



# سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال ششم، شماره یکم، بهار ۱۳۹۳  
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.6, No.1, Spring 2014

۱۱۸-۱۰۳

## تهیه نقشه دگرسانی در سامانه اپی ترمال مطرآباد، جنوب استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های دورسنجی سنجنده ASTER

محمدحسن احمدی<sup>۱</sup>، غلامحسین شمعانیان\*<sup>۲</sup>، شعبان شتایی<sup>۳</sup>

۱ و ۲. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان  
۳. گروه جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱

### چکیده

سامانه اپی ترمال مطرآباد واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب غرب بجنستان در مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی حدواسط تا اسیدی واقع شده است. کانی‌سازی به صورت رگه‌ها، رگچه‌های نامنظم و برش‌های گرمایی نمایان می‌شود. دگرسانی گرمایی در اطراف رگه‌ها شکل می‌گیرد و شامل مجموعه‌های سیلیسی (۵ < متری رگه‌ها)، سریسیتی (۱۰ < متری رگه‌ها)، پروپیلیتی (۵۰-۳۰ < متری رگه‌ها) و رسی است. در این مقاله، توزیع مکانی مجموعه‌های دگرسانی گرمایی با استفاده از داده‌های سنجنده آستر بررسی شده است. برای این منظور، روش‌های مختلف پردازش تصاویر از قبیل ترکیب رنگی کاذب، نسبت‌گیری باندی، آنالیز مؤلفه اصلی و طبقه‌بندی تصاویر آزمون شده‌اند. ترکیب رنگی ۸۶۴ (RGB) و ترکیب نسبتی (۴/۵، ۴/۸، ۴/۹) برای شناسایی مناطق دگرسانی مناسب تشخیص داده شدند. تفکیک مجموعه‌های دگرسانی و تهیه نقشه دگرسانی بر پایه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده انجام شده است. تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و دورسنجی نشانگر قابلیت روش نسبت‌گیری باندی و آنالیز مؤلفه اصلی در شناسایی مجموعه‌های دگرسانی منطقه مطالعه شده است.

**کلیدواژه‌ها:** اپی ترمال، دگرسانی گرمایی، سنجنده آستر، نسبت‌گیری باندی، آنالیز مؤلفه اصلی.

## ۱- مقدمه

مطالعات دورسنجی بر پایه اندازه‌گیری بازتابشی پدیده‌ها از راه دور بنا شده است و می‌تواند بازشناسی عوارض و پدیده‌های روی زمین را بدون تماس مستقیم با آنها انجام دهد. بر پایه این مطالعات می‌توان مجموعه‌های کانی‌شناسی و سنگی گوناگون را از یکدیگر تفکیک کرد (Azizi et al., 2010; Bedini, 2011) و اطلاعات زمین‌شناسی و اکتشافی موردنیاز عملیات اکتشاف را در کوتاه‌ترین زمان ممکن فراهم آورد. بازشناسی مناطق دگرسانی به دلیل ارتباط زمانی و مکانی با فرایندهای کانی‌سازی و سهولت بارزسازی به‌وسیله روش‌های دورسنجی، اهمیت ویژه‌ای دارد (Galvao et al., 2005). از این رو، تهیه نقشه‌های دگرسانی از کاربردهای اصلی مطالعات دورسنجی به‌شمار می‌آید (Massomi & Ranjbar, 2011).

امروزه، تصاویر سنجنده آستر<sup>۱</sup> (پرتوسنج حرارتی تابشی و بازتابی فضا برد پیشرفته) گرفته شده از ماهواره تریا با داشتن ۱۴ باند طیفی، به‌ویژه وجود ۶ باند در فروسرخ طول موج کوتاه<sup>۲</sup> (SWIR)، امکان بازشناسی مناطق دگرسانی با دقت بالا را فراهم آورده است (Sojdehei et al., 1907). سه باند طیفی اول این سنجنده که با نام مرئی و فروسرخ نزدیک<sup>۳</sup> (VNIR) شناخته می‌شوند، در طول موج ۰/۵۲-۰/۸۶ μm با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر دریافت می‌شوند. شش باند طیفی دوم، موسوم به تصاویر فروسرخ با طول موج کوتاه در طول موج ۱/۶-۲/۴۳ μm با قدرت تفکیک ۳۰ متر و پنج باند سوم، معروف به تصاویر مادون سرخ حرارتی<sup>۴</sup> (TIR)، در طول موج ۸/۱۲۵-۱۱/۶۵ μm با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر، دریافت می‌شوند (Abrams et al., 1983).

در سال‌های اخیر پژوهشگران متعددی در ایران و جهان (برای مثال Dehghani et al., 2004; Yousefan et al., 2010; Azizi et al., 2010) از داده‌های ماهواره‌ای مانند ETM+، TM و باندهای SWIR سنجنده آستر به‌منظور بارزسازی مناطق دگرسان استفاده کرده‌اند. این

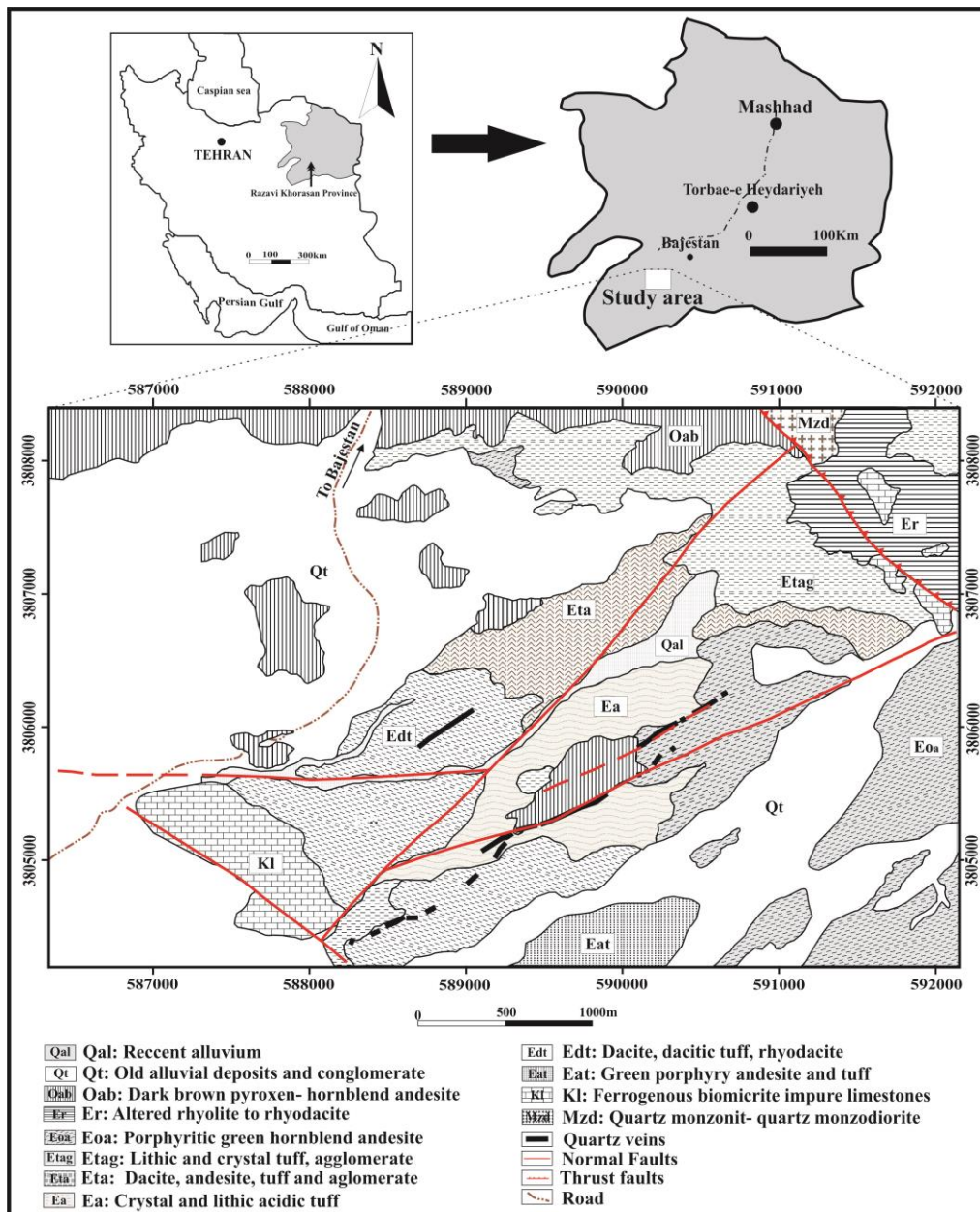
مطالعات اغلب روی کانسره‌های پورفیری با هاله‌های دگرسانی وسیع انجام شده است. در طیف‌های بازتابی که ابعاد هریک از سلول‌های تصویر حداقل ۱۵ متر است، طیف بازتابی برخی از کانی‌های دگرسانی حذف می‌شود و شناسایی آنها را با مشکل مواجه می‌سازد (Tommaso & Rubinstein, 2007; Rowan et al., 2006).

