

## شناسایی نواحی مستعد کانه‌زایی ناحیه محسن ابن علی بروجرد با

### استفاده از داده های سنجش از دور

زهرا اکبری<sup>(۱،\*)</sup>، ایرج رسا<sup>۲</sup>، علی یارمحمدی<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
 ۲- گروه زمین شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
 ۳- کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۹/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۸۹/۳/۱۰

#### چکیده

منطقه محسن ابن علی در جنوب شرق شهرستان بروجرد، در شمال غرب پهنه سنندج- سیرجان واقع شده است. اغلب سنگهای رخنمون یافته در منطقه، یک توالی آتشفشانی- رسوبی به سن مزوزوئیک (تریاس) می باشد که در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. منطقه مورد بررسی به دلیل وجود فرایندهای زمین- شناسی متنوع که در امر کانی‌سازی از اهمیت بالایی برخوردار هستند، می‌تواند مناطق مستعدی را جهت پتانسیل‌یابی مواد معدنی معرفی نماید. بدین منظور استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با حجم پوشش بسیار بالا می‌تواند کمک موثری در شناسایی اولیه مناطق امیدبخش باشد.

بدین جهت در منطقه مورد بررسی تفکیک واحدهای سنگی، پدیده دگرسانی و ساختهای تکتونیکی با بهره گیری از داده های سنجنده ETM+ لندست صورت گرفت. روشهای مختلفی برای تهیه نقشه‌های موضوعی مورد نیاز مانند اعمال فیلترهای مختلف، ایجاد تصاویر رنگی با تلفیق باندهای مختلف (FCC)، تصاویر نسبتی، تصاویر تفریقی و روشهای تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) مورد استفاده قرار گرفت. آشکارسازی و تفکیک دگرسانیها با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محدوده نشان‌دهنده کانیهای اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و دگرسانیهای رسی می‌باشد. در این میان ارتباط نزدیکی بین عامل خطوارگی و دگرسانیهای گرمابی تفکیک شده در منطقه مشاهده شد. براساس این مطالعات، یک گروه دگرسانیها در منطقه در روند گسلهای شمال غرب- جنوب شرق در کربناتها و متاولکانیکها و گروه دیگر در امتداد گسلهای شمالی- جنوبی و محل تقاطع گسلها در توده‌های نفوذی منطقه شناسایی شده است. در نهایت با تلفیق این نتایج و مطالعات زمین شناسی سه ناحیه شمال روستای محسن ابن علی، نلخاست و کوه نل به عنوان مناطق امیدبخش برای بررسیهای صحرایی جامع پیشنهاد شد. در ارائه و معرفی مناطق مستعد سعی بر این بود که، بیشترین احتمالات در کانی‌زایی، در نظر گرفته شود.

**واژه های کلیدی:** ETM+، تحلیل مولفه اصلی، مناطق امید بخش معدنی، دگرسانی گرمابی، محسن ابن علی

## مقدمه

تا الگوی مناسب جهت تمرکز بررسیهای بعدی بدست آید.

## محدوده مورد بررسی

منطقه محسن ابن علی با وسعت تقریبی ۲۰۰ کیلومتر مربع و مختصات جغرافیایی  $48^{\circ}50'$  تا  $49^{\circ}2'$  طول شرقی  $33^{\circ}42'$  تا  $33^{\circ}48'$  عرض شمالی در فاصله تقریبی ۳۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان بروجرد از توابع استان لرستان جای داشته و در بلوک یک دویست و پنجاه هزار خرم آباد و برگه یکصد هزار بروجرد واقع شده است شکل (۱). با توجه به زمین شناسی مطلوب زون سنندج- سیرجان از جمله موقعیت خاص تکتونیکی، گستره سنگهای دگرگونی و استعداد ویژه برای میزبانی مواد معدنی و توده های نفوذی، شرایط مطلوبی جهت اکتشافات معدنی دار است. منطقه محسن ابن علی بر اساس نتایج مطالعات ژئوشیمیایی ناحیه ای برگه بروجرد در مقیاس یکصد هزار (مصدق، ۱۳۸۱) به لحاظ کانی سازی پتانسیل دار تشخیص داده شد. در این تحقیق ادامه بررسیهای اکتشافی منطقه مطالعاتی بر اساس پردازش تصاویر ماهواره ای ETM انجام شد.

## زمین شناسی

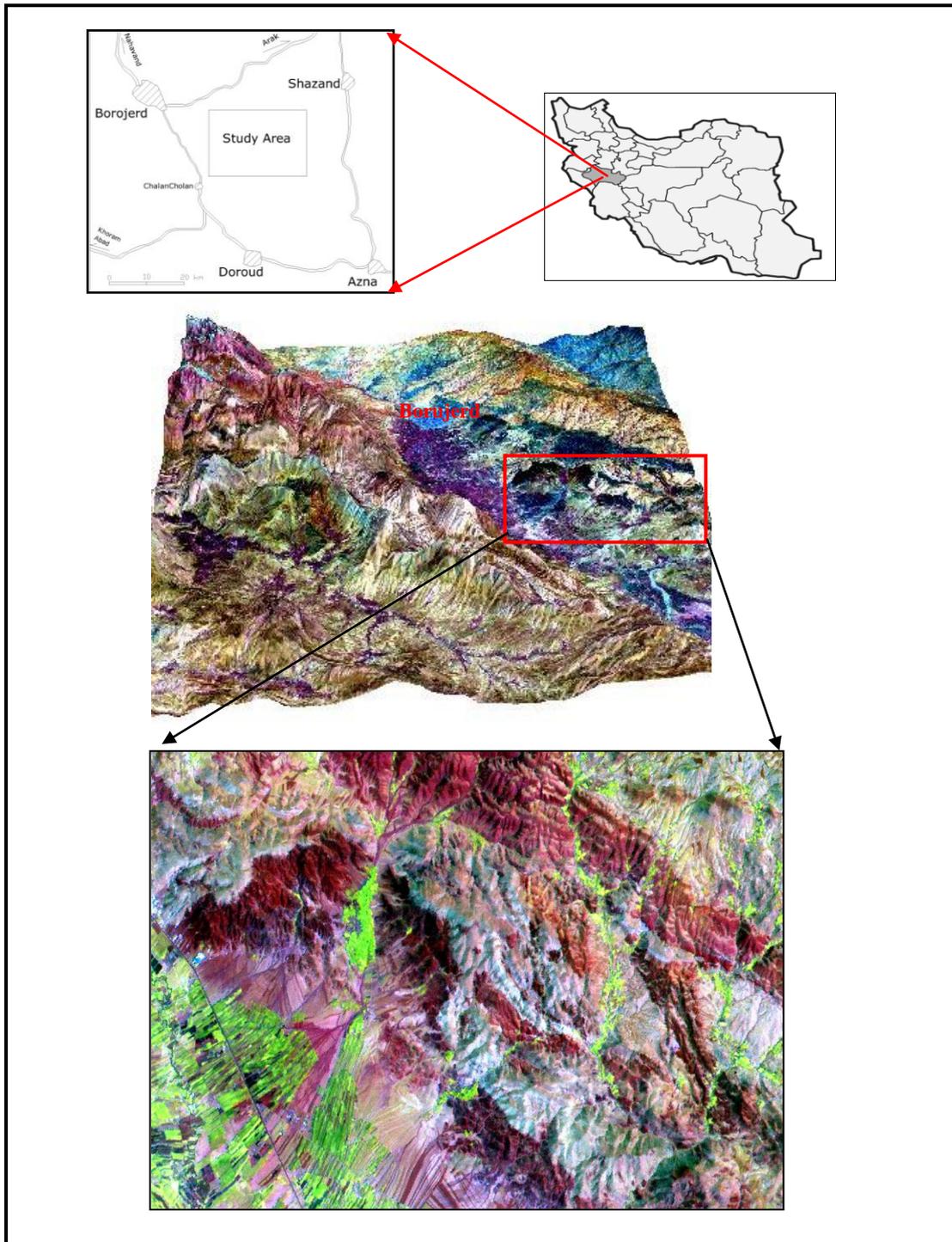
منطقه مورد پژوهش در جنوب شرقی برگه یکصد هزار بروجرد، جزئی از بخش شمالی زون دگرگون شده سنندج- سیرجان و در زیرپهنه با دگرشکلی پیچیده (محجل و سهندی، ۱۳۷۸) واقع شده است شکل (۲). تکامل زمین ساختی آن مانند بخشهای دیگر این زون مرتبط با زایش اقیانوس نئوتتیس است. براساس برگه زمین- شناسی یکصد هزار بروجرد قدیمی ترین رسوبات شناخته شده در این منطقه رسوبات پلیتی و آهکی تریاس است که بصورت دگرشیب توسط رسوبات ژوراسیک پوشیده می شوند. سنگهای تریاس

کانی سازی در پوسته زمین پدیده ای نادر و استثنایی است. لذا کشف یک نهشته اقتصادی نیازمند بکارگیری تکنیک ها و فن آوری های بسیاری است تا ضمن کاستن از هزینه ها و پایین آوردن ریسک، سرعت لازم به عملیات اکتشافی داده شود. دورسنجی علم کسب اطلاعات درباره یک شی، محدوده و یا پدیده بدون تماس فیزیکی با آن است و بیشتر شامل سامانه های مشاهده زمین از بالا می شود. انرژی رسیده به سنجنده وابسته به نوع ماده و ترکیب شیمیایی آن بوده و می تواند مبنای شناسایی مواد مختلف سطحی باشد.

