

تفسیر داده‌های ETM⁺ منطقه دهسلم به منظور شناسایی دگرسانی‌های مس پرفیری

سعید یوسفی^۱، منصور ضیایی^۲، ابوالقاسم کامکار روحانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن دانشگاه صنعتی شاهرود Saeed_Yousefi_2000@yahoo.com

۲،۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

با توجه به قرارگیری منطقه دهسلم نهبندان در بین دو ناحیه متالوژنی زاهدان - سراوان و بیرجند - میرجاوه و حضور اندیس‌های مس پرفیری در آن، پی‌جویی این فلزدر منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از انجام این تحقیق تعیین محدوده دگرسانی در رابطه با کانی‌سازی مس پرفیری با استفاده از داده‌های رقومی شش باند سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷ می‌باشد. به این منظور تصویر ماهواره‌ای پس از اعمال تصحیحات هندسی و توپوگرافی مورد پردازش قرار گرفته است. دگرسانی‌های عمده منطقه شامل دگرسانی‌های آرژیلیک، سریسیتییک، پروپیلیتییک و اکسیدهای آهن می‌باشد که با استفاده از روش‌های مختلف پردازش داده‌های رقومی نظیر نسبت باندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، روش کروستا و ترکیب‌های رنگی کاذب، آشکار شدند. در نهایت با استفاده از بررسی‌های دورسنجی، چندین منطقه از جمله کوه‌های سیمرغ در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، بعنوان مناطق امیدبخش معدنی جهت اکتشافات تفصیلی تر مشخص شد. در کوه‌های سیمرغ علاوه بر برونزد دو نوع گرانیت با سن متفاوت و دگرسانی در محل تلاقی گسل‌ها، شرایط لازم و کافی برای نهشته‌سازی مس پرفیری وجود دارد.

کلمات کلیدی: دگرسانی، دورسنجی، ترکیب‌های رنگی کاذب، تصاویر نسبتی، روش PCA، روش کروستا، دهسلم، نهبندان، مس پرفیری.

Interpretation Of ETM⁺ Data In Dehsalm Area In Order To Detect Alterations Of Porphyry Copper

Saeed Yousefi, Mansoor Ziaei, Abolghasem Kamkar Roohani

Abstract

Dehsalm area is located between two metallogenic zones: Zahedan - Saravan and Birjand - Mirjaveh. The presence of porphyry copper mineralization containing gold, cause the importance of prospecting such metals in the area. The aim of this investigation is the determination of alteration zones related to porphyry copper mineralization with the use of the data from 6 bands in Landsat 7. Geometric and topographic corrections were carried out on the Landsat image before using it for further investigation. The dominant alterations in the study area are Argillic, Sericitic, Propylitic and Iron oxides which can be detected by various digital processing techniques such as band ratio, Principal component analysis, Crosta method and false color composite, a good agreement has been obtained between the results of the techniques. Finally, a few zones in the area were recognized as prospect zones, in which Simorgh mountains are the most important ones, and they were considered for detailed exploration. It should be added that considering the outcrop of two kinds of granite having different ages, and also alteration in faults crossing mineralization in the area.

Keywords: Alteration, Band ratio, Crosta method, Dehsalm area, False color composite, Nehbandan Porphyry copper, Principal component analysis, Remote sensing

۱- مقدمه

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل میدان دید فرامنطقه‌ای، دسترسی آسان، چند باندی بودن، توانایی بارزسازی و فراهم نمودن تصاویر رنگی جهت مشخص کردن واحدها و پدیده‌های مختلف، سبب صرفه‌جویی در زمان، هزینه و نیروی انسانی در بررسی‌های مختلف منابع معدنی شده است [۱].

محدوده ده‌سلم نهبندان در ۷۵ کیلومتری جنوب غربی نهبندان، از لحاظ متالورژی بین دو ناحیه زاهدان - سراوان و بیرجند - میرجاوه واقع شده است [۷]. این منطقه از نظر کانی‌زایی مس در ناحیه لوت قرار گرفته که همراه با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، تعداد نسبتاً زیادی کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده است. این کانسارها بیشتر با سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی ناحیه لوت در پیوند هستند که مهمترین آن‌ها، کانسار مس قلعه‌زری می‌باشد [۵].

