

کاربرد روشهای مختلف پردازش تصویر روی داده‌های ETM⁺ به

منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه‌ای

در منطقه کوه ممزار - کوه پنج در استان کرمان

نوشته: مهدی هنرمند* و دکتر حجتا... رنجبر**

Application of Different Image Processing Techniques on ETM⁺ Images for Exploration of Porphyry and Vein Type Copper Mineralizations in Kuh-e-Mamzar and Kuh-e-panj Areas, Kerman Province

By: M. Honarmand * & H. Ranjbar**

چکیده

منطقه مطالعاتی در بخش جنوب شرقی کمربند آتشفشانی-رسوبی ایران مرکزی واقع شده است. سنگهای آتشفشانی - رسوبی ائوسن، اصلی ترین واحد زمین شناسی منطقه را تشکیل می دهند که نفوذ توده های الیگومیوسن در آنها، باعث کانسار سازی و دگرسانی گسترده در سطح منطقه شده است. در این تحقیق از روش های مختلف پردازش تصویر (نسبت گیری باندی، روش کروسا، رده بندی فازی و تحلیل عامل خطوارگی) به منظور شناسایی زونهای دگرسانی مرتبط با کانسارهای مس استفاده شده است. در مطالعه حاضر، روش رده بندی نظارت شده فازی با استفاده از تصاویر پردازش شده حاصل از روش کروسا یکی از موفق ترین فنون پردازش تصویر برای تفکیک دقیق مناطق دگرسانی گرمایی همراه با کانسارهای مس پورفیری تشخیص داده شد. تحلیل خطواره های تفسیر شده از تصویر فیلتر شده باند ۸ ETM⁺، به عنوان روش دیگری برای شناسایی کانسارهای مس پورفیری و رگه ای پیشنهاد می شود. ارتباط نزدیکی بین عامل خطوارگی و موقعیت کانسارهای مس در منطقه مشاهده شد. پس از تحلیل و تفسیر نتایج، تعدادی نقطه کنترلی برای نمونه برداری انتخاب شدند. نتایج به دست آمده از مقاطع نازک و پراش پرتو ایکس نشان داد که داده های ETM⁺ قابلیت نقشه برداری مناطق دگرسان را دارند.

کلید واژه ها: تصاویر ETM⁺، پردازش تصویر، طبقه بندی فازی، کانسارهای پورفیری، کرمان

Abstract

The study area is situated in the southern part of the Central Iranian Volcano-Sedimentary belt. The Eocene volcano-sedimentary rocks are the main geological features in the area. These rocks are intruded by the Oligo-Miocene intrusive bodies where they caused an intensive alteration and formation of copper mineralization. Different image processing techniques such as band ratios, Crosta technique, supervised fuzzy classification, and lineament factor analysis are used for identification of the alteration zones associated with copper mineralization. The supervised fuzzy classification of the images obtained through Crosta technique was found to be the best image processing technique for delineation of the hydrothermally altered rocks associated with porphyry copper deposits. Analysis of the lineaments interpreted out of ETM⁺ (band 8) data is recognized as another method for locating porphyry and vein type copper mineralizations. There is a close correlation between photolineament factor values and the known copper mineralization in the area. After analyzing and interpreting the processed images, a few selected sites were sampled. The thin sections and XRD data from the samples showed that ETM⁺ data was capable of mapping hydrothermal alteration.

Keywords: ETM+ images, Image processing, Fuzzy classification, porphyry deposits, Kerman.

۱- مقدمه

مربوط به توده های کانسار و در نتیجه اکتشاف ذخایر معدنی بویژه در

داده های سنجش از دور، توان زیادی برای شناخت نواحی دگرسان شده

است. با وجود موفقیت آمیز بودن این روش برای جداسازی مناطق دگرسانی، به خاطر اثر طیفی پوشش گیاهی که شباهت قابل ملاحظه‌ای با بعضی کانیهای دگرسانی دارد، اثر طیفی این گروه از کانیها کاهش می‌یابد.

استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی شیوه‌ای برای کمینه کردن اثر پوشش گیاهی و تکیه بر باندهای طیفی خاص برای بارزسازی کانیهای مناطق دگرسانی است. این روش برای جداسازی مناطق دگرسان شده گرمایی بسیار موفقیت‌آمیز است (Ruiz-Armenta and Prol-Ledesma, 1998).

روش رده‌بندی فازی که امروزه برای تصاویر ماهواره‌ای کاربرد زیادی پیدا کرده است، روش پردازش دیگری است که در این تحقیق برای جداسازی هر چه دقیق‌تر مناطق دگرسانی گرمایی به کار رفته است. انجام این روش رده‌بندی بر روی تصاویر پردازش شده ETM^+ با توجه به حذف کامل اثرات پوشش گیاهی و امکان تفکیک طبقات مخلوط می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای مطالعه مناطق دگرسان شده، استفاده شود.

نوایی و مهدی‌زاده تهرانی (۱۹۹۴) از تصاویر TM برای مشخص کردن محدوده‌های دگرسانی در منطقه سرچشمه استفاده کردند. مهدی‌زاده تهرانی و همکاران (۱۳۷۸) داده‌های TM و روشهای پردازش نسبت‌گیری بانندی و تصاویر رنگی نسبت، PCA و فیلتر تصویر را به منظور شناسایی سامانه‌های پورفیری در کمربند ارومیه-دختر به کار گرفتند. Ranjbar (1996) و Ranjbar and Roonwal (2002) داده‌های SPOT منطقه سرچشمه را مورد مطالعه قرار دادند. هنرمند و رنجبر (۱۳۸۲) با استفاده از تصاویر ETM^+ به مطالعه کانیهای موجود در مناطق دگرسانی گرمایی در منطقه کوه مزار-کوه پنج پرداختند.

در این مطالعه، تصاویر ETM^+ با شماره گذر ۱۶۰ و ردیف ۳۹ که توسط ماهواره لندست ۷ در تاریخ ۲۰۰۱/۶/۲۳ برداشت شده، مورد استفاده قرار گرفته است. مقاله حاضر در حقیقت مروری بر کاربرد سنسجس از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور اکتشاف کانسارهای مس است. در اینجا سعی شده تا افزون بر روشهای معمول پردازش تصویر که در مطالعات قبلی استفاده شده، روشهای نوین دیگر مانند روش کروسا با استفاده از باندهای انتخابی و رده‌بندی فازی با استفاده از تصاویر به‌دست آمده از روش کروسا برای بارزسازی هر چه دقیق‌تر مناطق دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری استفاده شود. همچنین با توجه به اضافه شدن باند تمام رنگ سنسجس ETM^+ و برتری آن نسبت به سنسجس TM از نظر قدرت تفکیک زمینی روش عامل خطوارگی به منظور بررسی ارتباط خطواره‌ها با کانسارهای مس پورفیری و رگه‌ای به کار گرفته شده است.

نواحی خشک دارند. تصاویر ماهواره‌ای به خاطر پوشش منطقه‌ای وسیع، چند طیفی و چند زمانی، می‌توانند در شناسایی ایالتها، کمربندها و مکانهای کانی زایی به کار روند استفاده شوند. نقش سنسجس از دور در اکتشاف کانسارها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد (Sabins, 1999; Sirvastav et al, 2000):

- نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، خطواره‌های بزرگ و روندهای ساختاری در طول نواحی که احتمال کانسارسازی وجود دارد.

- نقشه‌برداری الگوهای ساختاری و شکستگی‌های محلی که ممکن است تشکیل‌دهنده کانسارهای خاص باشند.

- شناسایی مناطق دگرسان شده مرتبط با توده‌های کانسار

- تهیه اطلاعات زمین‌شناسی پایه.

بسیاری از کانسارها، با سازندها یا واحدهای سنگ‌شناسی خاصی ارتباط دارند. شناسایی این واحدهای سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی با داده‌های سنسجس از دور، می‌تواند به اکتشاف کانسارهای موجود در آنها کمک کند. زمین‌شناسان با تصاویر لندست می‌توانند ارتباط بین کانسارها و ساختارهای خطی ناحیه‌ای را شناسایی کنند. در یک ایالت کانه‌زایی، تعدد شکستگی‌ها و خطواره‌ها می‌توانند راهنمای اکتشاف باشند، زیرا مجرای برای عبور سیالهای کانی‌زا هستند.

شکستگی‌های محلی نیز در تصاویر لندست و با استفاده از روشهای مختلف پردازش تصویر مانند استفاده از فیلترهایی که عوارض خطی را آشکار می‌سازند، قابل تشخیص هستند. البته با وجود اینکه این عوارض ساختاری نقش مهمی در تشکیل مناطق معدنی دارند، همه آنها لزوماً در ارتباط با کانسارسازی نیستند، به همین دلیل، مشخص کردن ارتباط ساختارهای خطی با دگرسانیهای گرمایی اهمیت زیادی دارد. یکی از اهداف اصلی در اکتشاف کانسارها، شناسایی سنگهای دگرسان شده است که خود ممکن است منجر به کشف کانسارها شود.

سنسجس نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (Enhanced Thematic Mapper Plus) به‌طور گسترده در نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و خطواره‌های ناحیه‌ای و محلی کنترل‌کننده ذخایر معدنی، شناسایی مناطق دگرسان شده و کسب اطلاعات زمین‌شناسی پایه استفاده می‌شود. مهم‌ترین تغییر در این سنسجس نسبت به TM، اضافه شدن یک باند تمام رنگ با قدرت تفکیک ۱۵ متر است که در مطالعه عوارض خطی کاربرد دارد.

روشهای متداول پردازش تصویر، در بارزسازی مناطق دگرسان شده قابل استفاده هستند. یکی از این روشها نسبت‌گیری بانندی و تصاویر رنگی نسبت برای بالا بردن پاسخ طیفی کانیها و کاهش پاسخ پوشش گیاهی

۲- زمین‌شناسی، دگرسانی گرمابی و کانی‌سازی در منطقه

مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در جنوب‌خاوری کمربند آتشفشانی-رسوبی ایران مرکزی و در ناحیه خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است (شکل ۱). این کمربند قسمتی از کمربند کوهزایی زاگرس و منطبق بر کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا است. ناحیه مورد مطالعه در جنوب‌باختری شهر کرمان و در طول جغرافیایی ۴۲° ۵۵' تا ۵۶° ۱۵' خاوری و عرض جغرافیایی ۲۹° ۴۵' تا ۳۰° ۵' شمالی در بخش مرکزی کمربند دهج-ساردوئیه قرار دارد. بر اساس تقسیم‌بندی زیرناحیه‌های فلزایی استان کرمان، کمربند دهج-ساردوئیه به ۶ واحد تقسیم می‌شود که ناحیه کوه مزار-کوه پنج یکی از این مناطق است که بیشترین و مهم‌ترین کانسارها و اندیسه‌های مس پورفیری و رگه‌ای در ناحیه کرمان از جمله سرچشمه، دره‌زار، کوه پنج، سرکوه، حسین‌آباد، نوچون، ده‌سیاهان، آب تلخون و سرباغ را دربرمی‌گیرد (شکل ۲).

واحدهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن که ترکیبی از پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی‌بازالت و آندزیت را شامل می‌شوند، بیشترین گسترش را در سطح منطقه دارند و با نام کمپلکس رازک مشهور هستند (شکل ۲). ماگماتیسیم منطقه که عمدتاً به صورت فازهای عمیق و نیمه‌عمیق (تیپ جبال‌بارز و تیپ کوه‌پنج) شامل گرانودیوریت، دیوریت، کوآرتزدیوریت، مونزونیت و تونالیت می‌باشد، در کمپلکس آتشفشانی-رسوبی ائوسن نفوذ کرده و باعث دگرسانی گرمابی گسترده همراه با گسلش و کانی‌سازی شده است. دگرسانی گرمابی هم در توده‌های نفوذی و هم در سنگهای آتشفشانی دیده می‌شود (Dimitrijevic, 1973). معمول‌ترین دگرسانی که در سنگها دیده می‌شود، سریستی شدن، کلریتی شدن، اپیدوتی شدن، کربناتی شدن، سیلیسی شدن، رسی شدن و تورمالینی شدن است. ولی دگرسانی فیلیک، رسی و پروپیلی تیک بیشترین گسترش را در منطقه دارند که عملیات صحرایی و آزمایشگاهی هم آن را تأیید می‌کند. غنی‌سازی برونزاد و تشکیل زونهای اکسیده و کلاهدک آهنی بر روی بیشتر کانسارهای منطقه مشاهده می‌شود. سنگهای پلیوسن بیشتر شامل داسیت، آندزیت و ریولیت بوده و فاقد دگرسانی مشخصی هستند. رسوبات آبرفتی سست و قدیمی و پادگانه‌های آهکی، واحدهای کواترنری را به وجود آورده‌اند.

