

بررسی الگوهای اکتشافی ذخایر آهن اسکارنی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ در شمال شرق دلیجان

مهناز خادمی پارسا^{1*}، فریبرز مسعودی²

1- دانشجوی دکترای پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

2- استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: 1395/1/23

تأیید نهایی مقاله: 1395/3/18

چکیده

در شمال شرقی دلیجان، در زون ساختاری ایران مرکزی و کمربند ماگمایی ارومیه دختر مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی، پیروکلاستیک، آتشفشانی و توده‌های نفوذی و نیمه عمیق رخمون دارد. جایگیری توده نفوذی در درون رسوبات آهکی و سنگ‌های پیروکلاستیک سبب کانی‌سازی آهن اسکارنی و آلتراسیون سنگ‌های میزبان شده است. جهت بررسی آلتراسیون‌ها و تعیین الگوهای شناسایی کانی‌سازی آهن‌های اسکارنی منطقه، دورسنجی با استفاده از روش‌های پردازشی مختلف تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره لندست انجام شده است. بر این اساس روش‌های نسبت بانندی، آنالیز مولفه‌های اصلی، فیلترگذاری انطباقی؛ بهترین الگوریتم‌ها جهت استخراج آلتراسیون‌ها می‌باشد و روش‌های ترکیب رنگی، نسبت بانندی، کروستا و الگوریتم LS-Fit نتایج مطلوبی جهت آشکارسازی کانی‌های آهن‌دار ارائه می‌کنند. دورسنجی به روش‌های مذکور برای تعیین آلتراسیون‌های پروپلیتیک و بارزسازی کانی‌های آهن‌دار جهت اکتشاف مقدماتی کانسارهای اسکارنی آهن‌دار پیشنهاد می‌گردد، همچنین به علت عدم ارتباط آلتراسیون‌های رسی با کانسار اسکارنی در منطقه مورد مطالعه، بررسی این نوع آلتراسیون جهت شناسایی کانسار آهن ناکارآمد می‌باشد.

واژگان کلیدی: آلتراسیون پروپلیتیک، آهن‌های اسکارنی، دلیجان، دورسنجی، ETM+

Email:

*- نویسنده مسئول: 09192407243

M_khademi@sbu.ac.ir

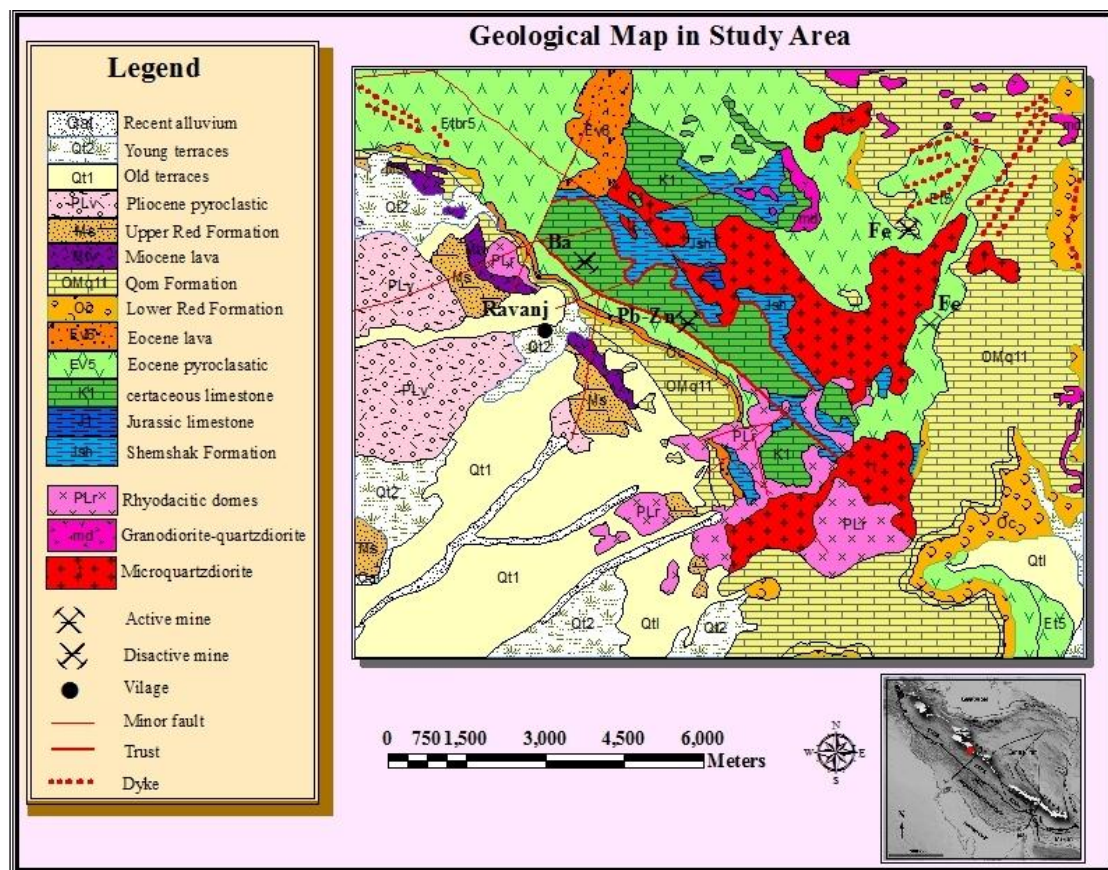
مقدمه

اسکارن‌ها سنگ‌های کالک سیلیکانه‌ای هستند که بواسطه جایگیری لیتولوژی کربناته در طی دگرگونی ناحیه‌ای و یا به علت فرآیندهای دگرگونی مجاورتی وابسته به توده‌های نفوذی تشکیل می‌گردند، اکثر اسکارن‌ها به همراه سیستم پورفیری جایی که استوک پورفیری به درون لیتولوژی کربناته نفوذ کرده است، تشکیل می‌شوند (پیراجنو، 2009). انواع گسترده‌ای از ذخایر فلزی به همراه نهشته‌های اسکارنی حضور دارند که شامل کانه‌های آهن، مس، سرب و روی، قلع، تنگستن، مولیبدن و طلا است (راب، 2005). تفاوت کانسارهای فلزی همراه با نهشته‌های اسکارنی به ترکیبات متفاوت، شرایط اکسیداسیون و همگنی متالورژی توده نفوذی وابسته است (اینودی و همکاران، 1981). بررسی طیفی آلتراسیون‌ها و شناسایی آن‌ها به روش سنجش از دور یکی از روش‌های استاندارد، با بازده بالا و کم هزینه است که اهمیت به سزایی در اکتشاف مقدماتی عناصر فلزی دارد. فن سنجش از دور می‌تواند شرایط مناسبی را برای اکتشاف کانسارهای آهن‌دار فراهم کند و منجر به کاهش هزینه‌ها و سهولت در امر پی‌جویی این کانسارها شود. در شمال شرقی شهرستان دلیجان، ذخایر اسکارنی آهن وجود دارد که برخی رخنمون‌ها در حال استخراج است. در این مطالعه از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره لندست به علت دسترسی آسان، پوشش گسترده و پاسخ مناسب به فرآیندهای پردازشی با هدف شناسایی و آشکارسازی ذخایر آهن استفاده شده و به

بررسی و شناسایی آلتراسیون‌ها و تعیین الگوهایی جهت اکتشاف آهن اسکارنی پرداخته شده است.

