

# بارسازی پهنه‌های دگرسانی و ساختارهای خطی در محدوده خاور بجنستان با استفاده از پردازش داده‌های ASTER, SPOT, Landsat ETM+ و داده‌های ژئوفیزیک

ریحانه احمدی روحانی<sup>۱\*</sup>، محمد حسن کریم پور<sup>۲</sup>، بهنام رحیمی<sup>۳</sup> و آزاده ملک‌زاده شفاوردی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۴</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۱۱

## چکیده

محدوده مورد مطالعه در خاور شهرستان بجنستان، در استان خراسان رضوی قرار دارد و بخشی از بلوک لوت است. بخش بیشتر این ناحیه را توده گرانیتویدی بجنستان با گسترش تقریبی ۷۰ کیلومتر مربع فرا گرفته است. پردازش داده‌های ماهواره این محدوده با استفاده از داده‌های SPOT و ASTER و لندست ETM+ انجام شد. پردازش داده SPOT و استفاده از روش PCA بر روی داده لندست ETM+ به دو روش استاندارد و انتخابی، نشانگر ناهمگنی احتمالی توده از نظر ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی است، به طوری که بخش مرکزی توده نسبت به هاله اطراف تمایز مشخص دارد که این خود می‌تواند نشانه وجود کانی‌های مافیک بیشتر در این بخش توده نفوذی و دگرسانی آنها باشد. با اعمال فیلتر High Pass از نوع Sharpen edge 11.11 و کاربرد فیلترهای Threshould, Directional و همچنین Sobel به صورت جداگانه و ترکیبی بر روی داده SPOT خط‌واره‌های موجود در منطقه بارز شده و رسم شد که بیشتر آنها جهت‌یابی شمال باختر - جنوب خاور را به خوبی نشان می‌دهند. پردازش داده‌های ASTER با استفاده از روش‌های ترکیب بانندی، نسبت بانندی و آنالیز طیفی به روش SAM حاکی از این است که منطقه مورد مطالعه دارای دگرسانی‌های بارز اپیدوتی - کلریتی، هماتی، سربستی، آرژیلیکی و سیلیسی در بخش‌های مختلف محدوده است. پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی این محدوده شامل اطلاعات شدت کل مغناطیسی و رادیومتری اورانیم، توریم و پتاسیم نشانگر بالا بودن عناصر سه‌گانه یادشده در این گرانیتوید و پایین بودن میزان شدت میدان مغناطیسی در آن است. جداسازی مرزهای زمین‌شناسی و بارزسازی گسل اصلی جداکننده توده گرانیتی و واحدهای متمورف در شمال توده از نتایج دیگر بررسی داده‌های ژئوفیزیک این منطقه است. تلفیق اطلاعات حاصل از پردازش داده‌های ماهواره، ژئوفیزیک و مطالعات صحرایی در این منطقه، نشانگر این موضوع است که دگرسانی‌های موجود، ارتباط مستقیمی با خط‌واره‌های موجود در منطقه دارند. این مطالعات، نواحی با بیشترین احتمال حضور مواد معدنی و کانی‌سازی را مشخص نموده است؛ به طوری که نواحی مشخص شده با دارا بودن دگرسانی‌های اپیدوت - کلریتی و آرژیلیکی بارز، تطابق کاملی با کانی‌سازی‌های مس و آهن در بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی نشان می‌دهند. شناسایی این نواحی می‌تواند راهنمایی، جهت تمرکز پی‌جویی و مطالعات بعدی در این منطقه باشد و از پراکندگی نتایج و صرف زمان و هزینه‌های اضافی جلوگیری نماید.

**کلیدواژه‌ها:** گرانیت بجنستان، SPOT, ASTER, ETM+, نسبت بانندی، PCA، SAM، فیلترهای بارزکننده خط‌واره‌ها.

E-mail: r\_ahmadirohany@yahoo.com

\* نویسنده مسئول: ریحانه احمدی روحانی

## ۱- پیش‌گفتار

محدوده مورد مطالعه در حدود ۱۰ کیلومتری خاور شهرستان بجنستان، جنوب باختر استان خراسان رضوی، در گستره بین طول‌های جغرافیایی ۵۸° ۲۳' تا ۵۸° ۱۳' و عرض‌های جغرافیایی ۳۴° ۲۸' تا ۳۴° ۳۲' شمالی قرار دارد (شکل ۱). این محدوده از دید تقسیمات ساختاری در شمال بلوک لوت واقع شده است.

(Stocklin & Nabavi 1973) بیان می‌دارند که مهم‌ترین ویژگی بلوک لوت که آن را از دیگر بخش‌های خردقاره ایران مرکزی جدا می‌کند، حجم گسترده ماگماتیسم تشریری، به‌ویژه سنگ‌های آتشفشانی است که با داشتن سبزی در حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از بلوک لوت را می‌پوشاند. وجود فعالیت ماگمایی گسترده با ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت در نقاط مختلف، باعث شده است تا بلوک لوت پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل انواع کانی‌سازی‌های فلزی و غیرفلزی داشته باشد. کریم‌پور و همکاران (۱۳۸۶) بیان می‌دارند که ماگماتیسم بلوک لوت را باید به تفکیک زمانی، از دید پتروشیمیایی بررسی کرد. این توده‌ها می‌توانند در شرایط مختلف زمین‌ساختی تشکیل شده باشند که باید به آن توجه شود و ممکن است بلوک لوت از خردقاره‌های کوچکی تشکیل شده باشد که در هر نقطه از آن شرایط ماگماتیکی و زمین‌ساختی خاصی در آن زمان برقرار بوده است. منطقه مورد مطالعه با وجود دارا بودن اندیس‌های معدنی مهم چون مس، آهن، طلا، باریت و مرمر تاکنون از نظر زمین‌شناسی اقتصادی مورد مطالعات دقیق سیستماتیک قرار نگرفته است.

## ۲- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

در این محدوده، مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی شامل دگرگونی ناحیه‌ای (اسلیت، فیلیت و متاچرت) با سبزی نسبتاً زیاد در شمال منطقه، اسکارن در برخی همبری‌ها با توده نفوذی و پهنه‌های گسلی و دگرگونی همبری به صورت مرمریت و گاه هورن‌فلس در مجاورت توده نفوذی دیده می‌شود.

سنگ‌های آتشفشانی در خاور محدوده (خاور توده گرانیتویدی) با ترکیب اصلی بازالت، آندزیت و گاه داسیت با توپوگرافی تپه‌ماهوری دیده می‌شوند. سنگ‌های رسوبی منطقه را بیشتر گنگومرا و سنگ‌های کربناتی تشکیل می‌دهند. اما بخش بیشتر این محدوده را مجموعه گرانیتویدی بجنستان تشکیل داده است. Rosenberg (1981) و محمدزاده لاری (۱۳۷۶)، توده نفوذی بجنستان را از دید سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار داده‌اند. عاشوری و همکاران (۱۳۸۶) ترکیب چیره این توده‌ها را گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت، دیوریت و دیاباز می‌دانند (شکل ۲). از نظر آنها سن توده‌های نفوذی با توجه به برنزد در رسوبات، الیگومیوسن است. همچنین قورچی و همکاران (۱۳۸۸) این نوع گرانیت را احیایی و مربوط به سری ایلمنیت و موقعیت زمین‌ساختی زمان تشکیل را، زون تصادم قاره‌ای می‌دانند.

## ۳- مطالعات دورسنجی

روش‌های دورسنجی امکان شناسایی و اکتشاف مقدماتی را برای محدوده‌های

تعیین جهت اصلی و ارتباط آنها با دگرسانی‌های موجود در منطقه از فیلترهای بارزکننده خطواره‌ها استفاده شد. فیلترها جزو عملیات‌هایی به نام بارزسازی مکانی (Spatial Enhancement) هستند که برپایه ارزش سلول‌های مجاور صورت می‌پذیرند. بارزسازی مکانی وابستگی زیادی به بسامد مکانی (Spatial Frequency) دارد. بسامد مکانی میزان تغییرات در ارزش‌های روشنایی در فاصله واحد برای هر بخش از یک تصویر است (بابا احمدی، ۱۳۸۸؛ Jensen, 1996).

اولین فیلتر استفاده شده به منظور مشخص کردن خطواره‌ها، فیلترهای نوع High Pass بود. این فیلترها اجازه می‌دهند نواحی با بسامد بلند نسبت به مناطق پست تر بارز شده و در نتیجه تصویر حاصل، دارای جزئیات بیشتر و مشخص تری از ساخت‌های خطی باشد. بدین منظور با اعمال فیلتر High Pass از نوع Sharpen edge 11\*11 بر روی داده SPOT، خطواره‌های موجود بارز شد. نتیجه پردازش بالا در شکل ۴ آورده شده است.