این مشکل در هاله‌های دگرسانی کانسارهای اپی‌ترمال که در اغلب موارد عرض‌شان کمتر از حد تشخیص روش‌های دورسنجی است، مشاهده می‌شود و از موانع بارزسازی این هاله‌ها در مطالعات دورسنجی به‌شمار می‌آید.

در پژوهش حاضر کوشش شده است با استفاده از تصاویر چندطیفی آستر و به‌کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصاویر، افزون بر تفکیک و به‌نقشه درآوردن مجموعه‌های دگرسانی سامانه اپی‌ترمال مطرباد واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان بجستان (شکل ۱)، قابلیت هریک از این روش‌ها آزمون شود و انواع مناسب معرفی گردد. سامانه اپی‌ترمال مطرباد با موقعیت جغرافیایی ۵۷°۵۸' طول شرقی و ۳۴°۲۳' عرض شمالی در بخش شمالی بلوک لوت واقع شده است. برای دسترسی به منطقه می‌توان از جاده آسفالت مشهد - تربت حیدریه - بجستان و سپس جاده بجستان به ابوالخازن استفاده کرد. مطالعات قبلی در سامانه مطرباد به‌طور عمده شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ طهرآباد (Karimpour et al., 2005)، اکتشافات زمین‌شیمیایی ناحیه‌ای به‌روش رسوب رودخانه‌ای (Azmi & safari, 1383)، اکتشافات زمین‌شیمیایی نیمه‌تفصیلی (Azmi & Safari, 1906) و مطالعات کانی‌شناسی و دگرسانی گرمایی (Ahmadi, 1911) بوده است.

1. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
2. Short-Wave Infrared Radiometric
3. Visible and Near - Infrared Radiometric
4. Thermal Infrared Radiometric

تهیه نقشه دگرسانی در سامانه اپی ترمال مطرآباد، جنوب استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های دورسنجی سنجنده ASTER



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده سامانه اپی ترمال منطقه مطالعه‌شده

منبع: با تغییرات از عزمی و هادی‌زاده، ۱۳۸۸

با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب<sup>۱</sup> (GPS) گارمین مدل 76CSx ثبت شد. در بررسی‌های آزمایشگاهی، همه نمونه‌ها پس از آماده‌سازی، به روش‌های مرسوم میکروسکوپی از نظر بافتی و کانی‌شناسی مطالعه و

## ۲- مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر مطالعات در سه بخش صحرائی، آزمایشگاهی و دورسنجی انجام گرفت (شکل ۲). در بررسی‌های صحرائی، کلیه واحدهای سنگی تفکیک شدند و از واحدهای مختلف و مناطق دگرسانی نمونه‌برداری شد. موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها

1. Global Positioning System

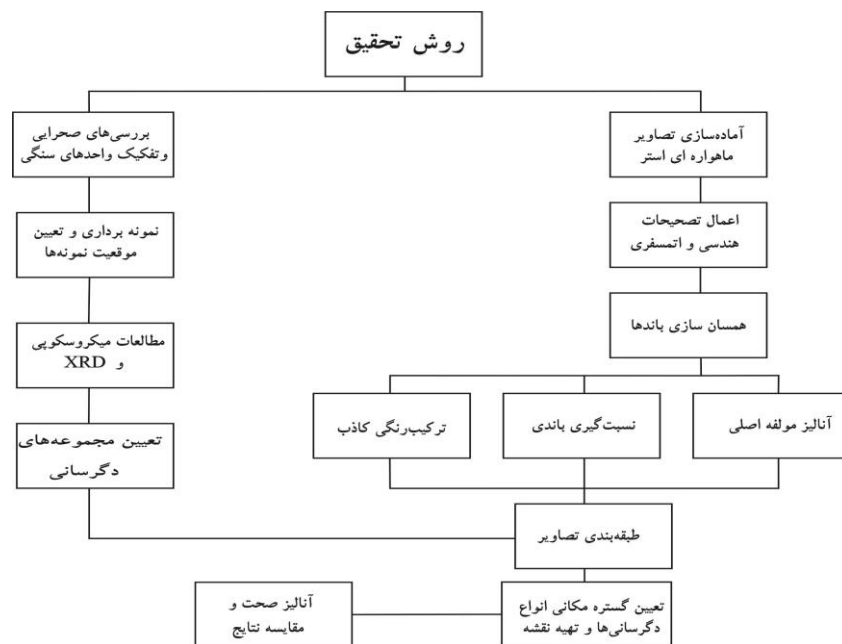
پانوراماتیک، بی‌ثباتی سکوها و خطای تجهیزات (Abdi et al., 2010)، دچار خطای هندسی زیادی می‌شوند که نیاز به تصحیحات هندسی به روش‌های مختلف دارند. این تصحیحات در پژوهش حاضر به روش نقاط کنترل زمینی و با استفاده از نقاط برداشت‌شده طی بررسی‌های صحرایی و نقشه‌توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ انجام شدند.

تصحیحات اتمسفری با توجه به قرارگیری منطقه مطالعه‌شده در بخش شمالی بلوک لوت و وجود آب‌وهوای خشک و پوشش گیاهی پراکنده در منطقه، به روش واسنجی<sup>۲</sup> بازتاب متوسط نسبی داخلی<sup>۳</sup> انجام شد (Abdi et al., 2010). در این حالت مقادیر عددی<sup>۴</sup> هر سلول تصویر به‌عنوان بازتاب سطحی مربوط به هر پدیده (Tommaso and Rubinstein, 2007) در نظر گرفته شد.

بررسی شدند. کانی‌های رسی و سایر کانی‌های مجهول، به روش پراش پرتو ایکس (XRD) و با استفاده از دستگاه دیفرکتومتر فیلیپس مدل PW1800 متعلق به شرکت کانساران بینالود شناسایی شدند.

انجام مطالعات دورسنجی نیازمند آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای و اعمال برخی تصحیحات روی آنهاست. به‌منظور مطالعات دورسنجی و بارزسازی مناطق دگرسانی، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای آستر که در سال ۲۰۰۶ تصویربرداری شده و نرم‌افزارهای PCI Geomatica، ENVI و EDRISI استفاده شد.

ابتدا، به‌منظور مرمت تصاویر که بر اثر خطای ابزار اسکن‌کننده یا اشتباه در انتقال، ثبت و نسخه‌برداری باعث بروز خط‌های گمشده<sup>۱</sup> در تصاویر می‌شود، بررسی‌های اولیه برای انجام تصحیحات اطلاعاتی انجام شد. داده‌های ماهواره‌ای به‌دلیل انحنا و چرخش زمین، ناهمواری‌های سطحی، ارتفاع سنجنده، انحراف



شکل ۲. روندنمای ساده‌شدهٔ مراحل انجام کار در این تحقیق

1. Missline
2. Calibration
3. Internal average relative reflectance
4. Digital number

صحرائی و همخوانی امتداد رگه‌ها با گسل‌ها نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری در توزیع مکانی رگه‌ها را نشان می‌دهند. کانی‌شناسی کانسنگ به‌طور عمده شامل پیریت، گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، کوارتز و آمیتیست است. کولیت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، سروریت و ملاکیت از مهم‌ترین محصولات فرایندهای برون‌زاد هستند. شواهد صحرائی و همراهی‌های کانی‌شناسی و بافتی (Ahmadi, 2011) چهار مرحله کانی‌سازی را در توالی پارائزنی این سامانه شناسایی کردند.

