



## Comparison of ETM+ and ASTER data for hydrothermal alteration mapping in the central part of the Dehaj-Sarduyeh belt, Kerman Province

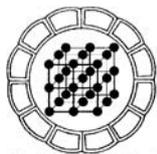
Hojjatollah Ranjbar<sup>1</sup>, Hadi Shahriari<sup>2</sup>

1- Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,  
2- Office of Industries and Mines of Kerman Province, Kerman  
*h.ranjbar@mail.uk.ac.ir*

(Received: 23/12/2005, received in revised form: 24/6/2006)

**Abstract:** The study area is located in the Dehaj-Sarduyeh belt in Kerman province. This belt forms the south eastern part of the Central Iranian Volcanic Belt. Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) and Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data have been used for this study. Different image processing techniques such as false color composite, band ratioing and principal component analysis are used for recognizing the alteration zones related to the copper mineralisation. The aim of this investigation is to compare ETM+ and ASTER data and finding out their capabilities to recognize the altered and iron oxide bearing areas. This investigation showed that ETM+ data due to its blue region spectral band can enhance the iron oxide rich areas much better than ASTER data. ASTER data due to its various spectral bands in the short wave infrared is more capable of enhancing clay bearing areas.

**Keywords:** *ETM+, ASTER, band ratio, principal components, copper mineralization, Kerman*



## مقایسه داده‌های سنجنده ETM+ و سنجنده ASTER برای نقشه‌برداری مناطق دگرسان شده در بخش مرکزی کمربند دهج- ساردوییه استان کرمان

حجت اله رنجبر<sup>۱</sup>، هادی شهریاری<sup>۲</sup>

۱- بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- کارشناس ارشد اکتشاف معدن، سازمان صنایع و معادن استان کرمان  
[h.ranjbar@mail.uk.ac.ir](mailto:h.ranjbar@mail.uk.ac.ir)

(دریافت مقاله ۱۳۸۴/۱۱/۳، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۵/۴/۳)

**چکیده:** منطقه مورد مطالعه در کمربند آتشفشانی - تهنستی دهج - ساردوییه در استان کرمان قرار گرفته که بخش جنوب شرقی کمربند آتشفشانی - تهنستی ایران مرکزی است. در این تحقیق از داده‌های سنجنده ETM+ و سنجنده ASTER استفاده شده است. روش‌های مختلف پردازش تصویر (ترکیب کاذب رنگی، نسبت‌گیری نواری و آنالیز مؤلفه‌های اصلی) به منظور شناسایی زونهای دگرسان وابسته به کانسارهای مس مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این کار مقایسه داده‌های سنجنده‌های ETM+ و ASTER برای تعیین قابلیت‌های هر یک در شناسایی مناطق دارای اکسید آهن و دگرسانی است. این بررسی نشان داد که داده‌های سنجنده ETM+ به خاطر دارا بودن گستره طیف آبی از قابلیت بهتری در تعیین مناطق دارای کانیهای اکسید آهن نسبت به داده‌های سنجنده ASTER برخوردارند. داده‌های سنجنده ASTER به خاطر دارا بودن نوارهای طیفی متعدد در گستره فرسرخ موج کوتاه، قابلیت زیادی در شناسایی مناطق رسی داراست.

**واژه‌های کلیدی:** ETM+، ASTER، پردازش تصویر، نسبت‌های نواری، مؤلفه‌های اصلی، کانی‌سازی مس، کرمان.

## مقدمه

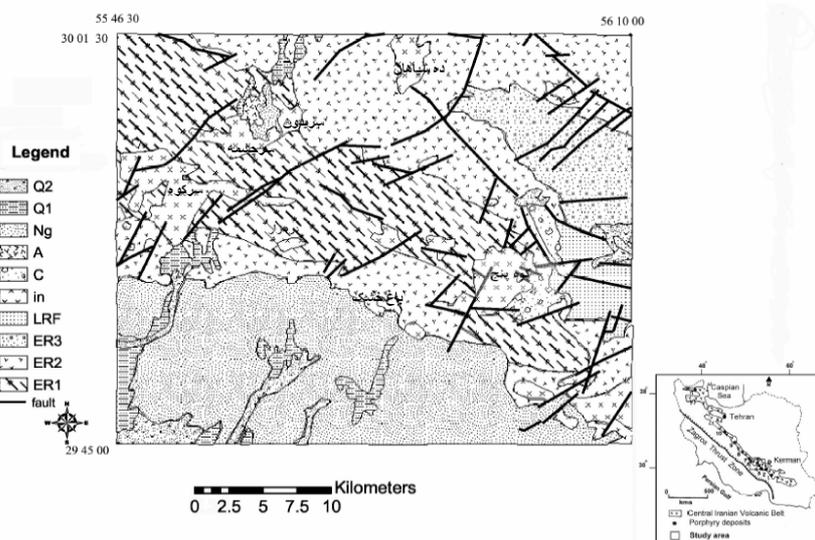
منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی کمربند آتشفشانی - تهنشتی دهج - ساردویه در استان کرمان قرار گرفته است که بخش جنوب‌شرقی کمربند آتشفشانی - تهنشتی ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). در این بررسی از داده‌های سنجنده ETM+ و سنجنده ASTER استفاده شده است. از روش‌های مختلف پردازش تصویر (ترکیب کاذب رنگی، نسبت‌گیری نواری، و آنالیز مؤلفه‌های اصلی) به منظور شناسایی زونهای دگرسان وابسته به کانسارهای مس استفاده شده است. هدف از این کار مقایسه داده‌های سنجنده‌های ETM+ و ASTER برای تعیین قابلیت‌های هر یک در شناسایی مناطق دارای اکسید آهن، کانی‌های رسی است.