اغلب کانسارهای پرفیری شناخته شده الگوی منطقه‌بندی مناسبی از کانی‌سازی و دگرسانی سنگ دیواره را که می‌توانند به صورت‌های مختلف توسط اکسیدهای مهم و یا تمرکز عناصر اصلی تعریف شوند، ارائه می‌دهند [۹].

به وسیله داده‌های لندست می‌توان مناطق دگرسانی اکسیدهای آهن و همچنین دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل (آرژیلیک و سریسیتیک) را مشخص کرد [۹]. در این تحقیق با استفاده از روش‌های مختلف پردازش داده‌های رقومی نظیر نسبت باندها، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، روش کروسا و تهیه ترکیب‌های رنگی کاذب دگرسانی منطقه آشکارسازی شده است.

۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی در مختصات طول جغرافیایی $58^{\circ}58'$ تا $59^{\circ}25'$ شرقی و عرض جغرافیایی $30^{\circ}58'$ تا $31^{\circ}10'$ شمالی واقع شده و محدوده‌ای به گسترش تقریبی ۸۰۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد.

با بررسی نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱) و بازدیدهای صحرایی در محدوده مورد مطالعه، آنچه بیشتر از همه چیز جلب توجه می‌کند حضور کفه‌های نمکی، تپه‌های ماسه‌ای و نهشته‌های سیلابی می‌باشد. از دیگر واحدهای زمین‌شناسی در منطقه می‌توان واحدهای زیر را نام برد:

۱- نهشته‌های قدیمی، پادگانه‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها با سن کواترنری که در گوشه غربی محدوده مورد مطالعه قرار دارند.

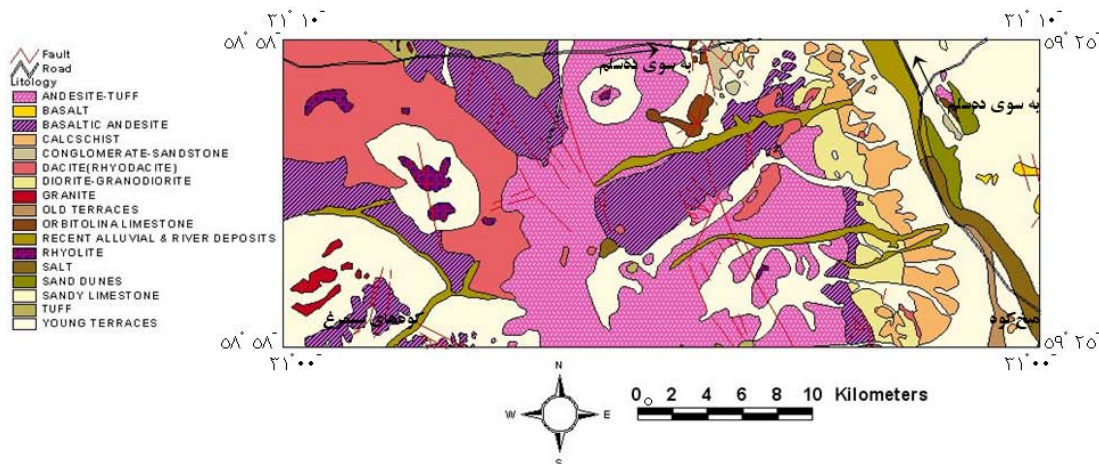
۲- واحدهای بازالتی که در انتهای دوران پلیوسن بوجود آمده است .

۳- واحد آندزیتی به همراه توف مربوط به دوران سنوزوئیک که این واحد لیتولوژیکی با فرسایش پوست پیازی مشخص می‌شود.

۴- واحد آندزیت بازالتی و بازالت به رنگ خاکستری تیره تا سیاه به سن ائوسن که گسترش وسیعی در قسمت‌های غربی و شمال غربی نقشه دارد.

۵- واحد سنگ آهک اوریتولین‌دار و آهک‌های ماسه‌ای به همراه مارن به سن کرتاسه پایین با روند تقریبی شمالی - جنوبی در قسمت‌های مرکزی محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود. این واحد زمین‌شناسی قدیمی‌ترین سازند موجود در منطقه است.

۶- سری‌های نفوذی به سن الیگوسن - ائوسن با روندی تقریباً شمالی - جنوبی در قسمت مرکزی محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است. این سری‌ها از سنگ‌های حاوی مقادیری پلاژیوکلاز تشکیل شده است که از این ردیف، سنگ‌های دیوریتی، گرانودیوریتی و مونزونیت‌ها را می‌توان نام برد [۷].