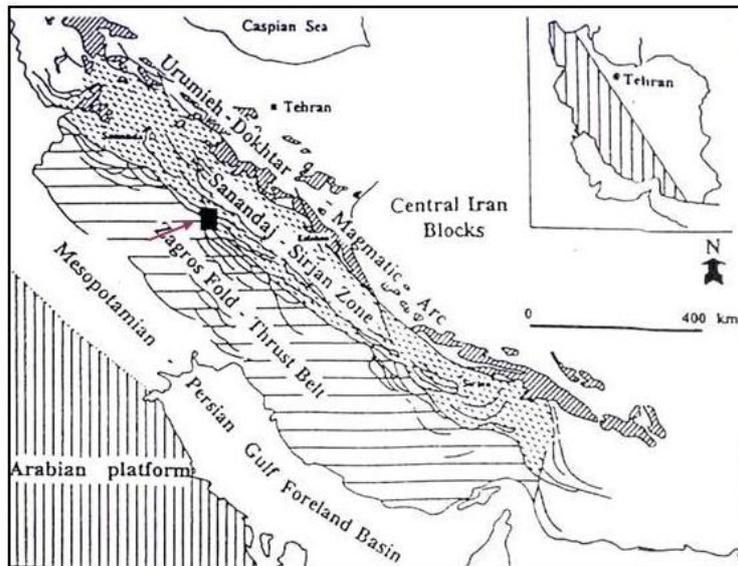
مزیت های عمده سنجش از دور می توان وسعت دید ۱ با تکیه بر امواج الکترومغناطیسی، اندازه گیری هایی با ماهیت سطحی به جای نقطه ای، امکان گسترش مشاهدات محدود زمینی در نواحی وسیع تر بر روی تصویر عنوان کرد. کاربرد داده های دورسنجی در اکتشاف و زمین شناسی عموماً شامل نقشه برداری خطواره های ناحیه ای، نقشه برداری شکستگی های محلی، نقشه برداری واحدهای زمین شناسی و شناسایی گروه های مختلف کانی ها می باشد. (دالاتی: ۱۹۹۵)

مقاله حاضر سعی دارد تا از تکنیک سنجش از دور و با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای ETM به عنوان یک ابزار مهم در اکتشاف که می تواند به عنوان یک لایه اطلاعاتی موثر در کاهش خطر پذیری امر اکتشاف مطرح باشد، در منطقه مورد مطالعه بهره گیرد. همچنین وضعیت ارتباط و نحوه گسترش دگرسانیهایی تفسیر شده بر اساس پردازش تصاویر ماهواره ای در منطقه بررسی گردید

بالائی- ژوراسیک شامل فیلیت، میکاشیست، کوارتزیت، آهکهای چرتی و توفهای اسید و بازیک دگرگون می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و تصویر ماهواره‌ای سه بعدی ETM+ برکه یکصد هزار بروجرد و موقعیت منطقه مطالعاتی در (RGB:742)



شکل ۲- موقعیت زمین ساختی زونها در باختر ایران . موقعیت منطقه مورد مطالعه با علامت ■ نشان داده شده است.

با گسترش محدودتر در اثر نفوذ توده گرانیتوئیدی به وقوع پیوسته است.

این محدوده بعلت همجواری با برخورد دو ایالت زمین ساختی از جنبش خاصی برخوردار بوده، بطوریکه کلیه واحد های سنگی از سوی شمال شرقی به جنوب غربی بر روی یکدیگر رانده شده- اند. از گسلهای مهم این ناحیه میتوان گسل گاو میر، گسل قلعه حاتم، گسل نهاوند را نام برد که همگی در ویژگی تکتونیکی این ناحیه نقش به سزائی داشته اند.

### مطالعات دورسنجی

#### داده ها و اطلاعات مورد استفاده

در این مطالعه تصاویر ETM<sup>+</sup> به شماره گذر ۱۶۶ و ردیف ۳۷ که توسط ماهواره لندست ۷ در تاریخ ۲۰۰۲ برداشت شده، مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱). داده های این سنجنده با هفت باند و قابلیت تفکیک زمینی ۳۰ متر و باند هشت (باند پانکروماتیک) با قابلیت تفکیک زمینی ۱۵ متر می باشد. داده های خام انتخاب شده دارای فرمت GeoTiff است که در نرم افزار OrthoEngine در

این مجموعه پس از تحمل یک دگرگونی عمومی توسط توده های نفوذی گرانیتی گرانودیوریتی و کوارتز دیوریتی قطع گردیده اند. توده های نفوذی منطقه، دو ترکیب و چهره متفاوت یعنی گرانیتی با توپوگرافی پست و گرانودیوریتی با توپوگرافی خشن داشته و در سنگهای تریاس بالائی- ژوراسیک، هاله دگرگونی مجاورتی ایجاد نموده اند.

بر اساس محجل و سهندی (۱۳۷۸)، زیر پهنه با دگرشکلی پیچیده از سنگهای شدیداً دگرشکل یافته و دگرگون شامل شیست، فیلیت و آمفیبولیت و نفوذ توده های بیشماری از سنگهای نفوذی در پهنه ساندج- سیرجان تشکیل شده است. مهم ترین رویداد زمین شناسی این منطقه، پیدایش توده گرانیتوئیدی بروجرد در زمان ژوراسیک میانی (قادری و همکاران، ۱۳۸۳) است که درون این فیلیتها نفوذ کرده است. دو نوع دگرگونی ناحیه ای و همبری در منطقه رخ داده که فیلیت های همدان حاصل دگرگونی ناحیه ای شیلهای پلیتی ژوراسیک است و دگرگونی همبری

جهت ساخت مدل ارتفاع رقومی (DEM) لایه های برداری نقشه های ۱:۲۵,۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور از قبیل منحنی های میزان، نقاط ارتفاعی، شبکه آبراهه‌ای و خطوط خط الرأس و خط القعر در سیستم مختصاتی مکانی UTM و در قالب اندکس ملی ۱:۲۵۰,۰۰۰ به نرم افزار وارد شده و با الگوریتم های مناسب درون یابی گردید و DEM مورد نظر با وضوح مکانی ۱۰ متر ساخته شد تصحیح رادیومتری شامل تبدیل DN ثبت شده توسط سنجنده به رادیانس و آنگاه تبدیل رادیانس به داده انعکاسی در سطح زمین<sup>۵</sup> است. طی تصحیح رادیومتری، اثر جمعی انتشار<sup>۶</sup> اتمسفر، اثر تفریقی جذب<sup>۷</sup> گازها و بخار آب موجود در اتمسفر و اثر ضربی رادیانس ورودی<sup>۸</sup> خورشید از تک تک باندها حذف می‌شود، طوری که تنها پدیده باقی مانده در تصویر جذب و بازتاب ناشی از پراکنش انرژی الکترومغناطیسی با مواد سطح زمین باشد (باقری و رضایی ۱۳۸۵).

برای حذف اثر انتشاری اتمسفر با تقریب زدن میزان رادیانس افزوده شده به هر باند بر اساس باندهای طول موج بلند (باند ۷ سنجنده ETM<sup>+</sup>) (جاهدی و فرخی ۱۳۷۵) و برای حذف اثر جذبی گازهای اتمسفر و تابش خورشید با روش های تقریب زنی لگاریتمی و یا میانگین‌گیری از کل پیکسل های سین انجام شد که در نهایت داده های انعکاس نسبی تولید شد. نویزهای ناشی از تهیه داده، جزو ذاتی تصویر بوده و حین برداشت، ثبت، انتقال و توزیع داده به داده‌های خام افزوده می شوند. برای تخمین و برداشتن این نویزها از داده های ماهواره‌ای از فیلترهای آماری انحراف

کنار اطلاعات مداری ماهواره<sup>۱</sup> خوانده شده و با تعریف نام (ID) مخفف برای هر فایل به فرمت pix ذخیره گردید. در کنار تصاویر برای تکمیل اطلاعات از نقشه یکصد هزار بروجرد و شازند، نقشه‌های ۱:۲۵,۰۰۰ ۱:۵۰,۰۰۰ بروجرد و جالانچولان استفاده گردید.

### پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای

اولین گام از روند پیش‌پردازش داده‌ها<sup>۲</sup> انجام تصحیحات داده‌ای، تصحیحات هندسی، تصحیحات اتمسفری، فیلترکردن پارازیت‌های اتفاقی است که در نهایت تصاویری که با واقعیت زمین انطباق بیشتری دارند را جهت پردازش های اصلی ایجاد می‌کند.

هنگامی که یک تصویر توسط سنجنده ماهواره‌ای ثبت می‌شود، پیکسل های آن دارای خطا در موقعیت هندسی و مقدار روشنایی (خطای رادیومتری) است که نیازمند مجموعه‌ای از تصحیحات هستند تا آماده پردازش اصلی گردند. عمده‌ترین عواملی که باعث ایجاد خطاها در تصاویر ماهواره‌ای می‌گردند، ناشی از تغییرات موقعیت و وضعیت سنجنده و سکوی ماهواره، دوران و کرویت زمین و توپوگرافی سطح زمین است و تنها با بازسازی هندسه در زمان تصویر برداری به کمک اطلاعات مداری و نقاط کنترل زمینی قابل حذف می‌باشد. تصحیح هندسی منطقه مطالعاتی به صورت سه بعدی انجام شد که در آن با استفاده از مدل های ماهواره‌ای در کنار تعداد محدودی نقطه کنترل زمینی و مدل ارتفاع رقومی<sup>۳</sup> ویژگی و اندازه اعوجاج هندسی مدل شده تصویر مسطحاتی<sup>۴</sup> شد.

۵- At- Surface Reflectance

۶- Scattering

۷- Absorption

۸- Incoming Radiance (Irradiance)

۱- Ephemeris Data

۲- Preprocessing

۳- Digital Elevation Model (DEM)

۴- Planimetric

لیتولوژیکی، نقشه ساختارهای خطی و نقشه دگرسانیهها با استفاده از روشهای مختلف پردازشی استخراج گردید که در ادامه مقاله آورده شده است.

### ۱) تفکیک واحدهای سنگی

تفکیک و جداسازی واحدهای سنگی به این دلیل که تمرکز عناصر در سنگهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد، قابل ملاحظه و دارای اهمیت خاص است. بسته به اینکه دنبال چه نوع ماده معدنی هستیم، واحد سنگی خاصی می‌تواند منشا تولید عنصر مورد نظر باشد. در این راستا شناسایی واحدهای سنگی موجود در محدوده مورد نظر، اثر قابل ملاحظه‌ای در تشخیص مناطق امید بخش دارد. داده‌های ماهواره‌ای سبب استخراج اطلاعات مورد نیاز برای شناسایی واحدهای سنگی در یک محدوده مطالعاتی و به روز کردن (Updating) نقشه‌های موجود می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه برای تفکیک و تدقیق واحدهای زمین شناسی موثر در کانی‌سازی، اقدام به تهیه تصاویر با رنگهای مجازی، نقشه زمین شناسی برگه و طبقه بندی نظارت شده و برای بهبود کیفیت از روش کنتراست (Contrast) استفاده شد. نتایج نهایی و نوع سنگهای تشخیصی در جدول ۱ و شکل ۳ ارائه شده است.

گروه بعدی واحدهای سنگی شامل سنگهای رسوبی-آتشفشانی دگرگون شده است. با توجه به تن رنگی و بازتاب حاصل از سنگها و نیز الگوهای آنها روی نقشه‌های پردازش شده با باندهای ترکیبی مختلف، می‌توان گفت که این واحد شامل مرمر (TRmb)، اسلیت، کوارتزیت و مجموعه آتشفشانی حدواسط و بازیک (TRmv) می‌باشد. درجه دگرگونی این واحدهای سنگی پایین و در حد رخساره شیبست سبز به سن تریاس میانی-بالایی می‌باشد.

معیار<sup>۱</sup> استفاده شد. نویز ناشی از پردازش، پیکسل‌های ناخواسته‌ای هستند که به صورت کاذب، ارزشی برابر پیکسل‌های مطلوب و هدف گرفته‌اند. حذف این پیکسل‌ها با اعمال فیلترهایی چون میانه<sup>۲</sup>، بالاگذر<sup>۳</sup> و انحراف معیار انجام می‌شود. این مهم در انتهای فرایند پردازش مدنظر قرار گرفت.

### پردازش

مهم‌ترین بخش عملیات دورسنجی در یک ناحیه، تفسیر داده‌های ماهواره‌ای و استفاده از آنها در زمین شناسی که شامل نقشه برداری خطواره‌های ناحیه‌ای، نقشه برداری شکستگی‌های محلی، نقشه برداری واحدهای زمین شناسی، شناسایی گروه-های مختلف کانی‌ها و تعیین پتانسیل‌های معدنی در منطقه می‌باشد. در این مرحله داده‌های پردازش شده برای استفاده به صورت خروجی نهایی ارائه می‌گردند.

استخراج اطلاعات و شناسایی پدیده‌های زمین شناسی سطحی از تصویر با دو الگوی شناسایی الگوی مکانی<sup>۴</sup> و شناسایی الگوی طیفی<sup>۵</sup> انجام شد. با توجه به مزیت داده‌های ماهواره‌ای از جمله دید سه بعدی، ترکیبات رنگی مختلف (FFC) و رقومی بودن داده‌های ماهواره‌ای که علاوه بر امکان تصحیح هندسه تصویر، امکان بارزسازی و توسعه تصویر با الگوریتم‌های ریاضی توسط کامپیوتر را فراهم می‌کند، می‌توان برای شناسایی، تدقیق و تفسیر واحدهای زمین شناسی، تدقیق ساختاری (گسل‌ها و خطواره‌ها) استفاده کرد. با در نظر گرفتن عوامل کنترل کننده کانی‌سازی، سه نوع نقشه موضوعی شامل تفکیک واحدهای

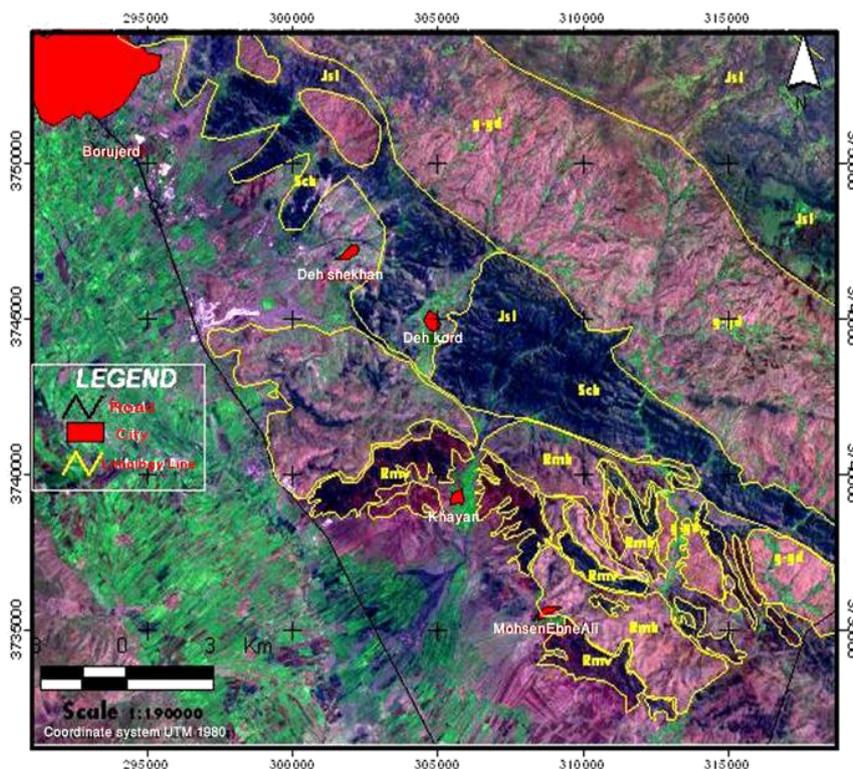
- 1- Standard Deviation
- 2- Median
- 3- High-Pass
- 4- Monoscopic
- 5- Spectral Pattern Recognition

دارد. تفاوت آن مربوط است به بخش غربی توده آذرین نلخاست که در تصاویر ماهواره‌ای توده آذرین با مشخصات طیفی همسان با بخش شرقی مشاهده شده در حالیکه در نقشه زمین شناسی به آن وسعت نشان داده نشده است (شکل ۴).

