

بارزسازی پهنه‌های دگرسانی کمر بند آتشفشانی نفوذی تروید چاه شیرین با استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصاویر ASTER

مسعود اخیانی^۱، مهدی خرقانی^۲، مرتضی رحیمی^۳ و فرهنگ سرشکی^۴

^۱ مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران
^۲ دانشجوی دکترا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
^۳ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران
^۴ دانشیار، دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، گروه معدن، شاهرود، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸

چکیده

مجموعه آتشفشانی نفوذی تروید-چاه شیرین در بخش باختری کمر بند فلز زایی سبزوار و در شمال معلمان در استان سمنان واقع شده است. نفوذ توده‌های آذرین اسیدی تا حد واسط در سنگ‌های آتشفشانی منطقه باعث دگرسانی و کانی‌سازی‌های متفاوتی در برخی از قسمت‌های منطقه شده است. در این مطالعه روش‌های مختلف بارزسازی دگرسانی‌ها از قبیل روش‌های ترکیب رنگی کاذب، عملگرهای منطقی نسبت بانندی و روش نقشه بردار زاویه طیفی بر روی داده‌های سنجنده ASTER اعمال گشت و مناطق دارای دگرسانی‌های آرژلیک پیشرفته، آرژلیک متوسط، فیلیک و پروپیلیتیک در سطح منطقه بارزسازی شد. مناطق دگرسانی آرژلیک و فیلیک با استفاده از دو روش عملگرهای منطقی نسبت بانندی و روش نقشه بردار زاویه طیفی و کانی‌های کائولینیت، ایلیت، مونت موریلونیت، آلونیت، پیروفیلیت، کلریت، اپیدوت و کلسیت که در دگرسانی‌های آرژلیک متوسط، آرژلیک پیشرفته، فیلیک و پروپیلیتیک منطقه یافت می‌شوند، با روش نقشه بردار زاویه طیفی بارزسازی و تفکیک شدند و نتایج آن با نقشه زمین‌شناسی، مشاهدات میدانی و نتایج آنالیز XRD نمونه‌های میدانی مقایسه شد. برای مقایسه نتایج و ارزیابی صحت روش‌های یاد شده از ماتریس خطا و ضریب کاپا استفاده شد. بر این اساس دقت کلی دو روش عملگرهای منطقی نسبت بانندی و روش نقشه بردار زاویه طیفی برای تفکیک مناطق آرژلیک و فیلیک به ترتیب ۶۸٪ و ۷۲٪ و ضریب کاپای آنها به ترتیب ۰/۶ و ۰/۶۲۷ به دست آمد. مقایسه این آمارها بیانگر آن است که روش نقشه بردار زاویه طیفی با دقت بالاتر و مطلوب‌تری توانسته است مناطق دگرسانی منطقه را بارزسازی نماید.

کلیدواژه‌ها: مجموعه آتشفشانی نفوذی تروید-چاه شیرین، دگرسانی، عملگرهای منطقی نسبت بانندی، روش نقشه بردار زاویه طیفی، ماتریس خطا، ضریب کاپا.

E-mail: Morteza_rahimi20@yahoo.com

*نویسنده مسئول: مرتضی رحیمی

۱- پیش‌گفتار

۱۴ باند طیفی مختلف است که با توجه به طول موج در ۳ دسته VNIR، SWIR و TIR با قدرت تفکیک مکانی به ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۹۰ متر تقسیم‌بندی می‌شوند. قدرت تفکیک طیفی نسبتاً مناسب این سنجنده در محدوده مادون قرمز کوتاه که اکثر کانی‌ها در آن دارای نمودار جذب طیفی هستند، امکان تشخیص گروه‌های کانیایی و تفکیک انواع دگرسانی‌ها را فراهم کرده است (Rowan & Mars, 2003).

شناسایی کانی‌های دگرسان شده بر اساس ویژگی‌های طیفی آنها صورت می‌گیرد. مناطق مختلف دگرسانی با مجموعه کانی‌هایی که حداقل یکی از آنها دارای ویژگی‌های جذبی مشخص در محدوده باندهای طیفی سنجنده ASTER هستند توصیف می‌گردند. بر این اساس زون دگرسانی آرژلیک متوسط با کانی‌های کائولینیت و مونت موریلونیت شناسایی می‌شود که کائولینیت دارای ویژگی جذبی قوی در محدوده طیفی ۲/۲ میکرومتر (باند ۶ استر) و یک ویژگی جذبی ثانویه در ۲/۱۷ میکرومتر (باند ۵ استر) است (Hunt, 1977; Hunt & Ashley, 1979). زون دگرسانی فیلیک با کانی‌های سرسیت (مسکویت)، ایلیت و کوارتز شناسایی می‌شود که سرسیت و ایلیت دارای ویژگی جذب قوی در محدوده طیفی ۲/۲ میکرومتر (باند ۶ استر) و یک جذب ضعیف‌تر در ۲/۳۸ میکرومتر (باند ۸ استر) هستند (Mars & Rowan, 2006). کانی‌های کلریت، اپیدوت و کلسیت شاخص زون دگرسانی پروپیلیتیک نیز یک ویژگی جذبی قوی و مشخص در محدوده ۲/۳۸ میکرومتر (باند ۸ استر) به واسطه حضور بنیان‌های Fe, Mg(OH) و Co₃ نشان می‌دهند (Mars & Rowan, 2006; Rowan et al., 2006). در شکل ۲ منحنی طیفی کانی‌های مهم دگرسانی که براساس موقعیت باندهای استر نمونه برداری مجدد شده، نشان داده شده است.

کمر بند فلز زایی سبزوار، گستره‌ای از خاور نیشابور تا سرکویر سمنان را در بر می‌گیرد و شامل نواحی نیشابور، سبزوار، عباس‌آباد، میامی، معلمان و جنوب دامغان می‌شود (شکل ۱). مجموعه آتشفشانی نفوذی تروید-چاه شیرین در بخش باختری این کمر بند و در شمال معلمان و شمال باختر تروید در استان سمنان واقع شده است (آقاباتی، ۱۳۸۳). این منطقه با وسعت تقریباً حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع بین طول‌های خاوری "۵۴°۰۰'۰۰" و "۵۵°۰۰'۰۰" و عرض‌های شمالی "۱۲'۰۰" و "۳۵° ۳۹' ۰۰" را در بر می‌گیرد و بخشی از کویر بزرگ ایران به شمار می‌آید. این منطقه به جهت وجود رخدادهای معدنی و معادن متروک متعدد به ویژه رگه‌های فلزات پایه با منشأ آبی ترمال از جمله کانسارهای گندی (Au-Pb-Zn)، ابوالحسنی (Pb-Zn)، چشمه حافظ (Pb-Zn)، چاه موسی (Cu) و دارستان (Au-Cu) و موارد متعدد دیگر از نظر زمین‌شناسی اقتصادی مورد توجه بوده است و تاکنون مطالعات متعدد زمین‌شناسی در آن صورت گرفته است (رشیدنژاد عمران، ۱۳۷۱؛ عابدیان و دری، ۱۳۷۵؛ برنا و عشق‌آبادی، ۱۳۷۶؛ تاج‌الدین، ۱۳۷۷؛ شمعانیان اصفهانی، ۱۳۸۲؛ فرد، ۱۳۸۰). نفوذ توده‌های ساب و لکانیک نیمه عمیق با ترکیب اسیدی تا حد واسط به داخل توالی‌های ولکانیکی آندزیتی به شکل دایک و سیل سبب دگرسانی گرمایی همراه با کانی‌زایی‌های نوع رگه‌ای در برخی از قسمت‌های این کمر بند شده است (مهرابی و قاسمی ۱۳۸۹؛ لیاقت و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از داده‌های سنجنش از دور برای شناسایی مناطق دگرسانی و نقشه برداری از این مناطق با روش‌های مختلف پردازشی مورد توجه افراد بسیاری بوده است (Tangestani et al., 2008; Rown et al., 2006؛ رنجبر و شهریاری، ۱۳۸۵). سنجنده استر (ASTER) در سال ۱۹۹۹ با همکاری آمریکا و ژاپن با هدف جمع‌آوری اطلاعات زمین‌شناسی و اکتشافی طراحی و به فضا پرتاب شد. این سنجنده دارای

۳- دگرسانی گرمابی در منطقه

آثار دگرسانی در سنگ‌های ولکانیکی و آذرآواری منطقه تروود- چاه شیرین در برخی نقاط یکی از بارزترین پدیده‌های زمین شناسی می‌باشد که در محدوده تأثیر توده‌های نفوذی نیمه عمیق مشاهده می‌شود (لیاقت و همکاران ۱۳۸۷؛ مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹؛ خاکزاد، ۱۳۷۶؛ Fard et al., 2006). مثلاً در کانسار پلی متال چشمه حافظ که در بخش مرکزی کمان ماگمایی تروود- چاه شیرین قرار دارد دگرسانی گرمابی در نزدیکی رگه‌ها شدید بوده و پهنای هاله‌های دگرسانی از چند سانتی متر تا چند متر در اطراف رگه‌ها متغیر است و شامل دگرسانی‌های پروپیلیتی، سرسیستی، آرژیلیک و سیلیسی و آلونیتی شدن است (مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹) یا در محدوده دارستان و باغو انواع دگرسانی آرژیلی، سرسیستی، سیلیسی، پروپیلیتی، تورمالین‌زایی و سولفیدزایی در محدوده تأثیر توده‌های نفوذی نیمه عمیق با ترکیب اسیدی تا حدواسط دیده می‌شود با این وجود دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (آلونیتی شدن) به دلیل گسترش زیاد آن و نقش آن در تشکیل فیروزه مخصوصاً در منطقه باغو از اهمیت زیادی برخوردار است (لیاقت و همکاران، ۱۳۸۷).

