

نقشه برداری پیشرفته انواع مختلف کانی سازی های آهن، اندواسکارن و اگزواسکارندر کانسار آهن سنگانخواف، استان خراسان رضوی با استفاده از داده های سنجنده استر

نازی مظهري

دانشجوی دکتری زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

آزاده ملکزاده شفارودی

استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

مجید قادری

دانشیار گروه زمین شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۱

nazimzi@yahoo.com

چکیده

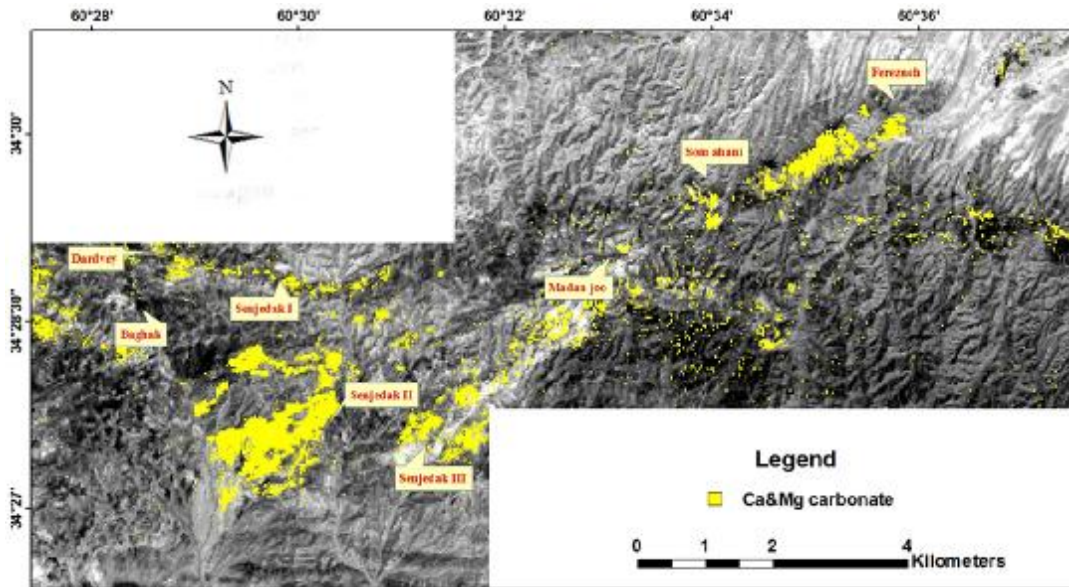
معدن سنگان یک ذخیره با ارزش و بزرگ اسکارن آهن است که در شرق کمر بند ولکانیکی-پلوتونیک خواف-کاشمر-بردسکن قرار دارد. این کمر بند با گسترش شرقی-غربی در شمال گسل درونه (گسل بزرگ کویر) واقع و به عنوان یک خاستگاه کانی سازی تیپ اکسید آهن در ایران معرفی شده است. در این تحقیق، از توانایی داده های سنجنده استر و رفتار طیفی آهن فریک، آهن فرو و کربنات ها در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک (VNIR) و فروسرخ میانی (SWIR) و فروسرخ گرمایی (TIR) طیف الکترومغناطیس، برای نقشه برداری و بارزسازی کانی سازی های آهن و همچنین رخنمون های کربناته در آنومالی های مرکزی و شرقی معدن سنگان بهره گرفته شد. نسبت گیری از باندهای فروسرخ گرمایی و ایجاد تصاویر ترکیب رنگی، با توجه به ویژگی های طیفی کانی های موجود در زون های اسکارنی، جداسازی و تفکیک واحدهای کربناته، اندواسکارن و اگزواسکارن را از دیگر رخنمون های سنگی و نقشه برداری آنها را میسر ساخت. همچنین اجرای فن نقشه برداری زوایای طیفی (SAM) و ناآمیختگی طیفی خطی (LSU) نقشه برداری انواع مختلف کانی سازی های آهن (مگنتیتی، هماتیتی، گوتیتی و لیمونیتی) و بارزسازی واحدهای کربناته مرتبط با کانی سازی ها را در آنومالی های مرکزی و شرقی منطقه سنگان به دنبال داشت.

کلمات کلیدی: سنگان، اسکارن آهن، اندواسکارن، اگزواسکارن، آنومالی های شرقی و مرکزی، کمر بند خواف-کاشمر-بردسکن، نقشه برداری.

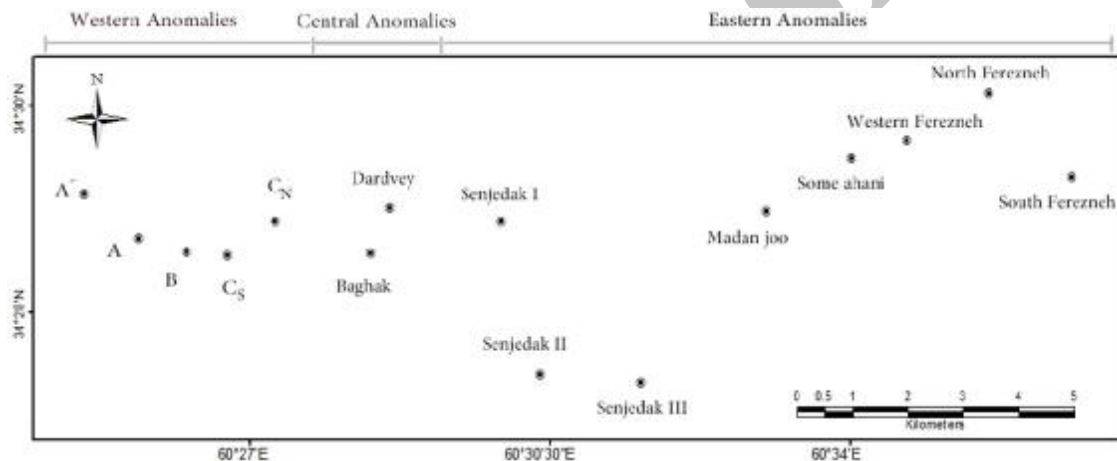
مقدمه

محدوده همودر مطالعه، آنومالی های مرکزی و شرقی کانسار سنگان سنگان است که در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد و ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی خواف در استان خراسان رضوی بین طول های جغرافیایی ۲۴' ۲۴" - ۶۰' ۴۵" و عرض های جغرافیایی ۲۶' ۳۴" - ۳۳' ۳۴" قرار دارد. معدن سنگان، یک ذخیره بزرگ و با ارزش اسکارن آهن است و پلوتونیک خواف-کاشمر-بردسکن به شمار می رود (کریم پور، ۱۳۸۱؛ کریم پور و همکاران، ۱۳۸۲). چنانچه اهداف مهم کمر بند ماگما خواف-سوویار جمندان سویدگراد را در نظر بگیریم، طولی بیش از ۳۵۰ کیلومتر و پهنا بین ۱۵ تا ۸۰ کیلومتر دارد. این کمر بند با گسترش شرقی-غربی و خمیدگی به سوی شمال، در شمال گسل درونه (گسل بزرگ کویر) واقع شده و عمدتاً از سنگ های آتشفشانی سیاتیچ و واسطو بعضاً مافیک باسن تشکیل شده است. این سنگ ها شامل داسیت، ریوداسیت، آندزیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت-بازالت، لایتیت، تراکی آندزیت، توف، لاپیلیت و فوآگلو مر است (شکل ۱). توده های گرانیتوئید با ترکیب بزرگ گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت و آلکالی فلدسپار گرانیت در سنگ های آتشفشانی نفوذ نموده اند (کریم پور، ۱۳۸۱؛ کریم پور و همکاران، ۱۳۸۲). کریم پور (۱۳۸۱) و کریم پور و همکاران (۱۳۸۲)، کمر بند خواف-کاشمر-بردسکن را به عنوان کمر بند کانی سازی تیپ اکسید آهن در ایران معرفی کردند. از جمله کانسار های اکسید آهن موجود در این ناحیه می توان به طلا-اسپیکولاریت کوهرز، شهرک، تنور جهو معدن سنگان خواف اشاره کرد. مجموعه کانسار های سنگ آهن سنگان در