### ۳-۲- دگرسانی گرمایی

مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی در سامانه مطرآباد، نشان‌دهنده دگرسانی گرمایی به دو صورت جانشینی کانی‌های قبلی و نهشت مستقیم در فضاهای خالی و شکستگی‌هاست. کوارتز، آدولاریا، سریسیت، ایلیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت و کائولینیت از مهم‌ترین محصولات دگرسانی گرمایی هستند. بررسی مجموعه‌های دگرسانی دلالت بر دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتی و رسی در سامانه مطالعه‌شده دارد که با حضور کوارتز، کلسدون، آدولاریا و پیریت برای دگرسانی سیلیسی ( $5 < \text{متری رگه‌ها}$ )، سریسیت، ایلیت و کوارتز برای دگرسانی سریسیتی ( $10 < \text{متری رگه‌ها}$ )، اپیدوت، کلریت، کلسیت و پیریت برای دگرسانی پروپیلیتی ( $50-30 < \text{متری رگه‌ها}$ )، کائولینیت و ایلیت برای دگرسانی رسی مشخص می‌شوند (شکل ۳). وجود کائولینیت در مجموعه‌های دگرسانی سامانه مطرآباد با استفاده از روش XRD بررسی شد. اگرچه این کانی در برخی از نیمرخ‌های مطالعه‌شده در هاله‌های چند سانتی‌متری در مجاورت بلافضل رگه‌ها مشاهده شد، اما عمدتاً در بخش‌های سطحی منطقه گسترش داشته و جانشین سنگ‌های آتشفشانی فلسیک به‌ویژه توف‌های داسیتی شده است. براساس شواهد صحرائی و کانی‌شناسی، تشکیل کائولینیت و گسترش دگرسانی رسی در این سامانه عمدتاً ناشی از عملکرد بخارات داغ میعان‌یافته در نواحی کم‌عمق و حاشیه‌ای سامانه گرمایی است (Ahmadi, 2011).

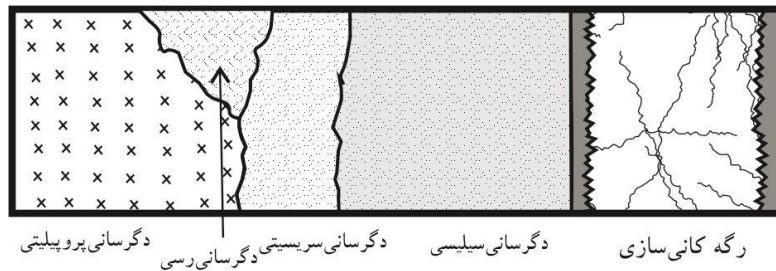
برای پردازش داده‌ها و دستیابی به نتایج مطلوب، پس از انجام تصحیحات هندسی و اتمسفری، همسان‌سازی ابعاد روی باندهای VNIR با درجه وضوح ۱۵ متر و باندهای SWIR با درجه وضوح ۳۰ متر انجام گرفت و ۹ باند با ابعاد سلولی ۳۰ متر به‌دست آمد. برای شناسایی گستره مکانی مجموعه‌های دگرسانی از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، فرایند نسبت‌گیری و ترکیب باندی، آنالیز مؤلفه اصلی و روش طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد و قابلیت هریک از آنها ارزیابی گردید. سرانجام با تلفیق یافته‌های صحرائی، آزمایشگاهی و دورسنجی، نقشه دگرسانی منطقه تهیه شد.

### ۳-۲- بحث و نتایج

#### ۳-۱- زمین‌شناسی و کانی‌سازی

سامانه اپی ترمال مطرآباد بخشی از ورقه زمین‌شناسی طاهرآباد (Karimpour et al., 2005) است. فعالیت‌های ماگمایی در این ورقه به‌طور عمده شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی متوسط تا فلسیک مشتمل بر سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی تراکیتی و تراکی‌آندزیتی، توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی و ریوداسیتی و توده‌های نفوذی دیوریتی تا گرانیتی است که ماهیت کلسیمی-قلیایی دارند و بر اثر فرورانش نامتقارن پوسته اقیانوسی به زیربلوک‌های لوت و افغان تشکیل شده‌اند (Arjmandzadeh et al., 2010). سنگ‌های رخنمون‌یافته در منطقه مطالعه‌شده عمدتاً شامل مجموعه‌ای از گدازه‌های آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری (Eat) و هورنبلند آندزیت (Eoa)، توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی و ریوداسیتی (Edt) و ریولیت‌ها و توف‌های داسیتی (Ea) هستند (شکل ۱). از بین این واحدها، واحدهای Eoa، Edt، و Ea میزبان رگه‌های کانی‌سازی‌اند (Ahmadi, 2011).

کانی‌سازی در سامانه مطرآباد از نوع شکافه‌پرکن است که به‌صورت برش‌های گرمایی و رگه‌های کوارتزی با گسترش طولی حدود ۱۵۰۰ متر و روند عمومی شمال‌شرقی-جنوب‌غربی تظاهر دارد. بررسی‌های



شکل ۳. مجموعه‌های دگرسانی گرمایی در اطراف رگه‌های کانی‌سازی و تغییرات کانی‌شناسی در سنگ دیواره

Ca- Ep-Chl	Cl- Ca	Ser- Qz-Ca	Qz- Ser- Ca	پلاژیوکلاز
Ep-Ca	Cl- Ca	Ser- Qz	Qz- Ser	فلدسپار پتاسیم
Chl- Ep		Ser- Chl	Ser- Chl	بیوتیت
Ep- Chl		Chl	Chl	هورنبلند
Ep- Chl		Chl	Chl	پیروکسن
				کوارتز

شکل ۳. مجموعه‌های دگرسانی گرمایی در اطراف رگه‌های کانی‌سازی و تغییرات کانی‌شناسی در سنگ دیواره (بدون مقیاس). اختصارات: کوارتز = Qz، سریسیت = Ser، کلسیت = Ca، کلریت = Chl، اپیدوت = Ep، کانی‌های رسی = Cl.

ترکیب باندی (Ninomiya, 2003) استفاده شد و کانی‌های هیدروکسیل دار (OHI)، کائولینیت (KLI)، آلونیت (ALI) و کلسیت (CLI) بر مبنای ترکیب باندی زیر از یکدیگر تفکیک شدند.

$$OHI = (band7 / band6) * (band4 / band6)$$

$$KLI = (band4 / band5) * (band8 / band6)$$

$$ALI = (band7 / band5) * (band7 / band8)$$

$$CLI = (band6 / band8) * (band9 / band8)$$

به منظور انتخاب مؤلفه مناسب برای هر یک از کانی‌های شاخص مجموعه‌های دگرسانی، باید افزون بر بارگذاری سایر باندها، به تفاوت بین مقادیر بارگذاری بین باندهای با بیشترین بازتاب و بیشترین جذب توجه شود. برای این منظور از نشانه‌های طیفی<sup>۱</sup> تهیه شده در سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) موجود در نرم‌افزارهای IDRISI و ENVI استفاده شد (شکل ۴).

#### ۴- پردازش تصاویر و استخراج گستره مکانی دگرسانی‌ها

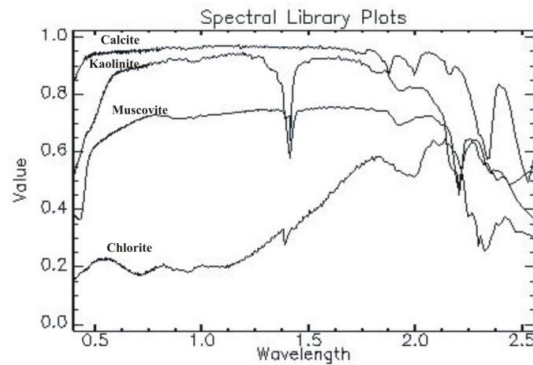
##### ۴-۱- نسبت‌گیری و ترکیب باندی

نسبت‌گیری‌های طیفی یکی از روش‌های رایج در پردازش داده‌ها و بارزسازی انواع پدیده‌هاست که بر حذف مقادیر ثابت تشعشع در باندها و شدت بخشی اختلافات طیفی بین پدیده‌ها استوار است (Zhang et al., 2007). در اغلب موارد، تصاویر حاصل از نسبت‌گیری باندی همخوانی آشکاری با تغییرات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نشان می‌دهند. این روش با کاهش آثار منفی عوامل نامناسب که اغلب در همه باندها با شدت‌های متفاوت وجود دارد، سبب بارزسازی عوارض خاص در داده‌های چندطیفی می‌شود (Gupta, 2003). با در اختیار داشتن اطلاعات کافی از خصوصیات طیفی پدیده مطالعه شده می‌توان پدیده‌های گوناگونی از قبیل واحدهای سنگی و مناطق دگرسانی را از یکدیگر تفکیک کرد.