بر اساس مشاهدات صحرایی و نتایج تجزیه نمونه‌های میدانی با روش پراش اشعه ایکس (XRD) (جدول ۱) دگرسانی آرژیلیک متوسط (کانی‌های کائولینیت، ایلیت، مونتورونیت و کوارتز) گستره محدودی را شامل می‌شود. این دگرسانی در یک پهنه باریک با روند شمالی- جنوبی که از مرکز کمان می‌گذرد در منطقه مشاهده می‌شود و بیشترین گسترش را در مرکز تصویر دارد. مناطق کوچکی از این دگرسانی نیز در مجاورت معدن طلای گندی مشاهده می‌شود که به عنوان معدن کائولن مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (کانی‌های آلونیت، پیروفیلیت، کائولینیت و کوارتز) نیز در مرکز کمان با گسترش خیلی محدودتر در مجاورت دگرسانی آرژیلیک متوسط مشاهده می‌شود و با وجود آنکه گسترش وسیعی ندارد، اما از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. حضور این دگرسانی و مجاورت آن با دگرسانی آرژیلیک به‌ویژه حضور کانی‌های آلونیت، پیروفیلیت و ژیس، مشابه با سیستم‌های کانی‌سازی نوع اپی ترمال با سولفید بالا است و حضور این تیپ نهشته‌ها را در این منطقه محتمل می‌شمارد. واحدهای سنگی داسیتی و داسیت-آندزیتی تحت تأثیر این دگرسانی‌ها به رنگ‌های سفید، کرمی و صورتی روشن دیده می‌شوند. دگرسانی فیلیک (کانی سرسیت، کائولینیت، ایلیت و کوارتز)، در مقایسه با دگرسانی آرژیلیک از گسترش بیشتری در سطح منطقه برخوردار است. این دگرسانی در بخش‌های خاوری، مرکزی و باختری کمان مخصوصاً در مناطقی که کانی‌زایی‌های فلزی رخ داده است مانند معدن چاه موسی، چشمه حافظ، چاه مسی و برخی معادن دیگر در اطراف ماده معدنی با وسعت متفاوت گسترش دارد. در این دگرسانی بلورهای پلاژیوکلاز توسط کلسیت و سرسیت جانشین شده‌اند. در بخش مرکزی کمان گاه در مجاورت این دگرسانی کانی‌های آلونیت، پیروفیلیت و بخش‌های سیلیسی نیز مشاهده می‌شود. دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه مطالعاتی گسترش ناحیه‌ای داشته و اغلب سنگ‌های رخنمون یافته حدواسط و مافییک متحمل دگرسانی پروپیلیتیک شده‌اند. این زون عمدتاً شامل مجموعه کانی‌های کلریت، اپیدوت، کلسیت و پلاژیوکلاز است. دگرسانی پروپیلیتیک در قسمت بیرونی تری نسبت به رگه‌های معدنی تشکیل شده است. با این وجود، مرز این زون دگرسانی در بعضی قسمت‌ها تدریجی و نامشخص است و در مقایسه با دیگر دگرسانی‌ها در منطقه از گسترش بیشتری برخوردار است. تحت تأثیر این دگرسانی، پلاژیوکلازها به کانی‌های ثانویه از جمله کلریت، اپیدوت، کلسیت و اکسیدهای آهن تبدیل شده است، همچنین در برخی موارد مشاهده می‌شود بلورهای درشت کانی‌های مافییک مانند آمفیبول عمدتاً به کلریت، سرسیت، اپیدوت، کوارتز و کانی‌های ایک تجزیه شده است که گویای دگرسانی کلریتی در منطقه می‌باشد. در شکل ۳ تصاویری از دگرسانی‌های آرژیلیک متوسط (کائولینیتی شدن)، آلونیتی

در پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر، پژوهشگران از روش‌های ریاضی و آماری مختلفی جهت شناسایی و نقشه‌برداری کانی‌های دگرسانی استفاده می‌کنند. در میان این روش‌ها، روش نسبت‌های باندی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، ترکیبات کاذب رنگی و نقشه‌برداری زاویه طیفی از رایج‌ترین و کاربردی‌ترین آنها هستند (Crosta et al., 2003; Rouskov et al., 2005; Mars & Rowan, 2006) و رنجبر و شهرداری، (۱۳۸۵) که در این مطالعه نیز از آنها استفاده شده است. انتخاب این محدوده در این مطالعه به علت وجود پتانسیل بالای معدنی فلزات گرانبهایی چون مس و طلا، حضور انواع دگرسانی‌ها در منطقه، آب و هوای خشک و بیابانی، پوشش گیاهی ضعیف و پراکنده و عدم وجود مطالعات جامع دورسنجی در این کمر بند ماگمایی است که شرایط را برای استفاده و ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای استر و روش‌های مختلف پردازشی آن مهیا نموده است. هدف اصلی این پژوهش بارزسازی انواع مناطق دگرسانی مخصوصاً دگرسانی‌های رسی در سطح محدوده مطالعاتی و ارزیابی پتانسیل تصاویر ماهواره‌ای استر و روش‌های مختلف پردازشی آن جهت نقشه‌برداری مناطق دگرسانی در این منطقه است.

۴- زمین‌شناسی عمومی منطقه

کمان ماگمایی تروود- چاه شیرین بین دو گسل انجیلو در شمال و گسل تروود در جنوب قرار دارد (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی بخش مورد مطالعه از این کمان ماگمایی در چهارگوش ۱/۲۵۰۰۰۰ تروود و ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان و از نظر زمین‌شناسی ساختاری در زون ایران مرکزی قرار می‌گیرد. رخنمون‌های سنگی محدوده مورد مطالعه متشکل از مجموعه سنگ‌های ولکانو - پیروکلاستیک ائوسن با ترکیب غالب حدواسط (آندزیتی) است که تحت تأثیر تزریق توده‌های نفوذی الیگوموسن با ترکیب گرانودیوریتی قرار گرفته‌اند (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱). فعالیت‌های ماگمایی در دوران اول و دوم در ضمن حوادث تکتونیکی به تدریج آغاز شده و اوج فعالیت ماگمایی در زمان ائوسن میانی تا احتمالاً بالایی رخ داده است که اسکلت اصلی ارتفاعات حد فاصل تروود- چاه شیرین را تشکیل می‌دهد (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱). غالب محصولات ماگمایی از آندزیت و بازالت تشکیل شده که به مرور زمان به حالت اسیدی و تراکیتی گرایش پیدا کرده است و در نهایت فراورده‌های ماگمایی حالت بازیک‌تر به خود می‌گیرد و به گدازه‌ها، برش‌ها و توف‌های آندزیتی تبدیل می‌شود که احتمالاً تا پایان ائوسن ادامه می‌یابد. سنگ‌های آتشفشانی این ناحیه توسط توده‌های نفوذی متعددی قطع شده است که بر اساس شواهد چینه‌شناسی دارای سن ائوسن بالایی - الیگوسن می‌باشند (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱) و ترکیب سنگ‌شناسی شامل گرانیت، میکروگرانیت، گرانودیوریت، میکروگرانودیوریت، میکروکوارتز موزونیت، میکروموزونیت، میکروموزودیوریت و میکروکوارتز موزودیوریت دارند و از مجموعه کانی‌شناسی کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول، پیروکسن، آپاتیت، تیتانیت، زیرکن، تورمالین و اکسید Fe-Ti (مگنتیت - ایلمنیت) تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها سری ماگمایی، ساب آلکالن تا آلکالن دارند و از نوع I هستند. این توده‌های نفوذی به عنوان یکی از عناصر مهم در فرایند کانی‌سازی در منطقه به‌شمار می‌آیند (سهیلی و همکاران، ۱۳۷۹). شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان) و موقعیت محدوده‌های مورد بازدید و نقاط نمونه‌برداری میدانی (ستاره‌های قرمز) در این مطالعه را نشان می‌دهد.

در این مقاله از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده استر برای شناسایی و بارزسازی کانی‌های شاخص دگرسانی و مناطق دگرسان در سطح منطقه استفاده شد. برای شناخت بیشتر، در ادامه اشاره مختصری به دگرسانی‌های مهم و معمول در منطقه شده است.