داده‌های سنجش از دور از پتانسیل بالایی برای شناسایی نواحی دگرسان مربوط به توده‌های کانسار و در نتیجه اکتشاف ذخایر معدنی خصوصاً در نواحی خشک برخوردارند. تصاویر ماهواره‌ای به دلیل قابلیت پوشش چند طیفی و چند زمانی منطقه‌ای گسترده، می‌توانند در شناسایی ایالتها، کمربندها، و مکانهای کانی‌زایی استفاده شوند. پژوهشگران زیادی در سالهای اخیر از داده‌های TM و ETM+ استفاده کرده‌اند [۱ تا ۴]. تفاوت اساسی سنجنده ETM+ با سنجنده TM در نوار ۸ آن است که قدرت تفکیک مکانی تصاویر پردازش شده را می‌توان تا ۱۵ متر افزایش داد. سنجنده ASTER دارای ۱۴ نوار طیفی است که از برتریهای خاصی نسبت به سنجنده ETM+ برخوردار است. در این کار به علت اینکه تصاویر در طول روز برداشته شده‌اند و نوارهای گرمایی، ویژگی خاصی از کانی‌های مورد نظر را نشان دهند، تنها از ۹ نوار اول سنجنده ASTER استفاده شد. از داده‌های سنجنده ASTER به خاطر داشتن یک تصویر زوج استریوسکوپی می‌توان مدلهای ارتفاعی رقومی استخراج کرد. از داده‌های این سنجنده در سالهای اخیر برای مطالعات مختلف زمین‌شناسی و اکتشاف استفاده شده است [۵ تا ۱۰]. مقایسه پهنای نوار داده‌های سنجنده‌های ETM+ و ASTER با نمودار بازتاب - طول موج کانی‌های رسی نشان می‌دهد که سنجنده ASTER باید توانایی بیشتری در تشخیص این کانی‌ها داشته باشد (شکل ۲). شکل ۳ نمودار بازتاب - طول موج کانی‌های گروه اکسید آهن را نشان می‌دهد. چنانکه در این نمودار مشاهده می‌شود، داده‌های سنجنده ETM+ بایستی بتوانند این کانی‌ها را بهتر نشان دهند.

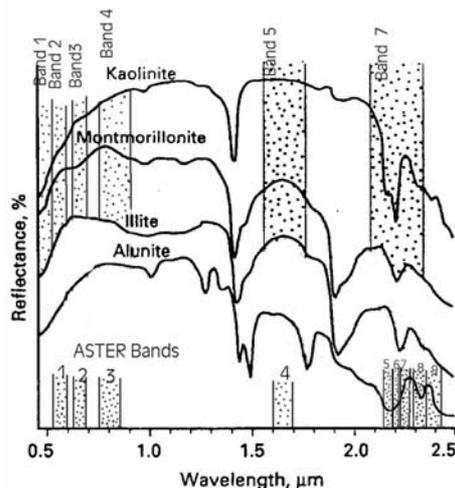
کانسارهای نوع پورفیری معمولاً دارای منطقه‌بندی دگرسانند. در بخش بیرونی این کانسارها، زون پروپیلیتیک و در بخش میانی به ترتیب زونهای آرژیلیک، فیلیک و پتاسیک قرار گرفته‌اند [۱۱]. البته بنا به نوع و سطح فرسایش ممکن است که همه این زونهای دگرسان در سطح زمین یافت نشوند. فرایند اکسایش سطحی باعث پیدایش کانی‌های گروه اکسید آهن می‌شود. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و انتخاب روشهای مناسب پردازش تصویر، می‌توان برخی از کانی‌های همراه با زونهای دگرسان را تشخیص داد [۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴].

هدف از این بررسی مقایسه داده‌های سنجنده ETM+ و ASTER برای تعیین قابلیت‌های این دو سنجنده در شناسایی مناطق دگرسان شده و دارای اکسید آهن است. روشهای متداول پردازش تصویر در نمایش بهتر مناطق دگرسان قابل استفاده‌اند. یکی از این روشها نسبت‌گیری نواری و تصاویر رنگی برای بالا بردن پاسخ طیفی کانیهها و کاهش پاسخ پوشش گیاهی است. با وجود موفقیت آمیز بودن این روش برای جداسازی مناطق دگرسان، به خاطر اثر طیفی پوشش گیاهی که شباهت قابل ملاحظه‌ای با بعضی کانیههای دگرسان دارد، اثر طیفی این گروه از کانیهها کاهش می‌یابد. استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی شیوه‌ای برای به کمینه رساندن آثار پوشش گیاهی با تکیه بر نوارهای طیفی خاص برای بهتر نشان دادن کانیههای مناطق دگرسان است. این روش برای جداسازی مناطق دگرسان شده گرمایی بسیار موفقیت‌آمیز است [۱۵].

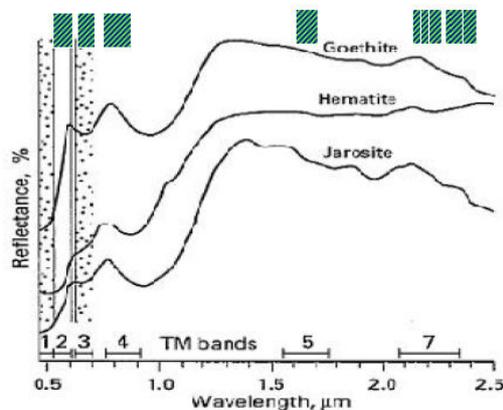
در این بررسی از داده‌های سنجنده ASTER و سنجنده ETM+ استفاده شده است. هر دو تصویر در فصل تابستان گرفته شده‌اند. تصاویر فصل تابستان به دلیل دارا بودن روشنایی بیشتر و به کمینه رسیدن اثر پوشش گیاهی برای مطالعات زمین‌شناسی بسیار مناسب‌اند. تصحیحات هندسی و تابش سنجی لازم روی این تصاویر انجام شده است.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی [۱۶]. موقعیت منطقه در کمربند آتشفشانی - تنه‌نستی ایران مرکزی در نقشه ایران نشان داده شده است [۱۷]. ER1 = سنگهای آتشفشانی کمپلکس رازک تحتانی، ER2 = سنگهای آتشفشانی کمپلکس رازک میانی، ER3 = سنگهای آتشفشانی کمپلکس رازک فوقانی، LRF = سازند سرخ تحتانی، in = توده‌های نفوذی، C = کنگلومرا، A = آندزیت، Ng = تنه‌نستهای رسوبات نئوژن، Q1 و Q2 = تنه‌نستهای کواترنر.



شکل ۲ منحنی‌های بازتاب و جذب کانی‌های رسی (اقتباس از [۱۸]). پهنای نوارهای سنجنده‌های ASTER و ETM+ در شکل نشان داده شده‌اند.