یکی از روش‌های آشکارسازی لبه (edge detector thecnics) که برای بارزسازی خطواره‌ها می‌توان از آن استفاده کرد، به کارگیری فیلتر سوبل Sobel است. این فیلتر در راستای افقی یک فیلتر پایین‌گذر و در راستای عمودی یک فیلتر میان‌گذر است. همچنین برای ناحیه‌بندی تصویر، می‌توان از فیلترهای آستانه‌گیری استفاده کرد. یک فیلتر آستانه، می‌تواند ایجاد یک تصویر با کنتراست و تراز در حد آستانه موردنظر بنماید. در سیستم RGB استفاده همزمان از فیلترهای استاندارد نرم‌افزار ER MAPPER شامل یک فیلتر آستانه ۳ (Threshold3) در R و فیلتر سوبل ۲ در G و B تا حد زیادی می‌تواند خطواره‌های اصلی را مشخص کند (شکل ۵).

همچنین از فیلتر جهت‌دار (Directional) با زاویه ۴۵-N درجه و دیگر پردازش‌های تکمیلی نیز برای بارزسازی کمک گرفته شد. در نهایت خطواره‌های استخراج شده از پردازش‌های یادشده، به صورت رقومی رسم شد (شکل ۶). مجموع این پردازش‌ها نشانگر جهت یابی بارز شمال باختر- جنوب خاور خطواره‌ها در این منطقه است.

برپایه پردازش داده‌های ماهواره و مطالعات صحرایی، شکستگی‌های منظم در منطقه مورد مطالعه از دو دسته گسل امتدادلغز (Strike Slipe) تشکیل شده‌اند: دسته اول که طول بیشتری داشته و اصلی تر هستند، امتداد N 70 W داشته و تعداد آنها کمتر است. این دسته از گسل‌ها از نوع امتداد لغز راست‌رو هستند. دسته دوم گسل‌هایی با روند N 50 W را شامل می‌شوند که در فاصله میان گسل‌های دسته اول توسعه یافته‌اند. این گسل‌ها با زاویه حدود ۲۰-۱۵ درجه ساعت‌گرد نسبت به گسل‌های اصلی قرار گرفته‌اند. سازوکار این دسته گسلی از نوع امتدادلغز راست‌رو و مشابه گسل‌های اصلی است. با مقایسه این سبک گسلش با سبک ساختاری نوع برشی ساده (Simple Shear) در سیستم‌های امتدادلغز، می‌توان گسل‌های دسته دوم را انشعابات از گسل‌های اصلی دانست که در نتیجه حرکت بر روی گسل‌های دسته اول ایجاد شده‌اند.

### ۳-۲. تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت تفکیک واحدها و دگرسانی (با استفاده از داده لندست ETM+)

به‌منظور استفاده از چندین باند اطلاعاتی و کاهش حجم اطلاعات از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود. از آنجایی که بیشتر اطلاعات موجود در باندهای سنجنده‌ها به خاطر تشابه، دارای همبستگی بالا و تکراری هستند می‌توان با متراکم کردن اطلاعات و بدون اینکه اطلاعات باندها از دست بروند به نتایج بهتری دست یافت (Gibson & Power, 2000). روش‌های تحلیل آنالیز مؤلفه‌های اصلی به دو صورت PCA استاندارد (استفاده از تمامی باندها) و PCA انتخابی یا روش کروسا (Crosta & Moor, 1989) وجود دارد که در این حالت از باندهای مناسب با کمترین همبستگی استفاده می‌شود.

هر تصویر مؤلفه اصلی، دارای اطلاعاتی از همه باندهای طیفی است و مانند

وسیع با دقت و سرعت بالا و هزینه پایین امکان‌پذیر می‌سازند. در واقع با پردازش داده‌های ماهواره‌ای و با مشخص کردن خطواره‌ها و ساختارهای خطی، حلقوی و تعیین ارتباط آنها با واحدهای سنگ‌شناختی و پهنه‌های دگرسانی می‌توان به شناسایی بی‌هنجاری‌های یک منطقه پیش از مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی پرداخت.

در این نوشتار برای شناسایی و تفکیک واحدها و خطواره‌های موجود در منطقه و مشخص کردن بی‌هنجاری‌های معدنی محدوده خاور بحستان از داده‌های تصحیح‌شده SPOT و ASTER و ETM+ و روش‌های کارآمد در پردازش داده‌ها چون PCA، SAM، نسبت بانندی و ترکیب بانندی استفاده شده است. همچنین پردازش داده‌ها در نرم‌افزارهای ENVI 4.7، ER MAPPER نسخه 7.01 و Geomatica 10 انجام شده است. مراحل کار به تفکیک و تفضیل آورده شده است:

### ۳-۱. تفکیک ساختارهای خطی و مرز واحدهای زمین‌شناسی با استفاده از داده SPOT

سیستم ماهواره SPOT توسط شرکت CNES در فرانسه طراحی و با همکاری کشورهای بلژیک و سوئد توسعه یافته است. این سیستم شامل یک سری تجهیزات فضایی و زمینی برای کنترل و برنامه‌ریزی ماهواره و همچنین آماده‌سازی و توزیع تصاویر است. اولین ماهواره SPOT1 در ۲۲ فوریه ۱۹۸۶ پرتاب شد و آخرین عضو این سری یعنی SPOT5 در سال ۲۰۰۲ در مدار زمین قرار گرفت و در حال حاضر سه عدد از این ماهواره‌ها به‌صورت عملیاتی در حال تصویربرداری هستند. این ماهواره در ارتفاع ۸۳۲ کیلومتری از سطح زمین و در مداری دایره‌ای شکل و شبه‌قطبی در حال دوران به دور زمین بوده، هر ۱۰۱ دقیقه یکبار پیرامون زمین را طی می‌کند (www.spotimag.com).

صحنه‌های اطلاعاتی داده‌های اسپات مساحتی در حدود ۶۰ در ۶۰ کیلومتر را در بر داشته، به دو صورت سیاه و سفید (pan) و یا رنگی در دسترس قرار می‌گیرند. اطلاعات سیاه و سفید یا رنگی به صورت همزمان ثبت شده و دلیل وجود این ۲ نوع داده، وجود دو سنجنده تصویربرداری همزمان است، بنابراین می‌توان این دو نوع تصویر را با یکدیگر برای به‌دست آوردن داده با تفکیک مکانی بالاتر تلفیق (Merge) کرد. برای نمونه می‌توان با استفاده از داده‌های SPOT5 و تلفیق داده‌های PAN و رنگی آن، اطلاعات رنگی با دو تفکیک مکانی ۲/۵ متر و ۵ متر داشت (www.spotimag.com).

سنجنده‌های تعبیه شده در ماهواره SPOT5 عبارتند از HRG (High Resolution Geometric) برای تهیه تصویر با تفکیک مکانی بالا و سنجنده دیگر HRS (High Resolution Stereoscopic) است که برای تهیه مدل ارتفاعی زمین تعبیه شده است.

مهم‌ترین ویژگی ماهواره اسپات توانایی تصویربرداری از زوایای مختلف و امکان تهیه تصویر استریوسکوپیک (Stereoscopic Image) است که با مطالعه و استفاده از این تصاویر و با روش برجسته‌بینی توانایی‌های جدیدی در زمینه مطالعه خطواره‌ها و تفسیر آنها امکان‌پذیر است. در جدول ۱ ویژگی‌های سنجنده‌های SPOT ارائه شده است.

برای مطالعه محدوده مورد نظر، داده‌های چندطیفی تلفیقی با داده پانکروماتیک SPOT5 با تفکیک مکانی ۲/۵ متر، به‌صورت ارتو شده از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد. در مرحله اول کار، داده‌ها با هدف مشخص کردن مرز واحدهای زمین‌شناسی، در نرم‌افزار ER MAPPER مورد پردازش و بارزسازی قرار گرفت. با کاربرد فیلترهای بارزکننده تصویر (Enhancement Filters)، مرز واحدهای موجود در منطقه، به‌ویژه بخش‌های مختلف توده گرانیتویدی بحستان تفکیک شد. در این بارزسازی بخش‌های مرکزی گرانیتوید با رنگ تیره‌تر و ارتفاع بیشتر کاملاً مشخص است (شکل ۳).