۶- روش تحقیق

بررسی کانی‌های دگرسانی‌ها و تهیه نقشه دگرسانی منطقه، با مشاهدات صحرایی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER صورت گرفت. روش‌های پردازش تصویری مانند ترکیبات رنگی کاذب، نسبت‌های باندی و نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) برای بارزسازی دگرسانی‌های منطقه به کار گرفته شد. روش پراش اشعه ایکس (XRD) و مطالعه مقاطع نازک نیز به عنوان ابزارهای کنترلی استفاده شدند. در نهایت جهت برآورد صحت و تحلیل خطای پردازش از ماتریس آشفستگی (خطا) و ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا یا کاپای کوهن (Cohen, 1960) معیاری چند متغیره است که میزان سازگاری بین دو متغیر را نشان می‌دهد. این ضریب نشان می‌دهد که واحدهای دگرسانی رده‌بندی شده مورد نظر تا چه اندازه با داده‌های میدانی دگرسانی سازگاری دارند. این ضریب با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{N \sum_k X_{kk} - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}}{N^2 - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}}$$

N تعداد کل پیکسل‌ها در نمونه آزمایشی، $\sum_k X_{kk}$ مجموع قطر ماتریس ارزیابی (X_{kk}) مجموع نمونه‌های آزمایشی در کلاس K و $\sum_k X_{k\Sigma}$ مجموع پیکسل‌های پیش‌بینی شده در کلاس K هستند (Cohen, 1960). مقدار ضریب کاپا به طور معمول کمتر یا مساوی ۱ است. عدد یک نشان‌دهنده بیشترین سازگاری و مقادیر کمتر، نشان‌دهنده سازگاری کمتر است.

۶-۱. ترکیب رنگی کاذب (False Composite Color)

روش ترکیب رنگی کاذب می‌تواند اطلاعات بیشتری را در ارتباط با مناطق دگرسانی در اختیار قرار دهد. بر این اساس چندین ترکیب رنگی مختلفی از باندهای استر برای تفکیک بصری دگرسانی در گزارشات محققین مختلف دیده می‌شود که در این مطالعه از ترکیب رنگی کاذب ۴۶۸ (عباس‌زاده و هزارخانی، ۱۳۸۹) برای تفکیک اولیه دگرسانی در مجموعه آتشفشانی نفوذی ترو-چاه شیرین استفاده شد (شکل ۵). در این شکل در تصویر حاصل از ترکیب باندی ۴۶۸، نواحی با دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی رسی (آرژیلیک و فیلیک) به رنگ سفید تا صورتی دیده می‌شوند. این مسئله به علت بازتابندگی بالای کانی‌های آلونیت، کائولینیت و مسکوویت در باند ۴ نسبت به باندهای ۶ و ۸ است (عباس‌زاده و هزارخانی، ۱۳۸۹). در این شکل در برخی از مناطق پیکسل‌هایی با رنگ صورتی پر رنگ مشاهده می‌شوند که مربوط به مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (آلونیت) می‌باشند.

۶-۲. روش نسبت باندی

یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای که کاربرد وسیعی در زمین‌شناسی دارد روش نسبت‌های باندی می‌باشد (Rowan et al., 1977). این روش شامل تقسیم کردن دو باند بر همدیگر است. باندی که میزان بازتابش از هدف مورد نظر در آن بیشتر باشد در صورت کسر و باندی که میزان جذب برای همان هدف در آن بالاتر باشد در مخرج کسر قرار می‌گیرد. با به کارگیری این روش می‌توان اثر توپوگرافی و سایه‌ها در تصویر را به حداقل رساند و اختلاف بین درجات روشنایی تصویر را بارزسازی نمود (Rouskov et al., 2005). الگوی طیفی کانی‌های شاخص دگرسانی در منابع و کتاب‌های مرجع، موجود و قابل بررسی است. برای مطالعه حاضر از نمودارهای طیفی کتابخانه سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) استفاده شد. در شکل ۲ - الف نمودار طیفی کانی‌های آلونیت (پیروفیلیت) شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، کائولینیت شاخص دگرسانی آرژیلیک متوسط، مسکوویت/سرسیت و ایلیت شاخص دگرسانی فیلیک و کلریت (اپیدوت و کلسیت) شاخص دگرسانی پروپیلیتیک که در نمونه‌های XRD منطقه شناسایی شده‌اند نشان داده شده است. در شکل ۲-ب پاسخ انعکاسی کانی‌های شاخص دگرسانی منطقه که با توجه به موقعیت نمونه‌های میدانی و نتایج XRD از تصاویر استر منطقه استخراج شده است

شدن (آرژیلیک پیشرفته) با رنگ‌های سفید-قهوه‌ای آجری و پروپیلیتیک و سیلیسی و در شکل ۴ مقاطع نازکی از نمونه‌های میدانی دگرسانی پروپیلیتیک و سرسیت نشان داده شده است.

۴- نمونه‌برداری و مطالعات کانی‌شناسی با روش XRD

به منظور شناسایی دقیق فازهای موجود در سنگ‌های دگرسان شده و تفکیک پهنه‌های دگرسانی، همچنین کنترل نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER، ۲۱ نمونه با روش XRD در شرکت کانساران بینالود تجزیه شد. در شکل ۱ (علامت‌های ستاره قرمز) موقعیت نمونه‌های برداشت شده بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه و در جدول ۱ نتایج تجزیه XRD این نمونه‌های دگرسان شده ارائه شده است. در منطقه مطالعاتی، در بیشتر موارد دیده می‌شود که زون دگرسانی محدود بوده و به اطراف رگه‌های کانی‌سازی ختم می‌گردد. بنابراین در طی عملیات نمونه‌برداری سعی شد ترجیحاً مناطقی جهت نمونه‌برداری انتخاب شوند که گستره دگرسانی چند پیکسل پیوسته‌ای از تصویر سنجنده ASTER (با اندازه پیکسلی ۱۵ متر) را پوشش می‌دهد. از طرفی به علت گستردگی و تنوع انواع دگرسانی در بخش‌های مرکزی کمان بیشتر نمونه‌های میدانی دگرسانی از این مناطق برداشت و تجزیه گشت. بررسی نتایج XRD نشان می‌دهد کوارتز در تمام نمونه‌های مربوط به دگرسانی‌ها دیده می‌شود. همچنین کانی‌های حاصل از دگرسانی مانند کائولینیت، ایلیت، سرسیت، مونت موریلونیت، کلریت و کلسیت نیز در بیشتر نمونه‌ها دیده می‌شوند. بر پایه نتایج کانی‌شناسی جدول ۱ دگرسانی آرژیلیک متوسط ناحیه ترو-چاه شیرین را می‌توان با مجموعه کانی‌شناسی اصلی کائولینیت + مونت موریلونیت + ایلیت + کوارتز، دگرسانی آرژیلیک پیشرفته را با مجموعه کانی‌شناسی آلونیت + پیروفیلیت + کائولینیت + کوارتز، دگرسانی فیلیک را با مجموعه کانی‌شناسی سرسیت + ایلیت + کوارتز و دگرسانی پروپیلیتیک را می‌توان با مجموعه کانی‌شناسی کلریت + اپیدوت + کلسیت شناسایی نمود.

۵- پیش پردازش داده‌ها

به منظور استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر لازم است پیش از استفاده از آنها پیش پردازش‌های رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر خام صورت گیرد. در این مطالعه از یک تصویر ASTER به شماره AST_L1B_003_04282002072058_0510200211 که توسط ماهواره Terra در تاریخ ۲۰۰۲/۴/۲۸ تصویر برداری شده، استفاده شد. این تصویر از نظر پردازشی در سطح IB (معادل داده‌های رادیناس در سنجنده) قرار داشت و با سیستم مختصات UTM زون ۴۰ (WGS 84) زمین مرجع شده بود. در ابتدا ۶ باند مادون قرمز نزدیک استر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر براساس قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متری باندهای مریی با روش نزدیک‌ترین همسایگی نمونه‌برداری مجدد، و یکپارچه شدند (Amer et al., 2010). سپس با توجه به محدوده مطالعاتی، تصویر حاصل بریده و برای تصحیحات بعدی آماده شد. با استفاده از باند Pan تصویر لندست منطقه که دارای مختصات صحیح بود تصویر استر با روش تصویر به تصویر تصحیح هندسی شد. برای تبدیل داده‌های رادیناس به داده‌های انعکاسی و از بین بردن تأثیرات توپوگرافی و جوی، بعد از تصحیح اثر crosstalk (تصحیح تراوش سیگنال باند ۴ به باندهای مجاور ۵ و ۹ با استفاده از نرم افزار Cross-Talk correction محصول (Hewson et al., 2005)، از روش میانگین بازتابش داخلی نسبی (Internal Average Relative Reflectance) استفاده شد. در این روش میانگین طیف تصویر محاسبه و به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود. سپس میانگین طیف به دست آمده بر طیف پیکسل‌های باندها تقسیم می‌شود (Kruse et al., 1985). در این مطالعه کلیه پردازش‌های طیفی در نرم‌افزار Envi ver. 4.7 انجام شد.

