی‌های منطقه به خصوص پیریت سبب تبدیل آن به اکسیدهای آهن مثل هماتیت و گوتیت شده است. دگرسانی سیلیسی نیز با کانی‌سازی همراه بوده و منطبق بر زون‌های گسلی می‌باشد. در کل دگرسانی در منطقه چوپان از نظر شدت بسیار شدید است و در بسیاری موارد سنگ نخستین به طور کامل تغییر کرده است و بسیاری از کانی‌ها به وسیله کانی‌های دیگر جانشین شده‌اند و زمینه‌ای کاملاً میکروکریستالین و در مواردی کریپتوکریستالین به خود گرفته‌اند. نظم دگرسانی‌ها قابل شناسایی است و از آن‌ها می‌توان برای پی‌جویی بهره‌برداری کرد.

مورد استفاده قرار گیرد. در درجه حرارت بیش از ۳۰۰ درجه، موسکویت از ایلیت ایجاد می‌شود. ایلیت در حضور سیالات اسیدی ضعیف (غنی از CO₂) تشکیل می‌شود [۱]. به نظر می‌رسد شرایط بالا در منطقه مورد مطالعه نیز حکمفرما بوده است. مهم‌ترین کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک در کانسار چوپان آلپیت، کلریت و کلسیت هستند که در تجزیه (XRD) شناسایی شدند و بیرونی‌ترین و کمترین بخش دگرسانی را در کانسار چوپان می‌سازد. این نوع دگرسانی بیشتر حاصل دخالت و غلبه آب‌های جوی است و در نسبت پایین سنگ/آب پدید می‌آید. از دیگر دگرسانی‌های منطقه می‌توان به دگرسانی کربناتی با وفور



شکل ۲ - نمونه S-CH-P9؛ سمت راست: یک بلور درشت بیوتیت در داسیت پورفیری که کاملاً به اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی تجزیه شده است. زمینه سنگ نیز دگرسانی شدیدی را متحمل شده است. XPL، ۸×۴



شکل ۳- نمونه S-CH-P8؛ سمت چپ: بلورهای پلاژیوکلاز که در امتداد رخ ها تجزیه شده‌اند، (زمینه از کوارتز و فلدسپار با دگرسانی رسی) در یک داسیت پورفیری. بزرگنمایی ۸x، XPL

پردازش داده‌ها تصاویر ماهواره‌ای

منطقه مورد مطالعه بخشی از تصویر توسط سنجنده نقشه بردار موضوعی یا تصویر ماهواره‌ای با شماره گذر ۱۶۰ و ردیف ۳۷ می‌باشد. این تصاویر توسط سنجنده نقشه بردار موضوعی یا (ETM \ Enhanced Thematic Mapper) فضایی‌های لندست ۷ که در تاریخ ۲۰۰۲/۲/۳۰ اخذ شده بود و سنجنده Aster با مشخصات زیر {AST_L1B#003_06292000071036_120 52002132806.hdf} که در تاریخ ۲۰۰۲/۱۲/۰۵ اخذ شده بود، است [۳].

تصحیح تصاویر

اطلاعات ماهواره‌ای در ابتدا دارای خطاهای مختلف هندسی و رادیومتری هستند که متاثر از وضعیت ماهواره، سنجنده، شرایط جوی، خطاهای

هنگام ثبت، انتقال اطلاعات و دیگر موارد ناشی از آن می‌باشد. الف: خطاهای هندسی از تغییرات سرعت حرکت ماهواره، تغییر وضعیت تعادلی آن، تغییر ارتفاع ماهواره و خطاهای سیستم سنجنده به وجود می‌آیند. ب: خطاهای رادیومتری بر اثر عوامل جوی در مسیر انعکاس امواج، خطاهای اپتیکی، موارد مربوط به صفحه حساس دوربین و غیره ناشی می‌شوند. لذا اولین گام از روند پردازش داده‌ها حذف خطاها، پارازیت‌ها و اعوجاج‌های هندسی است که در هنگام برداشت، ثبت و انتقال داده‌ها صورت می‌گیرد. تا در نهایت تصاویری که با واقعیات سطح زمین انطباق بیشتری دارند را جهت پردازش داده‌های اصلی ایجاد کنند. مهمترین تصحیحات عبارتند از تصحیح هندسی، تصحیح خطی، تصحیح غیر خطی، تصحیح اتمسفری و

فیلتر کردن پارازیت‌های اتفاقی است [۲]. بعد از این مرحله است که با استفاده از تکنیک‌های معمول پردازش تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از کامپیوتر سه نوع نقشه موضوعی واحدهای لیتولوژیکی، نقشه شکستگی‌ها و گسل‌ها و نقشه دگرسانی‌های گرمایی استخراج می‌شود که در ادامه درباره نحوه استخراج و پردازش های صورت گرفته بر روی تصاویر بحث خواهد شد (شکل ۴).