برای تفکیک مجموعه‌های دگرسانی و تعیین گستره مکانی آنها، علاوه بر نسبت‌گیری باندی از روش

1. Spectral Library

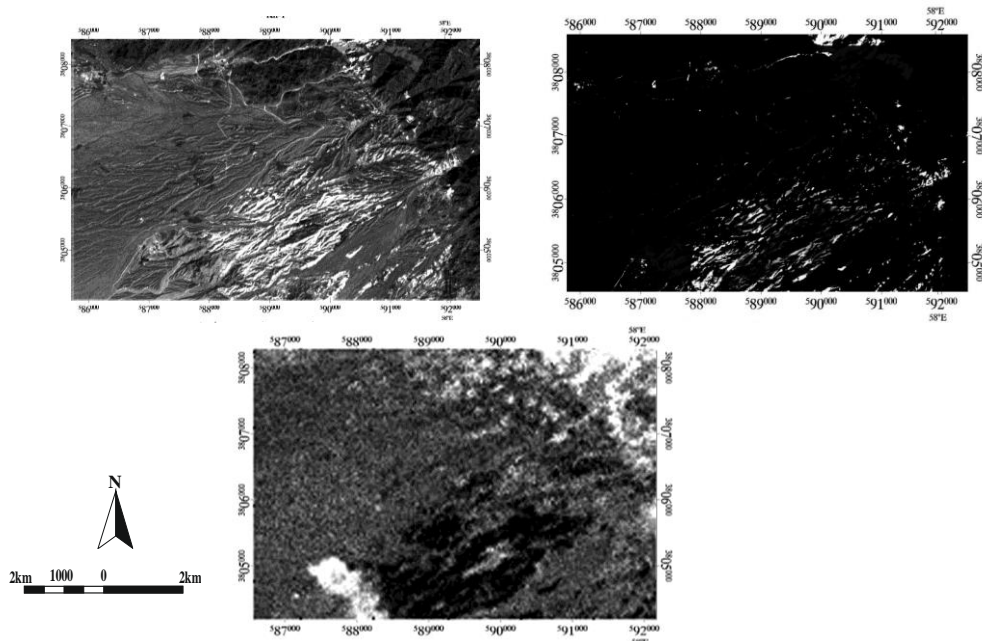
تهیه نقشه دگرسانی در سامانه اپی ترمال مطرآباد، جنوب استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های دورسنجی سنجنده ASTER



شکل ۴. نمودار رفتار طیفی کانی‌های مسکویت، کائولینیت، کلریت و کلسیت در طول موج‌های مختلف موجود در کتابخانه USGS. به عنوان مثال، برای کانی کائولینیت بیشترین بازتاب در باند ۴ و بیشترین جذب در طول موج باندهای ۶ و ۸ مشاهده می‌شود.

توجه به میزان جذب و بازتاب کانی‌های رسی به‌ویژه کائولینیت در باندهای ۵ و ۷، از نسبت باندهای ۵ به ۷ برای بارزسازی دگرسانی رسی استفاده شد. بارزسازی کلسیت و اپیدوت با استفاده از نسبت‌های باندهای ۶ به ۸ برای کلسیت و ۹ به ۸ برای اپیدوت انجام گرفت. نتایج حاصل از این نسبت‌گیری‌ها نشان از عدم کارایی نسبت‌گیری ساده باندهای ۵ و ۷ برای بارزسازی کائولینیت و کلسیت در منطقه مطالعه شده دارد. به این ترتیب، از شاخص‌های KLI و CLI برای بارزسازی و تعیین گستره مکانی این کانی‌ها استفاده شد (شکل ۵-ب، ج).

بررسی‌های اولیه نشان دادند که اکسیدهای آهن و کلریت به ترتیب در باندهای ۴ و ۵ دارای بیشترین بازتاب و به ترتیب در باندهای ۳ و ۸ دارای بیشترین جذب‌اند. بنابراین، بارزسازی و نمایش اکسیدهای آهن، و کلریت به ترتیب با استفاده از نسبت باندهای ۴ به ۳ و ۵ به ۸ انجام گرفت. به دلیل گسترش نسبتاً کم اکسیدهای آهن تصویر واضحی از گستره مکانی این نوع دگرسانی به دست نیامد، ولی کانی کلریت به دلیل رخنمون وسیع سنگ‌های آذرین حدواسط و فراوانی کلریت در این سنگ‌ها بارزسازی شد (شکل ۵-الف). با



شکل ۵. بارزسازی دگرسانی‌های پروپلیتی (الف)، رسی (ب)، کربناتی (ج) بر پایه روش نسبت‌گیری باندهای و شاخص‌های OHI، KLI، ALI و CLI. کلیه دگرسانی‌ها به رنگ روشن بارز شده‌اند.

#### ۴-۲- ترکیب رنگی کاذب

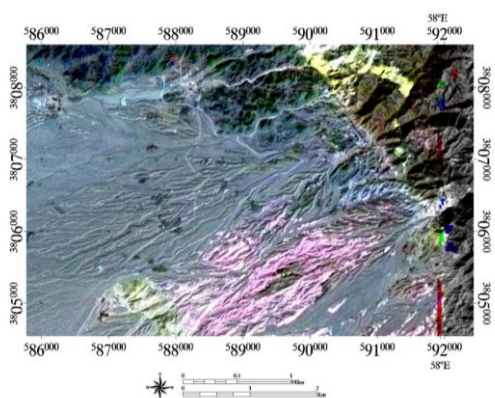
رنگ‌ها اطلاعات بصری و مفهومی فراوانی را در اختیار کاربران دورسنجی قرار می‌دهند. برای این منظور می‌توان از ترکیب رنگی بین باندهای با کمترین همبستگی استفاده کرد که به روش ترکیب رنگی کاذب انجام می‌شود. برای تعیین بهترین ترکیب رنگی می‌توان از فاکتور شاخص بهینه<sup>۱</sup> (OIF) استفاده کرد (رابطه ۱):

$$\text{OIF} = \frac{\sum_{k=1}^r S_k}{\sum_{j=1}^r r_j} \quad \text{رابطه (۱)}$$

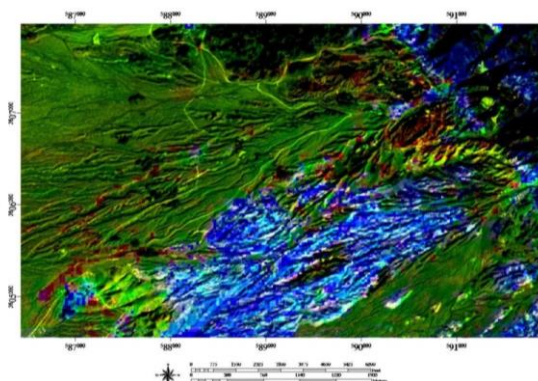
که در آن،  $S_k$  انحراف معیار باند  $K$  و  $r_j$  ضریب همبستگی دو باند از ترکیب سه باند است. هرچه مقدار

شاخص بهینه بالاتر باشد، ترکیب رنگی کاذب باندهای سه‌گانه برای تفکیک مناسب‌تر است (Yousefan et al., 2010). در منطقه مطالعه شده، از ترکیب رنگی کاذب بر پایه باندهای ۸۶۴ (RGB) و ترکیب نسبتی (۴/۵، ۴/۸، ۴/۹) استفاده شد؛ که کارایی خوبی در تفکیک مناطق دگرسان از غیردگرسان و آبرفت‌های عهد حاضر دارند (شکل ۶).

در ترکیب رنگی، به‌علت بازتاب بالای کانی‌های هیدروکسیل‌دار در باند ۴ نسبت به باندهای ۶ و ۸، پیکسل‌های تصویری دگرسانی پروپیلیتی رنگ سبز تیره و دگرسانی‌های سریسیتی و رسی به‌رنگ صورتی تا زرد مشخص می‌شود (شکل ۷).



شکل ۶. ترکیب رنگی (RGB 864) داده‌های Aster، کانی‌های ناشی از دگرسانی‌های رسی و سریسیتی به‌رنگ صورتی و دگرسانی پروپیلیتی به‌رنگ سبز تیره مشاهده می‌شوند.