در مرحله بعدی پردازش داده‌های SPOT، برای بارزسازی خطواره‌ها و

عامل آنیونی Mg-OH و کربنات‌ها در طول موج ۲/۳ میکرومتر (معادل باند ۸) جذب مشخصی نشان می‌دهند. بنابراین با استفاده از باندهای ۶ و ۸ می‌توان کانی‌های آلومینیم‌دار مانند کانی‌های ایلیت، کائولینیت، آلونیت و یا مسکوویت - سرسیت را از کانی‌هایی مانند کلریت، اپیدوت و یا کربنات تشخیص داد (Rowan et al., 2006). به منظور مشاهده مناطق دگرسان، ابتدا از ترکیب باندی RGB:468 استفاده شد. در این ترکیب باندی، کانی‌های مربوط به زون پروپلیتیک (کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز تیره و روشن و کانی‌های رسی به رنگ صورتی دیده می‌شوند (شکل ۹).

از روش نسبت باندی برای تفکیک کانی‌های دگرسانی کمک گرفته شد. بهترین نتیجه برای تشخیص مناطق دارای دگرسانی، تصویر حاصل از نسبت باندی به صورت RGB: 4/5,4/6,4/7 (Di Tommaso & Rubinstein, 2006) بود. در این ترکیب کانی‌های حاوی پیوند Al-OH در تصاویر 4/5 و 4/6 و کانی‌های با پیوند Fe-OH در نسبت باندی 4/7 بارز شده و به رنگ روشن دیده می‌شوند. در شکل ۱۰ نتیجه این پردازش، شامل سه محدوده بارز دگرسانی (شامل دگرسانی‌های رسی و اکسیدهای آهن) به وسیله فلش قرمز مشخص شده‌اند. نواحی سفیدرنگ در واقع نشانگر پاسخ باند ۵ و ۶ برای پیوند Al-OH و باند ۷ برای پیوند Fe-OH است که این نواحی تطابق کامل مکانی با اندیس‌های شناخته شده آهن (شمال خاور محدوده) و مس (خاور و شمال توده نفوذی) در مطالعات صحرایی دارد.

در مرحله بعدی پردازش داده‌های ASTER از روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) استفاده شد. این روش، یک روش رده‌بندی طیفی است که در طی آن شباهت بین طیف مرجع با طیف پیکسل به وسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها تعیین می‌شود. این طیف‌ها به عنوان بردارهایی در فضایی برابر با تعداد باندها در نظر گرفته می‌شوند (Kruse et al., 1993). خروجی این محاسبات یک تصویر رده‌بندی شده است و تصاویر Rule به تعداد عضوهای انتهایی است. پیکسل‌هایی که زاویه طیفی کوچک‌تری دارند در تصاویر Rule تیره‌تر دیده شده و بیشترین انطباق را با طیف مرجع نشان می‌دهند.

در این مطالعه نمودارهای طیفی ۶ کانی شامل کائولینیت، سرسیت، کلریت، اپیدوت، هماتیت و جاروسیت به عنوان داده مرجع استفاده شد. بازدید صحرایی اولیه عامل انتخاب این کانی‌ها برای آنالیز طیفی است. از مجموعه کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) برای ایجاد طیف مرجع استفاده شد (شکل ۱۱). برای مطابقت باندهای طیفی موجود در مجموعه USGS با تصاویر ASTER، طیف‌های آزمایشگاهی با باندهای ASTER، نمونه‌برداری مجدد (Resampling) شدند. نتیجه کار با تعیین حد آستانه (Threshold) برای کانی‌های انتخابی بر روی باند ۳ (به صورت سیاه و سفید) در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.

نتایج پردازش داده‌ها به روش SAM برای کانی‌های انتخابی نشانگر این است که بیشترین گستردگی دگرسانی مربوط به دگرسانی پروپلیتیک (با انتخاب کانی‌های اپیدوت - کلریت) است که به علت تطابق مکانی نتایج کلریت با اپیدوت، این دگرسانی با رنگ سبز و به صورت دگرسانی اپیدوتی در تصویر مشخص شده است. این گستردگی در شمال بخش گرانیتیویدی در یک جهت مشخص خاوری - باختری کاملاً آشکار است. دگرسانی هماتی - جاروسیتی (رنگ قرمز) نمود چشمگیری بر روی هاله گرانیتی در جنوب محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. همچنین بخش‌هایی از این دگرسانی در مجاورت دگرسانی اپیدوتی در شمال باختر محدوده دیده می‌شود. گفتنی است که به علت انطباق مکانی محدوده‌های دگرسانی هماتیت و جاروسیت در تصویر، این دگرسانی نیز به عنوان هماتیت و به رنگ قرمز در شکل ۱۲ مشخص شده است.

دگرسانی سرسیتی (رنگ آبی روشن) و دگرسانی کائولینیتی (رنگ نارنجی) تقریباً در مجاورت یکدیگر، در نیمه خاوری محدوده، تمرکز بیشتری را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود بازسازی دگرسانی سرسیتی

تصاویر نسبی، به عنوان تصویر جداگانه سیاه و سفید می‌تواند تحلیل شوند، یا هر سه تصویر مؤلفه اصلی برای تشکیل یک ترکیب رنگی با یکدیگر ترکیب شوند. در این حالت بیشترین واریانس n باند طیفی در یک تصویر رنگی دیده می‌شود. این واریانس بیشتر از واریانس است که در ترکیب رنگی باندهای طیفی معمولی ایجاد می‌شود و جزئیات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی مانند واحدهای سنگی و دگرسانی نمایش می‌دهد. بنابراین به زمین‌شناسان کمک می‌کند تا مرز بین مناطقی که در تصاویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیست را مشخص کنند. همچنین کاربر می‌تواند مناطق کوچکی را که از نظر طیفی کاملاً متفاوت از کل صحنه هستند (مانند مناطق دگرسان شده) مشخص کند (Vincent, 1997).

در این نوشتار برای تفکیک دگرسانی‌های موجود از روش‌های PCA استاندارد و انتخابی استفاده شد. بدین ترتیب که پس از انجام تبدیلات آماری و یکنواختی هستوگرام‌ها بهترین نتایج به صورت زیر مشاهده شد: ۱- استفاده از PCA استاندارد بر روی ۶ باند ۳۰ متری ETM+ و استفاده از ترکیب باندی پیشنهادی توسط هنرمند و رنجبر (۱۳۸۴) و با توجه به مشابهت مقادیر ویژه به دست آمده به صورت:

$$RGB = (-PC4, -PC4 + PC5, PC5)$$

نتیجه اعمال ترکیب بالا به صورت عکس - نقشه در شکل ۷ نمایش داده شده است. در این تصویر بخش‌های دگرسان شده (حاوی دگرسانی‌های رسی و اکسید آهن) به رنگ سفید و آبی روشن مشخص شده که این حالت در بخش‌های خاور و شمال توده نفوذی از گسترش بیشتری نسبت به دیگر بخش‌ها برخوردار بوده، واحدهای دگرگونی mcs در شمال محدوده با رنگ آبی تیره بارز شده‌اند.

با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی بر روی چهار باند داده ETM+ در دو مرحله، ابتدا انتخاب باندهای ۴، ۵، ۴، ۱ (برای نقشه‌برداری اکسید آهن) و سپس ۷، ۵، ۳ (نقشه‌برداری هیدروکسیل‌ها) ترکیب نسبتی زیر پیشنهاد شد که بهترین تفکیک دگرسانی را در محدوده مطالعاتی نمایش می‌دهد:

$$RGB = PCband3(1.3.4.5), PCband1(1.3.4.5), -pc4(1.3.5.7)$$

در شکل ۸ نتیجه این ترکیب باندی حاصل از اعمال روش آنالیز مؤلفه‌های انتخابی آورده شده است. این ترکیب، تفکیک خوبی از دگرسانی‌های موجود در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد، به طوری که بخش‌های مختلف توده با توجه به ترکیب شیمیایی و دگرسانی‌های حاصل از آن، به رنگ‌های زرد، بنفش، ارغوانی، تفکیک شده است، دگرسانی‌های رسی بارز در محدوده به رنگ آبی فیروزه‌ای و آبی و سنگ‌های دگرگونی در شمال و سنگ‌های آتشفشانی موجود (باختر محدوده) به رنگ قرمز تا نارنجی مشخص شده‌اند. بحث و بررسی بیشتر در مورد ترکیب واحدهای تفکیک شده منوط به انجام مطالعات صحرایی تکمیلی در منطقه است.

