

بارسازی دگرسانی‌های گرمابی در تصاویر استر منطقه سرچشمه با استفاده از عملگرهای منطقی

ایمان معصومی^۱، حجت‌اله رنجبر^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استاد، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت: اسفند ۱۳۹۴، پذیرش: آذر ۱۳۹۶)

چکیده

در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای استر و الگوریتم ترکیبی نسبت‌های باندی با روش عملگرهای منطقی با تعیین حد آستانه بر اساس مطالعات زمینی، آزمایشگاهی و تجربی به منظور بارسازی دگرسانی‌های گرمابی استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه، ربع شمال شرقی برکه زمین‌شناسی پاریز را که حاوی کانسارهای مس متعددی است در بر می‌گیرد. دگرسانی‌های گرمابی بارز شده با این روش شامل دگرسانی گرمابی غنی از سیلیس، دگرسانی پروپلیتیک، دگرسانی آرژلیک و دگرسانی فیلیک هستند. با استفاده از این روش، انواع مختلف دگرسانی گرمابی (آرژلیک و فیلیک) را در مناطق منطبق با محدوده‌های معدنی سرچشمه و دره زار با توجه به مشاهدات صحرایی و نمونه‌برداری‌های انجام شده تأیید می‌کند. دگرسانی آرژلیک بیشتر در محدوده کانسار سریدون و به شکل محدودی در محدوده کانسارهای سرچشمه و دره زار رخنمون دارد. در این مطالعه، تفکیک دگرسانی پروپلیتیک بین کانی کلسیت و کانی‌های اپیدوت-کلریت با توجه به الگوریتم اپراتورهای منطقی نقشه‌برداری شده‌اند. نتایج نمونه برداری و مشاهدات صحرایی نیز نقشه‌های دگرسانی را تأیید کرده‌اند.

کلید واژه‌ها

استر، عملگر منطقی، دگرسانی گرمابی، سرچشمه

* عهده دار مکاتبات: hojjatranjbar@gmail.com

۱- مقدمه

جدول ۱: مشخصات سنجنده استر [۱۰]

محدوده طیفی	باند	طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیک (متر)
VNIR	۱	۰/۵۲۰-۰/۶۰۰	۱۵m
	۲	۰/۶۳۰-۰/۶۹۰	
	۳N	۰/۷۸۰-۰/۸۶۰	
	۳B	۰/۷۸۰-۰/۸۶۱	
SWIR	۴	۱/۶۰۰-۱/۷۰۰	۳۰m
	۵	۲/۱۴۵-۲/۱۸۵	
	۶	۲/۱۸۵-۲/۲۲۵	
	۷	۲/۲۳۵-۲/۲۸۵	
	۸	۲/۲۹۵-۲/۳۶۵	
	۹	۲/۳۶۵-۲/۴۳۰	
TIR	۱۰	۸/۱۲۵-۸/۴۷۵	۹۰m
	۱۱	۸/۴۷۵-۸/۸۲۵	
	۱۲	۸/۹۲۵-۹/۲۷۵	
	۱۳	۱۰/۲۵۰-۱۰/۹۵۰	
	۱۴	۱۰/۶۵۰-۱۰/۹۵۰	

سیلیکات‌ها به عنوان فراوان‌ترین گونه کانی‌های پوسته زمین، دارای ویژگی‌های طیفی منحصر به فرد در ناحیه TIR هستند. از دیدگاه زمین‌شناسی، ناحیه فرورسرخ حرارتی مهم‌ترین محدوده طیفی مناسب برای بررسی ترکیبات مواد معدنی است [۱۱]. در منطقه مورد مطالعه از تصاویر استر با شماره AST-L1A002ASTL1A که در سال ۲۰۰۱ تصویربرداری شده است، برای انجام عملیات پردازش استفاده گردید. روش پردازش تصویر نسبت‌گیری باندی برای آشکار ساختن تغییراتی که در تصویر باندهای تک قابل دیدن نیستند به کار می‌رود [۱۲]. در تصاویر نسبتی تغییرات ظریف طیفی پدیده‌ها نسبتاً بهتر از تصاویر باندهای تک نمایان می‌گردند چرا که در تصاویر نسبتی بعضی از عوامل و پارامترهایی که اثرات نامطلوب دارند (مثل اثر توپوگرافی) حذف می‌شوند. البته باید با توجه به منطقه و هدف مورد بررسی باندهای مناسب را بر اساس خصوصیات طیفی بازتاب و جذب کانی‌های مرتبط با دگرسانی یافت و برهم تقسیم کرد تا بهترین نتیجه عاید شود [۱۳]. ظهور بازتاب و جذب در نواحی مختلف طیف کانی مورد نظر مبنای روش‌های نسبت باندی است که در تشخیص مناطق دگرسانی گرمابی سرشار از کانی‌های مرتبط با دگرسانی گرمابی همانند کائولینیت، مسکوویت، پیروفیلیت، مونت موریلونیت، کلریت

قسمت اعظم ذخایر مس پرفیری در ایران در کمربند ماگمایی ایران مرکزی واقع شده‌اند. منطقه مورد مطالعه بخشی از این کانسارهای بزرگ مس پرفیری مانند سرچشمه، دره زار، نوچون، سریدون، سرکوه و چند اندیس کوچک دیگر را شامل می‌شود. کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی در کمربندهای تکتونیکی زون فرورانش حاشیه قاره‌ها یافت شده که چهار نوع دگرسانی بارز پتاسیک، پروپلیتیک، آرژیلیک و فیلیک در آنها یافت می‌شود. کانسارهای مس پرفیری با استفاده از دگرسانی‌های گرمابی وابسته به آنها به کمک دورسنجی قابل بررسی هستند [۱-۸]. کانی‌های مهم دگرسانی فیلیک عبارت‌اند از: کوارتز، پیریت، پیروفیلیت، کائولن و سربیسیت که کانی‌های فرعی آن شامل کلسیت، آپاتیت و انیدریت است. در صورت افزایش فلدسپات پتاسیم دار زون فیلیک به زون پتاسیک و در صورت افزایش کانی‌های رسی به زون آرژیلیک تبدیل می‌گردد. در اکثر ذخایر ماگمایی و گرمابی زون فیلیک یا سربیسیت کوارتز یافت می‌گردد. ضمناً بخشی از ذخیره در ذخایر مس و مولیبدن پورفیری و ذخایر گرمابی در آن واقع می‌گردد. دگرسانی فیلیک در کانسارهای مس پورفیری از داخل به زون پتاسیک و به سمت بیرون به زون پروپلیتیک (کلسیت، اپیدوت-کلریت) و از بالا به زون آرژیلیک (کائولینیت، مونت موریلونیت) ختم می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی مانند تصاویر ماهواره‌ای استر با قدرت تفکیک طیفی و مکانی مناسب می‌توانند این نواحی دگرسانی را به خوبی بارزسازی کنند [۹]. خصوصیات طیفی برای باندهای VNIR، SWIR و TIR سنجنده استر در جدول ۱ آورده شده است.