استخراج واحدهای سنگی با تکنیک فاکتور شاخص بهینه (OIF)، از تصاویر ASTER

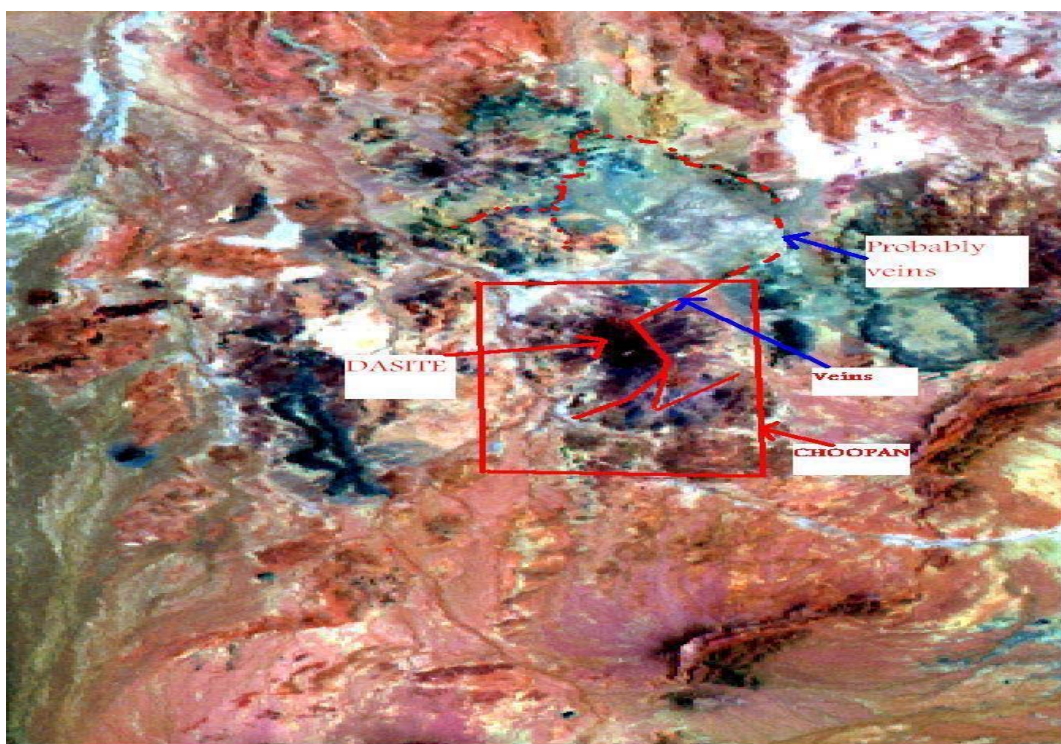
همان طور که ذکر شد اکثر رگه‌های کانه‌دار در منطقه چوپان در واحد داسیت پورفیری قرار دارند. بدین جهت شناخت توزیع این نوع سنگ‌ها و گونه‌های حد واسط آنها در ورای منطقه مورد مطالعه جهت یافتن نقاط امید بخش بسیار سودمند است. تهیه نقشه واحدهای سنگی بر این اصل استوار است که هر گروه از سنگ‌ها، به واسطه انعکاس نوری مخصوص به خود، مشخصه نوری خاصی را از خود بروز می‌دهند و بدین ترتیب قابل تمایز از سایر گروه‌ها هستند. در این تحقیق تکنیکی که در منطقه مورد مطالعه بهتر توانست واحدهای سنگی را از هم متمایز کند تکنیک فاکتور شاخص بهینه (OIF/optimum Index Factor) است. این تکنیک اولین بار برای طبقه‌بندی ترکیب G-B-R باندها، نسبت باندها و مولفه‌های اصلی استفاده شد [5]. اساس کار بر مبنای مقدار بزرگی همبستگی بین باندها و واریانس کل در هر باند مجزا می‌باشد. ترکیب رنگی ایجاد شده به این روش حاوی بیشترین اطلاعات همراه با کمترین

تکرار، ارزیابی آماری و کاهش زمان لازم برای تحلیل چشمی تعداد زیادی ترکیب رنگی است. محاسبه فاکتور شاخص بهینه (OIF) برای ایجاد تصویر رنگی نشان داد که بهترین ترکیب مربوط به PC3 of PC(5+6+7+8)-PC1 of PC(5+6+7) of PC(5+6+7) می‌باشد. به علت پائین بودن چگالی پوشش گیاهی در منطقه، فاکتور شاخص بهینه برای ایجاد بهترین ترکیب رنگی که قادر به تمایز سنگ‌ها باشد، ترکیب ۲-۱-۵ داده‌های LIB می‌باشد. به این ترتیب ذخیره آنتیموان اپی ترمال چوپان و مناطق اطراف آن همچنین سنگ‌های میزبان‌شان شامل آندزیت-بازالت و داسیت و ریولیت به خوبی بارزسازی شدند (شکل ۵).

استخراج مناطق دگرسانی از تصاویر ASTER و

ETM

تفکیک دگرسانی مهمترین فاکتور در انتخاب و پیشنهاد مناطق برای پی جویی‌های بعدی و اکتشاف کانیایی است. از آن جا که کانسارهای رگه‌ای نیز همچون کانسارهای پورفیری دارای الگوی خاص دگرسانی در اطراف خود هستند، لذا فن‌آوری دورسنجی شناسایی و کشف رگه‌های مدفون را امکان‌پذیر می‌سازد. بر این اساس دگرسانی‌ها با اعمال تکنیک‌هایی که ذکر می‌گردد استخراج گردید. جهت انطباق بیشتر و نیز به دست آوردن نتیجه بهتر در این تحقیق از تصاویر اخذ شده بوسیله سنجنده ASTER و ETM که از بخش دورسنجی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده بود استفاده گردید.



شکل ۴- بخشی از تصویر سنجنده ASTER با شماره گذر ۱۶۰ و ردیف ۳۷ که کانسار چوپان را پوشش می دهد.



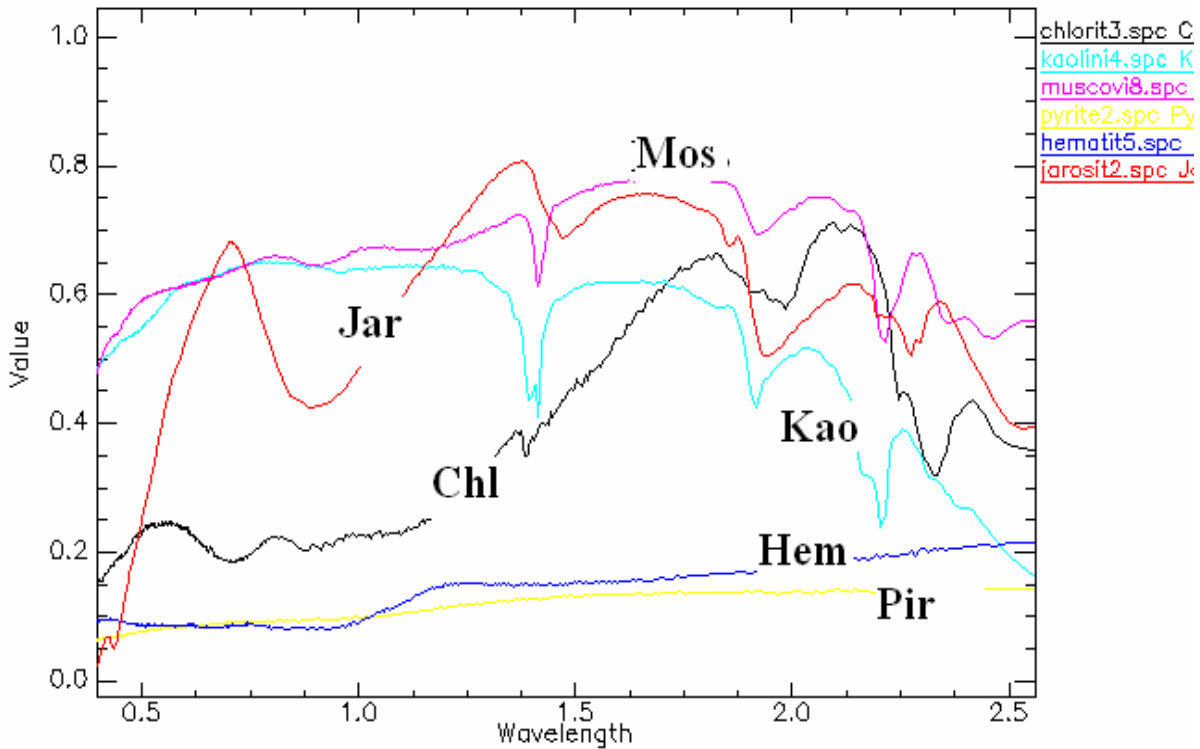
شکل ۵- تفکیک واحدهای مختلف سنگی و دگرسانی با استفاده از روش OIF. که داسیت ها با رنگ ارغوانی مشاهده می شود.

