مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته

بهار ۹۳، شماره ۱۱

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

نازی مظهری دانشجوی دکتری زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

آزاده ملکزاده شفارودی استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

مجيد قادرى

دانشیار گروه زمین شناسیاقتصادی دانشگاه تربیت مدرس

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

nazimzi@yahoo.com

چکیدہ

معدن سنگان یک ذخیره با ارزش و بزرگ اسکارن آهن است کهدر شرق کمربند ولکانیکی-پلوتونیکی خواف- کاشمر- بردسکن قرار دارد. این کمربند باگسترش شرقی-غربی درشمال 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 مرتام یا را می می خور ای ایز ای و بارتی و ای مختلف کانی سازی های آنه برداری آنهمای های مرکزی و شرقی معدن سنگان بهره کربناته، اندواسکارن و اگزواسکارن را از دیگر رخنمون های سنگی و نقشه برداری آنها را میسر ساخت. همچنین اجرای فن نقشه برداری زوایای طیفی (ستی 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، کمربن دخواف- کاشمر–بردسکن،نقشه برداری.

مقدمه

محدودهموردمطالعه، آنومالی های مرکزی و شرقی کانسارسنگآهنسنگان استکه در ۳۰۰کیلومتریجنوب شرقیمشهدو ۴۰ کیلومتریجنوب شرقی خوافدراستانخراسانرضویبینطول هایجغرافیایی ۲۴^{° ۲۰}۹۰ وعرض هایجغرافیایی ۲۶^{° ۳۴} – ۳۳^{° ۳۲} قراردارد. معدنسنگان،یکذخیرهبزرگوباارزشاسکارنآهناست وجزییازکمربندولکانیکی-پلوتونیکیخواف-کاشمر– بردسکن به شمار می رود (کریم پور، ۱۳۸۱؛ کریم پوروهمکاران، ۱۳۸۲).

چنانچهادامهكمربندماگماييخواف- درونهتاافغانستانازيک سووبيار جمنداز سويديگررادرنظر

بگیریم،طولیبیشاز ۳۵۰کیلومتروپهنایمتغیراز ۱۵تا ۸۰کیلومتردارد.اینکمربندباگستر

ش شرقی- غربیوخمیدگیبه سویشمال،درشمالگسلدرونه (گسلبزر گکویر)واقعشده وعمدتا ازسنگ هایآتشفشانیاسیتا حدواسطوبعضا مافیکباسن ترشیریتشکیلشده است.این سنگ هاشاملداسیت،ریوداسیت،آندزیت،پیروکسناندزیت،آندزیت-بازالت،لاتیت، تراکی آندزیت،توف، لاپیلیتوفو آگلومراست (شکل ۱).توده هایگرانیتوئیدیبا ترکیبیاز گرانیت، گرانودیوریت،دیوریتو آلکالی فلدسپار گرانیتدرسنگ هایآتشفشانینفوذنموده اند (کریم پور، ۱۳۸۱ ؛ کریم پور و همکاران، ۱۳۸۲).کریم پور ۱۳۸۱) و کریم پور و همکاران (۱۳۸۲)، کمربندخواف کاشمر-بردسکنرابهعنوانکمربند کانی سازیتیپاکسیدآهن در ایران معرفیکردند. از جمله کانسارهای اکسیدآهنموجوددراینناحیهمی توانبهطلا- اسپکیولاریتکوهزر، شهرک، تنورجهومعدنسنگانخوافاشارهکرد. 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 C ،B ،A' ،A می شود.کانسار های شناسایی شده در ناحیه غربی شامل ۵ کانسار Aشمالی و C جنوبی می باشند.در ناحیه مرکزی، دو کانسار مهم به نام های دردوی و باغک قرار گرفته است.کانسارهای ناحیه شرقی نیز شامل ۶ آنومالی رخنمون دار سنجدک ۱، سنجدک ۲، سنجدک ۳، معدن جو، سم آهنی و فرزنه است که مراحل اكتشاف مقدماتي را مي گذراند (شكل ۳). نقشه بردار يييشرفتهانواعمختلفسنك هابااستفادهازداده هايدور سنجى ،يكيازمهمتر ينهدف هایپژوهشدرزمین شناسیاست. زمین شناسان اکتشافی از اوایل دهه ۱۹۸۰ به طور گستردهاز این داده ها برای شناسایی منابع معدنی استفاده کرده اند(بمانی و انصاری، ۱۳۸۹؛ تنگستانی و مظهری، ۱۳۸۴؛ رنجبر،۱۳۷۷؛ معصومی و رنجبر، ۱۳۸۹؛ ملک زاده و کریمپور، ۱۳۹۰؛ هنرمندورنجبر، 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; تقش Tangestani and Moore, 2002; Tangestani et al., 2008). سنجش از دور در اکتشاف ذخایر معدنی از یک طرف کاهش هزینه های اکتشاف و ريسك اقتصاديبى جويى ذخاير ناشناخته واز طرف ديكر تعميم نتايج حاصل از دور سنجی به منطقه ای بزرگ است که بهزمین شناس اجازه می دهد جزییات منطقه