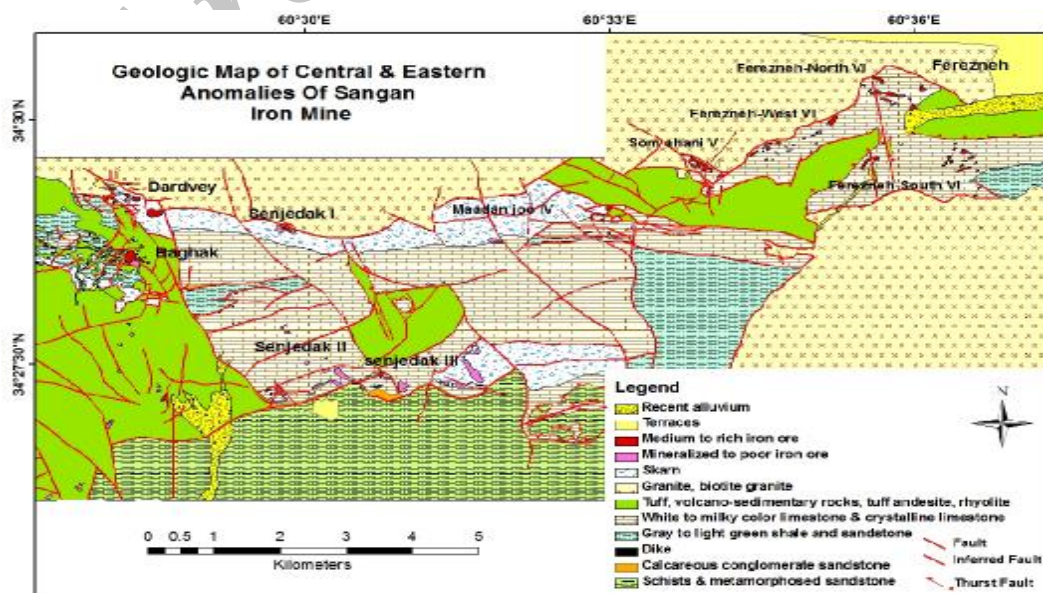
محدوده ای به شکل مستطیل (شرقی-غربی) به طول ۲۶ کیلومتر و عرض ۸ کیلومتر قرار دارد. همان گونه که در (شکل ۲) مشاهده می شود این منطقه به سه ناحیه شرقی، مرکزی و غربی تقسیم شده است و هر ناحیه خود شامل چند کانسار می شود. کانسار های شناسایی شده در ناحیه غربی شامل ۵ کانسار A, A', B, C شمالی و C جنوبی می باشند. در ناحیه مرکزی، دو کانسار مهم به نام های درودی و باغک قرار گرفته است. کانسار های ناحیه شرقی نیز شامل ۶ آنومالی رخنمون دار سنجک ۱، سنجک ۲، سنجک ۳، معدن جو، سم آهنی و فرزنه است که مراحل اکتشاف مقدماتی را می گذراند (شکل ۳). نقشه برداری پیشرفته انواع مختلف سنگ ها با استفاده از داده های دور سنجی، یکی از مهمترین اهداف پژوهش در زمین شناسی است. زمین شناسان اکتشافی از اوایل دهه ۱۹۸۰ به طور گسترده از این داده ها برای شناسایی منابع معدنی استفاده کرده اند (بمانی و انصاری، ۱۳۸۹؛ تنگستانی و مظهري، ۱۳۸۴؛ رنجبر، ۱۳۷۷؛ معصومی و رنجبر، ۱۳۸۹؛ ملک زاده و کریم پور، ۱۳۹۰؛ هنرمند رنجبر، ۱۳۸۴؛ Crosta and Moore 1989; Loughlin 1991; Mars and Rowan, 2006; Moore et al., 2008; Ranjbar et al., 2004; Rowan et al., 2006; Tangestani and Moore 2000; Tangestani and Moore, 2001; Tangestani and Moore, 2002; Tangestani et al., 2008). سنجش از دور در اکتشاف ذخایر معدنی از یک طرف کاهش هزینه های اکتشاف و ریسک اقتصادی جویی ذخایر ناشناخته و از طرف دیگر تعمیم نتایج حاصل از دور سنجی به منطقه ای بزرگ است که به زمین شناس اجازه می دهد جزئیات منطقه



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی در کمربندولکانیکی-پلوتونیکخیواف-کاشمر- بردسکن (MalekzadehShafaroudi et al., 2013).



شکل ۲. نواحی سه گانه اکتشافی سنگان، ناحیه غربی (۵ آنومالی)، مرکزی (۲ آنومالی) و شرقی (۶ آنومالی).



شکل ۳. نقشه زمین شناسی آنومالی های مرکزی و شرقی معدن سنگان (معدنکاو، ۱۳۸۶، با تغییرات توسط نویسندگان).

زمین شناسی - کانی سازی

قدیمی ترین واحدهای موجود در منطقه سنگان، کنگلومراهای برشی هستند که سن آنها به پیش از پرکامبرین نسبت داده شده است که به وسیله شیبست ها و ماسه سنگ های دگرگون شده پرکامبرین پوشیده می شوند. سنگ های متعلق به پرکامبرین عمدتاً در نزدیکی و مجاورت جاده خواف- تایباد به صورت تپه های تیره رنگ با روند شمال غربی- جنوب شرقی غربی- شرقی به طول ۵ کیلومتر و عرض حداکثر یک کیلومتر برونزد دارند. به سمت شرق جنوب شرق، گرانیتهای سرنوسر در این واحدها نفوذ و آنها را قطع کرده است. مرز بخش های شمالی این واحد با رسوبات نئوژن گسل خورده و در سمت غرب به طور دگرشیب رسوبات پروتروزوئیک پسین پوشیده شده اند (شکل ۳). کنگلومرای آهکی کرتاسه پایینی به صورت نازک لایه در بین توالی شیل و آهک و نیز بین سنگ های ولکانیکی قرار دارد که از ضخامت چندانی برخوردار نیست. در زیر آن شیل ماسه سنگی به صورت گسله قرار گرفته است. رخنمون سنگ های ولکانیکی و پیروکلاستیک بر روی سنگ های آهکی قرار گرفته و به جز آبرفت های کنار رودخانه، تقیای هیچ پوشش سنگی دیگری بر روی آنها وجود ندارد. از نظر ظاهری، این سنگ ها دارای رنگ سبز روشن تا تیره می باشند و لایه ریزولیتهای به رنگ سفید در میان آنها یافت می شود. سنگ های آهکی اصلی و لنزهای آهن دار دارای پراکنندگی زیاد در منطقه می باشد. آهک ها در مجاورت گرانیتهای به شدت بلورین و مرمری گردیده است. در مکان هایی که لایه بندی و تکتونیک شرایط را مهیا ساخته اند، کانی سازی آهن نیز مشاهده می شود که بیشتر از سطوح لایه بندی پیروی می کند. دامنه ها و آبراهه های منطقه دارای شیب ملایمی هستند و لکه از نهشته های دوران چهارم پوشیده شده اند. در منطقه، تحولات ساختاری بسیاری به چشم می خورد که اساسی ترین عامل این تحولات، نفوذ توده های بزرگ گرانیتهای سرنوسر و برمانی به ترتیب در شمال و جنوب منطقه می باشد که با فشارهای حاصل از نفوذ، باعث ساخت های مهم تکتونیک در منطقه گشته اند. اکثر گسل های مهم منطقه در قسمت شرقی، روند شمالی- جنوبی به خود گرفته اند و دلیل آن فشارهای ناشی از تزریق توده های نفوذی بوده که باعث جابجایی شده است (شکل ۳) (معدنکاو، ۱۳۸۵).

کانی سازی معدن سنگان از نوع اسکارن است. در منطقه مرکزی، زون بندی اسکارن به خوبی دیده می شود. اسکارن های سنگان، طی دو مرحله اولیهدما بالا یا پیشرونده (I و II) و دو مرحله دما پایین تر یا پسرونده (III و IV) به وجود آمده است. در مرحله I سنگ آهک کلسیتیتوساسکارن مجاورت جابجایی شده که این مرحله با گرانیت آندرایتی قران واقع در منطقه مشخص می شود. مرحله II با مجموعه آندرایتی- هدنبرگیتی، مرحله III به طور عمدتاً آمفیبولیناز آلومینیم (هاستینگزیت) و مرحله IV با آمفیبولکم آلومینیم (فرواکتینولیت، کلریتومگنتیت) از یکدیگر متمایز میشوند (مظاهری، ۱۳۷۷).

در منطقه دردوی، پارائزکانی سازی مگنتیت عبارت است از: فلوگوپیت، آندرایت و کربنات. این توده به دلیل بالابودن عبار آنهوذخیر هوناچیز بودن میزان S و P، به عنوان بارزش ترین توده در این منطقه شناخته شده است (Mazaheri, 1995). در منطقه باغک، مگنتیت به صورت لایه ای همراه با دولومیت یافت می شود. پارائزکانی سازی مگنتیت شامل دولومیت، کلینوکلر، فورستریت، آمفیبول و فلوگوپیت است (کریم پور و ملک زاده، ۱۳۸۶).

کانسارهای ناحیه شرقی، شامل ۶ آنومالی رخنمون دار است که مراحل اکتشاف مقدماتی را می گذرانند. این آنومالی ها در حال اکتشاف سطحی است و براساس کارهای نقشه برداری سطحی و ژئوفیزیک اولیه، منابع قابل توجهی از سنگ آهن را نشان می دهد. در سنجدک ۱، کانی زایی بیشتر به شکل مگنتیت است که به صورت توده ایوچینه کراندر دوطرفیکز بانگرنایتی وجود دارد. کلریت، سرپانتین، فلوگوپیت و

در مقایسه با سنجنده های ماهواره های لندست، نسل جدیدی از سنجنده ها با پوشش وسیع و توان تفکیک مکانی وظیفی بالا برای مشاهده جزئیات بیشتر زمین شناسی و شناخت حوادثی از قبیل فعالیت های آتشفشانی طراحی شده است. طیف سنج بازتابی و گرمایی فضا برد پیشرفته، استر، (Advanced Space-born Thermal Emission and Reflection Radiometer)، اولین سنجنده از پروژه EOS بوده که بر ماهواره TERRA تعبیه شده است و در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده، اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند مجزا، سه باند در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک (۰/۵۲-۰/۸۶ میکرومتر) با تفکیک مکانی ۱۵ متر و با قابلیت فراهم ساختن دید سه بعدی با استفاده از دو مؤلفه nadir و backward در باند سوم، شش باند در محدوده فرورسرخ موج کوتاه (۱/۶-۲/۴۳) با تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند در محدوده فرورسرخ گرمایی (۵/۱۲۵-۱۱/۶۵۰) با تفکیک مکانی ۹۰ متر، در اختیار کاربران قرار می دهد. داده های فرورسرخ موج کوتاه سنجنده استر در محدوده باند ۷ سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست قرار می گیرد، با این تفاوت که در طیف سنج استر، ۶ باند پیوسته، توان تفکیک طیفی بزرگتری را نسبت به لندست ETM⁺ در این محدوده طیفی به نمایش می گذارد. محدوده فرورسرخ موج کوتاه دارای بیشترین پتانسیل برای بررسی ترکیب شیمیایی مواد زمینی است (ASTER User Guide, 2001).