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در بین توالی سنگهای متاکریناتی و متاولکانیکی، توده نفوذی نلخاست ژوراسیک قرار گرفته که می‌تواند منشأ کانی سازی باشد. در جهت همسان سازی نقشه زمین شناسی منطقه با داده‌های ماهواره‌ای آشکار شد که تفاوتی بین این دو اطلاعات وجود

جدول ۱- تفکیک واحدهای سنگی منطقه مطالعاتی با استفاده از تصاویر ETM+

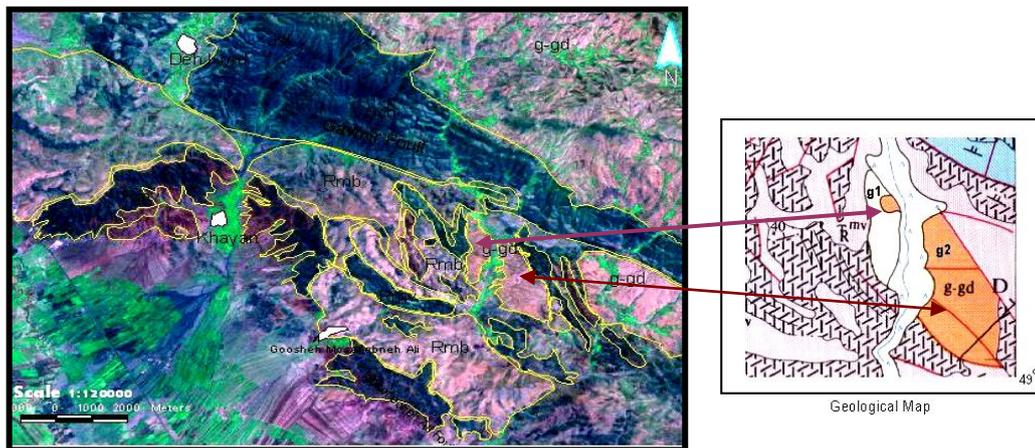
گروه سنگی	علامت اختصاری
Granite-granodiorite	g-gd
Slate	Jsl
MetaVolcanic	TRmv
Meta carbonate	TRmb



شکل ۳- تفکیک واحدهای سنگی در منطقه محسن ابن علی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای در ترکیب باندی RGB (7.4.2)

شده است، به احتمال زیاد این تفاوت ماهیت و ترکیب متفاوت این واحد را نشان می‌دهد. این موضوع در بررسیهای صحرایی و مطالعات پتروگرافی تأیید شد.

همچنین بررسی مشخصه‌های طیفی دقیق بر روی تصاویر ماهواره‌ای تفاوت‌های طیفی بارزی را بین واحدهای سنگی متاولکانیکی تریاس (TRmv) نشان می‌دهد، گرچه بر روی نقشه زمین شناسی یک واحد سنگ چینه‌ای یکسان در نظر گرفته



شکل ۴: همسان سازی نقشه زمین شناسی: مقایسه گسترش توده آذرین نلخاست در نقشه زمین شناسی و تصاویر ماهواره‌ای ETM+

نقشه شماتیکی از گسلها و نمودار گل سرخی آن را در محدوده مورد مطالعه در شکل ۵ الف ارائه شده است.

با مراجعه به این تصویر و نتایج کنترل زمینی می‌توان عملکرد گسلهای اصلی در دو راستای شمال باختر-جنوب خاور و شمال خاور-جنوب باختر را تشخیص داد. بسیاری از این خطواره‌ها در نقشه زمین شناسی مشخص نشده بود که توسط تکنیکهای پردازشی ذکر شده شناسایی شدند. شناسایی خطواره‌ها در کنار مشاهدات صحرایی امکان ارزیابی الگوهای شاخص جهت شناسایی مناطق امید بخش را فراهم آورد.

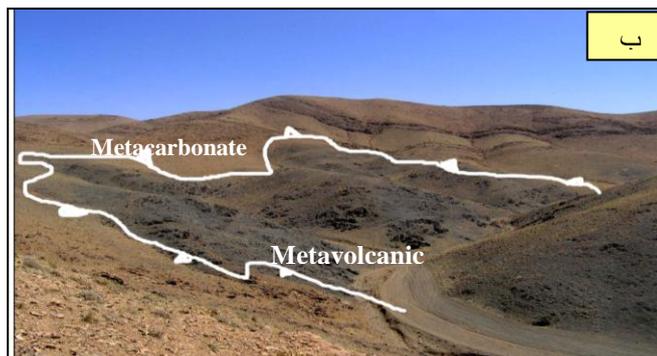
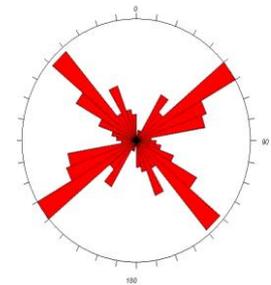
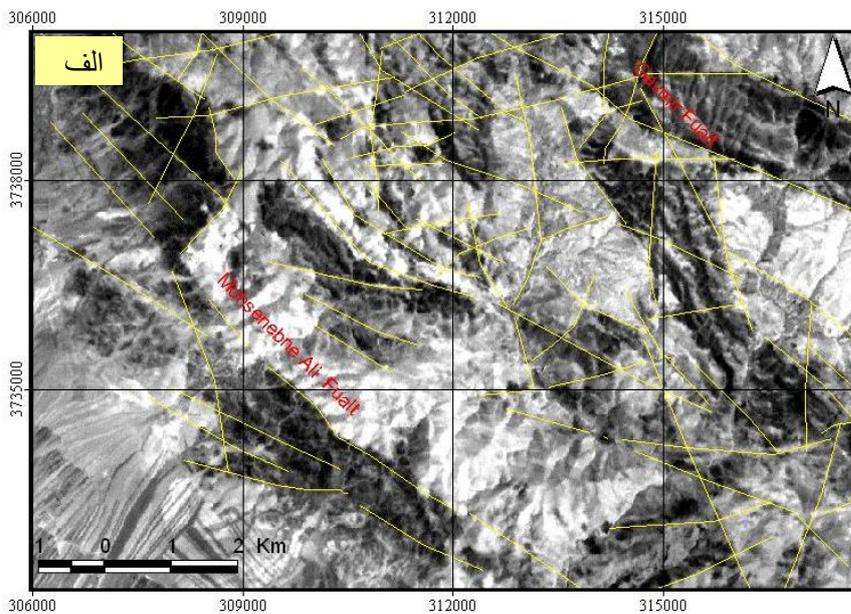
این محدوده بعلت همجواری با برخورد دو ایالت زمین ساختی از جنبش خاصی برخوردار بوده، بطوریکه کلیه واحدهای سنگی از سوی شمال خاوری به جنوب باختری برروی یکدیگر رانده شده‌اند (شکل ۵ ب، ج).

## ۲) استخراج ساختارهای خطی (Lineament Structural)

ساختارهای خطی ناشی از فعالیتهای تکتونیکی به ویژه گسلها عامل مهمی در تشکیل ذخایر معدنی و نقش بسزایی در تشکیل یک توده معدنی دارند. به منظور تفکیک بهتر و بارزسازی پدیده‌های ساختاری، از روش اعمال فیلترهای پایین‌گذر (Low Pass filter) مانند فیلتر میانه‌گیری با عملگرهای ماتریسی  $3 \times 3$  و فیلترهای بالاگذر مانند آشکارساز لبه‌ها (Edge detector) بر روی تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مختلف استفاده گردید (نظام پور، ۱۳۸۵). در موارد لازم سعی شد با دید سه بعدی و انداختن تصویر تهیه شده بر روی DEM، موقعیت واحدها در سه بعد دیده شده و اثر گسل در جابجایی ارتفاع نیز لحاظ شود (چرنیکوف و همکاران: ۲۰۰۲).

گروه دوم گسلها با روند شمال خاور-جنوب باختری که بیشتر توده‌های نفوذی و مناطق مجاور آن را قطع کرده‌اند و باعث جابجایی گسلهای نوع اول شده است. این گسلها جوانتر بوده و مسیر آبراهه‌های اصلی نیز در همین روند می‌باشند (اکبری و رسا، ۱۳۸۶).

سیستم های گسلش کم شیب و پرفشار و جهت راندگی از شمال به جنوب مشاهده می‌شود. گروه اصلی گسلهای منطقه با روند شمال باختر- جنوب خاور با تبعیت از روند اصلی زاگرس در کنتاکت بین واحدهای مختلف سنگی و از قدیمی‌ترین گسلهای منطقه می‌باشند. از گسلهای اصلی می‌توان به گسل گاومیر و گسل محسن ابن علی اشاره کرد.



