



کاربرد روشهای مختلف پردازش تصویر روی داده های ETM+ به منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه‌ای در منطقه کوه مزار- کوه پنچ 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 انوسن، اصلی‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه را تشکیل می‌دهند که نفوذ توده های الیگومیوسن در آنها، باعث کانسار سازی و دگرسانی گسترده در سطح منطقه شده است. در این تحقیق از روش‌های مختلف پردازش تصویر (نسبت‌گیری باندهای، روش کروستا، رده‌بندی فازی و تحلیل عامل خطوارگی) به منظور شناسایی زونهای دگرسانی مرتبط با کانسارهای مس استفاده شده است. در مطالعه حاضر، روش رده‌بندی نظارت شده فازی با استفاده از تصاویر پردازش شده حاصل از روش کروستا یکی از موفق‌ترین فنون پردازش تصویر برای تفکیک دقیق مناطق دگرسانی گرمابی همراه با کانسارهای مس پورفیری تشخیص داده شد. تحلیل خطواره‌های تفسیرشده از تصویر فیلتر شده باند 8 ETM+، به‌عنوان روش دیگری برای شناسایی کانسارهای مس پورفیری و رگه‌ای پیشنهاد می‌شود. 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 به‌دست آمده از مقاطع نازک و پراش پرتو ایکس نشان داد که داده‌های ETM+ قابلیت نقشه برداری مناطق دگرسان را دارند.

کلید واژه‌ها: 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.





1- مقدمه

روشهای متداول پردازش تصویر، در بارزسازی مناطق دگرسان شده قابل استفاده هستند. یکی از این روشها نسبت‌گیری باندي و تصاویر رنگی نسبت برای بالا بردن پاسخ طیفی کانیاها و کاهش پاسخ پوشش گیاهی است. با وجود موفقیت آمیز بودن این روش برای جداسازی مناطق دگرسانی، به‌خاطر اثر طیفی پوشش گیاهی که شباهت قابل ملاحظه‌ای با بعضی کانیاها دگرسانی دارد، اثر طیفی این گروه از کانیاها کاهش می‌یابد. استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی شیوه‌ای برای کمینه کردن اثر پوشش گیاهی و تکیه بر باندهای طیفی خاص برای بارزسازی کانیاها 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 رده بندی 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 (1994) از تصاویر TM برای مشخص کردن محدوده‌های دگرسانی در منطقه سرچشمه استفاده کردند. مهدی‌زاده تهرانی و همکاران (1378) داده‌های TM و روشهای پردازش نسبت‌گیری باندي و تصاویر رنگی نسبت، PCA و فیلتر تصویر را به منظور شناسایی سامانه‌های پورفیری در کمریند ارومیه- دختر به کار گرفتند. (Ranjbar and Ranjbar, 1996) و (Ranjbar and Roonwal, 2002) داده‌های SPOT منطقه سرچشمه را مورد مطالعه قرار دادند. هنرمند و رنجبر (1382) با استفاده از تصاویر ETM+ به مطالعه کانیاها موجود در مناطق دگرسانی گرمایی در منطقه کوه ممزار- کوه پنج پرداختند.

در این مطالعه، تصاویر ETM+ با شماره گذر 160 و ردیف 39 که توسط ماهواره لندست 7 در تاریخ 2001/6/23 برداشت شده، مورد استفاده قرار گرفته است. مقاله حاضر در حقیقت مروری بر کاربرد سنجش 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 کروستا با استفاده از باندهای انتخابی و رده‌بندی فازی با استفاده از تصاویر به‌دست آمده از روش کروستا برای بارزسازی هر چه دقیق‌تر مناطق دگرسانی در کانسارهای مس

داده‌های سنجش از دور، توان زیادی برای شناخت نواحی دگرسان شده مربوط به توده‌های کانسار و در نتیجه اکتشاف ذخایر معدنی بویژه در نواحی خشک دارند. تصاویر ماهواره‌ای به‌خاطر پوشش منطقه‌ای وسیع، چند طیفی و چند زمانی، می‌توانند در شناسایی ایالتها، کمریندها و مکانهای کانیا زایی به‌کار روند استفاده شوند. نقش سنجش از دور در اکتشاف کانسارها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد

(Srivastav et al, 2000؛ Sabins, 1999):

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 سنجش از دور، می‌تواند به اکتشاف کانسارهای موجود در آنها کمک کند. زمین‌شناسان با تصاویر لندست می‌توانند ارتباط بین کانسارها و ساختارهای خطی ناحیه ای را شناسایی کنند. در یک ایالت کانه‌زایی، تعدد شکستگی‌ها و خطواره‌ها می‌توانند راهنمای اکتشاف باشند، زیرا مجرای برای عبور سیالهای کانیاها 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. سجدۀ نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (Enhanced Thematic Mapper Plus) به طور 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 سنجنده نسبت به TM، اضافه شدن یک باند تمام رنگ با قدرت تفکیک 15 متر است که در مطالعه عوارض خطی کاربرد دارد.