شکل ۳ بازتاب طیفی کانی‌های گروه اکسید آهن و پهنای نوارهای TM و ASTER. اثر جذب در گستره آبی به علت اثر انتقال بار الکترونی است [۱۹].

### زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در جنوب‌شرقی کمربند آتشفشانی - تهنستی ایران مرکزی و در ناحیه خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است (شکل ۱). این کمربند بخشی از کمربند کوهزایی زاگرس است و بر کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا قرار گرفته است. ناحیه مورد مطالعه در جنوب‌غربی شهر کرمان و در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی - تهنستی ایران مرکزی قرار دارد. بر اساس تقسیم‌بندی زیر ناحیه‌های فلززایی استان کرمان، کمربند دهج - ساردوئیه به ۶ واحد تقسیم

می‌شود که ناحیه کوه ممزار - کوه‌پنج یکی از این مناطق است. این ناحیه بیشترین و مهمترین کانسارها و شاخصهای مس پورفیری و رگه‌ای در ناحیه کرمان از جمله سرچشمه، دره‌زار، کوه‌پنج، سرکوه، حسین‌آباد، نوچون، ده‌سیاهان، آب تلخون و سرباغ را در برمی‌گیرد (شکل ۱). واحدهای آتشفشانی - تهنشتی ائوسن که ترکیبی از پیروکسن آندزیت، تراکی‌آندزیت، تراکی‌بازالت، و آندزیت را شامل می‌شوند، بیشترین گسترش را در سطح منطقه دارند و کمپلکس رازک خوانده می‌شود. این کمپلکس را به رازک تحتانی، رازک میانی، و رازک بالایی تقسیم کرده‌اند. ماگماتیسم منطقه که بیشتر به صورت فازهای عمیق و نیمه‌عمیق (تیپ جبال‌بارز و تیپ کوه‌پنج) شامل گرانودیوریت، دیوریت، کوارتزیدیوریت، مونزونیت و تونالیت است، در کمپلکس آتشفشانی - تهنشتی ائوسن نفوذ کرده و باعث دگرسانی گرمایی گسترده همراه با گسل‌خوردگی و کانسارسازی شده است. دگرسانی گرمایی هم در توده‌های نفوذی و هم سنگهای آتشفشانی مشاهده می‌شود [۱۶]. معمولی‌ترین این دگرسانیها در سنگها به صورت سریسیتی، کلریتی، اپیدوتی، کربناتی، سیلیسی، رسی، و تورمالینی است. ولی دگرسانی فیلیک، رسی و پروپیلیتی، بیشترین گسترش را در منطقه دارند که عملیات صحرایی و آزمایشگاهی هم آن را تأیید می‌کنند. غنی‌سازی برونزاد و تشکیل زونهای اکسیدان و کلاهدک آهنی روی بیشتر کانسارهای منطقه مشاهده می‌شوند. سنگهای پلیوسن بیشتر شامل داسیت، آندزیت و ریولیت‌اند. تهنشتیهای آبرفتی سست و قدیمی و تراسهای آهکی، تشکیلات کواترنر را به وجود آورده‌اند.

#### آنالیز داده‌های سنجش از دور منطقه

مطالعات زیادی که روی طیف کانی‌ها انجام شده است امکان اعمال روشهای مختلف پردازش تصویر بر اساس این مطالعات را فراهم کرده است. شکل ۲ طیف کانی‌های رسی به همراه پهنای نواری سنجنده‌های ETM+ و ASTER را نشان می‌دهد. نوار ۵ سنجنده ETM+ روی بخش بازتاب بالا و نوار ۷ روی بخش جذب بالا قرار دارد. این بدین معنی است که تصویر نوار ۷ روی مناطق با کانی‌های هیدروکسیل تیره و تصویر نوار ۵ روی همین مناطق روشن خواهد بود. جذب امواج الکترومغناطیسی در گستره ۲/۴ میکرومتر به علت وجود پیوند با OH است. کربناتها نیز از عوامل جذب در این گستره‌اند. با توجه به این نکته که در بافت گیاهان نیز مقدار زیادی آب وجود دارد، جذب زیادی به وسیله گیاهان در گستره نوار ۷ سنجنده ETM+ مشاهده می‌شود. در حالی که نوار ۴ سنجنده ASTER هم ارز نوار ۵ سنجنده ETM+ است، ولی گستره نوار ۷ سنجنده ETM+ به پنج نوار طیفی جدا از هم سنجنده ASTER تقسیم شده است. علاوه بر این پنج نوار طیفی، نوار دیگری نیز فراتر از نوار ۷ سنجنده ETM+ نیز

دریافت می‌شود. یعنی تصاویر حاصل از سنجنده ASTER باید کانی‌های بیشتری را در تصاویر پردازش شده تفکیک کنند.

شکل ۳ طیف کانی‌های اکسید آهن به همراه پهنای نوارهای سنجنده‌های ASTER و ETM+ را نشان می‌دهد. چنانکه در شکل نشان دیده می‌شود، نوارهای ۳ و ۱ سنجنده ETM+ به ترتیب روی گستره بازتاب و جذب این کانی‌ها قرار گرفته‌اند. اثر جذب در گستره آبی به علت اثر انتقال بار الکترونی است. در حالیکه نوارهای ۲ و ۱ سنجنده ASTER نمی‌توانند به خوبی تصاویر سنجنده ETM+ مناطق حاوی اکسید آهن را آشکار کنند. در اینجا با استفاده از روشهای پردازش تصویر روی تصاویر سنجنده‌های ASTER و ETM+ سعی شده است تا قابلیت‌های تصاویر این سنجنده‌ها در نشان دادن مناطق دگرسان به بوته آزمایش گذاشته شود.