شکل ۵- الف) نقشه لایه ساختارهای خطی تفسیر شده بر اساس تصاویر ETM+ منطقه مورد مطالعه همراه با نمودار گل سرخی (ب) راندگی آشکار واحدهای آهکی بر روی واحدهای ولکانیکی (نگاه به شمال خاوری) ج) ساختار چین خوردگی در محل راندگی در واحدهای کربناتی (نگاه به باختر)

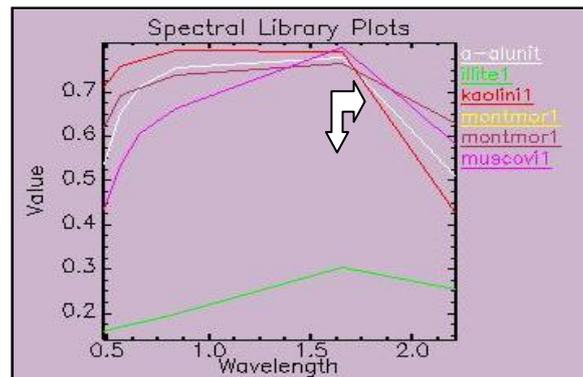
سطحی ایجاد شده توسط عوامل دخیل در تشکیل کانسار، شناخته می‌شوند. یکی از این عوارض، دگرسانیها می‌باشند که در اثر واکنش بین سنگ

### ۳) دگرسانی گرمایی

مهمترین قدم در اکتشاف، مشخص کردن واحد زمین شناسی بارور است که بر اساس عوارض

با فعالیت‌های گرمایی دارد و از آنجا که فعالیت‌های گرمایی و اثرات آن را بطور مستقیم نمی‌توان روی نقشه زمین شناسی نشان داد و نیز گاهی تشخیص آن روی زمین مشکل است، لذا شناسایی این گونه پدیده‌ها، در انتخاب محل کانی سازی و بررسی محدوده کانی‌سازی، از روی تصاویر ماهواره‌ای مفید می‌باشد. منطقه مورد پژوهش

دیواره با محلول‌های کانسار ساز ایجاد می‌گردند. همچنین اغلب کانسارهای شناخته شده الگوی منطقه‌بندی مناسبی از کانی‌سازی و دگرسانی سنگ دیواره را که بصورت‌های مختلفی توسط اکسیدهای مهم و یا تمرکز عناصر اصلی تعریف شود، ارائه می‌دهند (رس و همکاران: ۲۰۰۱). از طرفی کانی‌سازی کانسارهای فلزی ارتباط نزدیکی



شکل ۶- پاسخ طیفی (Reflectance Spectra) کانیهای رسی نسبت به باندهای سنجنده ETM+ لندست

زمینی و معرفی مناطق امید بخش است (ونکاتارامن: ۲۰۰۰). در تهیه نقشه دگرسانیهای گروه کانیهای هیدروکسیل و کانیهای اکسید آهن با استفاده از تصاویر ETM+ در منطقه مورد مطالعه از متدهای فوق استفاده گردید. سه کانی عمده در دگرسانیهای رسی عبارتند از ایلیت، کائولینیت و مونت موریلونیت که در مورد کانسارهای رگه‌ای آلونیت را نیز باید به آنها افزود. بازتاب طیفی این کانیها در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک<sup>۳</sup> قرار می‌گیرد. با توجه به پاسخ طیفی این کانیها که نسبت به سنجنده ETM+ در نسخه چهارم نرم افزار ENVI، Resample شده‌اند (شکل ۶)، حداقل انعکاس در محدوده باند ۷ و بیشترین انعکاس در باند ۵

شامل یک دگرگونی ناحیه‌ای به عنوان زمینه است که با جایگیری توده نفوذی، هاله دگرگونی مجاورتی تشکیل شده است. داده های ETM+ قادرند تعدادی از کانی‌ها را بر اساس الگوی طیفی آنها استخراج و تفکیک نمایند. پردازش طیفی داده‌های ماهواره‌ای شامل ورود داده های بازتابی/تابشی در قالب سین، کاهش ابعاد مکانی، کاهش و سفید کردن نویز در باندها، استفاده از روشهای تصاویر مجازی<sup>۱</sup> (FCC)، نسبت باندهای<sup>۲</sup> و تحلیل مولفه اصلی (تنگستانی و مور: ۲۰۰۱)، (برگر ۲۰۰۰) جهت شناسایی آنومالیها برای بررسی اولیه تنوع طیف، تفسیر و صحت سنجی نتایج که شامل تلفیق با سایر لایه‌های اطلاعاتی تولید شده در محیط GIS برای کسب بهترین نتایج و کنترل

3-Short Wave Infrared (SWIR)

1- False Color Composition (FCC)

2- Band Ratio

نسبتی ETM5/ETM7 می‌تواند به عنوان یک شاخص جهت تشخیص نواحی دگرسان مورد توجه باشد.

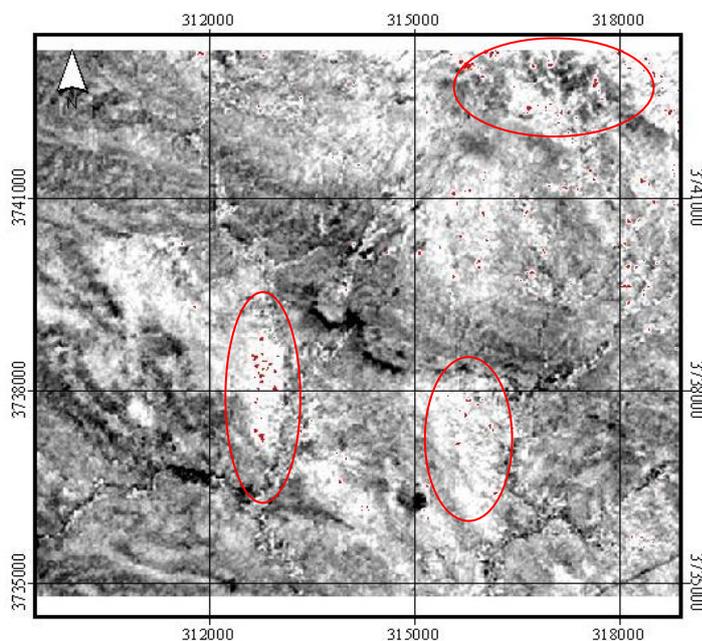
جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز مولفه اصلی (PC) جهت تفکیک کانیهای هیدروکسیل‌دار

PC4(1457)					
Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 5	Band 7	Eigenvalue
PC1	0.258	0.442	0.811	0.284	2279.148
PC2	-0.066	-0.701	0.557	-0.440	285.493
PC3	0.348	-0.558	0.165	0.404	285.493
PC4	-0.899	-0.038	-0.069	0.750	69.524

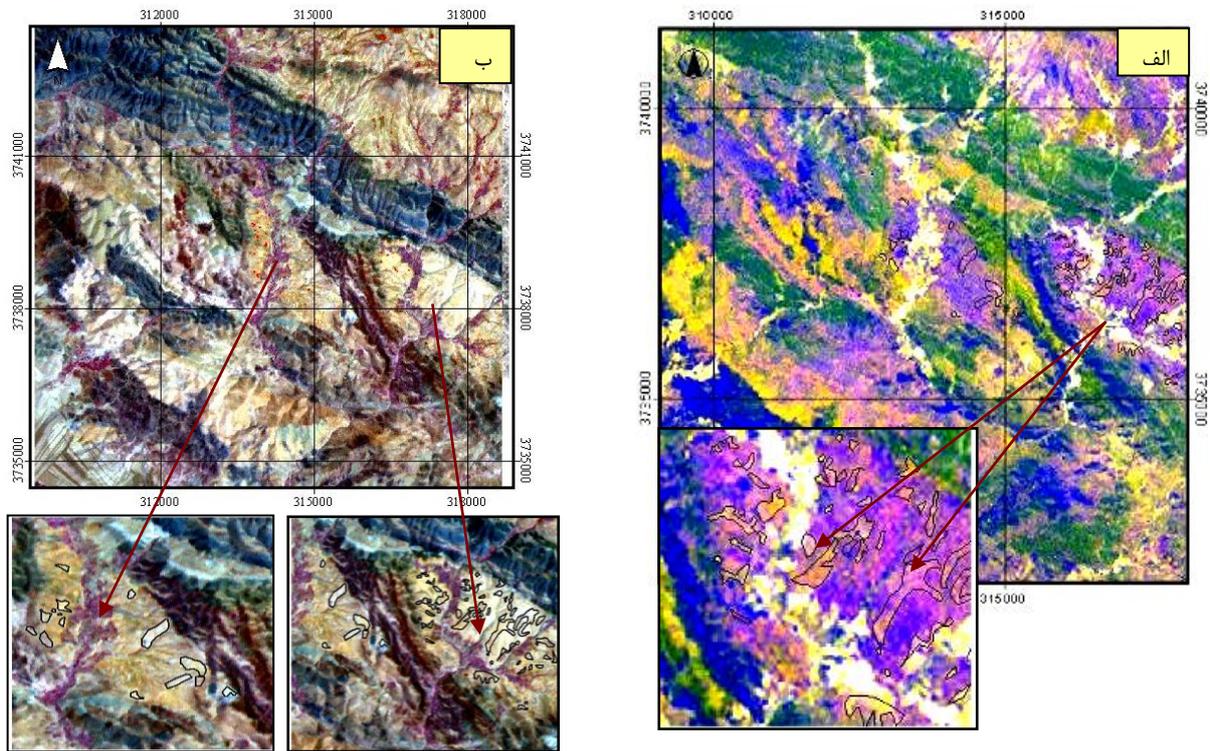
بین باندی و قرار دادن آنها در ترکیب باندی [PC4(5,7), PC4(1,4,5,7), PC4(5,7)] در فیلترهای RGB و ترکیب باندی، RGB(531) مناطق دگرسانی تفکیک شده با متد تحلیل مولفه اصلی تأیید شد (اشکال ۸ الف و ب).