انجام هر یک از تکنیک های پیشرفته پردازش داده های ابرطیفی، مستلزم شناخت رفتار طیفی کانی های موجود در منطقه مورد مطالعه می باشد. مواد زمینی دارای سیماهای طیفی خاصی در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک، فرورسرخ میانی و فرورسرخ گرمایی طیف الکترومغناطیس هستند (شکل ۴). آهن های فریک و فرو کانی های حاوی اکسید آهن دارای سیماهای طیفی منحصر به فردی در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک و در نزدیکی طول موج ۱ میکرومتر هستند. یون آهن فریک، اشکال جذبی در ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۸ میکرومتر نشان می دهد و یون آهن فرو در ۰/۴۳، ۰/۵۵/۵۷، ۰/۷، ۱ و ۱/۸ میکرومتر سیماهای طیفی ایجاد می کند. کربنات ها، سولفات ها، رس ها و دیگر کانی های حاوی یون OH از قبیل کلسیت، ژاروسیت، کائولینیت، مونتموریلونیت، کلریت و اپیدوت دارای سیماهای ترکیبی و هارمونیک در بخش فرورسرخ میانی طیف الکترومغناطیس در محدوده ۲/۴-۲/۱ به علت وجود بنیان های Al-OH, Mg-OH, Si-OH, CO₃ و SO₄ هستند (Gupta, 1991). سیماهای جذبی در گرانیتهای گنیس ها و آمفیبولیت مربوط به Fe و Mg-OH در بیوتیت، هورنبلند، کلریت و اپیدوت است (Rowan et al., 2005). سیماهای جذب بسیاری از اجزای تشکیل دهنده سنگ مانند سیلیکات ها، کربنات ها، اکسیدها، فسفات ها، سولفیدها، نیترات ها و هیدروکسید در ناحیه فرورسرخ گرمایی وجود دارد (شکل ۴). سیماهای ارتعاشی اساسی که ناشی از شبکه بلوری و ترکیب آنیونی است در این ناحیه یافت می شود.

کربنات ها به دلیل ارتعاش یون کربنات در نزدیکی ۷ میکرومتر، جذب نشان می دهند که خارج از روزه جوی است و در سنجش از دور قابل استفاده نیست، اما سیمای ضعیفی در نزدیکی ۱۱/۳ میکرومتر به سختی قابل تشخیص است. سولفات ها در ۹ و ۱۶ میکرومتر، فسفات ها در ۱۰/۳ و ۹/۲۵ میکرومتر، هیدروکسید در ۱۱ میکرومتر و اکسیدهای سیلیس در ۱۲-۸ میکرومتر دارای سیماهای طیفی هستند (Gupta, 1991). در این تحقیق نقشه برداری کانی سازی های آهن و بارزسازی رخنمون های کربناته، اندواسکارن و آگرواسکارن در آنومالی های مرکزی و شرقی معدن سنگان، با استفاده از قابلیت های داده های سنجنده استر و رفتار طیفی آهن فریک، آهن فرو و کربنات ها در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک (VNIR) و فرورسرخ میانی (SWIR) و فرورسرخ گرمایی (TIR) طیف الکترومغناطیس مورد بررسی قرار گرفت.

نوفه سیستم به طراحی گیرنده و فاکتورهای دیگر از قبیل عملکرد/ حساسیت آشکارگر، توان تفکیک مکانی/ طیفیو نوفه سیستم الکترونیکی مربوط می شود. به هر حال، میزان نوفه برای سنجند معمولاً ثابت است. برای دریافت داده های دورسنجی، سیگنال، به وسیله دیگر فاکتورهای خارجی از قبیل زاویه سمت الرأس خورشیدی (فصل تابستان یا زمستان)، پخش و تضعیف جوی و بازتابش سطحی که سیگنال قابل دسترس سنجنده را تشکیل می دهد، تحت تأثیر قرار می گیرد (Collwell, 1983). یک راه معمول برای برآورد نسبت سیگنال به نوفه داده های دورسنجی، استفاده از روش میانگین/ انحراف معیار است (Green et al., 2003; Green et al., 1999). این روش نیازمند تعیین یک ناحیه طیفی همگن، محاسبه میانگین طیفی منطقه و تعیین انحراف معیار طیفی برای طیف میانگین است. برای مثال، محاسبه نسبت سیگنال به نوفه داده های فرورسرخ میانی سنجنده Hyperion که در تابستان بیشترین مقدار و در زمستان کمترین مقدار است، اثر مستقیم روی نقشه برداری طیفی کانی ها خواهد داشت و SNR کمتر موجب استخراج جزئیات کمتر در نتایج خواهد شد (Kruse et al., 2001; Kruse et al., 2002; Kruse et al., 2003). البته توجه به این نکته برای نقشه برداری های زمین شناسی و کانی ها مهم است، چون مقدار زیادتر نسبت سیگنال به نوفه، جدایش کانی هایی چون کلسیت و دولومیت و یا کائولینیت و دیکیت را راحت تر می کند (Kruse et al., 1999). همان طور که قبلاً توضیح داده شد، در این تحقیق، داده های سطح LIB استر به داده های بازتابش سطح تبدیل شده است و این امر بدون داشتن نقاط کنترل زمینی برای برطرف کردن خطاهای ثبت زمینی و بازتابش های حاصل از طیف سنجی های صحرایی برای تعیین ترکیب شیمیایی و کانی شناسی سنگ ها، مواد سنگی غیرمترکم، خاک، گیاه، مصنوعات ساخت بشر و همچنین عدم امکان کالیبراسیون به وسیله بازتابش های سنجنده های ابرطیفی برای افزایش توان تفکیک مکانی و نسبت سیگنال به نوفه (برای مثال سنجنده Hymap با پیکسل های ۴/۵ متری و نسبت سیگنال به نوفه ۲۱۰۰-۴۵۰ نانومتر در مقایسه با داده های استر ۲۰۰ نانومتری) صورت گرفته است (Kruse et al., 1999). با توجه به این شرایط و خطای جوی و کالیبراسیونی دستگاهی، دقت و اعتبار استفاده از طیف تصویر استر مورد تردید بوده و بنابراین پردازش ها براساس طیف های آزمایشگاهی صورت می گیرد.

نقشه برداری مواد زمینی با استفاده از داده های سنجنده های ابرطیفی از مهم ترین اهداف فایده های سنجند در سال های اخیر در دور سنجی زمین شناسی است. از جمله تکنیک های پیشرفته پردازش این نوع داده ها می توان به روش های زیر اشاره کرد: (Pixel Purity Index) (MNF) (Matched Filtering)، دخالته کمترین نوفه (Minimum Noise Fraction)، و تطبیق سیماطیفی (Spectral Feature Fitting) (Fitting) رامی توان نام برد.

نسبت گیری باندها (Band Ratioing)

در دورسنجی زمین شناسی، تصاویر نسبت برای نمایش کنتراست طیفی سیماهای طیفی خاصی به کار گرفته می شود (Rowan et al., 1977). بیشترین استفاده تصاویر نسبت در آشکارسازی ترکیب شیمیایی مواد زمینی است. در این تصاویر اثر اندازه دانه ها، شیب، موقعیت خورشید و جو به حداقل می رسد. علاوه بر آن، وضوح این تصاویر، نسبت به تصاویر باندهای مجزا بیشتر است، زیرا نسبت گیری اثر تفاوت در منبع روشنایی را از بین می برد (Vincent, 1997). انعکاس طیفی برای آهن فریک از باند ۲ به باند ۱ کاهش می یابد و در باند ۳ افتادگی خفیفی را نشان می دهد. بر همین اساس می توان از نسبت ۲/۱ برای بارزسازی آهن فریک بهره گرفت. فقدان باند طیفی در محدوده ۱ میکرومتر، موجب ایجاد محدودیت برای آشکارسازی آهن فرو شده است. سیماهای جذبی آهن فرو در بعضی ترکیبات مثل آمفیبول دارای انعکاس پایین در باندهای مرئی و فرورسرخ نزدیک و افزایش به طرف باندهای ۴ و ۵ است و می توان از نسبت ۵/۳

آمفیبول در بین کانی های دگرسانی دیده می شوند. همچنین گنتیت، کانه اصلی را در آنومالی معدن جو تشکیل می دهد و سنگ میزبان آن، آهنک ها و آهنک های دولومیتیدرگوشده است. شکل کلیتود هکانساررامی توانه صورتیچینه کراندر نظر گرفت، که در یک سمت آن، اسکارن های گارنت-پیروکسن-اسکاپولیت جانشین آهنک میزبان شده و لایه بندی کامل از بین بردودر سمت دیگر آن، آهنکتبلورمجددیافته ایدیده می شود که لایه بندی خود رابه طور کامل حفظ کرده است. در سنجک ۲ و ۳ و آنومالی سم آهنی، رگچه های اکسید آهن (پولک های اسپیکولاریت)، هماتیوگوتیت در آهنک ها، شیل ها و سنگ های سیلتی منطبق دیده می شود. واحد های ماسه سنگی و کنگلومر ایدر سنجک ۲، توسط گسل، از بخش آهنکی که جدا شده است، جدا می شود و باریت است، جدا می شوند و در آنومالی سم آهنی، آمفیبول و پیروکسن-گوتیت و باریت است، جدا می شوند و در آنومالی سم آهنی، آمفیبول و پیروکسن-اسکاپولیت با مرز مشخصی از گرانتیت سرنوسر جدا می شود. هماتیوگوتیت و لیمونیت به اشکال لایه ای، عدسیبزرگ، توده ای، رگه ای و رگچه ای، عمدتاً به حالت پودری در منطقه فرزنه دیده می شود. اینکانه ها، شکل بلوری خاصی ندارند و فقط بافت گل کلمی در بعضی از گوتیت ها مشاهده گردید (یزدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ حاج علی، ۱۳۸۶).