### الف - آنالیز داده‌های ETM+

در این بررسی روشهای مختلف پردازش تصویر، از جمله روش نسبت‌های نواری، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تهیه تصاویر رنگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از نسبت‌های نواری معروف ۵/۷ و ۳/۱ به ترتیب برای شناسایی مناطق دارای کانی‌های هیدروکسیل‌دار و اکسید آهن‌دار استفاده شده است. تصویر به دست آمده از تقسیم نوار ۵ به نوار ۷ مناطق دگرسان را به خوبی نمایش می‌دهد، ولی مناطق با پوشش گیاهی نیز دیده می‌شوند. با توجه به اینکه پوشش گیاهی منطقه بسیار ضعیف است، استفاده از این نسبت نواری در چنین مناطق خشکی قابل استفاده است. نسبت نواری ۳ به ۱ مناطق دارای اکسید آهن را مشخص کرده است. این مناطق بیشتر با مناطق دارای کانی‌سازی مس در ارتباطند (شکل ۴).

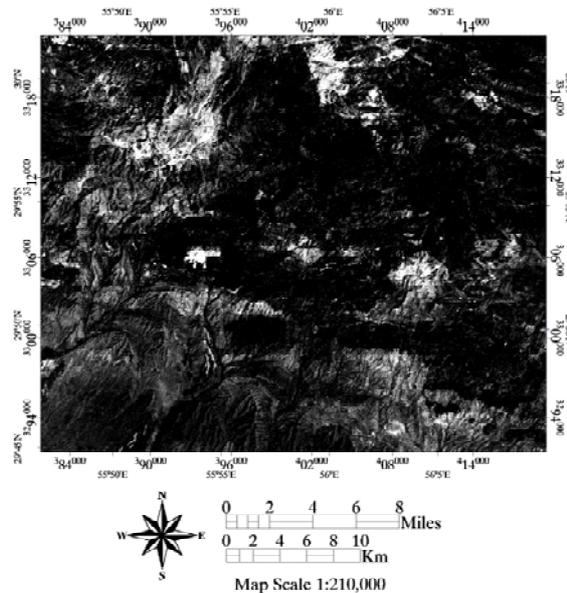
آنالیز مؤلفه‌های اصلی روی نوارهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده ETM+ انجام شده است. نتایج این آنالیز در جدول ۱ آورده شده‌اند. بنابراین جدول، PC5 و PC4 برای آشکار ساختن گستره کانی‌های رسی و اکسید آهن مناسبند. با توجه به این نکته که در مؤلفه اصلی ۵، بارگذاری نوارهای ۵ و ۷ به ترتیب ۰.۶۰۸- و ۰.۶۸۱ است و با توجه به بارگذاری منفی همخوان با نوار بازتابی است، انتظار می‌رود که در تصویر به دست آمده مناطق دگرسان تیره باشند. برای نشان دادن مناطق دگرسان از وارون مؤلفه اصلی ۵ استفاده شده است. تصویر مؤلفه اصلی ۵ با استفاده از رابطه زیر به دست آمده است. آنالیز داده‌ها نشان داد که میانگین تصویر نسبت ۵/۷ و تصویر مؤلفه پنجم، مناطق دگرسان را با دقت بیشتری آشکار می‌کند (شکل ۵).

$$PC5 = -BAND1 * 0.176 - BAND2 * 0.234 + BAND3 * 0.249 + BAND4 * 0.138 - BAND5 * 0.608 + BAND6 * 0.681 \quad (\text{رابطه ۱})$$

چنانکه این شکل نشان می‌دهد اثر پوشش گیاهی در این تصویر حذف شده است. مؤلفه اصلی ۴ نوار ۳ دارای بارگذاری بالا ولی منفی و نوار ۱ دارای بارگذاری بالا ولی مثبت است. با توجه به اینکه نوار ۳ همخوان با گستره بازتاب و نوار ۱ همخوان با گستره جذب است، تصویر حاصل از این مؤلفه باید مناطق با اکسید آهن را با پیکسل‌های تیره نشان دهد. تصویر به دست آمده از روش مؤلفه‌های اصلی مناطق دارای اکسید آهن را بهتر از روش نسبت‌های نواری نشان داده است. در این روش مناطق ته‌نشستی دارای پوشش اکسید آهن، حذف شده‌اند.

آنالیز انتخابی با استفاده از نوارهای ۱، ۳، ۴ و ۵ برای نمایش مناطق دارای کانی‌های اکسید آهن و با استفاده از نوارهای ۱، ۴، ۵ و ۷ برای نمایش مناطق دارای کانی‌های هیدروکسیل‌دار انجام شد. نتایج به دست آمده از برتری خاصی نسبت به روش قبلی برخوردار نیست. تصویر به دست آمده دارای اثر گسترده پوشش گیاهی است.

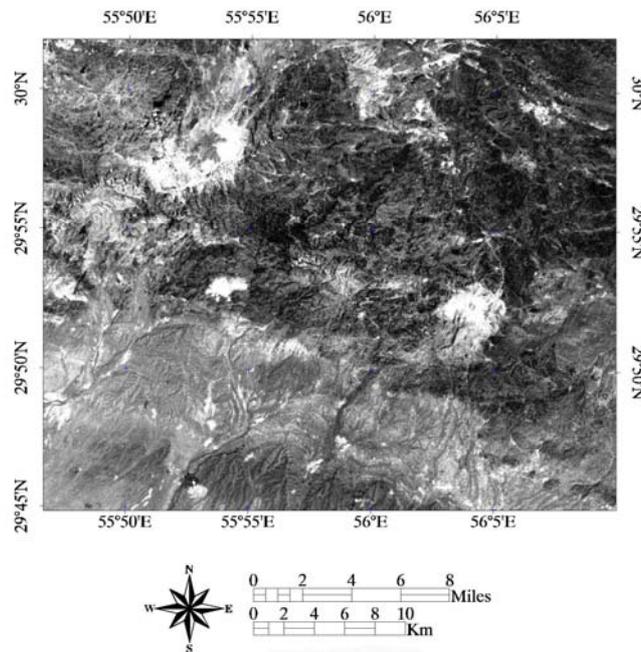
با استفاده از تصاویر مؤلفه اصلی ۴ (سرخ)، حاصل جمع مؤلفه‌های اصلی ۵ و ۴ (سبز) و مؤلفه اصلی ۴ (آبی)، یک تصویر رنگی به دست آمده است که مناطق دگرسان و دارای اکسید آهن را به خوبی نمایان ساخته است (شکل ۶). ارتباط بین مناطق دگرسان و اکسید آهن و کانی‌سازی مس جالب توجه است (شکل‌های ۱ و ۶ را با هم مقایسه کنید).