مورد نظر را بررسی کند.



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



شکل ۳. نقشه زمین شناسی أنومالی هایمرکزی و شرقی معدن سنگان (معدنکاو، ۱۳۸۶، با تغییرات توسط نویسندگان).



در مقایسه با سنجنده های ماهواره های لندست، نسل جدیدی از سنجنده ها با پوشش وسیع و توان تفکیک مکانی وطیفی بالا برای مشاهده جزییات بیشتر زمین شناسی و شناخت حوادثی از قبیل فعالیت های آتشفشانی طراحی شده است.طیف سنج بازتابی و گرمایی فضابرد 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 فروسرخ نزدیک (۰/۸۶–۰/۵۲ میکرومتر) با تفکیک مکانی ۱۵ متر و با قابلیت فراهم ساختن دید سه بعدی با استفاده از دو مؤلفه nadirو backwardدر باند سوم، شش باند در محدوده فروسرخ موج کوتاه(۲/۴۳–۱/۶) با تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند در محدوده فروسرخ گرمایی (۱۱/۶۵۰-۱۱/۵) با تفکیک مکانی ۹۰ متر، در اختیار کاربران قرار می دهد. داده های فروسرخ موج کوتاه سنجنده استر در محدوده باند ۲ 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 فروسرخ موج كوتاه داراى بيشترين پتانسيل براى بررسى تركيب شيميايي مواد زميني است(ASTER User Guide, 2001).

انجام هریک از تکنیک های پیشرفته پردازش داده های ابرطیفی، مستلزم شناخت رفتار طیفی کانی های موجود در منطقه مورد مطالعه می یاشد. مواد زمینی دارای سیماهای طیفی خاصی در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک، فروسرخ میانی و فروسرخ گرمایی طیف الکترومغناطیس هستند (شکل ۴). آهن های فریک و فرو در کانی های حاوی اکسید آهن دارای سیماهای طیفی منحصر به فردی در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و در نزدیکی طول موج ۱ میکرومتر هستند.

یون آهن فریک، اشکال جذبی در ۲/۰، ۵/۰ و ۷/۰ میکرومتر نشان می دهد و یون آهن فرو در ۲۴/۰، ۵۵/۵۷ ۲۰/۰، ۱ و۲-۸/۱ میکرومتر سیماهای طیفیایجاد 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 فروسرخ میانی طیف الکترومغناطیس در محدوده ۲/۱-۲/۴ به علت وجود بنیان های HO-A، Mg-OH، Mg-OH، در محدوده میهولیت مربوط به Fe وMg-OH، در بیوتیت، هورنبلند، کلریت و اپیدوت است آمفیبولیت مربوط به Fe وHO-OH در بیوتیت، هورنبلند، کلریت و اپیدوت است مانند سیلیکات ها، کربنات ها، اکسیدها، فسفات ها، سولفیدها، نیترات ها و هیدروکسیل در ناحیه فروسرخ 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 روزنه جوی است و در سنجش از دور قابل استفاده نیست، اماسیمای 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، هیدروکسیل 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 اگزواسکارن 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 مرئیو فروسرخ نزدیک (VNIR) و فروسرخ میانی (SWIR) و فروسرخ گرمایی (TIR)طیف الکترومغناطیس مورد بررسی قرار گرفت.

