



IRANIAN SOCIETY of
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

No. 2, 1386/2007 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL of
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

Application of ETM⁺ image in detecting alteration halos and discriminating lithological units in Mianeh (east- Azarbayjan)

M.J.Mohammadzadeh, R.Falahat

Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz
Email: mj_mohammadzadeh@yahoo.com

(Received: 1/5/2006, received in revised form: 17/6/2007)

Abstract: The alkaline and calc-alkaline volcanic activities in Mianeh have reactivated the hydrothermal solutions, resulting in the formation of epithermal mineralization in the region. The mineralized zone trending NW-SE, and has been affected by NE-SW bended and folded structures. The precious and base metals mineralization are confined to structurally bended zone. Landsat-7(ETM⁺) data were used to study the alteration zones, structural features and to discriminate the lithological units in the region. The primary corrections were carried out on the images and the data resampled to 15m. Based on spectral pattern of minerals present in the alteration system, such as chlorite, epidote, kaolinite, jarosite, geotite, hydrothermal alteration zones of the area were detected using band ratio and principle component analysis (PCA) techniques, which also well correlated with field studies. The linear and ring structural features along with lithological units were discriminated based on spectral features of minerals. Ultimately, the study reveals that the application of PCA resulted in enhancement of alteration halos. The field checks have confirmed the achievement and indicate the western part of the area as potentially promising zone.

Keywords: Landsat-7(ETM⁺) image, mineral spectral pattern, hydrothermal alteration, lithological units discrimination, Mianeh region.



شماره ۲، پاییز و زمستان ۸۶، از صفحه ۴۳۹ تا ۴۵۲

مجله
بلورشناسی
و کانی‌شناسی
ایران

کاربرد تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM⁺) در آشکارسازی هاله‌های دگرسانی و جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی در منطقه میانه - آذربایجان شرقی

محمد جعفر محمدزاده، رضا فلاح

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز
پست الکترونیکی: mj_mohammadzadeh@yahoo.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۲/۱۱، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۶/۳/۲۷)

چکیده: فعالیتهای آتشفشانی کالک آلکان و آلکان موجب فعالیت دوباره آبگونیهای کانی‌زا در منطقه میانه و در نتیجه کانی‌سازی وراگرمایی شده است. این زون با روند شمالغربی - جنوب شرقی در منطقه میانه تحت تاثیر ساختارهای شمالشرقی - جنوب غربی دستخوش خمیدگی می‌شود که کانی‌زائی به زون خمشی یاد شده محدود می‌گردد. در راستای مطالعه بهینه هاله‌های دگرسان و ساختارهای منطقه میانه و نیز جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی از داده‌های سنجنده لندست ۷ (ETM⁺) استفاده شد. با اعمال تصحیحات اولیه روی این تصاویر، پس از پردازشهای لازم، قدرت تفکیک مکانی تصاویر از ۳۰ متر به ۱۵ متر افزایش داده شد. براساس الگوهای طیفی کانیهای موجود در سیستمهای دگرسان شده با دو روش نسبتهای باندی و آنالیز مولفه‌های اصلی داده‌های ماهواره‌ای مشخص شد که برآزش خوبی با مطالعات زمین‌شناسی داشتند. براساس الگوی طیفی کانیهای موجود در سنگهای مختلف، نقشه واحدهای سنگی همراه با نقشه ساختارهای خطی و حلقوی منطقه میانه با استفاده از این تصاویر ارائه شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد، که کاربرد روش PCA به ثبت هاله‌های دگرسان گسترده‌تری انجامید. با رویکردی دوباره به نتایج حاصل، بخش غربی منطقه مورد مطالعه به عنوان منطقه‌ای مستعد و امیدوار کننده از نظر ادامه پی جوییهای معدنی معرفی شد. کنترل‌های صحرایی انجام شده، نتایج به دست آمده از هر مرحله را تایید کرده است.

واژه‌های کلیدی: تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ (ETM⁺)، الگوی طیفی کانیها، دگرسانیهای گرمایی، جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی، منطقه میانه.

مقدمه

منطقه مورد بررسی، بخشی از شهرستان میانه است که مساحت آن در حدود ۶۲۵ کیلومتر مربع بوده و در شمال غربی ایران یعنی جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این گستره شامل یک ورقه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ است. شهر میانه با ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا در گوشه شمال شرقی این منطقه قرار دارد و به عنوان بزرگترین آبادی آن محسوب می‌شود. توپوگرافی منطقه در کنار رودخانه‌های قرانقوجای و شهر جای، خشن بوده ولی در مناطق دیگر تقریباً ملایم است. بیشتر رخنمونهای سنگی در کنار رودخانه‌ها و دره‌ها قابل رویت است، ولی در مناطق دیگر با ته نشستهای عهد حاضر پوشیده شده است. منطقه میانه با دارا بودن پتانسیل‌های معدنی متعدد نیاز به یک برنامه پی جویی گستره و کلاسیک دارد. هدف از این پروژه، بررسی تصاویر ماهواره‌ای و دریافت اطلاعات موجود در آن در جهت پی جویی مواد معدنی بوده است. (که می‌توان به تلاشهای محمدزاده و فلاحت [۱]، یکتین [۲]، سابین [۳]، گلیکسون و گریزی [۴]، آن [۵] و کروستا [۶] اشاره کرد) بنابراین اقدام به تهیه داده‌های سنجنده لندست ۷ (ETM⁺)، و از روی آن لایه‌های متعددی (نقشه‌برداری ساختارها، دگرسانیها، و واحدهای سنگی) تهیه شدند. به دلیل پوشش گیاهی کم این منطقه، نتایج ایده‌آلی از تصاویر به دست آمد که منجر به ارائه الگوی بهینه اکتشافی براساس تصاویر ETM⁺ شد.