فعالیت مشابهی نیز جهت تشخیص کانیهای اکسید آهن انجام شد. بازتاب طیفی تمام این کانیها در محدوده طیفی مرئی قرار می‌گیرد.

به منظور شناسایی کانیهای هیدروکسیل‌دار از روشهای PC4(1,4,5,7), PC4(5,7) و Band (5/7) Ratio و متد تفریق باندی (5-7) استفاده شد. در تمام این روشها پیکسلهای هیدروکسیل‌دار تشخیص داده شده‌اند. بدین منظور مولفه‌های اصلی (PC) مربوط به باندهای ۷، ۵، ۴، ۱ تهیه (جدول ۲) و از آنها در ترسیم نقشه دگرسانی استفاده شد (رنجبر و همکاران: ۲۰۰۴) (شکل ۷). با تلفیق چند روش تحلیل مولفه اصلی و تفریق



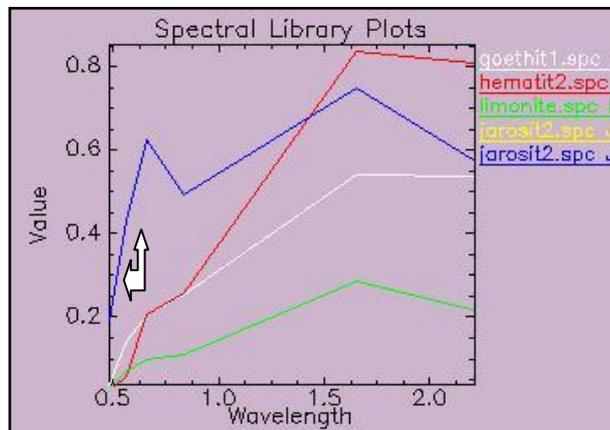
شکل ۷- تصویر حاصل از آنالیز مولفه اصلی PC4(1,4,5,7) و نمایش مولفه PC4 (-) جهت تشخیص کانیهای هیدروکسیل‌دار، پیکسلهای روشن توده‌های نفوذی و پیکسلهای قرمز مناطق محتمل دگرسانی را بر اساس الگوی طیفی نشان می‌دهد.



شکل ۸- الف) تصویر مجازی حاصل [PC4(5,7), PC4(1,4,5,7)] در فیلترهای RGB (ب) FCC(531) در فیلتر RGB، پیکسلهای زرد طلایی مناطقی محتمل دگرسانی رسی را نشان می‌دهد

توجه باشد. به منظور شناسایی کانیهای آهن دار از روش PC3(1,3,4,5) استفاده شد (ژنگ و همکاران: ۲۰۰۷) (تنگستانی و مور: ۲۰۰۰). بدین منظور مولفه های اصلی (PC) باندهای مورد نظر محاسبه (جدول ۳) و از آنها در ترسیم نقشه دگرسانی استفاده شد (شکل ۱۰).

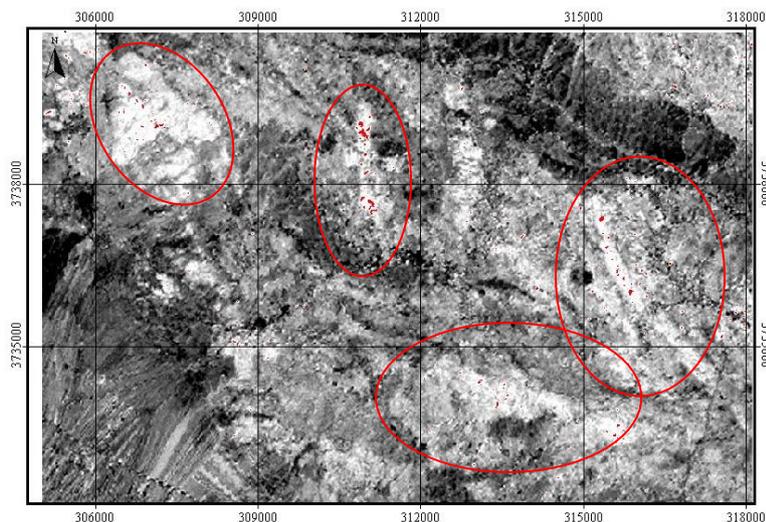
با توجه به پاسخ طیفی این کانیها که نسبت به سنجنده ETM+ (شکل ۹)، حداقل انعکاس در محدوده باند ۱ ( $\lambda=0.4\mu\text{m}$ ) و بیشترین انعکاس در باند ۳ ( $\lambda=0.6\mu\text{m}$ ) مشاهده می‌شود. بنابراین تصاویر نسبتی ETM3/ETM1 می‌تواند به عنوان یک شاخص جهت تشخیص نواحی دگرسان مورد



شکل ۹- پاسخ طیفی (Reflectance Spectra) کانیهای اکسید آهن نسبت به باندهای سنجنده ETM+ لندست

جدول ۳- نتایج حاصل از آنالیز مولفه اصلی (PC) جهت تفکیک کانیهای اکسید آهن در منطقه مطالعاتی

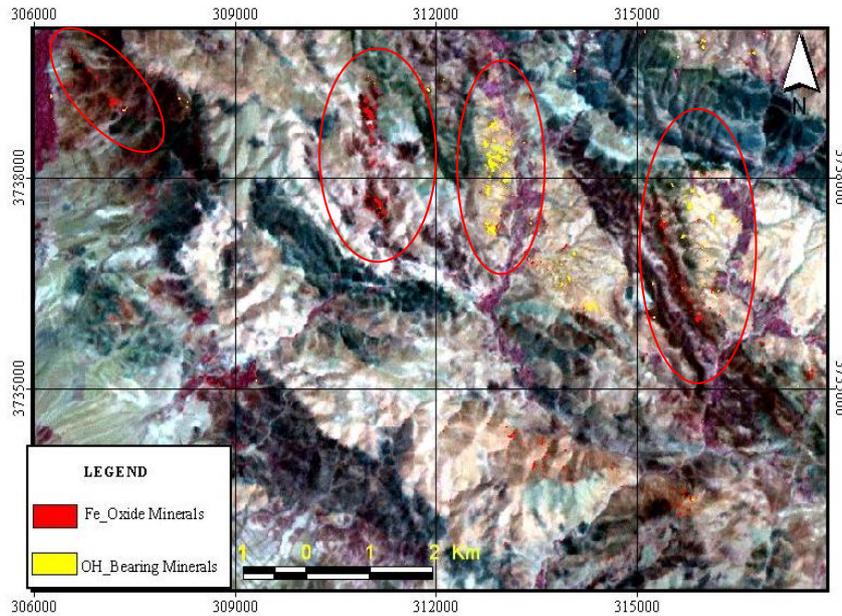
PC3(1345)					
Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 4	Band 5	Eigenvalue
PC1	0.249	0.563	0.348	0.707	3084.086
PC2	-0.092	-0.469	0.878	-0.026	228.013
PC3	0.817	-0.549	-0.274	0.675	128.534
PC4	0.414	-0.411	-0.181	0.210	23.559



شکل ۱۰- تصویر حاصل از آنالیز مولفه اصلی PC3(1,3,4,5) و نمایش مولفه (PC3-) جهت تشخیص کانیهای اکسید آهن، پیکسلهای روشن منطبق بر واحدهای متاولکانیکی و پیکسلهای قرمز کانیهای آهندار را نشان می‌دهد.