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی دهسلم نهندان [۳]

۳- پردازش تصاویر

منطقه مورد مطالعه بخشی از داده‌های سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۷ به شماره ۱۷۵ و ردیف ۱۵۶ مربوط به سال ۲۰۰۲ را در بر می‌گیرد. این داده‌ها شامل شش باند طول موجی با قدرت تفکیک ۳۰ متر در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ می‌باشد.

۴- دگرسانی

حضور یا نزدیکی به مناطق دگرسانی از جمله معیارهای شناسایی کانسارها می‌باشد. در این تحقیق از روش‌های زیر برای آشکارسازی دگرسانی استفاده شده است:

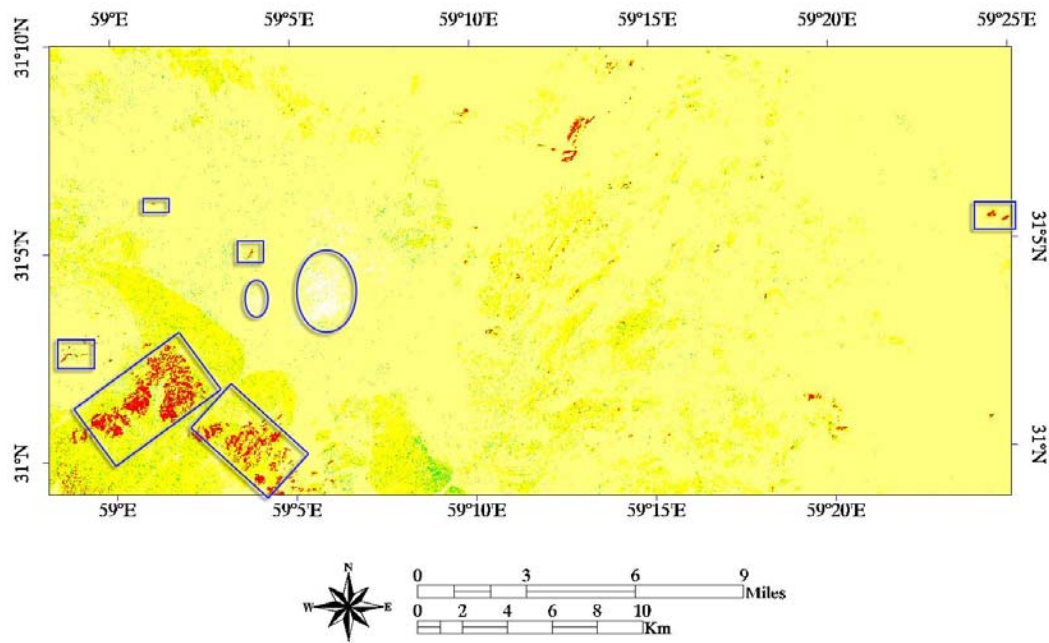
۴-۱- ترکیب‌های رنگی کاذب^۱

یکی از روش‌های مؤثر برای تفکیک و جداسازی واحدهای مختلف زمین‌شناسی، ترکیب‌های رنگی کاذب می‌باشد. تصویر رنگی کاذب، ترکیب سه باند مختلف است که بصورت رنگ‌های قرمز، سبز، آبی با هم ترکیب می‌شوند. چنانچه باندهای ترکیبی در طول موج‌های قرمز، سبز، آبی باشد تصویر حاصله تصویری با رنگ واقعی خواهد بود. در صورتی که باندهای ترکیبی متفاوت از قرمز، سبز، آبی باشد تصویر حاصله، رنگ کاذب خواهد داشت. در ساخت ترکیب‌های رنگی کاذب بهتر است از باندهایی که همبستگی کمتری نسبت به هم دارند، استفاده شود [۴].

۴-۲- تصاویر نسبتی

تصاویر نسبتی که بر اساس ویژگی‌های بازتابی کانی‌های دگرسانی و با تقسیم ارزش‌های رقومی یک باند طیفی بر باند دیگر ساخته می‌شوند در تشخیص مناطق دگرسان شده نقش بسزایی دارند. یکی از مزایای اصلی تصاویر نسبتی این است که خصوصیات طیفی یا رنگی پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط تابشی نظیر توپوگرافی و رویه سطح زمین آشکار می‌سازد [۶].