### ۳-۳. پردازش داده‌های ASTER و انجام آنالیز طیفی به روش SAM

تصاویر (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer ASTER، دارای سه باند مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)، شش باند مادون قرمز کوتاه (SWIR) و پنج باند مادون قرمز حرارتی (TIR) است. با ورود سنجنده ASTER با ۱۴ باند و قدرت جدایش بالاتر طیفی نسبت به داده‌های لندست، دسترسی به اطلاعات طیفی در محدوده فروسرخ موج کوتاه (SWIR) امکان‌پذیر شد (Crosta & De Souza Fliho, 2003). از سال ۲۰۰۰ داده‌های چند طیفی ASTER به منظور مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی استفاده شده‌اند (Ninomiya, 2002 & 2004; Rowan et al., 2003; Rowan & Mars, 2003). از تصاویر ASTER می‌توان به عنوان ابزاری کارآمد در اکتشاف ذخایر معدنی در مراحل مقدماتی به منظور کانی‌شناسی اولیه و تهیه نقشه‌های دگرسانی، با هزینه کم و دقت بالا استفاده کرد (Di Tommaso & Rubinstein, 2006).

عامل آنیونی Al-OH در طول موج ۲/۲ میکرومتر (معادل باند ۶ ASTER) و

۵ و ۶ مشخص‌کننده مرز مشخص گسلی توده گرانیته با واحدهای دگرگون شده و آهکی شامل اسلیت و متاچرت و کنگلومرا واقع در شمال محدوده است. همچنین در این تصویر، بخش‌های دارای دگرسانی بالا با میزان پایین شدت میدان مغناطیسی مشخص شده است، وجود یک بی‌هنجاری بارز مغناطیسی (که با فلش در شکل ۱۳-ت مشخص شده است) منطبق بر بی‌هنجاری آهن موجود در این ناحیه است. بخش گرانیته دارای شدت میدان مغناطیسی پایین است که می‌تواند تأییدی بر احیایی بودن آن باشد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

پردازش‌های انجام شده در محدوده مورد مطالعه و بر روی توده نفوذی بجنستان با استفاده از پردازش داده‌های ASTER، SPOT+ و ETM+ انجام آنالیز مؤلفه‌های اصلی به روش‌های استاندارد و انتخابی، نشانگر احتمال تنوع ترکیب شیمیایی در توده نفوذی و وجود محدوده‌های بارز دگرسانی در محدوده مطالعاتی است. به منظور تعیین انواع دگرسانی‌های موجود، از پردازش داده‌های سنجنده ASTER و روش آنالیز طیفی نوع SAM (نقشه‌بردار زاویه طیفی) استفاده شد. نتایج پردازش‌ها، نشانگر وجود دگرسانی‌های اپیدوتی-کلریتی با گسترده‌گی بالا و دگرسانی‌های هماتیته، سریستی، کانولینیتی و سیلیسی در بخش‌های مختلف محدوده است.

بارزسازی خطواره‌های موجود در منطقه با استفاده از داده SPOT انجام شد. بارزسازی خطواره‌ها نشان‌دهنده وجود دو دسته گسل اصلی در منطقه و روند اصلی آنها به صورت شمال باختر - جنوب خاور در محدوده است.

بررسی داده‌های ژئوفیزیک هوایی موجود در منطقه، بالا بودن میزان عناصر K و Th و U در محدوده منطبق با مرز گرانیته بجنستان بوده و نشانگر این است که گرانیته یادشده، از نظر حضور عناصر کمیاب بسیار غنی است، داده شدت میدان مغناطیسی، محدوده‌های دارای دگرسانی بالا (رسی) را با میزان پایین شدت میدان مغناطیسی مشخص می‌کند.

تلفیق اطلاعات حاصل از پردازش داده‌های ماهواره، ژئوفیزیک و مطالعات صحرایی در این منطقه، نشانگر این موضوع است که دگرسانی‌های موجود، ارتباط مستقیمی با خطواره‌های موجود در منطقه دارند. این مطالعات، نواحی با بیشترین احتمال حضور مواد معدنی و کانی‌سازی را مشخص کرده است. به طوری که نواحی مشخص شده با دارا بودن دگرسانی‌های اپیدوت-کلریتی و آرژیلیکی بارز، تطابق کاملی با کانی‌سازی‌های مس در شمال و خاور توده گرانیته‌یابی و آهن در شمال خاور محدوده مطالعاتی نشان می‌دهند. مجموع مطالعات انجام شده در مرحله شناسایی، می‌تواند راهنمایی برای تمرکز پی‌جویی و مطالعات بعدی در این منطقه بوده و از پراکندگی نتایج و صرف هزینه‌های اضافی جلوگیری نماید.

#### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از همکاری سازمان زمین‌شناسی کشور و همکاران گرامی این سازمان که در مراحل مختلف این نوشتار همکاری داشته و رهنمودهای ارزنده‌ای ارائه نموده‌اند سپاسگزاری می‌نمایند. گفتنی است این مقاله در ارتباط با طرح پژوهشی به شماره ۱۸۳۰۰/۳ مورخ ۱۳۹۰/۴/۱۲ دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است.

در شمال خاور محدوده، به صورت یک امتداد خطی مشخص تفکیک شده است. تعیین موقعیت محدوده دگرسانی سیلیسی با بهره‌گیری از پردازش باندهای حرارتی ASTER انجام شد. این دگرسانی، افزون بر مجاورت با خطواره‌ها و دگرسانی اپیدوتی در شمال توده نفوذی، در جنوب این توده و بخش‌هایی از خود مجموعه گرانیته‌یابی (به علت حضور کوارتز در ترکیب) نیز دیده می‌شود.

#### ۴- پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی

در محدوده مورد مطالعه برداشت ژئوفیزیک هوایی انجام شده است. این برداشت‌ها از سری برداشت‌هایی است که به سفارش سازمان انرژی اتمی ایران در خلال سال‌های ۱۹۷۷ تا ۱۹۷۹ و توسط سه شرکت ژئوفیزیکی CGG-AUSTIREX-PARAKIA در بخش‌هایی زیادی از کشور به وسیله بالگرد و هواپیما صورت گرفته است. این داده‌ها شامل شدت کل مغناطیسی (TMI) و داده‌های رادیومتری شامل اورانیم (U)، توریم (Tn)، پتاسیم (K) و Total Count (TC) است. این داده‌ها به صورت Grid در دسترس بوده و Data base موجود نیست. ارتفاع پرواز با ارتفاع تقریبی ۱۰۰ الی ۲۰۰ متر از سطح زمین و به صورت هماهنگ با توپوگرافی (drap) است.

مطالعه داده‌های ژئوفیزیک هوایی و ترکیب آنها با داده‌های دورسنجی توسط تعدادی از پژوهشگران انجام شده است. (داوودآبادی فراهانی و رنجبر، ۱۳۸۴؛ Ranjbar & Honarmand, 2004; Tangestani & Moore, 2001)