زمین‌شناسی و متالوژی [کانسارزایی]

منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند فلززایی جهانی آلپ - هیمالیاست که در ایالت یا ناحیه کانسارزایی تیتیس و در کمربند متالوژی [کانسارزایی] ایران - قفقاز قرار گرفته است که خود دربردارنده چندین زون یا حوزه متالوژی [کانسارزایی] است که یکی از آنها زون کانسارزایی میانه - بستان آباد - مرنده و در این زون متالوژی [کانسارزایی]، حوزه مستعد میانه قرار دارد. در این حوزه، سیستمهای ولکانو-پلوتونی متعددی به عنوان فرایند پسین ماگمایی عمل کرده و منجر به کانی‌سازیهایی نفوذ شده است. علاوه بر آن، در این منطقه گرا دیان زمین‌گرایی با ماگماتیسم بازالتی پلیوسن بالا رفته و شرایط هیدروژئولوژی و تکتونو-ماگمایی مناسبی را برای شکل‌گیری سیستمهای گرمایی فراهم ساخته است. چنین میزبانیهایی مناسب کانی‌سازیهایی ورا گرمایی از فلزات گرانبها و مکان مناسبی برای کانسارهای مس، سرب، روی، بر، اورانیوم، توریم، و ... است [۷]. لیتولوژی منطقه میانه بیشتر از واحدهای سنگی آتشفشانی تشکیل یافته است که سیستم آتشفشانی با شکل بیضوی را شامل می‌شود [۸]. تشکیل این سیستم با سنگهای آندزیتی شروع و در اواخر ائوسن به سمت سنگهای آندزیت آنالسیم‌دار تمایل دارد [۹] در مراحل بعدی این سیستم با تشکیل ریولیت، ریوداسیت، و داسیت در منطقه، و نفوذ سنگهای گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت توأم می‌شود. وجود چند مرحله فعالیتهای آتشفشانی در

زمانهای مختلف موجب پیچیدگی، گسل خوردگی، و چین خوردگی سنگهای منطقه شد، ولی رخنمونی از سنگهای نفوذی در منطقه مشاهده نمی‌شود، بلکه وجود آن در لایه‌های زیرین منطقه با داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی اثبات شده است [۷]. واحدهای ته‌نشستی جنوب منطقه شامل کنگلومرا بوده و به سمت شمال و شمال شرق بیشتر حالت ماسه‌سنگی و سیلنی پیدا می‌کنند. شکل (۱) نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد که ربع نقشه زمین‌شناسی منطقه میانه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده از سوی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور است. و در شکل (۲) نقشه تهیه شده در این پروژه ارائه شده است.

تصحیحات هندسی

تصاویر هندسی خام معمولاً دارای چنان واپیچشهای هستند که نمی‌توانند به عنوان نقشه بکار برده شوند [۳]. بنابر این تصحیحات هندسی (که مربوط به واپیچشهای کتره‌ای است) با استفاده از نقشه‌های پایه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران صورت گرفته است.

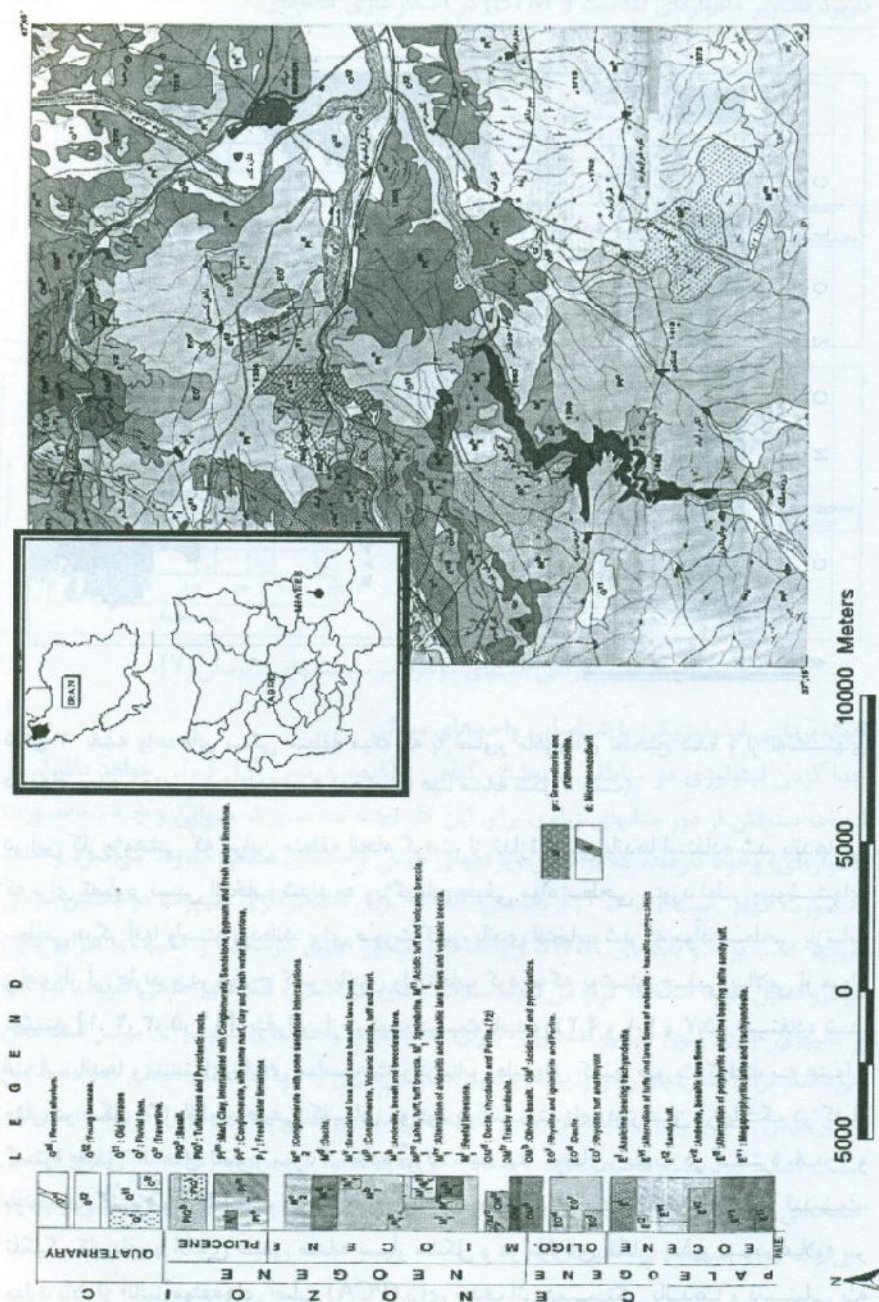
فراگرد جداسازی در جای تصویر (Instantaneous Field of View)

