

مقایسه ویژگی‌های آلتراسیونی کمربند آتشفشانی-نفوذی طرود-چاه شیرین در شمال و جنوب روستای طرود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و آنالیزهای شیمیایی

مسعود اخیانی^۱، مهدی خرقانی^۲، فرهنگ سرشکی^۳، مرتضی رحیمی^(*)

۱. استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

۲. دانشجوی دکتری، گروه معدن مکانیک سنگ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳. استادیار، گروه معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران

۴. کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، رئیس هیئت مدیره گروه معدنی شریف

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۸

چکیده

رخدادهای گسترده آتشفشانی نفوذی مربوط به ائوسن در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شاهرود و در شمال و جنوب روستای طرود مشاهده می‌شد. کمربند آتشفشانی طرود-چاه شیرین با مختصات "۵۴° ۲۰' ۰۰" تا "۵۵° ۲۰' ۰۰" طول شرقی و "۳۵° ۱۰' ۰۰" تا "۳۵° ۴۰' ۰۰" عرض شمالی که بخشی از کمربند فلز زایی چاه شیرین-سبزوار-تایباد می‌باشد، به دلیل وجود رخدادهای متعدد معدنی و به‌ویژه رگه‌های فلزات پایه با منشأ آبی ترمال و همچنین دگرسانی‌های گسترده ناشی از نفوذ توده‌های آذرین اسیدی تا حد واسط و محلول‌های هیدروترمال ناشی از عملکرد آن، در سنگ‌های آتشفشانی منطقه، دارای اهمیت بالای مطالعاتی می‌باشد. به‌کارگیری روش‌های ترکیب رنگی کاذب و الگوریتم‌های منطقی مختلف نسبت بانندی بر روی داده‌های سنجنده ASTER جهت شناسایی و بارزسازی آلتراسیون‌های آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک متوسط، فیلیک و پروپیلیتیک در سطح منطقه و تأیید داده‌های مطالعه شده توسط آنالیزهای XRD اساس این مطالعه می‌باشد. با توجه به بازدیدهای میدانی و نتایج آنالیز XRD نمونه‌های دگرسانی به‌دست‌آمده از زون‌های مختلف منطقه و تطبیق آن با نتایج اعمال این الگوریتم منطقی مشخص شد که ضمن ناچیز بودن زون‌های آلتراسیونی واحدهای آتشفشانی جنوب طرود نسبت به توده آتشفشانی شمال این روستا، تغییر مقادیر آستانه نسبت‌های بانندی در این الگوریتم می‌تواند نتایج مطلوب‌تری در این منطقه برای تفکیک دگرسانی آرژیلیک و فیلیک داشته باشد. سپس با توجه به حضور کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در منطقه شمال طرود مانند آلونیت و پیروفیلیت مقادیر آستانه بهینه برای تفکیک این زون از زون آرژیلیک با استفاده از الگوریتم منطقی نسبت بانندی آرژیلیک تعیین و نتایج الگوریتم با توجه به مشاهدات صحرایی مطلوب ارزیابی شد و همچنین مشخص گردید که با استفاده از خصوصیات طیفی کانی‌های شاخص زون پروپیلیک مانند کلریت و اپیدوت، از نسبت بانندی $(9+7)/8$ استر با مقدار آستانه $2/3$ برای نقشه‌برداری زون پروپیلیتیک که هم در واحدهای شمالی و هم جنوبی روستای طرود مشاهده می‌شود، مناسب می‌باشد.

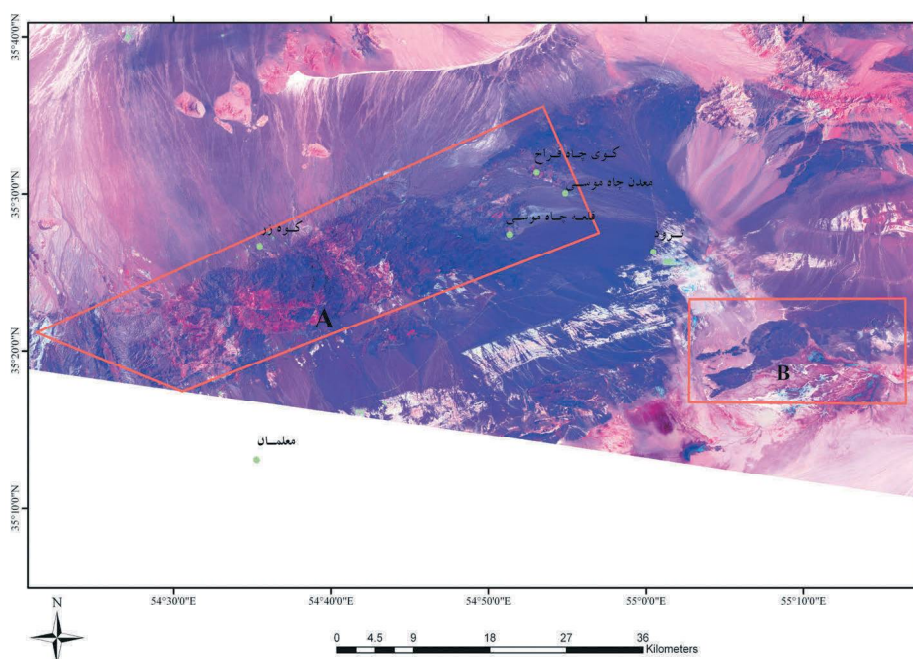
واژه‌های کلیدی: کمربند آتشفشانی-نفوذی طرود-چاه شیرین، ترکیب‌های رنگی، الگوریتم‌های منطقی نسبت‌های بانندی، دگرسانی.

مقدمه

آندزیتی به شکل دایک و سیل سبب دگرسانی گسترده و شدید گرمایی همراه با کانی‌زایی‌های نوع رگه‌ای در برخی از بخش‌های این کمربند شده است (مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹؛ لیاقت و همکاران ۱۳۸۷).