شکل ۳ ترکیب رنگی کاذب باندهای ۷-۴-۲ را نشان می‌دهد. باند ۲ مرئی در رنگ آبی و باندهای فرو سرخ ۷ و ۴ در رنگهای سرخ و سبز با هم ترکیب شده‌اند. مقایسه این شکل با نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) نشان می‌دهد که این ترکیب، گستره بزرگی از رنگها را برای سنگها و واحدهای زمین‌شناسی منطقه فراهم می‌کند و برای تفسیر زمین‌شناسی و

کسب اطلاعات پایه در نواحی خشک و نیمه خشک بسیار مناسب است. تجربه محققان در نواحی مختلف دنیا نیز ثابت کرده که این ترکیب رنگی، ترکیبی بسیار ایده‌آل است (Sabins, 1997). افزون بر این، براساس محاسباتی که بر روی اطلاعات آماری منطقه انجام شد، مشخص گردید که این ترکیب از مقدار OIF (Optimum index factor) بالایی برخوردار است. پوشش گیاهی در این تصویر، با رنگ سبز و به طور طبیعی نمایش داده شده است. چنانچه مشخص است منطقه پوشش گیاهی کمی دارد. سنگهای آتشفشانی ائوسن با ترکیب عمدتاً آندزیتی به همراه توفهای وابسته مانند کمپلکس رازک به رنگ قهوه‌ای و سبز تیره، و کمپلکس هزار در شمال شرق منطقه به رنگ ارغوانی تیره دیده می‌شوند. سنگهای نفوذی منطقه مانند توده مزار در جنوب‌باختر سرچشمه، به رنگ صورتی تا نارنجی تیره بارزسازی شده‌اند. کانسارهای دره‌زار، سرچشمه، کوه پنج، ده‌سیاهان و سرباغ به رنگهای روشن زرد تا صورتی و در نواحی باطله‌برداری شده به رنگ سفید دیده می‌شوند. رسوبات کواترنری و نئوژن در جنوب با رنگ صورتی، واحد گنگولمرایی خاور کوه پنج با رنگ سبز و سازند سرخ بالایی در خاور این واحد، به رنگ بنفش کاملاً آشکارا مشخص شده است. این تصویر برای شناسایی کلی منطقه و کسب اطلاعات پایه بسیار مناسب است، ولی به رغم آشکارسازی مناسب سنگ‌شناسی، محدوده‌های دگرسانی بارزسازی نشده‌اند، به همین جهت برای تفکیک این مناطق از روشهای پردازش دیگری استفاده خواهد شد.

۳- پاسخ طیفی کانیهای دگرسانی گرمابی و تشخیص این کانیها

روی تصاویر ETM⁺

کانیهای مناطق دگرسانی گرمابی، توسط طیف مخصوصی که بیشتر در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و میانی طیف الکترومغناطیس است، توصیف می‌شوند. باندهای سنجنده ETM⁺ به خاطر برخورداری از پهنای زیاد در طیف الکترومغناطیسی، توان تشخیص کانیهای جداگانه را ندارند. اما به‌خوبی می‌توانند آن گروه از کانیهایی را که در مناطق دگرسانی گرمابی شاخص هستند و ویژگی طیفی آنها بیشتر در محدوده فروسرخ نزدیک و میانی است، شناسایی کنند. کانیهای مشخص کننده دگرسانی گرمابی که در اکتشاف کانسارهای مختلف بویژه نوع پورفیری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شوند، به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: هیدروکسیل (میکا و رسها)، سولفوهایدارتها (ژیپس و آلونیت) و کانیهای آهن دار (هماتیت، گوتیت و جاروسیت). کانیهایی که طیف آنها متعلق به محدوده فروسرخ است، بیشتر گروه هیدروکسیلها و سولفاتها هستند. همچنین اکسید آهن نیز اغلب در مناطق دگرسان شده و در رخنمونهای

شده است. این کانیه‌ها جذب و یا حداقل بازتاب را در طول موجی در محدوده باندها ۷ لندست و یک بیشینه بازتاب در محدوده باندها ۵ لندست نشان می‌دهند. به همین جهت نسبت باندهای ۵/۷ می‌تواند در تشخیص مناطق دارای کانیه‌های رسی و آلونیت مناسب باشد. این تصویر پردازش شده در شکل ۶ پس از کَشش تمایز نشان داده شده است.

مشکل اصلی در تشخیص این کانیه‌ها، حضور پوشش گیاهی است. گیاهان در محدوده $0.45 \mu\text{m}$ تا $0.68 \mu\text{m}$ جذب و به دلیل حضور کلروفیل در برگ‌ها در فرورسرخ نزدیک بین $0.68 \mu\text{m}$ تا $0.72 \mu\text{m}$ بازتاب شدید نشان می‌دهند. در گیاهان جذب مشاهده شده در محدوده $0.4 \mu\text{m}$ تا $0.9 \mu\text{m}$ به خاطر حضور آب است. این عملکرد جذبی آب در طیف کانیه‌هایی که در ساختار بلوری خود آب یا یون هیدروکسیل دارند، دیده می‌شود. کانیه‌های گروه اکسید آهن و گیاهان در باندهای $0.52 \mu\text{m}$ - $0.45 \mu\text{m}$ و $0.6 \mu\text{m}$ - $0.52 \mu\text{m}$ برای تشخیص این دو مناسب نیستند. در باندها $0.69 \mu\text{m}$ - $0.63 \mu\text{m}$ ETM^+ بازتاب بالایی برای اکسید آهن و جذب قوی برای پوشش گیاهی وجود دارد که می‌تواند برای تشخیص اکسید آهن از پوشش گیاهی مناسب باشد. باند $0.9 \mu\text{m}$ - $0.7 \mu\text{m}$ ETM^+ برای تشخیص پوشش گیاهی بسیار مناسب است، زیرا شامل یک جذب قوی برای اکسید آهن در حدود $0.9 \mu\text{m}$ است. که برای تفکیک اکسید آهن از پوشش گیاهی استفاده می‌شود. همچنین باندهای $0.55 \mu\text{m}$ - $0.7 \mu\text{m}$ و $0.35 \mu\text{m}$ - $0.4 \mu\text{m}$ ETM^+ برای تشخیص پوشش گیاهی از هیدروکسیل‌ها و اکسیدهای آهن مناسب هستند، چون همان‌طور که گفته شد، این دو در این باندها طیف بسیار شاخصی دارند. البته با توجه به این که منطقه مطالعاتی در ناحیه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، پوشش گیاهی مزاحمت چندانی به وجود نمی‌آورد. اما همان‌گونه که خواهیم دید، با به کار بردن روش‌های مختلف پردازش تصویر، بویژه استفاده از روش رده‌بندی فازی، می‌توان اثر آن را به کمترین حد ممکن کاهش داد.

۴- پردازش تصویر ETM^+

پردازش تصویر توسط نرم‌افزارهای ER Mapper و IDRISI انجام گرفته است. پس از تصحیح رادیومتری و هندسی بر روی آن، زیرصحنه‌های با 1705 ستون و 1246 ردیف جدا شد. با توجه به اینکه هدف از پردازش تصویر در این تحقیق مطالعه دگرسانیها و خطواره‌های مرتبط با کانسارسازی مس نوع پورفیری و رگه‌ای به منظور معرفی این روش‌ها به عنوان یک ابزار اکتشافی برای این کانسارهاست، روشهای پردازش به گونه‌ای انتخاب گردید که پاسخ طیفی کانیه‌های شاخص دگرسانی گرمایی در بیرون‌زدگی‌های مربوط به نواحی کانسارسازی مس پورفیری بارزسازی

سطحی به دلیل هوازدگی مشاهده می‌شود، بنابراین تشخیص آن به عنوان کلیدی در ارتباط با مناطقی که احتمال کانی‌سازی دارند، با اهمیت است. زمانی که اکسید آهن در سنگی حضور دارد، معمولاً سنگ به رنگ سرخ، قهوه‌ای، نارنجی و خردلی دیده می‌شود. حضور کانی‌های رسی معمولاً یک رنگ روشن به سنگ می‌دهد (Ruiz-Armenta and Prol-Ledesma, 1998).

از آنجا که کانیه‌های متعلق به مناطق دگرسانی معمولاً در اثر هوازدگی سطحی هم ممکن است در بیرون‌زدگی‌ها مشاهده شوند، مطالعات صحرایی دقیق و تحقیقات آزمایشگاهی برای کنترل نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ضروری است.

فراوانی اکسیدهای آهن به تشخیص مناطق دگرسانی کمک زیادی می‌کند، چون ویژگی‌های طیفی آنها به شدت بر روی باندهای ETM^+ در محدوده 0.4 تا $1/1$ میکرومتر طیف الکترومغناطیسی مربوط به ناحیه مرئی و فرورسرخ اثر می‌کند. طیف شاخص آزمایشگاهی اکسید آهن و ارتباط آن با باندهای لندست در شکل ۴-الف نشان داده شده است. طیف ژاروسیت در $0.43 \mu\text{m}$ و $0.92 \mu\text{m}$ جذب خوبی از خود نشان می‌دهد. هماتیت بازتاب ضعیفی در $0.85 \mu\text{m}$ و گوت در حدود $0.94 \mu\text{m}$ دارد (Hunt and Ashley, 1979). وقوع پدیده جذب در طول موجهای کمتر از $0.9 \mu\text{m}$ نشان‌دهنده حضور هماتیت به عنوان کانی اصلی است. زمانی که پدیده جذب در طول موجهای نزدیک و یا بزرگ‌تر از $0.9 \mu\text{m}$ است ژاروسیت و یا گوتیت بیشتر حضور دارند. حضور ژاروسیت به وسیله بی‌هنجاری جذب در $0.43 \mu\text{m}$ هم تشخیص داده می‌شود. در شکل ۴-ب طیف کانیه‌های گروه اکسید آهن که با استفاده از تصویر پردازش شده ETM^+ بر روی منطقه معدنی ده‌سیاهان تهیه شده، آمده است. این شکل با طیف آزمایشگاهی این گروه از کانیه‌ها در ارتباط با باندهای لندست شباهت داشته و مشخص می‌کند که همانند طیف آزمایشگاهی حداقل بازتاب در محدوده آبی طیف مرئی مربوط به باند ۱ ETM^+ و بازتاب بالا در محدوده سرخ طیف مرئی و منطبق با باند ۳ ETM^+ است. بنابراین نسبت باندهای ۳/۱ در سنگهای حاوی کانیه‌های گروه اکسید آهن مقدار بالایی است.

ناحیه فرورسرخ میانی بازتاب بالایی برای بیشتر کانیه‌ها (رسها، میکاها، سولفاتها و کربناتها) در حدود $1.65 \mu\text{m}$ و جذب بالایی در محدوده حدود $2.2 \mu\text{m}$ دارد. شکل ۵-الف طیف بازتاب آزمایشگاهی کانیه‌های رسی معمول در مناطق دگرسانی گرمایی یعنی مونت‌موریلونیت، ایلیت و کائولینیت را به همراه آلونیت و ارتباط آن با باندهای لندست را نشان می‌دهد. و در شکل ۵-ب طیف این گروه از کانیه‌ها بر روی منطقه معدنی دره‌زار که با استفاده از تصویر پردازش شده ETM^+ به دست آمده، درج

شوند. از میان روشهای مختلف استفاده شده، بهترین نتایج استخراج گردید که در زیر به توضیح کلی آنها پرداخته می‌شود.