محدوده یون هیدروکسیل (Al-OH, Mg-OH, Fe-OH) که از شایع‌ترین اجزای سازنده در رس‌ها، میکاها و کلریت هستند، بازتاب و جذب شاخصی را در محدوده SWIR از تصاویر استر نشان می‌دهند. جذب CO₃ در این محدوده طیفی نیز در ارتباط با دگرسانی کانی‌های اپیدوت، کلسیت و کلریت هستند. محدوده طیفی TIR شاخص‌های طیفی بسیاری از گروه کانی‌های سازنده سنگ‌ها نظیر سیلیکات‌ها، کربنات‌ها، اکسیدها، فسفات‌ها، نیترات‌ها، سولفات‌ها و هیدروکسیل‌ها را دارد.

و اپیدوت توانایی بالایی دارد. در این مطالعه نسبت‌های باندی مناسب بر اساس بازتاب و جذب کانی شاخص در محدوده‌های طیفی مورد نظر انتخاب و بارزسازی کانی‌های مرتبط با دگرسانی‌های گرمایی با استفاده از عملگرهای منطقی در ترکیب نسبت‌های باندی مختلف و تعیین حد آستانه هر کدام از آن‌ها با انجام مطالعات آماری انجام شده است. انواع مختلف دگرسانی آرژلیک، فیلیک، پروپلیتیک (کلسیت، اپیدوت-کلریت) و همچنین مناطق دگرسانی مرتبط با سنگ‌های غنی از کانی‌های سیلیسی با ارائه یک الگوریتم مخصوص به خود معرفی و به صورت جداگانه بارز شده‌اند. مارس و روان در سال ۲۰۰۶ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر برای کمر بند آتشفشانی-رسوبی در ایران که منطقه مورد بررسی قسمتی کوچک از آن را شامل می‌شود، الگوریتم‌هایی را برای بارزسازی مناطق دگرسانی بکار برده‌اند [۱۴]. همچنین مارس در سال ۲۰۱۳ الگوریتم‌های منطقی دیگری را پیشنهاد نمود که از تصاویر حرارتی نیز برای تفکیک بهتر دگرسانی‌های گرمایی استفاده می‌کند [۱۵]. نکته اساسی در این روش، انتخاب حد آستانه‌ای هر نسبت باندی است که صرفاً بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی به دست می‌آید. در این مطالعه از عملگرهای منطقی این محققین با تغییراتی در مقادیر حد آستانه‌ای که بر اساس مطالعات زمینی و آزمایشگاهی انتخاب شده‌اند، استفاده شده است. پس از کاربرد و معرفی الگوریتم‌های مورد نظر به منظور بررسی و تأیید مناطق بارز شده به کمک این الگوریتم‌ها، بازدیدهای صحرایی و انجام نمونه‌برداری‌های سطحی، آنالیزهای XRD، تهیه مقاطع نازک و طیف‌سنجی انجام شده است.

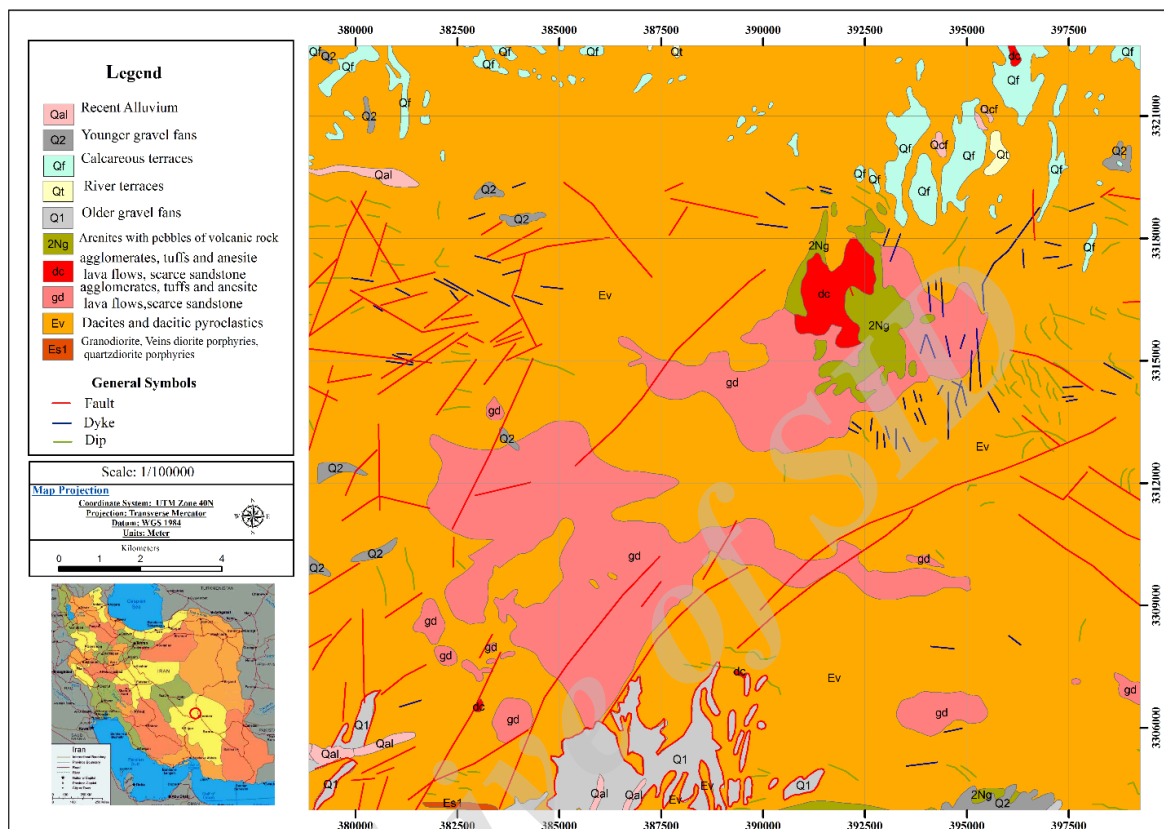
۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز و بخش اندکی از جنوب-شرق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رفسنجان قرار دارد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی این منطقه، قدیمی‌ترین سنگ‌های این ناحیه را برونزدهای ائوسن شامل گدازه‌های تراکی آندزیتی-تراکی بازالتی، آذرآواری‌ها، ماسه‌سنگ، شیل و سنگ‌آهک تشکیل می‌دهد [۱۶]. سنگ‌های نفوذی با سن الیگو میوسن به شکل توده‌های نامنظم و استوک در گدازه‌های ائوسن نفوذ کرده و خود به وسیله دایک‌های بی‌شماری قطع شده است. توده‌های