وجود رخدادهای معدنی و معادن فعال و متروک متعدد از جمله کانسارهای گندی (Au-Pb-Zn)، ابوالحسینی (Pb-Zn)، چشمه حافظ (Pb-Zn)، چاه موسی (Cu) و دارستان (Au-Cu) و موارد متعدد دیگر از جمله مناطقی هستند که از نظر زمین‌شناسی اقتصادی مورد توجه بوده 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). در این پژوهش عملکرد دو الگوریتم منطقی نسبت بانندی تصاویر ماهواره‌ای ASTER توسعه یافته توسط Mars and Rowan 2006 برای تفکیک مناطق دگرسانی آرژیلیکی و فیلیکی واحدهای آتشفشانی-نفوذی شمال و جنوب روستای طرود (شکل ۱) مورد بررسی قرار گرفته و صحت نتایج با استفاده از آنالیز XRD نمونه‌های میدانی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

امروزه استفاده از داده‌های سنجش از دور برای شناسایی مناطق دگرسانی و نقشه‌برداری از این مناطق با روش‌های مختلف پردازشی مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Tangestani, 2002؛ Rown et al., 2006؛ Tangestani et al., 2008، رنجبر و شهریاری، ۱۳۸۵). در آب‌وهوای خشک و بیابانی و پوشش گیاهی پراکنده و ضعیف، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی کانی‌های دگرسانی و تفکیک انواع زون‌های دگرسانی مرتبط با توده‌های نفوذی و محلول‌های هیدروترمال ناشی از آن، کانه‌زایی‌های احتمالی مرتبط با آن بسیار مناسب‌تر می‌باشد. مجموعه آتشفشانی-نفوذی طرود-چاه شیرین که بخشی از کمربند فلز زایی چاه شیرین-سبزوار-تایبادمی باشد (آقاناتی ۱۳۸۳)، دارای گستردگی بسیار زیاد است که بخش غربی آن در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. این منطقه با وسعت تقریباً حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع بین طول‌های شرقی ۳۵° ۲۰' ۰۰" و ۵۵° ۲۰' ۰۰" و عرض‌های شمالی ۳۵° ۱۰' ۰۰" و ۴۰° ۴۰' ۰۰" را در برمی‌گیرد و بخشی از کویر بزرگ ایران به شمار می‌آید. نفوذ توده‌های شبه آتشفشانی نیمه عمیق با ترکیب اسیدی تا حدواسط به داخل ردیف‌های آتشفشانی



شکل ۱. موقعیت مناطق مورد بررسی (بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست) در شمال و جنوب روستای طرود، جنوب شاهرود- استان سمنان

مواد و روش‌ها

جهت تعیین زون‌های آلتراسیونی، تعیین کانی‌ها و نقشه پراکنش دگرسانی‌ها از تصاویر ماهواره‌ای استرا همراه با مشاهدات صحرایی و آنالیزهای XRD استفاده شد.

روش‌های پردازش تصویری مانند ترکیبات رنگی کاذب، نسبت‌های بانندی (به‌ویژه استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک‌سنجنده‌استر برای شناسایی و بارزسازی کانی‌های شاخص دگرسانی و مناطق دگرسان در سطح منطقه) و نقشه‌برداری زاویه طیفی^۲ برای بارزسازی دگرسانی‌های منطقه به کار گرفته شد. علاوه بر روش پراش اشعه ایکس^۳ از مطالعه مقاطع نازک نیز به‌عنوان ابزارهای کنترلی استفاده شد. در نهایت جهت برآورد صحت و تحلیل خطای پردازش از ماتریس آشفتگی (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. مقدار ضرب کاپا به‌طور معمول کمتر یا مساوی ۱ است. عدد یک نشان دهنده بیشترین سازگاری و مقادیر کمتر، نشان دهنده سازگاری کمتر است.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

مجموعه آتشفشانی-نفوذی طرود-چاه شیرین بخشی از کمربند فلز زایی چاه شیرین-سبزوار-تایباد، و واقع در بخش شمالی زون ایران مرکزی می‌باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳).

مجموعه دگرگونی پالئوزوئیک-مزوزوئیک در مناطق رشم و شمال شرق طرود، قدیمی‌ترین واحد زمین‌ساختی می‌باشد که پایه و اساس ساختار منطقه را فراهم آورده است. پس از آن رخنمون‌های سنگی ائوسن ردیف نسبتاً ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری با ترکیب غالب آندزیتی و پیروکسن آندزیت تا ریوداسیت همراه با آذرآواری‌های مربوطه به سن ائوسن، این پهنه را می‌پوشاند. غالب محصولات آتشفشانی از آندزیت و بازالت تشکیل شده که در طول فعالیت‌های آتشفشانی فعال در منطقه به‌مرور زمان به ترکیب اسیدی و تراکیتی گرایش پیدا کرده است

و در نهایت فرآورده‌های آتشفشانی حالت بازیک‌تر به خود گرفته است و به‌گدازه‌ها، برش‌ها و توف‌های آندزیتی تبدیل شده است. فعالیت‌های ماگمایی در دوران اول و دوم در ضمن حوادث تکتونیکی به‌تدریج آغاز شده و اوج فعالیت آتشفشانی در زمان ائوسن میانی تا احتمالاً بالای روی داده است که اسکلت اصلی ارتفاعات حدفاصل طرود-چاه شیرین را تشکیل می‌دهد (آقانباتی، ۱۳۸۳). احتمالاً این فعالیت‌ها تا پایان ائوسن ادامه یافته است.

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن این ناحیه توسط توده‌های نفوذی متعددی قطع شده است که بر اساس شواهد چینه‌شناسی دارای سن ائوسن بالایی-الیگوسن می‌باشند که نشان از تاثیر فاز زمین‌ساختی پیرینه در این منطقه دارد (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱).

این توده‌های کوچک از سنگ‌های نفوذی با ویژگی‌های توده‌های کم‌عمق و ترکیبی گرانودیوریتی به‌سن اولیگومیوسن این مجموعه آتشفشانی را قطع و به‌عنوان یکی از عناصر مهم در فرآیند کانی‌سازی بشمار می‌آیند (سهیلی و همکاران، ۱۳۷۹؛ رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱).