۴-۱- تصاویر نسبی ترکیب رنگی

تصاویر نسبی از تقسیم مقادیر المانهای تصویر در یک باند طیفی بر مقادیر المانهای تصویر مربوط به باند دیگر برای هر پیکسل به دست می‌آیند. تصویر رقومی جدید به وسیله نسبت مقادیر المانها در دو تصویر ایجاد می‌شود. مزیت اصلی این تصاویر آن است که خصوصیات رنگی یا طیفی پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منظره بر اثر تغییرات توپوگرافی، منتقل می‌کنند و بر محتوای رنگ داده تاکید می‌کنند. در واقع، هیچ اطلاعاتی در مورد سپیدایی اولیه یا مطلق ارائه نمی‌دهند (Sabins, 1997). از داده‌های سنجش از دور و با استفاده از تصاویر نسبی بانندی به طور گسترده در آشکارسازی نواحی دارای دگرسانی گرمابی و همچنین پوشش گیاهی استفاده شده است (Huff et al, 1999; Bennet et al, 1993; Kaufmann, 1988; Podwysoki et al, 1983; Abrams et al, 1983; Rowan et al, 1979; Abram et al, 1977) با توجه به خصوصیات طیفی کانیه‌های دگرسانی گرمابی و ارتباط آنها با باندهای ETM^+ که قبلاً توضیح داده شد، برای آشکارسازی دقیق‌تر دگرسانی گرمابی در تصاویر ETM^+ با استفاده از نسبت‌گیری بانندی و با توجه به اینکه این نوع دگرسانی در این تصاویر بر اساس کانیه‌های گروه هیدروکسیل و اکسید آهن مشخص می‌شود، ترکیب سه تصویر نسبت رنگی سرخ و سبز و آبی که منجر به تشکیل ترکیب رنگی نسبت می‌شود، باعث ادغام مناطق حاوی هر دو گروه کانی دگرسانی گرمابی شده و این مناطق را بهتر بارزسازی می‌کند. در شکل ۷ ترکیب رنگی نسبت که شامل نسبت‌های بانندی $3/1$ (سرخ)، $5/4$ (سبز) و $5/7$ (آبی) می‌شود، پس از انجام کشش تمایز بر روی هر کدام از این ترکیبها نشان داده شده است. نواحی با دگرسانی شدید که شامل هر دو گروه کانیه‌های گروه هیدروکسیل و اکسید آهن هستند (مانند سرچشمه، دره‌زار، کوه پنج، سرکوه ...) با رنگ سفید بارزسازی شده‌اند و نسبت به مناطقی که فقط آغشتگی سطحی به اکسید آهن دارند و یا پوشش گیاهی و سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی نادگرسان به خوبی تفکیک شده‌اند.

۴-۲- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

اگر هر کدام از باندهای ETM^+ به طور جداگانه بررسی شوند، ارتباط زیادی بین آنها مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که بیشتر نواحی که در یک باند روشن یا تاریک هستند، در باندهای دیگر هم همین ویژگی را دارند. اغلب ارتباط زیاد ایجاد شده بین باندها در تحلیل داده‌های تصویر

چندطیفی دشوار است، یعنی تصاویر ایجاد شده توسط داده‌های لندست، یا به طور کلی داده‌های رقومی ناشی از طول موج باندهای گوناگون، اغلب شبیه به یکدیگر به نظر می‌رسند و اساساً اطلاعات مشابهی را منتقل می‌کنند. در حقیقت این تشابه و ارتباط بین باندها، باعث به وجود آمدن یک سری اطلاعات اضافی و زائد می‌شود. اگر این داده‌های اضافی کاهش یابند، مقدار داده‌هایی که برای توصیف تصاویر چندطیفی احتیاج است، به صورت فشرده درمی‌آیند. انتقال مؤلفه‌های اصلی، روشی برای خارج کردن یا کاهش دادن چنین اطلاعات زائندی است که با فشرده کردن مجموعه داده‌های چندطیفی در یک دستگاه مختصات جدید صورت می‌گیرد. برای داده‌های چندطیفی (مانند لندست)، اولین مؤلفه اصلی (PC1) شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مؤلفه‌های بعدی (PC2، PC3، ...، PCn) هر یک دربرگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر می‌باشند (Sabins, 1997).

هر تصویر مؤلفه اصلی، دارای اطلاعاتی از همه باندهای طیفی است و مانند 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 ترکیب رنگی مشاهده 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. لذا به زمین‌شناسان کمک می‌کند تا مرز بین مناطقی که در تصاویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیست را مشخص کنند. همچنین کاربرد می‌تواند مناطق کوچکی را که از نظر طیفی کاملاً متفاوت از کل صحنه هستند (مانند مناطق دگرسان شده)، مشخص کند (Vincent, 1997).

۴-۲-۱- تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه‌های اصلی

اختلاف بین تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه‌های اصلی در این است که در تحلیل استاندارد همه باندهای یک تصویر (مثلاً ۶ باند غیر گرمابی ETM^+) به عنوان داده ورودی در محاسبه مؤلفه‌های اصلی به کار می‌روند. در حالی که در تحلیل انتخابی بر حسب نوع هدف، تعداد مشخصی از باندها انتخاب می‌شوند. استفاده اساسی از تحلیل مؤلفه اصلی یا PCA، در کاهش تعداد تصاویر یا متغیرهاست که کاهش بعدی (Dimensionality reduction) نامیده می‌شود. تحلیل مؤلفه‌های اصلی توسط Chaves and Yaw Kwarteng (1989) پیشنهاد شد. Crosta and Moore (1989) برای اولین بار روشی را که مؤلفه اصلی جهت یافته موضوعی یا

که دلالت بر خشک بودن منطقه دارد. اگر چه این روش، روش مناسبی برای تخمین پوشش گیاهی نیست.

اطلاعات طیفی هیدروکسیل‌ها و اکسید آهن به طور عمده در PC4 و PC5 متمرکز است. PC4 با بارگذاری بالا و علامت مخالف ETM^+-5 و ETM^+-7 مشخص می‌شود. با توجه به اینکه باند ۷ یعنی باندی که در آن هیدروکسیل‌ها جذب نشان می‌دهند دارای بارگذاری مثبت ($0/54$) و باند ۵ یعنی باندی که این کانیه‌ها بازتاب بالایی دارند بارگذاری منفی دارد ($-0/52$)، در تصویر PC4 منطقه هیدروکسیل‌ها به صورت پیکسل‌های تیره ظاهر می‌شوند. زیرا از نظر تئوری، این کانیه‌ها باید در باند ۵ بازتاب بالا (علامت مثبت) و در باند ۷ بازتاب ضعیف یا جذب (علامت منفی) نشان دهند. به منظور نشان دادن هیدروکسیل‌ها به صورت پیکسل‌های روشن، تصویر PC4- یا PC4 معکوس ساخته شد.

بررسی PC5 نشان می‌دهد که ETM^+-1 ($-0/44$) و ETM^+-3 ($0/56$) دارای بارگذاری بالا و با علامت مخالف هستند. بنابراین طبق خصوصیات طیفی اکسید آهن در تصویر PC5، نواحی دارای اکسید آهن به صورت مناطق روشن نمایش داده می‌شوند. اصولاً اگر داده‌ها دارای نوفه زیادی باشند، معمولاً در آخرین مؤلفه اصلی نشان داده می‌شود (Wayart et al, 2000).

نتایج پردازش و تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ۶ باند مرئی و فرورسرخ غیر گرمایی ETM^+ نشان می‌دهد که هیدروکسیل‌ها در تصویر معکوس PC4 و اکسید آهن در تصویر PC5 نقشه‌برداری می‌شوند. بنابراین نقشه‌برداری دگرسانی گرمایی با اضافه کردن تصویر PC4 معکوس و PC5 امکان‌پذیر است. در نتیجه، در تصویر نهایی سنگهایی که دگرسانی گرمایی را متحمل شده‌اند، بارزسازی می‌شوند.

هر سه تصویر مؤلفه اصلی را می‌توان برای خلق یک تصویر رنگی در سیستم RGB با هم ترکیب کرد. برای ساخت تصویر رنگی از روشی که Loughlin (1991) پیشنهاد کرد، استفاده شد. شکل ۸ تصویر نهایی ترکیب تصاویر PC4- (برای نقشه‌برداری هیدروکسیل‌ها)، PC5+PC4- (برای نقشه‌برداری دگرسانی گرمایی) و PC5 (برای نقشه‌برداری اکسید آهن) در رنگهای سرخ-سبز-آبی می‌باشد. چنانچه ملاحظه می‌شود، مناطق دگرسانی مانند دره‌زار، سرچشمه، کوه‌پنچ، حسین‌آباد، سرکوه و ده‌سیاهان بر حسب شدت دگرسانی با رنگهای سفید و آبی روشن، مشخص می‌شوند.

با توجه به اینکه پوشش گیاهی در منطقه ضعیف است، با وجود اینکه از هر ۶ باند ETM^+ استفاده شده است، اما اثر پوشش گیاهی بر روی کل منطقه و تصویر نهایی تأثیر چندانی ندارد و روش کروس‌تای ۶ باندی به خوبی توانسته است مناطق دگرسان شده را از دیگر مناطق متمایز کند.

FPCS (Feature Oriented Principal Components Selection) نامیده می‌شود، پیشنهاد کردند که امروز به نام روش کروس‌تای مشهور است. این روش، یک فن ساده و جدید برای نقشه‌برداری دگرسانیها با استفاده از تصاویر لندست است. در این روش، تنها به اطلاعات مقدماتی درباره خواص طیفی کانیه‌ها و پوشش گیاهی نیاز است و مبتنی بر توانایی تبدیل مؤلفه اصلی در نقشه‌برداری جزئیات واریانس داده‌ها در مؤلفه‌های متوالی است. روش کروس‌تای بر اساس ۶ باند لندست و همچنین ۴ باند انتخاب شده بر اساس ویژگیهای طیفی کانیه‌های دگرسان و پوشش گیاهی استوار است. در حقیقت فن توسعه یافته این روش، بر اساس انتخاب ۴ باند برای PCA است، که در این روش بر پایه بررسی مقادیر ویژه بردار (Eigenvector) مؤلفه اصلی مشخص می‌گردد که کدام یک از مؤلفه‌های اصلی اطلاعات مربوط به نشانه‌های طیفی (Spectral Signature) هدفهای خاص را به طور مستقیم متمرکز می‌کنند. از ویژگیهای مهم این روش این است که پیش‌بینی می‌کند آیا یک هدف در یک تصویر مؤلفه اصلی مربوط به آن، به صورت پیکسل‌های تیره یا روشن مشخص می‌شود. از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و کروس‌تای، به طور گسترده برای آشکارسازی دگرسانیها در ایالتها و کمربندهای فلزآیی استفاده شده است (Tangestani and Moore, 2000; Ruiz-Armenta and Prol-Ledesma, 1998; Bennet et al, 1993 Kaufmann, ; Loughlin, 1991; Crosta and Moore, 1989 ; 1988 ; Abrams et al, 1983).