شکل ۷. ترکیب نسبتی (۴/۵، ۴/۸، ۴/۹) برای بارزسازی مناطق دگرسان از غیردگرسان. مناطق دگرسان شده با رنگ آبی و مناطق غیردگرسان با رنگ سبز بارز شده‌اند.

#### 1. Optimum index factor



#### ۳-۴ - آنالیز مؤلفه‌های اصلی

چندطیفی در دستگاه مختصات جدید صورت می‌گیرد. بر مبنای این روش، نخستین مؤلفه اصلی (PC1)، دارای بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است. سایر مؤلفه‌های (PC2, PC3..., PCn)، به ترتیب حاوی درصد کمتری از واریانس ارزش‌های رقومی تصویرند (Sabins, 1999). از طرفی، برخی پدیده‌های نادر که فراوانی کمتری دارند در مؤلفه‌های بعدی به نمایش درمی‌آیند. با انجام روش آنالیز مؤلفه اصلی افزون بر ایجاد تصاویر، اطلاعاتی درباره آماره‌های هر یک از مؤلفه‌ها به دست آمد و همبستگی هر یک از مؤلفه‌ها با باندهای تصاویر محاسبه شد (جدول ۱).

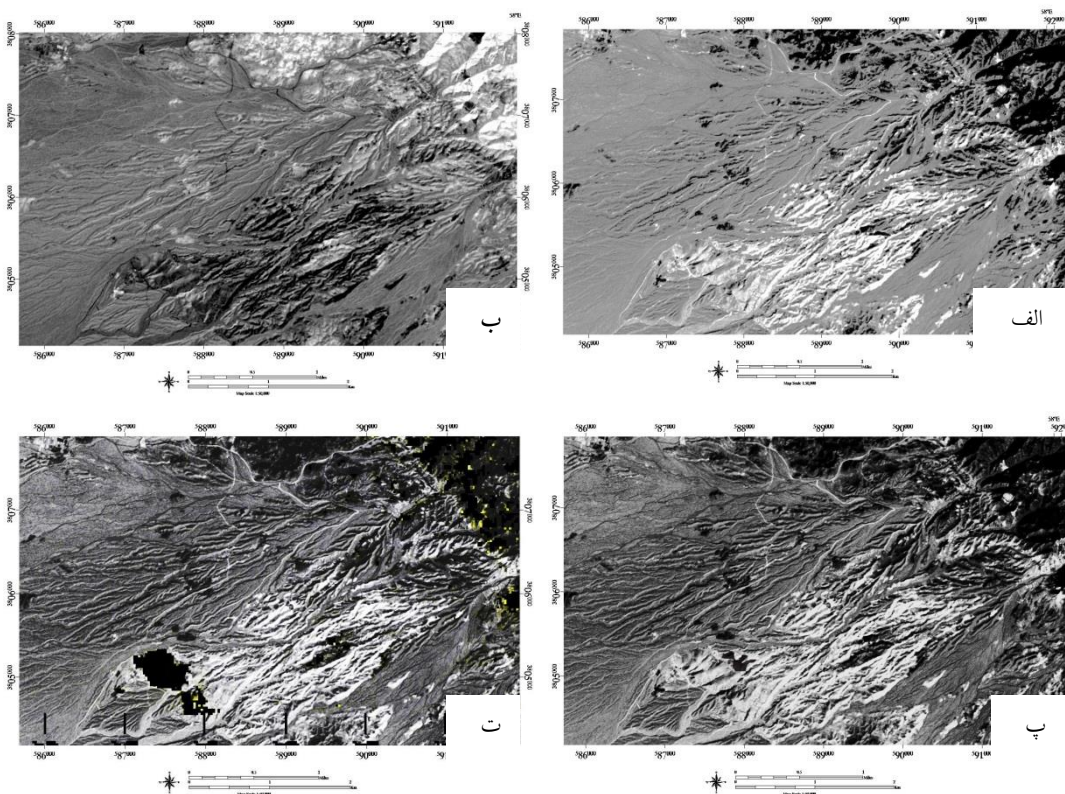
باندهای تصویر آستر در مناطقی با پدیده‌های همگن، همبستگی زیادی با یکدیگر دارند. در این شرایط، تصاویر ایجاد شده از داده‌های رقومی ناشی از طول موج باندهای مختلف، اغلب شبیه به یکدیگر به نظر می‌رسند و اساساً اطلاعات مشابهی را منتقل می‌کنند. این تشابه و ارتباط باندها با یکدیگر باعث به وجود آمدن اطلاعات اضافی می‌شود. اگر این داده‌های اضافی کاهش یابند، مقدار داده‌هایی که برای توصیف تصاویر چندطیفی نیاز است، به صورت فشرده درمی‌آیند (Ranjbar, 2010). آنالیز مؤلفه‌های اصلی، روشی برای حذف یا کاهش داده‌های زائد است که با فشرده کردن مجموعه داده‌های

جدول ۱. ضرایب مربوط به سهم اطلاعات انتقالی هر یک از باندها برای کانی‌های کائولینیت، کلریت، کلسیت، مسکویت و اکسیدهای آهن. مؤلفه‌های دارای بیشترین اختلاف با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند.

مؤلفه‌های اصلی	باند ۱	باند ۶	باند ۷	باند ۹	
کائولینیت	PC1	۰/۲۹۶۲۶۲	۰/۵۴۴۳۷۶	۰/۵۶۲۲۸۵	۰/۵۴۷۴۶۶
	PC2	۰/۹۵۵۰۶۷	-۰/۱۷۵۷۲۹	-۰/۱۷۳۵۱۲	-۰/۱۶۳۸۹۰
	PC3	-۰/۰۰۸۶۶۱	-۰/۷۱۴۵۴۹	۰/۰۱۵۴۲۴	۰/۶۹۹۳۶۲
	PC4	-۰/۰۰۰۹۰۸	-۰/۴۰۲۷۳۳	۰/۸۰۸۳۸۸	-۰/۴۲۹۳۱۸
مؤلفه‌های اصلی	باند ۱	باند ۵	باند ۷	باند ۸	
کلریت	PC1	۰/۲۹۰۵۰۲	۰/۵۳۳۱۷۱	۰/۵۵۱۹۱۴	۰/۵۷۱۶۰۱
	PC2	۰/۹۵۶۸۵۶	-۰/۱۶۴۱۰۲	-۰/۱۷۰۵۲۵	-۰/۱۶۸۵۷۷
	PC3	-۰/۰۰۵۳۰۷	-۰/۶۵۵۶۶۷	-۰/۱۳۳۴۵۸	۰/۷۴۳۱۴۳
	PC4	-۰/۰۰۲۶۴۲	-۰/۵۰۸۸۸۲	۰/۸۰۵۲۹۶	-۰/۳۰۴۲۹۰
مؤلفه‌های اصلی	باند ۱	باند ۵	باند ۶	باند ۸	
کلسیت	PC1	۰/۲۸۸۲۲۳	۰/۵۳۰۶۱۴	۰/۵۶۱۰۲۸	۰/۵۶۶۲۳۷
	PC2	۰/۹۵۷۲۳۴	-۰/۱۶۹۳۸۷	-۰/۱۸۰۹۳۱	-۰/۱۴۹۲۴۹
	PC3	-۰/۰۲۵۰۵۳	-۰/۴۱۸۲۵۰	-۰/۴۰۹۴۸۵	۰/۸۱۰۴۰۸
	PC4	-۰/۰۰۱۷۷۱	-۰/۷۱۷۵۱۲	۰/۶۹۶۳۰۰	-۰/۰۱۸۴۲۳
مؤلفه‌های اصلی	باند ۱	باند ۴	باند ۶	باند ۷	
مسکویت	PC1	۰/۲۹۱۳۵۳	۰/۵۳۰۳۱۹	۰/۵۷۰۰۷۳	۰/۵۵۵۷۸۱
	PC2	۰/۹۵۴۹۹۲	-۰/۲۰۸۵۲۰	-۰/۱۵۹۷۵۵	۰/۳۷۷۷۹۸
	PC3	-۰/۰۵۵۱۴۵	-۰/۸۱۸۹۷۵	۰/۳۴۹۹۴۹	۰/۴۵۱۴۱۴
	PC4	-۰/۰۰۷۹۴۸	۰/۰۶۷۵۴۱	-۰/۷۲۵۹۶۹	۰/۶۸۴۳۵۷
مؤلفه‌های اصلی	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	
اکسیدهای آهن	PC1	۰/۳۷۰۴۳۲	۰/۴۷۲۹۶۸	۰/۶۰۸۱۸۲	۰/۵۱۸۸۴۱
	PC2	۰/۲۴۹۲۵۵	۰/۲۹۶۸۸۳	۰/۳۴۶۱۵۱	-۰/۸۵۴۳۴۹
	PC3	۰/۷۴۴۸۳۷	۰/۲۰۱۱۹۱	-۰/۰۳۵۴۹۷	۰/۰۲۹۷۳۸
	PC4	۰/۴۹۵۸۵۳	-۰/۸۰۴۷۸۸	-۰/۳۲۶۲۸۴	-۰/۰۰۲۸۱۳