الگوی ساختاری منطقه مورد مطالعه نیز توسط دو گسل امتدادلغز انجیلو در شمال و طرود در جنوب با روند کلی شمال شرقی-جنوب غربی کنترل می‌شود (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹)

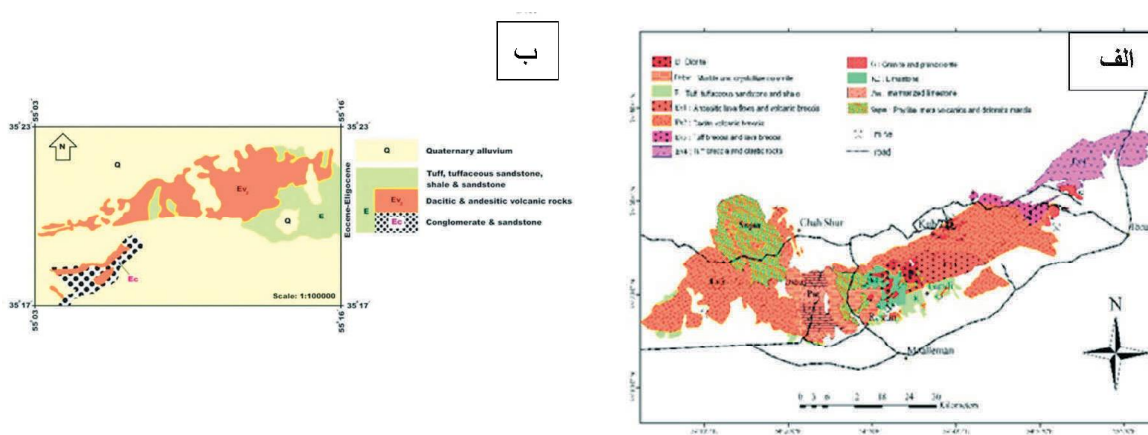
نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

تحلیل داده‌های سنجش از دور

سنجنده ASTER

سنجنده استر در سال ۱۹۹۹ با همکاری آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شده است و از ویژگی‌های بارز آن قدرت تفکیک طیفی بالای آن نسبت به سایر سنجنده‌هایی مانند ETM می‌باشد. این سنجنده دارای ۱۴ باند مختلف می‌باشد که با توجه به طول موج در سه دسته VNIR، SWIR و TIR با قدرت تفکیک مکانی به ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۹۰ متر تقسیم‌بندی می‌شوند (علوی پناه، ۱۳۸۵). در این مطالعه از یک تصویر ASTER به شماره

1. ASTER
2. SAM
3. XRD



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، (الف) زون شمال طرود، (ب) زون جنوب طرود

دگرسانی در مجموعه آتشفشانی نفوذی طرود-چاه شیرین در منطقه مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۳). در ترکیب باندی ۴۶۸، نواحی با دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی آرژیلیک و فیلیک به رنگ سفید تا صورتی دیده می‌شوند (شکل ۴-الف، ب). این مسئله به علت بازتابندگی بالای کانی‌های آلونیت، کائولینیت و مسکوویت در باند ۴ نسبت به باندهای ۶ و ۸ است (عباس‌زاد و هزارخانی، ۱۳۸۹). در این شکل در برخی از مناطق پیکسل‌هایی با رنگ صورتی پررنگ مشاهده می‌شوند که مربوط به مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (آلونیت) در زون شمالی (الف) و واحدهای رسی کویری بدون آلتراسیون در زون جنوبی (ب) می‌باشد. در ترکیب باندی ۴۶۱ نیز نواحی با دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی آرژیلیک و فیلیک به رنگ صورتی مایل به زرد دیده می‌شوند (شکل ۴-پ). در شکل ۴ رنگ صورتی کم‌رنگ به واسطه جذب بنیان Al-OH در باند ۶ و رنگ زرد ناشی از جذب اکسیدهای آهن است (Di Tommaso and Rubinstein, 2006).

روش نسبت باندی

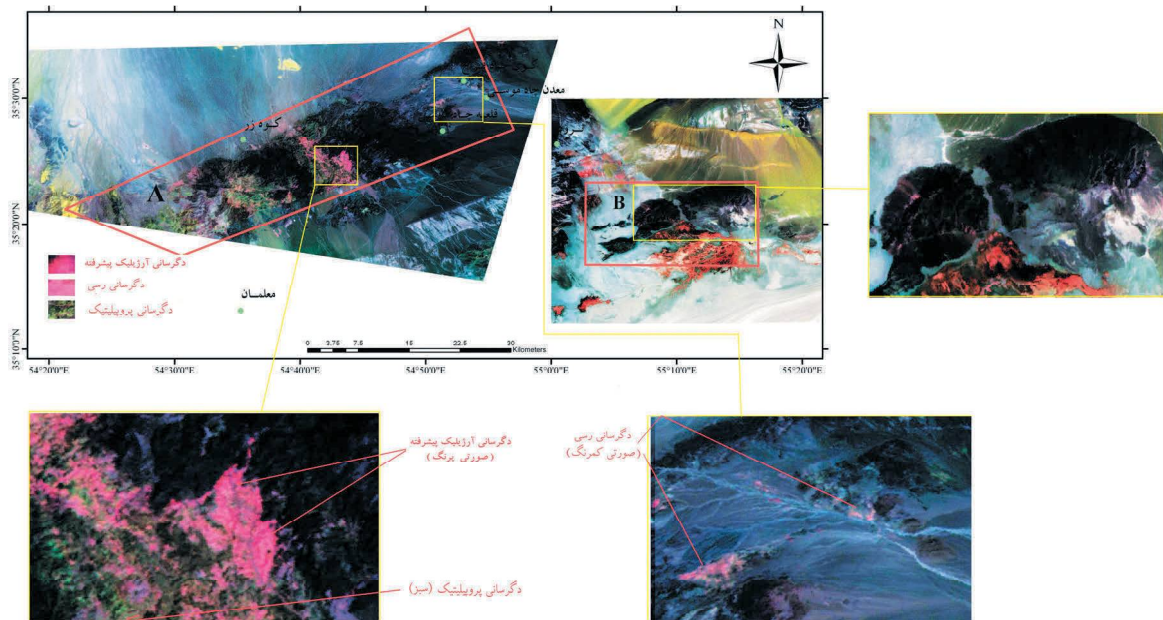
یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای که کاربرد وسیعی در زمین‌شناسی دارد، روش نسبت‌های باندی می‌باشد (Rowan et al., 1977). این روش شامل تقسیم کردن دو باند بر همدیگر است. باندی که میزان بازتابش از هدف مورد نظر در آن بیشتر باشد در صورت کسر و باندی که میزان جذب برای همان هدف در آن بالاتر باشد در