کواترن را به وجود آورده‌اند. شکل 3 ترکیب رنگی کاذب باندهای 4-7-2 را نشان می‌دهد. باند 2 مرئی در رنگ آبی و باندهای فرو سرخ 7 و 4 در رنگهای سرخ و سبز با هم ترکیب شده‌اند. مقایسه این شکل با نقشه زمین‌شناسی (شکل 2) 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 بازسازی شده‌اند. کانسارهای دره‌زار، سرچشمه، کوه‌پنج، ده‌سیاهان و سرباغ به رنگهای روشن زرد تا صورتی و در نواحی باطله‌برداری شده به رنگ سفید دیده می‌شوند. رسوبات کواترن و نئوزن در جنوب با رنگ صورتی، واحد گنگلومرایی خاور کوه‌پنج 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 آشکارسازي مناسب سنگ‌شناسی، محدوده‌های دگرسانی بازسازی نشده‌اند، به همین جهت برای تفکیک این مناطق از روشهای پردازش دیگری استفاده خواهد شد.

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 فرورسرخ 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 فرورسرخ نزدیک و میانی است، شناسایی کنند.

پورفیری استفاده شود. همچنین با توجه به اضافه شدن باند تمام رنگ سنجنده ETM+ و برتری آن نسبت به سنجنده 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.

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 1). این کمربند قسمتی از کمربند کوهزایی زاگرس و منطبق بر کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا است. ناحیه مورد مطالعه در جنوب‌باختری شهر کرمان و در طول جغرافیایی 42° 55' تا 56° 15' خاوری و عرض جغرافیایی 29° 45' تا 30° 5' شمالی در بخش مرکزی کمربند دهج- ساردوئیه قرار دارد. بر اساس تقسیم‌بندی زیرناحیه‌های فلززایی استان کرمان، کمربند دهج- ساردوئیه به 6 واحد تقسیم می‌شود که ناحیه کوه مزار- کوه‌پنج یکی از این مناطق است که بیشترین و مهم‌ترین کانسارها و اندیسهای مس پورفیری و رگه‌ای در ناحیه کرمان از جمله سرچشمه، دره‌زار، کوه‌پنج، سرکوه، حسین‌آباد، نوچون، ده‌سیاهان، آب تلخون و سرباغ را دربرمی‌گیرد (شکل 2).

واحدهای آتشفشانی- رسوبی ائوسن که ترکیبی از پیروکسن آندزیت، تراکی‌آندزیت، تراکی‌بازالت و آندزیت را شامل می‌شوند، بیشترین گسترش را در سطح منطقه دارند و با نام کمپلکس رازک مشهور هستند (شکل 2). ماگماتیسم منطقه که عمدتاً به صورت فازهای عمیق و نیمه‌عمیق (تیپ جبال‌بارز و تیپ کوه‌پنج) شامل گرانودیوریت، دیوریت، کوآرتزیدیوریت، 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، سریسیتی شدن، کلریتی شدن، اپیدوتی شدن، کربناتی شدن، سیلیسی شدن، رسی شدن و تورمالینی شدن است. ولی دگرسانی فیلیک، رسی و پروپیلیتیک بیشترین گسترش را در منطقه دارند که عملیات صحرایی و آزمایشگاهی هم آن را تأیید می‌کند. غنی‌سازی برونزاد و تشکیل زونهای اکسیده و کلاهِک 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





ناحیه فرسوخ میانی بازتاب بالایی برای بیشتر کانیها (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 5- الف طیف بازتاب آزمایشگاهی کانیهای رسی معمول در مناطق دگرسانی گرمایی یعنی مونت‌موریلونیت، ایلیت و کاتولینیت را به همراه آلونیت و ارتباط آن با باندهای لندست را نشان می‌دهد. و در شکل 5- ب طیف این گروه از کانیها بر روی منطقه معدنی دره‌زار که با استفاده از تصویر پردازش شده ETM+ به دست آمده، درج شده است. این کانیها جذب و یا حداقل بازتاب را در طول موجی در محدوده باند 7 لندست و یک بیشینه بازتاب در محدوده باند 5 لندست نشان می‌دهند. به همین جهت نسبت باندهای 5/7 می‌تواند در تشخیص مناطق دارای کانیهای رسی و آلونیت مناسب باشد. این تصویر پردازش شده در شکل 6 پس از کشش تمایز نشان داده شده است.