محدوده مورد مطالعه

منطقه معدنی مورد مطالعه در شمال شرقی شهرستان دلیجان و در شرق روستای راونج، از توابع استان مرکزی، در طول شرقی 40' 50 تا 49' 50 و عرض شمالی 07' 34 تا 13' 34 قرار گرفته است و از نظر زمین‌شناختی در زون ایران مرکزی و زیر زون ارومیه دختر واقع شده و بخشی از نقشه زمین‌شناسی 1/250000 قم و 1/100000 کهک را می‌باشد (شکل 1). منطقه مورد مطالعه شامل تناوبی از سنگ‌های رسوبی، پیروکلاستیک و آتشفشانی است که توسط صفحات دایکی و توده‌های نفوذی و نیمه‌عمیق قطع گردیده‌اند. سنگ‌های پیروکلاستیک به سن ائوسن شامل تناوبی از توف‌های سبز، شیل و سیلت استون همراه با میان لایه‌هایی از آهک ماسه‌ای فسیل‌دار و گدازه‌های آندزیتی می‌باشد که به طور گسترده در بخش‌های مرکزی برونزد دارند. دایک‌های بازیک در بخش‌های مختلف به درون این واحد نفوذ کرده است. واحدهای آتشفشانی متعلق به دو سن ائوسن و پلیوسن هستند که سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی بازالتی ائوسن در شمال منطقه و واحدهای آتشفشانی پلیوسن به صورت گنبد‌های آتشفشانی و نیمه آتشفشانی با ترکیب اسیدی در مرکز منطقه برونزد دارند، همچنین سنگ‌های آذرآواری تیره رنگ با ترکیب حدواسط به سن پلیوسن در هسته یک ناودیس در غرب منطقه قابل مشاهده است.



شکل 1: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، برگرفته از نقشه زمین‌شناسی 1/100000 کهک.

مواد و روش‌ها

خصوصیات داده سنجنده ETM+ ماهواره Landsat 7 در مدار قطبی و خورشید آهنگ به ارتفاع 705 کیلومتر در یک دوره 16 روزه از سطح زمین توسط تنها سنجنده خود به نام Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) تصویر برداشت می‌نماید (علوی‌پناه و لدنی، 1389). سنجنده ETM+ با اضافه شدن یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک زمینی 15 متر و یک باند حرارتی با قدرت تفکیک زمینی 60 متر نسبت به Landsat 5 بهسازی گردیده است (مارخام و همکاران، 2008) (جدول 1). در مطالعه حاضر از تصویر ETM+ با شماره 37/164 که در تاریخ 7 سپتامبر 2001 برداشت شده و از نرم افزارهای ENVI 4.8 و ArcGIS 9.3 جهت پردازش تصاویر استفاده شده است.

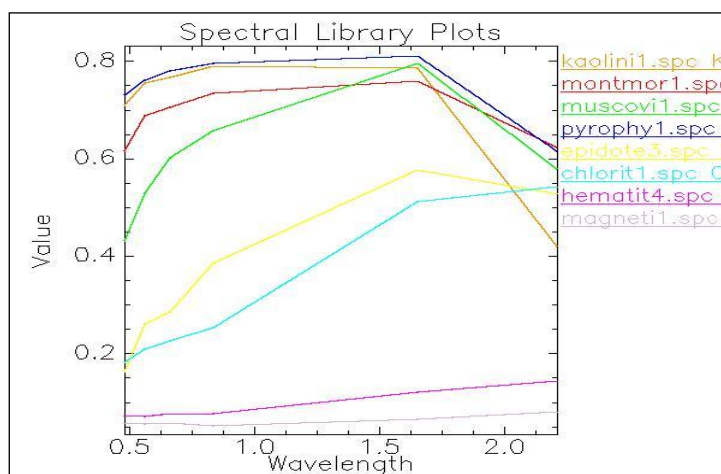
توده نفوذی با اندازه متوسط تا بزرگ از جنس گرانودیوریت تا کوارتز دیوریت به سن احتمالی میوسن میانی - بالایی در بخش مرکزی منطقه به درون واحدهای پیروکلاستیک ائوسن و رسوبات مزوزوئیک و سنوزوئیک نفوذ کرده است. در اثر جای‌گیری توده نفوذی در درون رسوبات آهکی و سنگ‌های پیروکلاستیک، کانی‌سازی اسکارن آهن‌دار به صورت رگه‌ای در واحدهای سنوزوئیک دیده می‌شود (قلمقاش، 1374). دو معدن آهن در محل تماس توده نفوذی با واحدهای آتشفشانی ائوسن در حال فعالیت هستند. سنگ درونگیر رگه‌های آهن واحد توفی شیلی ائوسن است و به نظر می‌رسد که رگه‌های یاد شده در مرز لایه‌های آهکی قم و واحد توفی تجمع بیشتری دارند (قلمقاش و باباخانی، 1372).

جدول 1: محدوده تفکیک طیفی باندهای مختلف سنجنده ETM+ ماهواره لندست

Band	Wavelength range (μm)	Pixel size (m)
1	0.450-0.515	30
2	0.525-0.605	30
3	0.630-0.690	30
4	0.750-0.900	30
5	1.55-1.75	30
6	10.40-12.50	60
7	2.09-2.35	30
8	0.520-0.900	15

موریلونیت، پیروفیلیت و مسکوویت) در باند 5 حداکثر بازتاب و در باند 7 حداکثر جذب، کانی-های آهن دار (هماتیت و مگنتیت) در باند 3 حداکثر بازتاب و در باند 1 حداکثر جذب و کانی-های شاخص دگرسانی پروپلیتیک (اپیدوت و کلریت) در باند 5 حداکثر بازتاب و در باند 1 حداکثر جذب را دارند. روش‌های مختلف پردازشی جهت بررسی آلتراسیون‌ها و شناسایی کانسار آهن انجام شده که شامل روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مولفه‌های اصلی، روش کروستا، پیش‌بینی خطی باندی، فیلترگذاری انطباقی و کشیدگی غیر همبسته می‌باشد. نحوه عملکرد و نتایج مربوط به هر روش ارائه شده است.