AST_L1B_003_05102002110146 که توسط ماهواره Terra در تاریخ ۲۰۰۲/۴/۲۸ برداشت شده، جهت شناسایی و تفکیک کانی‌های دگرسانی هیدروترمالی مورد استفاده قرار گرفته است. این تصاویر از نظر پردازش در تراز ۱B قرار دارند که معادل داده‌های رادیانس در سنجنده به‌شمار می‌آیند. به‌منظور تبدیل به داده‌های انعکاسی و از بین بردن تأثیرات توپوگرافی و جوی، از روش تصحیح اتمسفری IAR Reflectance استفاده شد. جهت پردازش و آنالیز داده‌های ماهواره‌ای از نرم‌افزار Envi ver. 4.7 استفاده شده است.

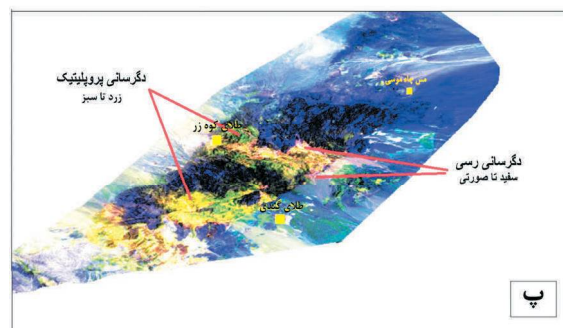
روش‌های پردازش تصویر

ترکیب رنگی کاذب (FCC)

سنجنده استر، ابزار مناسبی جهت تشخیص گروه‌های کانیاپی حاضر در دگرسانی می‌باشد (Rawan et al., 2003). در این میان باندهای ۱ و ۳ استر عمدتاً به پاسخ‌های طیفی کانی‌های حاوی اکسیدهای آهن، باند ۵ و ۶ به پاسخ‌های طیفی کانی‌های رسی که در این محدوده به‌واسطه حضور بنیان Al-OH دارای جذب می‌باشند، باند ۷ به ارتعاشات طیفی بنیان Fe-OH که عمدتاً در ژاروسیت و مسکوویت‌های آهن‌دار وجود دارد و باند ۸ نیز به جذب طیفی کانی‌های کلریت، اپیدوت و کربنات‌ها که در ساختار کانیاپی خود دارای بنیان Mg-OH و CO₃ هستند حساسیت دارند. بر این اساس چندین ترکیب رنگی مختلفی از باندهای استر برای تفکیک بصری دگرسانی در گزارش‌های محققان مختلف دیده می‌شود که در این مطالعه از دو ترکیب رنگی کاذب ۴۶۸ (عباس‌زاد و هزارخانی، ۱۳۸۹) و ۴۶۱ (Di

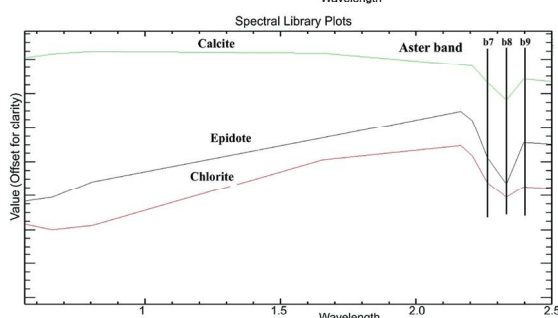
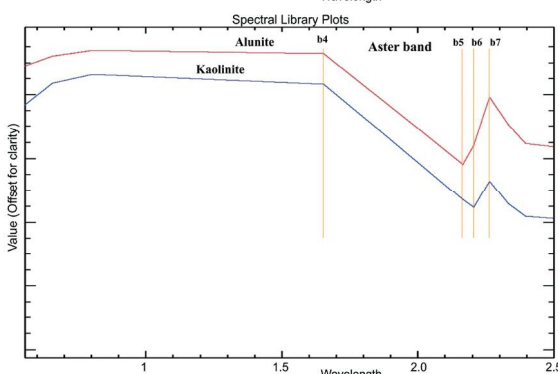
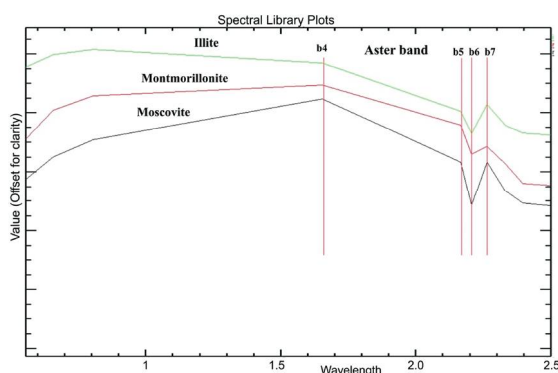


شکل ۳. ترکیب بانندی ۴۶۸ تصویر ماهواره‌های لندست برای تفکیک زون‌های آلتراسیونی مختلف (دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز، دگرسانی آرژیلیک و فیلیک به رنگ سفید تا صورتی و دگرسانی آرژیلیک پیشرفته به رنگ صورتی پررنگ). لازم به ذکر است که پس از مشاهدات صحرایی مشخص گردید رنگ صورتی مشاهده شده در تصویر ب مربوط به رس‌های کویری بوده و آلتراسیون نمی‌باشد (A معادل زون الف و B زون ب است)