مشکل اصلی در تشخیص این کانیها، 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 فرسوخ نزدیک بین $1/68 \mu\text{m}$ تا $2/2 \mu\text{m}$ بازتاب شدید نشان می‌دهند. در گیاهان جذب مشاهده شده در محدوده $1/4 \mu\text{m}$ تا $1/9 \mu\text{m}$ به خاطر حضور آب است. این عملکرد جذبی آب در طیف کانیهایی که در ساختار بلوری خود آب یا یون هیدروکسیل دارند، دیده می‌شود. کانیهای گروه اکسید آهن و گیاهان در باندهای بازتاب $1 (0/45 - 0/52 \mu\text{m})$ و $2 (0/52 - 0/6 \mu\text{m})$ ETM+ بازتاب مشابهی دارند. بنابراین، این باندها برای تشخیص این دو مناسب نیستند. در باند $3 (0/63 - 0/69 \mu\text{m})$ ETM+ بازتاب بالایی برای اکسید آهن و جذب قوی برای پوشش گیاهی وجود دارد که می‌تواند برای تشخیص اکسیدهای آهن از پوشش گیاهی مناسب باشد. باند $4 (0/7 - 0/9 \mu\text{m})$ 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 5 $(1/55 - 1/75 \mu\text{m})$ و $7 (2/08 - 2/35 \mu\text{m})$ 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.

کانیهای مشخص کننده دگرسانی گرمایی 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 آهن‌دار (هماتیت، گوتیت و جاروسیت). کانیهایی که طیف آنها متعلق به محدوده فرسوخ است، بیشتر گروه هیدروکسیلها و سولفاتها هستند. همچنین اکسید آهن نیز اغلب در مناطق دگرسان شده و در رخنمونهای 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 درسنگی 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 کانیهای 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 فرسوخ اثر می‌کند. طیف شاخص آزمایشگاهی اکسید آهن و ارتباط آن با باندهای لندست در شکل 4- 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 گوتیت 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 4- ب طیف کانیهای 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 کانیها در ارتباط با باندهای لندست شباهت داشته و مشخص می‌کند که همانند طیف آزمایشگاهی حداقل بازتاب در محدوده آبی طیف مرئی مربوط به باند 1 ETM+ و بازتاب بالا در محدوده سرخ طیف مرئی و منطبق با باند 3 ETM+ است. بنابراین نسبت باندهای $3/1$ در سنگهای حاوی کانیهای گروه اکسید آهن مقدار بالایی است.





4- پردازش تصویر ETM+

شده است. نواحی با دگرسانی شدید که شامل هر دو گروه کانیهای گروه هیدروکسیل و اکسید آهن هستند (مانند سرچشمه، دره زار، کوه پنج، سرکوه ...) با رنگ سفید بارزسازی شده اند و نسبت به مناطقی که فقط آغشتگی سطحی به اکسید آهن دارند و یا پوشش گیاهی و سنگ های آتشفشانی- رسوبی نادگرسان به خوبی تفکیک شده اند.

4-2- تحلیل مؤلفه های اصلی

اگر هر کدام از باندهای ETM+ به طور جداگانه بررسی شوند، ارتباط زیادی بین آنها مشاهده می شود، به گونه ای 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 داده های تصویر چندطیفی دشوار است، یعنی تصاویر ایجاد شده توسط داده های لندست، یا به طور کلی داده های رقومی ناشی از طول موج باندهای گوناگون، اغلب شبیه به یکدیگر به نظر می رسند و اساساً اطلاعات مشابهی را منتقل می کنند. در حقیقت این تشابه و ارتباط بین باندها، باعث به وجود آمدن یک سری اطلاعات اضافی و زائد می شود. اگر این داده های اضافی کاهش یابند، مقدار داده هایی که برای توصیف تصاویر چندطیفی احتیاج است، به صورت فشرده درمی آیند. انتقال مؤلفه های اصلی، روشی برای خارج کردن یا کاهش دادن چنین اطلاعات زائدی است که با فشرده کردن مجموعه داده های چندطیفی در یک دستگاه مختصات جدید صورت می گیرد. برای داده های چندطیفی (مانند لندست)، اولین مؤلفه اصلی (PC1) شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مؤلفه های بعدی (PC2، PC3، ...، PCn) هر یک دربرگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر می باشند (Sabins, 1997).

هر تصویر مؤلفه اصلی، دارای اطلاعاتی از همه باندهای طیفی است و مانند تصاویر نسبی، به عنوان تصویر جداگانه سیاه و سفید می توانند 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 می شود. این واریانس بیشتر از واریانسی است که در ترکیب رنگی باندهای طیفی معمولی ایجاد می شود و جزئیات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده های مختلف زمین شناسی مانند واحدهای سنگی و دگرسانی نمایش می دهد. لذا به زمین شناسان کمک می کند تا مرز بین مناطقی که در تصاویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیست را مشخص کنند. همچنین کاربر می تواند مناطق کوچکی را که از نظر طیفی کاملاً متفاوت از کل صحنه

پردازش تصویر توسط نرم افزارهای ER Mapper و IDRISI انجام گرفته است. پس از تصحیح رادیومتری و هندسی بر روی آن، زیرصحنه ای با 1705 ستون و 1246 ردیف جدا شد. با توجه به اینکه هدف از پردازش تصویر در این تحقیق مطالعه دگرسانیها و خطواره های مرتبط با کانسارسازی مس نوع پورفیری و رگه ای به منظور معرفی این روش ها به عنوان یک ابزار اکتشافی برای این کانسارهاست، روشهای پردازش به گونه ای انتخاب گردید که پاسخ طیفی کانیهای شاخص دگرسانی گرمابی در بیرون زدگی های مربوط به نواحی کانسارسازی مس پورفیری بارزسازی شوند. از میان روشهای مختلف استفاده شده، بهترین نتایج استخراج گردید که در زیر به توضیح کلی آنها پرداخته می شود.

4-1- 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 می آیند. تصویر رقومی جدید به وسیله نسبت مقادیر المانها در دو تصویر ایجاد می شود. مزیت اصلی این تصاویر آن است که خصوصیات رنگی یا طیفی پدیده های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منظره بر اثر تغییرات توپوگرافی، منتقل می کنند و بر محتوای رنگ داده تاکید می کنند. در واقع، هیچ اطلاعاتی در مورد سپیدایی اولیه یا مطلق ارائه نمی دهند (Sabins, 1997). از داده های سنجش از دور و با استفاده از تصاویر نسبی باندهای 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 کانیهای دگرسانی گرمابی و ارتباط آنها با باندهای ETM+ که قبلاً توضیح داده شد، برای آشکارسازی دقیق تر دگرسانی گرمابی در تصاویر ETM+ با استفاده از نسبت گیری باندهای و با توجه به اینکه این نوع دگرسانی در این تصاویر بر اساس کانیهای گروه هیدروکسیل و اکسید آهن مشخص می شود، ترکیب سه تصویر نسبت در رنگهای سرخ و سبز و آبی که منجر به تشکیل ترکیب رنگی نسبت می شود، باعث ادغام مناطق حاوی هر دو گروه کانی دگرسانی گرمابی شده و این مناطق را بهتر بارزسازی می کند. در شکل 7 ترکیب رنگی نسبت که شامل نسبت های باندهای 3/1 (سرخ)، 5/4 (سبز) و 5/7 (آبی) می شود، پس از انجام کشش تمایز بر روی هر کدام از این ترکیبها نشان داده



2-4-1-1-PCA استاندارد یا روش کروسنا روی 6 باند ETM+

جدول 1 نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (ویژه مقادیر و ویژه بردارها) که بر روی 6 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 نقشه برداری شده در هر PC است. اولین مؤلفه اصلی (PC1) دارای وزن مثبتی از همه باندها است و شامل 91 درصد از کل واریانس داده‌های خام ETM+ منطقه است. روشنایی کلی صحنه یا سپیدیایی مسئول همبستگی شدید بین 6 باند تصویر ETM+ اولیه است. مؤلفه اصلی دوم نشان می‌دهد که در باندهای مرئی (ETM+1-4) ویژه بردارها دارای علامت منفی و در باندهای فرسرخ (7 و 5 ETM+) دارای علامت مثبت هستند. در حقیقت PC2 نشان دهنده اختلاف میان باندهای مرئی و فرسرخ 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 فرسرخ میانی، با پیکسل‌های روشن ظاهر شوند. در PC3 بالاترین مقدار ویژه بردار مربوط به باند 4 است (0/84) و بنابراین در مؤلفه اصلی سوم، پوشش گیاهی چیره است. سهم PC3 از واریانس کلی تصویر 1/54 درصد است 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 7 یعنی باندهای که در آن هیدروکسیل‌ها جذب نشان می‌دهند دارای بارگذاری مثبت (0/54) و باند 5 یعنی باندهای که این کانیاها بازتاب بالایی دارند بارگذاری منفی دارد (0/52-). در تصویر PC4 منطقه هیدروکسیل‌ها به صورت پیکسل‌های تیره ظاهر می‌شوند. زیرا از نظر تئوری، این کانیاها باید در باند 5 بازتاب بالا (علامت مثبت) و در باند 7 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 نوبه زیادی باشند، معمولاً در آخرین مؤلفه اصلی نشان داده می‌شود (Wayart et al, 2000).

نتایج پردازش و تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی 6 باند مرئی و

هستند (مانند مناطق دگرسان شده)، مشخص کند (Vincent, 1997).

2-4-1-2-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 6 باند غیرگرمایی 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 FPCS (Feature Oriented Principal Components Selection) نامیده می‌شود، پیشنهاد کردند که امروز به نام روش کروسنا مشهور است. این روش، یک فن ساده و جدید برای نقشه برداری دگرسانها با استفاده از تصاویر لندست است. در این روش، تنها به اطلاعات مقدماتی درباره خواص طیفی کانیاها و پوشش گیاهی نیاز است و مبتنی بر توانایی تبدیل مؤلفه اصلی در نقشه برداری جزئیات واریانس داده‌ها در مؤلفه‌های متوالی است. روش کروسنا بر اساس 6 باند لندست و همچنین 4 باند انتخاب شده بر اساس ویژگی‌های طیفی کانیاها دگرسان و پوشش گیاهی استوار است. در حقیقت فن توسعه یافته این روش، بر اساس انتخاب 4 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 کروسنا، به طور گسترده برای آشکارسازی دگرسانها در ایالت‌ها و کمربندهای فلززایی استفاده شده است (Tangestani and Moore, 2000; Ruiz-Armenta and Prol-Ledesma, 1998; Bennet et al, 1993; Loughlin, 1991; Crosta and Moore, 1989; Kaufmann, 1988; Abrams et al, 1983).





ETM+ استفاده می‌شود.

PCA انتخابی روی 4 باند ETM+ -2-1-2-4 نقشه برداری اکسید آهن

تبدیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی داده‌های خام ETM+1، ETM+3، ETM+4، و ETM+5 در جدول 2 درج شده است. حذف باند 7 به منظور جلوگیری از نقشه برداری هیدروکسیل صورت گرفته است. مؤلفه اصلی اول 90/72 درصد از کل مقدار واریانس داده‌های ورودی را شامل می‌شود. با همان فرایند منطقی که در حالت شش باندهای گشته شد، PC1 شامل داده‌های توپوگرافی و سپیدایی منطقه است. PC2 اختلاف بین باندهای مرئی و فرو سرخ را نشان می‌دهد. در PC3 باند 4 دارای بیشترین بارگذاری با علامت مثبت و بنابراین معرف پوشش گیاهی منطقه است. ویژه مقدرهای PC4 بارگذاری پایینی را برای باندهای ETM+4 و ETM+5 (0/36- و 0/05-) در مقایسه با باندهای ETM+1 و ETM+3 (0/65 و 0/67-) ارائه می‌دهد. افزون بر این، با توجه به علامت مخالف باندهای 1 و 3، 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.