کانی‌ها محاسبه و مناسب‌ترین مؤلفه برای نمایش دگرسانی‌های مرتبط با این کان‌ها انتخاب شد (جدول ۱). پس از محاسبه ضرایب مربوط به بارگذاری آنالیز مؤلفه اصلی و انتخاب بهترین مؤلفه، تصاویر دگرسانی‌های مرتبط با این کان‌ها تهیه گردید. مقایسه این تصاویر با تصاویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب و نسبت‌گیری باندی نشان‌دهنده سازگاری نتایج حاصل از این روش‌ها با یکدیگر است (شکل ۸). با این حال، دگرسانی‌های سریسیتی و سیلیسی به دلیل گسترش مکانی محدود و کوچک بودن ابعاد سلول‌های تصویر به آسانی از یکدیگر تفکیک‌پذیر نیستند.

با توجه به اینکه باند ۴ برای کان‌ی مسکویت دارای بیشترین بازتاب و باند ۶ دارای بیشترین جذب است، مقایسه بارگذاری‌های مختلف در این دو باند نشان داد که بارگذاری باند ۴ در مؤلفه ۳ دارای مقدار ۰/۸۱۸۹۷۵- و بارگذاری باند ۶ در مؤلفه ۳ دارای مقدار ۰/۳۴۹۹۴۹+ است. به این ترتیب، مؤلفه سوم (PC3)، به‌عنوان مؤلفه مناسب برای به‌نمایش درآوردن دگرسانی سریسیتی انتخاب شد. بر مبنای بیشترین بازتاب و جذب طیفی به‌وسیله کان‌های کائولینیت، کلریت، کلسیت و اکسیدهای آهن در باندهای مختلف، ضرایب مربوط به سهم اطلاعات انتقالی هر یک از باندها در مؤلفه‌های مختلف آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای این

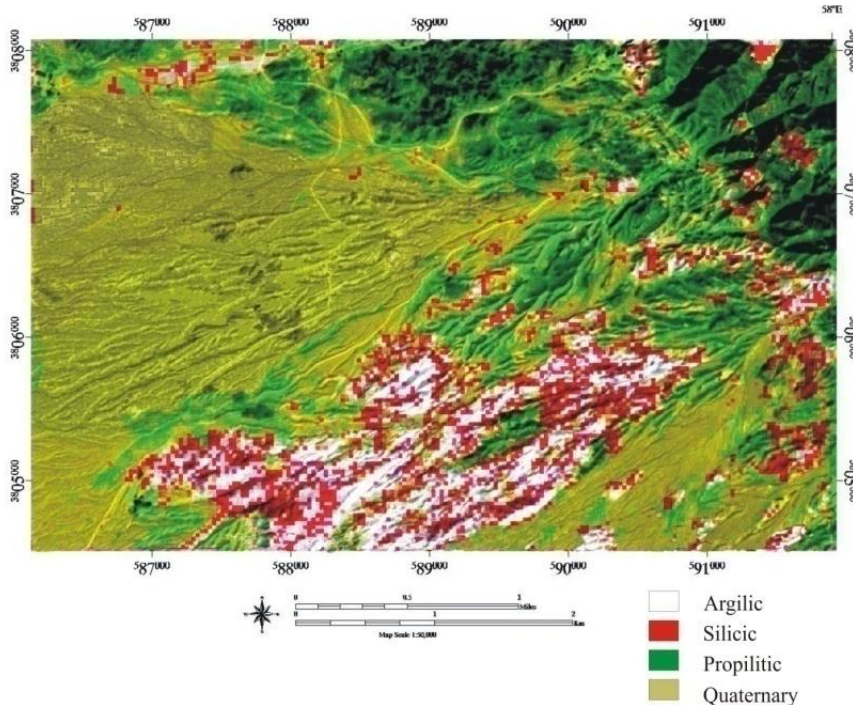


شکل ۸. بارسازی مجموعه‌های دگرسانی‌ها بر پایه آنالیز مؤلفه اصلی. الف) دگرسانی سریسیتی، ب) دگرسانی رسی، پ) دگرسانی پروپیلیتی، ت) دگرسانی پروپیلیتی و سنگ‌آهک‌های کرتاسه ناشی از رخداد کلسیت. کلیه دگرسانی‌ها به‌رنگ تیره بارز شده‌اند.

#### ۴-۴ طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی تصاویر یکی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات به کمک رایانه است (Fatemi, 2006) که به دو روش نظارت‌نشده و نظارت‌شده انجام می‌شود. روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده صرفاً متکی بر اطلاعات تصویر است و کاربرد در کل فرایند دخالتی ندارد، اما در روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، افزون بر تصاویر ورودی نیاز به مجموعه‌ای اطلاعات جانبی در مورد منطقه و کلاس‌های موردنظر است و دخالت عامل انسانی در آنها اجتناب‌ناپذیر است (Sabins, 1999). در منطقه مطالعه‌شده، طبقه‌بندی داده‌های سنجنده آستر به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال<sup>۱</sup> انجام شد. برای این منظور، با توجه به بررسی‌های صحرایی و دگرسانی‌های تعیین‌شده در نمونه‌ها، تعداد ۵ رده شامل دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، رسی و پروپیلیتی و نیز رسوبات کواترنری تعیین شد. نمونه‌های تعلیمی با استفاده از بخشی از

نمونه‌های صحرایی تهیه شد و طبقه‌بندی دگرسانی‌ها با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال صورت گرفت. ارزیابی صحت طبقه‌بندی با استفاده از باقی‌مانده نمونه‌های صحرایی - که در فرایند طبقه‌بندی وارد نشده بودند - انجام شد. نتایج طبقه‌بندی نشان دادند که دگرسانی‌های سیلیسی و سریسیتی که گسترش مکانی محدودی دارند، به دلیل کوچک بودن ابعاد سلول‌های تصویر (۳۰ متر)، در تصویر نهایی تفکیک‌پذیر نیستند. با این حال، سنگ‌های آذرین اسیدی (واحدهای Edt و Ea) به دلیل گسترش وسیع در سطح منطقه و رفتار طیفی مشابه با دگرسانی سیلیسی، به رنگ قرمز بارزسازی شدند (شکل ۹). دگرسانی پروپیلیتی که گسترش مکانی زیادی در منطقه دارد، با رنگ سبز بارزسازی شد. گستره مکانی دگرسانی رسی با رنگ سفید و رسوبات کواترنری با رنگ سبز مایل به زرد بارزسازی شدند (شکل ۹).