اکسیدهای آهن، دارای حداکثر انعکاس در باند ۳ و حداقل انعکاس در باند ۱ هستند لذا تصویر نسبتی ۳ به ۱ برای آشکارسازی آهن فریک استفاده می‌شود همچنین تصویر نسبتی ۵ به ۴ برای آشکارسازی آهن فرو و مناطق سیلسی شده و تصویر نسبتی ۵ به ۷ برای آشکارسازی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل (آرژیلیک و سیریسیتیک) کاربرد دارد [۶]. شکل ۲ مناطق دگرسانی آشکار شده به وسیله ترکیب رنگی کاذب $RGB: (\frac{5}{7}, \frac{4}{2}, \frac{3}{1})$ را نشان می‌دهد. در این شکل پیکسل‌های سفید شامل دو نوع دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل و اکسید آهن و قرمز شامل دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل می‌باشد.



شکل ۲- نقشه دگرسانی حاصل از ترکیب رنگی کاذب $RGB: (\frac{5}{7}, \frac{4}{2}, \frac{3}{1})$ ، اشکال مستطیلی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل و اشکال بیضی شامل هر دو دگرسانی هیدروکسیل و اکسید آهن هستند

۳-۴- روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۲ (PCA)

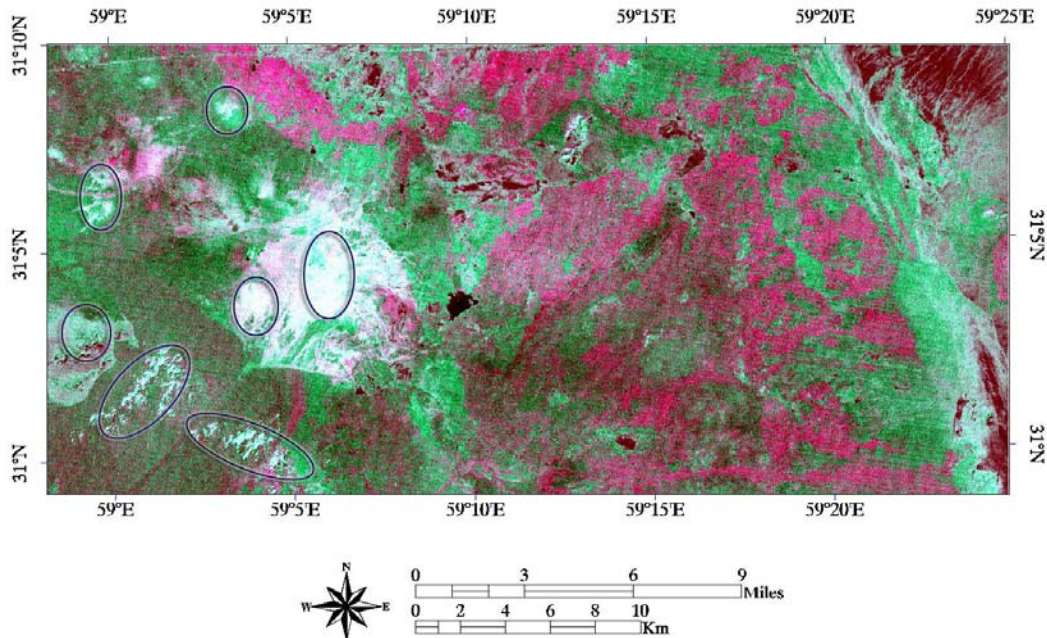
یکی از روش‌هایی که در افزایش وضوح تصاویر و نیز تعدیل سایه‌ها کاربرد زیادی دارد استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی تصویر می‌باشد. هدف از این روش تعیین ضرایب شاخص موقعیت محورهایی است که دلالت بر وجود حداکثر تغییرپذیری دارند و فاقد همبستگی هستند. با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی چرخشی در جهت محور مختصات بوجود می‌آید و محورهای جدید در جهتی که بیشترین واریانس ارزش‌های طیفی دارند ایجاد می‌شود [۲].