میدان دید لحظه‌ای زاویه‌ای است که با یک آشکارساز، آشکارسازی می‌شود [۳]. با توجه به اینکه داده‌های ETM⁺ دارای ۶ باند ۳۰ متری و یک باند ۱۵ متری هستند، برای افزایش تفکیک مکانی باندهای دیگر از باند بان با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر استفاده شد. در نتیجه ۶ باند چند طیفی با تفکیک مکانی ۳۰ متری به وسیله یک باند با تفکیک مکانی ۱۵ (m) به ۶ باند چند طیفی با تفکیک مکانی ۱۵ (m) (با استفاده از روش PCA) تبدیل شدند (این نتیجه فقط در مطالعاتی که نیازمند به تفکیک مکانی بالاست، مورد استفاده قرار می‌گیرد).

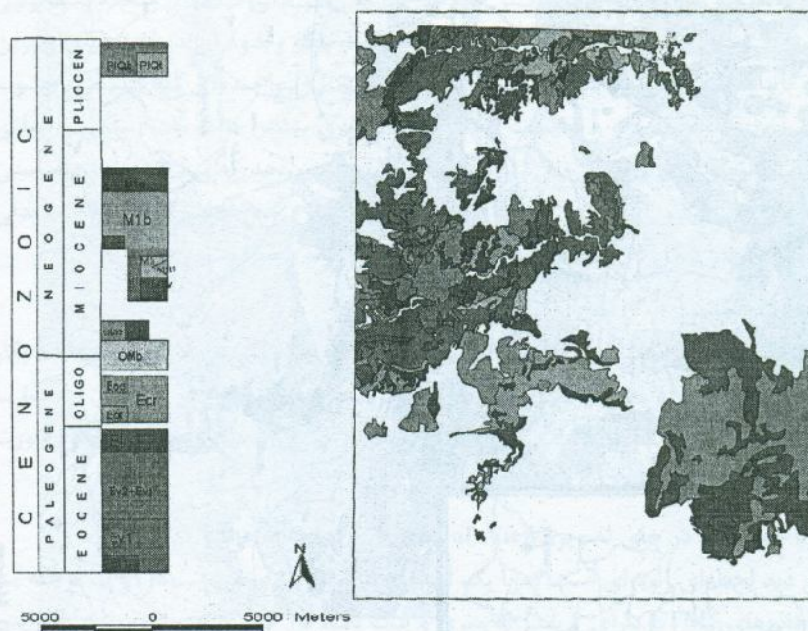
آشکارسازی تصویر برای تفکیک لیتولوژی و دگرسانیهای منطقه

یک ترکیب رنگی از باندهای طیفی جداگانه که به صورت رنگهای آبی، سبز، و سرخ نمایش داده می‌شوند، معمولی‌ترین شکل نمایش داده‌هاست. کریپن [۱۰] با استفاده از ضریب همبستگی‌ها پی‌برد که در تصاویر TM، ترکیب باندی ۱-۴-۷ اطلاعات بیشینه‌ای را برای تفکیک لیتولوژی در مناطق خشک نشان می‌دهد، و ترکیب ۵-۷-۱، در مناطق حاوی کانیه‌ای دارای یون هیدروکسید، کارآرایی بهتری دارد. انتخاب ترکیب باند برای مناسبترین ترکیب رنگی کاذب را براساس فاکتور شاخص بهینه که توسط چاوز و دیگران معرفی شد می‌توان انجام داد. فاکتور شاخص بهینه با استفاده از لگاریتم S_K مجموع انحراف معیار برای K باند و r_j قدرمطلق مجموع ضریبهای همبستگی بین هر دو به اندازه ترکیب ۳ باندی است [۳].

$$OIF = S_K / \text{Abs}(r_j)$$

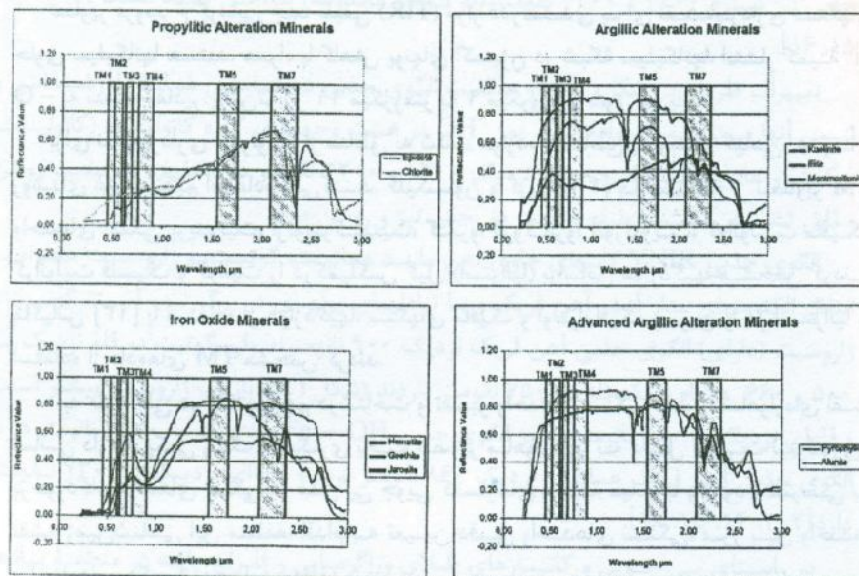


شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه میانه [۹]



شکل ۲ نقشه واحدهای سنگی منطقه میانه که با تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده و از ته‌نشتهای دوره‌های بعدی چشم پوشی شده است (مختصات عینا مشابه شکل ۱ است).

در این کار پژوهشی که در این منطقه انجام گرفت، از اندازه نسبی باندها استفاده شد. باندهایی که برای تصاویر نسبی انتخاب شدند به ویژگیهای طیفی مواد سطحی مورد نظر و پوششهای سطحی دیگر آنها وابسته بوده‌اند. برای صورت کسر، باندی انتخاب شد که مواد سطحی بازتاب زیادی از آن دارند و در مخرج کسر، باندی را انتخاب کردیم که پوشش جذبی بالایی از مواد داشتند [۱، ۲، ۳، ۵، ۱۱]. بنابراین از ترکیب نسبت باندی (۴/۳ و ۳/۱ و ۵/۷) استفاده شد. انتخاب باندها و نسبتهای باندی مناسب بستر براساس طیفهای کانیه‌ها صورت گرفت، به عنوان مثال در شکل (۳) الگوی طیفی کانیه‌های موجود در سیستمهای دگرسان آرژیلیک در کنار گستره طیفی باندهای تصویر مورد استفاده آورده شده که گویای جذب در گستره باند ۷ و بازتاب در گستره باند ۵ است، ولی به دلیل پهن بودن گستره‌های باندی تصاویر لندست، تفکیک کانیه‌های با الگوی طیفی مشابه بسیار مشکل و در مواردی امکان پذیر نبود. علاوه بر موارد بالا، از آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) برای حذف اثر همبستگی باندها و دستیابی به تصویر با تقابل بالا و نیز شناسایی دگرسانیهای گرمایی استفاده شد [۳، ۶].



شکل ۳ طیف بازتابی کانیهای موجود در سیستمهای دگرسان [۷].

نقشه‌برداری لیتولوژیکی یا شناسایی واحدهای سنگی

جدا کردن لیتولوژی در مناطقی با پوشش گیاهی پراکنده، درستی قابل قبولی خواهد داشت. در ادبیات سنجش از دور مثالهای زیادی برای این کار (چه به صورت هوایی و چه به صورت ماهواره‌ای) وجود دارند، که براساس ویژگیهای طیفی واحدهای سنگی صورت می‌گیرد و اغلب به صورت کیفی است [۲، ۳، ۱۰]. باندهای VNIR برای نقشه‌برداری تغییرات در بخش مرئی طیفها جالب بوده و باندهای SWIR و واحدهای سنگی حاوی کربناتها و کانیهای دارای یون هیدروکسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنجنده‌های ابر طیفی، الگوهای طیفی ظریف کربناتها و کانیهای حاوی یون هیدروکسیل را برای جداسازی واحدهای لیتولوژی بهتر تشخیص می‌دهند. برای مثال، باورزو رووان [۱۲] تغییرات کانی‌سازی را در کمپلکس آلکالی رودخانه یخ در بریتیش کلمبیا را با استفاده از روش ناآمیختگی طیفی خطی نقشه‌برداری کردند. واحدهای سنگ آهک، دولومیت، ماسه سنگ، لایه‌های رس، مونت موریلونیت، و زئولیت، الگوی جذبی مشخصی در VNIR / SWIR دارند که در تصاویر ابر طیفی برای جداسازی این واحدها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۳].

تصاویر فروسرخ گرمایی چند طیفی (TIR) ابزار قدرتمندی برای نقشه‌برداری سنگهای حاوی سیلیکاتها هستند. همراه با کاهش یونهای اکسیژن در شبکه سیلیکاتها، انتشار کمینه $Si-O$ - به سمت مقادیر پائین‌تر (از ۱۱ میکرومتر به ۹ میکرومتر) سوق می‌یابد.

برای نقشه‌برداری لیتولوژی از مناطق به شدت هوازده و مناطق با پوشش گیاهی، عموماً از روشهای غیرمستقیم استفاده می‌کنند. گلیکسون و گریزی [۴] با استفاده از تصاویر TM، واحدهای سنگی پریدوتیت، ارتوپیرکسنیت، گابرو، فروگابرو، آنورتوزیت، گرانولیت مافیک، گرانولیت فلسیک و گرانیت را در کمپلکس گیل (استرالیا) براساس هوازده‌گیها مشخص کردند. ماکیاس [۱۳] با استفاده از هوازده‌گیها، سنگهای مافیک و اولترامافیک زیرین را در استرالیا با استفاده از داده‌های TM مشخص کردند.

به طور کلی دو فاکتور مهم در شناخت و تفسیر واحدهای سنگی تصاویر ماهواره‌ای نقش اساسی دارند یکی رنگ و دیگری بافت تصویر ماهواره‌ای. به دلیل اهمیت لیتولوژی و برخوردگاه واحدهای سنگی در مدل پی جویی کانسارهای منطقه میانه، با وجود دسترسی به نقشه زمین‌شناسی این منطقه، اقدام به تعیین دقیق واحدهای سنگی، مرز بین واحدها، ساختارها، و دگرسانیهایی این منطقه شد.

برای بررسی لیتولوژی در این منطقه از تصاویری با ترکیب رنگی (۵ و ۷ و ۱ و ۳ و ۵)، (۷ و ۳ و ۱)، باند گرمایی، نسبت بانندی (۴/۳ و ۳/۱ و ۵/۷) و نیز تصاویر تهیه شده از آنالیز مولفه‌های اصلی استفاده شد. و برای کارایی بهتر تصویر، از یک سری فیلترهای افزایش تقابل و برجسته‌سازی تصویر نیز استفاده شد. شکل (۲) گویای این نتیجه است. روی این نقشه تمامی واحدهای سنگی با حذف مناطق پوشیده از ته‌نشستهای عهد حاضر ارائه شده است.

دگرسانیهای گرمایی

هاله‌های دگرسان شده به صورت ناهنجاریهای رنگی گسترده دیده می‌شوند که حاصل واکنش شاره‌های اسیدی با سنگهای دیواره مافیک است. ثبت این هاله‌های دگرسان بر روی تصاویر، احتمالاً واضح‌تر از مطالعات صحرایی خواهد بود، زیرا بسیاری از کانیهای دگرسان الگوی جذب طیفی در طول موجهایی خارج از گستره بینایی انسان است.

اغلب کانیهای رسی، میکاها، و کانیهای حاوی هیدروکسیل مانند پیروفیلیت و آلونیت که معمولاً در دگرسانیهایی فلیک، آرژیلیک، و آرژیلیک پیشرفته دیده می‌شوند، همراه با الگوهای جذبی AL-OH هستند که OH نزدیک به ۲۲۰۰ نانومتری یک مد آشکاری را نشان می‌دهد (شکل (۳)). کربناتها و کانیهای حاوی Mg-OH و Fe-OH مانند اپیدوت، کلریت، بیوتیت، و فلوگوپیت الگوی جذبی نزدیک ۲۲۰۰ نانومتر را دارند، کانیهای یادشده نشانه‌های مجموعه پیروفیلیت و پتاسیک هستند. باند ۷ در تصاویر TM برای ثبت کانیهایی با الگوی

جذبی در گستره ۲۲۰۰ و ۲۳۰۰ نانومتر (به صورت مجموعه) طراحی شده است [۱۴، ۳، ۲]، ۱۶، ۱۵].

تغییرات ظریف در شکل، عمق و موقعیت الگوی جذبی در شناسایی شرایط بلورشناختی و شیمی آنها می‌تواند مفید واقع شود. یون OH^- در هشت وجهی‌های گروه کائولینیت (کائولینیت، دیکیت، و هالوسیت) الگوی جذبی نزدیک ۱۴۰۰ و ۲۲۰۰ نانومتر دارد. طیف کائولینیت روشن و قابل تشخیص است، و طیف دیکیت دو بخش تیز و روشن دارد.

الگوی جذبی VNIR کانیه‌های حاوی آهن مانند هماتیت، گوتیت، و ژاروسیت همراه با انتقال الکترونی‌های مدار d در آهن فریک و با تبادلهای یونهای در برگیرنده است. گوتیت و ژاروسیت (دارای) الگوی جذبی آهن فریک نزدیک ۹۰۰ نانومترند ولی گوتیت دو قله نزدیک به ۵۰۰ و ۶۶۰ همراه با یک قله در ۷۵۰ نانومتر دارند (شکل (۳)). بازتاب ژاروسیت بیشتر است و قله‌ای نزدیک به ۷۰۰ نانومتر، و نیز الگوی جذبی $\text{Fe} - \text{OH}$ را نزدیک به ۲۲۷۰ نانومتر دارد. الگوی جذبی آهن فریک هماتیت، نزدیک ۸۶۰ نانومتر بوده و قله‌ای نزدیک به ۷۳۰ نانومتر دارد [۱۶، ۱۵، ۱۴، ۳، ۲].

در راستای پی جویی و کانسارهای طلای وراگرایی و فلزات پایه در منطقه میانه، دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژیلیک، فلیک و ۰۰۰ با استفاده از روش نسبت‌های باندی و آنالیز مولفه‌های اصلی انجام گرفت. با توجه به نمودارهای طیفی کانیه‌های موجود در سیستم‌های دگرسانی گرمایی، از نسبت‌های زیر مورد استفاده قرار گرفتند.

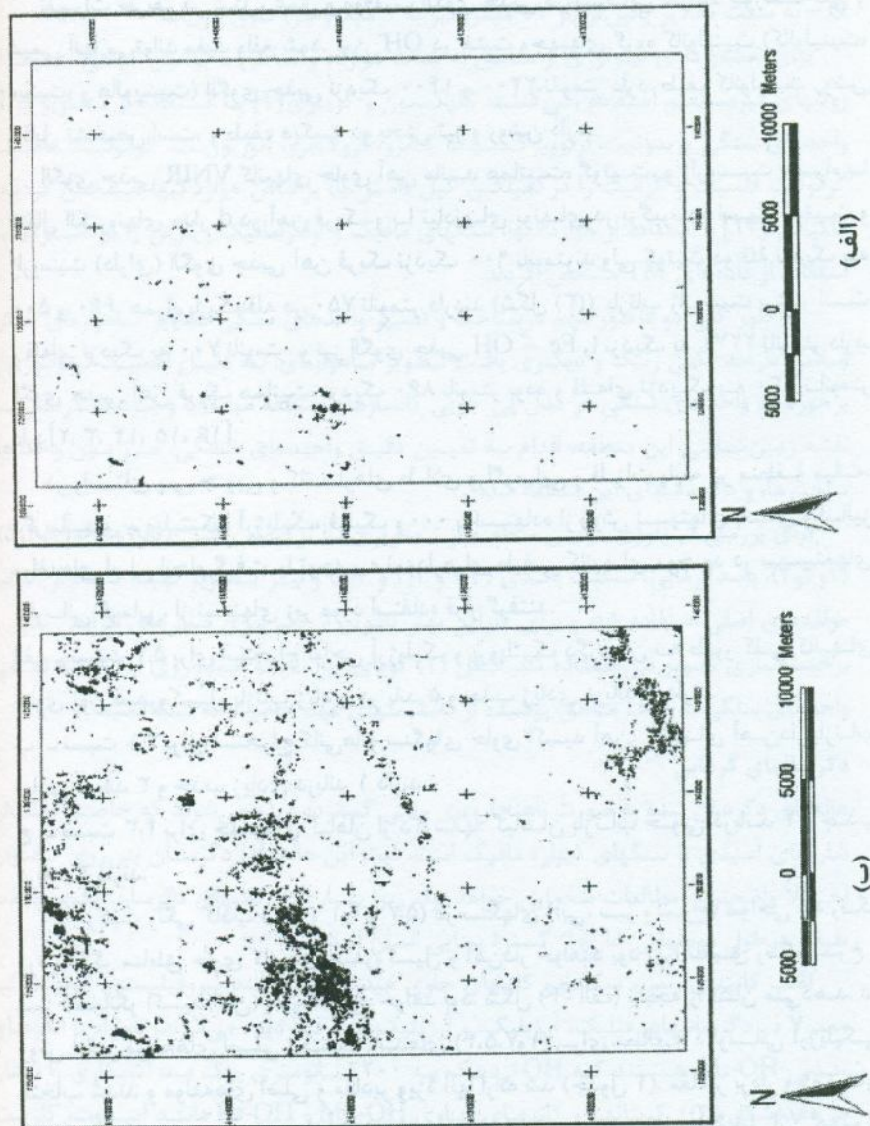
الف - نسبت ۵/۷ برای استخراج نواحی آرژیلیک و پروپلیتیک دگرسان به طور کلی کانیه‌های حاوی یون هیدروکسیل بازتاب زیادی در باند ۵ و جذب زیادی در باند ۷ دارند.

ب - نسبت ۳/۱ برای استخراج کانی‌ها و سنگهای حاوی اکسید آهن: کانیه‌های آهن‌دار بازتاب زیادی در باند ۳ و جذب زیادی در باند ۱ دارند.

ج - نسبت ۴/۳ برای جداسازی گیاهان از دگرسانها: گیاهان بازتاب خوبی در باند ۴ و جذب در باند ۳ دارند.

با ترکیب رنگی کاذب (۴/۳ و ۳/۱ و ۵/۷) در سنگهای (آبی، سبز، سرخ) نواحی به رنگ زرد نشانگر مناطق حاوی کانیه‌های هیدروکسیل و آهن‌دار خواهند بود زیرا تلفیق رنگ سرخ و سبز (نمایانگر اکسید آهن) به رنگ زرد خواهد بود. شکل (۴-الف) نتیجه را نشان می‌دهد. در روش آنالیز مولفه‌های اصلی نخست باندهای (۱۷، ۵، ۴) برای مطالعه دگرسانی آرژیلیکی انتخاب شدند و مولفه‌های اصلی و مقادیر ویژه آنها ارائه شد (جدول ۱). مقادیر بردار ویژه نشان می‌دهد که بیشترین تفاضل بین باند ۵ و ۷ در مولفه اول وجود دارد لذا مولفه اول این گروه از باندها انتخاب شد. برای اکسیدهای آهن، باندهای (۵ و ۳ و ۱) انتخاب و مولفه‌های اصلی و مقادیر ویژه آنها تعیین شدند. (جدول ۱). از روی مقادیر بردار ویژه مشاهده می‌شود که

بیشترین تفاضل بین باند ۱ و ۳ در مولفه چهارم ظاهر شده است و به همین دلیل مولفه چهارم این گروه از باندها انتخاب شد.



شکل ۴ نقشه دگرسانیهای منطقه میانه: (الف) حاصل از روش باندهای نسبی، (ب) حاصل از روش آنالیز مولفه‌های اصلی.

جدول ۱ مقادیر بردار ویژه برای دو مجموعه چهار باندهای بر اساس ماتریس وردایی - ناوردایی (الف- باندهای ۱ و ۴ و ۷)

باندها	مولفه ۱	مولفه ۲	مولفه ۳	مولفه ۴
۱	۰٫۲۴۲۴	۰٫۳۱۶۹	۰٫۷۱۲۳	۰٫۵۷۷۴
۴	-۰٫۲۸۶۵	۰٫۸۰۶۷	۰٫۱۴۱۵	-۰٫۴۹۷۱
۵	۰٫۸۹۴۶	۰٫۲۸۲۶	-۰٫۳۱۳۴	-۰٫۱۴۴۶
۷	-۰٫۲۴۲۴	۰٫۴۱۰۳	-۰٫۶۱۱۸	۰٫۶۳۱۳۴

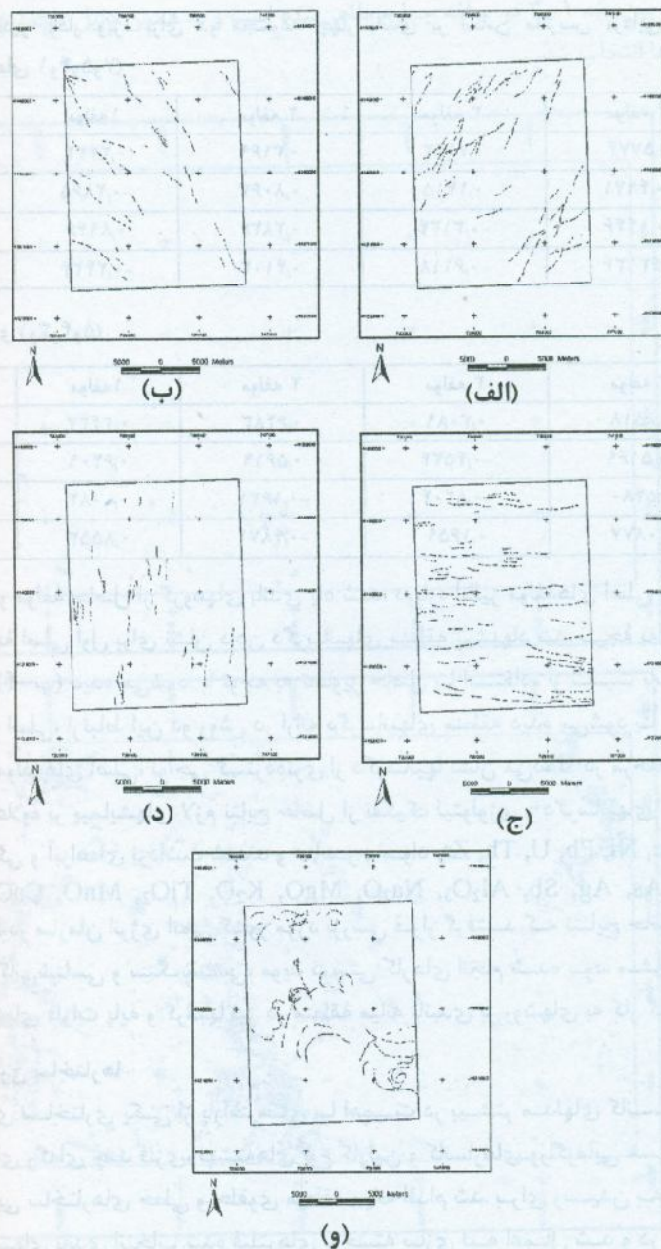
(ب- باندهای ۱ و ۳ و ۴ و ۵)

باندها	مولفه ۱	مولفه ۲	مولفه ۳	مولفه ۴
۱	۰٫۲۴۳۷	۰٫۶۴۸۳	۰٫۳۰۸۹	۰٫۶۵۱۸
۳	۰٫۶۴۰۹	۰٫۵۶۱۹	-۰٫۴۵۲۴	-۰٫۵۱۶۹
۴	۰٫۸۰۸۲	-۰٫۱۶۳۱	-۰٫۸۲۰۴	۰٫۵۴۸۰
۵	-۰٫۸۵۵۳	-۰٫۴۸۷۱	۰٫۱۶۵۹	۰٫۰۸۷۷

بین دو مولفه حاصل از گروه‌های باندهای یاد شده، دوباره آنالیز مولفه‌های اصلی به کار گرفته شد و مولفه اصلی اول برای نشان دادن دگرسانی‌های منطقه پیشنهاد شد. نتیجه به دست آمده در شکل (۴-ب) دیده می‌شود. با توجه به تصاویر حاصل با استفاده از نسبت باندها و روش مولفه‌های اصلی، ارتباط این دو روش در ارائه دگرسانی‌های منطقه دیده می‌شود با این تفاوت که آنالیز مولفه‌های اصلی، نواحی گسترده‌تری از دگرسانی‌ها نشان می‌دهد. در مرحله بررسی‌های صحرائی علاوه بر پیمایش‌های لازم نتایج حاصل از تفکیک لیتولوژی و دگرسانی‌های گرمایی، ۲۷ نمونه سنگی و آبراهه‌ای برداشت شدند و عناصر و مواد Ba, Co, Cu, Ni, Pb, U, Th, Zr, Zn, MO, As, Ag, Sb, Al₂O₃, Na₂O, MgO, K₂O, TiO₂, MnO, CaO, P₂O₅, Fe₂O₃ در سازمان انرژی اتمی کشور مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج حاصل در کنار مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، موید درستی کارهای انجام شده بود. مشاهدات عینی کانی‌سازی‌های فلزات پایه و گرانها نیز در منطقه میانه تأییدی بر روش‌های به کار گرفته بود.

نقشه‌برداری ساختارها

بررسی‌های ساختاری یکی از پارامترهای با اهمیت در بیشتر مدل‌های کانسازی از قبیل سیستم‌های رگه‌ای چند فلزی، نهشته‌های نوع کارلین و کانسارهای وراگرایی هستند. بنابراین به شناسایی ساختارهای خطی و حلقوی منطقه میانه اقدام شد. برای رسیدن به این هدف، روی ترکیب‌های باندهای انتخاب شده فیلترهای برجسته‌سازی لبه اعمال شد و در مرحله بعد اقدام به مطالعات ساختاری انجام گرفت. شکل (۵) نتایج را نشان می‌دهد که براساس، راستای ساختارها طبقه‌بندی شده‌اند.



شکل ۵ نقشه ساختارهای منطقه میانه: (الف) با راستای شمال شرقی - جنوب غربی، (ب) با راستای شمال غربی - جنوب شرقی، (ج) با راستای شرقی - غربی، (د) با راستای شمالی - جنوبی، (و) حلقوی

نتیجه‌گیری

کاربرد روشهای مختلف پردازش همراه با استفاده از الگوی طیفی کانیهای موجود در سامانه‌های دگرسان و واحدهای مختلف لیتولوژیکی، نتایج خوب و جالبی در ارائه و رسم نقشه دگرسانی و واحدهای سنگی منطقه به همراه داشت. جداسازی واحدها از نظر سنگ‌شناسی، بیشتر کیفی و براساس رنگ و بافت واحدها که ریشه درکانی‌های موجود در واحدهای مختلف دارند انجام گرفت.

نقشه واحدهای لیتولوژیکی، ساختارها و دگرسانیهای ثبت شده در منطقه، براساس تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺، نشانگر مناطق مستعد کانی‌زایی در غرب منطقه با خطواره‌هایی در روند شمالشرقی - جنوب غربی است. تراکم ساختارها (شکل ۵) و وجود زون‌های دگرسان گسترده، نشان‌دهنده عملکرد سیستم‌های گرمایی به همراه کانی‌زایی فلزات پایه و گرانبهاست. نتایج حاصل از بررسیهای تصاویر ماهواره‌ای با توجه به هزینه پایین و زمان کم صرف شده برای دستیابی به این نتایج که وارسیهای صحرایی نیز تأیید کننده درستی کار بود، نشانگر توانایی و استعداد کاربرد علم دورسنجی برای ارائه نقشه‌های زمین‌شناسی و پی جویی مواد معدنی است.

مراجع

- [۱] محمدزاده ج.، فلاحت، "تحلیل و تلفیق داده‌های ژئوفیزیک هوایی و انطباق آن با تصاویر ماهواره‌ای جهت ثبت دگرسانیهای منطقه میانه - آذربایجان شرقی"، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین شماره ۵۸، (۱۳۸۴) ص ۱۰۸-۱۱۳.
- [2] Yektin Erden, "Alteration Mapping by Remote Sensing: Application to Hasandag-Melendiz Volcanic Complex", Middle East Technical University, Turkey, (2003)45.
- [3] Rencz Andrew N., "Remote Sensing for the Earth Science: Manual of Remote Sensing", vol 3, John Wiley & Sons, Inc, (1999) 375-428
- [4] Glikson, A.Y., J.W. Creasy, "Application of Landsat-5 TM Imagery to Mapping of the Giles Complex and Associated Granulites, Tomkinson Ranges Western Musgaves Block", Central Australia, AGSO J. Aust. Geol. Geophy., 16, (1995) 173-193.
- [5] Anne J.B., Thompson Phoebe L. Hauff, Audrey J. Robotille, "Alteration Mapping in Mineral Exploration: Application of Shortwave Infrared (SWIR) Spectroscopy", SEG, (1999) 16-27
- [6] Crosta A.P., Rabelo A., "Assessing Landsat TM for Hydrothermal Alteration Mapping in Central Western, Brazil", Proceeding of the 9th Thematic Conference of geologic Remote Sensing, (1993) 1053-1061

[۷] فلاح رضا، "روشهای نوین اکتشافات در مطالعه توانمندی و امکان کانی‌سازی عناصر پرتوزا و فلزات در محدوده غرب میانه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ۱۳۸۲.

[۸] سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه میانه.

[۹] سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه میانه.

[10] Crippen R.E., "Selection of Landsat TM and Band Ratio Combination to Maximize Lithologic Information in Color Composite Display", in Proceeding of the 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, (1989) 917-921.

[۱۱] احمدی ع، محمدزاده ج، فلاح ر، "حذف اثر پوشش گیاهی در تعیین آلتراسیونهای منطقه ورزقان (آذربایجان شرقی) با استفاده از تصاویر TM، اولین کنفرانس مهندسی معدن ایران ۱۳۸۳ ص ۲۷-۳۲.

[12] Bowers T. L., L.C. Rowan, "Remote Mineralogic and Lithologic Mapping of the Ice River Alkaline Complex, British Columbia", Canada, Using AVIRIS Data, Photogramm. Eng. Remote Sensing, , (1996) 62, 1379-1385.

[13] Macias L.F., "Remote Sensing of Mafic-Ultramafic Rocks: Examples from Australian Precambrian Terranes", AGSO J.Aust. Geol. Geoph., (1995) 16, 163-171,

[14] Unal Altinbas, and et Al, Using Advanced Spectral Analysis Techniquis as Possible Means of Identifying Clay Minerals, AHEI-Nahry Conference, (2004)

[15] ERDAS Spectral Library

[16] Collins A.H., "Thermal Infrared Spectra of Altered Volcanic Rocks in the Virginia Range, Nevada", Proceeding of the 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geologists, Calgary Alberta, Canada, (1989) 210-219.

[17] Ranjbar H., Honarmand M., Moezifar Z., Roonwal G.S., "Application of Crosta technique for porphyry copper alteration mapping", Using ETMT data, A Case study of Meiduk and Sar Cheshmeh areas , Kerman , Iran, <http://www.gisdevelopment.net> , (2003)

[۱۸] معروفی خ، محمدزاده م، ج فلاح ر، "بررسی آلتراسیون و انطباق آن با ساختارهای خطی و حلقوی در منطقه آلوت با استفاده از تصویر ماهواره‌ای TM، اولین کنفرانس مهندسی معدن ایران ۱۳۸۳ ص ۳۰۰-۳۰۷.

[۱۹] حسنی پاک علی اصغر، شرف‌الدین محمد، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.