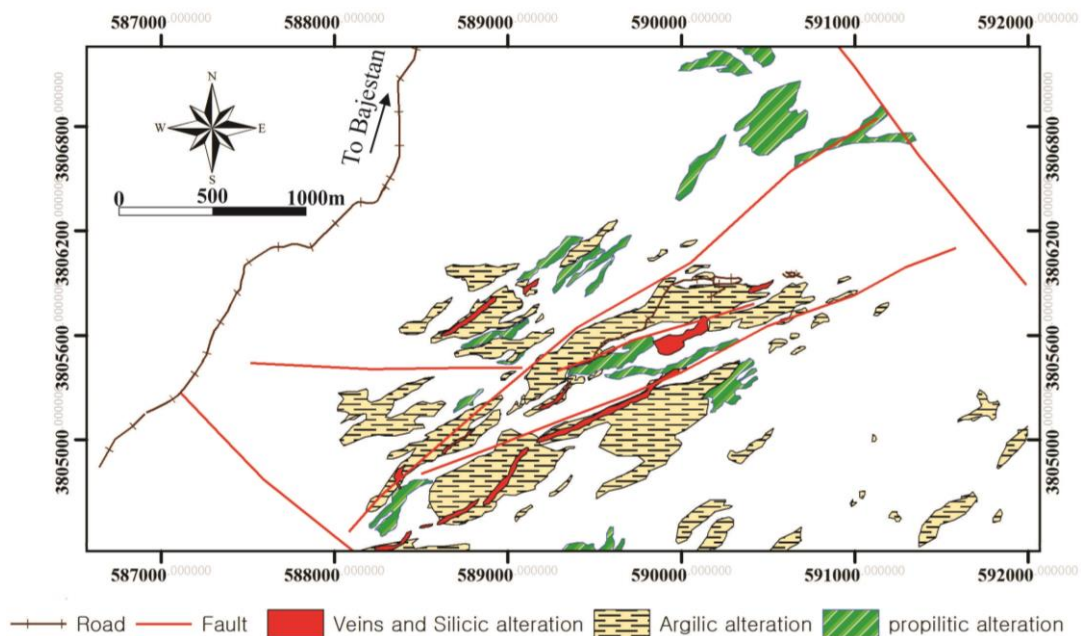
شکل ۹. تصویر حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌شده که در آن دگرسانی سیلیسی (قرمز)، دگرسانی رسی (سفید)، دگرسانی پروپیلیتی (سبز) و رسوبات کواترنری (سبز مایل به زرد) بارزسازی شده‌اند.

#### 1. Maximum likelihood

#### ۴-۵- تهیه نقشه دگرسانی

نقشه دگرسانی سامانه مطرآباد برپایه تصاویر حاصل از روش‌های دورسنجی و تلفیق آنها با داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد (شکل ۱۰). در این نقشه، دگرسانی رسی گسترش مکانی نسبتاً وسیعی در بخش مرکزی منطقه و به‌ویژه در پیرامون رگه‌های کوارتزی دارد. براساس بررسی‌های صحرایی این دگرسانی بر اثر معیان بخارات داغ (Ahmadi, 2011) در بخش‌های کم‌عمق و حاشیه‌ای سامانه گرمایی مطرآباد پدیده آمده است، که وجود شواهد جوشش مؤید آن است. دگرسانی پروپلیتی به‌طور عمده در بیرونی‌ترین بخش‌های سامانه گرمایی و مرتبط با سنگ‌های آتشفشانی حدواسط بروز می‌یابد. دگرسانی سیلیسی کمترین گسترش مکانی را دارد و بیشترین شدت را در اطراف رگه‌ها نشان می‌دهد. برای ارزیابی روش‌های دورسنجی به‌کار گرفته‌شده در این پژوهش از روش آنالیز صحت<sup>۱</sup> استفاده شد (Saghafi

et al., 2010). به این ترتیب، میزان صحت و قابلیت اعتماد به نتایج حاصل از فرایندهای طی‌شده، تعیین شد و اعتبار روش به‌کار گرفته‌شده ارزیابی گردید. برای این منظور پس از مقایسه داده‌های واقعی با نتایج حاصل از تجزیه‌های طیفی و با استفاده از نمونه‌های شاهد به‌دست آمده که مانند نمونه‌های تعلیمی‌اند ولی در طبقه‌بندی وارد نشده‌اند، و به‌کمک روش‌های آماری، عمل بررسی صحت صورت گرفت. براساس محاسبه ماتریس آنالیز صحت، دقت آشکارسازی و طبقه‌بندی با استفاده از مؤلفه‌های آنالیز مؤلفه اصلی برای منطقه مطالعه‌شده حدود ۸۷ درصد و ضریب کاپا برابر ۰/۴۴۷۳ تعیین شد (جدول ۲). این محاسبات برای تصاویر حاصل از نسبت‌گیری باندهای نشان‌دهنده صحت ۸۹ درصد و ضریب کاپا برابر ۰/۶۲۲۷ است (جدول ۲). براساس این نتایج، طبقه‌بندی تصاویر حاصل از نسبت‌گیری باندهای در مقایسه با سایر روش‌ها کارایی بیشتری دارد و نتایج آن با واقعیت همخوان‌تر است.



شکل ۱۰. نقشه توزیع مکانی مجموعه‌های دگرسانی در سامانه مطرآباد. دگرسانی سیلیسی گسترش محدودی دارد.

جدول ۲. ماتریس‌های آنالیز صحت برای مقایسه نتایج حاصل از روش‌های آنالیز مؤلفه اصلی و نسبت‌گیری باندی با نتایج صحرایی

طبقه‌بندی	کوارتز	رسوبات کواترنری	کائولینیت	کلریت- کلسیت	تعداد هر رده
کوارتز	۱۳	۲۲۰	۴۰	۰	۲۷۳
رسوبات کواترنری	۰	۹۱۰۴	۰	۱۳	۹۱۱۷
کائولینیت	۳	۵۱	۱۱۵	۰	۱۶۹
کلریت- کلسیت	۲۲	۹۲۰	۰	۷۳	۱۰۱۵
تعداد کل	۳۸	۱۰۲۹۵	۱۵۵	۸۶	۱۰۵۷۴
دقت کل = (۹۳۰۵/۱۰۵۴۷) × ۸۷٪ (الف)					
ضریب کاپا = ۰/۴۴۷۳					
طبقه‌بندی	کوارتز	رسوبات کواترنری	کائولینیت	کلریت- کلسیت	تعداد هر رده
کوارتز	۰	۱۹	۹۵	۰	۱۱۴
رسوبات کواترنری	۳۰	۱	۲۱	۱۶۴۴	۱۶۹۶
کائولینیت	۰	۲۲	۱۱۱	۰	۱۳۳
کلریت- کلسیت	۱۲۱	۲	۷	۵۹	۱۸۹
تعداد کل	۱۵۱	۴۴	۲۳۴	۱۷۰۳	۲۱۳۲
دقت کل = (۱۸۹۵/۲۱۳۲) × ۸۸/۹٪ (ب)					
ضریب کاپا = ۰/۶۸۲۷					

آنالیز مؤلفه اصلی

نسبت‌گیری باندی

## ۵- نتیجه‌گیری

براساس بررسی‌های کانی‌شناسی، کائولینیت، سربسیست، کلسیت، کلریت و اپیدوت از مهم‌ترین کانی‌های حاصل از دگرسانی گرمایی به‌شمار می‌آیند. این کانی‌ها برمبنای خصوصیات طیفی و با استفاده از روش‌های مختلف دورسنجی از یکدیگر تفکیک شدند، که با نتایج حاصل از مطالعات (Goetz et al., 1985) همخوانی دارد. براساس مطالعات بوردمن (۱۹۹۳)، دامنه طیفی امواج فرورسرخ با طول موج کوتاه (SWIR) کارایی بالایی در بارزسازی کانی‌های هیدروکسیل‌دار، سولفات‌ها و کربنات‌ها دارد. بنابراین، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای آستر (۱۴ باند) می‌تواند یکی از گزینه‌های مطلوب در بازشناسی مجموعه‌های دگرسانی و تعیین گسترش مکانی هاله‌های دگرسانی باشد.

تصاویر ماهواره‌ای غالباً فرمت چندباندی دارند و بررسی داده‌های یک باند نمی‌تواند اطلاعات کافی در اختیار کاربران قرار دهد. بنابراین، آگاهی از روابط بین طول موج‌های مختلف برای شناسایی عوارض و به‌نمایش

درآوردن هم‌زمان بیش از یک باند روی سامانه پردازش دارای اهمیت زیادی است و اطلاعات کامل‌تری را در اختیار قرار می‌دهد. بررسی این روابط اغلب با استفاده از تصاویر ترکیبی رنگی انجام می‌شود. در ساخت ترکیب‌های رنگی بهتر است از باندهای با کمترین همبستگی استفاده شود. براساس یافته‌های این پژوهش، تفکیک مناطق دگرسانی از مناطق غیردگرسان و آبرفت‌های عهد حاضر به‌روش ترکیب رنگی کاذب تصاویر آستر و ترکیب نسبتی (۴/۵، ۴/۸، ۴/۹) امکان‌پذیر است. این روش برای بازشناسی و جدایش دگرسانی‌های رسی و سربسیستی از دگرسانی پروپیلیتی از باندهای ۸۶۴ (RGB) به‌کار گرفته شد. افزون بر این، با توجه به شدت بازتاب و جذب کانی‌ها در باندهای خاص از روش نسبت‌گیری باندی (KLI و CLI) در تفکیک مناطق دگرسانی استفاده شد، که با یافته‌های صحرایی هم‌خوانی دارد. پژوهشگرانی چون معصومی و رنجبر (۲۰۱۱) و نینومیا (۲۰۰۳)، از این روش‌ها در بررسی مجموعه‌های دگرسانی و بارزسازی مناطق دگرسانی در کانسارهای پورفیری استفاده کردند.