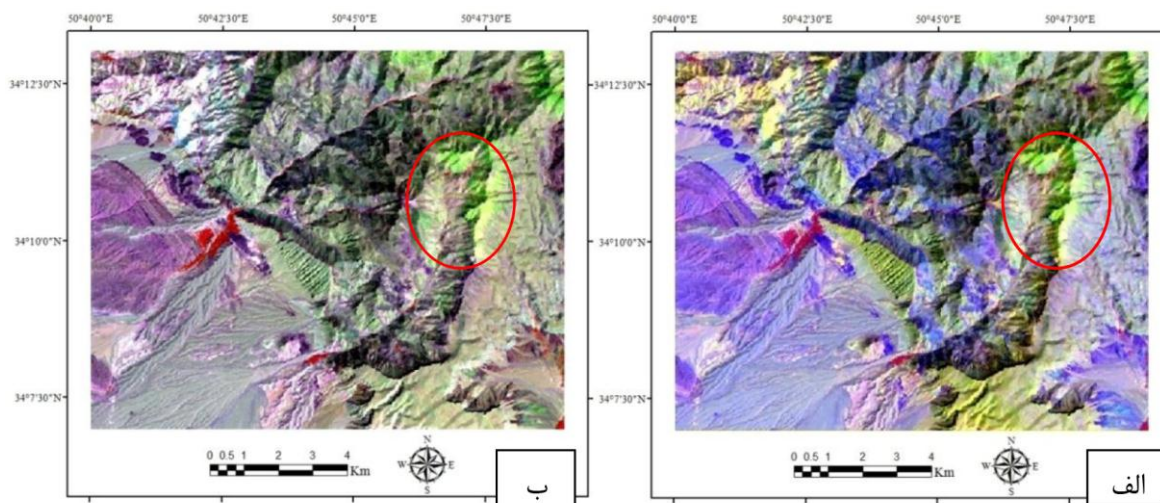
روش پردازش داده: پردازش تصویر ماهواره‌ای به منظور دستیابی به تصویری با کیفیت بهتر و قابل درک‌تر جهت تفکیک پدیده‌های مختلف با توجه به شباهت‌های بافتی، طیفی و هندسی انجام شده است. با در نظر گرفتن وضعیت سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و در جهت شناسایی آلتراسیون‌ها و کانسار آهن‌دار، کانی‌های شاخص آلتراسیون رسی، دگرسانی پروپلیتیک و کانی‌های آهن‌دار از کتابخانه طیفی کانیایی USGU نرم‌افزار ENVI انتخاب و بر اساس دامنه طیفی باندهای سنجنده ETM+ نمونه‌گیری مجدد شده و نمودار طیفی کانی‌های مورد نظر ترسیم گردیده است (شکل 2). بر این اساس، کانی‌های آلتراسیون رسی (کائولینیت، مونت



شکل 2: نمودار طیفی کانی‌های آلتراسیون رسی، دگرسانی پروپلیتیک و کانی‌های آهن‌دار بر اساس دامنه طیفی باندهای سنجنده ETM+ (برگرفته از کتابخانه طیفی کانیایی USGS).

باند‌هایی با همبستگی کمتر نتایج مطلوب‌تری داشت. مناطق دارای نواحی آلتراسیون‌های هیدروترمال با استفاده از ترکیب رنگی کاذب باندهای 4:7:2 و 4:7:6 به رنگ سبز پررنگ دیده می‌شود (شکل 3).

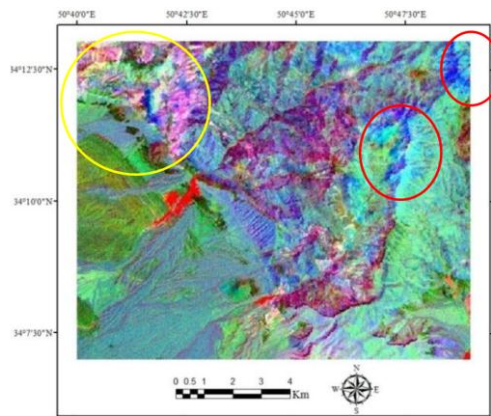
روش ترکیب رنگی کاذب (**False Color Composition**): برای شناسایی انواع مختلف لیتولوژی و آلتراسیون‌ها از روابط متقابل بین طول موج‌های مختلف جهت ایجاد تصاویر ترکیب رنگی کاذب استفاده شد، در این روش استفاده از



شکل 3: آلتراسیون‌های هیدروترمال با استفاده از ترکیب رنگی کاذب باندهای 4:7:2 (الف) و 4:7:6 (ب) به رنگ سبز پررنگ.

اطلاعات شاخص و دارای اهمیت می‌شود که در تصاویر تک باندهای قابل تشخیص نیستند (جنسن، 1996). بر اساس خصوصیات طیفی کانی‌ها نسبت باندهای 5/7، 3/1، 5/4 به ترتیب جهت شناسایی کانی‌های دارای عامل هیدروکسیل، آلتراسیون اکسید آهن و کانی‌های اکسیدی آهن‌دار استفاده می‌شود (شکل 4).

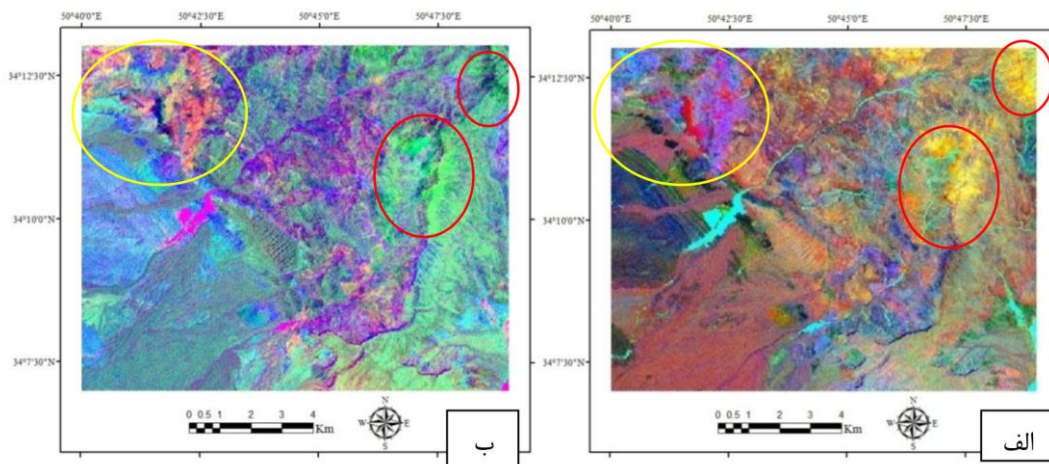
روش نسبت باندهای (**Band Ratio**): یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، روش نسبت باندهای است (سابینز، 1999). این روش برای بارزسازی تفاوت طیفی پدیده‌های مختلف به کار برده می‌شود و با به کارگیری این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را در تصویر کاهش داد (هیسن و همکاران، 2001). استفاده از این روش باعث کاهش اثرات محیطی و ایجاد تصویری با



شکل 4: تصویر نسبت بانندی 5/4، 3/1، 5/7 که در آن آلتراسیون های رسی به رنگ صورتی و کانی های آهن دار به رنگ آبی تیره دیده می شوند.