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 شیست ها و ماسه سنگ های دگرگون شده پرکامبرین پوشیده می شوند. سنگ های متعلق به پرکامبریعمدتا أدر نزدیکی و مجاورت جاده خواف- تایباد به صورت تپه های تیره رنگ با روند شمال غربی- جنوب شرقیوغربی-شرقی به طول ۵ کیلومتر و عرض حداکثر یک کیلومتر برونزد دارند. به سمتشرقوجنوب شرق، گرانیت 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 دگرشیببا 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 میچ پوشش سنگی دیگری بر روی آنها وجود ندارد. از نظر ظاهری، این سنگ ها دارای رنگ سبز روشن تا تیره می باشند و لایه ریولیتی به رنگ سفید در میان آنها یافت می شود. سنگ های آهکی اصلی و لنزهای آهن دار دارای پراکندگی زیاد در منطقه می باشد. آهک ها در مجاورت گرانیت ها 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 ارکله ً 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 گرانیتی سرنوسر و برمانی به ترتیب در شمال و جنوب منطقه می باشد که با فشارهای حاصل از نفوذ، باعث ساخت های مهم تکتونیکی 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) (معدنكاو، ١٣٨۵).

کانی سازی معدن سنگان از نوع اسکارن است. درمنطقه مرکزی،زون بندياسكارنبهخوبيديدهمي اسکارن شود. هايسنگان،طيدومرحلهاوليهدمابالاياپيشرونده (I وII) ودومرحلهدما پايين ترياپسرونده (IV و IV) بهوجودآمده است.درمرحله اسنگ آهككلسيتيتوسطاسكارنمجاورتيجايگزين شده كه اين مرحلهباگارنتآندراديتيفراوان مشخص می شود.مرحله II بامجموعهأندرادیتی-هدنبرگیتی،مرحله III به طورعمدهباآمفيبولغنياز آلومينيم (هاستينگزيت) ومرحله IV باآمفيبولكم آلومينيم(فرواكتينوليت،كلريتومگنتيت)ازيكديگرمتمايزميشوند(مظاهري،١٣٧٧). در منطقه دردوی، پاراژنزکانی سازی مگنتیتعبارت استاز: فلوگوپيت، آندراديتوكربنات. اينتودهبه دليل بالابودنعيار آهنوذ خيرهونا چيزبودنميزان Beg،بهعنوانباارزش ترین تودهدراینمنطقهشناختهشده است (Mazaheri, 1995). در منطقهباغک،مگنتیتبه صورتلایه ایهمراهبادولومیتیافتمی شود. پاراژنزكانى سازيمگنتيتشاملدولوميت،كلينوكلر،فورستريت، آمفيبول وفلوگوپيتاست (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 بیشتربهشکلمگنتیتاستکهبه صورتتوده ایوچینه کراندردوطرفیکزبانهگرانیتیوجوددارد. کلریت، سرپانتین، فلوگوپیت و



مجله زمين شناسي كاربردي پيشرفته

آمفیبول در بین کانی های دگرسانی دیده می شوند. همچنینمگنتیت، کانه اصلی را در آنومالی معدن جو تشکیل می دهد و سنگ میزبان آن، آهک ها و آهک هايدولوميتيدگرگونشده است. شكلكليتودهكانساررامی توانبه صورتچينه كراندرنظر گرفت، كهدريكسمتآن، اسكارن هاى گارنت-پيروكسن-اسكاپوليت بنديآنرابه ميزبانشدهولايه آهک جانشين طوركاملازبينبردهودرسمتديگرآن،آهكتبلورمجدديافته ايديدهمي شود كه لايه بندی خود رابه طورکاملحفظکرده است. درسنجدک ۲ و ۳ وآنومالی سم آهنى،رگچە هاياكسيدآهن (پولك هاياسپكيولاريت)،هماتيتوگوتيتدرآهك ها،شيل هاو سنگ هایسیلتیمنطقهدیدهمی شود. واحدهایماسه سنگیوکنگلومراییدر سنجدک ۲، توسطگسل،ازبخشآهکیکهحاویتوده های کوچک و بزرگی از هماتیت، گوتیت و باریت است، جدا می شوندودرآنومالی سم آهنی، آمفیبول و پیروکسن-اسکاپولیت با مرز مشخصی از گرانیت سرنوسر جدا می شود. هماتیت،گوتیتولیمونیتبهاشکاللایه ای،عدسیبزرگ،توده ای،رگه ای و رگچه ای، عمدتا أ به حالت پودری در منطقه فرزنه دیده می شود.اینکانه ها، شکل بلوری خاصی ندارند و فقط بافت گل کلمی دربعضیازگوتیت هامشاهدهگردید (یزدی وهمكاران، ۱۳۸۸؛ حاج على، ۱۳۸۶).