۴-۱-۱-۲-۱-۱ PCA استاندارد یا روش کروس‌تای روی ۶ باند ETM^+

جدول ۱ نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (ویژه مقدارها و ویژه بردارها) که بر روی ۶ باند خام ETM^+ منطقه مطالعاتی انجام شده را نشان می‌دهد. علامت و مقدار ویژه بردارها نشان می‌دهد که کدام یک از ویژگیهای طیفی سنگها، گیاهان و خاک منطقه، مسئول واریانس آماری نقشه‌برداری شده در هر PC است. اولین مؤلفه اصلی (PC1) دارای وزن مثبتی از همه باندها است و شامل ۹۱ درصد از کل واریانس داده‌های خام ETM^+ منطقه است. روشنایی کلی صحنه یا سپیدایی مسئول همبستگی شدید بین ۶ باند تصویر ETM^+ اولیه است. مؤلفه اصلی دوم نشان می‌دهد که در باندهای مرئی (ETM^+-1 و ETM^+-4) ویژه بردارها دارای علامت منفی و در باندهای فرورسرخ (۷ و ETM^+-5) دارای علامت مثبت هستند. در حقیقت PC2 نشان دهنده اختلاف میان باندهای مرئی و فرورسرخ میانی است. بنابراین انتظار می‌رود موادی با بیشترین بازتاب طیفی در ناحیه طیفی مرئی، به صورت پیکسل‌های تیره و موادی با بیشترین بازتاب طیفی در ناحیه فرو سرخ میانی، با پیکسل‌های روشن ظاهر شوند. در PC3 بالاترین مقدار ویژه بردار مربوط به باند ۴ است ($0/84$) و بنابراین در مؤلفه اصلی سوم، پوشش گیاهی چیره است. سهم PC3 از واریانس کلی تصویر ۱/۵۴ درصد است

۴-۲-۱-۲-۴-۲-۴ PCA انتخابی روی ۴ باند ETM^+ - نقشه‌برداری

هیدروکسیل

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی شامل باندهای ۱، ۴، ۵ و ETM^+ ۷ در جدول ۳ نشان داده شده است. باندها بر اساس ویژگیهای طیفی کانیهای هیدروکسیلی انتخاب شده‌اند و باندهای ۲ و ETM^+ ۳ به منظور جلوگیری از نقشه‌برداری اکسیدهای آهن حذف شده‌اند.

مشابه با روندی که در نقشه‌برداری اکسید آهن گفته شد، $PC1$ معرف سیدایی و توپوگرافی تصویر، $PC2$ نشان‌دهنده تفاوت طیفی بین ناحیه فرورسرخ و مرئی و $PC3$ با توجه به بارگذاری بالای باند ۴ پوشش گیاهی را مشخص می‌کند. بار ویژه بردارها برای $PC4$ نشان‌دهنده یک بارگذاری منفی بالا برای ETM^+ 5 (-۰/۶۷) و یک بارگذاری مثبت بالا برای ETM^+ 7 (۰/۷۰) است. بنابراین در تصویر $PC4$ نواحی دارای هیدروکسیل به صورت پیکسلهای تیره ظاهر می‌شوند. در تصویر $PC4$ - $PC4$ (معکوس) مناطقی که تمرکز هیدروکسیل در آنها بالاست، به صورت کاملاً روشن بارزسازی می‌شوند. این تصویر را می‌توان تصویر هیدروکسیل یا تصویر H نامید.

تصاویر H و F شامل مناطقی است که با اکسید آهن و یا هیدروکسیل حضور دارند که به هر حال، بعضی دگرسانیهای دروغین ممکن است به علت حضور یکی از این دو گروه کانی در مناطقی که دگرسانی گرمایی وجود ندارد، دیده شود. راه بهتر برای شناخت دقیق‌تر سنگهای دگرسان شده، پیدا کردن مناطقی است که هر دو نوع کانی هیدروکسیلی و اکسیدی را شامل می‌شوند که برای این منظور با اضافه کردن تصاویر هیدروکسیل (H) و اکسید آهن (F) تصویر جدیدی به دست می‌آید ($H+F$) که در آن پیکسلهای معرف تمرکز بالای هیدروکسیل‌ها و اکسیدهای آهن، روشن‌ترین پیکسلها هستند. ترکیب‌های متفاوتی از تصاویرهای PCA انتخابی امکان‌پذیر است که ترکیب تصاویر H، $H+F$ و F در رنگهای سرخ، سبز و آبی یکی از آنهاست، که پیشنهاد شده است (Loughlin, 1991). نتیجه این ادغام، معمولاً یک تصویر آبی تیره است (شکل ۹) که در آن، مناطق دگرسان شده، به صورت پیکسلهای روشن نمود پیدا می‌کنند. پیکسلهای روشن، معرف مناطقی هستند که هم دگرسانی سریستی و هم آرژیلیک، یا به طور کلی هم هیدروکسیل و هم اکسید آهن وجود دارد. برای مثال، این مناطق در محل کانسارهای دره‌زار، سرچشمه، کوه‌پنج، حسین آباد و سرکوه به خوبی دیده می‌شوند. رنگهای زرد و نارنجی بیشتر در مناطقی دیده می‌شوند، که هیدروکسیل‌ها نسبت به اکسید آهن تمرکز بالاتری دارند. مثلاً به صورت هاله‌ای در اطراف توده نفوذی کوه‌پنج و توده نفوذی ده‌سیاهان و همچنین در آواریه‌های اطراف کانسار دره‌زار در جنوب و جنوب‌خاور این کانسار دیده می‌شوند. مناطقی

۴-۲-۱-۲-۴-۲-۴ PCA انتخابی یا روش کروسا روی ۴ باند ETM^+

در استفاده از باندهای طیفی مختلف، گاهی فقط به اطلاعات خاصی از بعضی باندهای طیفی احتیاج است و نیاز به تحلیل تمام باندها نیست. PCA انتخابی به همین منظور استفاده می‌شود، یعنی در حین کاهش ابعاد داده‌های ورودی، امکان از دست رفتن اطلاعات مفید به حداقل می‌رسد و برای نقشه‌برداری تفاوت‌های طیفی گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع، اگر تعداد باندهای ورودی کاهش یابد، احتمال تعیین یک PC مشخص برای رده کانی خاص افزایش پیدا می‌کند (Loughlin, 1991). در PCA انتخابی معمولاً از ماتریس همبستگی برای انتخاب باندها استفاده می‌شود. باندهای دارای همبستگی پایین تا متوسط برای نقشه‌برداری تمایز طیفی، و باندهای با همبستگی بالا برای کاهش ابعاد داده به کار برده می‌شوند (Chaves and Yaw Kwarteng, 1989). انتخاب ۴ باند به عنوان ورودی PCA بر پایه طیف آزمایشگاهی کانیهای مرتبط با دگرسانی گرمایی است. برای نقشه‌برداری اکسید آهن از باندهای ۱، ۳ و ۵ ETM^+ و همچنین از باند ۴ که معرف پوشش گیاهی است و برای تحلیل و نقشه‌برداری هیدروکسیل‌ها، از باندهای ۱، ۴، ۵ و ETM^+ ۷ استفاده می‌شود.

۴-۲-۱-۲-۴-۱-۲-۴-۲-۴ PCA انتخابی روی ۴ باند ETM^+ - نقشه‌برداری

اکسید آهن

تبدیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه‌برداری اکسید آهن بر روی داده‌های خام ETM^+ 1، ETM^+ 3، ETM^+ 4، ETM^+ 5 در جدول ۲ درج شده است. حذف باند ۷ به منظور جلوگیری از نقشه‌برداری هیدروکسیل صورت گرفته است. مؤلفه اصلی اول ۹۰/۷۲ درصد از کل مقدار واریانس داده‌های ورودی را شامل می‌شود. با همان فرایند منطقی که در حالت شش باندی گفته شد، $PC1$ شامل داده‌های توپوگرافی و سیدایی منطقه است. $PC2$ اختلاف بین باندهای مرئی و فرورسرخ را نشان می‌دهد. در $PC3$ باند ۴ دارای بیشترین بارگذاری با علامت مثبت و بنابراین معرف پوشش گیاهی منطقه است. ویژه مقادیرهای $PC4$ بارگذاری پایینی را برای باندهای ETM^+ 4 و ETM^+ 5 (-۰/۳۶ و -۰/۰۵) در مقایسه با باندهای ETM^+ 1 و ETM^+ 3 (۰/۶۵ و -۰/۶۷) ارائه می‌دهد. افزون بر این، با توجه به علامت مخالف باندهای ۱ و ۳، و با توجه به خصوصیات طیفی اکسید آهن در تصویر $PC4$ منطقه مطالعاتی، نواحی دارای اکسید آهن به صورت پیکسلهای تیره ظاهر می‌شوند. بنابراین، چنانچه تصویر $PC4$ - $PC4$ (معکوس) ساخته شود، اکسید آهن نسبت به سنگهای اطراف به صورت پیکسلهای روشن در تصویر نمود پیدا می‌کند این تصویر را اصطلاحاً می‌توان تصویر اکسید آهن (تصویر F) نامید.

عضو نباشد $\mu_A(X) = 0$ می‌شود. پس مجموعه‌های معمولی و توابع نشانگر آنها، حالت‌های خاصی از مجموعه‌های فازی و توابع عضویت آنها هستند. زمانی که اصول طبقه‌بندی فازی توسط (Bezdek (1981 و Keller et al. (1985 ارائه شد تصور نمی‌شد که نظریه مجموعه فازی بتواند به طور گسترده برای ترکیب داده‌های مختلف استفاده شود. امروزه از نظریه فازی برای ادغام داده‌های سنسجش از دور با دیگر داده‌ها استفاده می‌شود، به گونه‌ای که (Zimmermann (1991 درباره قوانین گوناگون ترکیب در این مورد بحث مفصلی دارد. (Moon et al. (1991 برای ادغام داده‌های زمین فیزیک، زمین‌شناسی و دورسنجی از عملگر حاصلضرب جبری فازی و عملگر گاما استفاده کردند، (An et (1991 نیز از پنج عملگر شامل عملگر فازی AND، عملگر فازی OR، حاصلضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و عملگر گامای فازی برای ترکیب مجموعه داده‌های اکتشافی استفاده کردند. (Ranjbar and Honarmand (2004 از روش رده بندی فازی برای ادغام داده‌های زمین فیزیک هوایی و ETM^+ استفاده کردند. از روش رده بندی فازی برای ترکیب و تحلیل داده های ASTER و زمین فیزیک هوایی استفاده شده است (Ranjbar et al., 2004).

۴-۳-۱- رده بندی فازی (Fuzzy Classification)

در مطالعه حاضر، برای ترکیب و تحلیل داده‌های ETM^+ از روش رده بندی نظارت شده فازی استفاده می‌شود. (Wang (1990 اصول استفاده از منطق فازی را برای رده بندی نظارت شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای به تفصیل توضیح داد. در اینجا رده بندی فازی توسط نرم افزار IDRISI انجام می‌شود.

در رده بندی نظارت شده مرسوم در سنسجش از دور، واحدهای کنترلی و نتایج رده بندی نشان دهنده یک روش "یک پیکسل یک رده (one-pixel-one-class) هستند. در حقیقت یک پیکسل فقط به یک رده می‌تواند تعلق داشته باشد. رده مخلوط نمی‌تواند به عنوان منطقه کنترلی یا یک رده فرض شود و میزان عضویت (Membership) در پیکسلها مشخص نیست. مثلاً اگر در منطقه‌ای سنگها کاملاً دگرسان باشند و در نزدیکی آنها سنگهای غیردگرسان واقع باشند و در بین آنها سنگهایی باشد که کمی دگرسانی نشان می‌دهند؛ این گروه سوم می‌تواند جزو سنگهای دگرسان یا نادگرسان تقسیم بندی شود. در مورد پوشش گیاهی و خاک هم این مسئله صادق است. اگر در منطقه‌ای پوشش گیاهی به صورت پراکنده باشد، این ناحیه می‌تواند جزو پوشش گیاهی و یا خاک تقسیم بندی شود و هیچ ملاک خاصی برای تشخیص این دو نوع پوشش وجود ندارد. در بسیاری مناطق، سنگهای دگرسان و رسوبات در یک رده

که اکسید آهن نسبت به هیدروکسیل گسترش بیشتری دارد، مانند توده مزار در جنوب باختر سرچشمه و بر روی کانسارهای بندباغ و آب تلخون، همچین روی اندیسه‌های سرباغ و امیرآباد در غرب ده سیاهان و بر روی خود کانسار ده سیاهان و در شمال کوه پنج با رنگ آبی روشن تا تن های تیره تر ظاهر می‌شود. یکی از ویژگیهای منحصر به فرد این تصویر نسبت به روش ۶ باندی این است که پوشش گیاهی در این تصویر بارز شدگی ندارد.