دارای یون آهن، زون های گیاهی، کانی های دگرسانی پروپلیتیک و آلتراسیون های رسی به ترتیب به رنگ نارنجی روشن، آبی روشن، زرد و آبی مشخص می گردند (میا و فوجیمیتسو، 2012) (شکل 5).

بر اساس نسبت بانندی آبرامز (Abrams ratio) (5/7, 3/2, 4/5) آلتراسیون هیدروترمالی اکسید آهن به رنگ سبز و کانی های رسی با رنگ قرمز دیده می شوند؛ در نسبت بانندی کافمن (Kaufmann ratio) (7/4, 4/3, 5/7) کانی های



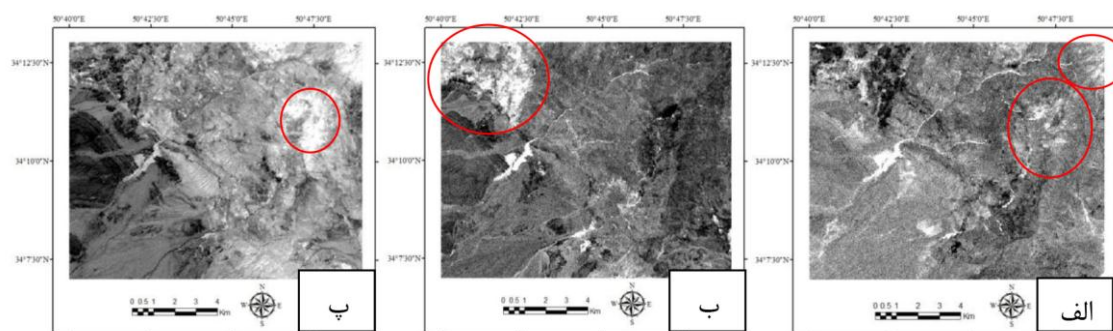
شکل 5: تصویر نسبت بانندی آبرامز (Abrams ratio) (5/7, 3/2, 4/5) (الف)؛ تصویر نسبت بانندی کافمن (Kaufmann ratio) (7/4, 4/3, 5/7) (ب).

حاصل از این فرآیند مؤلفه نامیده می شود، این تبدیل منجر به داده های چند طیفی ناهمبسته می شود که ویژگی های واریانس منظم دارند (علوی پناه و لدنی، 1389). واریانس آماری در تصاویر چند طیفی به رفتار طیفی پدیده های مختلف سطحی مانند سنگ، خاک و گیاه و نیز به

آنالیز مؤلفه های اصلی: روش تبدیل مؤلفه های اصلی جهت کاهش همبستگی بعدی داده های چند طیفی به کار گرفته می شود (میا و فوجیمیتسو، 2012). هدف این تبدیل کاهش تعداد باندها در داده ها و متراکم سازی بیشترین اطلاعات باندهای اصلی در تعداد باندهای کمتر است، باندهای

اختلاف در این باندها، سبب مشاهده آلتراسیون-های رسی با رنگ سفید شده است (شکل 6 ب). در شکل 6 پ مکان‌های روشن نشانگر کانی‌های آهن‌دار است که حاصل تصویر PC5 با بردار ویژه مثبت و بیشترین اختلاف در باندهای 1 و 5 می‌باشد. بیشترین اختلاف در باند 1 و 3 است.

داده‌های آماری تصویر وابسته است (لافلین، 1991). در شکل 6 الف آلتراسیون پروپلیتیک با رنگ روشن مشاهده می‌شود و حاصل تصویر PC2 بوده که دارای بردار ویژه مثبت و بیشترین اختلاف در باندهای 1 و 5 می‌باشد. با بردار ویژه مثبت در باندهای 5 و 7 و نیز بیشترین



شکل 6: تصویر PC2 با پیکسل‌های روشن برای کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک (الف)؛ تصویر PC4 با پیکسل‌های روشن برای کانی‌های آلتراسیون رسی (ب)؛ تصویر PC5 با پیکسل‌های روشن برای کانی‌های آهن‌دار (پ).

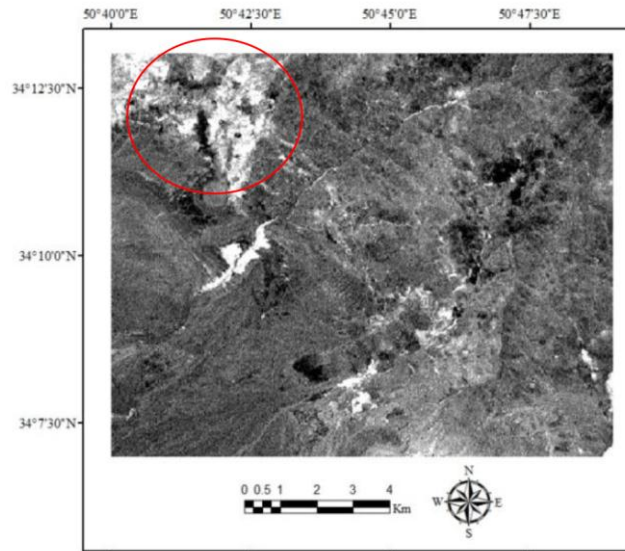
بارسازی آلتراسیون رسی در جدول 2 نشان داده شده است. در آشکار سازی آلتراسیون رسی، باند 1 به علت عدم بارسازی کانی‌های آهن‌دار و کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک که به ترتیب توسط باندهای 1 و 3 و باندهای 1 و 5 مشخص می‌شوند، عمداً حذف شده است. در شکل 7 پیکسل‌های روشن نشان دهنده آلتراسیون رسی حاصل از تصویر معکوس PC3، با بیشترین اختلاف در باندهای 5 و 7 و با بردار ویژه منفی در باند 5، می‌باشد. نتیجه آنالیز مولفه‌های اصلی باندهای 1، 2، 3 و 4 جهت متمایز کردن کانی-های آهن‌دار در جدول 3 آورده شده است. PC2 با بیشترین اختلاف در باندهای 1 و 3 جهت بارسازی کانی‌های آهن‌دار انتخاب گردیده و به دلیل منفی بودن بردار ویژه باند 3 در PC2، برای نمایش زون‌های حاوی کانی‌های آهن‌دار به صورت

روش کروستا (Crosta Technique): کاهش تعداد باندهای طیفی در آنالیز مولفه‌های اصلی سبب می‌شود که بعضی از پدیده‌های خاص نقشه-برداری نشود و احتمال بارسازی این پدیده‌ها تنها در یک تصویر آنالیز مولفه اصلی افزایش یابد، این روش به نام روش کروستا شناخته می‌شود (بتکین، 2003). روش کروستا به عنوان آنالیز مولفه اصلی انتخابی جهت‌دار شناخته می‌شود که در آن، امکان معرفی مولفه‌های اصلی که شامل اطلاعات طیفی خاص برای پدیده‌های ویژه می‌باشد، وجود دارد (بلوکی و پورمیرزایی، 2009). روش کروستا در این مطالعه با استفاده از 4 باند انتخابی تصویر ETM+ برای بارسازی پاسخ طیفی کانی‌های اکسید آهن، کانی‌های آلتراسیون رسی و کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک انجام شده است. نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی باندهای 2، 3، 5 و 7 جهت

پیکسل‌های روشن، تصویر PC2 معکوس شده است (جدول 2 و 3) (شکل 7 و 8).