شامل اکسید آهن و دگرسانی رسی است، عمدتاً در توده‌های نفوذی و در امتداد گسلهای شمالی- جنوبی و در محل تقاطع گسلها شناسایی شده‌اند. این همپوشانی رابطه بین زونهای دگرسانی را با زونهای تکتونیک مشخص می‌کند. نقش پدیده- های زمین شناسی ساختمانی اعم از چین- خوردگی، سیستم درز و شکاف و گسلهای منطقه در جایگیری توده‌های نفوذی و گسترش دگرسانیهای گرمایی بسیار مهم است. تراکم شکستگی (ضریب خطوارگی) در منطقه بالا است. این شکستگیها توانایی ذخیره‌سازی و انتقال حجم زیادی از آبهای زیرزمینی و سیالات گرمایی را دارند. این فاکتور جهت تعیین مناطق با پتانسیل کانه زایی حائز اهمیت است.

در نهایت با استفاده از تمام روشهای پردازشی بر روی تصاویر ماهواره‌ای انواع دگرسانیهای رسی و کانیهای اکسید آهن منطقه شناسایی شدند. شکل (۱۱) نقشه پراکندگی مناطق دگرسانی شناسایی شده در تصاویر ماهواره‌ای ETM+ را نشان می‌دهد. در شکل (۱۲) تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ساختارهای خطی و لایه دگرسانیهای استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ را نشان می‌دهد. با در نظر داشتن ارتباط دگرسانیها و خطواره‌ها و همچنین کنترل صحرایی مشاهده شد که دگرسانیها از روند گسلهای منطقه تبعیت می‌کنند شکل (۱۲) (اکبری و رسا، ۱۳۸۶). یک تیپ از دگرسانیها از جمله اکسید آهن در کربناتها و متاولکانیکها از روند گسلهای شمال غرب- جنوب شرق تبعیت می‌کنند و سری دوم دگرسانیها که



شکل ۱۱- نقشه تفکیک دگرسانیه‌های منطقه مطالعاتی در تصویر ماهواره ای ETM+ در ترکیب رنگی (531) RGB

باختر را شناسایی شد. بسیاری از این ساختارهای خطی در نقشه زمین شناسی مشخص نشده بود که توسط تکنیکهای پردازشی شناسایی شدند. تعیین گسترش انواع دگرسانی‌ها در محدوده محسن ابن علی نتایج جالبی را در برداشته است. جهت تفکیک کانی‌های هیدروکسیل‌دار روش‌های تحلیل مولفه اصلی و تفریق بین بانندی و قرار دادن آنها در ترکیب بانندی، PC4(5,7), PC3(1,3,4,5) و RGB [PC4(1,4,5,7)] تصاویر نسبتی ETM3/ETM1 استفاده شد که نتایج قابل قبولی به همراه داشت. مهمترین دگرسانیه‌های تفکیک شده شامل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و دگرسانیه‌های رسی می‌باشد. گسترش این دگرسانیه‌های الگوی منظم و مشخصی را نسبت به ساختارهای تکتونیکی نشان می‌دهند. بطوریکه یک تیپ از دگرسانیه‌ها از جمله کانیهای آهن‌دار در کرینات‌ها و متاولکانیک‌ها از روند گسل‌های شمال غرب- جنوب شرق تبعیت می‌کنند و سری دوم دگرسانیه‌ها که

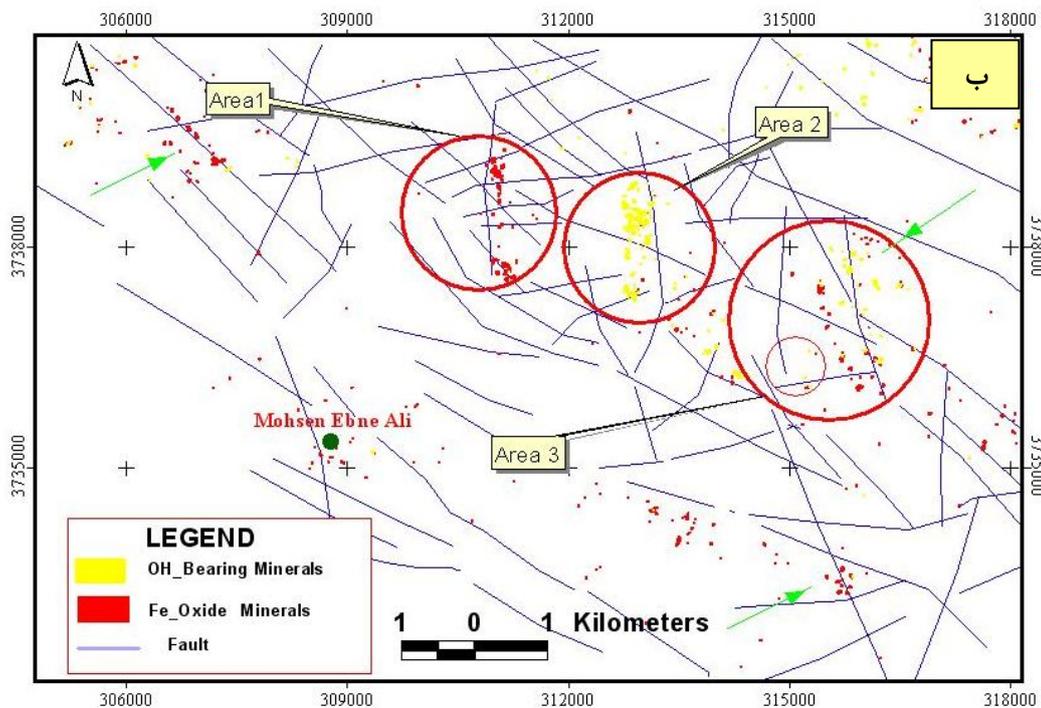
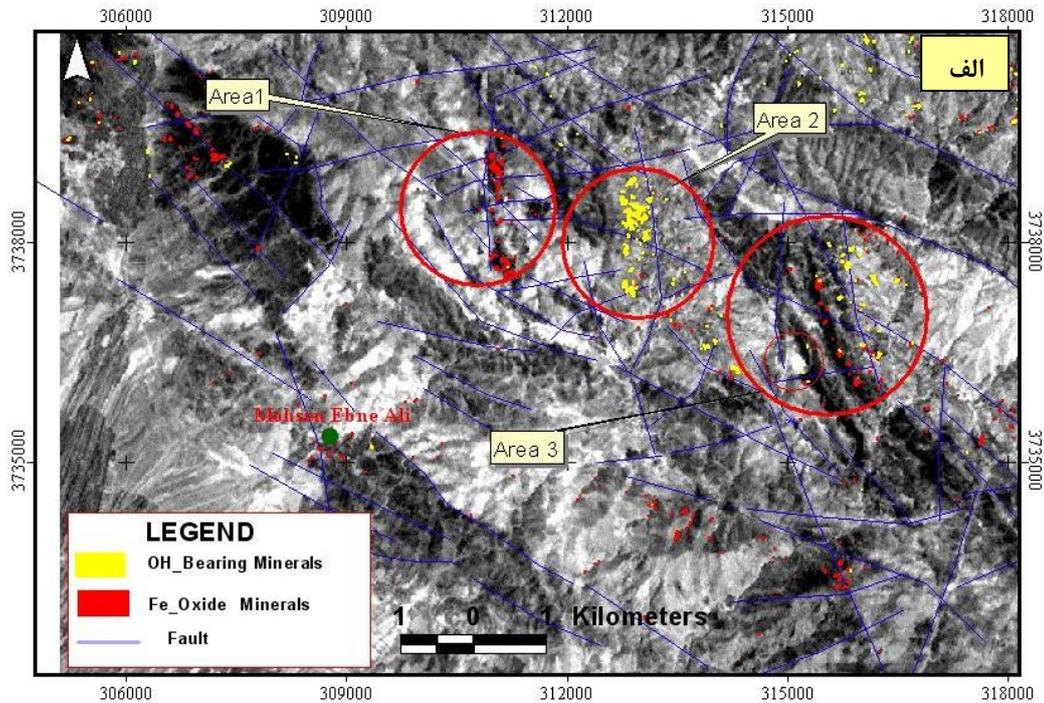
### بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه سعی شد معیارهای موثر در شناسایی مناطق با پتانسیل بالای معدنی به کمک پردازش و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای ETM مشخص گردد. در انتخاب این مناطق، پارامترهایی نظیر تاثیر عملکرد گسل‌ها، گسترش واحدهای سنگی و توده‌های نفوذی و دگرسانی‌های گرمابی تفکیک شده مدنظر قرار گرفتند. در منطقه مطالعاتی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ETM برای تفکیک و تدقیق واحدهای زمین شناسی موثر در کانی‌سازی تصاویری با رنگ‌های مجازی و طبقه بندی نظارت شده و برای بهبود کیفیت از روش کنتراست استفاده شد که سبب تفکیک دقیق توالیه‌های متاکربناتی و متاولکانیکی تریاس و توده نفوذی نلخاست (ژوراسیک) شد که می‌تواند منشأ کانی‌سازی احتمالی باشد.