نفوذی بیشتر ترکیب مونوزوگرانودیوریت، کوارتز دیوریت، مونزونیت و گرانودیوریت دارند. عمده سنگ‌های نفوذی، دارای ترکیب حد واسط و کم کوارتز هستند. رسوبات نئوژن در بخش زیرین با لایه‌های ماسه‌سنگ، میکروکنگلومر همراه با اوپال و نمک در بخش فوقانی به شکل ماسه‌سنگ با قله‌های سنگ‌های آتشفشانی برونزد دارند. شکل شماره ۱ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در برخی از سنگ‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی در حاشیه سنگ‌های نفوذی، دگرسانی‌های گرمایی به شکل فیلیک و آرژلیک دیده می‌شود. در اطراف این دگرسانی‌ها، دگرسانی پروپلیتیک مشاهده می‌گردد. گرانودیوریت به شدت دگرسان شده استوک سرچشمه، به وسیله دایک‌های دیوریت و گرانودیوریت با امتداد شمالی-جنوبی قطع شده است. کانی‌سازی‌های مس در ارتباط با توده‌های نفوذی گزارش شده است. این توده‌های نفوذی در منطقه بند ممزار به شکل استوک و دایک‌های متعدد، به صورت دگرشیب نفوذ کرده‌اند و باعث چین‌خوردگی در منطقه مذکور گردیده‌اند. اکثر سنگ‌های درونی منطقه پاریز حاصل فعالیت توده‌های نفوذی بزرگی همچون توده کوارتز دیوریتی بند ممزار، توده گرانودیوریتی سرچشمه و توده‌های نفوذی مونوزوادیوریتی، کوارتز مونزونیتی و کوارتز دیوریتی ده‌سیاهان و کوه‌پنج هستند [۱۶]. رسوبات نئوژن به شکل ماسه‌سنگ و کنگلومر، بخش‌هایی در جنوب و شمال معدن سرچشمه را پوشانده است. نهشته‌های کوتاه‌تر بخش‌هایی از منطقه را می‌پوشانند و عمدتاً شامل رسوبات آبرفتی سست و قدیمی‌تر و همچنین لایه‌های آهکی و تراورتن حاصل از فعالیت چشمه‌های کربناته هستند. رسوبات آبرفتی بیشتر از توده‌های گرانیتی منطقه حاصل شده‌اند. گسل‌های غالب در این ناحیه را شکستگی‌های برشی با روندهای شمال شرق و شمال غرب تشکیل می‌دهد که با سیستم تنش غالب منطقه، یعنی تراکم در جهت شمال شرق با مؤلفه امتداد لغز راستگرد که از نئوژن پایانی تا امروز حاکم است همخوانی دارد. منطقه پاریز از نظر متالوژنی بخشی از ناحیه مس سراسری ایران مرکزی است، تشکیل کانی‌زایی در این نوار در ارتباط با فرورانش ورقه عربستان به زیر ورقه ایران مرکزی شناخته شده است. کانی‌سازی‌های عمده در برگه پاریز با فعالیت‌های گرمایی مرتبط با توده‌های نفوذی میوسن مربوط است.

کمان آتشفشانی- پلوتونیک برگه پاریز، عامل عمده ایجاد بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی مس، مولیبدن و نیز سرب، روی و طلا در سیستم آبراهه‌های این منطقه است.

عمده‌ترین نوع کانی‌سازی از نوع مس پورفیری است و کانسارهای مس سرچشمه، دره زار، سریدون، سرکوه، نوچون و حسین‌آباد نمونه‌های شناخته شده آن است. در این منطقه می‌توان اذعان داشت که گستردگی مراکز کانی‌سازی در



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه [۱۶]

نتیجه تقسیم مقادیر درجه روشنایی پیکسل‌ها در یک باند طیفی به باند دیگر را تصاویر نسبت بانندی می‌گویند. روش‌های نسبت بانندی در تصاویر ماهواره‌ای بطور گسترده برای بارزسازی کانی‌ها و کاهش اثر توپوگرافی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸-۲۰]. نتایج روش نسبت بانندی به صورت پیکسل‌های روشن یک روش مستقیم اندازه‌گیری فراوانی کانی‌ها نیست، ولی مناطق با احتمال بالا از حضور کانی مورد نظر را نشان می‌دهند. استفاده از نسبت بانندی ۳ به ۲ محدود در VNIR در تصاویر استر برای آشکارسازی گیاهان مورد استفاده است که با ماسک کردن آنها در نقشه‌برداری مناطق دگرسانی مفید هستند، همانند کاری که توسط رووان و مارس انجام گرفته است [۱۴]. اساس کار در روش نسبت‌های بانندی بر اساس خصوصیات طیفی کانی مورد نظر (جذب و بازتاب) است. در محدوده SWIR باندهای ۵، ۶ و

۳- روش تحقیق

۳-۱- پیش‌پردازش تصویر ماهواره‌ای

به منظور استفاده از تصاویر استر منطقه مورد مطالعه بعد از انجام تصحیح Crosstalk عملیات پیش‌پردازش شامل تصحیح هندسی و جوی بر روی تصاویر استر منطقه مورد مطالعه انجام شده است. انجام تصحیحات هندسی با استفاده از تصاویر Google earth با قدرت تفکیک مکانی بالا و استفاده از نقاط کنترلی انجام گرفته است. برای انجام تصحیح جوی از روش FLAASH در نرم‌افزار ENVI استفاده شده است. توصیف این روش را می‌توانید در مرجع متیو و همکاران بیابید [۱۷].