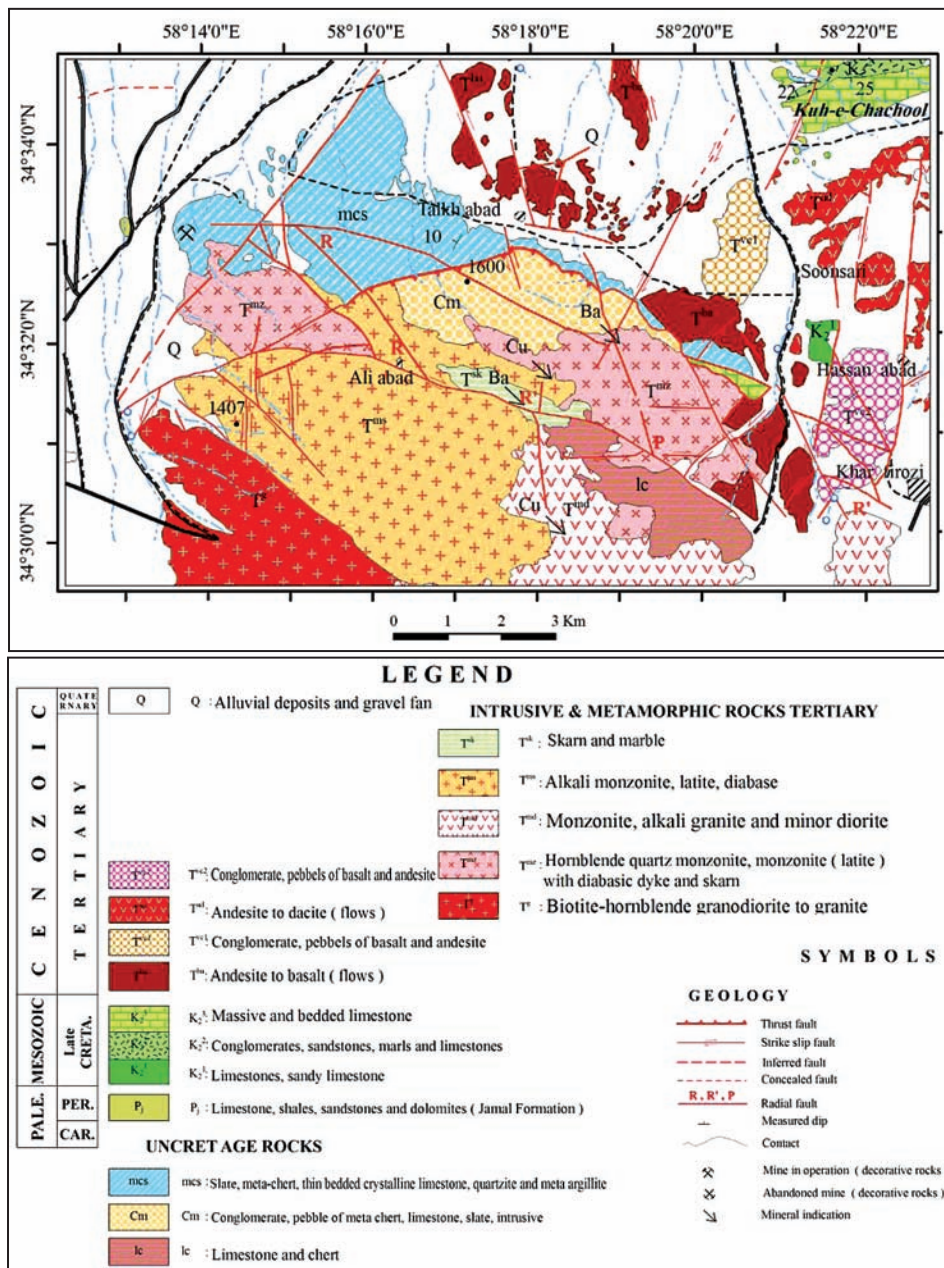
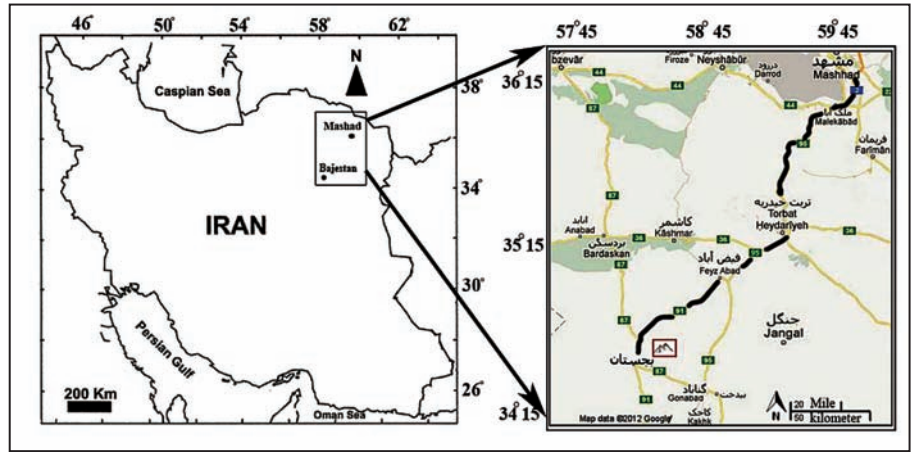
یکی از کاربردهای نقشه‌های رادیومتری، شناسایی واحدهای گرانیته است که دارای مقدار بالای توریم، پتاسیم و تورانیم هستند. هرچقدر گرانیته‌ها به سمت پگماتیت‌ها میل کنند احتمال وجود اورانیم در این سنگ‌ها افزایش می‌یابد و معمولاً در اثر هوازدگی شدن این سنگ‌ها، هاله‌ای از اورانیم در اطراف واحدهای سنگی نمایان می‌شود که با کمک داده‌های رادیومتری می‌توان به خوبی منشأ اورانیم را مشخص کرد (گروه ژئوفیزیک هوایی سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۴).

از دیگر کاربردهای رادیومتری، تعیین همبری‌های زمین‌شناسی با دقت بالاست. برای نمونه بر روی واحدهای آهکی و کربناتی درصد وجود این عناصر بسیار کم است که بر روی نقشه ترکیبی (Termnry) مرز این واحدها در مجاورت واحدهای دیگر قابل تفکیک است (گروه ژئوفیزیک هوایی سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۴). همچنین تحقیقات نشان داده است که بر روی مناطق دگرسان شده به دلیل وجود دگرسانی سریستی و فلدسپارهای پتاسیم‌دار و برخی رس‌ها، میزان شمارش پتاسیم بالاست، در حالی که داده‌های شدت میدان مغناطیسی این مناطق مقادیر پایین تری را نسبت به سنگ‌های دگرسان شده نشان می‌دهند (Ranjbar et al., 2001).

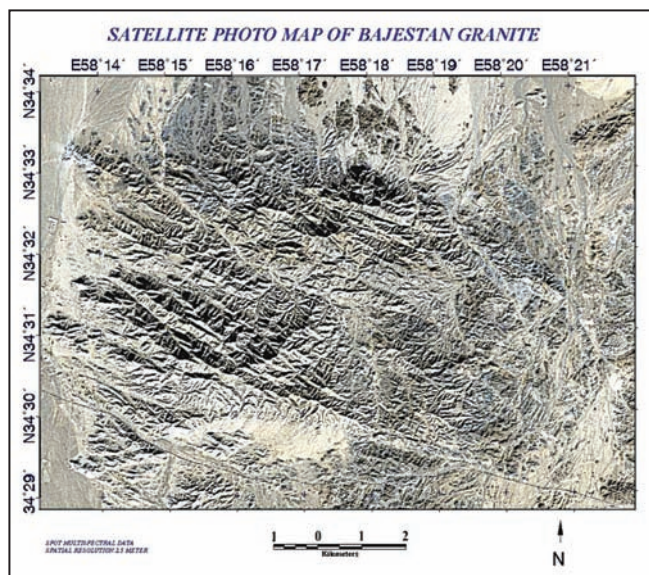
داده‌های رادیومتری مربوط به این ناحیه (شکل‌های ۱۳-الف تا پ) نشانگر بالا بودن میزان عناصر K و Th و U به نحو چشمگیری در محدوده منطبق با مرز گرانیته بجنستان است و به نظر می‌رسد که این گرانیته از نظر حضور عناصر کمیاب بسیار غنی باشد. مطالعات محمدزاده لاری (۱۳۷۶) و نتایج آنالیز داده‌های مربوط به ژئوشیمی ورقه ۱:۱۰۰/۰۰۰ بجنستان (گزارش در دست چاپ سازمان زمین‌شناسی) نیز تأییدی بر این موضوع است. بالا بودن میزان عناصر کمیاب در این گرانیته می‌تواند پنجره جدیدی برای اکتشاف این عناصر استراتژیک در محدوده بگشاید.

مقایسه شکل ۱۳-ت مربوط به شدت میدان کل مغناطیسی این محدوده با تصاویر مربوط به بارزسازی خطواره‌های موجود در محدوده شکل‌های ۴،

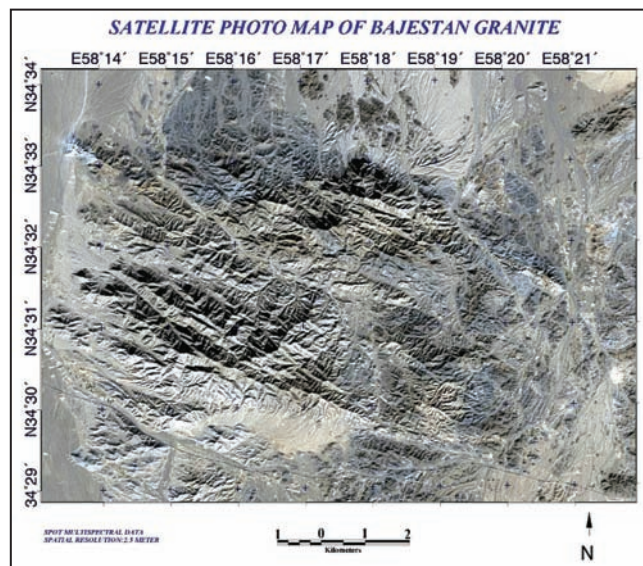
شکل ۱- موقعیت و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه در خاور شهرستان بجنستان، استان خراسان رضوی.