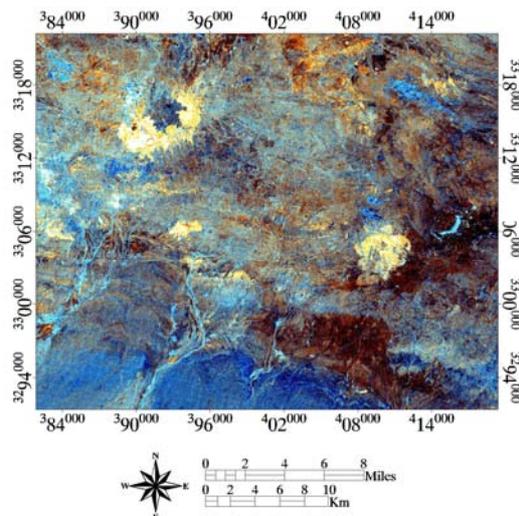
شکل ۴ نسبت نواری ۱/۳ مناطق حاوی اکسید آهن را نشان می‌دهد.

جدول ۱ نتایج به دست آمده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ۶ نوار طیفی سنجنده ETM+

|              | مؤلفه اصلی ۱ | مؤلفه اصلی ۲ | مؤلفه اصلی ۳ | مؤلفه اصلی ۴ | مؤلفه اصلی ۵ | مؤلفه اصلی ۶ |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| نوار ۱       | ۰٫۲۸۲        | ۰٫۴۳۳        | ۰٫۴۷۲        | ۰٫۴۹۳        | -۰٫۱۷۶       | ۰٫۴۸۶        |
| نوار ۲       | ۰٫۳۶۱        | ۰٫۳۵۹        | ۰٫۲۴۳        | -۰٫۰۵۸       | -۰٫۲۳۴       | -۰٫۷۹۰       |
| نوار ۳       | ۰٫۴۸۹        | ۰٫۳۵۴        | -۰٫۱۴۶       | -۰٫۶۷۳       | ۰٫۲۴۹        | ۰٫۳۱۵        |
| نوار ۴       | ۰٫۳۸۴        | ۰٫۱۱۵        | -۰٫۷۴۱       | ۰٫۵۱۵        | ۰٫۱۳۸        | -۰٫۰۷۸       |
| نوار ۵       | ۰٫۵۰۳        | -۰٫۵۹۰       | -۰٫۰۲۷       | -۰٫۰۹۸       | -۰٫۶۰۸       | ۰٫۱۴۱        |
| نوار ۷       | ۰٫۳۸۸        | -۰٫۴۴۴       | ۰٫۳۸۴        | ۰٫۱۶۱        | ۰٫۶۸۱        | -۰٫۱۲۰       |
| مقادیر ویژه  | ۴۷۶٫۳        | ۷۵٫۱         | ۱۰٫۲         | ۴٫۸          | ۳٫۹          | ۱٫۲          |
| درصد واریانس | ۸۳٫۳         | ۱۳٫۱         | ۱٫۸          | ۰٫۸          | ۰٫۷          | ۰٫۲          |



شکل ۵ تصویر میانگین مؤلفه اصلی ۵ (تصویر هیدروکسیل) و تصویر نسبت ۵/۷. مناطق دگرسان با پیکسل‌های روشن نشان داده شده‌اند.



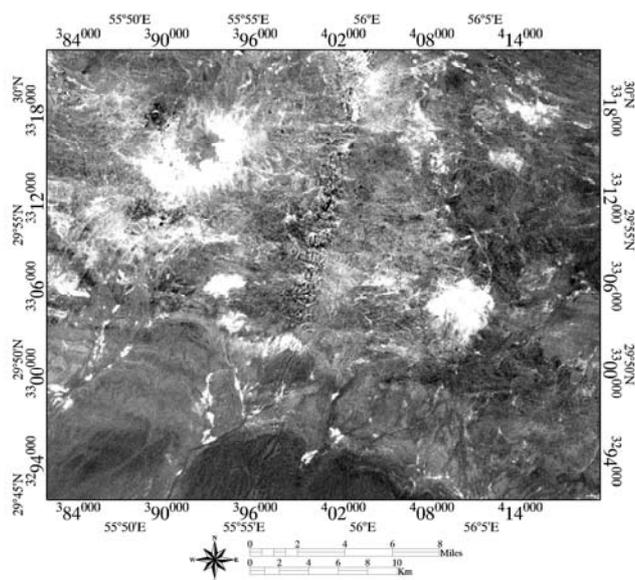
شکل ۶ تصویر کاذب رنگی مؤلفه‌های اصلی. مؤلفه ۵ (سرخ)، حاصل جمع مؤلفه‌های ۴ و ۵ (سبز) و مؤلفه ۴ (آبی).

### ب - آنالیز داده‌های ASTER (در این بخش باید به جدول شماره ۲ ارجاع شود)

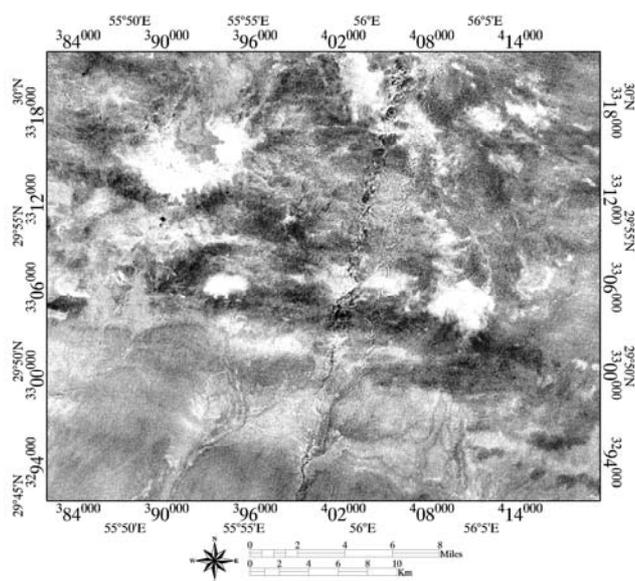
با توجه به تنوع نوارهای ASTER در ناحیه فرو سرخ موج کوتاه (شکل ۲)، آگاهی از بازتاب و جذب کانیه‌های رسی در گستره این نوارها به منظور دستیابی به نسبت‌های نواری شاخص الزامی است. شدت بازتاب کانیه‌های رسی در گستره نوار ۴ به حدی است که این نوار در نسبت‌گیری نواری با نوارهای یاد شده دیگر، مناطق دگرسان را به خوبی مشخص می‌کند. بازتاب شدید رسها در نوار ۴ قابل ملاحظه است ولی تنها ضعف این نوار در آشکارسازی مناطق دگرسان است که پوشش گیاهی نیز همراه با کانیه‌های رسی در محل این نوار دارای بازتاب چشمگیری است، به طوریکه امکان اشتباه گرفتن این دو پدیده وجود دارد. بنابراین استفاده از تصاویر رنگی برای تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی الزامی است. چشم‌پوشی از این ضعف، نوار چهارم قابلیت بسیار خوبی برای آشکارسازی دگرسانها را دارد.