در جدول ۱ مقادیر بردار ویژه مؤلفه‌های اصلی آمده است. با توجه به جدول ۱، بهترین مؤلفه اصلی برای آشکارسازی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل (آرژیلیک و سریسیتیک) مؤلفه‌ای می‌باشد که در باند ۵ و ۷ دارای مقادیر ویژه بالا با علامت‌های مخالف بوده که مؤلفه PC5 حائز این شرایط می‌باشد ولی به علت این که میزان بردار ویژه آن در باند ۵ منفی و در باند ۷ مثبت بوده، مناطق دگرسانی را به صورت پیکسل‌های تیره نشان می‌دهد که با ضرب این تصویر در عدد (-۱) مناطق دگرسانی به صورت پیکسل‌های روشن مشخص می‌شود. به همین ترتیب دگرسانی اکسید آهن در مؤلفه PC4 به صورت پیکسل‌های تیره آشکار می‌شود که با ضرب تصویر مؤلفه PC4 در عدد (-۱) مناطق دگرسانی به صورت پیکسل‌های روشن مشخص می‌شوند.

جدول ۱- نتایج آنالیزهای مؤلفه‌های اصلی

مؤلفه‌های اصلی	بردارهای ویژه					
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
PC1	۰,۱۵۹۱۲۷	۰,۲۸۲۸۳۹	۰,۴۸۲۹۰۴	۰,۴۲۸۱۷۶	۰,۴۵۷۶	۰,۵۱۸۳۷۷
PC2	۰,۱۵۶۴۳۴	۰,۳۰۰۵۱۹	۰,۵۷۰۵۶۳	۰,۲۴۱۸۳۱	-۰,۴۹۳۶۰۴	-۰,۵۰۷۴۹۱
PC3	۰,۲۰۰۵۴۰	۰,۳۷۵۶۲۸	۰,۱۹۵۲۹۴	-۰,۷۴۸۶۱۷	-۰,۲۵۴۲۰۶	۰,۳۹۴۳۳۳
PC4	۰,۶۰۴۲۳۸	۰,۴۷۸۳۲۴	-۰,۴۳۲۲۸۰	۰,۰۰۱۶۵۸	۰,۳۲۷۶۹۶	-۰,۳۳۴۴۴۰
PC5	۰,۲۳۶۴۸۵	۰,۰۶۵۷۶۸	-۰,۴۱۰۳۵۷	۰,۴۳۶۳۲۹	-۰,۶۱۲۲۹۵	۰,۴۵۳۹۴۷
PC7	۰,۶۹۹۲۵۸	-۰,۶۷۴۸۹	۰,۲۱۸۷۷۵	-۰,۰۸۵۸۴	۰,۰۰۳۰۹۶	۰,۰۱۷۹۴۹

به منظور آشکارسازی مناطقی که شامل هر دو نوع دگرسانی می‌باشند یک تصویر میانگین از مؤلفه‌های PC4 و PC5-بدست آمد و به وسیله آن یک ترکیب رنگی کاذب به صورت $(-PC4, -PC5, \frac{-(PC4-PC5)}{2})$ ساخته شد که به این ترتیب مناطقی که با پیکسل‌های روشن مشخص شدند شامل هر دو نوع دگرسانی می‌باشند.



شکل ۳- نقشه دگرسانی حاصل از روش PCA با استفاده از ترکیب رنگی کاذب $(-PC4, -PC5, \frac{-(PC4-PC5)}{2})$ که مناطق نشان داده شده با اشکال بیضی، شامل دو دگرسانی کانی‌های هیدروکسیل و اکسید آهن می‌باشد