داده ها و روش تحقیق

پردازش داده های ماهواره ای

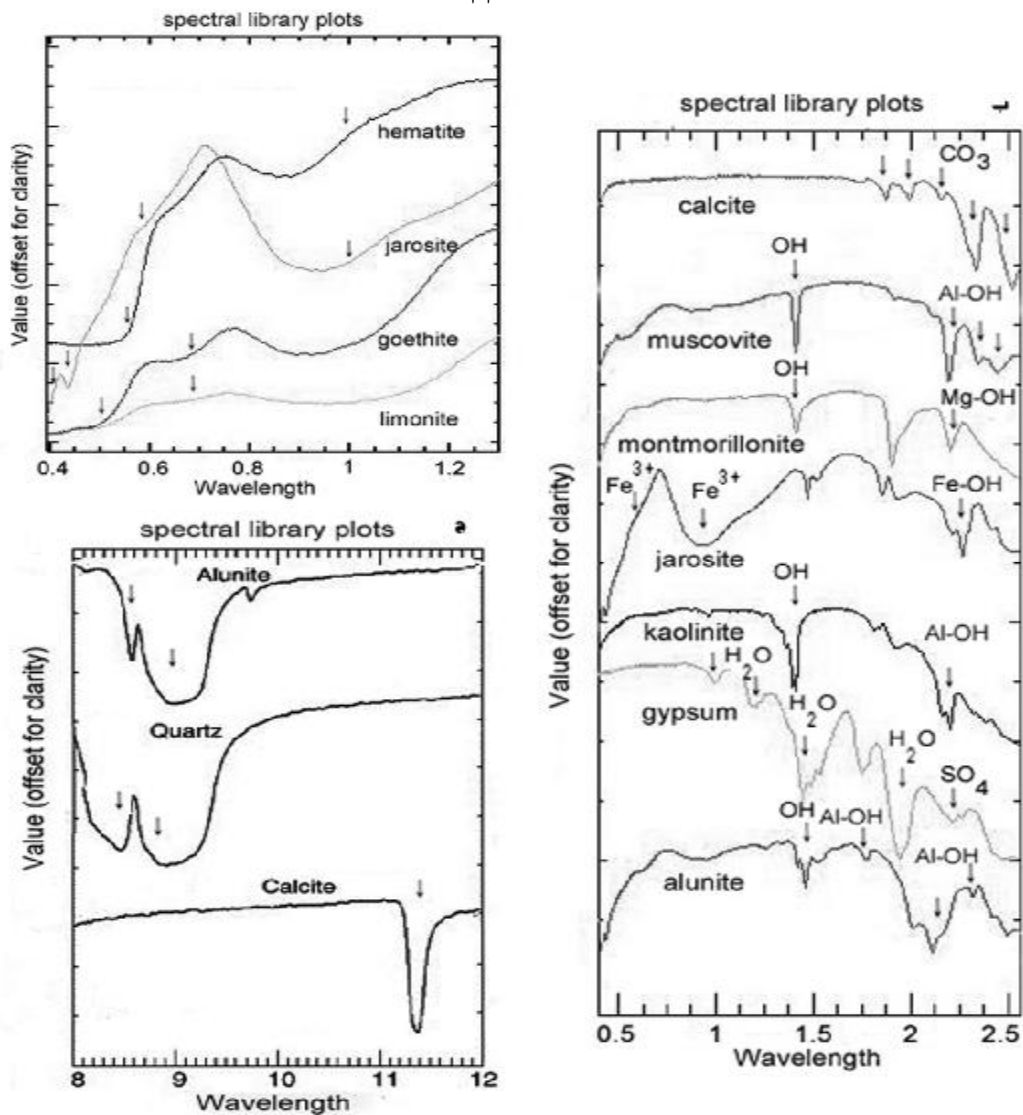
داده های مورد استفاده در این تحقیق دارای سطح پیش پردازش LIB است. داده های LIB مربوط به سطح یک تولیدات استر بوده و حاصل تابش ثبت شده در سنجنده هستند و تنها تصحیحات تابش سنجی (radiometric) و هندسی بر روی آنها صورت گرفته است. دو کالیبراسیون برای بهنجارسازی داده های LIB و تبدیل آنها به داده های بازتاب سطحی صورت گرفت که عبارتند از: روشی برای مسیر (Cross-track Illumination) و میانگین بازتاب نسبی درونی (Internal Average Relative Reflectance (IARR)). روشی برای از بین بردن اثرات سایه روشن های تدریجی در تصویر، اثر دستگاه های روبشگر و روشی برای غیریکنواخت در تصویر، مورد استفاده قرار گرفت. میانگین بازتاب نسبی درونی (IARR) روش کالیبره ای است که برای بهنجارسازی تصاویر، نسبت به طیف میانگین صحنه صورت می گیرد. این روش، مؤثرترین فن برای بهنجارسازی داده های طیف سنجی تصویر در منطقه ای که اندازه گیری های زمینی وجود ندارد یا اطلاعات کمی از صحنه موجود است، می باشد (Kruse et al., 1985; Kruse, 1988).

همچنین طیف عضوهای انتهایی از منابع مختلفی مانند آزمایشگاه های طیفی از قبیل سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS)، طیف های استخراجی از پیکسل های خالص، طیف سنجی های تصویری و طیف های حاصل از طیف سنج های زمینی تأییدی می شود. فرایند استخراج طیف عضوهای انتهایی در تصاویر استر شامل دخالت کمترین نوفه (Minimum Noise Fraction (MNF)) به منظور به حداقل رساندن نوفه و تعیین ابعاد اصلی داده ها، اندیس خلوص پیکسل (Pixel Purity Index (PPI)) جهت استخراج خالص ترین پیکسل ها از لحاظ طیفی، نمودار پراکندگی n-بعدی برای استخراج طیف های انتهایی و نظارت بصری برای مشخص کردن طیف های انتهایی و مقایسه آنها با طیف های آزمایشگاهی می باشد (Boardman et al., 1994; Boardman et al., 1995; Kruse et al., 1993a; Kruse et al., 1993b).

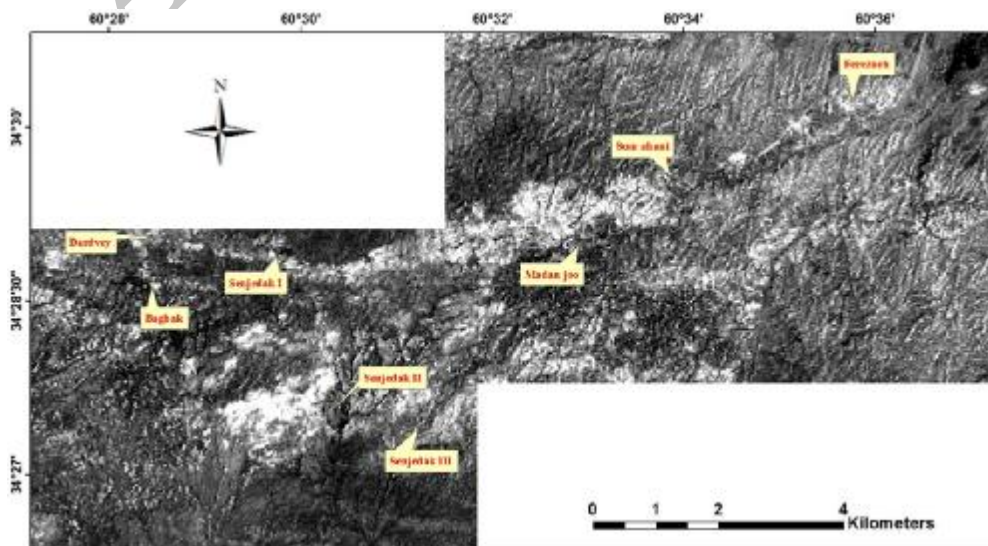
توجه به این نکته مهم است که طیف های انتهایی باید از داده های با کیفیت بالا استخراج شوند. کیفیت داده های دورسنجی رقمی، رابطه مستقیم با میزان نوفه سیستم نسبت به شدت سیگنال دارد. این نسبت عددی بدون بعد است، با عنوان نسبت سیگنال به نوفه (Signal-to-Noise Ratio (SNR)) بیان می شود و دقت رادیومتری کلی سیستم را توضیح می دهد (Collwell, 1983).

برای آشکارسازی استفاده کرد (شکل ۵) (Rowan et al., 2005). در این تصویر، علاوه بر مناطق آهن دار رخنمون های کربناته و اسکارن ها نیز بارز شده است، ولی با توجه به درجه روشنایی تصویر و همچنین همراهی این واحدها با کانی سازی آهن، امکان رهنمون به مناطق آهن دار فراهم شده است.

۲۱



شکل ۴. طیف های آزمایشگاهی کانی ها. الف: محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک. ب: فروسرخ میانی ج: فروسرخ گرمایی (Clark et al., 1993).



شکل ۵. تصویر نسبت گیری باند ۵/۳

نقشه برداری زوایه طیفی (Spectral Angle Mapping) (SAM) ۲۲

نقشه برداری زوایه طیفی (SAM) براساس رده بندی طیفی بنا نهاده شده است (Kruse et al., 1993). در این روش، شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل به وسیله محاسبه زوایه بین طیف ها به این ترتیب که آنها را بردارهایی در یک فضای چند بعدی (که ابعاد فضا بستگی به تعداد باندها دارد) تصور می کنند، تعیین می گردد. این فن هنگامی که بر روی داده های بازتابندگی کالیبره شده اجرا شود، نسبت به اثرات سپیدایی و روشنایی تفاوت خواهد بود. پیکسل های روشن، کمترین جورشدگی و پیکسل های با درجه روشنایی کمتر، بیشترین جورشدگی را با طیف مرجع نشان می دهد (CSES, 1992).

فن نقشه برداری زوایای طیفی بر روی پنجره های انتخابی و با استفاده از طیف آزمایشگاه سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) انجام گرفت. اجرای این فن در منطقه، موجب بارزسازی کانی های مگنتیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت شد. کانی سازی ها در آنومالی های مرکزی (باغک و دردوی) مگنتیتی است (شکل ۱۱).