بررسی‌های ساختاری در منطقه به همراه نتایج کنترل زمینی عملکرد گسل‌هایی با دو راستای شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب

های شمالی- جنوبی و در محل تقاطع گسل ها  
تشکیل شده‌اند.

شامل کانی های آهن دار و دگرسانی های رسی  
است، عمدتاً در توده های نفوذی و در امتداد گسل



شکل ۱۲ (الف، ب)- نقشه ارتباط خطواره ها و دگرسانیهای گرمایی تفکیک شده بر اساس پردازش تصاویر ETM+ ناحیه مطالعاتی

عوامل کنترل‌کننده ساختاری و لیتولوژیکی، اکتشافات لیتوژئوشیمیایی در حوضه آبریز شمال روستای محسن ابن علی توسط شرکت کان ایران (۱۳۸۴) صورت گرفته است. به کمک معیارهای ژئوشیمیایی، سنگ شناسی، میکروسکوپی و صحرایی، کانی سازی طلا در این منطقه در ارتباط مستقیم با روند شکستگیها و گسلهای منطقه تأیید شد (اکبری و رسا، ۱۳۸۶).

**۲- نواحی امید بخش در توده نفوذی نلخاست شرقی و غربی و نواحی مجاور آن:** این محدوده با توجه به نتایج بدست آمده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای از جمله وجود دگرسانیهای اکسیدهای آهن و رسی، تاثیر عملکرد گسلها و مجاورت توده نفوذی با واحدهای کربناته، می‌تواند به عنوان محدوده امید بخش محسوب گردد.

**۳- شمال و شرق کوه نل:** با توجه به نتایج حاصل مطالعات دورسنجی، نفوذ توده گرانودیوریتی در واحدهای متاولکانیکی و سنگهای کربناته، وجود تقاطع چندین گسل و دگرسانی های هم روند با گسلهای شمالی- جنوبی (گسلهای جوان)، حائز اهمیت است. همچنین وجود ذخایر معدنی مشابه این منطقه از جمله چندین اسکارن تنگستن که در امتداد محور دورود- شازند می باشند (مانند اثر معدنی تنگستن بامسر و روشت (جهانگیری، ۱۳۸۰) و کانسار تنگستن نظام‌آباد (عزیزپور و قادری: ۱۳۷۸)، امکان کانه‌زایی در این ناحیه را افزایش داده است.

بطور کلی در این مطالعه محدوده امید بخش شماره ۲ و ۳ توسط نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی معرفی می شود که جهت کنترل زمینی و در صورت نیاز ادامه عملیات اکتشافی پیشنهاد می گردد.

با تلفیق نقشه های حاصل از تفکیک واحد های سنگی، دگرسانی‌ها و ساختارهای تکتونیکی و بهره‌گیری از داده های موجود از همه مهمتر کنترل صحرایی مشخص شد که ساختارهای تکتونیکی دارای دو روند اصلی با تراکم شکستگی (ضریب خطوارگی) بالا است و ارتباط بین زونهای دگرسان و شکستگیها با مناطق مستعد کانه سازی در منطقه مورد مطالعه قابل شناسایی است.

بنابراین با توجه به این مطالعات می‌توان گفت که هجوم توده های نفوذی ژوراسیک منطقه بروجرد (قادری و همکاران، ۱۳۸۳) به داخل توالیهای رسوبی- ولکانیکی دگرگون شده تریاس در منطقه می‌تواند به عنوان مکانی جهت یافتن پتانسیلهای بالای کانه سازی مورد توجه قرار گیرد. می‌توان گفت که غالب کانه‌زایی های منطقه بطور مستقیم یا غیر مستقیم با توده‌های نفوذی در ارتباط است. در ارائه و معرفی نقاط مستعد موارد ذکر شده در بالا منظور شده است. با تلفیق نقشه‌های حاصل از تفکیک واحدهای سنگی، ساختارهای خطی و دگرسانیهای تفکیک شده بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای ETM در محیط GIS، سه ناحیه امید بخش شناسایی شد (شکل ۱۲) که شامل:

**۱- شمال روستای محسن ابن علی:** این محدوده متشکل از توالی رسوبی- ولکانیکی دگرگون شده می باشد که وجود کانیهای آهن‌دار هم روند با گسلهای شمال غرب- جنوب شرق (گسل های قدیمی) شناسایی شده است. بر اساس برداشتهای ژئوشیمیایی ناحیه‌ای برگه یکصد هزار بروجرد (مصدق، ۱۳۸۱)، ثبت آنومالی هایی از عناصر طلا و عناصر همراه در این محدوده گزارش شده است. در این محدوده به منظور بررسی پتانسیل فلزی منطقه در رخنمون‌های سنگی و دگرسانیهای همراه و همچنین جهت شناسایی

## منابع

- مصدق، غ. ر.، ۱۳۸۱. گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک مقیاس یکصد هزار برکه بروجرد، سازمان صنایع و معادن استان لرستان، مهندسين مشاور کان ایران.
- نظام پور، م. ه. و رساء، ا.، ۱۳۸۵. استفاده از روش سنجش از دور جهت تعیین نواحی مستعد کانه‌زایی در اطراف توده پورفیری با تاکید بر تاثیر ساختارهای خطی، انارک، ایران، نشریه دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، شماره چهاردهم، صفحه ۶۹-۵۹.
- Burger, H., 2000. "Remote Sensing and GIS for locating favorable zones of lead-zinc-zopper zinalization in Rajpu Dariba area, Rajasthan, India", International Journal of Remote Sensing., v. 21(17), p.3253-3267.
- Chernicoff, C.J., Richards, J.P., and Zappetino, E.O., 2002. "Crustal lineament control on lagmatism and linalization in north western Argentina, Geological, Geophysical and Remote Sensing Evidence", Ore Geology Reviews., v. 21, Issue 3-4, p.127-155.
- Dalati, M., 1995. "Application of remote sensing to geology, tectonic and mineral exploitation, Case Study: El-Rouge Depression", Proceedings of the 14th International Conference on Applied Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan (ERIM)., v.1, p. 411-419.
- 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", Journal of Asian Earth Sciences, Article in press, (www.elsevier.com/locate/jseaes).
- Large, R.R., Rodney, L., Allen., and Michael, D., 2001. "Hydrothermal alteration and volatile element halos for the Rosebery K Lens Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Western Tasmania", Journal of Economic Geology, v. 96( 5), p. 1055-1072.
- اکبری، ز. و رساء، ا.، ۱۳۸۶. اکتشافات ژئوشیمیایی، کانی سنگین و آلتراسیون و دورسنجی منطقه محسن ابن علی بروجرد با نگرشی ویژه برکانی‌سازی طلا و عناصر همراه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۰ صفحه.
- باقری، س.ب. و رضایی. ی.، ۱۳۸۵. مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، ۲۶۸ صفحه.
- جاهدی، ف. و فرخی، ش.، ۱۳۷۵. مبانی سنجش از دور ایران، ۳۲۸ صفحه.
- جهانگیری، ح. ا.، ۱۳۸۰. گزارش بررسی آثار معدنی تنگستن اسکارنی بامسر و نهشته های آن در آبرفت مروک استان لرستان، گزارش سازمان زمین شناسی کشور.
- قادری، م.، رضایی، ج.، ولی زاده، م.، فردین دوست، ز. و احمدی خلجی، ا.، ۱۳۸۳. تعیین سن اورانیم-سرب کمپلکس نفوذی ژوراسیک بروجرد و توده‌های وابسته در زون سنندج-سیرجان، مجموعه مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- عزیزپور، م. و قادری، م.، ۱۳۷۸. ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ژنز اثرهای معدنی تنگستن اسکارنی بامسر و رگه‌ای روش و مقایسه آن با کانسار تنگستن نظام‌آباد (شازند-اراک)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۶ صفحه.
- محجل، م. و سهندی، م. ر.، ۱۳۷۸. تکامل تکتونیکی پهنه سنندج-سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه های جدید در آن، مجله علوم زمین، سال هشتم، شماره ۳۱-۳۲، صفحه ۴۶-۲۸.

-Venkataraman, G., Babu Madhavan, B., Ratha, D.S. and SinhaRoy, S., 2000. "Spatial modeling for base-metal mineral exploration through integration of geological datasets", *Natural Resources Research Journal.*, v.9(1), p. 27-42.

-Zhang, G. F., X. H. Shen, L. J. Zou, C. J. Li, Y. L. Wang., and S. L. Lu, 2007. Detection of hydrocarbon bearing sand through remote sensing technique in Western slope zone of Songliao basin, China. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 1819-1833.

- Tangestani, M. H., and Moore, F., 2001. "Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping: A case study, Meiduk area, Kerman, Iran", *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 27, p.176-181.

-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.*, v.2, p. 140-146.