بازتاب نسبتاً شدید رسها در محل نوار هفتم نیز این نوار را به عنوان نوار بازتابی مناسب برای استفاده در نسبت‌های نواری معرفی می‌کند افزون بر اینکه در محل نوار ۷ دیگر نشانی از اثر تداخلی پوشش گیاهی وجود ندارد. نوار ۸ نیز ویژگی‌های بسیار نزدیکی با نوار ۷ دارد ولی کیفیت تصاویر پردازش شده حاصل از نسبت‌گیری نواری نوار ۷ بهتر است.

با توجه به این نکته که استفاده از نسبت نواری ۷/۹ اثر پوشش گیاهی را حذف می‌کند و تنها مناطق دگرسان را بهتر نشان می‌دهد، برتری نسبی این نسبت نواری در مقایسه با دیگر نسبت‌های نواری آشکار است (شکل‌های ۷ و ۸ را با یکدیگر مقایسه کنید).



شکل ۷ تصویر نسبت نواری ۴/۶. مناطق دگرسان با پیکسل‌های روشن مشخص شده‌اند. پوشش گیاهی نیز در این شکل دیده می‌شود.



شکل ۸ تصویر نسبت نواری ۷/۹. مناطق دگرسان با پیکسل‌های روشن مشخص شده‌اند. اثر پوشش گیاهی در این شکل حذف شده است.

جدول ۲ نتایج بدست آمده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ۶ باند طیفی سنجنده ASTER

|              | مؤلفه اصلی ۱ | مؤلفه اصلی ۲ | مؤلفه اصلی ۳ | مؤلفه اصلی ۴ | مؤلفه اصلی ۵ | مؤلفه اصلی ۶ | مؤلفه اصلی ۱ | مؤلفه اصلی ۲ | مؤلفه اصلی ۳ |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| باند ۱       | ۰/۱۷         | -۰/۳۵        | ۰/۴۶         | -۰/۲۹        | ۰/۳۵         | -۰/۶۲        | ۰/۰۱         | ۰/۲۳         | -۰/۰۲        |
| باند ۲       | ۰/۲۴         | -۰/۴۶        | ۰/۵۵         | -۰/۰۶        | -۰/۱۷        | ۰/۶۱         | ۰/۰۲         | -۰/۱۷        | ۰/۰۲         |
| باند ۳       | ۰/۳۸         | -۰/۶۸        | -۰/۵۲        | ۰/۴۱         | ۰/۰۴         | -۰/۰۹        | -۰/۰۵        | -۰/۰۱        | -۰/۰۳        |
| باند ۴       | ۰/۳۸         | -۰/۰۲        | -۰/۴۰        | -۰/۷۴        | -۰/۲۰        | ۰/۰۴         | ۰/۲۸         | -۰/۰۵        | ۰/۱۵         |
| باند ۵       | ۰/۳۵         | ۰/۲۰         | -۰/۰۵        | -۰/۰۷        | ۰/۵۰         | ۰/۰۵         | -۰/۵۴        | -۰/۵۲        | ۰/۱۵         |
| باند ۶       | ۰/۳۸         | ۰/۲۳         | -۰/۰۵        | ۰/۱۳         | ۰/۴۵         | ۰/۳۷         | ۰/۱۵         | ۰/۶۵         | -۰/۰۲        |
| باند ۷       | ۰/۳۶         | ۰/۱۶         | ۰/۰۴         | -۰/۰۲        | -۰/۳۲        | -۰/۰۹        | -۰/۲۷        | ۰/۰۵         | -۰/۸۱        |
| باند ۸       | ۰/۴۰         | ۰/۱۹         | ۰/۱۶         | ۰/۲۴         | -۰/۵۱        | -۰/۲۲        | -۰/۲۷        | ۰/۲۲         | ۰/۵۵         |
| باند ۹       | ۰/۳۵         | ۰/۲۳         | ۰/۱۵         | ۰/۳۴         | ۰/۰۵         | -۰/۱۹        | ۰/۶۸         | -۰/۴۳        | -۰/۰۵        |
| مقادیر ویژه  | ۱۰۴۳/۹       | ۴۳/۲         | ۱۹/۵         | ۹/۵          | ۳/۲          | ۱/۸          | ۱/۲          | ۱/۱          | ۰/۸          |
| درصد واریانس | ۹۲/۹         | ۳/۸          | ۱/۷          | ۰/۸          | ۰/۳          | ۰/۲          | ۰/۱          | ۰/۱          | ۰/۱          |

### آنالیز مؤلفه‌های اصلی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی با استفاده از دو روش، روی داده‌های سنجنده ASTER انجام شد. در روش اول از هر ۹ نوار و در روش دوم تنها از نوارهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۷ و ۹ استفاده شده است. در روش اول آنالیز مؤلفه‌های اصلی روی نوارهای اول تا نهم سنجنده انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده‌اند. مطابق این جدول، PC4 برای آشکار ساختن گستره کانیهایی رسی ناشی از دگرسانی مناسب است. با استفاده از رابطه ۲، تصویر مؤلفه اصلی ۴ به دست آمده است (شکل ۹). این تصویر نشان می‌دهد که تنها مناطق دگرسان شده آشکار شده‌اند و مناطق با پوشش گیاهی و یا مناطقی که در گستره سنگهای تهنشستی است و در روشهای دیگر به عنوان مناطق دگرسان شده آشکار شده بودند (مانند شکل ۷) نمایان شده‌اند.