محدوده کمان ماگمایی تروپ-چاه شیرین که از کانیهایی چون آمفیبول، پروکسن و پلاژیو کلاز تشکیل شده‌اند انتظار رخداد دگرسانی پروپیلیتیک با این وسعت زیاد در منطقه دور از انتظار نیست. مناطق روشن در قسمت جنوب باختری این شکل مربوط به واحدهای آهکی در این منطقه است که به علت شباهت طیفی با کانی‌های زون پروپیلیتیک بارزسازی شده است.

۴-۳. نقشه بردار زاویه طیفی SAM

روش نقشه بردار زاویه طیفی اولین بار توسط Kruse et al. (1993) استفاده شد. این روش بر اساس شباهت بین طیف کانی‌های مرجع کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و طیف استر کانی‌های دگرسانی موجود در منطقه انجام گرفت. شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل تصویر استر، به وسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها ارزیابی می‌شود (Kruse et al., 1985). در این روش زاویه بین دو بردار مستقل از طول آنهاست، در نتیجه این تکنیک تحت تأثیر عوامل روشنی خورشید نیست. زاویه دو بردار بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند که حد پایین گویای شباهت بالا و زاویه بزرگ گویای شباهت کم می‌باشد. خروجی روش نقشه بردار زاویه طیفی تخمینی کیفی از شباهت طیف مورد نظر با هر طیف مرجع ارائه می‌دهد. در خروجی حاصل از روش نقشه بردار زاویه طیفی، پیکسل روشن‌تر معادل زاویه بزرگ‌تر و نشان‌دهنده اختلاف بیشتر طیف مورد مطالعه با طیف مرجع و پیکسل تاریک‌تر معادل زاویه کوچک‌تر و نماد شباهت بیشتر طیف‌ها می‌باشد. دقت این روش به حدی است که می‌تواند کانی‌هایی را که در مقاطع میکروسکوپی از یکدیگر قابل تشخیص نیستند و تنها با دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) قابل شناسایی هستند (مانند کانی‌های رسی) تفکیک کند (ملک زاده و کریم‌پور، ۱۳۸۹).

برای انجام این پردازش نخست مطابق با نتایج تجزیه‌های XRD، طیف دو کانی آلونیت و پروپیلیت به عنوان شاخص زون آرژیلیک پیشرفته (آلونیتی شدن)، طیف کانی‌های کانولینیت و مونت موریلونیت به عنوان شاخص زون آرژیلیک متوسط، طیف سرسیت (مسکوویت) به عنوان شاخص زون فیلیک و کانی‌های کلریت، اپیدوت و کلسیت به عنوان شاخص زون پروپیلیتیک از کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) موجود در نرم افزار ENVI 4.2 انتخاب شدند. از آنجایی که این کتابخانه طیفی از هر کدام از کانی‌های یادشده چندین طیف دارد، پردازش‌ها بر روی طیف کانی‌های مشابه تکرار گردید و آن دسته از کانی‌هایی که زاویه کمتری نشان می‌دادند برای بررسی انتخاب شدند. طیف کانی‌های انتخاب شده پس از بازنویسی براساس باندهای استر با سلول‌های تصاویر استر منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل ۸-الف تا د انواع کانی‌های دگرسانی بارزسازی شده با استفاده از این روش در محدوده مورد مطالعه و در شکل ۹ نتایج تلفیق این مناطق دگرسانی نشان داده شده است. برای نقشه برداری کانی‌های زون فیلیک و آرژیلیک (متوسط و پیشرفته) در این روش از مقدار آستانه ۰/۵ رادیانس و برای نقشه برداری کانی‌های زون پروپیلیتی از مقدار آستانه ۰/۶ رادیانس استفاده شد. این مقدار آستانه با توجه به بازدهی‌های میدانی و نتایج تحقیقات محققانی چون Mars & Rowan (2006) و Honarmand et al. (2011) تعیین شد.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر با استفاده از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، عملگرهای نسبت بانندی و نقشه بردار زاویه طیفی در این مطالعه منجر به بارزسازی کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک متوسط، فیلیک و پروپیلیتیک در محدوده مورد مطالعه شد. بررسی نتایج بارزسازی نواحی دگرسانی در شکل‌های ۵ تا ۹ نشان داد که دگرسانی آرژیلیک در قسمت کوچکی از منطقه و عمدتاً در بخش مرکزی کمان با روندی شمالی- جنوبی مشاهده می‌شود که در نقشه زمین‌شناسی منطبق بر واحدهای داسیت- آندزیت دگرسان شده است. البته

نیز آورده شده است. برای مشخص کردن مناطق دگرسانی با توجه به ویژگی‌های طیفی کانی‌های شاخص در هر نوع دگرسانی، می‌توان نسبت‌های بانندی را تعریف کرد. بر این اساس Mars & Rowan (2006) برای تفکیک دگرسانی فیلیک و آرژیلی با توجه به منحنی‌های طیفی مسکوویت و کانولینیت (شکل ۳- الف) به ترتیب از سه نسبت بانندی ۴/۶، ۵/۶ و ۷/۶، ۴/۵ و ۵/۶ استر برای پوشش محدوده جذب مسکوویت در ۲/۲ میکرومتر و کانولینیت در ۲/۱۶۵ میکرومتر استفاده کردند. این پژوهشگران دو عملگر منطقی نسبت بانندی زیر (معادلات ۱ و ۲) را به ترتیب برای تفکیک زون فیلیک و آرژیلیک توسعه دادند که در این مطالعه از آنها برای نقشه برداری و تفکیک این دو زون در منطقه استفاده شد.

(۱) عملگر زون فیلیک

$$((\text{float}(b4)/b6) > 1.25) \text{ and } ((\text{float}(b5)/b6) > 1.05) \text{ and } ((\text{float}(b7)/b6) \geq 1.03)$$

(۲) عملگر زون آرژیلیک

$$((\text{float}(b4)/b5) > 1.25) \text{ and } ((\text{float}(b5)/b6) < 1.05) \text{ and } ((\text{float}(b7)/b6) \geq 1.03)$$

در معادلات بالا تابع float نتیجه تقسیم را به صورت اعشاری محاسبه می‌کند (Mars & Rowan, 2006). براساس تحقیقات این محققان در منحنی طیفی کانی مسکوویت مقادیر انعکاسی در باند ۵ استر حداقل ۵٪ بیشتر از باند ۶ هست این مسئله در معادله ۱ به صورت تعیین مقدار آستانه بیش از ۱/۰۵ برای طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر به عنوان دگرسانی فیلیک نشان داده شده است. همچنین مقادیر انعکاسی در باند ۶ استر حداقل ۲۵٪ کمتر از باند ۴ و مقادیر انعکاسی در باند ۷ حداقل ۳٪ بیش از باند ۶ است بنابراین مقادیر پیکسلی برای نسبت بانندی ۴/۶ و ۷/۶ باید به ترتیب بیش از ۱/۲۵ و بزرگتر یا مساوی ۱/۰۳ باشد تا پیکسل مورد نظر به عنوان دگرسانی فیلیک طبقه‌بندی شود (معادله ۱). در مورد کانولینیت نیز به عنوان شاخص زون دگرسانی آرژیلیک مقادیر انعکاسی در باند ۵ استر حداقل ۵٪ کمتر از باند ۶ هست این مسئله در معادله ۲ بر عکس معادله ۱ به صورت تعیین مقدار آستانه کمتر از ۱/۰۵ برای طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر به عنوان دگرسانی آرژیلی نشان داده شده است. طیف استر کانی کانولینیت همچنین نشان می‌دهد که مقادیر انعکاسی در باند ۴ حداقل ۲۵٪ بیشتر از باند ۵ و در باند ۷، ۳٪ بیش از باند ۶ است که این ملاحظات در معادله ۲ برای نسبت‌های بانندی ۴/۵ و ۷/۶ به ترتیب با مقادیر آستانه بیش از ۱/۲۵ یا مساوی ۱/۰۳ برای احتساب پیکسل خروجی به عنوان دگرسانی آرژیلیک اعمال شده است (Mars & Rowan, 2006). با اعمال این دو عملگر منطقی بر روی باندهای استر منطقه، زون‌های دگرسانی آرژیلی و فیلیک استخراج و به ترتیب در شکل ۶- الف و ب نشان داده شده است در شکل ۶- ج نیز نتایج تلفیق این دو زون دگرسانی بر روی باند ۳ استر نشان داده شده است. مقایسه نتایج بدست آمده با بازدهی‌های میدانی نشان می‌دهد این عملگر زون‌های دگرسانی آرژیلیک را در مرکز تصویر که سنگ‌های آندزیتی- داسیتی دگرسان شده مشاهده می‌شوند به خوبی بارزسازی کرده است همچنین کانی‌های رسی در محدوده طلای گندی نیز تا حدودی بارزسازی شده است. عملگر دگرسانی فیلیک تا حدودی ضعیف مشاهده می‌شود. این عملگر مناطق دگرسانی فیلیک را به خوبی بارزسازی نموده است. برای مثال در محدوده معدن چاه مسی در بازدهی‌های میدانی در سطح، این دگرسانی مشاهده می‌شود اما در نقشه خروجی این عملگر اثری از بارزسازی این زون دگرسانی دیده نمی‌شود این مسئله برای برخی از قسمت‌های باختری کمان نیز دیده می‌شود.