در آنومالی های شرقی، سنجدک ۲ و سنجدک ۳ (شکل ۱۱)، کانی سازی ها بیشتر هماتیتی و کمتر مگنتیتی و مگنتیت کانی غالب در سنجدک ۱ می باشد. کانی سازی در آنومالی معدن جو بیشتر مگنتیتی (شکل ۱۱)، و در آنومالی فرزانه و آنومالی سم آهنی، هماتیت، گوتیت و لیمونیت غالب است. همان طور که در شکل (۱۱) دیده می شود، روند کانی سازی در بخش شرقی آنومالی های شرقی (معدن جو، سم آهنی و فرزانه) بیشتر شرقی- غربی و در بخش مرکزی و غرب آنومالی های شرقی (سنجدک ۱ و ۲ و ۳) شمال شرق- جنوب غرب است (معدنکاو، ۱۳۸۵). همچنین بارزسازی واحدهای کربنات کلسیم و منیزیم در شکل ۱۲ قابل مشاهده است. واحدهای آهکی، قسمتی از اسکارن و بخش هایی از شیل ها و ماسه سنگ های کربناتی دگرگون شده در تصویر بارز شده است.

نآمیختگی طیفی خطی (Linear Spectral Unmixing) (LSU)

این روش برای نمایش فراوانی نسبی مواد با توجه به خصوصیات طیفی آنها مورد استفاده قرار می گیرد و درصد فراوانی هر یک از عضویات انتهایی را در یک پیکسل واحد محاسبه می کند. این روش به شدت تحت تأثیر عضو انتهایی قرار داشته و هر گونه تغییری در عضو انتهایی، موجب تغییر در نتایج می شود. مخلوط شدگی طیفی، زمانی رخ می دهد که موادی با خصوصیات طیفی متفاوت با یک پیکسل واحد نشان داده شوند. میزان بازتابش هر پیکسل در تصویر، ترکیبی از بازتابش همه عضویات انتهایی موجود در آن پیکسل است. اگر مقیاس مخلوط شدگی بزرگ باشد، مخلوط شدگی به شکل خطی است. دو روش کاملاً مختلف در تکنیک نآمیختگی استفاده می شود: عضویات انتهایی شناخته شده (براساس طیف تصویر یا طیف های آزمایشگاهی) و عضویات انتهایی ناشناخته (براساس استخراج عضویات انتهایی از داده های طیف سنخ تصویری).

از آنجا که در این تحقیق، عضویات انتهایی، شناخته شده هستند و با روش های مختلف پردازش، بارزسازی آنها صورت گرفته است، لذا از روش عضویات انتهایی شناخته شده و با استفاده از طیف های آزمایشگاهی تکنیک تجزیه طیفی به کار گرفته شد. نتایج حاصل از پردازش تجزیه طیفی برای بارزسازی کانی سازی های آهن (شکل ۱۳) و واحدهای کربناتی (شکل ۱۴) با نتایج حاصل از اجرای فن نقشه برداری زوایای طیفی مشابهت زیادی دارد و تنها تفاوت آنها در فراوانی پیکسل های بارز شده است. تصاویر حاصل از پردازش با مطالعات پیشین توسط مظاهری (۱۳۷۷)، معدنکاو (۱۳۸۵)، کریم پور و ملک زاده (۱۳۸۶)، حاج علی (۱۳۸۶) و یزدی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

باندهای ۱۰-۱۴ استر برای آشکارسازی کوارتز و کربنات مفید هستند (amaguchi et al., 2001; Ninomiya, 2003; Rowan and Mars, 2003). کوارتز از جمله کانی هایی است که فاقد سیمای طیفی در محدوده مرئی-فروسرخ نزدیک و فرورسرخ میانی است. کانی های مافیک مانند بیوتیت، اپیدوت و هورنبلند دارای سیمای جذب در باند ۱۳ و کوارتز، میکرومیکروکلین، دارای سیمای طیفی در باند ۱۱ و ۱۲ است که به دلیل جابجایی باند رستشترال به طرف طول موج های بلندتر در نتیجه تغییر در ترکیب مافیکی ایجاد می شوند.

نسبت ۱۴/۱۲ برای بارزسازی سیلیس مورد استفاده قرار گرفت. در (شکل ۶)، پیکسل های روشن مربوط به بارزسازی سیلیس است. در جنوب تصویر، تجمع پیکسل های سفید مربوط به بارزسازی واحد کوارتزیت و در سایر مناطق، پیکسل های روشن مربوط به بارزسازی گرانیت های سرنوسر و برمانی و همچنین بارزسازی واحدهای شیل و ماسه سنگ و توف های محتوی کوارتز و ترکیبات سیلیسی است.

آنومالی های آهن دار در این تصویر با پیکسل های سیاه رنگ قابل مشاهده است. کربنات ها از جمله کلسیت و دولومیت دارای باند جذبی در باند ۱۴ و بازتابش در باند ۱۳ استر هستند و از نسبت ۱۳/۱۴ برای بارزسازی کربنات و همچنین واحدهای اگزواسکارن (کلسیت و دولومیت) می توان بهره گرفت (شکل ۷). آهک ها و سنگ های کربناته دولومیتی و کلسیتی با پیکسل های روشن در تصویر دیده می شوند و واحد سنگ آهکی در مرکز تصویر به راحتی از دیگر واحدها قابل تفکیک است.

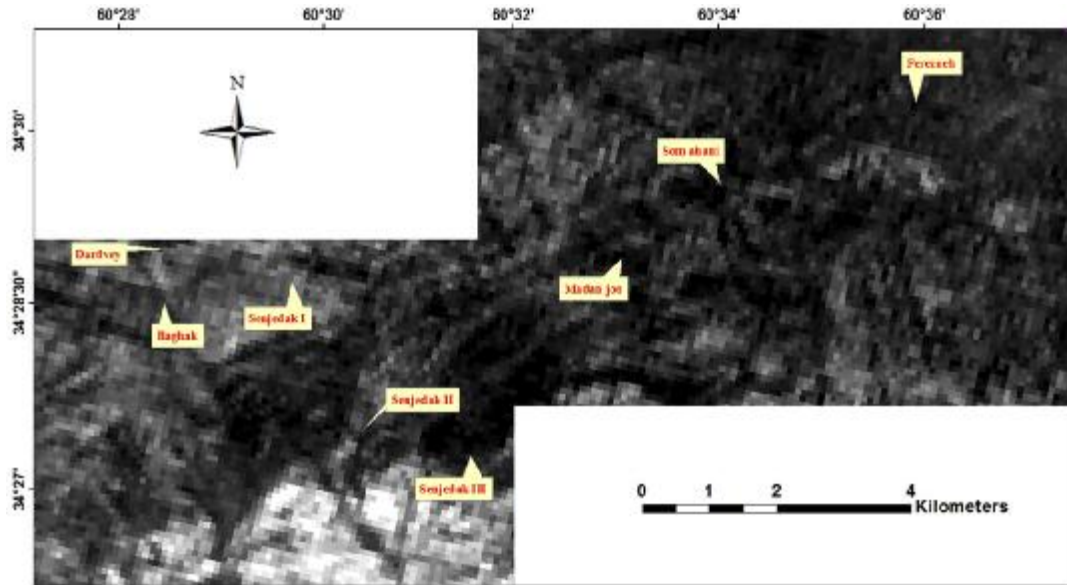
از نسبت ۱۲/۱۳ برای بارزسازی واحدهای اندواسکارنی و کانی هایی مثل اپیدوت، گارنت و پیروکسن می توان استفاده کرد (شکل ۸). واحدهای اسکارنی در این تصویر با پیکسل های سفید ظاهر شده اند. واحدهای کوارتزیت با پیکسل های سیاه و دیگر واحدها با پیکسل های خاکستری از اسکارن متمایز می شود.

به منظور ایجاد دید بهتر از تصاویر نسبت، از نسبت های ۱۳/۱۴، ۱۴/۱۲ و باند ۶ تصویر ترکیب رنگی تهیه شد (شکل ۹). در این تصویر، واحدهای اسکارنی با رنگ آبی تیره، گرانیت های سرنوسر و برمانی با پیکسل های سبز-آبی، کوارتزیت ها به رنگ سبز روشن، توف ها با پیکسل های سبز تیره، شیل و ماسه سنگ ها با پیکسل های قرمز تیره و کربنات ها با پیکسل های سرخابی و بنفش، قابل نقشه برداری هستند.

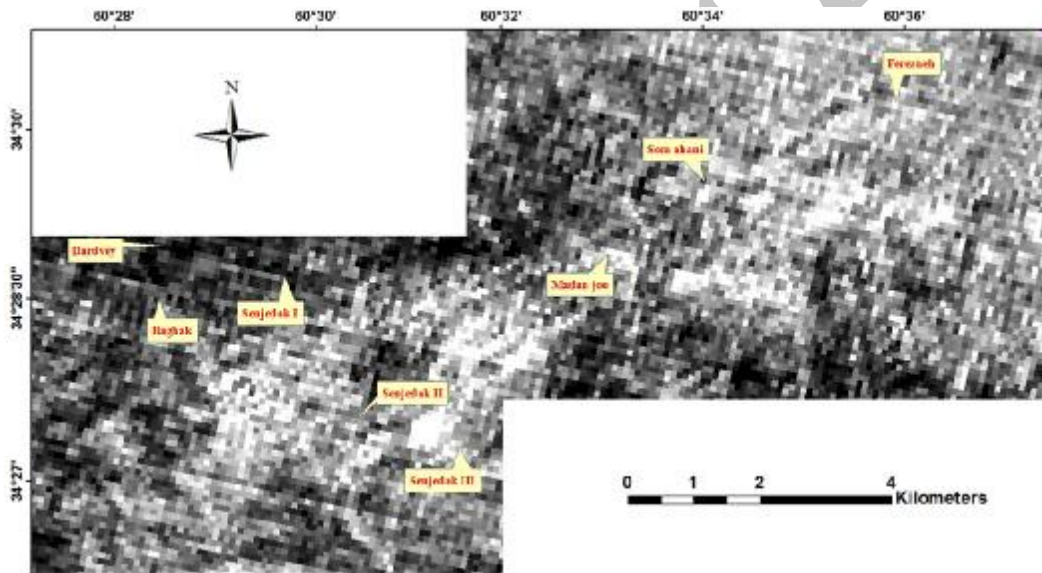
تصویر برداری باند جذب نسبی (Relative Absorption Band Depth)

کراولی و همکاران (Crowley et al., 1989) تصاویر نسبت ویژه ای را برای نمایش کنتراست طیفی سیمای جذبی به کار گرفتند. در روش تصویر برداری باند جذب نسبی (Relative Absorption Band Depth) برای نمایش هر سیمای جذبی مخرج کسر باندی است که نزدیک ترین موقعیت به بیشترین جذب را اشغال کرده (Band 2) و صورت کسر مجموع دو باند بازتابی مجاور آن می باشد. بر همین اساس و با استفاده از رفتار طیفی مواد زمینی در بخش های مختلف از طیف الکترومغناطیس، نسبت $6+9/7+8$ برای بارزسازی اندواسکارن (کلریت، اپیدوت و آمفیبول)، نسبت $7+9/8$ برای بارزسازی ترکیبات کربنات کلسیمی از جمله آهکی و نسبت $6+8/7$ برای بارزسازی دولومیت مورد استفاده قرار گرفت.