جدول 2: مولفه آنالیز اصلی برای کانی‌های آلتراسیون رسی

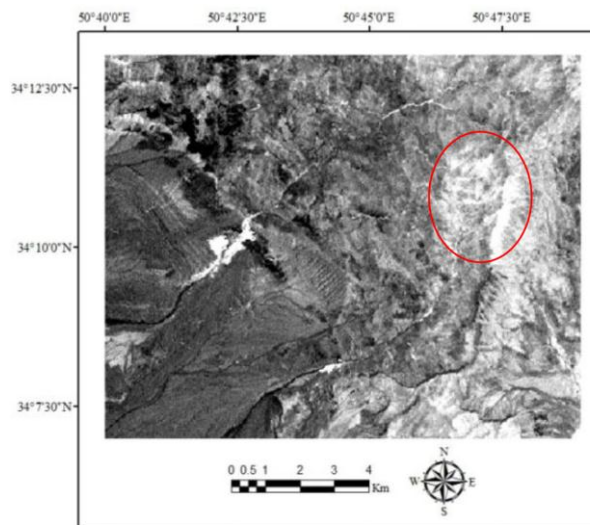
Eigenvector	Band 2	Band 3	Band 5	Band 7
PC1	-0.319852	-0.492693	-0.610004	-0.532371
PC2	-0.510632	-0.630209	0.451209	0.372159
PC3	-0.058864	0.027745	-0.651380	0.755956
PC4	-0.796279	0.599439	0.003143	-0.081296



شکل 7: تصویر معکوس آنالیز مولفه‌های اصلی با پیکسل‌های روشن برای کانی‌های آلتراسیون رسی

جدول 3: آنالیز مولفه‌های اصلی برای کانی‌های آهن‌دار

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
PC1	0.354092	0.481269	0.720503	0.351836
PC2	0.678793	0.325768	-0.254883	-0.606753
PC3	0.353618	0.116729	-0.598201	0.709566
PC4	0.537414	-0.805376	0.240787	0.067662

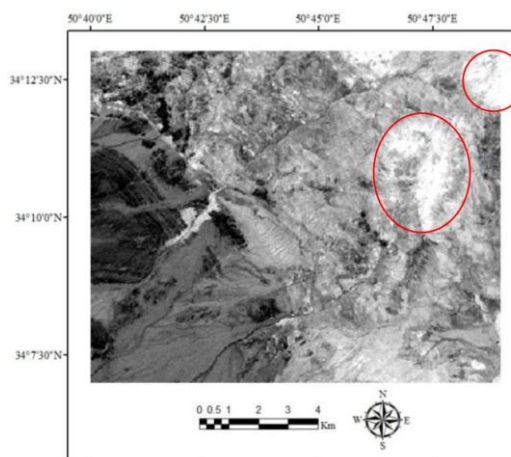


شکل 8: تصویر معکوس آنالیز مولفه‌های اصلی با پیکسل‌های روشن برای کانی‌های آهن‌دار PC2 مشاهده می‌شود. به علت منفی بودن بردار ویژه باند 5 در PC2، تصویر PC2 را معکوس کرده تا مناطق هدف با پیکسل‌های روشن نمایش داده شوند (شکل 9). آلتراسیون پروپیلیتیک در اطراف محل کانی‌سازی آهن مشاهده می‌شود.

جهت بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک، آنالیز مولفه‌های اصلی باندهای 1، 2، 4 و 5 انجام شده است (جدول 4). کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک در باند 5 حداکثر انعکاس و در باند 1 حداکثر جذب را دارند، بیشترین اختلاف این دو باند در

جدول 4: آنالیز مولفه‌های اصلی برای کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 4	Band 5
PC1	0.292921	0.419675	0.332522	0.792148
PC2	0.603057	0.555589	0.107081	-0.562296
PC3	0.301734	0.077955	-0.919844	0.231253
PC4	0.675417	-0.713524	0.178463	0.053350

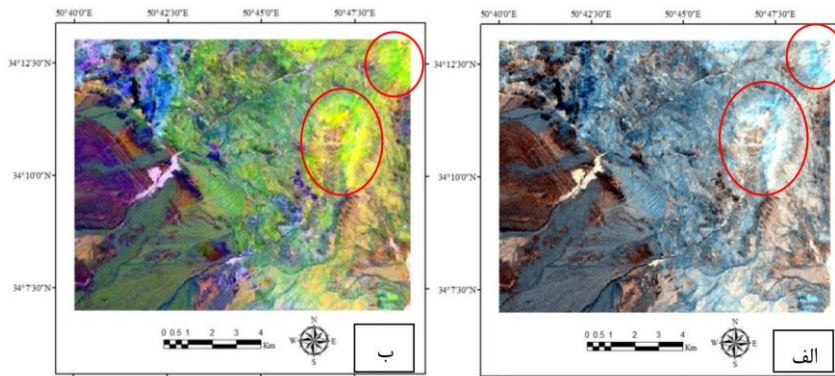


شکل 9: تصویر معکوس آنالیز مولفه‌های اصلی برای کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک با پیکسل‌های روشن

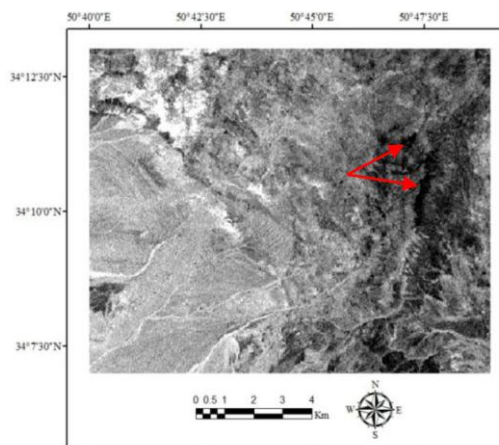
روشن مشاهده می‌شود (میا و فوجیمیتسو، 2012) (شکل 10 الف). جهت نمایش آنومالی غنی‌شدگی مناطق حاوی کانی‌های آهن‌دار و کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک، دو باند F و P با هم ترکیب شده و باند F+P تشکیل شده است. تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای F:F+P:P در شکل 10 ب نشان داده شده است. در این تصویر پیکسل‌های روشن سفید رنگ در اطراف توده نفوذی نشان دهنده مکان‌هایی است که کانی‌های آهن‌دار و کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک با هم حضور دارند، پیکسل‌هایی با رنگ آبی روشن مناطقی است که میزان