۴-۴- روش کروسستا^۲

روش کروسستا که مؤلفه‌های اصلی جهت‌دار نیز نامیده می‌شود عبارت است از آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی که در آن تنها از باندهایی استفاده می‌شود که اطلاعات خاصی به ما می‌دهند و از بقیه باندها برای جلوگیری از اشتباه صرف نظر می‌شود [۸]. از آنجایی که اکسید آهن در باندهای ۲ و ۳ دارای انعکاس بالایی هستند مؤلفه‌های اصلی مربوط به آشکارسازی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل (آرژیلیک و سریسیتیک) از مؤلفه‌های اصلی حاصل از باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ محاسبه گردید (جدول ۲). حذف باندهای ۲ و ۳ به منظور اجتناب آگاهانه از تاثیر اکسید آهن بوده است. طیف کانی‌های هیدروکسیل در اطراف باند ۷ دارای جذب بالا و در باند ۵ دارای انعکاس بالا می‌باشد بنابراین بهترین مؤلفه اصلی برای تفکیک مناطق دگرسانی مؤلفه‌ای می‌باشد که در باندهای ۵ و ۷ دارای بردار ویژه بالا با علامت‌های مخالف باشد که با توجه به جدول ۲ مؤلفه PC3 مناسب‌ترین مؤلفه است که مناطق دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل را با پیکسل‌های تیره مشخص می‌کند لذا برای آشکارسازی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل با پیکسل‌های روشن مؤلفه PC3 را در عدد (-۱) ضرب می‌کنیم. شکل ۴ نقشه دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل حاصل از روش کروسستا را نشان می‌دهد که این تصویر در مقایسه با تصاویر نسبتی کنتراست پایین تری دارد [۹].

به منظور آشکارسازی دگرسانی اکسید آهن مؤلفه‌های اصلی حاصل از باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ محاسبه گردید که نتایج حاصل از بردارهای ویژه آن در جدول ۳ آمده است. با توجه به جدول ۳ مؤلفه PC4 مناسب‌ترین مؤلفه است. این مؤلفه، دگرسانی را بصورت پیکسل‌های تیره نشان می‌دهد لذا تصویر مذکور در عدد (-۱) ضرب شد تا دگرسانی بصورت پیکسل‌های روشن به نمایش درآید (شکل ۵). به منظور آشکارسازی مناطقی که شامل هر دو نوع دگرسانی می‌باشند یک تصویر میانگین از مؤلفه‌های

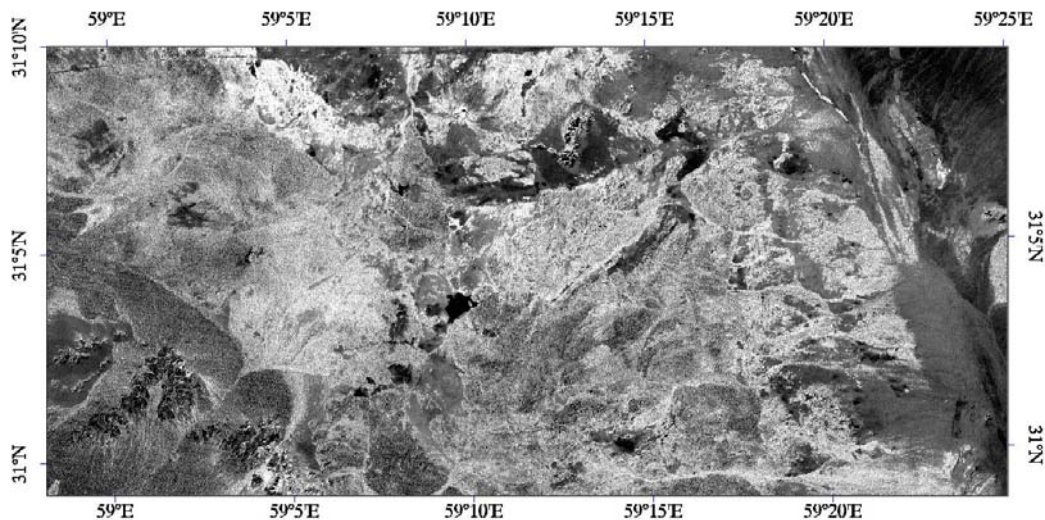
PC4 و PC3- بدست آمد و به وسیله آن یک ترکیب رنگی کاذب به صورت $RGB: (-PC3, -PC4, \frac{(-PC3-PC4)}{2})$ ساخته شد که به این ترتیب مناطقی که با پیکسل‌های روشن مشخص شدند شامل هر دو نوع دگرسانی می‌باشند (شکل ۶).