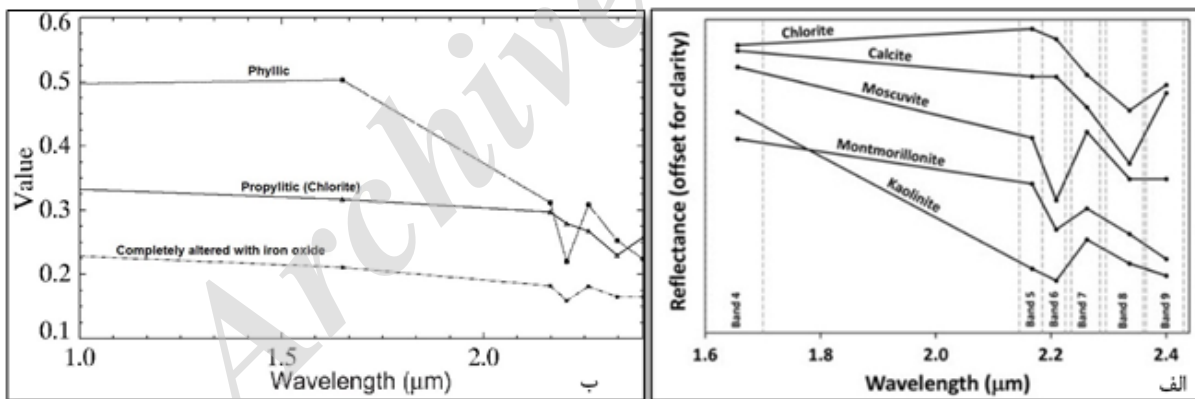
۳-۲- نسبت‌های بانندی

۲/۱۷ میکرومتر (باند ۵) نشان می‌دهند. در زون پروپلیتیک کانی‌های شاخص کلریت، اپیدوت و کلسیت با بازتاب طیفی در اثر ارتعاش مولکولی Fe, Mg-OH و CO₃ مشخص می‌شوند، این جذب‌ها در طول موج ۲/۳۳ تا ۲/۳۵ میکرومتر (باند ۸) رخ می‌دهند. شکل ۲ الف طیف کانی‌های معمول دگرسانی گرمایی را نشان می‌دهند. طیف‌های به دست آمده که بر اساس باندهای استر بازنویسی شده‌اند، از نمونه‌های دگرسان شده (فیلیک، پروپلیتیک- کلریت و دگرسانی همراه با اکسید آهن) از منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ ب نمایش داده شده‌اند.

۸ سنجنده استر در ارتباط با جذب کانی‌های مشخص هستند که این محدوده‌ها و کانی‌های شاخص آنها به همراه نوع دگرسانی مورد نظر در جدول ۲ آورده شده است [۲۱]. زون فیلیک با کانی‌های ایلیت، مسکویت (سرسیت) و کوارتز شاخص می‌شود. مسکویت و ایلیت با ارتعاش مولکولی Al-OH یک جذب اصلی در طول موج ۲/۲ میکرومتر (باند ۶ سنجنده استر) و یک جذب کمتر در طول موج ۲/۳۸ میکرومتر را (باند ۸) نشان می‌دهند [۱۴]. زون آرژلیک شامل کانی‌های کائولینیت، آلونیت و مونتموریلونیت یک جذب در طول موج ۲/۲ میکرومتر و جذب ضعیف‌تر را در طول موج

جدول ۲: طول موج جذب‌های مهم برای کانی‌های همراه با دگرسانی‌های گرمایی در محدوده SWIR تصاویر استر [۲۱]

باند استر	محدوده طیفی	منشا	طول موج جذب	کانی شاخص	دگرسانی
۵	۲/۱۴۵-۲/۱۸۵	Al-OH	۲/۱۷۰	Kaolinite	Argillic
				Kaolinite	Argillic
۶	۲/۱۸۵-۲/۳۶۵	Al-OH	۲/۲۰۰	Montmorillonite	Argillic
				Muscovite and illite	Phyllic
۷	۲/۳۶۵-۲/۲۹۵	Al-OH	۲/۳۸۰	Muscovite and illite	Phyllic
		Fe, Mg-OH and Co ₃	۲/۳۳۰	Epidote, chlorite and carbonate	Prophylic



شکل ۲: الف) طیف کانی‌های معمول گرمایی با استفاده از کتابخانه (USGS)، باندهای سنجنده استر در تصویر مشخص و طیف کانی‌ها بر اساس پهنای باند محدوده SWIR دوباره نویسی شده‌اند. ب) طیف‌های به دست آمده نمونه‌های جمع آوری شده از منطقه مورد مطالعه

برای تفکیک آنها در ارتباط با دگرسانی پروپلیتیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۳ طیف کانی‌های حاوی کوارتز، کلسیت، اپیدوت را در محدوده TIR تصاویر استر نشان می‌دهد.

محدوده باندهای مادون قرمز گرمایی (TIR) از سنجنده استر برای مشخص کردن کانی‌های سیلیکاته و کربناته مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مورد کانی‌های حاوی سیلیس، گسیلش در باندهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ از سنجنده استر که با گسیلش بالا در باندهای ۱۱ و ۱۳ و گسیلش کم در باند ۱۲ قابل بررسی هستند. تفاوت گسیلش برای کانی‌های کلسیت و اپیدوت- کلریت در باندهای ۱۳ و ۱۴

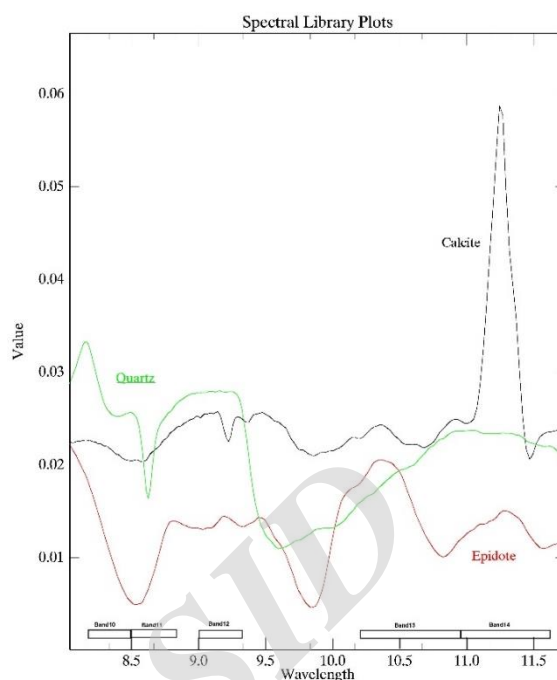
گرمایی غنی از سیلیس (هیدروسیلیکا، کلسدونی و اپال)، دگرسانی پروپلیتیک در ارتباط با کانی‌های کربنات و کلریت-اپیدوت به صورت مجزا، دگرسانی آرژلیک با حضور کانی‌های آلونیت-کائولینیت و دگرسانی فیلیک با کانی‌های شاخص سریسیت-مسکویت از الگوریتم‌هایی مطابق جدول ۳ استفاده شده است. در نهایت، عملگرهای منطقی مورد استفاده برای این اهداف هرکدام یک مقدار مشخص درست (ارزش یک برای پیکسل مورد نظر) یا نادرست (ارزش صفر برای پیکسل مورد نظر) را برای هر پیکسل از تصویر ارائه می‌دهند. به ازای هر الگوریتم برای هدف مورد نظر یک تصویر با مقادیر ارزش پیکسلی یک و صفر تولید می‌شود که پیکسل‌های با ارزش برابر با یک مناطق هدف را مشخص می‌کنند. هریک از این نسبت‌های باندی در الگوریتم تعریف شده دارای مقدار مشخص حد آستانه است. این مقدار بر اساس روش‌های آماری از تصاویر نسبتی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه و بعنوان ضریب مناسب در ترکیب نسبت‌های باندی مختلف جدول ۳ به کاررفته است. شایان ذکر است که در مواردی خاص با توجه به تجربه و شناخت از منطقه مورد مطالعه این مقدار تغییر داده شده است.