تصویر معکوس PC3 از آنالیز مولفه‌های اصلی باندهای 2، 3، 5 و 7 معرف کانی‌های آلتراسیون رسی با عنوان باند A، تصویر معکوس PC2 باندهای 1، 2، 3 و 4 نشانگر مکان‌های هدف کانی‌های آهن‌دار با عنوان باند F و تصویر معکوس PC2 باندهای 1، 2، 4 و 5 نشانگر مناطق حاوی کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک با عنوان باند P در نظر گرفته شده است. در تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای F:P:A، مناطق دارای آلتراسیون رسی به رنگ آبی، کانی‌های آهن‌دار به همراه کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ زرد و کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز

کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک بیشتر از میزان کانی‌های آهن‌دار است (لافلین، 1991).



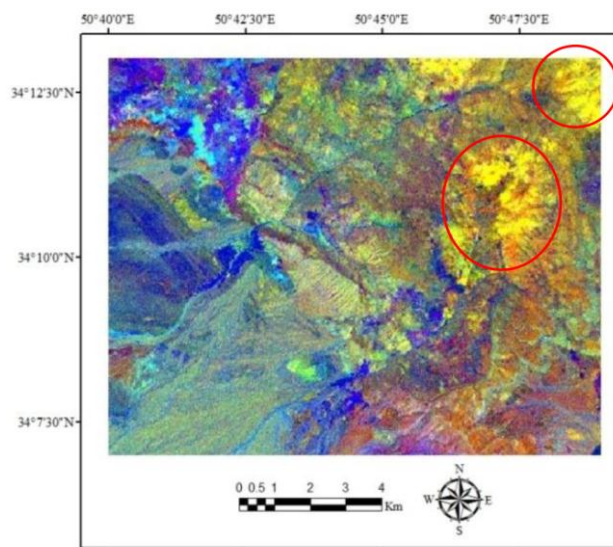
شکل 10: تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای F:P:A (الف)؛ تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای F:F+P:P (ب). روش پیش بینی خطی باند LS-Fit در روش LS-Fit یک رگرسیون خطی فرکانس بالا (جذب) و فرکانس پایین (بازتاب) را که شکل دهنده روند داشته باشیم و به آن یک چند جمله‌ای برازش نموده و نتیجه را از کل روند کسر کنیم، تنها فرکانس بالا (جذب) باقی می‌ماند و تصویری تولید می‌گردد که تنها جذب دارد (خلج معصومی و همکاران، 1391). خروجی این الگوریتم دو باند Prediction Image و Residual Image می‌باشد، در تصویر Residual مکان‌های هدف به رنگ سیاه دیده می‌شود. نتایج حاصل از این روش در منطقه مورد مطالعه برای تشخیص آلتراسیون‌های اکسید آهن مناسب می‌باشد (شکل 11).



شکل 11: تصویر مناطق دارای کانی‌های آهن‌دار به رنگ سیاه به روش پیش‌بینی خطی باندهای.

از باندهای کانی‌های کائولینیت: کلریت: هماتیت مشاهده می‌شود که در آن کائولینیت به عنوان معرف کانی‌های رسی در مکان‌های مختلف منطقه مورد مطالعه و به دور از محل کانی‌سازی آهن به رنگ آبی قابل مشاهده است. حضور هماتیت و کلریت توأم با یکدیگر باعث ایجاد رنگ زرد در محل کانی‌سازی آهن شده است و رنگ نارنجی نشان دهنده مکان‌هایی است که میزان هماتیت از میزان کانی کلریت بیشتر می‌باشد.

نتایج حاصل از این روش برای بارزسازی کانی‌های آلتراسیون رسی (کائولینیت، مونت موریلونیت، پیروپیلیت و مسکوویت) و کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوت و کلریت) مناسب بوده و انطباق خوبی با روش‌های آنالیز مولفه اصلی و کروستا دارد، همچنین روش مذکور برای کانی‌های آهن‌دار از جمله کانی هماتیت قابل قبول می‌باشد، اما برای کانی مگنتیت پاسخ مناسبی نمی‌دهد. در شکل 12 تصویر ترکیب رنگی حاصل



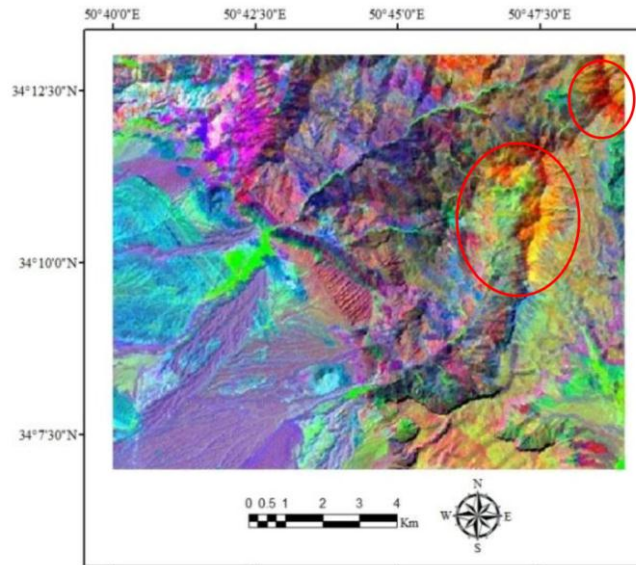
شکل 12: تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای کانی‌های کائولینیت: کلریت: هماتیت

همبستگی بین باندهای تصویر ETM+ منطقه مورد مطالعه در جدول 5 آورده شده است. در تصویر رنگی با باندهای غیر همبسته 5:4:2 پوشش گیاهی به رنگ سبز روشن، کانی‌سازی آهن به رنگ قرمز، دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ زرد و کانی‌های رسی به رنگ بنفش دیده می‌شود (شکل 13).

روش کشیدگی غیر همبسته (Decorrelation Stretch): روش کشیدگی غیر همبسته برای از بین بردن همبستگی بالای معمول بین باندهای تصاویر چند طیفی و ایجاد یک تصویر ترکیب رنگی با رنگ‌های واضح استفاده می‌شود. تصاویری با باندهای دارای همبستگی بالا سبب ایجاد تصویر ترکیب رنگی با رنگ‌های ملایم می‌گردد.

جدول 5: ضریب همبستگی باندهای تصویر ETM+

correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Band 1	1.00000	0.95927	0.90725	0.80600	0.69182	0.70058
Band 2	0.95927	1.00000	0.97086	0.89591	0.81047	0.81198
Band 3	0.90725	0.97086	1.00000	0.93683	0.85617	0.85876
Band 4	0.80600	0.89591	0.93683	1.00000	0.89025	0.86806
Band 5	0.69128	0.81047	0.85617	0.89025	1.00000	0.97670
Band 7	0.70058	0.81198	0.85876	0.86806	0.97670	1.00000



شکل 13: تصویر ترکیب رنگی به روش باندهای غیر همبسته باندهای 2:4:5

بحث و نتایج

گروه سنگی را نشان می‌دهد (شکل 10 ب). بر اساس این تصویر کانی‌سازی آهن در مناطقی که دگرسانی پروپلیتیک گسترش یافته، تشکیل شده است. روش فیلترگذاری انطباقی جهت بارزسازی کانی‌های کلریت و کائولینیت به عنوان معرف زون‌های مختلف مناسب بوده و دارای انطباق خوبی با روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و کروستا است، اما برای کانی مگنتیت مناسب نمی‌باشد. روش نسبت بانندی، کروستا، الگوریتم $Ls-Fit$ و روش $Decorrelation\ Stretch$ بهترین پاسخ را جهت بارزسازی کانی‌های آهن‌دار نشان می‌دهند. مقایسه روش‌های مختلف نشان می‌دهد که آلتراسیون‌های رسی در بخش شمال غربی منطقه است و تشکیل کانی‌سازی آهن در ارتباط با آلتراسیون‌های رسی نمی‌باشد. دگرسانی پروپلیتیک در شمال و شرق توده نفوذی و در اطراف کانی‌سازی آهن تشکیل شده است. مطالعات صحرایی و زمین‌شناسی جهت بررسی اطلاعات به دست آمده از روش‌های سنجش از دور انجام شده است. بر اساس مطالعات صحرایی

در تعیین الگوها جهت شناسایی کانسارهای آهن اسکارنی و آلتراسیون‌های مرتبط از روش‌های ترکیب رنگی باندها، نسبت‌های بانندی و الگوریتم‌های مختلف استفاده شد. بر این اساس روش نسبت بانندی کافمن در مقایسه با نسبت بانندی آبرامز پاسخ مناسب‌تری جهت جداسازی واحدهای مختلف می‌دهد و در این نسبت بانندی امکان بارزسازی دگرسانی پروپلیتیک و کانی‌های آهن‌دار وجود دارد (شکل 5). روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی کل باند و آنالیز مؤلفه‌های اصلی با باندهای انتخابی (روش کروستا) انطباق خوبی برای کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک و آلتراسیون‌های رسی دارد (شکل 6 الف و ب، 7 و 9) اما جهت بارزسازی کانی‌های آهن‌دار روش کروستا پاسخ مناسب‌تری ارائه می‌کند. روش کروستا و الگوریتم $Ls-Fit$ برای کانی‌های آهن‌دار پاسخ یکسانی دارند (شکل 8 و 11). با ترکیب تصویر کانی‌های آهن‌دار و تصویر کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک به دست آمده از روش کروستا، تصویری ایجاد می‌شود که حضور توام و اختلاف میزان حضور دو

بیدهند که سبب برونزد توده نفوذی شده، گسل-های ریز و فراوانی در منطقه به وجود آمده که خود نشانگر تکتونیک فعال در منطقه است. این طور به نظر می‌رسد که آلتراسیون‌های شناسایی شده با گسل‌های ریز مطابقت دارند.

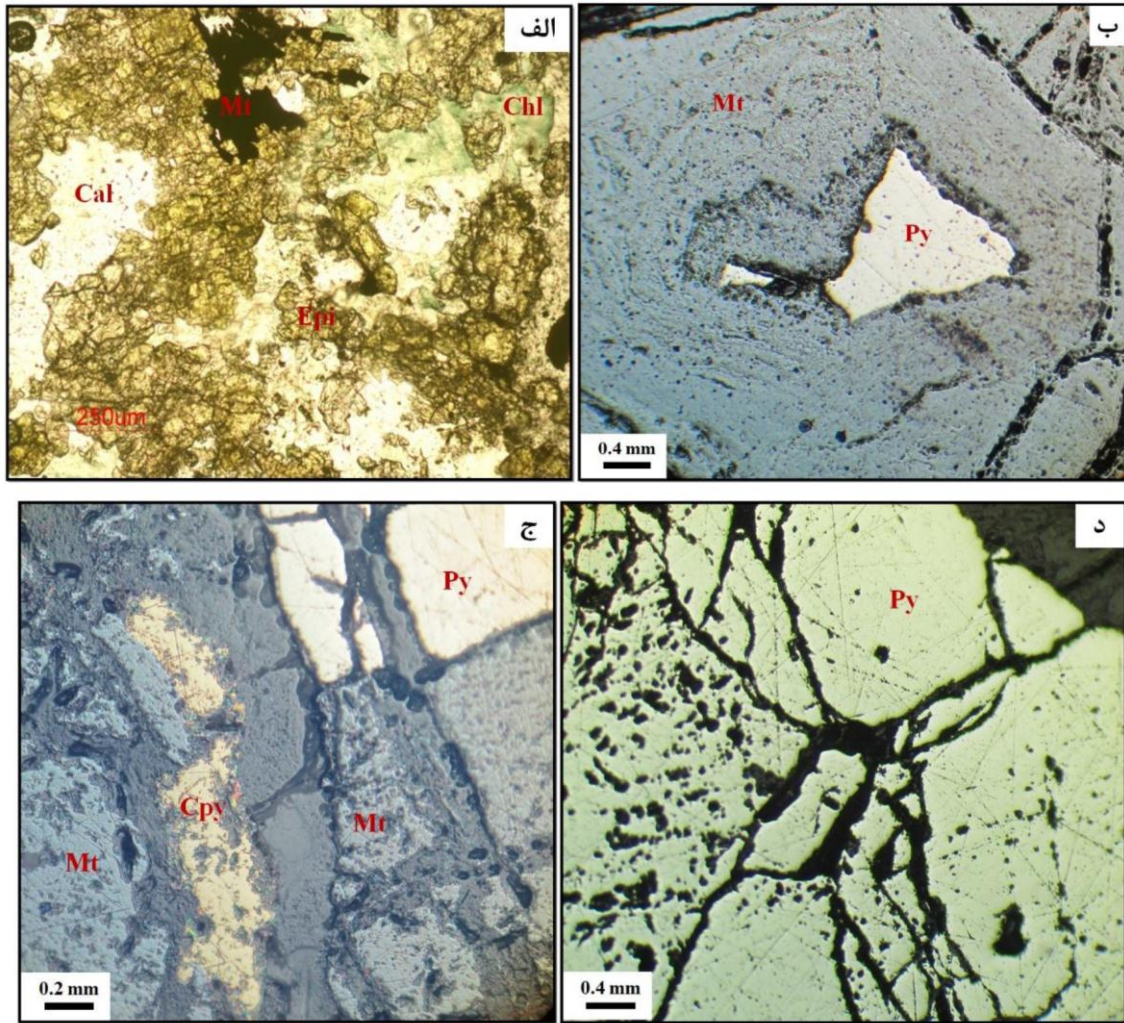
انجام شده در منطقه مورد مطالعه، در شمال و شرق توده نفوذی کانی‌سازی آهن اسکارنی به صورت کانی‌های مگنتیت و هماتیت مشاهده می‌شود (شکل 14) که در نتیجه آن دو معدن در حال فعالیت است. در اثر عملکرد گسل اصلی



شکل 14: تشکیل مگنتیت به همراه پیریت در کانسار آهن اسکارنی در شمال شرق توده نفوذی (الف)؛ تصویر مگنتیت به همراه هماتیت که اندکی لیمونیتی شده است. (ب).