روش نسبتی

نسبت باند بیشترین انعکاس به باند بیشترین جذب، برای بارزسازی و شناسایی کانی‌ها بسیار مفید واقع می‌شوند. در این تحقیق از روش نسبتی به طور جداگانه در بارزسازی دگرسانی‌ها استفاده گردید. در ابتدا نمودار مقدار جذب و تابش کانی‌های به تفکیک برای باندهای ماهواره ASTER در منطقه مورد مطالعه رسم گردید (شکل ۶)، تا محدوده حداکثر جذب و حداقل جذب مشخص شود. با آنکه در منطقه مورد مطالعه پیریت و اکسید آهن به وفور یافت می‌شود، ولی به علت عدم نمایان ساختن حداکثر جذب و انعکاس در طول موج‌های مختلف از پردازش آنها صرف نظر گردید. اما سه کانی شاخص مورد نظر یعنی موسکویت (سریسیت)، کائولینیت و کلریت همان طور که در تصویر مشاهده می‌شود، دارای حداکثر و حداقل جذب بودند. با انجام عملیات آماری، میانگین حسابی، میانه، انحراف معیار، مقادیر ویژه و کوارینانس محاسبه گردید. با داشتن انحراف معیار هر باند میزان کنتراست آن باند و به عبارتی فاصله شدت نور پیکسل‌ها از میانگین تعیین می‌شود. انحراف بالای یک باند، نشانه وضوح و کنتراست بالای آن باند و تاثیر آن در تصاویر نسبتی خواهد بود و در نهایت با برگزیدن سه گانه بهترین باندها، ترکیب رنگی با بیشترین اطلاعات را در فضاهای نمایشی متفاوت می‌توان

ایجاد کرد. در جدول ۲ باندهای ۵،۳،۷ بیشترین انحراف معیار را دارند. لذا در ابتدا از روی این مقادیر روش نسبتی برای منطقه مورد نظر اعمال گردید. همچنین در این پژوهش از چند روش مهم نسبتی دیگر نیز که با استفاده از مناطق شناخته شده در محدوده‌های دیگر به خصوص ذخایر پورفیری که دارای زون‌های دگرسانی مشخص و مشابه نسبت به کانسارهای رگه‌ای اپی ترمال هستند، تصاویر نسبتی مناسب تعیین گردید. همچنین مناطقی مورد نظر گرفته شد که مانند منطقه مورد نظر دارای پوشش گیاهی ناچیز بوده و دارای اقلیم مشابه بودند.

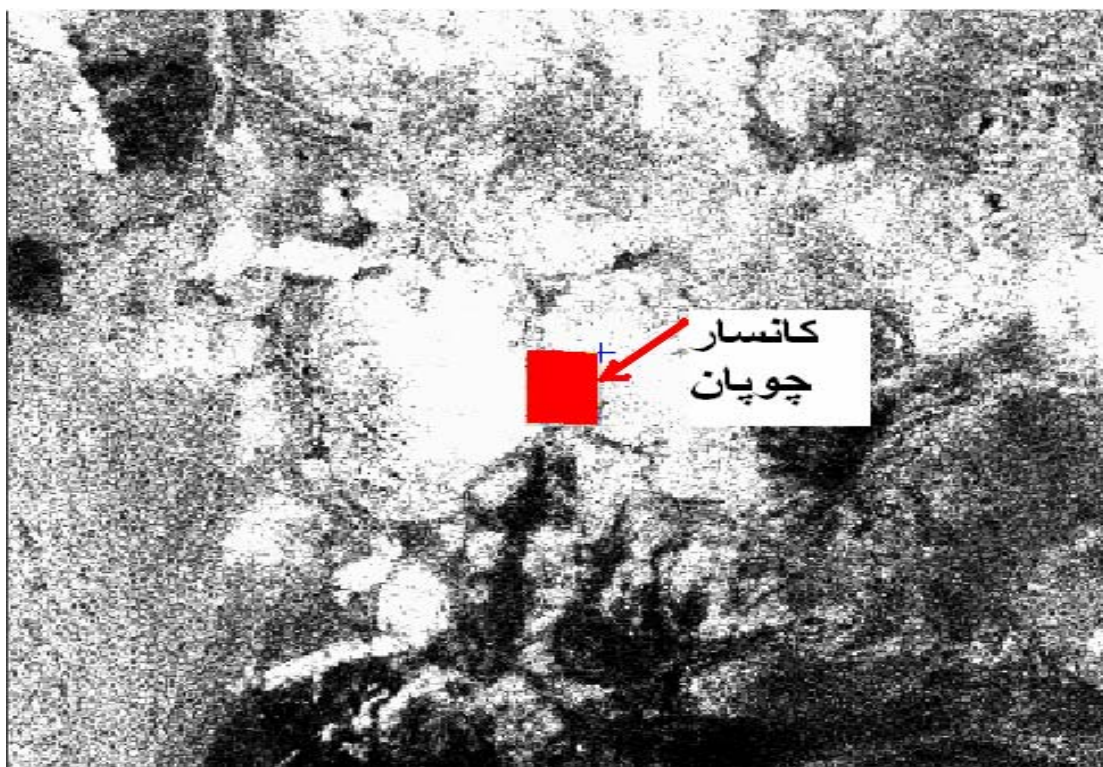
در این تحقیق برای تصاویر ماهواره ASTER از نسبت $7+9/8$ برای بارزسازی کانی‌های کلریت، اپیدوت و کلسیت به عنوان زون دگرسانی پروپیلیتیک، نسبت $4+7/6$ برای بارزسازی کانی‌های کائولینیت و مونتوموریلونیت به عنوان زون دگرسانی آرژیلیک و نسبت $5+7/6$ برای بارزسازی کانی مسکویت به عنوان زون دگرسانی فیلیک به کار گرفته شد که بهترین نتیجه را در برداشت (شکل ۷). در این مرحله تصاویر به صورت سیاه و سفید تهیه شد که نقاط سفید رنگ نشان‌دهنده نقاط دگرسانی در تصویر است. نسبت‌های فوق برای ماهواره ASTER کاربرد دارد و برای سایر ماهواره‌ها، باید متناسب با باند حداکثر جذب و انعکاس انتخاب شوند.