شکل ۴. الف و ب) ترکیب رنگی ۴۶۸:RGB برای مشاهده مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک و فیلیک (سفید تا صورتی) و پروپیلیتیک (سبز) به ترتیب برای زون شمال و جنوب طرود پ) نمای سه‌بعدی منطقه با ترکیب رنگی ۴۶۱:RGB برای مشاهده مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک و فیلیک (زرد تا صورتی) و پروپیلیتیک (سبز) زون شمال طرود

به منظور بارزسازی مناطق دگرسانی پروپلیتیک، با توجه به شکل ۵ از نسبت باندی ۸ / (۹+۷) استفاده شد. در این نسبت پیکسل‌هایی از تصویر که دارای مقادیر انعکاسی بیش از ۲/۳ هستند به عنوان دگرسانی پروپلیتیک طبقه‌بندی شدند. این مقدار آستانه تفکیک از روی مطالعات منحنی طیفی ۳ کانی رایج این دگرسان یعنی کلریت، اپیدوت و کلیست به دست آمد. مقایسه نتایج این نسبت باندی با مشاهدات صحرایی انطباق خوبی با هم نشان می‌دهند. در شکل ۷ نقشه کلی آلتراسیون‌های کل محدوده مطالعاتی که با استفاده از تصاویر ASTER و الگوریتم‌های نسبت باندی در این مطالعه تهیه شده نشان داده شده است.



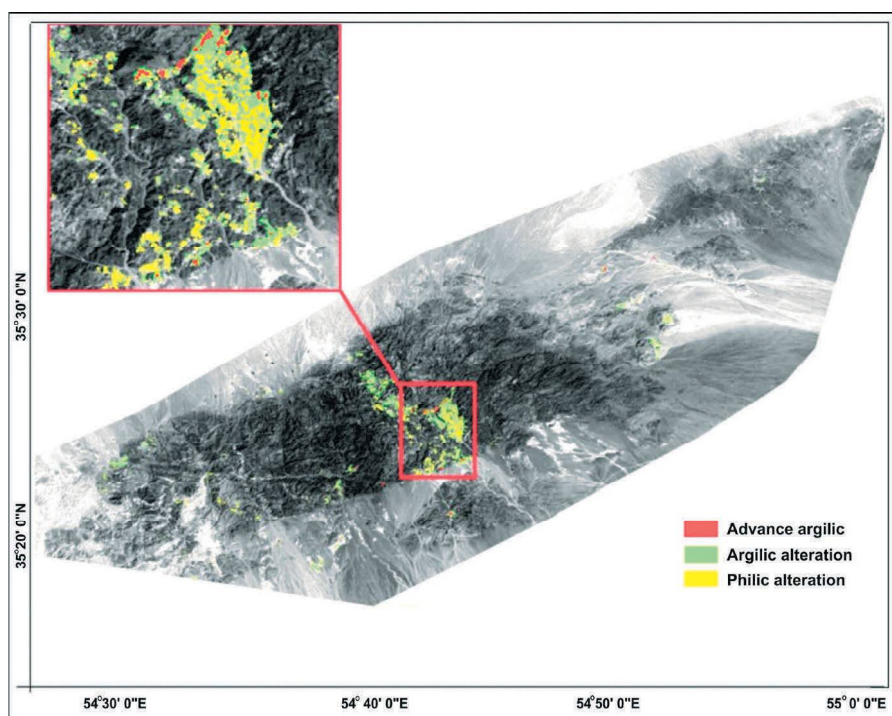
شکل ۵. طیف بازتاب کانی‌های آلونیت، کائولینیت، سرسیت، اپیدوت، مونت موریلونیت، کلریت، اپیدوت و کلیست که نسبت به سنجنده ASTER نمونه برداری شده‌اند

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 کرد (Rouskov et al., 2005). برای مشخص کردن مناطق دگرسانی با توجه به ویژگی‌های طیفی کانی‌های شاخص در هر نوع دگرسانی، می‌توان نسبت‌های باندی را تعریف کرد. براساس Mars and Rowan, 2006 برای تفکیک دگرسانی فیلیک و آرژیلیک با توجه به منحنی‌های طیفی مسکویت و کائولینیت (شکل ۵) به ترتیب باید از سه نسبت ۴/۶، ۵/۶ و ۷/۶ و ۴/۵، ۵/۶ و ۷/۶ برای پوشش محدوده جذب مسکویت در ۲/۲ میکرومتر و کائولینیت در ۲/۱۶۵ استفاده کرد. دو الگوریتم منطقی نسبت باندی زیر (معادلات ۱ و ۲) را به ترتیب برای تفکیک زون فیلیک و آرژیلیک توسعه دادند (Mars and Rowan, 2006) که در این مطالعه از آنها برای نقشه‌برداری این دو زون در منطقه استفاده شد.