۴-۳-۲- نظریه مجموعه‌های فازی (Fuzzy Set Theory)

نظریه مجموعه‌های فازی اولین بار توسط پروفیسور عسکرزاده (۱۹۶۵) عرضه شد، این نظریه از زمان ارائه آن تاکنون، گسترش و بسط زیادی یافته و کاربردهای گوناگونی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده است. به طور خلاصه، نظریه مجموعه‌های فازی فرضیه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند (چنانچه در عالم واقع اکثراً چنین است) صورت بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. به طور خلاصه، در مورد مفهوم نظری مجموعه‌های فازی باید گفت که اگر X یک مجموعه مرجع دلخواه باشد، تابع نشانگر هر زیرمجموعه معمولی A از X ، یک تابع از X متعلق به مجموعه $\{0, 1\}$ است که این گونه تعریف می‌شود:

$$XA(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases}$$

حال اگر برد تابع نشانگر از مجموعه دو عضوی $\{0, 1\}$ به بازه $[0, 1]$ توسعه داده شود، یک تابع به وجود می‌آید که به هر x از X ، عددی را به بازه $[0, 1]$ نسبت می‌دهد، این تابع را تابع عضویت (Membership Function) A می‌نامند. اکنون A دیگر یک مجموعه معمولی نیست، بلکه به آن مجموعه فازی می‌گویند (به طور دقیق‌تر، زیرمجموعه فازی از X). بنابراین، یک مجموعه فازی A ، مجموعه‌ای است که درجات عضویت اعضای آن می‌تواند به طور پیوسته از بازه $[0, 1]$ اختیار شود. این مجموعه به طور کامل و یکتا، توسط یک تابع عضویت که آن را با $\mu_A(x)$ نشان می‌دهند مشخص می‌شود؛ تابعی که به هر عنصر از X ، یک عدد، از بازه $[0, 1]$ به عنوان درجه عضویت آن عنصر در مجموعه فازی A نسبت می‌دهد. نزدیکی مقدار $\mu_A(x)$ به عدد یک، نشان دهنده تعلق بیشتر به مجموعه فازی A و بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان دهنده تعلق کمتر به A است. در حقیقت $\mu_A(x)$ را می‌توان درجه پذیرش در قبول x به عنوان عنصری از A در نظر گرفت. در حالت حدی، چنانچه x کاملاً در A عضو باشد $\mu_A(x) = 1$ و چنانچه اصلاً در A

بیشتری به دسته نادگرسان داشته باشد، تاریک‌تر نمود پیدا می‌کند. اگر پیکسلی صددرصد دگرسان باشد، کاملاً روشن و اگر صددرصد نادگرسان باشد کاملاً تیره به نظر می‌رسد.

زمانی که از باندهای خام ETM^+ منطقه مطالعاتی برای رده‌بندی استفاده شود، واحدهای دگرسان شده به خوبی جدا نمی‌شوند و در بسیاری نواحی رسوبات نیز به صورت واحدهای دگرسانی نمود پیدا می‌کنند. به همین منظور، برای جداسازی هر چه دقیق‌تر دگرسانیها، تصاویر پردازش شده ETM^+ حاصل از روش کروسا، یعنی تصاویر هیدروکسیل، اکسید آهن و هیدروکسیل + اکسید آهن، انتخاب شده و مناطق آموزشی بر روی واحدهای دگرسان شده و نادگرسان انتخاب گردید و سپس رده بندی فازی بر روی آنها انجام گرفت.

شکل ۱۰ تصویر نهایی حاصل از این روش است که مناطق دگرسان شده را با پیکسلهای روشن نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌شود در این تصویر کلیه مناطق دگرسانی مثلاً بر روی کانسارهای سرچشمه، دره زار، حسین آباد، سرکوه، نوچون، کوه پنچ و ده سیاهان نسبت به رسوبات، پوشش گیاهی و واحدهای غیر دگرسان کاملاً تفکیک شده‌اند. پوشش گیاهی در این تصویر به هیچ وجه بارز شدگی نشان نمی‌دهد. این روش یکی از بهترین و کاربردی‌ترین روشهای پردازش تصویر است که می‌تواند برای جداسازی مناطق دگرسانی استفاده شود.

۴-۴- تحلیل خطواره‌ها

معمولاً خطواره‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای، به آسانی قابل تشخیص نیستند. برخی از آنها، با توجه به شرایط نوردهی و وجود پوشش گیاهی و امتداد آبراه‌ها در مسیر این خطواره‌ها، راحت‌تر قابل تشخیص هستند، ولی برخی دیگر از این عوارض را باید با روشهای پردازش تصویر، واضح ساخت. برای واضح سازی این خطواره‌ها از فیلترهای مخصوصی استفاده می‌شود. معمولاً خطواره‌های تصویر به دو روش واضح‌تر می‌شوند. روش اول افزایش پهنای خطواره‌ها و روش دیگر افزایش اختلاف ارزش رقومی پیکسلها در امتداد پهنای خطواره است.

برای بارزسازی خطواره‌ها از دو گروه فیلتر رقومی یعنی فیلترهای بدون جهت و فیلترهای جهت‌دار استفاده می‌شود. فیلترهای جهت‌دار برای بارزسازی خطواره‌هایی که دارای روند خاصی هستند استفاده می‌شوند و کاربرد آنها بیشتر در بررسی خطواره‌های زمین‌شناسی است. عددهای موجود در کرنل به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که خطواره‌ها را در جهت خاصی واضح‌تر سازند. در زیر فیلترهای جهت‌داری که در منطقه مطالعاتی برای بارزسازی خطواره‌ها استفاده شده به نقل از (Sabins, 1997) آمده است:

قرار می‌گیرند. همچنین، چون بیشتر سطح سنگها از خاک و گیاهان پوشیده شده و در واقع سطح سنگ معرف واقعی خود سنگ نیست، مثلاً هوازدگی ترکیب سطح سنگ را تغییر داده و در نتیجه اثر بازتابی سطح آن که به سنجنده می‌رسد، مربوط به کانی‌های ثانویه است، و یا ممکن است این اثر شبیه اثر بازتابی بعضی رسوبات در منطقه باشد.

در حقیقت در روشهای کلاسیک رده بندی مرزهای مناطق آموزشی به صورت ناگهانی تغییر می‌کند و به صورت تدریجی نیست. این محدودیتهای آشکار باعث کاهش ارزش رده بندی سطوح و استخراج اطلاعات ضعیفی می‌شود و ممکن است اطلاعات با ارزشی از بین برود. این مشکل، بیشتر به خاطر مفهوم عضویت در نظریه مجموعه‌های کلاسیک است که بر اساس آن یک مجموعه مرزهایی دارد و هر عضو می‌تواند به طور کامل عضو این مجموعه باشد یا نباشد. نظریه مجموعه‌های فازی که به منظور از بین بردن ابهام در داده‌ها به کار می‌رود، یک مفهوم جدیدی است که بر اساس آن عضویت جزئی (Partial membership) اجازه می‌دهد که اطلاعات در موقعیت‌های پیچیده‌تر مثلاً پوششهای مخلوط یا شرایط حدواسط بهتر نمایش داده شده و به کار روند.

اگرچه تحلیل تصاویر سنجش از دور با استفاده از مجموعه‌های فازی دشوار مشکل است، اما با توجه به اینکه در داده‌های سنجش از دور، اغلب تعیین مرز بین دو رده مختلف آسان نیست، می‌توان از نظریه، مجموعه‌های فازی به صورت کیفی به خوبی استفاده کرد. همان طور که گفته شد در این نظریه، رتبه عضویت می‌تواند مقداری بین ۰ و ۱ در نظر گرفته شود، در صورتی که در حالت عادی عضویت نظریه مجموعه‌ها، رتبه عضویت فقط ۰ یا ۱ اختیار می‌شود.

برای انجام این رده بندی، انتخاب مناطق آموزشی لازم است. بر خلاف روشهای معمول رده بندی که هر کدام از مناطق آموزشی حاوی موادی هستند که در نوع خود خالص است و هیچ گونه تغییرات تدریجی در آنها وجود ندارد، و با توجه به این نکته که در زمین‌شناسی چنین مناطقی به ندرت یافت می‌شوند، روش رده بندی فازی می‌تواند برای جداسازی طبقات مخلوط زمین‌شناسی مناسب باشد. در این روش رده بندی، مرز گروههای دگرسان شده و یا دگرسان نشده دارای ارزش پیکسلی مشخصی است.

برای مثال، اگر ۷۰ درصد از یک پیکسل از سنگهای دگرسان شده و ۳۰ درصد بقیه از سنگهای نادگرسان پوشیده شده باشد، در این صورت این پیکسلها دارای احتمال فازی ۷۰ درصد به سنگ دگرسان شده و ۳۰ درصد به سنگ غیر دگرسان می‌باشند. بنابراین، پیکسلی که دارای تعلق بیشتری به دسته دگرسان شده باشد روشن‌تر و در کنار آن پیکسلی که تعلق

شکستگی‌ها می‌تواند به خاطر وجود ارتباط ژنتیکی با کانسارهای مس پورفیری در منطقه با اهمیت باشند.

ضریب خطوارگی تصویری (Photolineament Factor) یا PF روش دیگری است که برای تحلیل خطواره‌ها استفاده می‌شود. این روش، اغلب برای اکتشاف آبهای زیرزمینی و ذخایر معدنی در سنگهای خردشده به کار می‌رود. خطواره‌ها مربوط به مناطقی هستند که سنگ بستر ممکن است شکستگی‌های زیادی داشته باشد این شکستگی‌ها توانایی ذخیره‌سازی و انتقال حجمهای زیادی از آبهای زیرزمینی و سیالهای گرمابی را دارند. محاسبه ضریب خطوارگی و مطالعه توزیع مکانی خطواره‌ها می‌تواند در اکتشاف کانسارها و تعیین مناطق با پتانسیل کانی‌سازی و همچنین اکتشاف مناطق ذخیره و انتقال آب استفاده شود. استفاده از پارامترهایی مانند تعداد، طول، تعداد تقاطع و تعداد دسته‌جهت‌های خطواره‌ها یکی از روشهای تحلیل و مطالعه آنهاست. (1995) Hardcastle برای محاسبه ضریب خطوارگی در تصاویر ماهواره‌ای یا عکسهای هوایی رابطه زیر را پیشنهاد کرد:

$$PF = (a/A) + (b/B) + (c/C) + (d/D)$$

برای تحلیل خطواره‌ها یک شبکه سلولی مناسب با ابعاد 2×2 کیلومتر برای منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد و روی نقشه خطوارگی منطقه پیاده گردید و پارامترهای فرمول بالا در هر سلول به طور مجزا استخراج شدند. در این رابطه a تعداد خطواره‌ها در هر سلول و A میانگین آنها در کل نقشه، b طول خطواره‌ها در هر سلول و B میانگین آنها در هر نقشه، c تعداد تقاطع خطواره‌ها در هر سلول و C میانگین آنها در نقشه و بالأخره d تعداد دسته‌جهت‌ها در هر سلول و D میانگین دسته‌جهت‌ها در نقشه است. با استفاده از مقادیر به دست آمده از رابطه فوق، نقشه کنتوری خطوارگی منطقه با استفاده از نرم‌افزار SURFER تهیه شد (شکل ۱۳). با مطالعه این نقشه مشخص گردید نواحی که در آنها کانسارسازی شده و همچنین مناطق با سنگ‌های دگرسان شده شدید (مثلاً در توده نفوذی ممزار و کانسارهای حسین آباد، سرکوه، نوچون، ده‌سیاهان، کوه‌پنج، آب‌تلخون و بندباغ) ارتباط زیادی با مقادیر بالای ضریب خطوارگی دارند. یکی از نکات قابل توجه در این تصویر، این است که در محل کانسارهای رگه‌ای مانند آب‌تلخون و رگه‌ای - پورفیری مانند کانسار ده‌سیاهان که دگرسانی سطحی به نسبت ضعیف می‌باشد و با روشهای پردازش قبلی نمی‌شد این مناطق را به خوبی شناسایی کرد، در این تصویر این مناطق نسبت به سنگهای اطراف به خوبی تفکیک شده و قابل شناسایی هستند.

۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

بسیاری از کانسارهای مس دارای دگرسانی سطحی گسترده‌ای هستند که هم در توده نفوذی کانسار ساز و هم در سنگهای اطراف دیده می‌شود.

۰	۰	-۲
۰	۴	۰
۰	۰	-۲
حاشیه‌ها را در جهت شمال باختر - جنوب خاور واضح می‌سازد.		

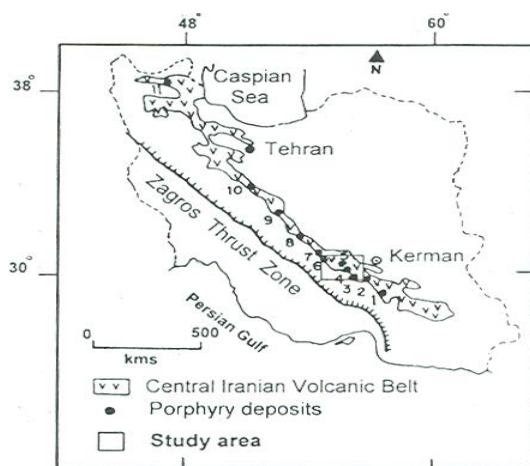
۰	۰	-۲
۰	۴	۰
۰	۰	-۲
حاشیه‌ها را در جهت شمال خاور - جنوب باختر واضح می‌سازد.		

۰	-۲	۰
۰	۴	۰
۰	-۲	۰
حاشیه‌ها را در جهت خاوری - باختری واضح می‌سازد.		

برای بارزسازی خطواره‌ها در تصویر منطقه از باند تمام رنگ ETM^+ با قدرت تفکیک ۱۵ متر استفاده شد. همان گونه که (1992) Wester پیشنهاد داده است، سه تصویر فیلتر شده (با استفاده از فیلترهای جهت‌داری که در بالا گفته شد) به روش تبدیل IHS با یکدیگر ترکیب شده و تصویر حاصل به سیستم RGB انتقال پیدا کرد. سپس روی تصویر کشیدگی تمایز انجام گرفت. به این ترتیب در تصویر حاصله خطواره‌ها در جهت‌های شمال‌باختری - جنوب‌خاوری، شمال‌خاوری - جنوب‌باختری و خاور - باختر واضح تر شدند. خطواره‌ها با استفاده از این تصویر بر روی کل منطقه رسم شدند (شکل ۱۱). همچنین برای رسم خطواره‌ها از نشانه‌هایی مانند مسیر آبراه‌ها و انحراف در مسیر آنها، ردیف شدگی پوشش گیاهی و تغییرات تن به صورت خطی و با کمک تصویر رنگی ۷-۴-۲ فیلتر شده و تصویر باند ETM^+ ۸ که فیلتر بالاگذر بر آن اعمال شده استفاده شده است. اکنون می‌توان با استفاده از این تصویر به تحلیل خطواره‌ها و رسم نمودار گل‌سرخی پرداخت. نمودار گل‌سرخی خطواره‌ها براساس روش پیشنهادی (1994) Robson رسم شده است (شکل ۱۲). امتدادهای خطواره‌ها نیز در نمودار گل‌سرخی مشخص شده است. گروه اصلی خطواره‌ها دارای روند شمال‌شمال‌خاوری - جنوب‌جنوب‌باختری و به طرف شمال‌خاور - جنوب‌باختر هستند. سنگهای نفوذی مثلاً در مناطق کوه‌پنج، کوه‌ممزار، بندباغ، آب‌تلخون و ده‌سیاهان در مقایسه با سنگهای آتشفشانی شکستگی‌های بیشتری دارند، که این

با استفاده از ۶ باند و ۴ باند ETM⁺ ابزاری قوی برای شناسایی زونهای دگرسانی و کاهش اثرات طیفی پوشش گیاهی است. رده بندی فازی با استفاده از تصاویر پردازش شده حاصل از روش کروسا روش موفق دیگری برای تفکیک هرچه دقیق‌تر زونهای دگرسان شده است. در این روش، اثرات پوشش گیاهی به طور کلی حذف شده و امکان تفکیک طبقات مخلوط و رده بندی زونهای دگرسان به ترتیب شدت دگرسانی وجود دارد. رسم نقشه خطوارگی با استفاده از تصویر فیلتر شده باند ETM⁺8 و تحلیل این خطواره‌ها روش کاربردی دیگری برای مطالعه ارتباط بین زونهای دگرسان و مناطق کانسارسازی شده با مقادیر بالای شکستگی‌های محلی و خطواره‌هاست. همچنین در محل کانسارهای رگه‌ای که دگرسانی سطحی کمتر قابل شناسایی است، این روش می‌تواند برای اکتشاف آنها کاربرد داشته باشد.

همچنین معمولاً در محلی که این کانسارها تشکیل می‌شوند سنگهای خرد شده و شکستگی‌های محلی وجود دارند که انتقال دهنده سیال‌های گرمایی کانسارسازی می‌باشند. کانیهای آبدار گروه هیدروکسیل و آلونیت از مهم‌ترین کانیهایی هستند که معمولاً در مناطق دگرسانی گرمایی حضور دارند. اکسید آهن نیز در این مناطق، بیشتر همراه با کانیهای رسی یافت می‌شود. سنجنده نقشه برداری موضوعی پیشرفته با دارا بودن ۶ باند در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک و میانی طیف الکترومغناطیسی توانایی نقشه برداری از این گروه کانیها را دارد. از باند تمام رنگ ETM⁺ می‌توان به خوبی برای مطالعه خطواره‌ها و ساختارهای محلی کنترل کننده ذخایر مس بهره گرفت. روش نسبت گیری باندی و ساخت تصاویر رنگی نسبت یکی از روشهای پردازش تصویر برای بارزسازی دگرسانی گرمایی است. روش تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه‌های اصلی و یا روش کروسا



شکل ۱- نقشه موقعیت کمربند آتشفشانی- رسوبی ایران مرکزی و کانسارهای مس پورفیری موجود در آن که به موازات راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته است (Shahabpur, 1994). ۱- بحرآسمان
۲- تخت ۳- کوه پنج ۴- دره زار ۵- سرچشمه ۶- میدوک
۷- گود کولواری ۸- دره زرشک ۹- جنوب اردستان
۱۰- شریف آباد ۱۱- سونگون

شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی (اقتباس با تغییرات از نقشه

۱:۵۰۰۰۰۰ کرمان، دیمیتریزویچ، ۱۹۷۳).

۱= رسوبات کواترنر (پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها)؛ ۲= رسوبات نئوژن

(ماسه‌سنگ سخت نشده، رس همراه با کنگلومرا)؛ ۳= داسیت؛

۴= ماسه‌سنگ و کنگلومرای سخت نشده (سازند سرخ بالایی، نئوژن)؛

۵= کنگلومرا؛ ۶= نفوذیهای تیب جبال‌بارز (گرانودیوریت، بعد از میوسن)؛

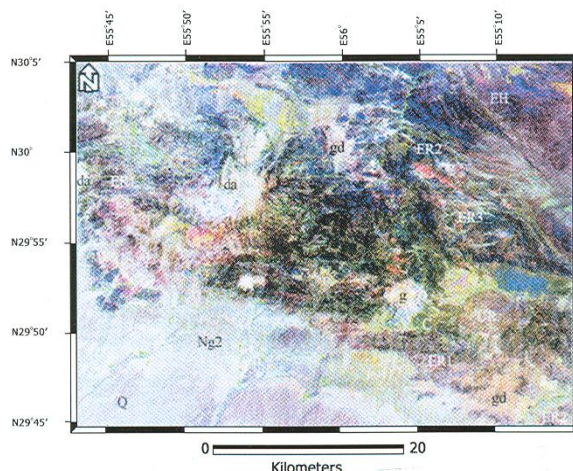
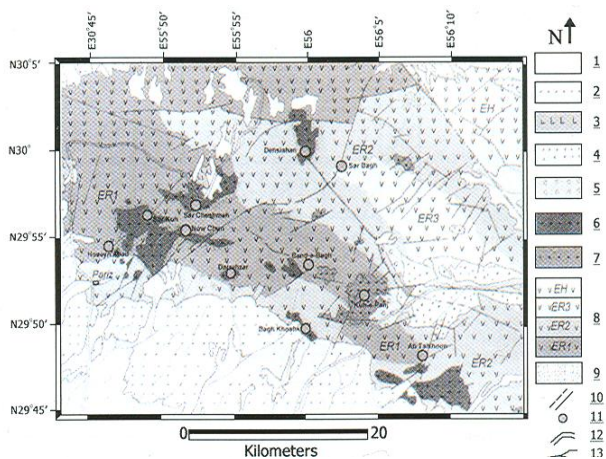
۷= نفوذیهای نیمه‌عمیق تیب کوه‌پنج (گرانیت- گرانودیوریت، پس از الیگوسن)

۸= سنگهای آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت و

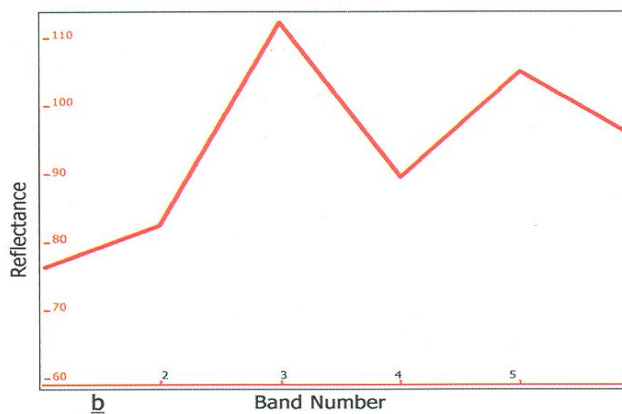
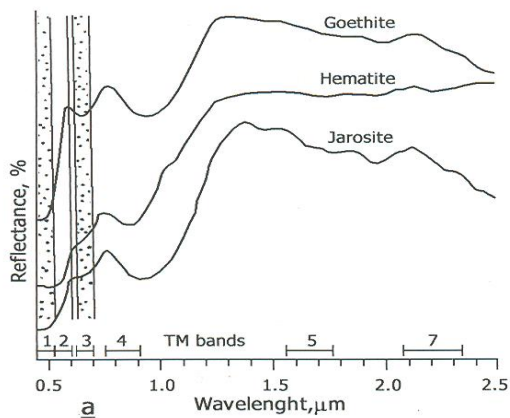
تراکی آندزیت (EH= کمپلکس هزار، ER3= زیر کمپلکس رازک بالایی،

ER2= زیر کمپلکس رازک میانی، ER1= زیر کمپلکس رازک پایینی)؛

۹= دگرسانی گرمایی؛ ۱۰= گسل؛ ۱۱= کانسار؛ ۱۲= جاده؛ ۱۳= آبراهه.



شکل ۳- تصویر رنگی کاذب ۷-۴-۲ در رنگهای سرخ، سبز و آبی که بر روی آن واحدهای زمین‌شناسی مشخص شده‌اند.



شکل ۴- a- طیف بازتاب آزمایشگاهی کانیهای گروه اکسید آهن (Sabins, 1997). b- منحنی بازتاب کانیهای گروه اکسید آهن در منطقه

معدنی ده‌سیاهان، به بازتاب بیشینه در باند ۳ و بازتاب کمینه در باند ۱ توجه شود.