داده ها و روش تحقیق

پردازش داده های ماهواره ای

داده های مورد استفاده در این تحقیق دارایسطحپیشپردازشL1B است. داده های L1B 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 بهنجارسازیداده های L1B و تبدیل آنها به داده های بازتاب سطحی صورت گرفت که عبارتند از: روشنایی عرض مسیر(Cross-track Illumination) و میانگین بازتاب نسبی درونی (Internal Average Relative Reflectance (IARR).

روی را روشنایی عرض مسیر برای از بین بردن اثرات سایه روشن های تدریجی در تصویر، اثر دستگاه های روبشگر و روشنایی های 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 تأمینمی شود. فرآیند استخراج طیف عضوهای انتهایی در تصاویر استر شامل دخالت کمترین نوفه ((Minimum Noise Fraction (MNF))ب منظور به حداقل رساندن نوفه و تعیین ابعاد اصلی داده ها، اندیس خلوص پیکسل منظور به حداقل رساندن نوفه و تعیین ابعاد اصلی داده ها، اندیس خلوص پیکسل منظور به مودار پراکند گی n-بعدی برای استخراج طیف های انتهایی و نظارت بصری طیفی، نمودار پراکند گی 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

and Lefkoff, 1993; 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).

نوفه سیستم به طراحی گیرنده و فاکتورهای دیگر از قبیل عملکرد/ حساسیت آشكارگر، توان تفكيك مكاني/ طيفيو نوفه سيستم الكترونيكي مربوط مي شود. به هرحال، میزان نوفه برای سنجند معمولا ^{*} 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., (1999; Green et al., 2003). 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 فروسرخ 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 جزئيات كمتر در نتايج خواهد شد (Kruse et al., 2001; موجب استخراج مزئيات 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 قبلا توضیح داده شد، در این تحقیق، داده های سطح L1B 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 غیرمتراکم، 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. برداريمواد هايسنجنده بااستفادهازداده زمينى نقشه هايابرطيفيازمهمتريناهدافياستكهدرسال هاياخيردردور سنجيزمين شناختيبهآنپرداختهمی شود. ازجملهتکنيک هايپيشرفتهپردازشايننوعداده هايماهوارهايكهباهدففوقبهكار مي روند،انديسخلوصپيكسل Pixel Purity) (Index)، فيلتر گذاريتطبيقي (Matched Filtering)، دخالتكمتريننوفه (Minimum Noise Fraction)،وتطبيقسيمايطيفي (Spectral Feature (Fitting رامی تواننام برد.

نسبت گیری باندها(Band Ratioing)

در دورسنجی زمین شناختی، 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 بهحداقلمی رسد.علاوه بر آن، وضوح این تصاویر، نسبت به تصاویر باندهای مجزا بیشتر است، زیرا نسبت گیری اثرتفاوت در منبع روشنایی را از بینمی برد(Vincent ,1997). 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 فروسرخ نزدیک و افزایش به طرف باندهای ۴ و ۵ است و می توان از نسبت ۳/

www.SID.ir



مجله زمين شناسي كاربردي پيشرفته

بهار ۹۳، شماره ۱۱

برای آشکارسازی استفاده کرد (شکل ۵) (,.2005Rowan et al). 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.



شکل ۵. تصویر نسبت گیری باند ۵/۳

مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته

باندهای ۱۰–۱۴ استر برای آشکارسازی کوارتز و کربنات مفید هستند :قشه بره (SAM) ۲۲ (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 فروسرخ میانی است. کانی های مافیک مانند (1993) al., 1993) بیدوتوهورنبلنددارای سیماهای جذبی در باند ۳۱ و به وسیله مح کوارتز،میکاومیکروکلین، دارای سیماهای طیفی در باند ۱۱ و ۲۱ استکه به دلیل فضای چند جابجایی باند رستشترالن به طرف طول موج های بلندتر در نتیجه تغییر در ترکیب تعیین می گر 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 وهمچنین 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.