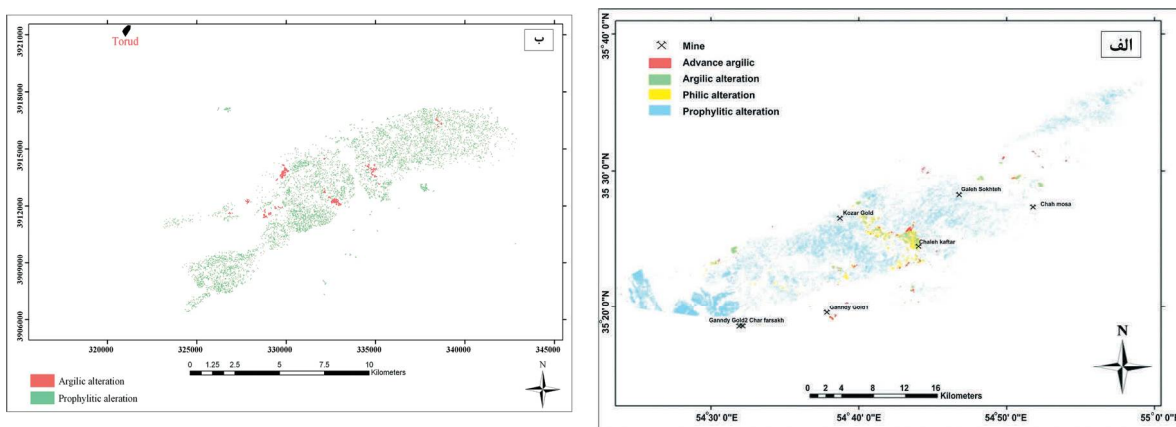
(۱) الگوریتم زون فیلیک $((float(b4)/b6) > 25/1)$ and $((float(b5)/b6) > 05/1)$ and $((float(b7)/b6) \geq 03/1)$
 (۲) الگوریتم زون آرژیلیک $((float(b4)/b5) > 1.25)$ and $((float(b5)/b6) < 1.05)$ and $((float(b7)/b6) \geq 1.03)$

از آنجایی که در منطقه مطالعاتی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (آلونیتی شدن) نیز در برخی از مناطق دگرسانی مشاهده می‌شود طیف ASTER کانی‌های آلونیت و پیروفیلیت (کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته) به همراه کانی کائولینیت مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵) و سعی شد الگوریتمی مشابه معادله ۲ برای تفکیک کانی آلونیت از کائولینیت برای منطقه توسعه یابد. با توجه به نقاط نمونه‌برداری و نتایج آنالیز XRD نمونه‌ها، دگرسانی در منطقه مقادیر انعکاسی پیکسل‌های مشخص آلونیت و کائولینیت در تصاویر ASTER منطقه با هم قیاس شد و بر این اساس الگوریتم نسبت باندی ۳ برای تفکیک این دو کانی در منطقه توسعه یافت که نتایج اعمال این الگوریتم جدید در شکل ۶ به همراه مناطق دارای دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته، آرژیلیکی و فیلیک نشان داده شده است.

(۳) الگوریتم زون آرژیلیک پیشرفته (آلونیتی شدن) $((float(b4)/b5) > 1.1)$ and $((float(b5)/b6) < 1.02)$ and $((float(b7)/b6) \geq 1.03)$



شکل ۶. تصویر زون‌های دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته، آرژیلیک و فیلیک که با استفاده از الگوریتم‌های منطقی نسبت بانندی به دست آمده است که برای درک بهتر بر روی زمینه‌ای از باند ۱ ASTER قرار داده شده است. توجه: به دلیل نبود آلتراسیون‌های آرژیلیکی پیشرفته و فیلیک در زون ب نقشه این زون ارائه نشده است



شکل ۷. نقشه کلی آلتراسیون‌های منطقه مورد مطالعه که با استفاده از تصاویر ASTER و الگوریتم‌های نسبت بانندی در این مطالعه تهیه شده است، (الف) زون شمال طرود، (ب) زون جنوب طرود

مشاهدات صحرایی و دگرسانی‌ها در منطقه

در این واحدها دگرسانی گرمابی در نزدیکی رگه‌ها شدید بوده و پهنای هاله‌های دگرسانی از چند سانتی‌متر تا چند متر در اطراف رگه‌ها متغیر است و شامل دگرسانی‌های پروپیلیتیکی، سرسیتی، آرژیلیتی و سیلیسی و آلونیتی شدن است. دگرسانی‌های موجود در منطقه عمدتاً دارای زون بندی مشخص هستند به طوری که در فاصله دورتر از رگه‌ها تا ۳۰ متر در اطراف گسل‌ها انواع دگرسانی قابل

برخلاف دگرسانی اندک و محدود واحدهای آذرین جنوب طرود که برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفته بود، دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری شمال طرود، یکی از بارزترین پدیده‌های زمین‌شناسی می‌باشد که در گستره تاثیر توده‌های نفوذی نیمه عمیق مشاهده می‌شود (لیاقت و همکاران ۱۳۸۷؛ مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹؛ خاکزاد، ۱۳۷۶؛

داشته و اغلب سنگ‌های رخنمون یافته حدواسط و مافیک متحمل دگرسانی پروپیلیتیک شده‌اند. این زون عمدتاً شامل مجموعه کانی‌های کلریت، اپیدوت، کلسیت و پلاژیوکلاز می‌باشد. دگرسانی پروپیلیتی در بخش بیرونی تری نسبت به رگه‌های معدنی تشکیل شده است با این وجود، مرز این زون دگرسانی در بعضی بخش‌ها تدریجی و نامشخص است و در مقایسه با دیگر دگرسانی‌ها در منطقه از گسترش بیشتری برخوردار است. این نوع دگرسانی به همراه سرسیتی شدن، تنها دگرسانی‌های مشاهده شده در واحدهای آذرین جنوب طرود (زون ب) محسوب می‌شوند.

در (شکل ۸) انواع دگرسانی کائولینیتی (آرژلیک متوسط) و آلونیتی (آرژلیکی پیشرفته) که با رنگ‌های سفید - قهوه‌ای آجری و پروپیلیتیک به رنگ سبز و سیلیسی نشان داده شده است.

(شکل ۹) نیز تصاویر میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از زون ب جهت تعیین آلتراسیون‌های مختلف را نشان می‌دهد.