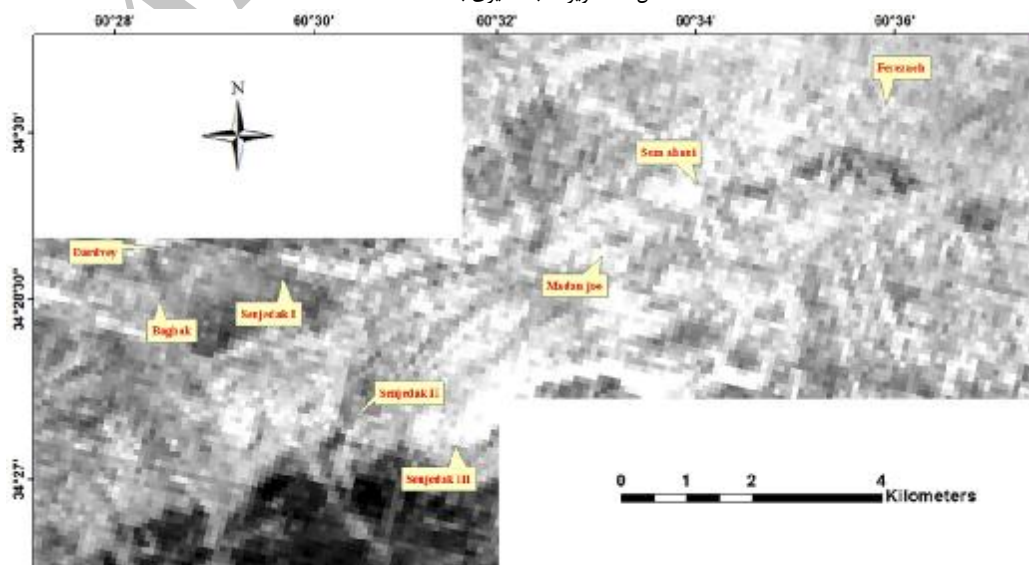
استفاده از نسبت های $6+8/7$ و $7+9/8$ همراه با باند ۱ (قرمز: باند ۱، سبز: $7+9/8$ ، آبی: $6+8/7$) بارزسازی واحدهای کربناتی را به دنبال داشت (شکل ۱۰). در این تصویر، کربنات ها اعم از واحدهای آهکی و در بعضی جاها واحدهای رسوبی دگرگون شده با رنگ های سبز، آبی، سبز-آبی بعضاً زرد قابل مشاهده است. سایر رخنمون ها با رنگ های بنفش و سرخابی قابل تمایز هستند.