$$\text{حد آستانه} = \mu \pm \sigma \quad (1)$$

که در این رابطه μ میانگین و σ انحراف معیار هستند [۲۲].

جدول ۳: الگوریتم‌های معرفی شده برای بارسازی انواع مختلف دگرسانی [۱۵] با تغییرات

الگوریتم	دگرسانی هیدروترمال
$((float(b3)/b2)le1.34)((float(b4)/b7)ge1.83)and((float(b13)/b12)ge1.03)and((float(b12)/b11)lt1.02)$	دگرسانی هیدروترمال غنی از سیلیس (سیلیس) آبدار- کلسدونی- اپال
$((float(b3)/b2)le1.34)and(float(b6)/b8gt1.09)and(float(b13)/b14)gt1.05$	پروپلیتیک (کربنات)
$((float(b3)/b2)le1.34)and(float(b6)/b8gt1.09)and(float(b5)/(float(b4)+b6)gt0.48)and(b5gtb6)and(b6gtb7)and(b7gtb8)and(float(b13)/b14)le1.05$	پروپلیتیک (اپیدوت - کلریت)
$((float(b3)/b2)le1.34)and(float(b4)/b5gt1.22)and(float(b5)/b6)le1.03)and((float(b7)/b6)ge1.07)$	آرژلیک (آلونیت - کائولینیت)
$((float(b3)/b2)le1.34)and(float(b4)/b6)gt1.25)and((float(b5)/b6)gt1.03)and((float(b7)/b6)ge1.07)$	فیلیک (سریسیت-مسکویت)



شکل ۳: طیف کانی‌های حاوی کوارتز، کلسیت، اپیدوت (نمودارها از کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده)

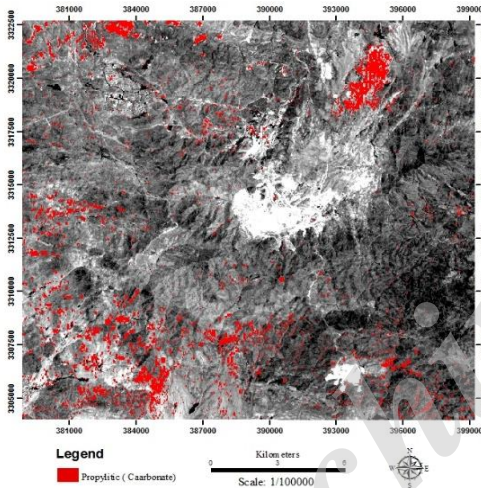
۳-۳- عملگرهای منطقی

برای هریک از پیکسل‌ها، الگوریتم عملگرهای منطقی براساس ترکیبی از نسبت‌های مختلف باندی مشخص شده است. در این مطالعه برای محدوده مورد مطالعه از یک سری نسبت‌های باندی برای تعریف الگوریتم مرتبط با مناطق

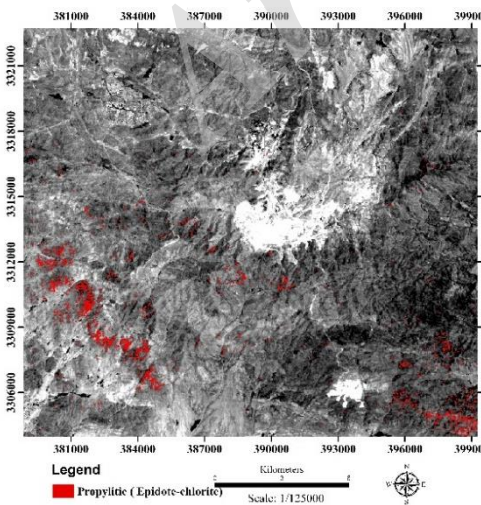
۳-۴- یافته‌های تحقیق و بررسی‌های صحرایی

برای تمامی عملگرهای تعریف شده در الگوریتم‌ها از نسبت بانندی ۳ به ۲ برای ماسک کردن پوشش گیاهی استفاده شده است. به منظور نقشه‌برداری مناطق با سیلیکای بالا نسبت بانندی ۴ به ۷، در محدوده SWIR مناطق با دگرسانی بالا را نشان می‌دهد. برای کانی‌های سیلیکای مناطق با حضور دگرسانی بازتاب کمتر در طول موج بین ۲ تا ۲/۴ میکرومتر نسبت به مناطق فاقد دگرسانی را دارند. علت این امر خاصیت جذب مولکول‌های آب در گستره ۲/۲۶ تا ۲/۴ میکرومتر است. نسبت بانندی محدوده TIR از تصاویر استر برای بارزسازی مناطق با سیلیس بالا با استفاده از نسبت بانندی ۱۳ به ۱۲ با جذب در طول موج ۹/۰۹ میکرومتر است؛ بنابراین مناطق با سیلیکای بالا از مناطق فاقد دگرسانی با لحاظ کردن بازتاب هر پیکسل در منطقه SWIR مشخص می‌شوند. برای مشخص نمودن سنگ‌های شامل دگرسانی‌های گرمایی غنی از سیلیس یک تصویر با پیکسل‌های دارای ارزش یک برای نقاط هدف و صفر برای سایر نقاط در الگوریتم آن تهیه گردید. شکل ۴ مناطق گرمایی غنی از سیلیس را نشان می‌دهد. بارزسازی این نوع از دگرسانی بر اساس روش عملگرهای منطقی با ترکیب مناسب از نسبت‌های بانندی در مطالعات قبلی [۱۴، ۱۵] مورد توجه نبوده است.