شکل ۶- نمودار مقدار جذب و تابش بدست آمده کانی‌های کائولینیت، موسکویت، هماتیت، پیریت، کلریت و ژاروسیت در محدوده ۰/۵ تا ۲/۵ میلی میکرون به تفکیک برای باندهای ماهواره استر در منطقه مورد مطالعه [۱]

پاسخگوی زون‌های دگرسانی در محدوده مثال زده شده نبود، با استفاده از مناطق شناخته شده در محدوده‌های دیگر که دارای زون‌های دگرسانی مشخصی بودند، تصاویر نسبتی مناسب تعیین گردید (جدول ۲). تصاویر نسبتی به کار برده شده دارای چندین رنگ بسیار واضح است. از میان نسبت‌های به دست آمده نسبت: $RGB = [5/2 - 1/4 - 5/7]$ به علت تمایز نواحی کربناته از نواحی رسی و مرزبندی هاله‌ها با واحدهای لیتولوژیکی نسبت مناسب‌تری است (شکل ۹).

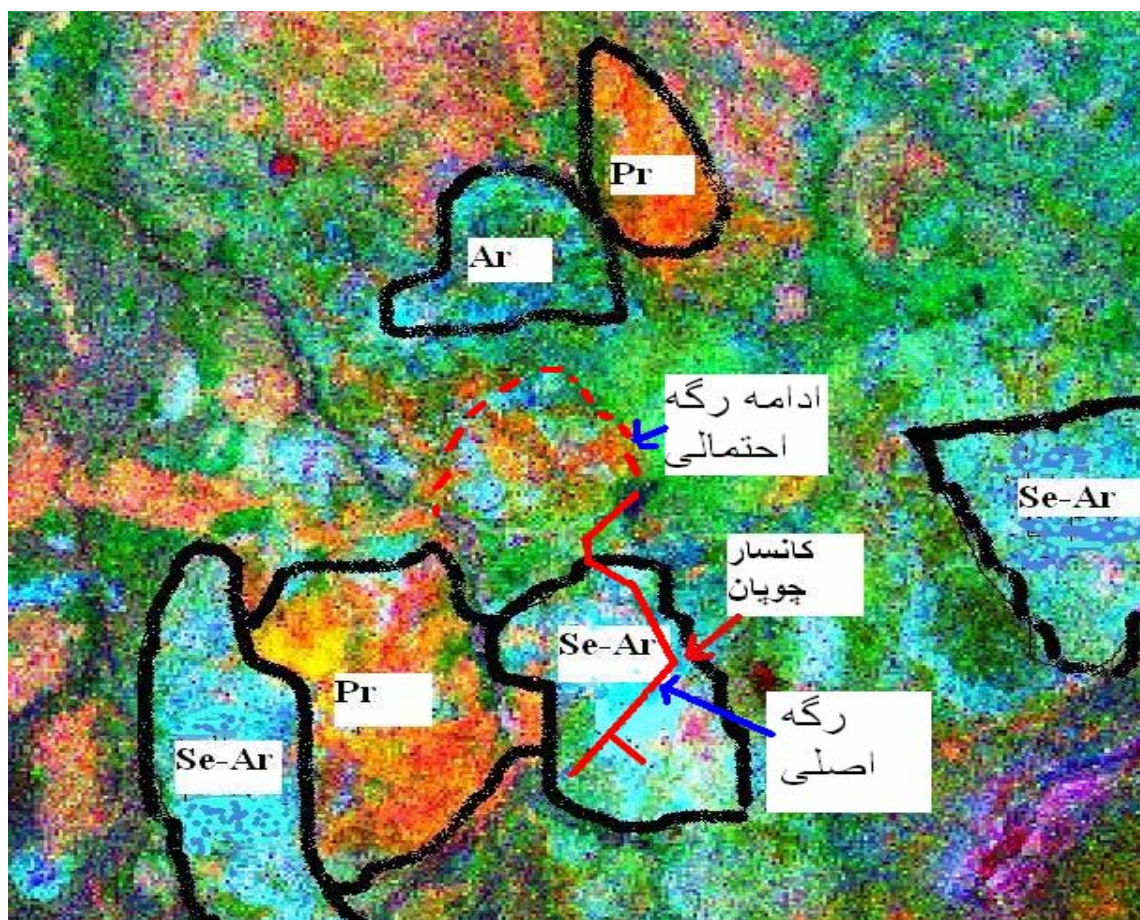
در روش نسبتی به کار برده شده بر روی تصاویر ماهواره لندست ETM در این پژوهش، ابتدا از چند روش مهم نسبتی معروف که تا کنون در همایش‌ها ارائه شده و یا در مجلات به چاپ رسیده بود استفاده گردید (جدول ۱). بهترین نسبت به کار برده شده جهت منطقه مورد مطالعه با استفاده از ستون ۳ (جدول ۱) نسبت $[3/1 - 4/3 - 5/7]$ به دست آمد، چرا که قادر به تمایز بهتر مناطق دگرسانی بود (شکل ۸). از آن جا که روش‌های متداول تصاویر نسبتی به طور کامل