جدول ۲- آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل با استفاده از روش کروستا

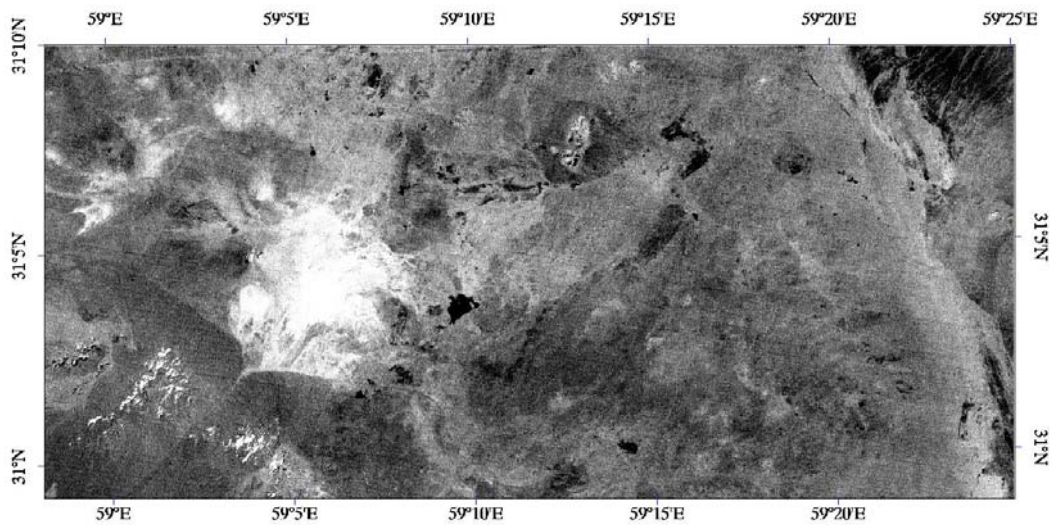
مؤلفه‌های اصلی	بردارهای ویژه			
	Band 1	Band 4	Band 5	Band 7
PC1	۰,۱۷۸۶۶۴	۰,۴۹۸۲۴۵	۰,۵۶۴۹۲۷	۰,۶۳۳۰۰۰
PC2	۰,۲۱۹۵۶۶	۰,۸۱۲۵۵۳	-۰,۲۴۹۵۷۰	-۰,۴۷۸۸۱۵
PC3	۰,۴۸۳۰۳۴	-۰,۰۳۹۰۷۸	-۰,۷۰۲۴۲۰	۰,۵۲۱۳۰۳
PC4	۰,۸۲۸۵۸۲	-۰,۲۹۹۹۷۲	۰,۳۵۳۸۰۷	-۰,۳۱۳۵۱۱

جدول ۳- آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای دگرسانی اکسید آهن با استفاده از روش کروستا

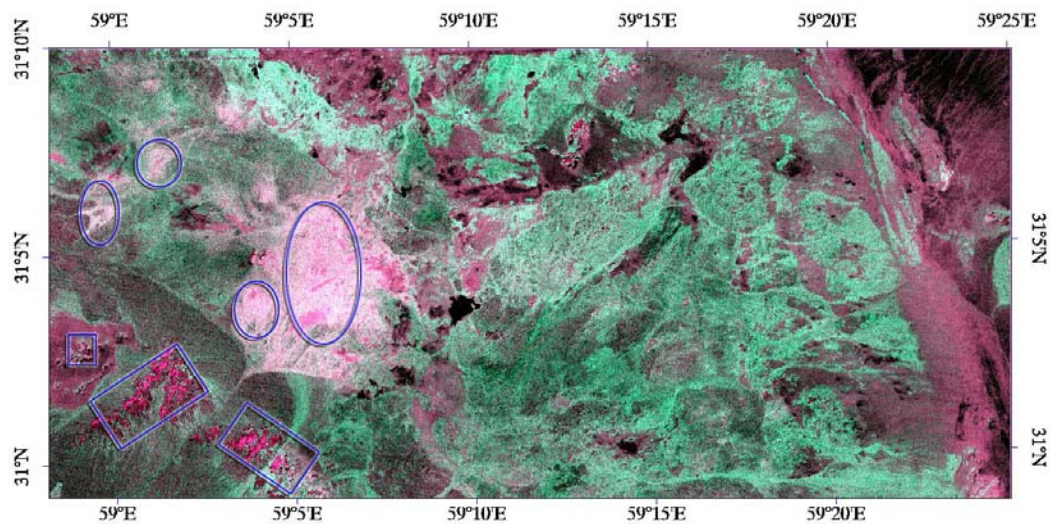
مؤلفه‌های اصلی	بردارهای ویژه			
	Band 1	Band 3	Band 4	Band 5
PC1	۰,۱۹۵۴۴۹	۰,۶۰۴۸۴۹	۰,۵۴۰۱۱۰	۰,۵۵۱۵۷۹
PC2	۰,۱۱۵۴۲۹	۰,۵۹۵۸۷۴	۰,۰۹۶۵۳۸	-۰,۷۸۸۸۵۴
PC3	۰,۱۷۸۶۷۴	۰,۴۴۸۵۸۲	-۰,۸۳۵۳۴۸	۰,۲۶۲۷۶۱
PC4	۰,۹۵۷۳۶۷	-۰,۲۷۹۰۴۵	۰,۰۳۳۹۹۷	-۰,۰۶۶۵۳۴