$$PC4 = -BAND1 * 0.29 - BAND2 * 0.06 + BAND3 * 0.41 - BAND4 * 0.74 - BAND5 * 0.17 + BAND6 * 0.13 - BAND7 * 0.12 + BAND8 * 0.24 + BAND9 * 0.34 \quad (\text{رابطه ۲})$$

روش دوم، آنالیز انتخابی نوارهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۷ و ۹ سنجنده ASTER است که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده‌اند. در این روش معمولاً از نوارهایی استفاده می‌شود که به شکل مستقیم در ارتباط با جذب و بازتاب کانیهایی رسی یا اکسیدهای آهن‌اند. مطابق این جدول، مؤلفه اصلی چهارم برای آشکار ساختن گستره کانیهایی رسی ناشی از دگرسانی مناسب است. عیب روش مورد نظر آن است که علاوه بر آشکارسازی مناطق دگرسان، گستره‌های کربناته و مناطقی در گستره سنگهای تهنشستی را نیز نشان داده است.

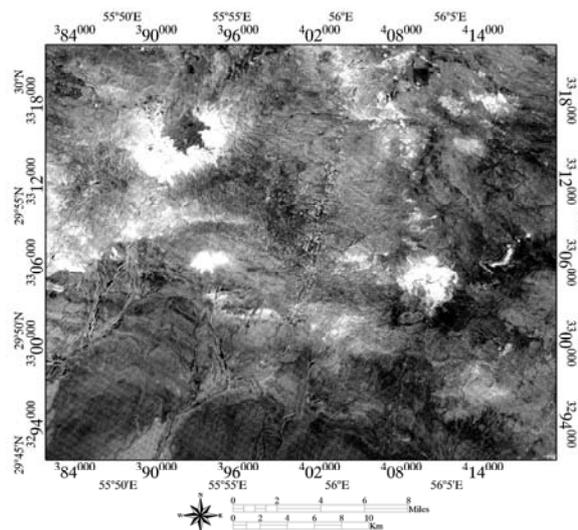
ترکیب رنگی مؤلفه اصلی ۴، نسبتهای نواری ۴/۹ و ۷/۹ به ترتیب در رنگهای سرخ، سبز و آبی مناطق دگرسان را به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

## مطالعات صحرایی و کانی‌شناسی

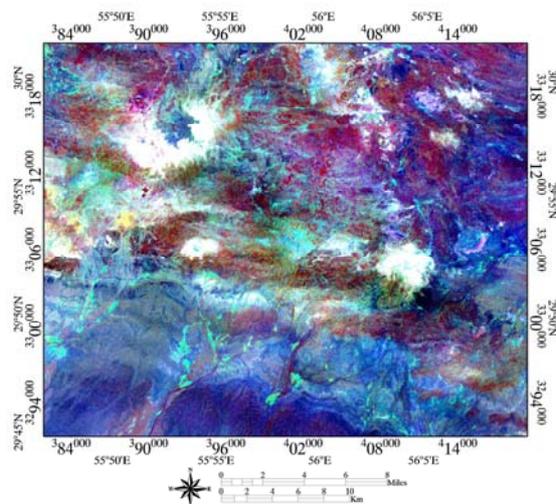
پس از تهیه تصاویر پردازش شده، مختصات مناطق دگرسان از روی تصاویر برداشت و به یک دستگاه GPS دستی منتقل شدند. این مناطق در مطالعات میدانی بررسی شدند و در محل‌هایی که لازم بود نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها برای مطالعات کانی‌شناسی و پراش پرتو ایکس آماده و سپس آنالیز و مطالعه شده‌اند. در مناطقی که در تصاویر دارای اثر دگرسانی شدیدند، سنگهای منطقه به شدت دگرسان شده و دارای پوشش کانی‌های اکسید آهن هستند.

جدول ۳ آنالیز مؤلفه‌های اصلی روی نوارهای انتخابی سنجنده ASTER.

|              | مؤلفه اصلی ۱ | مؤلفه اصلی ۲ | مؤلفه اصلی ۳ | مؤلفه اصلی ۴ | مؤلفه اصلی ۵ | مؤلفه اصلی ۶ |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| نوار ۱       | ۰٫۲۳۱        | -۰٫۳۲۲       | -۰٫۴۶۷       | -۰٫۲۷۹       | -۰٫۷۲۴       | ۰٫۱۴۹        |
| نوار ۲       | ۰٫۳۲۰        | -۰٫۴۱۵       | -۰٫۵۵۲       | -۰٫۰۴۳       | ۰٫۶۲۳        | -۰٫۱۷۴       |
| نوار ۳       | ۰٫۳۸۹        | -۰٫۶۳۱       | ۰٫۵۶۲        | ۰٫۳۵۲        | -۰٫۰۸۲       | ۰٫۰۵۹        |
| نوار ۴       | ۰٫۵۰۸        | ۰٫۲۰۱        | ۰٫۳۵۳        | -۰٫۷۰۵       | ۰٫۰۶۰        | -۰٫۲۷۷       |
| نوار ۷       | ۰٫۴۷۶        | ۰٫۳۵۰        | -۰٫۰۶۷       | ۰٫۱۱۵        | ۰٫۱۵۵        | ۰٫۷۸۱        |
| نوار ۹       | ۰٫۴۵۷        | ۰٫۴۰۳        | -۰٫۱۷۸       | ۰٫۵۳۵        | -۰٫۲۲۹       | -۰٫۵۰۸       |
| مقادیر ویژه  | ۵۹٫۰         | ۳۴٫۰         | ۱۹٫۰         | ۸٫۴          | ۲٫۰          | ۱٫۱          |
| درصد واریانس | ۹۰٫۳         | ۵٫۱          | ۲٫۹          | ۱٫۳          | ۰٫۳          | ۰٫۲          |



شکل ۹ تصویر به دست آمده از رابطه ۲. مناطق آشکار شده دستخوش دگرسانی شده‌اند. اثر پوشش گیاهی و دگرسانی‌های کاذب در مناطق رسوبی حذف شده‌اند.