تصویربرداری باند جذب نسبی Relative Absorption Band) (Relative Absorption Band)

کُراولی وهمکاران(Crowley et al., 1989)تصاویر نسبت ویژه ای را برای نمایش کنتراست طیفی سیماهای جذبی به کار گرفتند. در روش تصویربرداری باندجذب 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 آنمی باشد. بر همین اساس و با استفاده از رفتار طیفی مواد زمینی در بخش های مختلف از طیف الکترومغناطیس، نسبت ۲۹/۸ برای بارزسازی اندواسکارن (کلریت، اپیدوت و آمفیبول)، نسبت ۲۹/۸ برای بارزسازی ترکیبات کربنات کلسیمی از استفاده از نسبت های ۲۹/۸ و ۲/۸۰۶ همراه با باند ۱ (قرمز: باند ۱، سبز: ۲۹/۸، آبی: ۲/۸۹) 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 وعضا ً زرد قابل مشاهده است. سایر رخنمون ها با رنگ های بنفش و سرخابی قابل تمایز هستند.

نقشه برداری زوایه طیفی Spectral Angle Mapping) (SAM)

نعشه 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 زاویه 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 روشناییبی تفاوت خواهد بود.پیکسل های روشن، کمترین جورشدگی و پیکسل های با درجه روشنایی کمتر، بیشترین جورشدگی را با طیف مرجع نشان می دهد(292, 1992).

فن نقشه برداری زوایای طیفی بر روی پنجره های انتخابی و با استفاده از طیف آزمایشگاهسازمان 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 درسنجدک ۱ می باشد. کانی سازی درآنومالی معدن جو بیشتر مگنتیتی (شکل ۱۱)، ودر آنومالی فرزنه 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 فرزنه) بیشترشرقی- 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.

ناآمیختگی 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 عضوهای 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 عضوهای انتهایی موجود در آن پیکسل است. اگر مقیاس مخلوط شدگی بزرگ باشد، مخلوط شدگی به شکل خطی است.دو روشکاملا ^{*} مختلف در تکنیک ناآمیختگی استفاده می شود: عضوهای انتهایی شناخته شده (براساس طیف تصویر یا طیف های آزمایشگاهی) و عضوهای انتهایی ناشناخته (براساس استخراج عضوهای انتهایی از داده های طیف سنج تصویری).

از آنجا که در این تحقیق، عضوهای انتهایی، شناخته شده هستند و با روش های مختلف پردازش، بارزسازی آنها صورت گرفته است، لذا از روش عضوهای 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.

٢٣

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

نتيجه گيري

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 فروسرخ نزدیک، فروسرخ میانی و فروسرخ گرماییسنجنده 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 تسیری و ایجاد تصاویر ترکیب رنگی با استفاده از باندهای فروسرخ گرمایی به ویژه با توجه به ویژگی های طیفی کانی های موجود در زون های اسکارنی، جداسازی و تفکیکواحدهای کربناته، اندواسکارن و اگزواسکارن را از دیگررخنمون های سنگی و نقشه برداری آنها را میسرساخت. بااجرای فن نقشه برداری زوایای طیفی و ناآمیختگی طیفی خطی به کمک طیف های آزمایشگاهی، انواع کانی سازی های آهن مگنیتی، هماتیتی، گوتیتی و لیمونیتی در منطقه سنگان نقشه برداری و از

۲۶ ندیگر تفکیک و واحدهای کربناتی مرتبط با کانی سازی ها، بارزسازی شد. نتایج روجی از پردازش داده های ماهواره ای در این تحقیق با مطالعات پیشین انجام شده در منطقه مطابقت داشته ونتایج به برخی پارامتر ها از قبیل: زاویه آستانه، طیف نمونه های دستی و آشنایی با عضوهای انتهایی و ترکیب شیمیایی آنها وابسته است. مطغلاً در پردازش داده ها، حضور برخی از عضوهای انتهایی ممکن است نادیده انگاشته شود، اما در مجموع می توان گفت دورسنجی یک روش قابل است نادیده انگاشته شود، اما در مجموع می بان 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 درنقشه برداری های زمین شناختی به دنبال خواهد داشت، هر چند که اظهارنظر قطعی در مورد کانی سازی ها نیازمند بازدیدهای صحرایی و مطالعات دقیق تر است.