شکل ۴- نقشه دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل حاصل از روش کروستا



شکل ۵- نقشه دگرسانی اکسید آهن حاصل از روش کروستا



شکل ۶- نقشه دگرسانی حاصل از روش کروستا با استفاده از ترکیب رنگی کاذب $(-PC3, -PC4, \frac{PC3-PC4}{2})$ ، اشکال مستطیلی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل و اشکال بیضی شامل هر دو دگرسانی هیدروکسیل و اکسید آهن هستند

۵- نتیجه گیری

در مناطق خشک و بیابانی حاشیه لوت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مراحل اولیه اکتشاف مواد معدنی به منظور آشکارسازی مناطق دگرسانی بسیار مفید می‌باشد. در این تحقیق مناطق دگرسانی با روش‌های تصاویر نسبتی، ترکیب‌های رنگی کاذب، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و روش کروستا تحلیل و تفسیر شد. بهترین مؤلفه اصلی برای آشکارسازی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل مؤلفه PC5 و برای اکسید آهن مؤلفه PC4 می‌باشد. در روش کروستا PC3 دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل و PC4 دگرسانی اکسید آهن را آشکار سازی کرد. با مقایسه سه روش اعمال شده، هماهنگی مناسبی بین نتایج

مشاهده شد، همچنین بازدیدهای صحرایی از کوه‌های سیمرغ در جنوب غربی ده‌سلم نتایج دورسنجی را تایید می‌کند از جمله وجود دو نوع گرانیت با سن‌های متفاوت در کوه‌های سیمرغ بهترین منطقه پتانسیل‌دار را برای نهشته‌سازی ذخایر مس پرفیری فراهم کرده است که نیازمند اکتشافات سیستماتیک تفصیلی می‌باشد.

۶- مراجع

- [۱] آقاجانی، حمید؛ (۱۳۸۳)؛ "بررسی دورسنجی در محدوده کوه‌خونی تا کوه کال‌کافی"، کنفرانس مهندسی معدن ایران ۸۳.
- [۲] خالوکاکی، رضا؛ صفایی، هادی؛ حاج‌حیدری، علی؛ (۱۳۸۳)؛ "شناسایی منطقه دگرسانی جنوب کاشان (ناحیه ابیان) در ارتباط با کانی‌سازی طلا با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره‌ای"؛ هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- [۳] سازمان زمین‌شناسی کشور؛ (۱۳۷۱)؛ نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم، چاپ تهران.
- [۴] قائد رحمتی، رضا؛ فتحیان پور، نادر؛ (۱۳۸۳)؛ "آشکارسازی دولومیت‌های ماسه‌ای آهن‌دار مرتبط با کانی‌سازی سرب و روی به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های ماهواره ای TM"؛ کنفرانس مهندسی معدن ایران ۸۳.
- [۵] قربانی، محمد؛ (۱۳۸۱)؛ دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، جلد اول.
- [۶] نعیمی قصابیان، ناصر؛ رضایی، پروانه؛ (۱۳۸۵)؛ "شناسایی نواحی امیدبخش معدنی با استفاده از دورسنجی و GIS در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ طاهرآباد"؛ بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.
- [۷] ماله‌میر، علی‌رضا؛ (۱۳۸۱)؛ اکتشافات لیتوژئوشیمیایی در ده‌سلم خراسان مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[8] Polomera R.P.A, 2004; *Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Mineral Predictive Mapping, Deseado Massif, Southern Argentina*, International institute for Geo - information science and earth observation Enschede, the Netherlands.

[9] 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 belt*", Journal of Asian Earth sciences, No. 24, pp. 237-243.

۷- زیرنویس‌ها

¹ False Color Composite

² Principal Component Analysis

³ Crosta method