شکل ۷- روش نسبتی بکار برده شده در زون سریسیتی. نسبت ۵+۷/۶ برای بارز سازی کانی مسکویت (نقاط سفید رنگ) به عنوان زون دگرسانی فیلیک به کار گرفته شد. (تصویر سیاه و سفید)

جدول شماره ۱- مقایسه تصاویر نسبتی و تفریقی جهت بارز سازی دگرسانی داده‌های ماهواره لندست TM

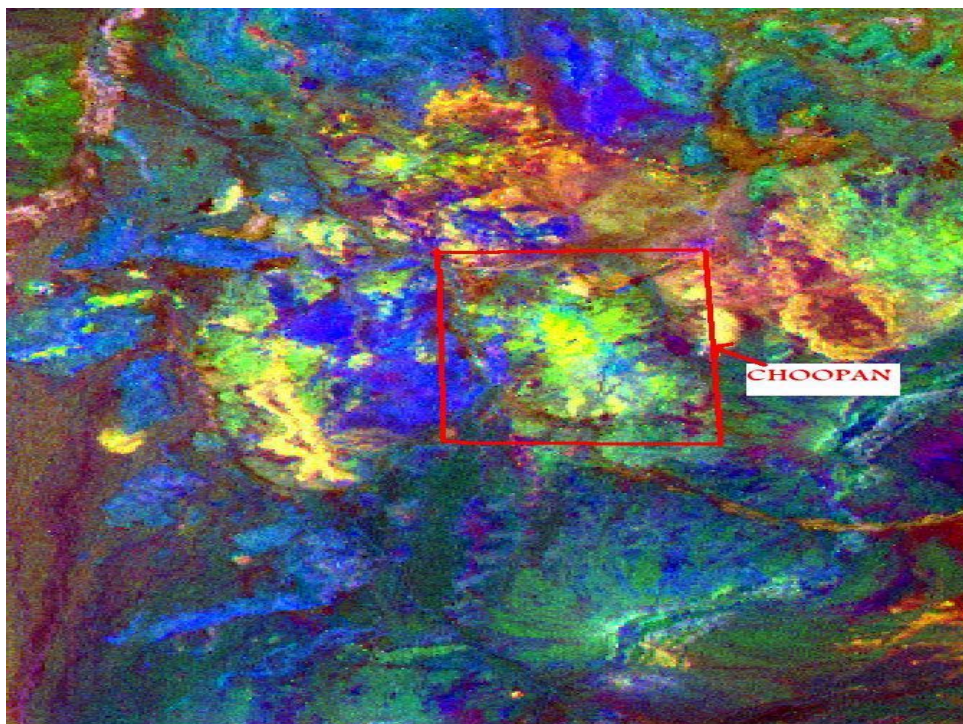
	۱	۲	۳	۴	۵
منطقه	Virginia city (رنر، ۱۹۹۰)	خونیک بلوک لوت (نعیمی، ۱۳۸۱)	جنوب شرق کرمان (نعیمی، ۱۳۸۲)	جنوب شرق کرمان (نعیمی، ۱۳۸۲)	ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ (مروی و کرمی، ۱۳۸۲)
R	۵/۷	۴/۵	۵/۷	۵/۷	۵/۷
G	۵/۴	۳/۱	۴/۳	۴/۲	۴/۲
B	۳/۱	۵/۷	۳/۱	۲/۱	۲/۱



شکل ۸- بارزسازی مناطق دگرسان شده با استفاده از تصاویر نسبتی ETM (با استفاده از ستون ۳، جدول ۱) که تنوع دگرسانی را در منطقه نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود همراه رگه اصلی دگرسانی‌های سریستی و آرژلیکی دیده می‌شود. رگه اصلی تا مسافت زیادی ماورای کانسار چوپان ادامه دارد که در صحرا قابل مشاهده نیست [۳]. Ar = آرژلیک و Ser = سریستیک و Pr = پروپلیتیک.

جدول ۲- نسبت‌های به دست آمده در RGB [۳]

۵/۷	۵/۲	۴/۳	R
۴/۳	۱/۴	۵	G
۴/۷	۵/۷	۵/۷	B
صورتی و نخودی	صورتی، ارغوانی، نارنجی، آبی	آبی فیروزه ای	رنگ
تنوع دگرسانی	تنوع دگرسانی	نواحی دگرسانی	توضیحات



شکل ۹- مناطق دگرسان بر روی تصاویر ماهواره لندست ETM در تصاویر نسبتی (RGB) با استفاده از نسبت $RGB = [5/2 - 1/4 - 5/7]$ (ستون ۲ جدول ۲). مناطق دگرسان شده در این شکل با رنگ های صورتی، ارغوانی، نارنجی و آبی نشان داده شده است [۳]

روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

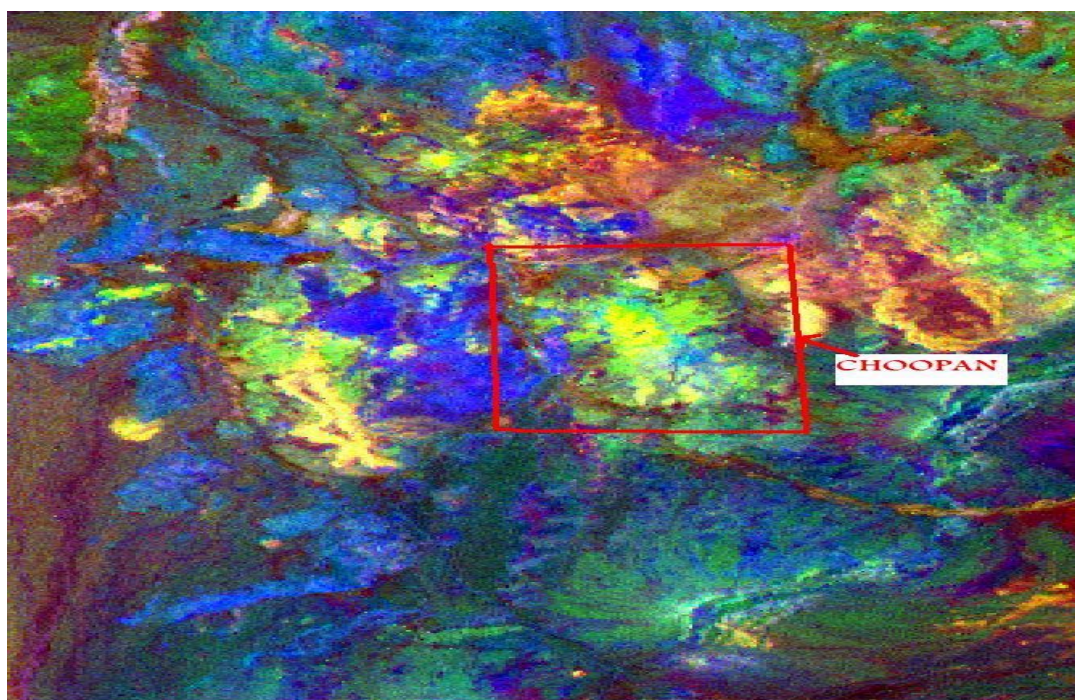
به منظور استفاده از چندین باند اطلاعاتی و کاهش حجم اطلاعات، از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی بهره می‌گیریم چرا که در اثر پدیده همپوشانی بازتاب پدیده‌ها در داده‌های باندهای سنجنده چند طیفی شاهد نوعی تکرار در اطلاعات می‌باشیم و متراکم کردن اطلاعات در تصویر به تفسیر بهتر داده‌های ماهواره‌ای کمک می‌کند. با اندازه‌گیری ماتریس همبستگی می‌توان بیشترین و کمترین همبستگی را مشخص و در انتخاب تجزیه به مولفه‌های اصلی از آن‌ها

استفاده کرد. روش‌های تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی به دو بخش تقسیم می‌شود: روش مولفه‌های اصلی انتخابی یا روش کراستا و روش مولفه‌های استاندارد (PCA استاندارد) [6]. در این تحقیق از روش دوم جهت پردازش و بارزسازی مناطق دگرسانی شده بر روی تصاویر ماهواره لندست ETM استفاده گردید. در این روش از تمامی باندهای اطلاعاتی استفاده می‌شود. در این پژوهش بیشترین همبستگی در باندهای ۱،۲،۳،۵ و ۷ و کمترین همبستگی در باندهای ۱،۴،۵ و ۷ مشاهده می‌شود (جدول ۲). با داشتن این ماتریس‌های همبستگی و با استفاده از این تکنیک، مشخص

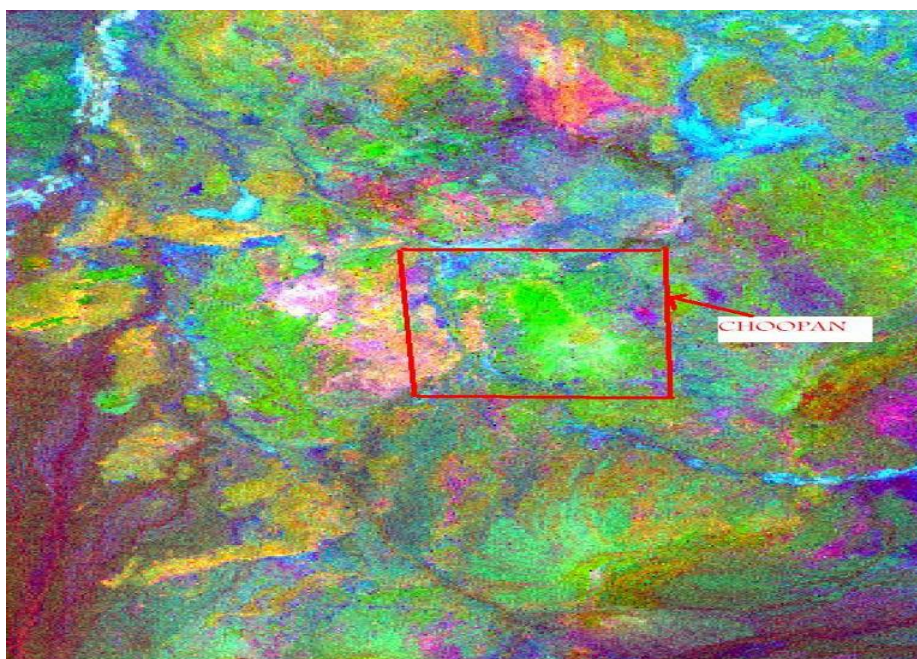
گردید، مولفه‌های اصلی ۳ (PC3) و ۴ (PC4) و نسبت: [۱ - ۳/۷ - ۵/۷ - ۴/۱]، مناطق دگرسان شده را بهتر بارز می‌سازند. طبق جدول ۳ مناطق دگرسان شده در نسبت اول یعنی PC4 (قرمز) PC3 (سبز) و PC3+PC4 (آبی)، به صورت نقاط سفید و سبز فیروزه‌ای در زمینه قرمز (شکل ۱۰) در نسبت دوم، باند ۵/۷ (قرمز) PC4 (سبز) و PC3 (آبی)، به رنگ‌های آبی و نیلی و صورتی و سفید (شکل ۱۱) و در نسبت سوم، PC3 (قرمز)، PC4 (سبز) و باند ۱ (آبی)، مناطق دگرسان شده به صورت نقاط صورتی و نارنجی و نواحی اکسید آهن به رنگ سبز، دیده می‌شود (شکل ۱۲).