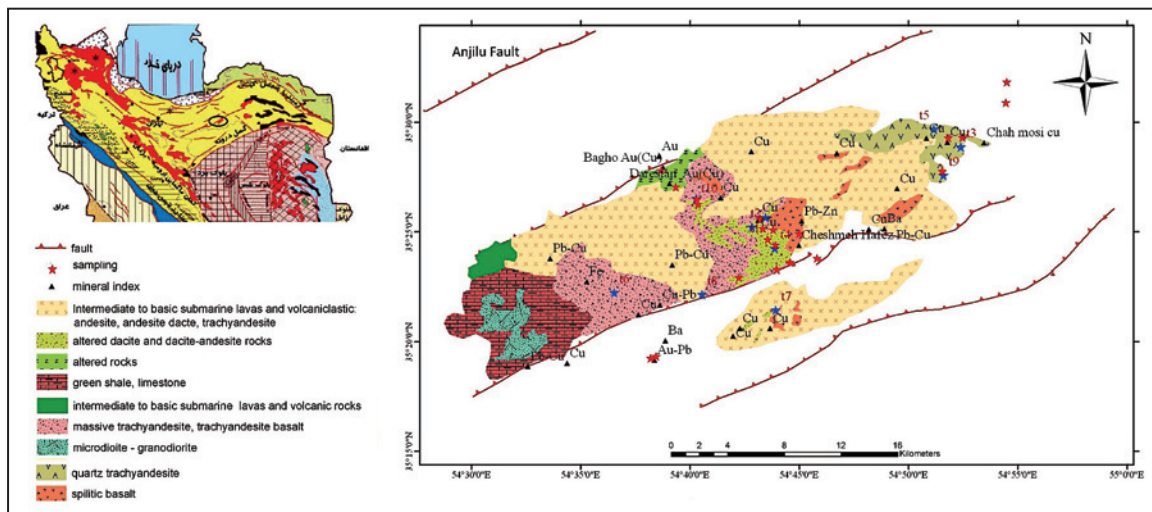
به منظور بارزسازی کانی‌های گروه Mg-OH مانند کلریت، اپیدوت و کربنات‌هایی مانند کلسیت (شاخص دگرسانی پروپلیتی) از نسب بانندی $(b6+b9)/b8$ بدلیل انعکاس کم این گروه از کانی‌ها در باند ۸ و انعکاس نسبتاً بالا در باند ۹ و ۶ (شکل ۲) استفاده شد (Hewson et al., 2005). با توجه به خروجی این نسبت بانندی در شکل ۷ قسمت‌های روشن تصویر احتمالاً تحت تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک قرار گرفته‌اند. با وجود گسترش زیاد گدازه‌های بازیک و حدواسط در

زمین شناسی و ۳۰ نقطه کنترل زمینی (۲۰ نمونه میدانی از دگرسانی و ۱۰ نمونه غیر دگرسان)، درستی رده بندی ارزیابی شده است. در اینجا برای ارزیابی دقت دو روش فوق در منطقه مطالعاتی ابتدا ماتریس آشفستگی این دو روش برای تفکیک مناطق دگرسانی آرژلیک و فیلیک محاسبه (جدول ۲) و دقت کلی و ضریب کاپا آن تعیین شد. سپس میزان دقت روش نقشه بردار زاویه طیفی برای تفکیک کل مناطق دگرسانی منطقه محاسبه گشت. همان گونه که نتایج در جدول ۲ نشان می دهد از بین این دو روش پردازشی، روش نقشه بردار زاویه طیفی با دقت کلی ۷۲٪ و ضریب کاپای ۰/۶۲۷ مناسب ترین روش برای بارسازی مناطق دگرسانی آرژیلی و فیلیک با استفاده از داده های استر است. بررسی جداگانه دقت روش نقشه بردار زاویه طیفی در جدول ۳ نشان می دهد این روش با دقت کلی ۷۳/۳٪ و ضریب کاپای ۰/۶۸۵ توانسته است به صورت نسبتاً مطلوب مناطق دگرسانی را در این منطقه بارسازی نماید.

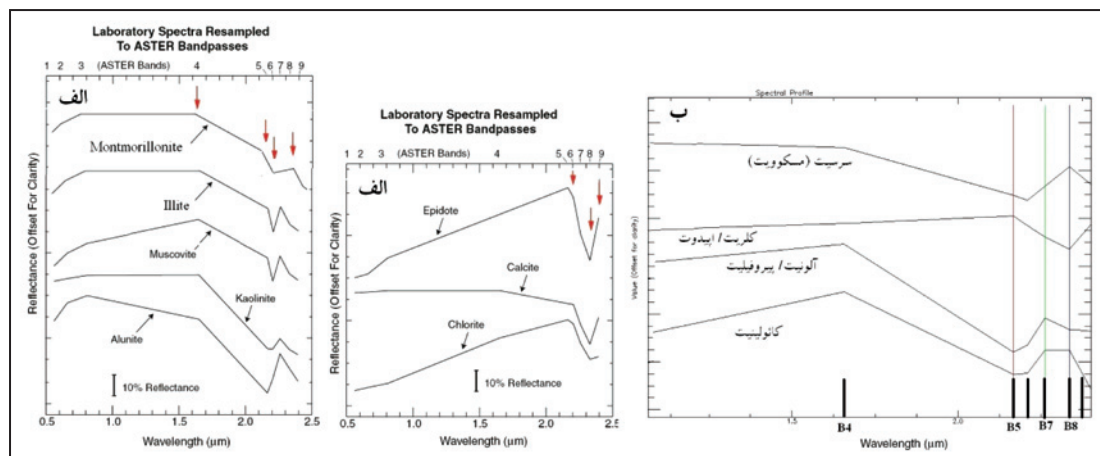
سیاسگزارى

مقاله حاضر برگرفته از نتایج طرح پژوهشی "بررسی و شناسایی زون های آلتراسیون با استفاده از تلفیق روش های سنجنش از دور و GIS جهت تعیین بی هنجاری ها و مناطق با اهمیت اقتصادی استان سمنان" بوده که به دلیل تأمین مالی این طرح، از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود تقدیر و تشکر ابراز می شود.

قسمت های کوچکی از این دگرسانی در محدوده معدن طلای گندی نیز بارسازی شده است که در بررسی های میدانی منطبق بر معدن کائولینیت می باشد نتایج همچنین نشان می دهد که دگرسانی آرژلیک پیشرفته و آلونیتی شدن در بخش های بسیار کوچکی از منطقه در مجاورت دگرسانی آرژلیک متوسط گسترش دارد. در مورد دگرسانی فیلیک، بخش عمده سرسیتی شدن بر روی مناطق دگرسان شده مرکزی کمان و تا حدودی در بخش های خاوری و باختری منطقه بر روی همان رخنمون های سنگی داسیت- آندزیت دگرسان شده و تراکی آندزیت ها پورفیری به صورت پراکنده دیده می شود. دگرسانی کلریتی (دگرسانی پروپیلیتیک) بخش عمده ای از منطقه را می پوشاند. این دگرسانی عمدتاً پهنه هایی از منطقه که در نقشه زمین شناسی گدازه های زیر دریایی و آتشفشانی تخریبی با ترکیب متوسط تا بازیک نام گذاری شده است را تحت تأثیر قرار داده است. باید توجه نمود قسمتی از باختر کمان که در نقشه دگرسانی پروپیلیتیک تهیه شده با روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) به عنوان کلسیت نامگذاری شده است در حقیقت واحدهای آهکی کرتاسه در منطقه می باشند. به منظور مقایسه و ارزیابی صحت نتایج پردازشی روش های عملگر منطقی نسبت بانندی و نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) از ماتریس آشفستگی (خطا) و ضریب کاپا استفاده شد. جدول ۲ و ۳ ضریب کاپا و دقت کل رده بندی دگرسانی روش های عملگر منطقی نسبت بانندی و نقشه بردار زاویه طیفی را نشان می دهند. بر اساس نقشه