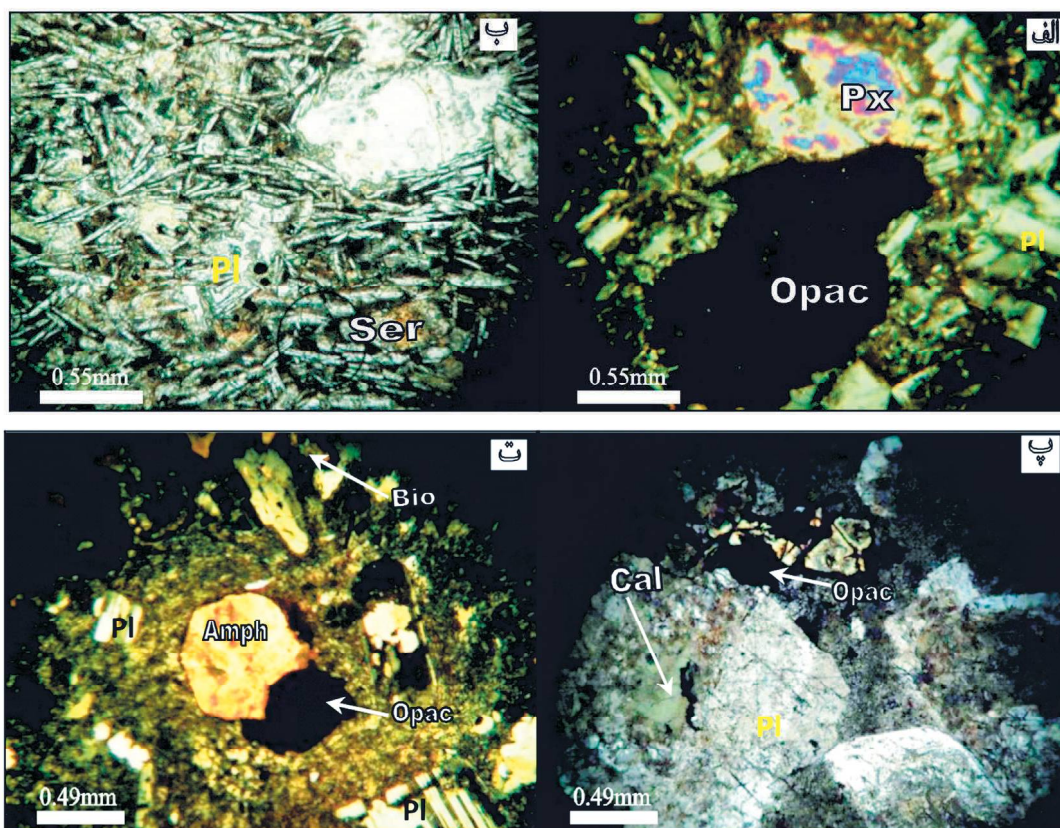
مشاهده است. براساس مشاهدات صحرایی و نتایج تجزیه نمونه‌های میدانی با روش پراش اشعه ایکس (XRD) (جدول ۱) دگرسانی آرژیلی متوسط (کانی‌های کائولینیت، ایلیت، مونتموریونیت و کوارتز) گستره محدودی را در بخش‌های مرکزی توده شمالی و در مجاورت طلای گندی را شامل می‌شود. دگرسانی آرژیلی پیشرفته (کانی‌های آلونیت، پیروفیلیت، کائولینیت و کوارتز) نیز در مرکز کمان با گسترش خیلی محدودتر در مجاورت دگرسانی آرژیلی متوسط مشاهده می‌شود (شکل ۷). دگرسانی فلیک (کانی سرسیت، کائولینیت، ایلیت و کوارتز)، در مقایسه با دگرسانی آرژیلی از گسترش بیشتری در سطح منطقه برخوردار می‌باشد. این دگرسانی در بخش‌های شرقی، مرکزی و غربی 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 (شکل ۶). دگرسانی پروپیلیتی در منطقه مطالعاتی گسترش ناحیه‌ای

جدول ۱. نتایج آنالیزهای XRD از مناطق مورد بررسی و زون آلتراسیونی مربوط به هر نمونه (نمونه‌های T1 تا T10 مربوط به زون مطالعاتی شمال طرود-زون الف- و نمونه‌های T30 تا T35 مربوط به زون مطالعاتی جنوب طرود-زون ب- می‌باشد).

نمونه	x	y	کانی‌شناسی	زون دگرسانی
T1	۳۰۷۲۴۰	۳۹۲۹۲۷۰	quartz + sericite+ hematite+ calcite + kaolinite	سرسیتی شدن (فلیک)
T2	۳۰۶۲۵۵	۳۹۲۹۲۳۰	quartz +chlorite + epidote + calcite	پروپیلیتیک
T3	۳۱۰۳۹۰	۳۹۳۳۸۸۰	quartz + calcite+ chlorite+ epidote+ sericite	پروپیلیتیک
T4	۳۰۵۷۶۳	۳۹۲۶۴۳۰	quartz + sericite + kaolinite+ chlorite	سرسیتی شدن (فلیک)
T5	۳۱۰۲۸۷	۳۹۳۲۱۳۰	quartz + sericite + illite + hematite + chlorite	سرسیتی شدن (فلیک)
T6	۲۹۵۰۵۵	۳۹۱۸۹۸۰	quartz + alunite + hematite + kaolinite + calcite	آرژلیک پیشرفته
T7	۲۹۱۴۹۱	۳۹۱۷۸۱۰	quartz + alunite +pyrophyllite + illite + goethite + rutile	آرژلیک پیشرفته
T8	۲۹۶۹۳۸	۳۹۱۹۲۸۰	quartz + chlorite + epidote + calcite + albite + orthoclase	پروپیلیتیک
T9	۲۹۴۱۱۳	۳۹۱۸۴۱۰	quartz +montmorillonite + illite + calcite	آرژلیک متوسط
T10	۲۹۴۰۷۹	۳۹۲۰۴۶۰	quartz + goethite	سیلیسی شدن
T30	۳۲۹۶۱۳	۳۹۱۲۹۷۴	quartz + sericite + illite + calcite	سرسیتی شدن
T31	۳۳۲۶۴۰	۳۹۱۲۲۶۷	quartz + sericite + calcite	سرسیتی شدن
T32	۳۴۰۲۱۷	۳۹۱۴۳۲۱	quartz +montmorillonite + illite + calcite	آرژلیک متوسط
T33	۳۴۰۱۴۱	۳۹۱۵۳۹۲	quartz +chlorite + epidote + calcite + albite	پروپیلیتیک
T34	۳۳۲۵۹۸	۳۹۱۴۰۲۸	quartz +Chlorite + Epidote + Calcite + Albite	پروپیلیتیک