جدول ۳- ترکیب تصاویر رنگی حاصل از PCA در منطقه چوپان

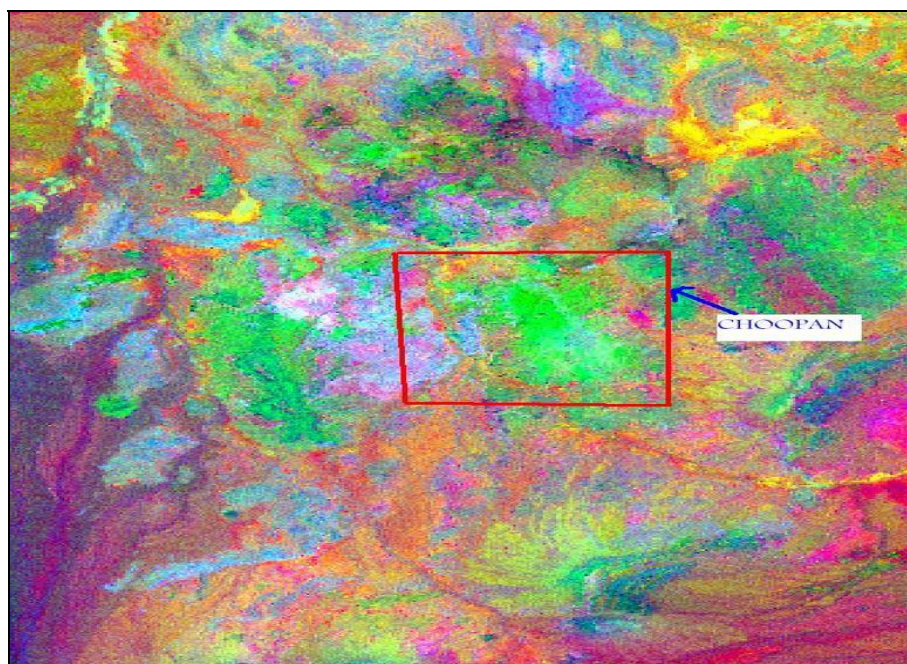
رنگ	۱	۲	۳
R	PC4	۵/۷	PC3
G	PC3	PC4	PC4
B	PC3+PC4	PC3	1



شکل ۱۰- تصویر کاذب رنگی بر روی تصاویر ماهواره لندست ETM در اطراف منطقه چوپان با استفاده از (PCA استاندارد) در نسبت اول (جدول شماره ۳)، مولفه اصلی ۳، ۴ و ۳+۴ که مناطق دگرسان شده به صورت نقاط سفید و سبز و فیروزه‌ای در زمینه قرمز کنار هم تجمع نموده‌اند



شکل ۱۱- تصویر کاذب رنگی بر روی تصاویر ماهواره لندست ETM در اطراف منطقه چوپان (PCA استاندارد) (جدول ۳)، مولفه اصلی ۴، ۵ و باند ۷-۵ که مناطق دگرسان شده به صورت نقاط آبی و نیلی و صورتی و سفید کنار هم تجمع نموده‌اند



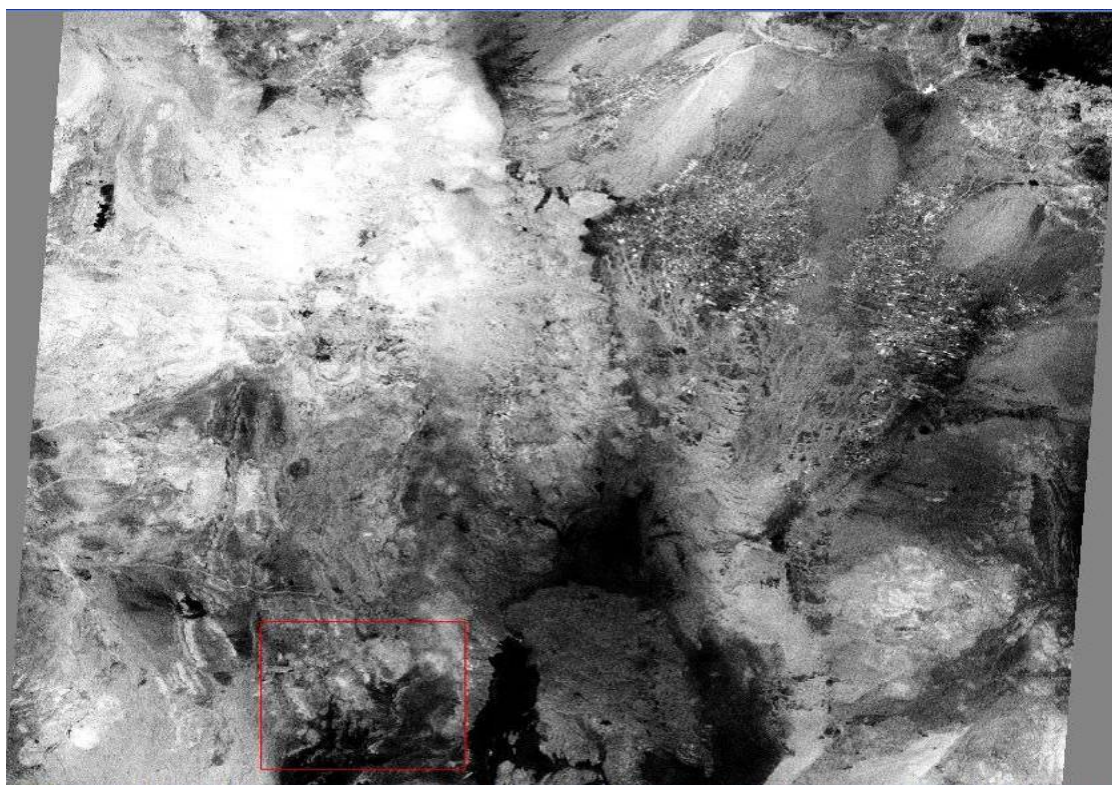
شکل ۱۲- تصویر کاذب رنگی بر روی تصاویر ماهواره لندست ETM در اطراف منطقه چوپان (PCA استاندارد) مولفه اصلی ۴، ۳ و باند ۱ که مناطق دگرسان شده به صورت نقاط صورتی و نارنجی و نواحی اکسید آهن به رنگ سبز دیده می‌شود

فیلترگذاری تطبیقی (Matched Filtering)