جدول ۱- تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی شش باند ETM⁺ منطقه مطالعاتی.

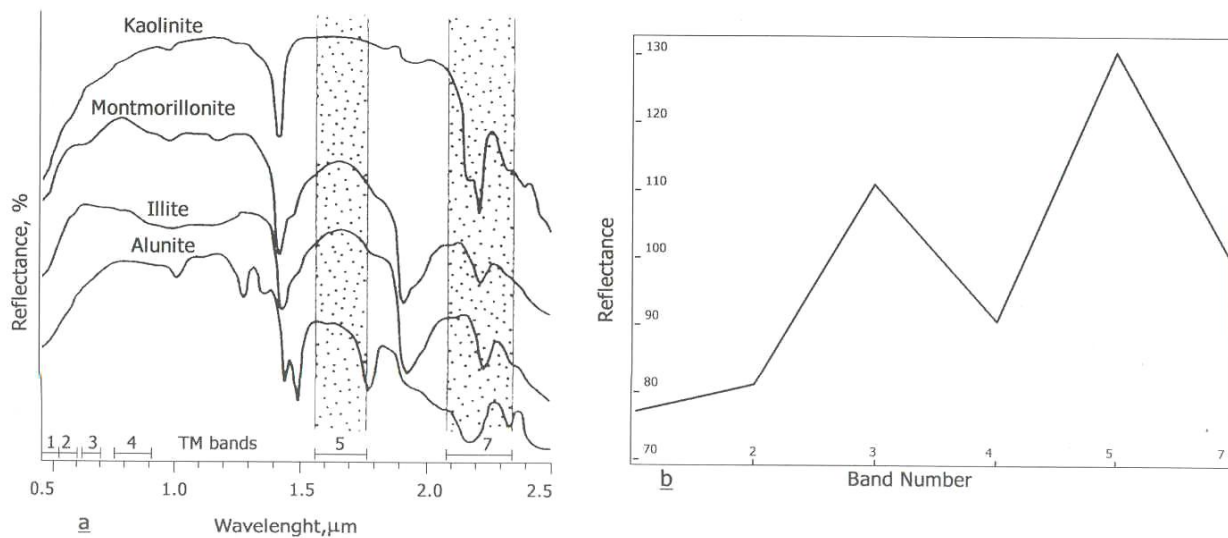
باندهای وردی	PC1	PC2	PC3	P C4	P C5	P C6
ETM ⁺ -1	۰/۲۲	-۰/۵۱	-۰/۳۲	/۳۲ -۰	/۴۴ -۰	/۵۳ -۰
ETM ⁺ -2	۰/۳۱	/۴۰۱۱ -۰	-۰/۱۷	/۳۱ -۰	/۰۲ ۰	/۷۸ ۰
ETM ⁺ -3	۰/۴۶	-۰/۴۴	۰/۱۰	/۴۸ ۰	/۵۶ ۰	/۲۱ -۰
ETM ⁺ -4	۰/۳۷	۰/۰۰۱ -	۰/۸۴	/۰۹ -۰	/۳۸ -۰	/۰۱ ۰
ETM ⁺ -5	۰/۵۳	۰/۵۱	-۰/۱۲	/۵۲ -۰	/۳۷ ۰	/۱۹ -۰
ETM ⁺ -7	۰/۴۷	۰/۳۵	-۰/۳۶	/۵۴ ۰	/۴۶ -۰	/۱۴ ۰
ویژه مقدارها (%)	۹۱	۶/۲۶	۱/۵۴	/۶۳ ۰	/۴۳ ۰	/۱۴ ۰

جدول ۲- تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه‌برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی ETM⁺.

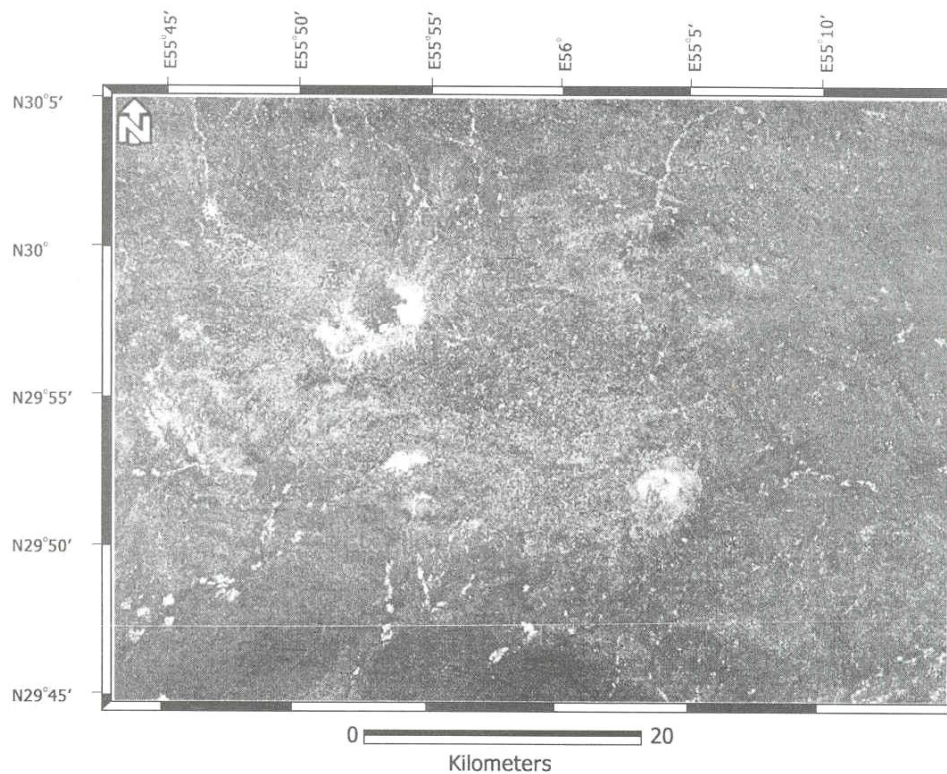
باندهای وردی	PC1	PC2	PC3	PC4
ETM ⁺ -1	۰/۲۷	-۰/۵۸	-۰/۴۰	۰/۶۵
ETM ⁺ -3	۰/۵۶	-۰/۴۹	۰/۰۰۹	-۰/۶۷
ETM ⁺ -4	۰/۴۵	۰/۰۴	۰/۸۱	-۰/۳۶
ETM ⁺ -5	۰/۶۴	۰/۶۴	-۰/۴۱	-۰/۰۵
ویژه مقدارها (%)	۹۰/۷۲	۶/۷۳	۱/۸۴	۰/۷۱

جدول ۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه‌برداری هیدروکسیل بر روی چهار باند انتخابی ETM⁺.

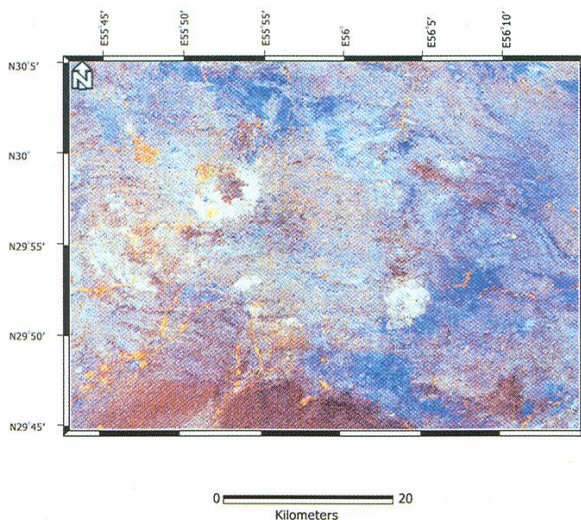
باندهای وردی	PC1	PC2	PC3	PC4
ETM ⁺ -1	۰/۲۵	-۰/۸۷	-۰/۳۹	۰/۱۹
ETM ⁺ -4	۰/۴۴	-۰/۲۹	۰/۸۳	-۰/۱۷
ETM ⁺ -5	۰/۶۵	۰/۳۶	-۰/۰۷	-۰/۶۷
ETM ⁺ -7	۰/۵۷	۰/۱۸	-۰/۳۸	۰/۷۰
ویژه مقدارها (%)	۹۲/۴۸	۴/۶۴	۲/۱۳	۰/۷۵



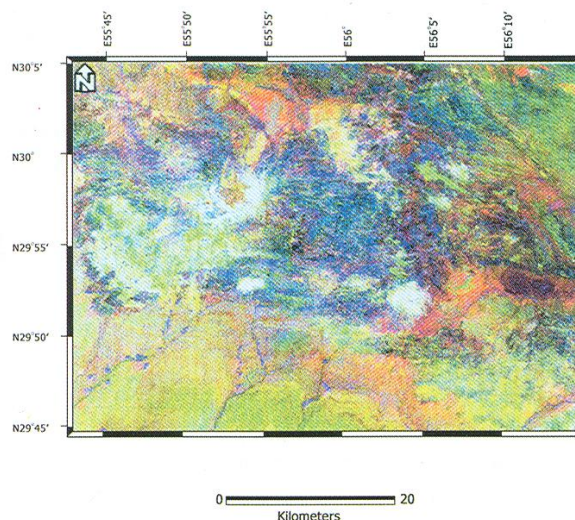
شکل ۵-ا- طیف بازتاب آزمایشگاهی آلونیت، ایلیت، مونت‌موریلونیت و کانولینیت (Sabins, 1997). ب- منحنی بازتاب کانیهای گروه هیدروکسیل در منطقه معدنی دره‌زار، به بازتاب بیشینه در باند ۵ و بازتاب کمینه در باند ۷ توجه شود.



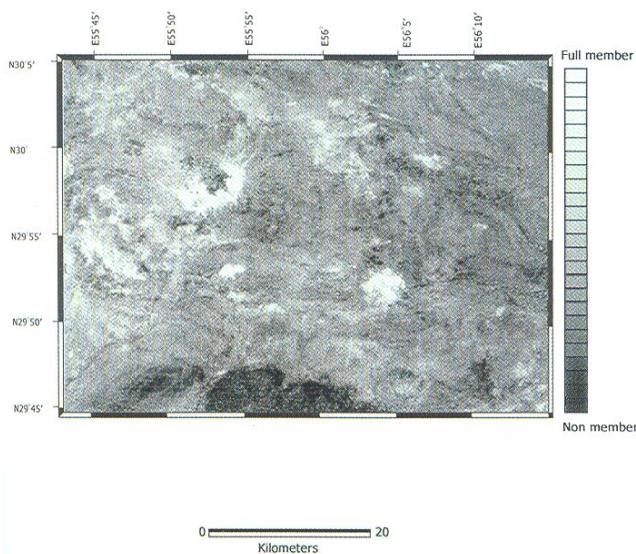
شکل ۶- تصویر نسبت ۵/۷ برای بارزسازی کانیهای رسی.



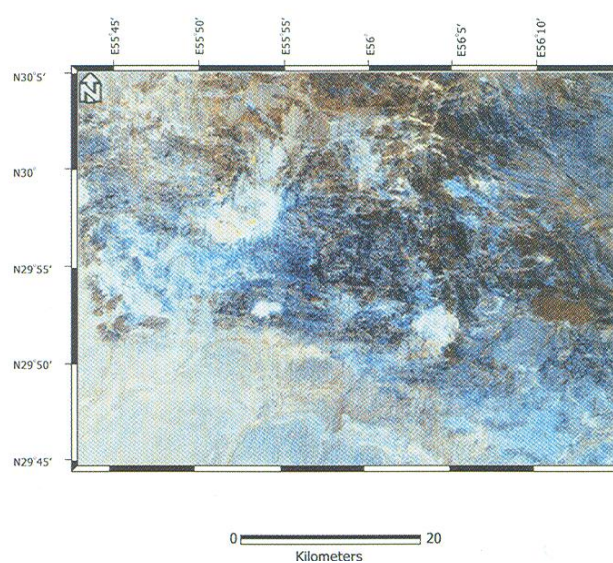
شکل ۸- تصویر نهایی روش کروس‌تای ۶ بانندی حاصل از ترکیب PC4، PC4+PC5 و PC5 در رنگهای سرخ- سبز- آبی برای نقشه‌برداری کلیه مناطق دگرسانی گرمایی.