PCA انتخابی روی 4 باند ETM+ -2-2-1-2-4 نقشه برداری هیدروکسیل

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی شامل باندهای 1، 4، 5 و 7 ETM+ در جدول 3 نشان داده شده است. باندها بر اساس ویژگیهای طیفی کانیهای هیدروکسیلی انتخاب شده‌اند و باندهای 2 و 3 ETM+ به منظور جلوگیری از نقشه برداری اکسید آهن حذف شده‌اند. مشابه با روندی که در نقشه برداری اکسید آهن گشته شد، PC1 معرف سپیدایی و توپوگرافی تصویر، PC2 نشان‌دهنده تفاوت طیفی بین ناحیه فروسرخ و مرئی و PC3 با توجه به بارگذاری بالای باند 4 پوشش گیاهی را مشخص می‌کند. بار ویژه بردارها برای PC4 نشان‌دهنده یک بارگذاری منفی بالا برای ETM+5 (0/67-) و یک بارگذاری مثبت بالا برای ETM+7 (0/70) 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 بازسازی می‌شوند. این تصویر را می‌توان تصویر هیدروکسیل یا تصویر H نامید.

فروسرخ غیرگرماپی ETM+ نشان می‌دهد که هیدروکسیل‌ها در تصویر معکوس PC4 و اکسید آهن در تصویر PC5 نقشه برداری می‌شوند. بنابراین نقشه برداری دگرسانی گرمایی با اضافه کردن تصویر PC4 معکوس و PC5 امکان‌پذیر است. در نتیجه، در تصویر نهایی سنگهایی که دگرسانی گرمایی را متحمل شده‌اند، بازسازی 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 8 تصویر نهایی ترکیب تصاویر PC4- (برای نقشه برداری هیدروکسیل‌ها)، PC4+PC5- (برای نقشه برداری دگرسانی گرمایی) و PC5 (برای نقشه برداری اکسید آهن) در رنگهای سرخ- سبز- آبی می‌باشد. چنانچه ملاحظه می‌شود، مناطق دگرسانی مانند دره زار، سرچشمه، کوه پنج، 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 6 باند ETM+ استفاده شده است، اما اثر پوشش گیاهی بر روی کل منطقه و تصویر نهایی تأثیر چندانی ندارد و روش کروسنای 6 باندهای به خوبی توانسته است مناطق دگرسان شده را از دیگر مناطق متمایز کند.

PCA انتخابی یا روش کروسنای روی 4 باند ETM+ -2-1-2-4

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 نقشه برداری 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 نقشه برداری تمایز طیفی، و باندهای با همبستگی بالا برای کاهش ابعاد داده به کار برده می‌شوند (Chaves and Yaw Kwarteng, 1989). انتخاب 4 باند به عنوان ورودی PCA بر پایه طیف آزمایشگاهی کانیهای مرتبط با دگرسانی گرمایی است. برای نقشه برداری اکسید آهن از باندهای 1، 3 و 5 ETM+ و همچنین از باند 4 که معرف پوشش گیاهی است و برای تحلیل و نقشه برداری هیدروکسیل‌ها، از باندهای 1، 4، 5 و 7





متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند (چنانچه در عالم واقع اکثراً چنین است) صورت‌بندی ریاضی ببخشند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری 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:

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

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، نشان‌دهنده تعلق بیشتر به مجموعه فازی A و بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان‌دهنده 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 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 سنجش از دور با دیگر داده‌ها استفاده می‌شود، به گونه‌ای که Zimmermann (1991) درباره قوانین گوناگون ترکیب در این مورد بحث مفصلي دارد. Moon et al. (1991) برای ادغام داده‌های زمین فیزیکی، زمین‌شناسی و دورسنجی از عملگر حاصلضرب جبری فازی و عملگر گاما استفاده کردند. An et al. (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

تصاویر H و F شامل مناطقی است که یا 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 9) که در آن، مناطق دگرسان شده، به صورت پیکسل‌های روشن نمود پیدا می‌کنند. پیکسل‌های روشن، معرف مناطقی هستند که هم دگرسانی سریسیتی 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، حسین‌آباد 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 که اکسید آهن نسبت به هیدروکسیل گسترش بیشتری دارد، مانند توده مزار در جنوب‌باختر سرچشمه و بر روی کانسارهای بندباغ و آبتلخون، همچنین روی اندیس‌های سرباغ و امیرآباد در غرب ده‌سیاهان و بر روی خود کانسار ده‌سیاهان و در شمال کوه‌پنج با رنگ آبی روشن تا تن‌های تیره‌تر ظاهر می‌شود. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد این تصویر نسبت به روش 6 باندي این است که پوشش گیاهی در این تصویر بارز شدگی ندارد.