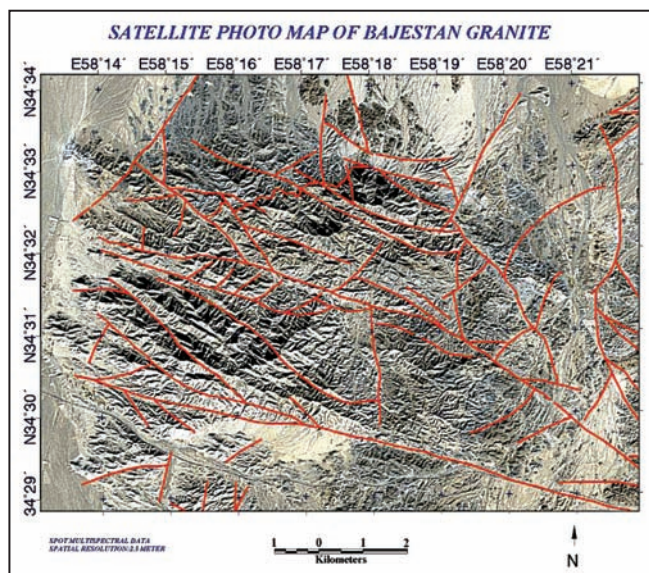
شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه با کمی تغییرات توسط نویسندگان، برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ بجنستان (عاشوری و همکاران، ۱۳۸۶) و نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰/۰۰۰ فردوس (افتخارزاد و روتتر، ۱۹۷۷).



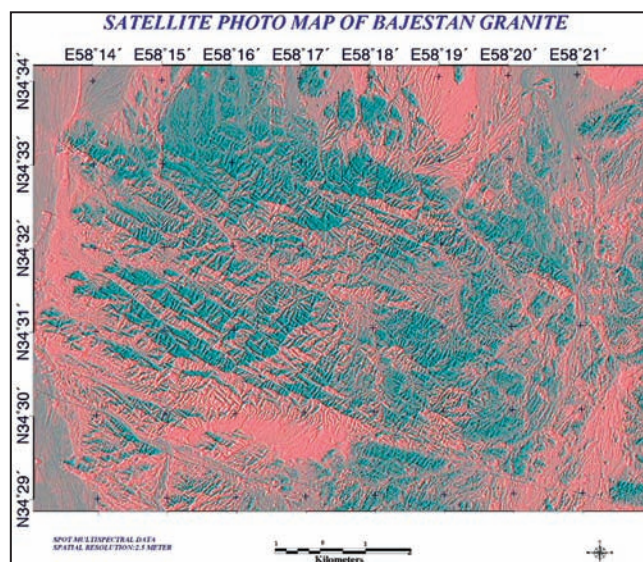
شکل ۴- تصویر محدوده مورد مطالعه با استفاده از پردازش داده‌های SPOT و اعمال فیلتر High Pass نوع 11\*11 Sharpen برای بارزسازی خطوطاره‌ها.



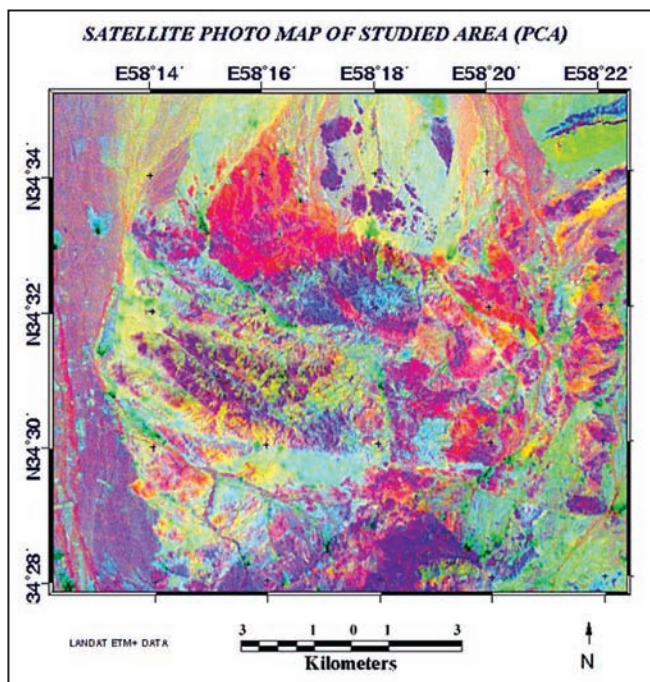
شکل ۳- تصویر محدوده مورد مطالعه با استفاده از پردازش داده‌های SPOT با هدف تفکیک مرز واحدهای زمین‌شناسی.



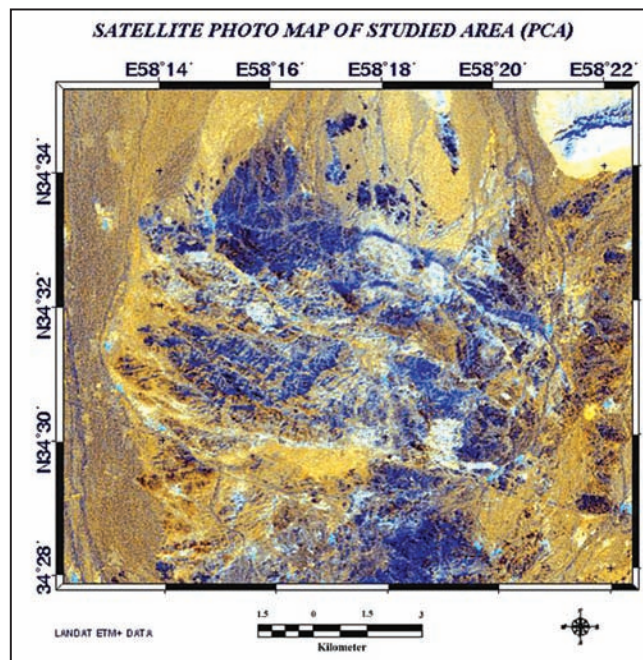
شکل ۶- رسم خطوطاره‌های اصلی به صورت وکتور بر روی داده SPOT.



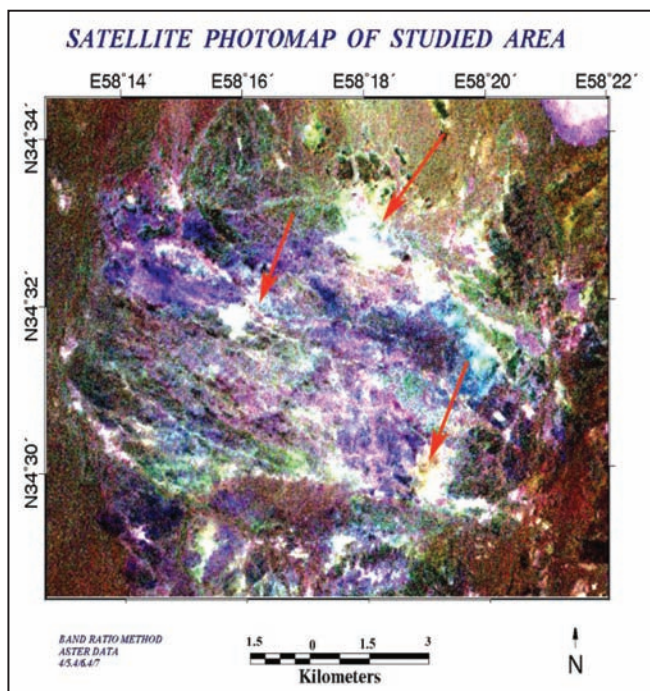
شکل ۵- به کارگیری همزمان فیلترهای آستانه ۳ و سوبل ۲ برای بارزسازی خطوطاره‌ها در محدوده مورد مطالعه بر روی داده SPOT.



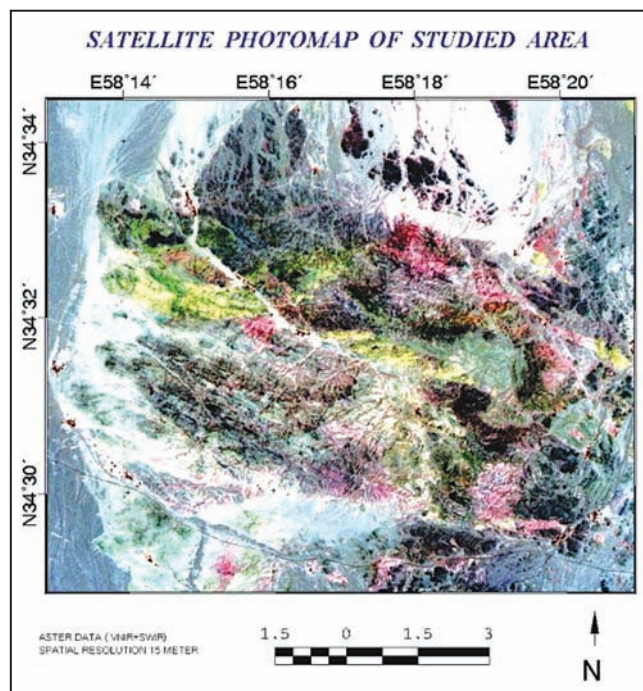
شکل ۸- تصویر حاصل از روش PCA انتخاب ۴ باندهی، حاصل از ترکیب  $.RGB = PCband3(1.3.4.5), PCband1(1.3.4.5), -PC4(1.3.5.7)$