پرولپتیک) (شکل 15 الف). بر اساس مطالعه مقاطع صیقلی، حجم بلورهای پیریت در نواحی با اعماق بیشتر کمتر از بلورهای مگنتیت است و اغلب بلورهای پیریت به صورت بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار در درون بلورهای مگنتیت رشد کرده‌اند که بیانگر تشکیل همزمان این دو کانی است (شکل 15 ب)، اما با کاهش عمق میزان پیریت افزایش می‌یابد (شکل 15 ج). کالکوپیریت به میزان اندک در اعماق به همراه مگنتیت و پیریت اولیه به صورت ریز بلورهای بی‌شکل تشکیل شده است.

چندین نمونه سنگی از اطراف کانی‌سازی جهت بررسی کانی‌شناسی مقاطع نازک و صیقلی برداشت شده است. سنگ‌های دگرگون شده در اطراف کانی‌سازی آهن، متشکل از کانی‌های گارنت، اپیدوت، کلسیت، کوارتز و کلریت است. کانی‌های گارنت زونه 80٪ از حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. با فاصله گرفتن از توده از میزان گارنت کاسته شده و میزان اپیدوت افزایش می‌یابد. در این نمونه‌ها اپیدوت حجم اصلی سنگ را تشکیل داده و کانی‌های کلریت، کلسیت و کوارتز نیز در آن قابل مشاهده است (دگرسانی



شکل 15: تصویر نور عبوری کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک در اطراف ناحیه معدنی سرویان متشکل از اپیدوت، کلریت، کلسیت به همراه بلورهای مگنتیت (الف)، تصویر نور انعکاسی بلور پیریت که به صورت بی‌شکل در درون بلور مگنتیت قرار گرفته است (ب)، تصویر نور انعکاسی بلورهای پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت، بلورهای کالکوپیریت در حال تبدیل شدن به کالکوسیت است (ج)، تصویر نور انعکاسی بلورهای پیریت بی‌شکل مربوط به نواحی کم‌عمق منطقه معدنی سرویان (د). (Chl: کلریت، Epi: اپیدوت، Cal: کلسیت، Mt: مگنتیت، Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت).

نتیجه‌گیری

روش نسبت باندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و فیلترگذاری انطباقی جهت بارسازی آلتراسیون-های رسی و دگرسانی پروپلیتیک و روش‌های ترکیب رنگی، نسبت باندی، کروستا، الگوریتم $LS-Fit$ و روش Decorrelation Stretch جهت بارسازی کانی‌های آهن‌دار مناسب است. به نظر می‌رسد به علت عدم ارتباط کانی‌زایی آهن

اسکارنی با آلتراسیون‌های رسی در منطقه مورد مطالعه، بررسی این آلتراسیون‌ها جهت شناسایی کانی‌زایی آهن اسکارنی مناسب نبوده و بررسی دگرسانی‌های پروپلیتیک برای شناسایی این نوع کانسار مناسب‌تر می‌باشد. تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای F:P:A که به ترتیب نشانگر مکان‌های هدف کانی‌های آهن‌دار، دگرسانی‌های پروپلیتیک و آلتراسیون‌های رسی حاصل از تصاویر معکوس آنالیز مولفه‌های اصلی به روش کروستا

منطقه مورد مطالعه می‌باشد. است، مناسب‌ترین روش جهت شناسایی کانی‌زایی آهن اسکارنی و تفکیک دگرسانی‌های مختلف در

منابع

- خلج معصومی، م.، لطفی، م.، معمار کوچه باغ، ا. و خاکزاد، ا.، 1390. ارزیابی روش‌های مختلف سنجش از دور جهت شناسایی کانی‌های دگرسانی گرمایی در ناحیه آنومالی 5 ساغند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER، مجله پژوهش‌های دانش‌زمین، شماره 6، ص 39-41.
- علوی پناه، ک. و لدنی، م.، 1389. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، انتشارات دانشگاه تهران، 380 ص.

-Bedini, E., 2001. Mineral mapping in the KapSimpon Complex, Central East Reenlan using Hymap and Aster remote sensing data, *Advance in Space Research*, v. 47, p. 60-73.

-Boloki, M. and Poormirzaee, R., 2009. Using Aster image processing for hydrothermal alteration and key alteration minerals mapping in the Siyahrud Area, Iran, *International Journal of Geology*, v. 3, p. 38-43.

-Einaudi, M., Meinert, L.D. and Newberry, R.J., 1981. Skarn deposits, *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, p. 91-317.

-Hewson, R.D. and Cudahy, T.J., 2001. Geologic and alteration mapping at Mt Fitton S, Australia, using Aster satellite-borne data, *IEEE*, p.724-726.

-Jensen, J.R., 1996. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*, Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 318 p.

-Loughlin. W.P., 1991. *Principal component analysis for alteration*

Mapping, Photogrammetric Engineer Remote Sensing, v. 57, p. 1163-1169.

-Markham, B.L., Dabney, P.W., Storey, J.C., Morfitt, R., Knight, E.J., Kvaran, G. and Lee, K., 2008. *Landsat Data Continuity Mission Calibration and Validation*; ASPRS Publications, Colorado, USA.

-Mia, B. and Fujimitsu, Y., 2012. mapping hydrothermal altered mineral deposits using Landsat 7 ETM+ image in and around Kuju volcano, Kyushu, Japan, *Journal of Earth System Science*, v.121, p. 1049-1057.

-Pirango, F., 2009. *Hydrothermal processes and mineral systems*, springer publishing, 1250 p.

-Robb, L., 2005. *Introduction to ore-forming processes*, Blackwell Publishing, 386 p.

-Sabins, F.F., 1999. *Remote sensing for mineral exploration*, *Ore Geology Reviews*, v.14, p. 157-183.

-Yetkin, E., 2003. *Alteration Mapping by Remote Sensing: Application to Hasanda-Melendiz Volcanic Complex*,

M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 97 p.