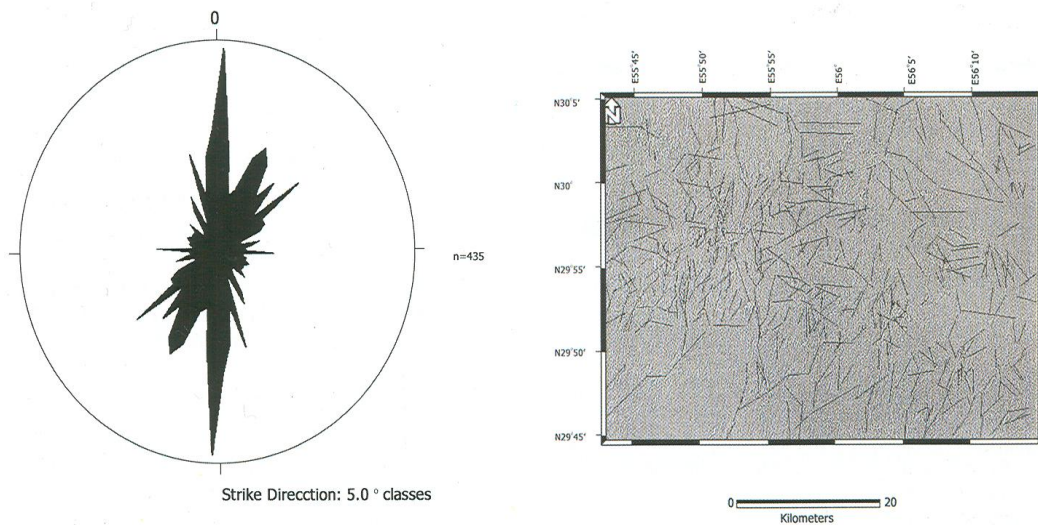
شکل ۷- تصویر ترکیب نسبت‌های ۳/۱- ۵/۴- ۵/۷ در رنگهای سرخ- سبز- آبی برای بارزسازی مناطق دگرسانی گرمایی.



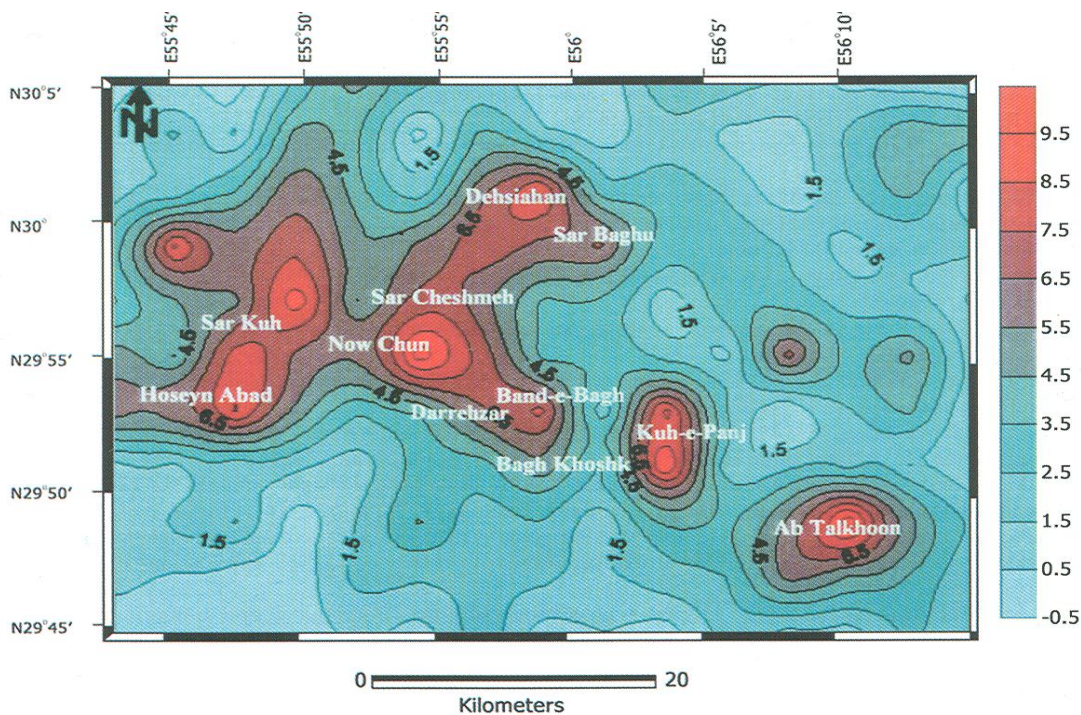
شکل ۱۰- نقشه رده بندی فازی برای جداسازی واحدهای دگرسانی با استفاده از تصاویر پردازش شده ETM⁺ به روش کروس‌تای.



شکل ۹- تصویر نهایی روش کروس‌تای ۴ بانندی حاصل از ترکیب H، H+F و F در رنگهای سرخ- سبز- آبی برای نقشه‌برداری کلیه مناطق دگرسانی گرمایی.



شکل ۱۱- خطواره‌های تفسیر شده از تصویر فیلتر شده منطقه. شکل ۱۲- نمودار گل سرخی که روند چیره خطواره‌های منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- نقشه ضریب خطواری که در آن مناطق کانسار ساز با مقادیر بالای ضریب خطواری مشخص شده‌اند.

کتابنگاری

- مهدی‌زاده تهرانی، س.، فتوتی، و.، نعیمی قصابیان، ن.، ۱۳۷۸- بررسی‌های دورسنجی به منظور ردیابی سیستم‌های مس پورفیری در کمر بند ولکانیکی ارومیه- دختر، مجموعه مقالات هیجدهمین گردهمایی علوم زمین، ص. ۶۰۸-۶۱۷.
- هنرمند، م.، رنجبر، ح.، ۱۳۸۲- مطالعه کانیهای مناطق دگرسانی گرمایی به کمک تصاویر ETM⁺ در منطقه کوه ممزار- کوه پنج در استان کرمان، مجموعه مقالات یازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، یزد، ص. ۸۴-۸۶.

References

- Abrams, M.J., Ashley, R.P., Brown, L.C., Goetz, A.F.H., Kahle, A.B., 1977- Mapping of hydrothermal alteration in the Cuprite mining district, Nevada, using aircraft scanning images for the spectral region 0.46 to 2.36 μm , *Geology*, v. 5, p. 713-718.
- Abrams, M.J., Brown, D., Lepley, L., Sadowski, R., 1983- Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona, *Economic Geology*, v. 78, p.591-604.
- An, P., Moon, W.M. and Rencz, A., 1991- Integration of geological, geophysical, and remote sensing data using fuzzy set theory, *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, v. 27, p. 1-11.
- Bennet, S.A., Atkinson, W.W. and Kruse, F.A., 1993- Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa district, Sonora, Mexico: *International Geology Review*, v. 35, p. 1009-1029.
- Bezdek, J.C., 1981- *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms* (New York: Plenum).
- Chaves, P.S. and Yaw Kwarteng, A., 1989- Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal Component Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 55, p. 339-348.
- Crosta, A.P. and Moore, M.C., 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, *Proceeding of the 7th ERIM thematic conference: remote sensing for exploration geology*, p. 1173-1187.
- Dimitrijevic, M.D., 1973- *Geology of Kerman region*, Geology Survey of Iran, report Yu/52, 334 pp.
- Hardcastle, K.C., 1995- Photolineament Factor: A new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 61, p. 739-747.
- Hauff, P., Bennett, R., Chapman, P., Edmondo, G., Botstad, G., Neville, R., Peppin, W. and Perry, S., 1999- Goldfield, Nevada: An old problem revisited with Hyperspectral Technology, *Proc. of the 13th International Conference. Applied Geologic Remote Sensing. (ERIM, Ann Arbor, 1999)*.
- Hunt, G.R. and Ashley, R.P., 1979- Spectra of altered rocks in the visible and near infrared, *Economic Geology*, v. 74, p. 1613-1629.
- Jensen, J.R., 2000- *Remote sensing of the Environment an earth resource perspective*, Prentice Hall, New Jersey, 544 pp.
- Kaufmann, H.J., 1988- Mineral exploration along the Aqaba-Levant structure by use of TM-data-concepts, processing and results, *International Journal of Remote Sensing*, v. 9, N. 10-11, p. 1639-1658.
- Keller, J.M., Gray, M.R. and Givens, J.A., 1985- A fuzzy K-nearest neighbour algorithm, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-15, 4.
- Loughlin, W.P., 1991- Principal component analysis for alteration mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 57, p. 1163-1169.
- Moon, W.M., Chung, C.F. and An, P., 1991- Representation and integration of geological, geophysical and remote sensing data, *Geoinformatics*, v. 2, p. 177-182.
- Navai, I., Mehdizadeh-Tehrani, S., 1994- Alteration mapping by remote sensing techniques in South Iran, a case study, *proceedings of the 15th Asian Conference on remote sensing, Bangalore, India*. v. 1, p. 1-7.
- Podwysocki, M.H., Segal, D.B. and Abrams, M.J., 1983- Use of multispectral scanner images for assessment of hydrothermal alteration in the Marysvale, Utah mining area, *Economic Geology*, v. 78, p. 675-687.
- Ranjbar, H., 1996- An integrated study of remote sensing, geophysical and geochemical parameters in exploration for copper mineralization in the Pariz area, Kerman Province, Iran, with reference to GIS application. Ph.D thesis (unpublished). University of Delhi, 273pp.
- Ranjbar, H. and Roonwal, G.S., 2002- Digital image processing for lithological and alteration mapping, using SPOT multispectral data. A case study of Pariz area, Kerman Province, Iran, *Remote Sensing for Environmental Monitoring, Proceeding of SPIE*, v. 4545, p. 207-215.
- 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*, v.25, (In press).
- Ranjbar, H., Shahriari, H., Honarmand, M., 2004 - 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. pp. 701-707.
- Robson, R.M., 1994 - A multi-Component rose diagram, *Journal of structural Geology*, v. 16, p. 1039-1040.
- Rowan, L.C., Goetz, A.F.H. and Ashley, R.P., 1979- Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in the

- visible and near infrared: geophysics, v. 42, p. 533-535.
- Ruiz Armenta, J.R. and Prol-Ledesma, R.M., 1998- Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico, *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, p. 1981-2000.
- Sabins, F.F., 1997- *Remote Sensing Principles and interpretation*. Third edition, Freeman and company, New york, 494pp.
- Sabins, F.F., 1999- Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, v. 14, p. 157-183.
- Shahabpour, J., 1994- Post- mineralization breccia dike from the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran, *Exploration and Mining Geology*, v. 3, p. 39-43.
- Srivastav, S.K., Bhattacharya, A., Kamaraju, M.V.V., Sreenivasa Reddy, G., Shrimal, A.K., Mehta, D.S., List, F.K. and Burger, H., 2000- Remote sensing and GIS for locating favourable zones of lead-zinc-copper mineralization in Rajpura-Dariba area, Rajasthan, India, *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, N. 17, p. 3253-3267.
- 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, *Journal of Applied Geosciences*, v. 2, p. 140-146.
- 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.
- Wester, K., 1992- *Spectral signature measurements and image processing for geological remote sensing: PhD Thesis*, Department of Physical Geography, Stockholm University, Stockholm.
- Wayart, P.A.M., Oppenheimer, C. and Francis, P., 2000. Eruptive history of Dubbi volcano, northeast Afar (Eritrea), revealed by optical and SAR image interpretation, *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, P. 911-936.
- Zadeh, L.A., 1965- Fuzzy sets, *IEEE information and control*, v. 8, p.338-353.
- Zimmermann, H.J., 1991. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 399 pp.

*کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

**استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

*Graduate student, Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman.

**Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman