

شناسایی دگرسانی‌ها و عوارض ساختمانی به‌وسیله تصاویر ETM+ و اطلاعات توپوگرافی برای پی‌جویی کانسارهای طلای هیدروترمال در منطقه دلیجان

فرید جوادنژادⁱ؛ فیروز علی‌نیاⁱⁱ؛ پوران بهنیاⁱⁱⁱ

چکیده

ناحیه دلیجان، یکی از مناطق مستعد طلا در ایران، دارای معادن و کانسارهای طلای موته است. مدل جدید ارائه شده برای توصیف کانی‌سازی طلا در موته انجام مطالعات اکتشافی برای شناسایی کانی‌زایی احتمالی طلا در بخش‌های دیگر منطقه دلیجان را توجیه می‌کند.

برای شناسایی شواهد کانی‌سازی طلای هیدروترمال در منطقه، مطالعات دورسنجی بر روی داده‌های ETM+ منطقه، انجام شده است. تصویر مولفه چهارم بدست آمده از انجام روش کروسا بر روی باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ نشان دهنده کانی‌های دگرسانی، دارای هیدروکسیل است و وابستگی نسبتاً خوبی با موقعیت کانسارهای شناخته شده در منطقه دارد. اما تصویر مولفه چهارم حاصل از اعمال روش کروسا بر روی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ برای تصویربرداری از کانی‌های دگرسانی حاوی اکسید آهن، همبستگی خوبی با این کانسارها نشان نمی‌دهد. برای شناسایی ساختارها، ترکیب داده‌های ماهواره‌ای و اطلاعات توپوگرافی بکار گرفته شده است. ابتدا، تصویر ترکیب رنگی ۲-۴-۷ از حالت RGB به حالت HSV تبدیل شده است. سپس تصاویر سایه-روشن با تاباندن خورشید در آزمون‌های مختلف از اطلاعات DEM بدست آمده‌اند و جایگزین باند ۷ تصویر HSV شدند. تصاویر ترکیب رنگی مجازی ادغام شده با تصویر سایه روشن، امکان شناسایی چشمی ساختارها را فراهم می‌نماید.

کلمات کلیدی

پی‌جویی طلا، دورسنجی، روش کروسا، DEM، دلیجان.

Targeting Structural Features and Alteration for Reconnaissance of Hydrothermal Gold Mineralization in Delijan Area Using DEM and ETM+ Data

Farid Javadnejad; Firouz Alinia; Pوران Behnia

ABSTRACT

Delijan area, which Muteh gold mines and deposits are located in, is one of the most prospective gold mineralization areas in Iran. Recent investigations on Muteh gold deposits, opposing previous studies, have proposed that a wide range of rock formations might embrace promising gold mineralization.

To map hydrothermal mineralization alteration in the area, the selective PCA method of Crosta was applied on the ETM+ bands of 1, 4, 5 and 7, and imag of the fourth component of the analysis adequately derived hydrothermally altered rock bearing hydroxyl minerals which fairly correlate with known gold

ⁱ کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، farid.j@aut.ac.ir

ⁱⁱ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، aliniaf@aut.ac.ir

ⁱⁱⁱ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، pouranb@yahoo.com



deposits in the area. However, negative image of the fourth component of Crosta method applied on the bands 1, 3, 4 and 5 for mapping iron oxide bearing alteration minerals did not establish a mutual relation with known gold deposits in the area.

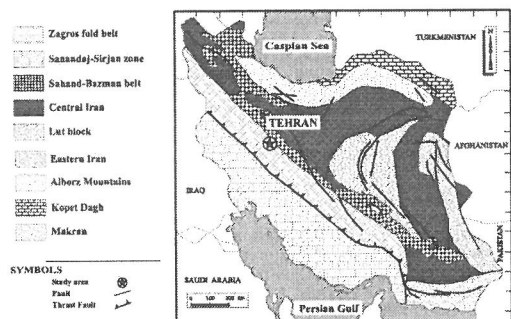
Since they may provide conduits for hydrothermal fluids, structural features are important indicative features towards hydrothermal gold mineralization. In order to extract structural features, the RGB color composite image of bands 7-4-2 converted to the HSV color mode, and then the V component replaced by hill-shade images produced by illustrating DEM at eight different azimuths. Subsequently, main structural features visually interpreted from RGB and DEM synthetic images.

KEYWORDS

Gold Reconnaissance, Remote Sensing, Crosta Method, DEM, Delijan.

صفحه آفر-عربی به زیر صفحه ایران مرکزی ارتباط داده شده است ۰.۰، ۰.۰، ۰.۰ قاسمی و Talbot (۲۰۰۶)، ماگماتسیم ترشیاری در کمربند ماگماتسیم سهند-بزمان را نتیجه جدایی بزرگ در ائوسن میانی می‌دانند [۲].

سنگ‌های ماگمایی قدیمی‌تر در ناحیه سهند- سیرجان شامل سنگ‌های ولکانیکی مافیک تولییتی تریاس پسین و ژوراسیک پیشین از بقایای اقیانوس تتیس بوده‌اند [۴] و سنگ‌های مافیک پروترزوئیک تا پالئوزوئیک پیشین حاصل پدیده‌های کششی ایجاد شده‌اند [۳]، [۵].



شکل (۱): ناحیه‌های ساختاری عمده ایران، شامل: کمربند چین‌خورده زاگرس، ناحیه سهند- سیرجان، ناحیه ایران مرکزی، ناحیه سهند-بزمان، بلوک لوت، ناحیه البرز و کوپه داغ، ناحیه ایران شرقی و مکران [۶]

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه‌ای

سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و ترشیاری فراوان‌ترین رخنمون را در منطقه دارند. این واحدها، رسوبات پالئوزوئیک را پوشانده و خود در بیشتر جاها با رسوبات کواترنری پوشیده شده‌اند [۴]. سنگ‌های ولکانیکی ائوسن از دیگر سنگ‌های مهم منطقه هستند که در بخش شمال‌شرق قرار دارند (شکل (۲) [۷]).

Thiele و همکاران (۱۹۶۸) تشکیلات سلطانی، زاگون- لالون، میل و کهر را پرکامبرین در نظر گرفتند [۷] (شکل (۲)). رشیدنژاد و همکاران (۱۳۸۱) با استفاده از شواهد جدید دیرینه‌شناسی، ستون چینه‌شناسی را اصلاح کرده و سنی

۱- مقدمه

تاکنون این فرض بین متخصصان علوم زمین مطرح بوده است که کانی‌زایی طلای موهه دارای سن پرکامبرین است. اما مطالعات جدید نشان دادند که تشکیل کانه طلا در موهه از نظر زمانی بسیار جوان‌تر است.

نتایج حاصل از مطالعات اخیر، نیاز به بررسی سایر واحدهای سنگی موجود در ناحیه سهند- سیرجان را به عنوان هدف‌های مناسب برای اکتشاف طلا ضروری می‌سازد. پیش‌فرض‌های قبلی باعث شده بودند تا بیش‌ترین مطالعات بر روی نهشته‌های موهه متمرکز شود و سایر بخش‌های منطقه چندان مورد بررسی قرار نگیرند. هدف این مقاله بکارگیری مطالعات دورسنجی است تا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و اطلاعات توپوگرافی، شواهد کانی‌سازی طلا در برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ دلجان به‌خصوص ساختارهایی که می‌توانند کانی‌سازی طلای منطقه را دربرگیرند، شناسایی و معرفی شوند. نقشه‌های ساختاری و نقشه‌های دگرسانی بدست آمده می‌توانند به عنوان لایه‌های اطلاعاتی ارزشمند در کنار اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و مشاهدات صحرایی به‌کار روند.

۲- زمین‌شناسی

۱-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

ناحیه سهند-سیرجان، با طول ۱۵۰۰ km و عرض ۲۰۰ km-۱۵۰، در نتیجه تشکیل اقیانوس تتیس و بسته شدن آن در ترشیاری و کرتاسه و برخورد صفحات قاره‌ای آفر-عربی و اوراسیا تکامل یافته است [۶]. از ژوراسیک پسین تا ترشیاری، پدیده‌های تکتونیکی فشارشی ناشی از کوهزایی آلپ سبب ایجاد خصوصیات ساختاری با امتداد شمال‌غرب شده است (شکل (۱) [۱]). ۰، ۰، ۰.

ماگماتسیم ژوراسیک پسین تا ائوسن در ناحیه سهند- سیرجان با بیش‌ترین فعالیت در کرتاسه پسین، با فروانش

جوان‌تر از پرکامبرین را برای تشکیلات سنگی پیشنهاد دادند. نفوذی‌های بیوتیت گرانودیوریت دانه متوسط و گرانیت دو- میکا درون تشکیلات رسوبی تریاس پسین [۵] و ژوراسیک پیشین قرار گرفته‌اند [۷]، [۸]. چنین نفوذی‌های گرانیتی و دیوریتی در کمپلکس دگرگونی، میزبان کانسارهای طلائی موته، (شکل (۲)) نیز وجود دارند [۷].

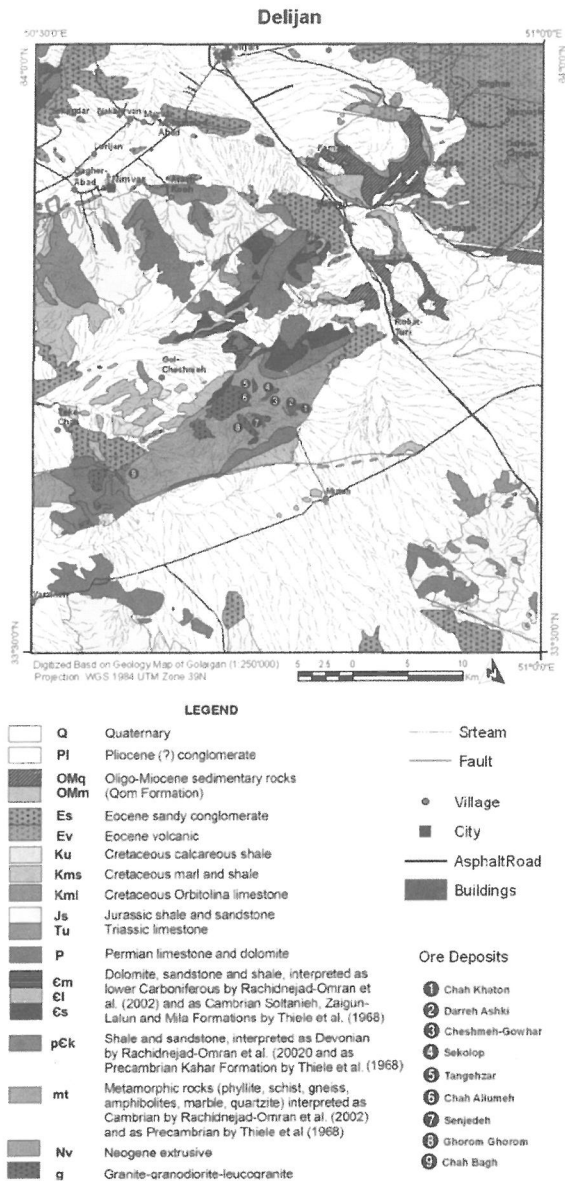
شده‌اند و در آرشیو سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور موجود هستند. تصاویر ماهواره‌ای قبل از انجام پردازش، نیاز به موزائیک، تصحیح هندسی (geometric correction) و قطعه‌بندی دارند. این تصاویر با توجه به نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰,۰۰۰ و ۱:۵۰۰,۰۰۰ اصلاح شده و در قالب شبکه (مختصات UTM) قرار گرفته‌اند. ثبت و ژئوکد کردن، شامل انتخاب نقاط کنترلی در مکان‌های مناسب است که موقعیت دائمی داشته و به راحتی قابل تشخیص هستند، برای مثال تقاطع جاده‌ها انتخاب‌های خوبی است. عملیات ژئوکد کردن و موزائیک کردن داده‌ها در بخش دورسنجی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بر پایه نقشه‌های توپوگرافی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح انجام شده است.

۴- پردازش تصاویر ETM

پردازش تصاویر برای تفکیک، تمییز و تشخیص پدیده‌ها بر اساس بازتاب طیفی آنها در طول موج‌های مختلف است که به‌طور معمول با استفاده از روش‌های آماری مانند نسبت‌های باندی (band ratio)، تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و ترکیب‌های باندی انجام می‌شود. با انجام این روش‌ها تصاویر خاکستری (grayscale) و رنگی ساخته می‌شوند که پدیده‌های گوناگون را با توجه به اهداف مطالعه، شناسایی می‌کنند. این شناسایی بر اساس عوامل مختلف مانند رنگ، بافت، شکل، توپوگرافی، الگو، موقعیت زمین‌شناسی و غیره انجام می‌شود [۱۰]، [۱۱].

۴-۱- تعیین ناحیه‌های دگرسانی

وجود کانسارها ممکن است با یک آنومالی لیتولوژیکی یا یک آنومالی ژئوشیمیایی مشخص شود. در زمان تشکیل کانسارهای هیدروترمال، محلول‌های هیدروترمال بصورت شیمیایی با سنگ درونگیر وارد واکنش می‌شوند و در نتیجه ترکیب کانی‌شناسی تا فاصله زیادی از محل کانسار تغییر می‌یابد. سنگ‌هایی که دگرسانی هیدروترمال بر آنها اثر کرده است، آنومالی‌های لیتولوژیکی هستند به طوری که شامل مجموعه کانی‌های ثانویه‌ای هستند که جایگزین کانی‌های اولیه شده‌اند. در زمان تشکیل کانسار، ممکن است ناحیه‌های دگرسانی به سطح زمین برسند یا بالاراندگی و فرسایش بعد از آن ممکن است به گونه خوبی ناحیه‌های دگرسانی یا توده ماده معدنی را آشکار سازد. در مناطقی که سنگ بستر رخنمون دارد، استفاده از دورسنجی چندطیفی (multispectral) برای تعیین سنگ‌های آلتزه شده با توجه به اختلاف طیف بازتابشی کانی‌های دگرسان و سنگ میزبان مفید است. کانی‌های



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی دلیمان، برگرفته شده از نقشه

۱:۲۵۰,۰۰۰ کلیپاگان [۹]، [۷]

۳- پیش‌پردازش تصاویر ETM منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی دلیمان با چهار تصویر ETM به شماره ردیف-گذرهای ۲۶-۱۶۵، ۲۶-۱۶۴، ۳۷-۱۵۶ و ۳۷-۱۶۴ پوشش داده می‌شود. این تصاویر در نوامبر سال ۲۰۰۰ برداشت

جدول (۱): آماره‌های اصلی باندهای هفت‌گانه تصویر ETM+

آماره‌های اصلی			
حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۴۹	۲۵۵	۹۸/۳۷	۹/۳۰
۳۰	۲۵۵	۹۲/۶۵	۱۱/۵۹
۱۳	۲۵۵	۱۱۰/۸۷	۱۶/۶۷
۲	۲۰۴	۵۸/۶۰	۱۱/۰۹
۰	۲۵۵	۹۴/۷۱	۱۸/۹۷
۱۴۶	۲۵۵	۲۳۴/۶۶	۱۱/۷۷
۰	۲۵۵	۸۲/۷۹	۱۵/۹۴

جدول (۲): ضرایب همبستگی باندهای هفت‌گانه تصویر ETM+

ضرایب همبستگی						
	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶
باند ۱	۱/۰۰					
باند ۲	۰/۹۳	۱/۰۰				
باند ۳	۰/۸۰	۰/۹۲	۱/۰۰			
باند ۴	۰/۵۷	۰/۷۲	۰/۷۹	۱/۰۰		
باند ۵	۰/۳۷	۰/۵۷	۰/۷۰	۰/۷۴	۱/۰۰	
باند ۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۱/۰۰
باند ۷	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۹۲	۰/۰۷

یک روش برای کاهش اثر این همبستگی، استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است که روشی بهینه برای جلوگیری از ایجاد اثرات غیرتابشی است که بر روی همه باندها تأثیر دارند. اغلب تغییر در اندازه‌گیری جریان طیفی اشعه‌ها با یک سنجه، به شیب ظاهری در مربوط به روشنایی خورشید و اثرات آلبدو (albedo) در سطح بستگی دارد و مقدار کمی از این تغییرات از شکل انعکاسی طیفی مواد سطحی ناشی می‌شود [۱۷].

روش مؤلفه‌های اصلی در شناسایی دگرسانی هیدروترمال کاربرد دارد [۱۸]. این روش می‌تواند برای تعداد باند انتخابی بکار رود و نتایج به صورت ترکیب رنگی به نمایش درآید. تبدیل مؤلفه اصلی سبب چرخش و انتقال داده‌ها به یک مجموعه جدید با محورهای ارتوگونال و مستقل می‌شود که این محورها مؤلفه‌های اصلی مجموعه داده‌ها هستند. مبدأ سیستم مختصات جدید، میانگین مجموعه داده‌های اصلی است. تعداد PC، همان تعداد باندهای طیفی است که در تبدیلات مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای هر PC، ارزش عددی جدیدی براساس مختصات جدید آن تعریف می‌شود که ممکن است با ارزش قبلی آن ارتباط نداشته باشد [۱۲]. در حقیقت، هدف تحلیل مؤلفه‌های اصلی این است که اطلاعاتی که در تمام باندها مشترک است به مؤلفه اصلی اول منتقل شود و اطلاعات طیفی خاص و

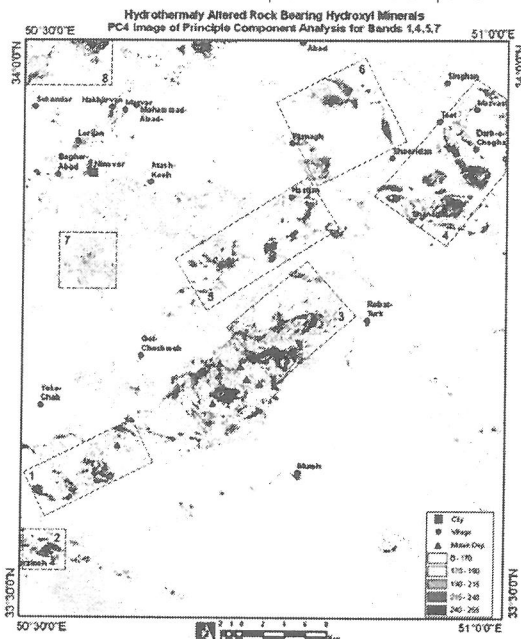
دگرسانی خاص مرتبط با کانسارها دارای طیف بازتابشی کمکی در طول موج مادون قرمز متوسط (mid-infrared) در محدوده ۳/۵ تا ۰/۳۵ μm هستند که می‌توانند با استفاده از سنسورهای EM ثبت شوند [۱۲]. بعضی از محققین مانند Fraser (۱۹۹۱)، Sabins (۱۹۹۶)، Ruiz-Armenta و Prol-Ledesna (۱۹۹۸) و Carranza (۲۰۰۲) برای به نقشه درآوردن سنگ‌های آلتزه از تصاویر Landsat TM استفاده کرده‌اند [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]. در بین مقادیر ماهواره‌ای، داده‌های Landsat TM بخاطر هزینه پایین، در دسترس بودن و موفقیت نسبی در به نقشه در آوردن دگرسانی‌ها در ایالت‌های متالورژی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به‌طور معمول روش‌هایی که برای نمایش دیجیتالی داده‌های دورسنجی در تصویربرداری دگرسانی هیدروترمال بکار می‌روند، با هدف تعیین مناطق دگرسانی دارای کانی‌های هیدروکسیل و اکسید آهن، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۲]. کانی‌های دارای هیدروکسیل، بازتابش زیادی در محدوده طیفی پوشش داده شده با باند ۵ و پدیده جذب در باند ۷ تصاویر TM/ETM را دارند. بنابراین، این باندها در پیدا کردن کانی‌های رسی دارای هیدروکسیل، مفید هستند. اکسیدهای آهن در محدوده باند ۳ تصاویر TM/ETM بازتابش قوی دارند، درحالی‌که پوشش گیاهی، جذب بالایی در این محدوده دارد. در محدوده باند ۴، پوشش گیاهی بازتابش زیادی دارد و برعکس، اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی پدیده جذب را نشان می‌دهند. بنابراین، باندهای ۳ و ۴ می‌توانند برای جداسازی مناطق دارای اکسید آهن و کانی‌های رسی از مناطق دارای پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرند [۱۲].

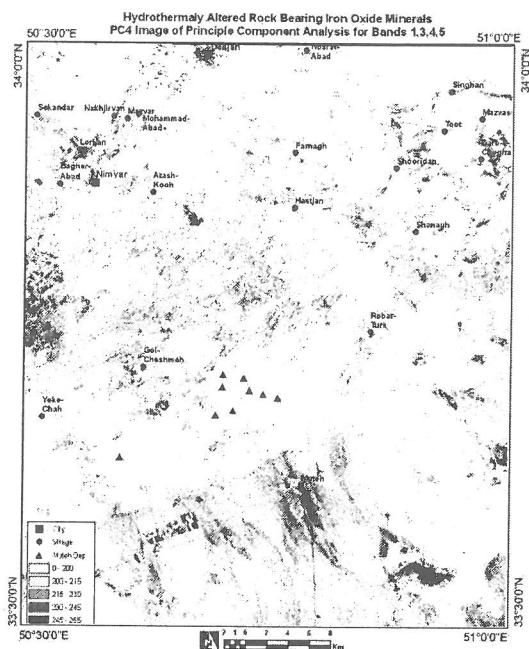
جدول (۱) آماره‌های مربوط به تصاویر باندهای هفت‌گانه ETM+ را برای منطقه اکتشافی دلجان نشان می‌دهد. با توجه به جدول، باندهای ۱، ۲ و ۳ در محدوده مرئی مقدار کمترین بیشتری نسبت به باندهای ۴، ۵ و ۷ در محدوده مادون قرمز دارند که می‌توان آنرا مربوط به وجود غبار دانست. باند ۵ به‌دلیل تغییرپذیری زیاد در پاسخ طیفی مواد مختلف موجود در منطقه، بالاترین مقدار انحراف معیار را دارد. باند ۱ کمترین انحراف معیار را دارد که به خاطر اختلاف شدت نور پایین آن است.

با توجه به جدول (۲)، داده‌های طیفی در باندهای ۱، ۲ و ۳ همبستگی بالایی دارند؛ به همین دلیل، بسیاری از اطلاعات آنها غیرمفید است. همچنین همبستگی بالایی بین داده‌های طیفی در باندهای ۵ و ۷ وجود دارد، لذا باندهای ۵ و ۷ در جداسازی دگرسانی رسی کارایی ندارند.

چهارم تحلیل مولفه‌های اصلی برای باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ که بیشترین اختلاف را از نظر برداری بین این دو باند دارد (جدول (۳)) به عنوان معرف کانی‌های رسی انتخاب شده است. این عملیات در نرم‌افزار ENVI انجام گرفت.



شکل (۳): تصویر مولفه چهارم تحلیل مولفه‌های اصلی برای باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷. مناطق دگرسانی دارای کانی‌های رسی با رنگ تیره‌تر نشان داده شده‌اند.



شکل (۴): تصویر مولفه چهارم تحلیل مولفه‌های اصلی برای باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵. مناطق دگرسانی دارای کانی‌های اکسید آهن با رنگ تیره‌تر نشان داده شده‌اند.

منحصریفر در باندهای ورودی در مؤلفه‌های دیگر به نمایش درآید [۱۹]. بطور کلی مولفه اول مربوط به نوفه (noise) اتمسفریک در داده است و کمتر اطلاعات مربوط به سطح زمین را نشان می‌دهد. در این روش شانس تعیین مولفه خاص برای به نقشه درآوردن کانی خاص افزایش می‌یابد در صورتی که تعداد باندهای ورودی کاهش یابد. بنابراین، استفاده از باندهای انتخاب شده یا تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی (selective PC) فقط بخشی از داده‌ها را تحلیل می‌کند [۱۲].

روش کروستا (Crosta) یکی از روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی است. در این روش ۶ باند TM یعنی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیاز به دانستن خصوصیات تابشی مربوط به کانی‌های موردنظر نیست، همچنین هیچ تصحیح اتمسفری و رادیمیتریکی نیز نیاز نیست. در این روش چند باند به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند، سپس به همان تعداد مؤلفه اصلی ارائه می‌شود که مؤلفه هر باند دارای مقداری بین منفی یک تا مثبت یک است [۱۴].

از بین باندهای ورودی باندهایی که تابش و جذب بیشتری برای کانی موردنظر دارند مبنای تصمیم‌گیری بعدی هستند، به این صورت که مؤلفه‌ای که دارای بیشترین اختلاف بین دو باند مذکور باشد، برای نمایش خاکستری (gray scale) انتخاب می‌شود. همچنین، باید گفت که اگر در مؤلفه یاد شده باندی بیشترین انعکاس را برای کانی موردنظر داشت دارای علامت منفی باشد، باید تصویر بدست آمده از آن معکوس شود. بدین ترتیب، همیشه نقاط (pixel) روشن اهداف را برای ما مشخص خواهند کرد. در این پژوهش، از روش کروستا و از باندهای ۱، ۳، ۴، ۵ و ۷ برای تولید تصویر کانی‌های مربوط به دگرسانی هیدروترمال استفاده شد [۱۷].

جدول (۳): تحلیل مولفه‌های اصلی به روش کروستا بر روی چهار باند طیفی ۱، ۴، ۵ و ۷ داده‌های ETM+ منطقه دلیجان

مؤلفه‌های اصلی	مقادیر ویژه			
	باند ۱	باند ۴	باند ۵	باند ۷
PC ۱	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۷۱	۰/۵۶
PC ۲	۰/۷۵	۰/۵۲	-۰/۲۱	-۰/۳۶
PC ۳	-۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۲۴	-۰/۴۷
PC ۴	۰/۲۳	-۰/۴۷	۰/۶۲	-۰/۵۸

برای به نقشه در آوردن کانی‌های رسی، دو باند ۵ و ۷ در نظر گرفته شده است، چون کانی‌های رسی در باند ۵ بیشترین انعکاس و در باند ۷ کمترین انعکاس را دارند. مولفه اصلی

جدول (۴): تحلیل مولفه‌های اصلی بروش کروستا بر روی چهار باند طیفی ۱، ۳، ۴ و ۵ داده‌های ETM+ منطقه دلیجان

مولفه‌های اصلی	مقادیر ویژه			
	باند ۱	باند ۳	باند ۴	باند ۵
PC ۱	۰/۲۷	۰/۶۱	۰/۳۸	۰/۶۵
PC ۲	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۱۰	۰/۶۸
PC ۳	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۹۳	۰/۲۷
PC ۴	۰/۷۸	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۲۲

برای ایجاد تصویر مربوط به اکسید آهن از باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ استفاده شده است. برای به نقشه در آوردن اکسیدهای آهن، دو باند ۱ و ۳ در نظر گرفته می‌شود. چون باند ۳ بیشترین انعکاس و باند ۱ کمترین انعکاس را برای این اکسیدها دارند. در این مورد مولفه چهارم که بیشترین اختلاف را بین باندهای ۱ و ۳ دارد انتخاب شده است. به دلیل منفی بودن مقدار باند ۳، این باند باید قرینه شود تا نقاط روشن نشان‌دهنده وجود اکسید آهن باشند [۱۲].

۴-۲- به نقشه در آوردن ساختارها

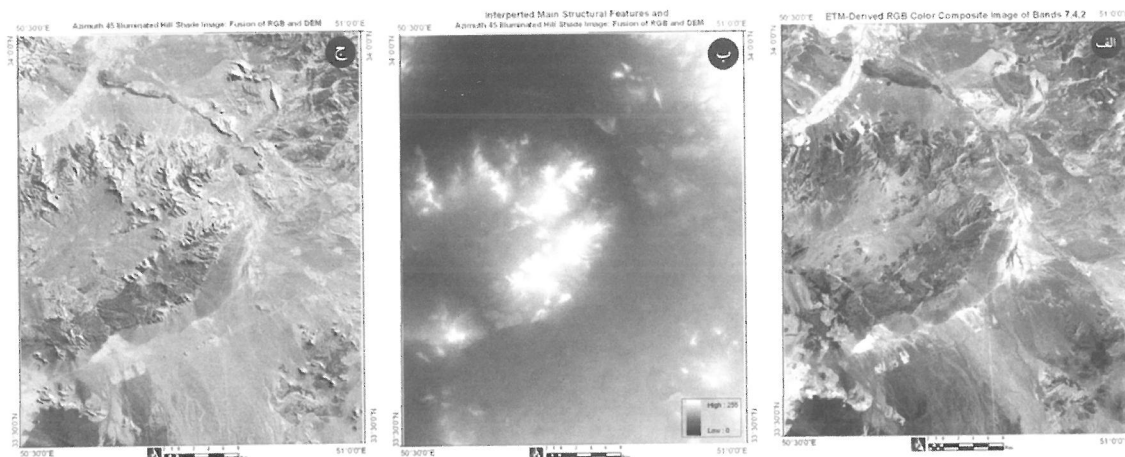
تفسیر ساختارها یک بخش مهم در تفسیر تصاویر دورسنجی است و شامل تعیین عوارض ساختاری تصویر، تعیین طبیعت آنها، تحلیل توزیع و ترتیب ژنتیکی و در پایان ایجاد نقشه ساختارها است [۱۲].

ساختارها در دورسنجی به شکل خطواره‌ها و ساختارهای حلقوی ظاهر می‌شوند. برای به نقشه در آوردن ساختارها در این مطالعه از ترکیب تصاویر ETM+ و اطلاعات توپوگرافی به روش HSI (Hue-Saturation-Intensity) استفاده شده است. ابتدا، تصویر ترکیب رنگی ۲-۴-۷ که برای جداسازی لیتولوژی است تولید می‌شود (شکل (۶)). سپس تصاویر سایه-روشن (hill-shade) با تاباندن خورشید بطور مجازی در راستای

مختلف با ثابت در نظر گرفتن ارتفاع خورشید در نرم‌افزار ENVI ایجاد خواهند شد. در ادامه، تصویر RGB تولید شده در مرحله قبل به تصویر HSV (Hue-Saturation-Value) تبدیل شده و در پایان باند V این تصویر با اطلاعات توپوگرافی (تصاویر سایه-روشن منطقه) جایگزین و هشت تصویر مجازی رنگی ترکیب شده با توپوگرافی برای منطقه مطالعاتی بدست آمده است [۱۲]. شکل (۶) تصویر ترکیب رنگی مجازی ادغام شده با تصویر سایه روشن منطقه با تابش خورشید در آزیموت ۴۵ را نشان می‌دهد. تصویر ترکیبی می‌تواند ساختارها را واضح‌تر نشان دهد. این ساختارها را می‌توان با قرار دادن تصاویر مربوط به آزیموت‌های تابشی مختلف در یک نرم‌افزار ترسیمی مانند ArcMap به نقشه درآورد.



شکل (۵): ساختارهای خطی و حلقوی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای ترکیب‌شده با داده‌های توپوگرافی



شکل (۶): الف- تصویر مجازی ترکیب رنگی ۲-۴-۷ ب- تصویر DEM منطقه مطالعاتی ج- ترکیب رنگی مجازی ترکیب شده با تصویر سایه-روشن منطقه به دست آمده از تابش خورشید با آزیموت ۴۵

۵- بحث و نتیجه گیری

شکل (۳) تصویر مولفه چهارم را نشان می‌دهد. برای نمایش بهتر، تصویر خاکستری با در نظر گرفتن مقادیر آستانه‌ای مناسب در نرم‌افزار ArcGIS رنگی شده است. در بخش مرکزی، منطقه دگرسانی‌ها با کانسارهای طلای مته همبستگی خوبی دارند که نشان دهنده موفقیت نسبی روش به‌کار برده شده در شناسایی دگرسانی‌های مربوط به نوع کانی‌سازی طلای مته است. به‌جز مناطق دگرسانی در مته مناطقی شناسایی شده‌اند که دارای کانی‌های دگرسانی حاوی هیدروکسیل هستند. این مناطق که در شکل (۳) نشان داده شده‌اند، عبارتند از:

۱- جنوب یکه چاه: نواحی دگرسانی مربوط به واحد لیتولوژیکی P (شکل (۲)) هستند که به‌صورت مشخص توده نفوذی g را محصور کرده‌اند. در کنار همین واحد، واحد لیتولوژیکی PCK، دگرسانی کم‌تری را تجربه کرده است.

۲- شرق شمال ورزینه: دگرسانی در این منطقه شدید است و بیشتر با واحد لیتولوژیکی P مرتبط است. همچنین دگرسانی با شدت کم‌تر ولی مساحت زیاد در واحدهای Js مشاهده می‌شود.

۳- غرب رباط ترک: در این منطقه دگرسانی بسیار شدید و وسیع است. این دگرسانی‌ها مربوط به واحدهای دگرگونی Es، PCK و Es است. دگرسانی در کنتاکت واحدهای لیتولوژیکی شدیدتر است. این ناحیه‌ها روندی موازی گسل‌های SW-NE و NW-SE دارند.

۴- شمال شانق و جنوب دره چوقا: ناحیه‌های دگرسانی شدید و مربوط به واحدهای لیتولوژیکی Es و Ev هستند. در جنوب دره چوقا، مناطق دگرسانی به گونه‌ای آشکار توسط گسل‌های شمال‌غرب کنترل می‌شوند.

۵- جنوب هستی‌جان: در این منطقه واحدهای Es، pEk و Es، دگرسانی شدیدی را تحمل کرده‌اند. دگرسانی در واحد P کم است.

۶- محدوده فرق-شوریدان-نصرت‌آباد: در این محدوده ناحیه‌های دگرسانی بر روی سنگ‌های جوان‌تر OMq و OMm قرار دارند.

۷- جنوب نیم‌ور: در این محدوده ناحیه‌های دگرسانی مساحت زیادی دارند ولی شدت آنها کم‌تر است. دگرسانی‌ها با واحدهای لیتولوژیکی Js، P و Kml مربوط بوده و محدوده بسیار وسیعی را شامل می‌شوند.