شکل ۱۰ تصویر کاذب رنگی مؤلفه اصلی ۴ (سرخ)، نسبت ۴/۹ (سبز) و نسبت ۷/۹ (آبی). مناطق دگرسان با پیکسل‌های سفید و پوشش گیاهی با رنگ فیروزه‌ای نشان داده شده‌اند.

دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه شامل سرسیت‌شدگی همراه با آثار رسی شدن در گستره کانسارهای دره‌زار، اطراف سرچشمه و کوه پنج و دیگر مناطقی بودند، در تصاویر اثر دگرسانی چشمگیری داشته‌اند. اکسید آهن بر روی بیشتر مکانهایی که کانی‌سازی در آنها صورت گرفته (به عنوان مثال سرچشمه، دره زار، سرکوه و کوه پنج) به شکل گسترده‌ای مشاهده شد. دگرسانی‌های کلریت و اپیدوت شدن از دیگر دگرسانی‌هایی هستند که به شکل گسترده‌ای در اطراف توده‌های نفوذی با اثر دگرسانی سرسیدنی یا رسی شدن مشاهده شده‌اند.

برای بررسی و تعیین دقیق کانی‌شناسی سنگهای دگرسان تعداد ده نمونه از سنگهای منطقه مطالعاتی، خصوصاً منطقه دره‌زار و اطراف معدن سرچشمه و از بخشهایی که بیشتر دگرسانی رسی و سرسیتی نشان می‌دادند انتخاب و پودر شدند و آزمایش XRD روی آنها انجام گرفت. نتایج آزمایش نشان‌دهنده حضور کانیهای سرسیت، کائولینیت، ایلیت، مونتوریلونیت، کلسیت، ارتوکلاز و هالوسیت در این مناطق است.

**برداشت**

از داده‌های سنجنده ETM+ و سنجنده ASTER با استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصویر (ترکیب کاذب رنگی، نسبت‌گیری نواری و آنالیز مؤلفه‌های اصلی)، به منظور شناسایی زونهای دگرسان مرتبط با کانسارهای مس استفاده شده است. این بررسی نشان داد که داده‌های سنجنده ETM+ به خاطر دارا بودن گستره طیف آبی از قابلیت بهتری برای تعیین مناطق حاوی کانیهای اکسید آهن نسبت به داده‌های سنجنده ASTER برخوردار است. داده‌های سنجنده ASTER به خاطر دارا بودن نوارهای طیفی متعدد در گستره فرو سرخ موج کوتاه، قابلیت زیادی در شناسایی مناطق رسی دارند. مطالعات میدانی، کانی‌شناسی، و پراش پرتو ایکس، نتایج به دست آمده از پردازش تصاویر را تأیید می‌کنند.

**تشکر و قدردانی**

سازمان صنایع و معادن استان کرمان از این طرح حمایت مالی نموده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

**مراجع**

- [1] Abrams M. J., Brown L., Lepley R., Sadowski P., "Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona", *Economic Geology*, 78 (1983) 591-604.
- [2] Kaufman H., "Mineral exploration along the Agaba-Levant structure by use of TM-data concepts, processing and results", *International J. of Remote Sensing*, 9 (1988) 1630-1658.
- [3] Tangestani M. H., Moore F., "Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping: A case study", Meiduk area, Kerman, Iran, *Canadian J. of remote Sensing*, 27 (2001) 176-181.
- [4] Ranjbar H., Honarmand M., Moezifar Z., "Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM+ data in the southern part of the Iranian Volcanic Sedimentary Belt", *J. of Asian Earth Sciences*, 24 (2004) 237-243.
- [5] Rowan L. C., Mars J. C., "Initial lithologic mapping results using Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data", EOS, Transactions American Geophysical Union, Spring Supplement, Abstract (2001)U31A-05.
- [6] Yoshiki N., "Rock type mapping with indices defined for multispectral thermal infrared (ASTER) data: Case studies", *Proceedings of Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology II*, Sep 23-26 2002, Agia Pelagia, Greece, SPIE. v 4886(2002)123-132.

- [7] Rowan L. C., Hook S. J., Abrams M. J., Mars J. C., "Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite Nevada, using the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system", *Economic Geology*, 98(2003)1018-1027.
- [8] Fu B., Ninomiya Y., Lei X., Toda S., Awata Y., "Mapping active fault associated with the 2003 Mw 6.6 Bam earthquake with ASTER 3D images", *Remote Sensing of Environment*, 92(2004)153-157.
- [9] Ranjbar H., Shahriari H., Honarmand M., "Integration of ASTER and airborne geophysical data for exploration of copper mineralization. A case study of Sar Cheshmeh area", *Proceedings of 20th congress, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, (12-13 July 2004)*701-707.
- [10] Rowan C., Mars J. C., Simpson C., J., "Lithological mapping of Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer", *Remote Sensing of Environment*, 99(2005)105-126.
- [11] Lowell J. D., Guilbert J. M., "Laterad and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits", *Economic Geology*, 65(1970)375-408.
- [12] Buckingham W. F., Sommer S. E., "Mineralogical characterization of rock surfaces formed by hydrothermal alteration and weathering-Application to remote sensing", *Economic Geology*, 78(1983)664-674.
- [13] Amos B., J., Greenbaum D., "Alteration detection using TM imagery, the effects of supergene weathering in an arid climate", *International J. of Remote Sensing*, 10(1989)515-527.
- [14] Drury S. A., Hunt G. A., "Geological uses of remotely-sensed reflected and emitted data of lateralized Archean terrain in Western Australia", *International J. of Remote Sensing*, 10(1989)475-497.
- [15] Ruts-Armenta J. R., Prol-Ledesma R. M., "Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico", *International J. of Remote Sensing*, 19 (1998) 1981- 2000.
- [16] Dimitrijevic M. D., "Geology of Kerman region", *Geological Survey of Iran Report, YU/52(1973)*247p.
- [17] Shahabpour J., "Post-mineralization breccia dike from the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran", *Exploration and Mining Geology*, 3(1994)39-43.
- [18] Rowan L. C., Goetz A. F. H., Ashley R. P., "Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images", *Geophysics*, 42(1977)522-535.

[19] Hunt G. R., Salisbury J. W., Lenhoff G. J., "*Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III Oxides and hydroxides*", Modern Geology, 2(1978)195-205.