۶- منابع

- Abdi M., Karimpour M., Najafi A., 2010, **Spectral Angle Mapping Method to Determine the Optimal Spectral Angle (SAM) Hydrothermal Alteration Minerals Identified with Regard to the Overprint Alteration on Kouh Shah, South Khorasan**, In proceeding of the. 18th Conference of crystallography and mineralogy of Iran, PP. 630-636.
- Abrams M.J., Brown L., Lepley R., Sadowski P., 1983, **Remote Sensing for Porphyry Copper Deposits in Southern Arizona**, Economic Geology, 78, PP. 591-604.
- Ahmadi M.H., 2011, **Hydrothermal Alteration and Base and Precious Metals Mineralization in the Motrabad Region, Southwest of Bajestan: based on mineralogical, Geochemical and Remote Sensing Data**, Unpublished M.Sc. Thesis, Golestan University 120p.
- Azizi H., Tarverdi M.A., Akbarpour A., 2010, **Extraction of Hydrothermal Alterations from ASTER SWIR data from East Zanjan**, Northern Iran, Advances in Space Research, 46, PP. 99-109.
- Azmi H., Hadizadeh M., 2009, **Geological Map of Nian District (1:5000)**, Geological Survey of Iran, Northeast Territory.
- Azmi H., Safari M., 2004, **Report of Systematic Geochemical Exploration on Taherabad (1:100000)**, Geological Survey of Iran, Northeast Territory, 138p, Unpublished.

برای حذف یا کاهش داده‌های تکراری و فشرده کردن مجموعه داده‌های چندطیفی در یک دستگاه مختصات جدید، از روش آنالیز مؤلفه اصلی استفاده شد. این روش، در تشخیص مرز بین مناطقی که در تصاویر ترکیب رنگی و نسبت‌گیری بانندی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیستند، یا در مناطق کوچکی که از نظر طیفی کاملاً متفاوت از کل تصویرند (مانند پوشش‌های گیاهی و مناطق دگرسانی) کاربرد دارد (Vincent, 1997; Ranjbar, 2010). براساس نتایج حاصل از این روش که بر مبنای آنالیز صحت دارای دقت بیش از ۸۰ درصد است، نقشه توزیع مکانی مجموعه‌های دگرسانی تهیه شد. مقایسه انواع دگرسانی‌های بازشناسی شده از روش‌های دورسنجی و مجموعه‌های دگرسانی‌های تعیین شده بر مبنای مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، نشان‌دهنده انطباق مناسب نتایج این روش‌ها با یکدیگر است. البته باید توجه داشت که روش‌های دورسنجی به‌رغم کاستن از هزینه‌ها و سرعت بخشی به شناسایی مناطق دگرسانی و به‌نقشه‌درآوردن آنها، فقط در مناطقی که وسعت مناطق دگرسانی از ابعاد سلول‌های تصویر بزرگ‌تر است، دقت کافی دارند. برای مثال، در منطقه مطالعه شده، جداسازی دگرسانی‌های پروپیلیتی و رسی در مقایسه با دگرسانی‌های سربستی و سیلیسی به خوبی انجام شد، که دقت بالایی نیز دارد. برخلاف کانسارهای پورفیری یا سایر کانسارهای دارای مناطق دگرسانی گسترده (Azizi et al., 2010)، روش‌های نسبت‌گیری بانندی و آنالیز مؤلفه اصلی عمدتاً در مراحل اولیه اکتشاف کانسارهای اپی‌ترمال کارایی خوبی دارند. به این ترتیب، با توجه به گسترش محدود هاله‌های دگرسانی گرمایی در کانسارهای نوع اپی‌ترمال، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جدید و دارای قدرت تفکیک بالا در بارزسازی هرچه دقیق‌تر مجموعه‌های دگرسانی و هاله‌های مربوط به آنها ضرورت دارد.

- Azmi H., Safari M., 2006, **Geology Map Report of Motrabad (Southwest of Bajestan) on the Scale of 1:25000**, Geological Survey of Iran, Northeast Territory, 41p., Unpublished
- Bedini E., 2011, **Mineral Mapping in the Kap Simpson Complex, Central East Greenland, Using HyMap and ASTER Remote Sensing Data**, Advances in Space Research, 47, PP. 60-73.
- Boardman J.W., 1993, **Automated Spectral Unmixing of AVIRIS Data Using Convex Geometry Concepts**, Airborne Geoscience workshop, 1, PP. 11-14.
- Dehghani M., Durocher C., Gingerich J., 2005, **Alteration Extraction Using Remote Sensing Data for Mineral Exploration**, Conference of MapIndia, New Delhi.
- Fatemi Nasrabadi S. B., 2006, **Training of ENVI Software**, National Cartographic Center (NCC), Research Institute of NCC Publishing, 150p.
- Galvao L.S., Filho R.A., Vitorello I., 2005, **Use of ASTER Short-wave Infrared Bands for the Spectral Discrimination of Hydrothermally Altered Materials: Central Mexico**, Int. J. Remote Sensing 19, PP. 1981–2000.
- Goetz A.F.H., Vane G., Solomon J.E., Rock B.N., 1985, **Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing**, Science, 228, PP. 1147-1153.
- Gupta R.P., 2003, **Remote Sensing Geology**, Second edition, Berline: Spriger Verlag.
- Karimpour M., Saadat S., Ashoori A.E., 2005, **Geological map of Taherabad (1:100000)**, Geological Survey of Iran.
- Masoomi F., Ranjbar H., 2011, **Mapping of the Alteration Zones with Using of ASTER Images And ETM Sensor at the Northern Half of the Geological Map of Baft (1:100000)**, Journal of Earth Sciences, 79, PP. 121-128.
- Ninomiya Y., 2003, **A Stabilized Vegetation Index and Several Mineralogic Indices Defined for ASTER VNIR and SWIR Data**, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03), 3, PP. 1552–1554.
- Ranjbar N., Ranjbar H., 2010, **Gypsum Evaporite Minerals Identified Using Principal Component Analysis and Mapping Data on the Thermal and Non-thermal Sensor ASTER in Desert Sirjan Region**, In proceeding of the 18th Conference of crystallography and mineralogy of Iran, PP. 432-437.
- Rowan L.C., Schmidt R.G., Mars J.C., 2006, **Distribution of Hydrothermally Altered Rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data**, Remote Sensing of Environment, 104, PP. 74-87.
- Sabins F.F., 1999, **Remote Sensing for Mineral Exploration**, Ore Geology Reviews, 14, PP. 157-183.
- Saghafi M., Rezaee moghaddam M.H., 2010, **Evaluate the Performance of Three**

- Different Methods for the Detection of Image Alterations Using ETM (Shahkuh Northern Slopes of the Southwest of Birjand)**, In proceeding of the 14th meeting of Geological Society of Iran.
- Sojdehei M., Jafari M.R, Eraj R., 2007, **Preliminary Exploration of Gold and Associated Elements Using Remote Sensing Data in Firoozabad - Ardabil Province**, In proceeding of the 11th meeting of Geological Society of Iran, PP. 706-719.
- Tommaso I.D., Rubinstein N., 2007, **Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Data in the Infiernillo Porphyry Deposit**, Argentina, Ore Geology Reviews, 32, PP. 275- 290.
- Vincent R.K., 1997, **Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing**, Prentic Hall, 366pp.
- Yousefan Najafabadi M., Bahroodi A., Fathiyanpoor N., 2010, **Ditection of Alteration Halos of Hydrothermal Alteration in the Index from the Copper Cloudy with Data ASTER**, In proceeding of the 28th conference of Earth Sciences, PP. 100-112.
- Zhang X., Pazner M., Duke N., 2007, **Lithologic and Mineral Information Extraction for Gold Exploration Using ASTER Data in the South Chocolate Mountains (California)**, ISPRS Journal of photogrametry & Remote sensing, 62, PP. 271-282.