۸- محدوده سکندر: این محدوده در انتهای شمال‌غرب منطقه واقع است. دگرسانی‌ها در کنتاکت واحدهای Es، pEk و Es قرار دارند.

در بخش‌های جنوبی منطقه مطالعاتی کانی‌های اکسید آهن دار در رسوبات کواترنری دیده می‌شوند که ارزش اکتشافی ندارند. این کانی‌ها بصورت پراکنده در بخش‌های مختلف منطقه نیز وجود دارند (شکل (۴)).

شکل (۵) ساختارهای خطی و حلقوی استخراج شده از تصاویر دورسنجی و اطلاعات توپوگرافی را نشان می‌دهد. با توجه به مدل کانسار، عوامل ساختمانی مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده توزیع طلا و هندسه ذخیره هستند. هندسه ذخیره به‌وسیله عوامل ساختمانی کنترل می‌شود، به‌طوری‌که ذخیره تا اندازه‌ای به موازات خطواره‌ها (lineament) یا فصل مشترک شیر ناحیه‌ها با همبری لیتولوژی قرار گرفته است. رگه‌های کوارتز حتی در کنار گسل‌های با شیب تند و سیستم شکستگی‌های مقاوم وجود دارند. بخش‌های پرعیار کانسار در همبری رسوبات دگرگون شده است.

مطالعات دورسنجی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و اطلاعات توپوگرافی، به‌طور نسبی، در شناسایی نشانه‌های کانی‌زایی طلا در ناحیه دلیجان توانمند بود. نقشه‌های ساختاری و دگرسانی بدست آمده از این مطالعات را می‌توان به عنوان لایه‌های اکتشافی در کنار اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی، مطالعات صحرایی و غیره برای بهینه‌سازی اکتشاف کانسارهای احتمالی طلا در منطقه به‌کار برد.

- [۱۰] Cengiz, O., 2006, "A satellite image approach to the study of lineaments, circular structures and regional geology in the Golcuk Crater district and its environs (Isparta, SW Turkey)", *Journal of Asian Earth Sciences* 27, PP. 155-163.
- [۱۱] Ramadan T.M.; 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, PP. 89-99.
- [۱۲] Behnia, P., 2004, Geospatial data modeling for mineral exploration in Saghand-Chadormalu area, Central Iran, Ph.D. Dissertation, Wuhan University, China.
- [۱۳] Sabins F.F., 1999, "Remote sensing for mineral exploration", *Ore Geology Reviews*, PP. 157-183.
- [۱۴] Carranza, E. J. M. and Hale M., 2002, A Catchment Basin Approach to the Analysis of Reconnaissance Geochemical/Geological Data from Albay Province, Philippines. *J. Geochem. E.* 60, 157-171.
- [۱۵] Fraser, S. J., 1991, Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: a Newman case study. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 635-641.
- [۱۶] Ruiz-Armenta, J. R. and Prol-Ledesma, R. M., 1998 Techniques for enhanceing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in thematic Mapper images of Central Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (10) 1981-2000.
- [۱۷] Ranjbar H., 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, PP. 237-243.
- [۱۸] Loughlin, W. P., 1991, Principle component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57 (9): 1163-1169.
- [۱۹] Jesen, J. R. 1996, *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective*, 2nd Ed., Prentice-Hall.
- [۱] Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., and Mouthereau, F., 2005, Convergence history across Zagros: Constraints from collisional and earlier deformation: *International Journal of Earth Sciences*, v. 94, p. 401-419.
- [۲] Ghasemi, A., and Talbot, C.J., 2006, A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran): *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 26, p. 683-693.
- [۳] Berberian, M., and King, G.C.P., 1981, towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 18, p. 210-265.
- [۴] Mohajjel, M., Fergusson, C.L., and Sahandoi, M.R., 2003, Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 21, p. 397-412.
- [۵] Rachidnejad-Omran N., Emami, M.H., Sabzehei, M., Rastad, E., Bellon, H., and Piqué, A., 2002 Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridional): *Comptes rendus Geoscience*, v. 334, p. 1185-1191.
- [۶] Hezarkhani, A., 2006, Mineralogy and fluid inclusion investigations in the Reagan Porphyry System, Iran, the path to an uneconomic porphyry copper deposit, *J. Asian Earth Sc.* 27, 598-612.
- [۷] Thiele, O., Alavi, M., Assefi, R., Hushmand-zadeh, A., Seyed-Emami, K., and Zahedi, M., 1968, Explanatory text of the Golpaygan quadrangle map 1:250,000: GSI, Geological Quadrangle E7, 24 p.
- [۸] رشیدنژاد عمران، نعمت الله، ۱۳۸۱، پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های متاولکانوسدیمتر و پلوتونیک موته (جنوب دلیجان) با نگرشی ویژه به خاستگاه کانی‌سازی طلا. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- [۹] Moritz, R., Ghazban, F., Singer, B., S., 2006, Eocene Gold Ore Formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan Tectonic Zone, Western Iran; A Result of Late-Stage Extension and Exhumation of Metamorphic Basement Rocks, *Economic Geology*, v. 101, pp.1-28.