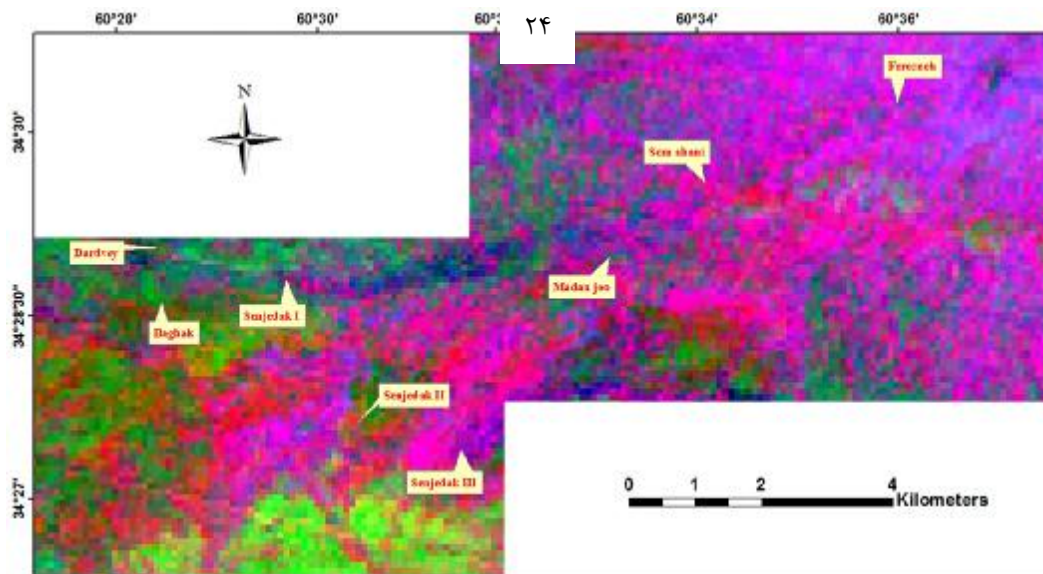
شکل ۶. تصویر نسبت گیری باند ۱۴/۱۲



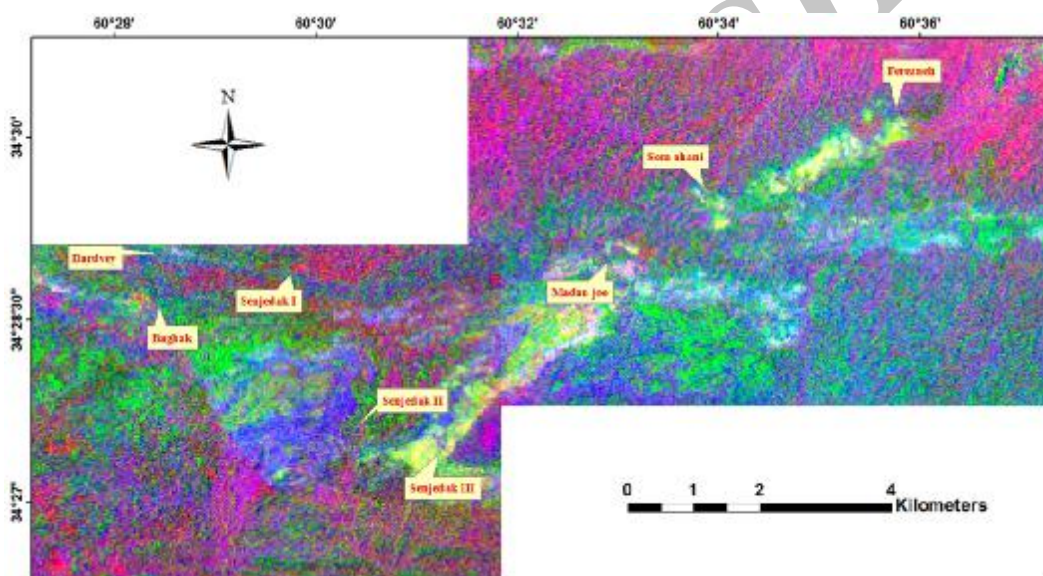
شکل ۷. تصویر نسبت گیری باند ۱۲/۱۴



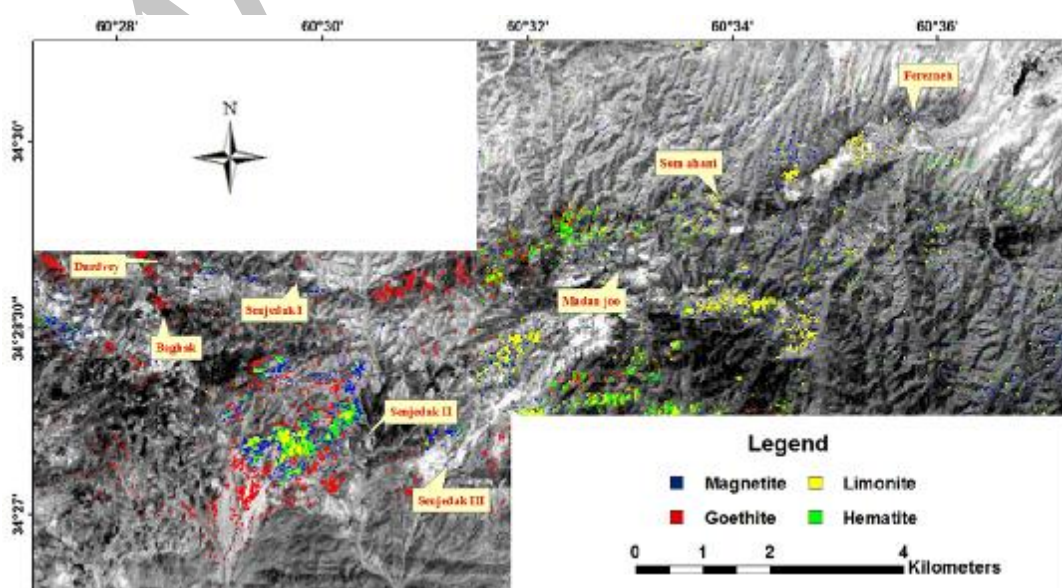
شکل ۸. تصویر نسبت گیری باند ۱۲/۱۳



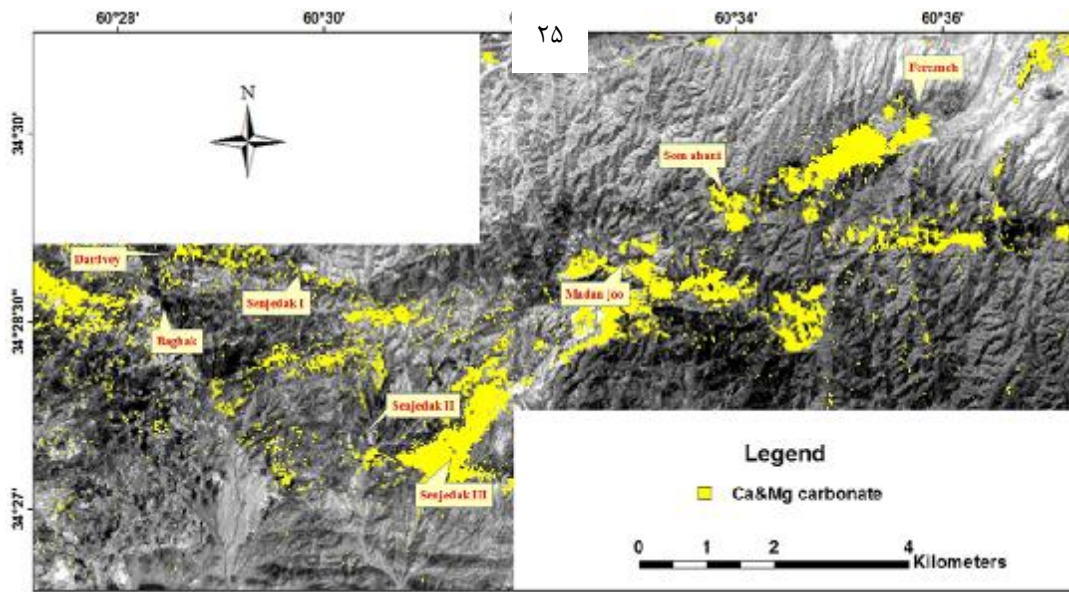
شکل ۹. ترکیب رنگی کاذب نسبت های ۱۴/۱۴، ۱۳/۱۲ و باند ۶



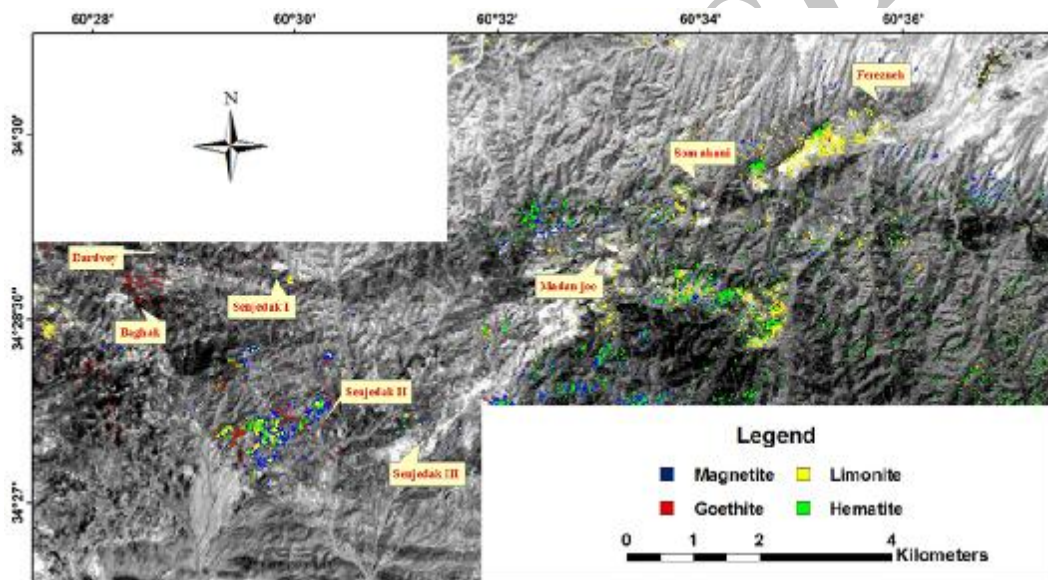
شکل ۱۰. ترکیب رنگی کاذب نسبت های ۷+۹/۸ و ۶+۸/۷ و باند ۱



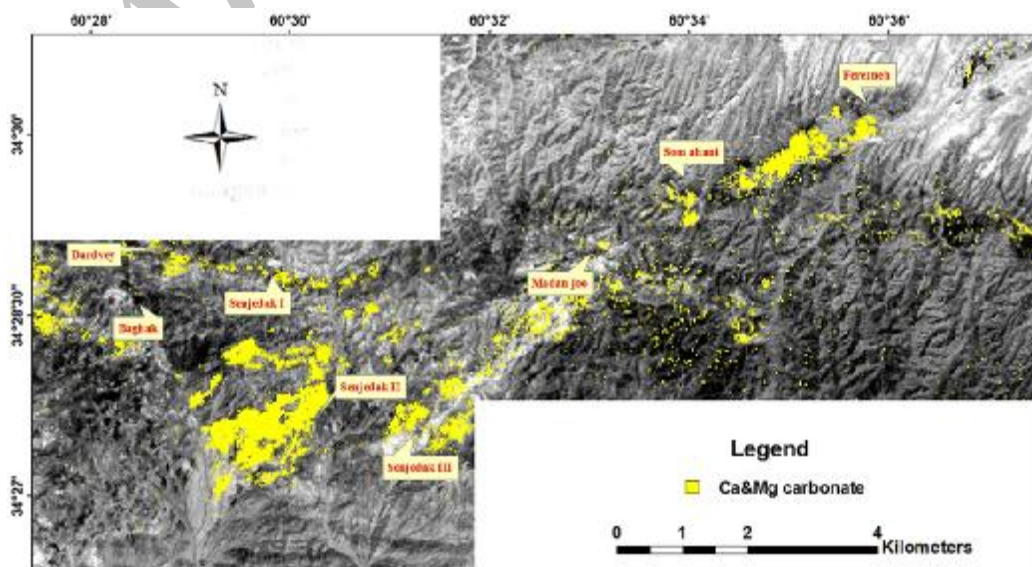
شکل ۱۱. نقشه برداری کانی سازی های آهن با استفاده از فن نقشه برداری زوایای طیفی.



شکل ۱۲. بارزسازی واحدهای کربنات کلسیم و منیزیم با استفاده از فن نقشه برداری زوایای طیفی.



شکل ۱۳. نقشه برداری کانی سازی های آهن با استفاده از فن تجزیه طیفی خطی.



شکل ۱۴. بارزسازی واحدهای کربنات کلسیم و منیزیم با استفاده از فن تجزیه طیفی خطی

نتیجه گیری

نقشه برداری پیشرفته انواع مختلف سنگ ها با استفاده از داده های دور سنجی یکی از مهمترین هدف های پژوهش و تحقیق در زمین شناسی است. در این تحقیق، پردازش های ساده و پیشرفته داده های مرئی و فرورسرخ نزدیک، فرورسرخ میانی و فرورسرخ گرماییسنجده استر با به کارگیری طیف های آزمایشگاهی به منظور ایجاد دید کلی از آنومالی ها، بارزسازی و نقشه برداری کانی سازی ها و همچنین دستیابی به مناطق امیدبخش، موفقیت آمیز بود. از آنجا که در کانی سازی های مرتبط با اسکارن، شناسایی و تمیز کربنات ها از گام های اولیه در دستیابی به مناطق امیدبخش و پتانسیل های معدنی محسوب می شود، نسبت گیری و ایجاد تصاویر ترکیب رنگی با استفاده از باندهای فرورسرخ گرمایی به ویژه با توجه به ویژگی های طیفی کانی های موجود در زون های اسکارنی، جداسازی و تفکیک واحدهای کربنات، اندواسکارن و اگزواسکارن را از دیگر رخنمون های سنگی و نقشه برداری آنها را میسر ساخت. با اجرای فن نقشه برداری زوایای طیفی و نامیختگی طیفی خطی به کمک طیف های آزمایشگاهی، انواع کانی سازی های آهن مگنتیتی، هماتیتی، گوتیتی و لیمونیتی در منطقه سنگان نقشه برداری و از

۲۶
تفکیک و واحدهای کربناتی مرتبط با کانی سازی ها، بارزسازی شد. نتایج روچی از پردازش داده های ماهواره ای در این تحقیق با مطالعات پیشین انجام شده در منطقه مطابقت داشته و نتایج به برخی پارامتر ها از قبیل: زاویه آستانه، طیف نمونه های دستی و آشنایی با عضوهای انتهایی و ترکیب شیمیایی آنها وابسته است. مطلقاً در پردازش داده ها، حضور برخی از عضوهای انتهایی ممکن است نادیده انگاشته شود، اما در مجموع می توان گفت دورسنجی یک روش قابل اعتماد برای هدایت زمین شناس به مناطق اکتشافی و کسب دیگر اطلاعات مفید از قبیل تشخیص اولیه نوع کانی سازی ها می باشد و استفاده از داده های با توان تفکیک طیفی بالاتر، نتایج بهتر و موثرتری را در نقشه برداری های زمین شناختی به دنبال خواهد داشت، هر چند که اظهار نظر قطعی در مورد کانی سازی ها نیازمند بازدیدهای صحرایی و مطالعات دقیق تر است.

تشکر و قدردانی

این مقاله مربوط به طرح شماره ۳، به شماره ۲۷۱۱۸/۳ مورخ ۹۲/۲/۲۰، دانشگاه فردوسی مشهد می باشد.