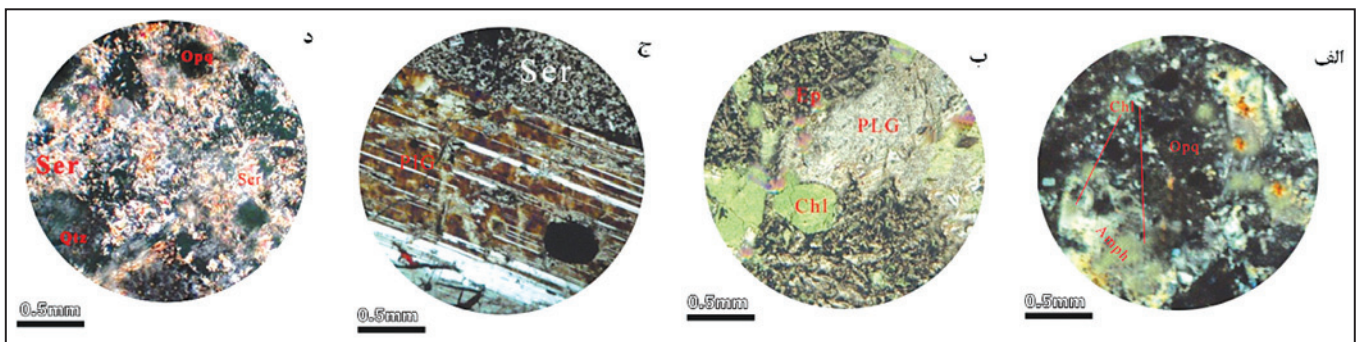
شکل ۱- نقشه زمین شناسی بخش مورد مطالعه از کمان ماگمایی ترو- چاه شیرین (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ (معلمان) (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۴) به همراه نقاط نمونه برداری جهت آنالیز ژئوشیمیایی (علامت ستاره قرمز رنگ).



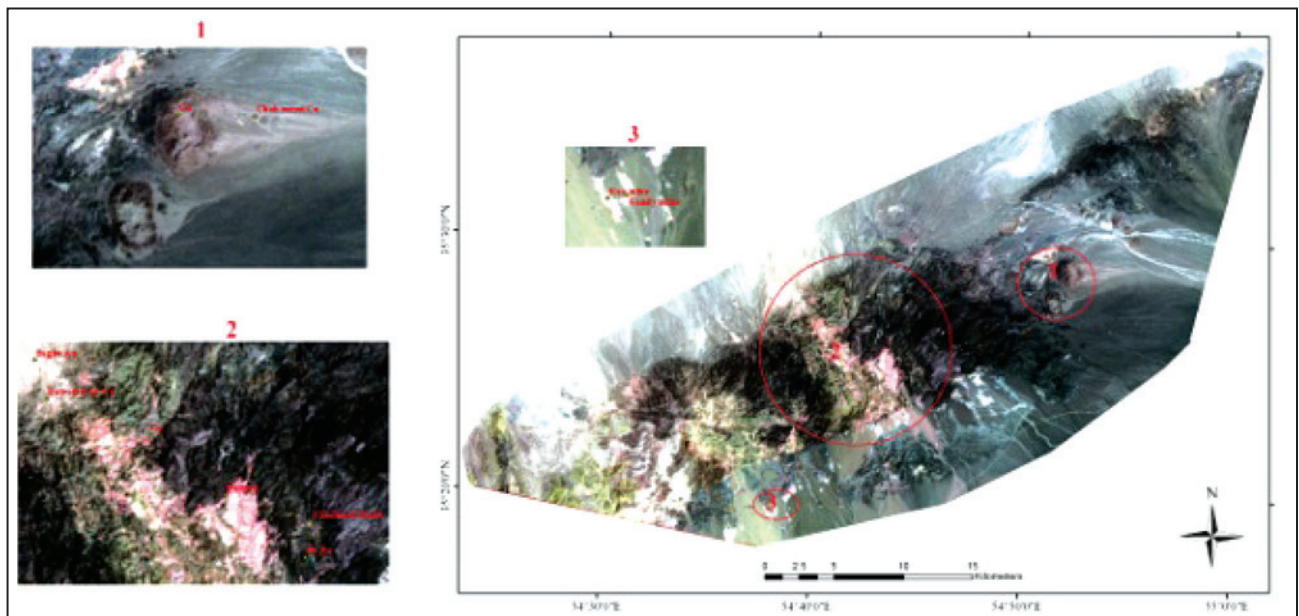
شکل ۲- الف) طیف بازتاب کانی های آلونیت، کائولینیت، سرسیت (مسکوویت)، اپلیت، مونت موریلونیت، کلریت، اپیدوت و کلسیت که نسبت به سنجنده ASTER نمونه برداری مجدد شده است؛ ب) طیف کانی های دگرسانی منطقه استخراجی از تصاویر استر.



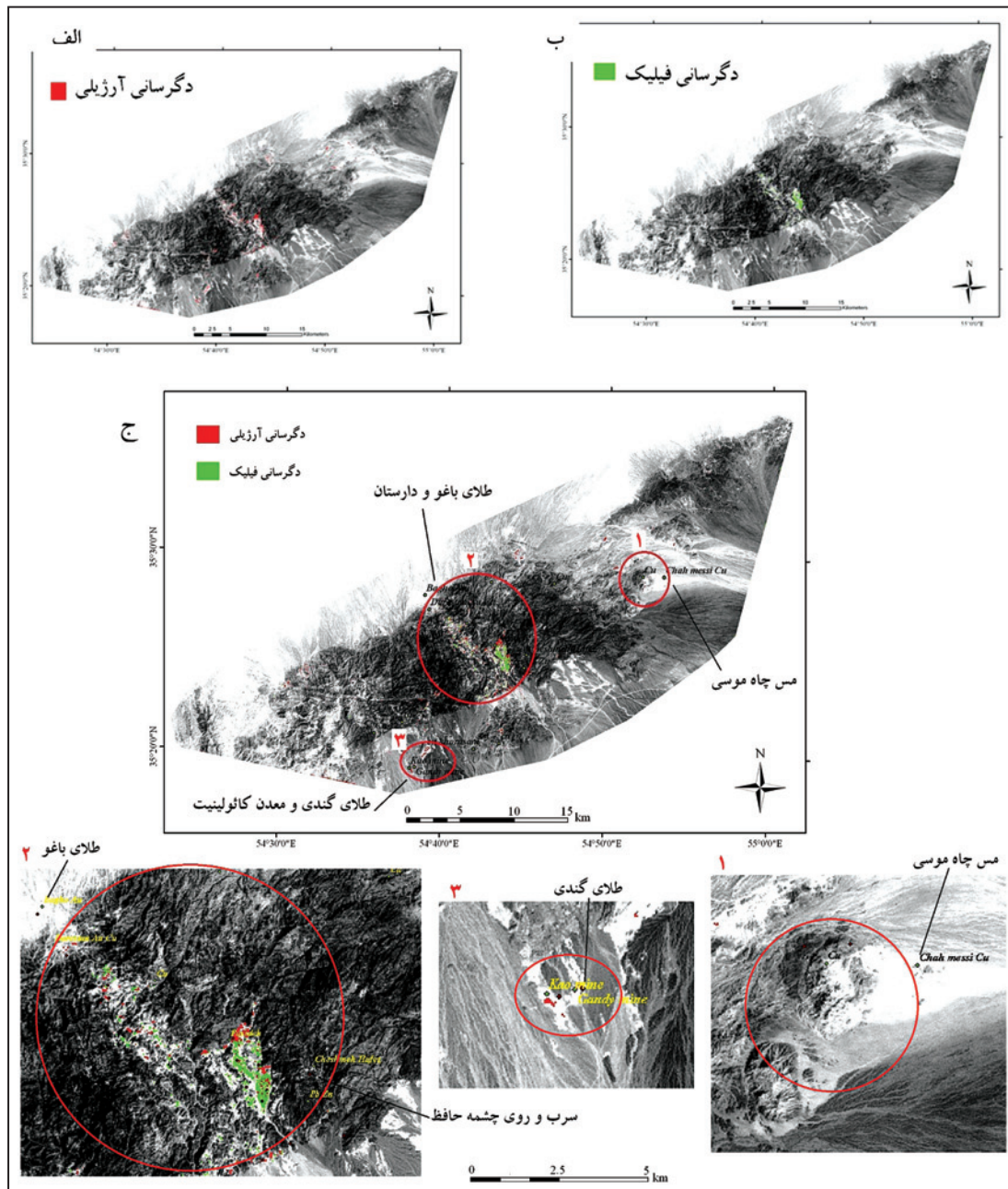
شکل ۳- واحدهای دگرسانی در منطقه تروند-چاه شیرین. الف و ب) رخنمونی از زون آلونیت-کائولینیت (آرزلیک پیشرفته) و بخش‌های کائولینیتی شده به رنگ سفید؛ ج و د) به ترتیب رخنمون‌هایی از بخش‌های کلریتی- اپیدوتی و رگه‌های سیلیسی به همراه مناطق کائولینیتی شده از منطقه نشان داده شده است.