تشكر و قدرداني

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. تلفیقنتایجبررسیهایدورسنجیومطالعاتژئوفیزیکهواییدربررسیپتانسیلمعدنی محدوده۲۵۰۰۰۱۰نارک،چهاردهمینکنفرانسژئوفیزیکایران، مقالاتپوستری،دورسنجی،ص۳۰۲.
 - حاج على، م.، ١٣٨٤.كانى شناسى،ژئوشيميوژنز كانسار آهنسنگان(آنوماليشرقى)خواف،خراسانرضوى، پايان نامهكار شناسيار شد،دانشگاهشهيدبهشتى، ١٥٠ص.
 - 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،آلتراسیونسنگ ومثال هاییاز IOCG منشأومحیطتکتونیکیکانسارهای ایران،مجموعهمقالاتیازدهمینکنفرانسبلورشناسیوکانی شناسیایران،دانشگاهیزد،ص ۱۸۹–۱۸۴.
- کریم پور،م.ح.، سعادت،س.،وملک زاده شفارودی،آ، ۱۳۸۱.شناساییومعرفیکانی سازینوع Fe-Oxides Cu-Auومگنتیتمرتبطباکمربند ولکانیکی- پلوتونیکیخواف- کاشمر-بردسکن،بیستویکمینگردهماییعلومزمین.
- کریم پور،م.ح، ملکزادهشفارودی،آ.،۱۳۸۶.ژئوشیمی کانی شناسیزون هایاسکارنیوپترولوژیسنگمنشاء کانسارسنگآهنسنگانخراسانرضوی،فصلنامهعلومزمین،سال ۱۷،ش. ۶۵، ص ۱۱۴–۱۰۸.
 - مظاهري،س.ا.، ١٣٧٧.مطالعهشيميكاني هادراسكارنهايآهن دارسنگانخراسان،خلاصهمقالاتهفدهمينگردهماييعلومزمين،ص١٩٤-١٨٩.
 - مظاهری، س.ا.، ۱۳۷۹. معرفیآمفیبول هایناحیهسنگانخواف،هشتمینهمایشبلورشناسیوکانی شناسیایران،دانشگاهفردوسیمشهد،ص ۱۶۸–۱۶۴.
 - معدنكاو، ۱۳۸۵. گزارش نقشه ۱:۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰، كانسارهاى آهن محدوده شرق سنگان.
 - معدنكاو، ۱۳۸۶. نقشه زمين شناسي ۱:۲۰۰۰ آنومالي هاي شرقي 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 شفارودی، آ.، کریم پور، م. ح.، ۱۳۹۰. پردازش داده های سنجنده آستر 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. پردازشطیفیپیشرفتهدادههای سنجندهاستردرنقشه برداری زون های دگرسانی ذخایر مس پرفیری،مجموعهمقالاتنهمینهمایشانجمن زمینشناسیایران، 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 ممزار-کوه چنج در استان کرمان . فصلنامه علمی و پژوهشی علوم زمین ، ص ۱۰–۱۲۷.

یزدی، م.، بهزادی، م.،حاجی علی، م.،۸۸۸۱. کانی سازیآهندرآنومالیشرقیسنگان،شمال شرقایران، فصلنامهعلمی-پژوهشیزمین شناسیومحیطزیست، سال۳،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.

بهار ۹۳، شماره ۱۱

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 Taranik, J.V., 1998. Hydrothermal alteration mapping atBodie, California, using AVIRIS hyperspectral data. Remote Sensing of Environment, Vol:65, p: 309–319.
- Crowley, J.K., Brickey, 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. PhotogrammetricEngineering and Remote Sensing, Vol:57, p: 1163–1169.
- MalekzadehShafaroudi, 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-alteredrocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using advanced Spacebornethermal emission and reflection radiometer (ASTER) data and logicaloperator 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 mineralogicalalteration using principal component analysis and matchedfilter 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.

بهار ۹۳، شماره ۱۱

Rowan, L.C., Robert, G.S., John, C., 2006.Distribution of hydrothermallyaltered rocks in the RekoDiq, Pakistan mineralized area based onspectral 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 analysistechniques 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. andMoore, 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 cellspecific expression patterns of early and late gibberellin biosynthetic genes during Arabidopsis seed germination. Plant J. Vol: 28, p:443–453.