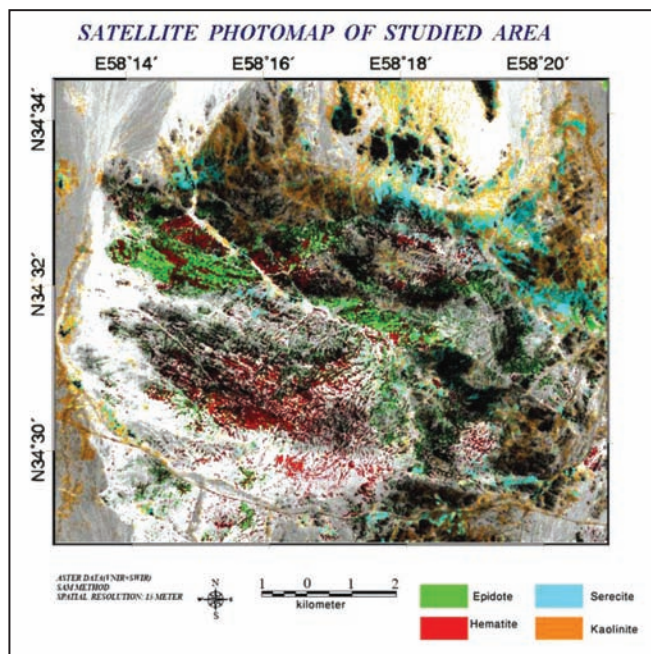
شکل ۷- تصویر حاصل از روش PCA ۶ باندهی حاصل از ترکیب  $RGB=(-PC4, -PC4+PC5, PC5)$  محدوده‌های دارای دگرسانی به رنگ سفید و آبی روشن تفکیک شده‌اند.



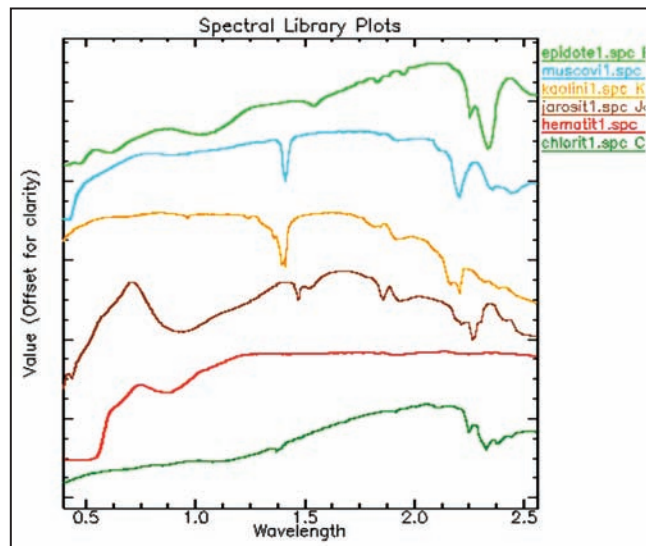
شکل ۱۰- تصویر حاصل از روش نسبت باندهی به صورت  $RGB:4/5, 4/6, 4/7$  بر روی داده ASTER، مناطق دارای دگرسانی بارز، با فلش مشخص شده است.



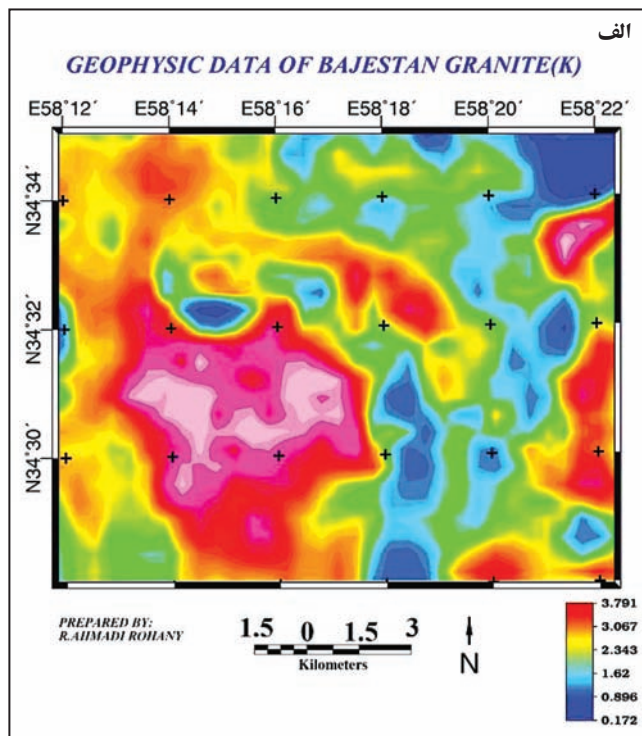
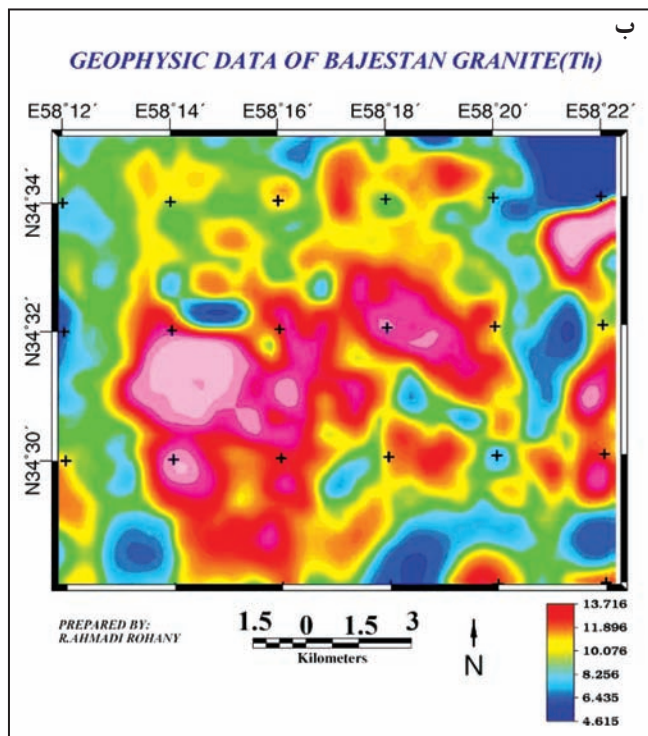
شکل ۹- تصویر حاصل ترکیب باندهی  $RGB:468$  با استفاده از داده‌های ASTER.



شکل ۱۲- تصویر حاصل از پردازش داده ASTER به روش SAM برای کانی‌های اپیدوت، سریسیت، هماتیت و کانولینیت.