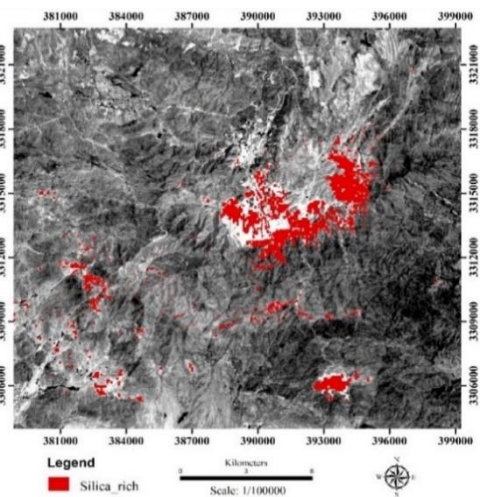
شاخصه جذب طیفی کلسیت در طول موج ۱۱/۲ میکرومتر و کلریت- اپیدوت با جذب در طول موج ۱۰/۲ میکرومتر استفاده گردید (شکل ۳). گسیلش کلسیت در باند ۱۳ بالا و در باند ۱۴ کمتر است، در حالیکه برای اپیدوت و کلریت برعکس است (شکل ۳). در عملگر منطقی تعریف شده برای جداسازی دگرسانی پروپلیتیک با ۲ دسته کانی‌های کلسیت و اپیدوت - کلریت از نسبت بانندی ۶ به ۸ در محدوده SWIR به منظور بارزسازی جذب هر دو دسته کانی در طول موج ۲/۳۱ تا ۲/۳۳ میکرومتر و برای تفکیک این دو از نسبت بانندی ۱۳ به ۱۴ در محدوده TIR تصویر استر با انتخاب حد آستانه ۱/۰۵، دو دسته کانی شاخص این دگرسانی بارز شده است. شکل‌های ۶ و ۷ نتایج بارزسازی برای هر دو دسته کانی مرتبط با دگرسانی پروپلیتیک در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.



شکل ۶: مناطق با دگرسانی پروپلیتیک (کانی کربنات)



شکل ۷: مناطق با دگرسانی پروپلیتیک (کانی‌های اپیدوت-کلریت)



شکل ۴: مناطق گرمایی غنی از کانی‌های دارای سیلیس

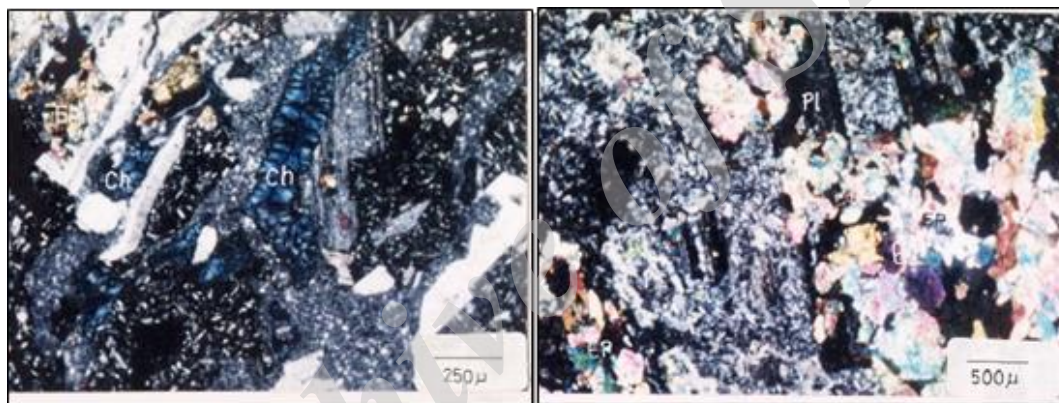
نقشه‌برداری دگرسانی گرمایی پروپلیتیک با استفاده از نسبت‌های بانندی تعریف شده در محدوده‌های طیفی SWIR و TIR بارزسازی شده است. برای جداسازی دگرسانی پروپلیتیک مرتبط با کانی‌های کربنات و اپیدوت-کلریت از

پروپلیتیک را در منطقه حسین‌آباد پاریز و همچنین از محدوده ای در شرق معدن سرچشمه را نشان می‌دهد. در مقطع نازک نمونه‌های به دست آمده از این رخنمون‌ها کانی‌های کلریت و اپیدوت به وفور دیده می‌شوند (شکل ۹).

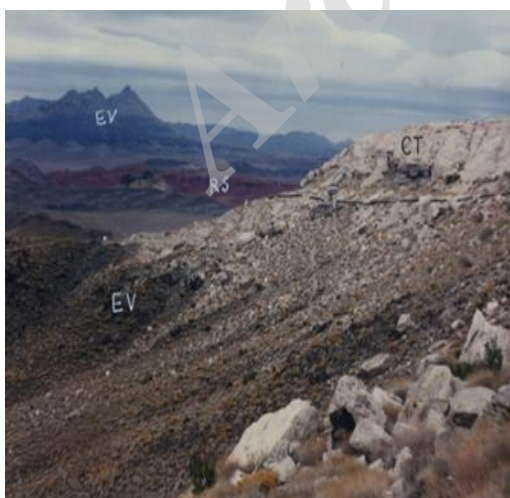
رخنمون‌های مناطقی که دارای دگرسانی اپیدوت-کلریت دارند سبز رنگ هستند. در برخی از مناطق مقدار کلسیت در رخنمون‌ها به قدری زیاد است که رنگ سنگ سفید شده است. شکل ۸ رخنمون سنگی با دگرسانی



شکل ۸: رخنمون سنگی با دگرسانی پروپلیتیک الف: شرق معدن سرچشمه، ب: در منطقه حسین‌آباد

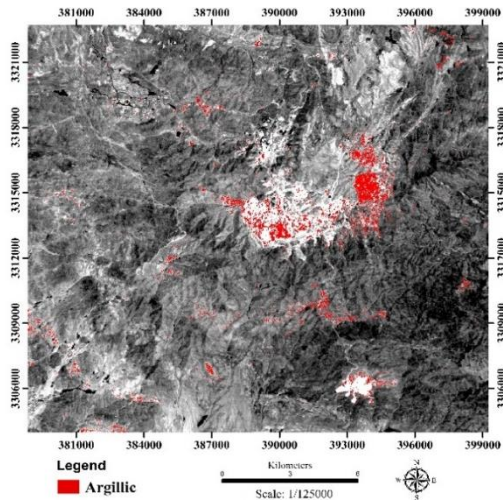


شکل ۹: مقاطع نازک تهیه شده از رخنمون‌های سنگی، این مقاطع کلریتی (Ch) و اپیدوتی شدن (Ep) پلاژیوکلازها را در منطقه سرچشمه نشان می‌دهد