این تکنیک بر اساس تطبیق علائم شناخته شده و تکیه بر اعضای انتهایی و شاخص زون‌های دگرسانی بوده و شناخت کلیه اعضای انتهایی الزامی نیست [۴]. برای مثال در این تحقیق عضوهای انتهایی انتخاب شده شامل مسکویت (زون دگرسانی فلیک)، اپیدوت (زون دگرسانی پروپیلیتیک) و کائولینیت (زون دگرسانی آرژیلیک) می باشد. در این تحقیق باندهای ۹ - ۴ سنجنده

ASTER به وسیله (MF/Matched-Filtering)

برای نقشه‌برداری زون‌های دگرسانی بر اساس ویژگی‌های طیفی مورد پردازش قرار گرفتند. ایجاد تصاویر سیاه و سفید از باندهای خروجی مربوط به داده‌های LIB کالیبره شده در منطقه مورد مطالعه نتایج مثبتی در نقشه‌برداری پهنه‌های دگرسانی به دست داده و منجر به تفکیک زون‌های دگرسانی آرژیلیک، فلیک و پروپیلیتیک گردیده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- تفکیک زون سربیسیت (تصاویر روشن) با انتخاب مسکویت بعنوان عضو انتهایی به وسیله اجرای فرایند MF روی داده‌های LIB آستر در منطقه چوپان. محدوده مورد مطالعه درون مربع پایین صفحه مشخص است (تصویر سیاه و سفید).

نتیجه‌گیری

با آنالیز تصاویر لندست ETM و پس از انجام عملیات آماری و تعیین ماتریس همبستگی و تهیه تصویر رنگی از این نسبت‌ها ترکیبات نسبتی: $RGB = [5/2 - 1/4 - 5/7]$ و مولفه‌های اصلی ۳ (PC3) و ۴ (PC4) مناطق دگرسانی را در ناحیه مورد نظر بارزتر می‌کنند. جهت شناسایی نقاط دگرسان شده همچنین با اجرای تکنیک فیلترگذاری تطبیقی (Matched Filtering)، بر روی تصاویر ASTER و تهیه تصاویر خاکستری منجر به بارزسازی کانی‌های کلریت و اپیدوت به عنوان زون دگرسانی پروپیلیتیک، کانی‌های کائولینیت و مونتموریلونیت به عنوان زون دگرسانی آرژلیک و کانی مسکویت به عنوان زون دگرسانی فلیک در منطقه مورد مطالعه گردید. با استفاده از تکنیک فاکتور شاخص بهینه (OIF)، بر روی تصاویر ASTER واحدهای سنگی استخراج شدند. به علت پائین بودن چگالی پوشش گیاهی در منطقه، فاکتور شاخص بهینه برای ایجاد بهترین ترکیب رنگی که قادر به تمایز سنگ‌ها باشد، ترکیب ۲-۱-۶ داده‌های LIB می‌باشد [۳]. در نهایت با استفاده فیلترهای بکار برده شده که برای استخراج شکستگی‌های منطقه استفاده گردید، مشخص گردید غالب شکستگی‌های ناحیه مطالعاتی دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی و یا شمالی- جنوبی می‌باشند. با تلفیق نتایج حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌های ASTER و ETM با مطالعات؛ صحرایی، مقاطع نازک و آزمایش XRD بر روی سنگ‌های دگرسان منطقه

مشخص شد که دگرسانی‌ها در منطقه، گسترش آشکاری دارند و شدت دگرسانی نیز در منطقه بسیار زیاد است. دگرسانی اصلی که همه جا با کانی‌سازی همراه است، دگرسانی سریستی است. دگرسانی‌ها به ترتیب از سمت رگه به بیرون شامل: سیلیسی-پیریتی، فلیک، آرژلیک، پروپیلیتیک (کلریتی) و کلسیتی می‌باشد. فراوانی سریست و گاهی کلریت و نیز حضور دگرسانی سیلیسی از ویژگی‌های ذخایر اپی ترمال است. یعنی همان نتایجی که از مطالعه سیالات درگیر منطقه نیز بدست آمد. از آنجا که هدف اصلی از انجام مطالعات سنجش از دور در منطقه بدست آوردن نواحی امید بخش از وجود احتمالی رگه‌های معدنی با استفاده از بارز سازی دگرسانی‌ها گسل‌های منطقه و تشابه دگرسانی و لیتولوژیکی آن‌ها با منطقه مورد مطالعه بود در نهایت با تلفیق نتایج حاصل از جداسازی واحدهای سنگی، دگرسانی و شکستگی‌ها و بهره‌گیری از سایر داده‌های موجود و از همه مهم‌تر کنترل‌های صحرایی مشخص گردید که منطقه شمال رگه اصلی کانسار چوپان تا کیلومترها ادامه می‌یابد که در روی زمین قابل رویت نیست. همچنین در روی نقشه می‌توان نواحی مشابهی که از نظر سنگ شناسی و دگرسانی مشابه منطقه چوپان است نیز مشاهده کرد که جهت اکتشافات آینده از آن‌ها می‌توان بهره برد.

منابع

نقشه‌برداری زون‌های دگرسانی ذخایر مس پورفیری،
مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران،
دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۴۰۴ - ۴۱۳.

5-Chavez, P. S., Gupti L. S. and Bowell
1. A., 1984, Image Processing Techniques
for Thematic Mapper Data. American
Society of Photogrammetry. 728-743.

6-Crosta, A.P., and Moore, 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,
Proceeding of the 7th ERIM thematic
conference: remote sensing for exploration
geology, p. 1173- 1187.

۱- زراسوندی، علیرضا، (۱۳۸۶)، (ترجمه)، اطلس
دگرسانی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۱۱۹.

۲- کریم پور، محمد؛ ملک زاده، آ؛ حیدریان، م، (۱۳۸۴)،
اکتشاف مواد معدنی (مدل‌های زمین‌شناسی. ژئوشیمی.
ماهواره‌ای. ژئوفیزیکی)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد،
ص ۶۳۶.

۳- نخبه‌الفقهای، علی، (۱۳۸۷)، ژئوشیمی، کانی‌شناسی و
ژئو اندیس معدنی آنتیموان - طلای چوپان واقع در شوراب
فردوس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی،
ص ۱۲۸.

۴- هاشمی تنگستانی، مظفر، (۱۳۸۴)، پردازش طیفی
پیشرفته داده‌های VNIR و SWIR سنجنده استر در