شکل ۸. الف، ب) رخنمونی از زون آلونیت-کانولینیت (آرژلیک پیشرفته) و بخش‌های کانولینیتی شده به رنگ سفید، پ و ت) به ترتیب رخنمونی‌هایی از بخش‌های کلریتی-اپیدوتی (آلتراسیون پروپیلیتیک) و رگه‌های سیلیسی به همراه مناطق کانولینیتی شده در منطقه



شکل ۹. الف) دگرسانی بلورهای ریز پلاژیوکلاز (Pl) به سرپسیت (Ser) به همراه مقداری شیشه در زمینه (PPL)، ب) بلور پیروکسن (Px) در حال دگرسانی به اکسیدهای آهن (XPL)، پ) بیوتیت (Bio) به همراه هورنبلند در حال دگرسانی به کانی اوپک (Opq) در یک زمینه رسی-شیشه‌ای (XPL)، ت) دگرسانی پلاژیوکلازها به کلسیت و کانی فرومنیزین به کانی اوپک (XPL)

نتیجه‌گیری

ارزیابی و پردازش داده‌های ASTER، انطباق خوبی را با داده‌های زمینی در ناحیه طرود-چاه شیرین نشان می‌دهد. از سه الگوریتم منطقی نسبت باندی، برای شناسایی کانی‌های دگرسان منطقه استفاده شده است. در زون آرزلیک این ناحیه کانی‌های ایلیت و مقداری کائولینیت، در زون فیلیک کانی سرسیت و در زون پروپلیتیک کانی‌های اپیدوت و مقداری کلریت و کلسیت تشخیص داده شده است. مقایسه نتایج حاصل از پردازش تصاویر ASTER با مشاهدات صحرایی و نتایج حاصل از آنالیز پراش پرتو اشعه ایکس (XRD) روی نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های دگرسان، انطباق خوبی را با یکدیگر نشان می‌دهند.

سپاسگزاری

مقاله حاضر برگرفته از نتایج طرح‌های پژوهشی "بررسی آنومالی‌ها، کانه زایی و تعیین عیار (پتانسیل‌های معدنی و اقتصادی) آتشفشانی‌های ائوسن در نقشه ۱:۵۰۰۰۰ طرود" و "بررسی و شناسایی زون‌های آلتراسیون با استفاده از تلفیق روش‌های سنجش از دور و GIS جهت تعیین آنومالی‌ها و مناطق بااهمیت اقتصادی استان سمنان" است که به دلیل تامین مالی این طرح‌ها، از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود تقدیر و تشکر ابراز می‌شود.

منابع

- آقانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶.
- برنا، ب.، عشق‌آبادی، م.، ۱۳۷۶. گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارها و اندیس‌های سرب و روی استان سمنان و تهران، وزارت معادن و فلزات، طرح اکتشاف سرب و روی سمنان، ۱۹۰.
- تاج‌الدین، ح.، ۱۳۷۷. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز اثر معدنی طلای دارستان (جنوب دامغان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۶.
- خاکزاد، ا.، ۱۳۷۶. بررسی اجمالی زمین‌شناسی اقتصادی استان سمنان، ۲۱۲.
- رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۷۱. بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلای
- باغ، تهران، دانشگاه تربیت‌معلم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۲۵۶.
- 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 (۲)، ۳۶۷-۳۶۲.
- سهیلی، م.، کوثری، س. و عابدیان، ن.، ۱۳۷۹. پروژه اکتشاف مقدماتی معادن شهرستان دامغان، سازمان صنایع و معادن استان سمنان، ۲۲۰.
- شمعانیان اصفهانی، غ. ح.، ۱۳۸۲. مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمایی فلزات پایه و گرانبها در منطقه معلمان، پایان‌نامه دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۳۵۶.
- عابدیان، ن. و دری، م.، ۱۳۷۵. بررسی معادن مس استان سمنان، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- عباس‌زاده، م.، هزارخانی، ا.، ۱۳۸۹. نقشه‌برداری دگرسانی‌های گرمایی با استفاده از تصاویر Aster در منطقه رابر، کرمان، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- علوی پناه، ک.، ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۰۰.
- لیاقت، س.، شیخی، و.، نجاران، م.، ۱۳۸۷. مطالعه پترولوژی، ژئوشیمیایی و ژنز فیروزه باغ-دامغان، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۴، ۲، ۱۳۳-۱۴۲.
- فرد، م.، ۱۳۸۰. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار طلا، سرب، روی گندی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- مهربانی، م. و قاسمی سیانی، م.، ۱۳۸۹. کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ۱، ۲، ۱-۲۰.
- Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- Di Tommaso, I. M. and Rubinstein, N., 2006. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiermillo porphyry deposit, Argentina, *Journal of Ore Geology Reviews*, 29,

1-16.

- Fard, M., Rastad, E. and 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* v. 17(4): 327-335.

- Mars, J.C., and 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*, 2, 3, 161-186, doi:10.1130/GES00044.1.

- Rowan, L. C., Goetz, A. F.h. and Ashley, R. P., 1977. Discrimination of hydrothermally altered rocks and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images: *Geophysics*, 42, 522-535.

- Rowan, L.C. and Mars, J.C., 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing Environment* 84, 350-366.

- Rowan, L.C., Schmidt, R.G. and 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*, 104, 74-87.

- Rouskov, K. Popov, K. Stoykov, S. and Yamaguchi, Y. 2005. Some application of the remote sensing in geology by using of ASTER image. In *Scientific Conference .Space, Ecology, Sarefy*. 375-447.

- Tangestani, MH. and F. Moore 2002: Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran, *International Journal of Remote Sensing*, 23:22, 4815-4825. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160110115564>.

- Tangestani, MH, Mazhari N, Ager B. and 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. *International Journal of Remote Sensing* 29, 10, 2833-2850.