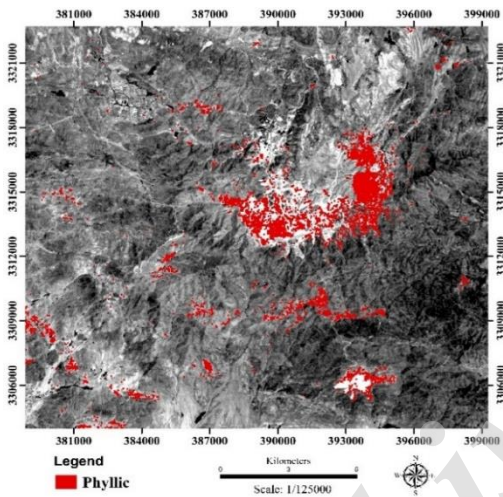


شکل ۱۰: لایه‌های کالک توف (تراورتن) که بر روی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال غرب معدن سرچشمه قرار گرفته‌اند. EV: سنگ‌های آتشفشانی، CT: کالک توف، RS: توف‌های قرمز

شکل ۱۰ تصویر لایه‌های کالک توف (تراورتن) که بر روی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال غرب معدن سرچشمه را نشان می‌دهد که در بارزسازی کلسیت به خوبی در منطقه شمال غرب سرچشمه، همانطور که در شکل شماره ۶ دیده می‌شوند، بارز شده است. بارزسازی دگرسانی پروپلیتیک با استفاده از کانی‌های کلریت، اپیدوت و کربنات نیز در مطالعات قبلی [۱۴] انجام نشده است.



شکل ۱۱: مناطق با دگرسانی آرژلیک (آلونیت و کائولینیت)



شکل ۱۲: مناطق با دگرسانی فیلیک (سرسیت)

بارزسازی دگرسانی‌های آرژلیک و فیلیک در محدوده SWIR تصاویر استر برای نقشه برداری طیف جذب Al-OH بترتیب با نسبت بانندی ۴ به ۵ در طول موج ۲/۱۶۵ میکرومتر و نسبت بانندی ۴ به ۶ در طول موج ۲/۲ میکرومتر استفاده شده است. از نسبت بانندی ۵ به ۶ برای تفکیک کردن این دو دگرسانی از یکدیگر استفاده شده است. از نسبت بانندی ۷ به ۶ برای نمایش پیکسل‌هایی با جذب در طول موج ۲/۲ میکرومتر برای دگرسانی آرژلیک و فیلیک استفاده شده است [۱۴، ۲۳]. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ بارزسازی این دگرسانی‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. رخنمون سنگ‌هایی که دارای دگرسانی آرژلیک هستند، به علت تبدیل کانی‌هایی مانند فلدسپار به کانی‌های رسی مانند کائولن، سفید رنگ به نظر می‌رسند. رخنمون سنگ‌های دارای دگرسانی فیلیک با رنگ آجری و قهوه ای دیده می‌شوند که بیشتر به خاطر وجود کانی‌های اکسید آهن در سطح سنگ است. این مقدار اکسید آهن به علت تبدیل کانی‌های سولفیدی مانند پیریت و کالکوپیریت به اکسید آهن است که در سنگ به صورت رگچه دیده می‌شوند (شکل ۱۳). شکل ۱۴ مقطع نازکی از یک نمونه سنگی با دگرسانی فیلیک و رگچه‌هایی کالکوپیریتی که به اکسید آهن تبدیل شده‌اند را نشان می‌دهد.

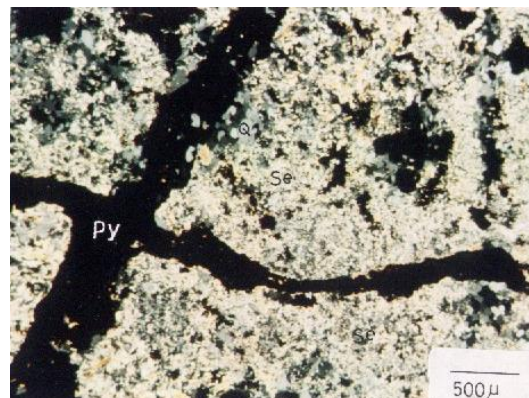


شکل ۱۳: الف: رخنمون زون فیلیک در منطقه حسین‌آباد، ب: رخنمون زون فیلیک در دیواره شرقی معدن سرچشمه به همراه اکسید آهن زیادی در سطح آن، ج: رخنمون زون فیلیکی به همراه اکسید آهن در سطح، د: رخنمون زون آرژلیک در دیواره شرقی معدن مس سرچشمه

بررسی شده انطباق بهتری را در مقایسه با مطالعات قبلی [۱۴] برای این مناطق نشان می‌دهند. تفکیک دگرسانی پروپلیتیک ناشی از کانی‌های کربناته و گروه کانی‌های کلریت- اپیدوت با در نظر گرفتن الگوریتم مناسب برای بارسازی این دو دسته کانی نتایج خوبی را نشان داده است و مناطق با دگرسانی پروپلیتیک با حضور این دو دسته کانی بارز شده است. بارز سازی این دگرسانی با رویکرد نسبت‌های باندی و استفاده از عملکرد این الگوریتم منطقی کمتر مورد توجه بوده است. در خصوص اعتبارسنجی‌های انجام شده برای مناطق بارز شده با استفاده از روش عملگرهای منطقی در محدوده‌های مورد نظر در این مطالعه و مقایسه با نتایج آنالیز آزمایشگاهی مطابقت خوبی برای مناطق دگرسان بارز شده را می‌توان در نظر گرفت.

مراجع

- [1] Honarmand, M., H. Ranjbar, and Z Moezifar. (2002). Integration and Analysis of Airborne Geophysical and Remote Sensing Data of Sar Cheshmeh Area, Using Directed Principal Component Analysis. *Exploration and Mining Geology* 11: 43–8.
- [2] Kruse, F. A., J. Boardman, and J. F. Huntington. (2003). Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO-1 Hyperion for Mineral Mapping. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing* 41: 1388–400.
- [3] Rowan, L. C., S. J. Hook, M. J. Abrams, and J. C. Mars. (2003). Mapping Hydrothermally Altered Rocks at Cuprite, Nevada, Using the Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Aster), a New Satellite-Imaging System. *Economic Geology* 98: 1018–27.
- [4] Rowan, L. C., and J. C. Mars. (2003). Lithologic Mapping in the Mountain Pass, California, Area Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data. *Remote Sensing of Environment* 84: 350–66.
- [5] Ranjbar, H., and M. Honarmand. (2004). Integration and Analysis of Airborne Geophysical and ETM+ Data for Exploration of Porphyry Type Deposits in the Central Iranian Volcanic Belt, Using Fuzzy Classification. *International Journal of Remote Sensing* 25: 4729–41.
- [6] Tangestani, M. H., N. Mazhari, B. Agar, and F. Moore. (2008). Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data for Alteration Zone Enhancement in a



شکل ۱۴: مقطع نازک دگرسانی شدید فیلیکی با حضور سرسیت (Se) و کوارتز (Q) و رگچه‌های پیریتی (Py) را نشان می‌دهد

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از روش اپراتورهای منطقی با توجه به الگوریتم‌های ترکیبی از نسبت‌های باندی، دگرسانی‌های گرمابی موجود در محدوده مورد مطالعه را به خوبی تفکیک کرده است. بارزسازی گروه مختلف کانی‌ها به منظور شناسایی دگرسانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم‌های معرفی شده از نسبت‌های باندی مرتبط با طیف بازتاب و جذب کانی‌های شاخص این دگرسانی‌ها انجام شده است. نتایج بارزسازی دگرسانی‌های گرمابی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که دگرسانی‌های گرمابی مرتبط با دگرسانی‌های فیلیک و آرژلیک با محدوده‌های معدنی سرچشمه در شمال و دره زار در جنوب تصاویر ماهواره‌ای منطبق هستند. در حالی که با استفاده از روش الگوریتم منطقی مناطق دارای دگرسانی آرژلیک با دقت خوبی بارزسازی شده‌اند، اما استفاده از همین روش برای بارزسازی دگرسانی فیلیک در مناطقی مانند سریدون همراه با خطا است. یکی از علت‌ها وجود توام دگرسانی آرژلیک و فیلیک در این محدوده است. در برخی از مناطق که دگرسانی فیلیک دارند، سطح سنگ دستخوش هوازدگی سطحی شده است که تولید کانی‌های رسی نموده است. از طیف جذب و بازتاب کانی‌ها در محدوده TIR تصاویر استر با هدف آشکار سازی بهتر آنها در تعریف الگوریتم ترکیبی نسبت‌های باندی استفاده شده است. دگرسانی‌های بارز شده در این مناطق حدود این دگرسانی‌ها را با توجه به اعداد انتخاب شده بر اساس فرمول آماری حد آستانه و واقعیت‌های زمین‌شناسی موجود از نمونه‌های

- Miller, D. P. (2000). Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm. In Proceedings of Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery (Vol. 4049, pp. 199–207). Orlando, FL: The International Society for Optical Engineering.
- [18] Rowan, L. C., P. H. Wetlaufer, A. F. H. Goetz, F. C. Billingsley, and J. H. Stewart. (1974). Discrimination of Rock Types and Detection of Hydrothermally Altered Areas in South-Central Nevada. US Geological Survey Professional Paper 883, 35 p. Reston, VA: US Geological Survey.
- [19] Rowan, L. C., & Mars, J. C. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass, California, area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 84(3), 350–366.
- [20] Zhang, X., M. Pazner, and N. Duke. (2007). Lithologic and Mineral Information Extraction for Gold Exploration Using ASTER Data in the South Chocolate Mountains (California). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62: 271–82.
- [21] Mars, J. C., and L. C. Rowan. (2010). Spectral Assessment of New ASTER SWIR Surface Reflectance Data Products for Spectroscopic Mapping of Rocks and Minerals. *Remote Sensing of Environment* 114:2011–2025.
- [22] Davis, J. C., & Sampson, R. J. (1986). *Statistics and data analysis in geology* (Vol. 646). New York et al.: Wiley
- [23] Shahriari, H., Honarmand, M., Ranjbar, H. (2015). Comparison of multi-temporal ASTER images for hydrothermal alteration mapping using a fractal-aided SAM method. *International Journal of Remote Sensing*, 36:5, 1271–1289.
- Semi-Arid Area, Northern Shahr-e-Babak, SE Iran. *International Journal of Remote Sensing* 29: 2833–50.
- [7] Ranjbar, H., F. Masoumi, and E. I. M. Carranza. (2011). Evaluation of Geophysics and Spaceborne Multispectral Data for Alteration Mapping in the Sar Cheshmeh Mining Area, Iran. *International Journal of Remote Sensing* 32: 3309–27.
- [8] Shahriari, H., Ranjbar, H., Honarmand, M. (2013). Image Segmentation for Hydrothermal Alteration Mapping Using PCA and Concentration–Area Fractal Model. *Natural Resources Research*, Vol. 22, No. 3.
- [9] Rowan, L. C., R. G. Schmidt, and J. C. Mars. (2006). Distribution of Hydrothermally Altered Rocks in the Reko Diq, Pakistan Mineralized Area Based on Spectral Analysis of ASTER Data. *Remote Sensing of Environment* 104: 74–87.
- [10] Abrams, M., Hook, S., and Ramachandran, B. (2002). *ASTER user's hand- book*. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer: Pasadena, Jet Propulsion Laboratory, 135 p.
- [11] Gupta, R. P. (2003). *Remote Sensing Geology*. Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, 655 pp.
- [12] Alavipanah, S.K. (2003). *Application of Remote Sensing in the Earth Sciences*, University of Tehran Press (in Persian).
- [13] Karimpour, M.H., Malekzadeh, A., Haidarian, M.R., (2005). *Ore deposit exploration (Geology, geochemistry, remote sensing and geophysics models)*, Ferdowsi University of Mashhad Press (in Persian).
- [14] Mars, J. C., and L. C. Rowan. (2006). Regional Mapping of Phyllic and Argillic Altered Rocks in the Zagros Magmatic Arc, Iran, Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data and Logical Operator Algorithms. *Geosphere* 2: 161–186.
- [15] Mars, J.C., (2013), Hydrothermal alteration maps of the central and southern Basin and Range province of the United States compiled from Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data ver 1.1, April 8, 2014: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1139, 6 p.
- [16] Dimitrijevic, M. D. (1973). *Geology of the Kerman Region*. Report No. 52, 334 p. Tehran: Geological Survey of Iran.
- [17] Matthew, M. W., Adler-Golden, S. M., Berk, A., Richtsmeier, S. C., Levine, R. Y., Bernstein, L. S., Acharya, P. K., Anderson, G. P., Felde, G. W., Hoke, M. P., Ratkowski, A., Burke, H.H., Kaiser, R. D., &