شکل ۴- الف و ب) پروپیلیتی شدن سنگ در دو مقطع. نازک از آندزیت و تراکی آندزیت؛ ج و د) سرسیتی شدن متوسط و شدید سنگ در دو مقطع نازک از آندزیت‌ها؛ کلریت: Chl؛ آمفیبول: Amph؛ پلاژیوکلاز: Plg؛ اپیدوت: Ep؛ سرسیت: Ser؛ کوارتز: Qtz؛ کانی‌های اوپک: Opq.

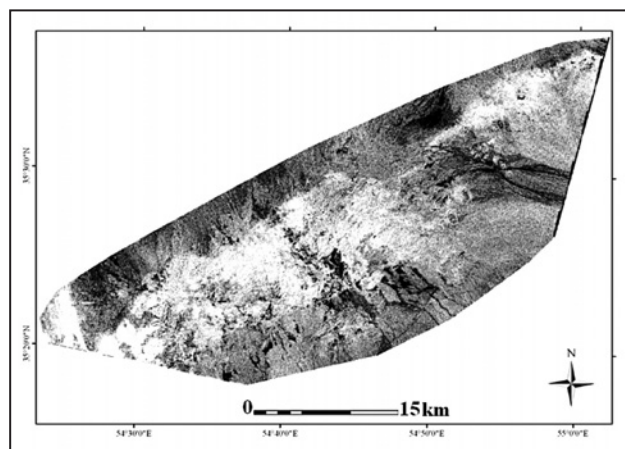


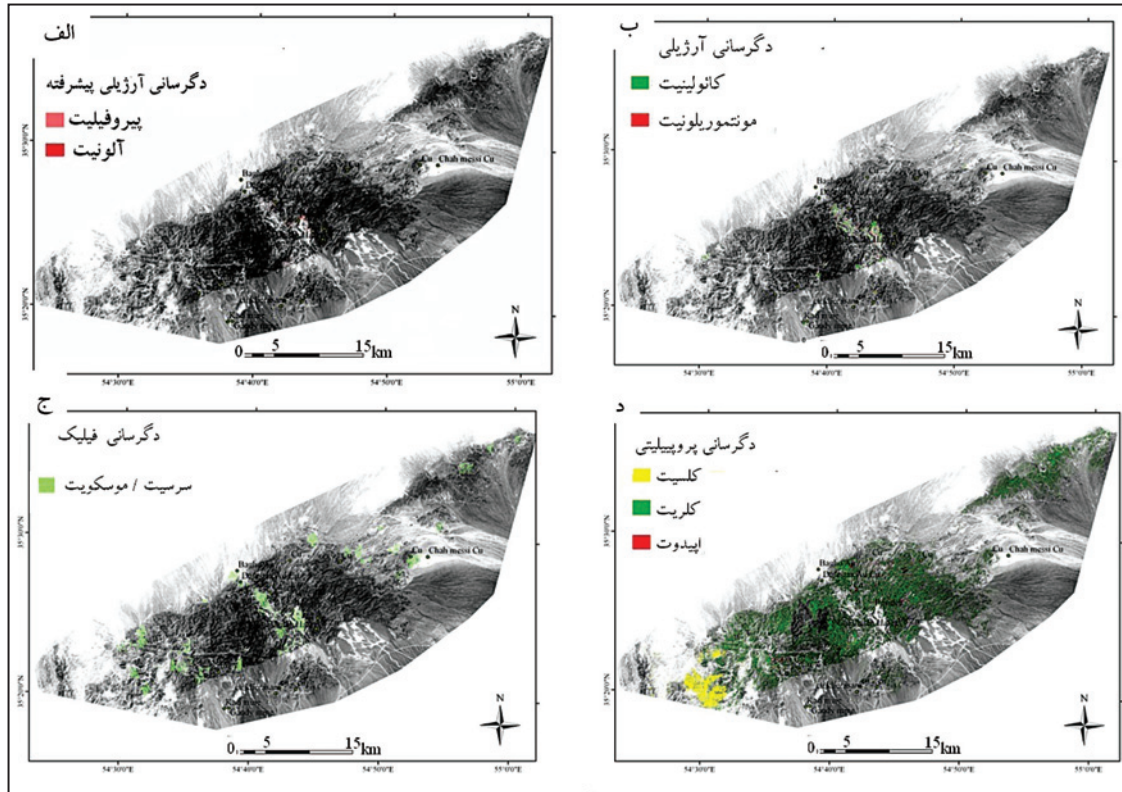
شکل ۵- ترکیب رنگی کاذب RGB:468 برای مشاهده مناطق دارای دگرسانی رسی (سفید تا صورتی) و پروپیلیتیک (سبز).



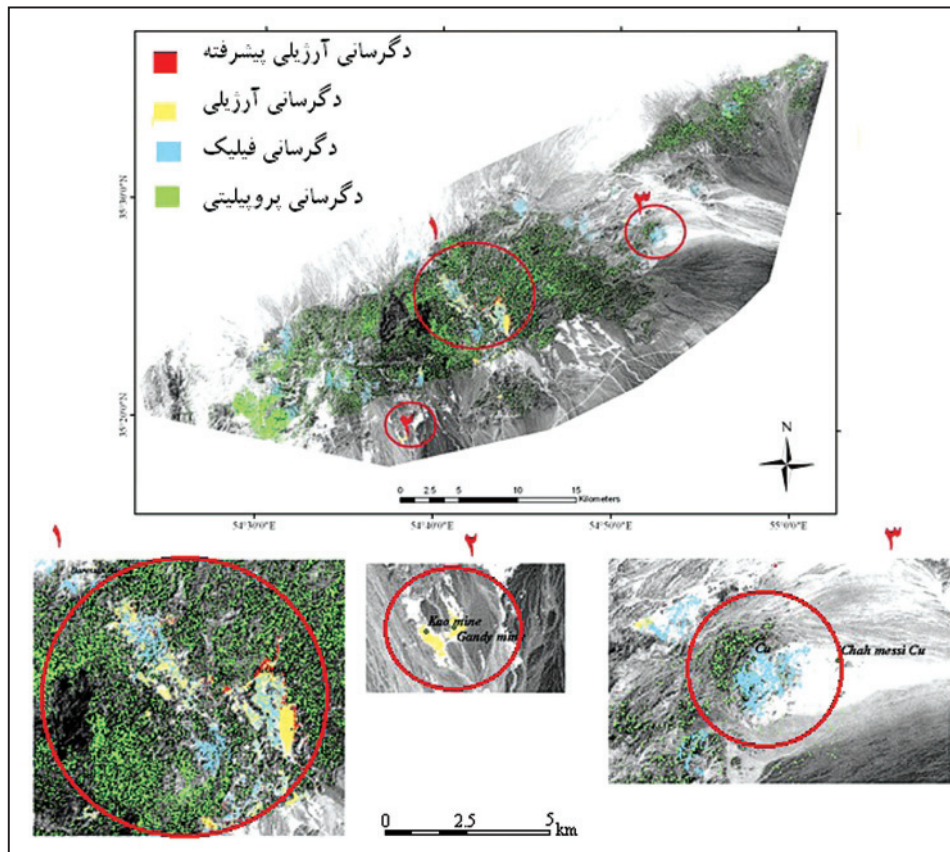
شکل ۶- نتایج روش عملگر منطقی نسبت باندی Mars and Rowan 2006 برای شناسایی الف) زون آرژیلیک؛ ب) زون فیلک؛ ج) تلفیق این دو زون که بر روی تصویر باند ۳ استر در عکس پایین نشان داده شده است.

شکل ۷- نتیجه اعمال نسبت باندی $(b_6+b_9)/b_8$ برای شناسایی مناطق دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت و کلسیت).





شکل ۸- نتایج اعمال روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) برای شناسایی (الف) زون آرژلیک پیشرفته؛ (ب) زون آرژلیک متوسط؛ (ج) زون فیلیک؛ (د) زون پروپیلیتیک که نتایج بر روی تصویر باندها ۳ استرپایین نشان داده شده است.



شکل ۹- نتیجه نهایی تلفیق زون‌های دگرسانی بارسازی شده توسط روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) برای شناسایی مناطق دگرسانی آرژلیک پیشرفته، آرژلیک متوسط، فیلیک و پروپیلیتیک در منطقه تروند- چاه شیرین که بر روی باندها ۳ استر نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج بررسی های کانی شناسی XRD در مناطق دگرسانی تروپ چاه شیرین.