منابع

- بمانی، م.، انصاری، ع.ح.، ۱۳۸۹. تلفیق نتایج برررسیهای دورسنجی و مطالعات ژئوفیزیکی بیهواید برررسی پتانسیل معدنی محدوده ۲۵۰۰۰۰: ۱۱ انارک، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیکی ایران، مقالات پوستری، دورسنجی، ص ۳۰۲.
- حاج علی، م.، ۱۳۸۶. کانی شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک کانسار آهن سنگان (آنومالی شرقی) خواف، خراسان رضوی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۵۰ ص.
- رنجبر، ح.ا.، ۱۳۷۷. آنالیز داده های دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی در سامانه اطلاعات جغرافیایی. دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- کریم پور، م.ح.، ۱۳۸۲. کانی شناسی، آلتراسیون سنگ و مثال های یاز IOCIG منشأ و محیط تکنوتیک کانسارهای ایران، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس سلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه یزد، ص ۱۸۹-۱۸۴.
- کریم پور، م.ح.، سعادت، س.، و ملک زاده شفاوردی، آ.، ۱۳۸۱. شناسایی معرفیکانی سازینوع Fe-Oxides Cu-Au و مگنتیتر تبیطا کمر بند ولکانیکی - پلوتونیک خواف - کاشمر - بردسکن، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.
- کریم پور، م.ح.، ملک زاده شفاوردی، آ.، ۱۳۸۶. ژئوشیمی - کانی شناسی زون های اسکارنی پتروولوژی سنگ منشاء کانسار سنگ آهن سنگان خراسان رضوی، فصلنامه علوم زمین، سال ۱۷، ش. ۶۵، ص ۱۱۴-۱۰۸.
- مظاهری، س.ا.، ۱۳۷۷. مطالعات شیمی کانی هادراسکارنها یا آهن دار سنگان خراسان، خلاصه مقالات هفدهمین گردهمایی علوم زمین، ص ۱۹۶-۱۸۹.
- مظاهری، س.ا.، ۱۳۷۹. معرفی آمفیبول های ناحیه سنگان خواف، هشتمین همایش سلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۶۸-۱۶۴.
- معدنکاو، ۱۳۸۵. گزارش نقشه ۱:۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰، کانسارهای آهن محدوده شرق سنگان.
- معدنکاو، ۱۳۸۶. نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰ آنومالی های شرقی سنگان.
- معصومی، ف.ا.، رنجبر، ح.ا.، ۱۳۸۵. استفاده از منطق فازی دانش پایه جهت نقشه برداری از پتانسیل های معدنی - مطالعه موردی شمال شهرستان بافت، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.
- ملک زاده شفاوردی، آ.، کریم پور، م.ح.، ۱۳۹۰. پردازش داده های سنجده استر به روش نقشه برداری زاویه طیفی و تلفیق آن با اطلاعات زمین شناسی و ژئوشیمی رسوبات رودخانه ای برای پتانسیل یابی مناطق مستعد کانی سازی، شمال شرقی بیرجند، دومین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران.
- هاشمیتنگستانی، م.، مظهری، ن.، ۱۳۸۴. پردازش طیفی پیشرفته داده های سنجده استر در نقشه برداری زون های دگرسانی ذخایر مس پرفیری، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۱۸۶-۱۹۵.
- هنرمند، م.، رنجبر، ح.ا.، ۱۳۸۴. کاربرد روشهای مختلف پردازش تصویر داده های ETM+ به منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه ای در منطقه کوه مزار - کوه چنچ در استان کرمان. فصلنامه علمی و پژوهشی علوم زمین، ص ۱۰-۱۲۷.
- یزدی، م.، بهزادی، م.، حاجی علی، م.، ۱۳۸۸. کانی سازی هندی آنومالی شرقی سنگان، شمال شرق ایران، فصلنامه علمی - پژوهشی زمین شناسی و محیط زیست، سال ۳، ش. ۱.

Aster User Guide, 2001, V. 3, 1.

Boardman, J.W., Kruse, F.A., 1994. Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, orthern Grapevine Mountains, Nevada. Proceedings Tenth Thematic Conf., Geologic Remote Sensing: San Antonio, Texas, 9-12 May 1994, I-407-I-418. ERIM.

Boardman, J.W., Kruse, F.A., Green, R.O., 1995. Mapping Target Signatures via Partial Unmixing of AVIRIS Data, Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, 1. JPL Publication, Washington, D. C., p: 23-26.

Clark, R.N., Swayze, G.A., Gallagher, A.J. King, T.V.V., Calvin, W.M., 1993. The U. S. Geological Survey, Digital Spectral Library, 1, 0.2 to 3.0 microns, U.S. Geological Survey Open File Report, Vol:1340, p:93-592.

- Collwell, R.N. (ed.), 1983. Manual of Remote Sensing, 2nd edition. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 344-363, and 1196.
- Crosta, A.P., Sabine, C. and Tarani, J.V., 1998. Hydrothermal alteration mapping at Bodie, California, using AVIRIS hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, Vol:65, p: 309-319.
- Crowley, J.K., Brickley, D.W., Rowan, L.C., 1989. Airborne imaging spectrometer data of the Ruby Mountains, Montana: mineral discrimination using relative absorption band-depth images. *Remote Sensing of Environment*, Vol:29, p:121-134.
- CSES (Center for the Study of Earth from Space), 1992. SIPS User's Guide - The Spectral Image Processing System, 1.1, University of Colorado, Boulder, 74p.
- Green, R.O., Chrien, T.G., Pavri, B., 2003. On-orbit determination of the radiometric and spectral calibration of Hyperion using ground, atmospheric and AVIRIS underflight measurements. *TGARS Special Issue on EO-1*.
- Green, R.O., Pavri, B., Faust, J., Williams, O., 1999. AVIRIS radiometric laboratory calibration, inflight validation, and a focused sensitivity analysis in 1998. 8th JPL Airborne Earth Science Workshop, Jet Propulsion Laboratory Publication, p:99-17, 161-175.
- Gupta, R., 1991. *Remote Sensing Geology*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Kruse, F. A., and Lefkoff, A. B., 1993. Knowledge-based geologic mapping with imaging spectrometers: *Remote Sensing Reviews*, Special Issue on NASA Innovative Research Program (IRP) results, Vol: 8, p: 3 - 28.
- Kruse, F.A., Raines, G.I., Watson, K. 1985. Analytical techniques for extracting geologic information from multichannel airborne spectroradiometer and airborne imaging spectrometer data. *Proceedings of the 4th thematic conference on remote sensing for exploration geology*. Ann Arbor, MI.
- Kruse, F.A., 1988, Use of Airborne Imaging Spectrometer data to map minerals associated with hydrothermally altered rocks in the northern Grapevine Mountains, Nevada and California. *Remote Sensing of Environment*, Vol: 24, p: 31-51.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., Goetz, A.F.H., 1993a. The Spectral Image Processing System (SIPS) – interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, Vol: 44, p: 144-163.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Dietz, J.B., 1993b. Expert system-based mineral mapping in northern Death Valley, California/Nevada using the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). *Remote Sensing of Environment*, Vol: 44, p: 309-336.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W., Huntington, J.F., 1999. Fifteen Years of Hyperspectral Data, northern Grapevine Mountains, Nevada. 8th JPL Airborne Earth Science Workshop, Jet Propulsion Laboratory Publication, JPL Publication, p: 99-17, 247-258.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W., Huntington, J.F., 2001. Progress Report: Geologic Validation of EO-1 Hyperion. 10th JPL Airborne Earth Science Workshop, Jet Propulsion Laboratory Publication, Vol: 02-1, p: 253-265.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W., Huntington, J.F., 2002. Comparison of EO-1 Hyperion and Airborne Hyperspectral Remote Sensing Data for Geologic Applications. *SPIE Aerospace Conference*, 9-16 March 2002, Big Sky, Montana, published on CD-ROM, IEEE Catalog Number 02TH8593C, Paper #6.0102, 12 p.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W., Huntington, J.F., Mason, P., Quigley, M.A., 2003. Evaluation and Validation of EO-1 Hyperion for Geologic Mapping. *Special Issue, TGARSS, IEEE*.
- Loughlin, W., 1991. Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol:57, p: 1163-1169.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H., Golmohammadi, A. 2013. Zircon U-Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C-North and Baghak districts, Sangan iron mine, NE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol: 64 , p:256-271.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 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*, Vol: 2 (3), p: 161-186.
- Mazaheri, S.A. 1995. *Petrological Studies of Skarns from Marulan South, New South Wales, Australia and Sangan, Khorasan, Iran*. Ph.D. thesis, University of Wollongong, New South Wales, Australia.
- Moore, F., Rastmanesh, F., Asady, H., Modabberi, S., 2008. Mapping mineralogical alteration using principal component analysis and matched filter processing in Takab area, north-west Iran, from ASTER data. *Int. J. Remote Sens.* 29 (10), p:2851-2867.
- Ninomiya, Y., 2003. Rock type mapping with indices defined for multispectral thermal infrared ASTER data: case studies. *PSPIE*, Vol:4886, p: 123-132.
- Ranjbar, H., Honarmand, M., and Moezifar, Z., 2004. Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM+ data in the southern part of the Iranian Volcanic Sedimentary Belt. *Asian Journal of Earth sciences*, Vol:24 , p: 237-243.
- Rowan, L.C., Goetz, A.F.H., Ashiely, R.P., 1977. Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in the visible and near infrared multispectral images. *Geophysics*, Vol: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.* Vol:84, p:350-366.
- Rowan, L.C., Mars, J.C., Simpson, C.J., 2005. Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *Remote Sensing of Environment*, Vol: 99, p: 105-116.

- Rowan, L.C., Robert, G.S., John, C., 2006. Distribution of hydrothermally altered rocks in the RekoDiq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data. *Remote Sens. Environ.* Vol:104, p: 74–87.
- Tangestani, M.H. and Moore, F., 2000. Iron oxide and hydroxyl enhancement using the Crosta method: a case study from the Zagros Belt, Fars Province, Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol: 2, p:140–146.
- Tangestani, M.H. and Moore, F., 2001. Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping: a case study, Meiduk area, Kerman, Iran. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol: 27, p: 176–182.
- Tangestani, M.H. and Moore, F., 2002. Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, Vol: 23, p: 4815–4825.
- Tangestani, M.H., 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. Remote Sens.* Vol: 29 (10), p:2833–2850.
- Vincent, R.K., 1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 366 p.
- Yamaguchi, S., Kamiya, Y., and Sun, T.-p., 2001. Distinct cell-specific expression patterns of early and late gibberellin biosynthetic genes during Arabidopsis seed germination. *Plant J.* Vol: 28, p:443–453.

Archive of SID