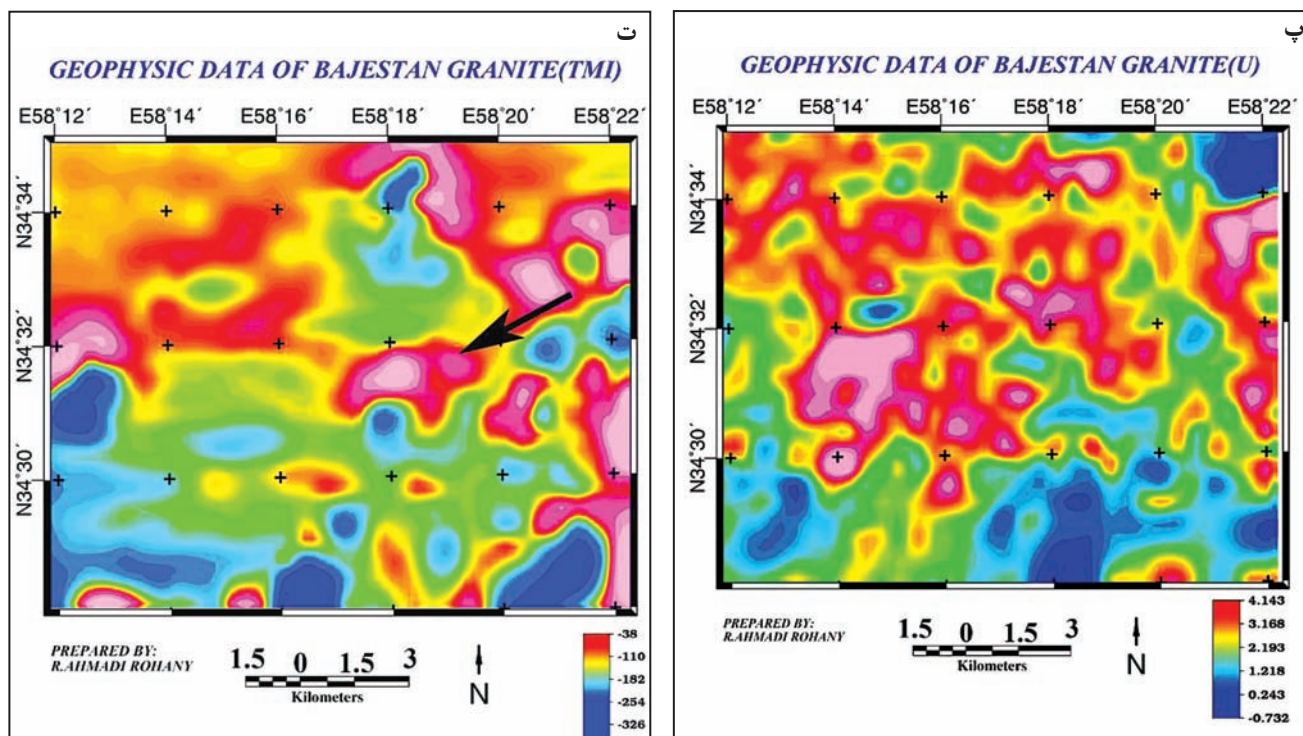


شکل ۱۱- نمودار طیفی کانی‌های کلریت، هماتیت، جاروسیت، کانولینیت، سریسیت و اپیدوت (با استفاده از کتابخانه طیفی USGS).



شکل ۱۳- پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی: الف) شمارش پتاسیم (K)؛ ب) شمارش توریم (Th).





شکل ۱۳- پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی: (پ) شمارش اورانیم (U)؛ (ت) شدت میدان کل مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه.

جدول ۱- مشخصات سری ماهواره‌های SPOT (برگرفته از سایت [www.spotimage.com](http://www.spotimage.com)).

سنجنده‌ها	طیف الکترومغناطیس	اندازه پیکسل‌ها	باند‌های طیفی
اسپات ۵	پانکروماتیک	۲/۵ متر یا ۵ متر	۰/۷۱ - ۰/۴۸ میکرومتر
	باند ۱: سبز	۱۰ متر	۰/۵۹ - ۰/۵۰ میکرومتر
	باند ۲: قرمز	۱۰ متر	۰/۶۸ - ۰/۶۱ میکرومتر
	باند ۳: مادون قرمز نزدیک	۱۰ متر	۰/۸۹ - ۰/۷۸ میکرومتر
	باند ۴: محدوده طول موج کوتاه مادون قرمز	۲۰ متر	۱/۷۵ - ۱/۵۸ میکرومتر
اسپات ۴	تک طیفی	۱۰ متر	۰/۶۸ - ۰/۶۱ میکرومتر
	باند ۱: سبز	۲۰ متر	۰/۵۹ - ۰/۵۰ میکرومتر
	باند ۲: قرمز	۲۰ متر	۰/۶۸ - ۰/۶۱ میکرومتر
	باند ۳: مادون قرمز نزدیک	۲۰ متر	۰/۸۹ - ۰/۷۸ میکرومتر
	باند ۴: محدوده طول موج کوتاه مادون قرمز	۲۰ متر	۱/۷۵ - ۱/۵۸ میکرومتر
اسپات ۱	پانکروماتیک	۱۰ متر	۰/۷۳ - ۰/۵۰ میکرومتر
اسپات ۲	باند ۱: سبز	۲۰ متر	۰/۵۹ - ۰/۵۰ میکرومتر
اسپات ۳	باند ۲: قرمز	۲۰ متر	۰/۶۸ - ۰/۶۱ میکرومتر
	باند ۳: مادون قرمز نزدیک	۲۰ متر	۰/۸۹ - ۰/۷۸ میکرومتر

## کتابنگاری

- افتخارنژاد، ح. و روتنر، آ.، ۱۹۷۷- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰/۰۰۰ فردوس، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بابا احمدی، ع.، ۱۳۸۸- کاربردهای سنجش از دور در زمین شناسی، انتشارات آوای قلم، ۱۷۶ صفحه.
- داوودآبادی فراهانی، م. و رنجبر، ح.، ۱۳۸۴- مقایسه داده‌های ژئوفیزیک هوایی و سنجنده ASTER برای تعیین مناطق دگرسان شده چهار گنبد استان کرمان، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- عاشوری، ع.، کریم‌پور، م. ح. و سعادت، س.، ۱۳۸۶- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ بجنستان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قورچی‌روکی، م.، سعادت، س. و عاشوری، ع.، ۱۳۸۸- پترولوژی، آلتراسیون و کانی‌سازی توده‌های نفوذی مناطق طاهرآباد و بجنستان، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۱، ۱۰۱-۸۳.
- کریم‌پور، م. ح.، ملک‌زاده شفاوردی، آ.، مظاهری، ا. و حیدریان‌شهری، م. ر.، ۱۳۸۶- ماگماتیزم و انواع کانی‌سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- گروه ژئوفیزیک هوایی سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۴- گزارش برداشت پردازش و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی در منطقه جنوب خراسان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محمدزاده لاری، م. ا.، ۱۳۷۶- بررسی پترولوژی سنگ‌های پلوتونیک خاور و جنوب خاور بجنستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی.
- هنرمند، م. و رنجبر، ح.، ۱۳۸۴- کاربرد روش‌های مختلف پردازش تصویر داده‌های ETM<sup>+</sup> به منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه‌ای در منطقه کوه مزار- کوه پنج در استان کرمان، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، سال پانزدهم، شماره ۵۷، ۱۲۷-۱۱۰.

## References

- Crosta, A. & De Souza Fliho, C., 2003- Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using aster imagery and principal component analysis, international journal of remote sensing, 24: 4233-4240.
- Crosta, A. P. & Moore, J. M., 1989- Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone Belt terrain. Proceedings of the Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, Alberta, Canada, 2- 6 October, 1173-1187.
- Di Tommaso, I. M. & Rubinstein, N., 2006- Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, Journal of Ore Geology Reviews, volume 29, pp. 1-16.
- Gibson, P. J. & Power, C. H., 2000- Introductory remote sensing: Digital image processing and application. Routledge, New York. 249pp.
- Jensen, J. R., 1996- Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective, 2nd Edition. NJ: Prentice-Hall, pp. 60-61.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. & Goetz, A. F. H., 1993- The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data: Remote Sensing of Environment, Special issue on AVIRIS, May-June 1993, v. 44, p. 145 - 163.
- Ninomiya, Y., 2002- Mapping quartz, carbonate minerals and mafic ultramafic rocks using remotely sensed multi spectral thermal infrared ASTER data. Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering 4710, 191-202.
- Ninomiya, Y., 2004- Lithologic mapping with multi spectral ASTER TIR and SWIR data. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering 5234, 180-190.
- Ranjbar, H. & Honarmand, M., 2004- Integration and analysis of airborne geophysical and ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the Central Iranian Volcanic Belt, using fuzzy classification. International Journal of Remote Sensing, 21: 4729-4741.
- Ranjbar, H., Hassanzadeh, H., Torabi, M. & Ilaghi, O., 2001- Integration and analysis of airborne geophysical data of the Darrehzar area, Kerman Province, Iran, using principal component analysis. Journal of applied geophysics, 48: 33-41.
- Rosenberg, F., 1981- Geochemische and petrologische untersuchungen und magmatiten der intrusion Bejestan ostiran diplomarbeit, Min. Petr. Humburg.
- Rowan, L. C. & Mars, J. C., 2003- Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emissivity and Reflection Radiometer ASTER data. Remote Sensing of Environment 84, 350-366.
- Rowan, L. C., Hook, S. J., Abrams, M. J. & Mars, J. C., 2003- Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada using the Advanced Spaceborne Thermal Emissivity and Reflection Radiometer ASTER. A new satellite-imaging system. Economic Geology 98, 1019-1027.
- 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(1), pp. 74-87.
- Stocklin, J. & Nabavi, M. H., 1973- Tectonic map of Iran, Geological Survey of Iran.
- Tangestani, M. H. & Moore, F., 2001- Porphyry copper potential mapping using the weights-of-evidence model in a GIS, northern Share-e-Babak, Iran, Australian Journal of Earth Sciences, 48: 695-701.
- Tangestani, M. H. & Moore, F., 2003- The use of Dempster-Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-Babak, Iran, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4: 65-74.
- Vincent, R. K., 1997- Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing, Prentice Hall, 370 pp. Wang, F., 1990- Fuzzy supervised classification of remote sensing images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 28, p. 194-201.