نمونه	x	y	کانی شناسی	زون دگرسانی
T1	307240	3929270	quartz + sericite+ hematite+ calcite + kaolinite	سرسیتی شدن (فیلیک)
T2	306255	3929230	quartz +chlorite + epidote + calcite	پروپلیتیک
T3	310390	3933880	quartz + calcite+ chlorite+ epidote+ sericite	پروپلیتیک
T4	305763	3926430	quartz + sericite + kaolinite+ chlorite	سرسیتی شدن (فیلیک)
T5	310287	3932130	quartz + sericite + illite + hematite + chlorite	سرسیتی شدن (فیلیک)
T6	295055	3918980	quartz + alunite + hematite + kaolinite + calcite	آرژیلیک پیشرفته
T7	291491	3917810	quartz + alunite +pyrophyllite + illite + goethite + rutile	آرژیلیک پیشرفته
T8	296938	3919280	quartz + chlorite + epidote + calcite + albite + orthoclase	پروپلیتیک
T9	294113	3918410	quartz +montmorillonite + illite + calcite	آرژیلیک متوسط
T10	294079	3920460	quartz + goethite	سیلیسی شدن
T11	293545	3920940	quartz + sericite + illite + calcite	سرسیتی شدن (فیلیک)
T12	293954	3921720	quartz + kaolinite + illite + goethite + plagioclase + chlorite	آرژیلیک متوسط
T13	293069	3922640	quartz +pyrophyllite + kaolinite + goethite	آرژیلیک پیشرفته
T14	293216	3921870	quartz + sericite + kaolinite+ chlorite	سرسیتی شدن (فیلیک)
T15	288734	3924470	quartz + sericite + calcite	سرسیتی شدن (فیلیک)
T16	288779	3924040	quartz + kaolinite+ montmorillonite + goethite	آرژیلیک متوسط
T17	286301	3926940	quartz + sericite + kaolinite + calcite + goethite	سرسیتی شدن (فیلیک)
T18	287297	3925510	quartz +chlorite + epidote + calcite + albite	پروپلیتیک
T19	295743	3921390	quartz +Chlorite + Epidote + Calcite + Albite	پروپلیتیک
T20	285198	3911140	quartz + kaolinite + montmorillonite + albite + chlorite	آرژیلیک متوسط
T21	285602	3911270	quartz + kaolinite + montmorillonite + sericite	آرژیلیک متوسط

جدول ۲- ماتریس برآورد صحت دو روش عملگر نسبت باندی و نقشه بردار زاویه طیفی.

Logical Operators (LO)	SAM	Ground truth				
		Phyllic	Argillic	Unaltered	Total	(%)
	Class					
	Phyllic SAM	5	1	1	7	71.4
Phyllic LO		3	0	4	7	42.8
	Argillic SAM	2	5	1	8	62.5
Argillic LO		1	4	3	8	62.5
	Unaltered SAM	1	1	8	10	70
Unaltered LO		0	0	10	10	100
	Total SAM	8	7	10	25	
Total LO		4	4	17		
	% ACC SAM (%)	62.5	71.4	77.7	Overall accuracy SAM= 72 %	Kappa coefficient= 0.627
Acc LO (%)		0.75	100	80	Overall accuracy LO= 68 %	Kappa coefficient= 0.60

جدول ۳- ماتریس برآورد صحت روش نقشه بردار زاویه طیفی

SAM	Ground truth						User Acc. (%)
	Phyllic	Argillic	Advance Argillic	Propylitic	Unaltered	Total	
Phyllic	5	1	0	0	1	7	71.4
Argillic	2	3	0	0	0	5	60
Advance Argillic	0	0	2	0	1	3	66
Propylitic	1	0	0	4	0	5	80
Unaltered	1	1	0	0	8	10	80
Total	9	5	2	4	10	30	
Prod. Acc (%)	55.5	60	100	100	80		
Overall accuracy= 73.3 %						Kappa coefficient= 0.685	

کتابنگاری

- آفانیاتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص. ۱۲۳-۱۴۷.
- برنا، ب. و عشق آبادی، م.، ۱۳۷۶- گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارها و اندیس های سرب و روی استان سمنان و تهران، وزارت معادن و فلزات، طرح اکتشاف سرب و روی سمنان، ۱۹۰ ص.
- تاج الدین، ح.، ۱۳۷۷- زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژئز اثر معدنی طلای دارستان (جنوب دامغان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۶ صفحه.
- خاکزاد، ا.، ۱۳۷۶- بررسی اجمالی زمین شناسی اقتصادی استان سمنان، ۲۱۲ ص.

- رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۷۱- بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلای باغو، تهران، دانشگاه تربیت معلم، رساله کارشناسی ارشد، ۲۵۶ ص.
- رنجبر، ح.، و شهریاری، ه.، ۱۳۸۵ - مقایسه داده‌های سنجنده ETM⁺ و سنجنده ASTER جهت نقشه‌برداری مناطق دگرسان شده در بخش مرکزی کمربند دهج - ساردوییه استان کرمان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، پاییز و زمستان ۸۵، صفحه ۳۶۷-۳۶۲.
- سهیلی، م.، کوثری، س.، و عابدیان، ن.، ۱۳۷۹- پروژه اکتشاف مقدماتی معادن شهرستان دامغان، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- شمعانیان اصفهانی، غ. ح.، ۱۳۸۲- مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمابی فلزات پایه و گرانها در منطقه معلم، پایان‌نامه دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- عابدیان، ن. و دری، م.، ۱۳۷۵- بررسی معادن مس استان سمنان، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- عباس زاده، م. و هزارخانی، ا.، ۱۳۸۹- نقشه‌برداری دگرسانی‌های گرمابی با استفاده از تصاویر Aster در منطقه راور، کرمان، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، شماره ۷۸، صفحه ۱۲۸-۱۲۳.
- لیاقت، س.، شیخی، وحیده، و نجاران، محسن، ۱۳۸۷- مطالعه سنگ‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیک باغو- دامغان، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۴ شماره ۲، ص ۱۳۳-۱۴۲.
- فرد، م.، ۱۳۸۰- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانسار طلا، سرب، روی گندی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- مهراپی، م. و قاسمی سیانی، م.، ۱۳۸۹- کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱، جلد ۲، صفحه ۲۰- ۱.
- ملک‌زاده. آ. و کریم پور. م.، ۱۳۸۹- بارزسازی زون‌های آلتراسیون در ارتفاعات شمال باختری نیشابور، با استفاده از روش نقشه‌برداری زاویه طیفی بر روی تصاویر سنجنده ASTER، نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

References

- Amer, R., Kusky, T., & Ghulam, A., 2010- Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data. *J. Afr. Earth Sci.*, 56: 75-82.
- Cohen, J., 1960- A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20, 37-46.
- Crosta, AP., Filho, SCR., Azevedo, F., & Brodie, C., 2003- Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, Using ASTER imagery and principal component analysis. *Int. J. Rem.Sens.*, 24: 4233-4240.
- Fard, M., Rastad, E., & Ghaderi, M., 2006- Epithermal Gold and Base Metal Mineralization at Gandy Deposit, North of Central Iran and the Role of Rhyolitic Intrusions. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 17(4): 327-335.
- Hewson, RD., Cudahy, TJ., Mizuhiko, S., Ueda, K., & Mauger, AJ., 2005- Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia. *Rem. Sens. Environ.*, 99: 159-172.
- Honarmand, M., Ranjbar, H., & shahabpour, J., 2011- Application of spectral analysis in mapping hydrothermal alteration of the northwestern part of the Kerman Cenozoic magmatic arc, Iran, *Journal of Sciences*, v. 22, p. 221-238.
- Hunt, G.R., & Ashley, R.P., 1979- Spectra of altered rocks in the visible and near infrared: *Econ. Geol.*, 74(7): 1613-1629.
- Hunt, G.R., 1977- Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42(3): 501-513.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. and Goetz, A. F. H., 1993- The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data: *Remote Sensing of Environment*, Special issue on AVIRIS, May-June 1993, v. 44, p. 145 - 163.
- Kruse, F. A., Raines, G. I., & Watson, K., 1985- Analytical techniques for extracting geologic information from multichannel airborne spectroradiometer and airborne imaging spectrometer data. In *Proceedings of the 4th Thematic Conference on Remote Sensing of the Environment, Remote Sensing for exploration geology*, Sanfransisco, California, 1-4 April, pp. 309-324.
- Mars, J.C., & Rowan, L.C., 2006- Regional mapping of phyllic and argillic altered rocks in the zagros magmatic, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. *Geosphere*, v.2, No.3, p. 161-186, doi:10.1130/GES00044.1.
- Rouskov, K., Popov, K., Stoykov, S., & Yamaguchi, Y., 2005- Some application of the remote sensing in geology by using of aster image. In *Scientific Conference .SPACE, ECOLOGY, SAFETY.* PP375-447.
- Rowan, L. C., Goetz, A.F.h., & Ashley, R. P., 1977- Discrimination of hydrothermally altered rocks and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images: *Geophysics*, v. 42, p. 522-535.
- 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 Sens. Environ.* 84, 350-366.
- Rowan, L.C., Schmidt, R.G., & Mars, J.C., 2006- Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data, *Journal of Remote Sensing of Environment*, volume 104, pp.74-87.
- Tangestani, MH., Mazhari, N., Ager, B., & Moore, F., 2008- Evaluating advance spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran. *Int. J. Rem. Sens.*, 29(10): 2833-2850.