3-4- نظریه مجموعه‌های فازی (Fuzzy Set Theory)

نظریه مجموعه‌های فازی اولین بار توسط پروفیسور عسکرزاده (1965) 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





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. همان‌طور که گفته شد در این نظریه، رتبه عضویت می‌تواند مقداری بین 0 و 1 در نظر گرفته شود، در صورتی که در حالت عادی عضویت نظریه مجموعه‌ها، رتبه عضویت فقط 0 یا 1 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 70 درصد از یک پیکسل از سنگ‌های دگرسان شده و 30 درصد بقیه از سنگ‌های نا دگرسان پوشیده شده باشد، در این صورت این پیکسل دارای احتمال فازی 70 درصد به سنگ دگرسان شده و 30 درصد به سنگ غیردگرسان می‌باشند. بنابراین، پیکسلی که دارای تعلق بیشتری به دسته دگرسان شده باشد روشن‌تر و در کنار آن پیکسلی که تعلق بیشتری به دسته نا دگرسان داشته باشد، تاریک‌تر نمود پیدا می‌کند. اگر پیکسلی صددرصد دگرسان باشد، کاملاً روشن و اگر صددرصد نا دگرسان 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 نا دگرسان انتخاب گردید و سپس رده بندی فازی بر روی آنها انجام گرفت. شکل 10 تصویر نهایی حاصل از این روش است که مناطق دگرسان شده را با پیکسل‌های روشن نشان می‌دهد.

داده‌های اکتشافی استفاده کردند. Ranjbar and Honarmand (2004) از روش رده بندی فازی برای ادغام داده‌های زمین‌فیزیک 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).

4-3-1- رده بندی فازی (Fuzzy Classification)

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

در رده‌بندی نظارت شده مرسوم در سنجش از دور، واحدهای کنترل و نتایج رده‌بندی 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 کنترل 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 نا دگرسان تقسیم‌بندی 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 تقسیم‌بندی شود و هیچ ملاک خاصی برای تشخیص این دو نوع پوشش وجود ندارد. در بسیاری مناطق، سنگ‌های دگرسان و رسوبات در یک رده 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





0	-2	0
0	4	0
0	-2	0
حاشیه‌ها را در جهت خاوری - باختری واضح می‌سازد.		

برای بارزسازی خطواره‌ها در تصویر منطقه از باند تمام رنگ ETM+ با قدرت تفکیک 15 متر استفاده شد. همان گونه که (Wester (1992) 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 واضح‌تر شدند. خطواره‌ها با استفاده از این تصویر بر روی کل منطقه رسم شدند (شکل 11). همچنین برای رسم خطواره‌ها از نشانه‌هایی مانند مسیر آبراهه‌ها و انحراف در مسیر آنها، ردیف شدگی پوشش گیاهی و تغییرات تن به صورت خطی و با کمک تصویر رنگی 7-4-2 فیلتر شده و تصویر باند 8 ETM+ که فیلتر بالاگذر بر آن اعمال شده استفاده شده است. اکنون می‌توان با استفاده از این تصویر به تحلیل خطواره‌ها و رسم نمودار گل‌سرخ پرداخت. نمودار گل‌سرخ خطواره‌ها براساس روش پیشنهادی (1994) Robson رسم شده است (شکل 12). امتدادهای خطواره‌ها نیز در نمودار گل‌سرخ مشخص شده است. گروه اصلی خطواره‌ها دارای روند شمال‌شمال‌خاوری-جنوب‌جنوب‌باختری و به طرف شمال‌خاور- جنوب‌باختر هستند. سنگهای نفوذی مثلاً در مناطق کوه‌پنج، کوه‌مزار، بندباغ، آبتلخون و ده‌سیاهان در مقایسه با سنگهای آتشفشانی شکستگی‌های بیشتری دارند، که این 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 گرمایی را دارند. محاسبه ضریب خطوارگی و مطالعه توزیع مکانی خطواره‌ها می‌تواند در اکتشاف کانسارها و تعیین مناطق با پتانسیل کانی‌سازی و همچنین اکتشاف

چنانچه ملاحظه می‌شود در این تصویر کلیه مناطق دگرسانی مثلاً بر روی کانسارهای سرچشمه، دره‌زار، حسین‌آباد، سرکوه، نوچون، کوه‌پنج و ده‌سیاهان نسبت به رسوبات، پوشش گیاهی و واحدهای غیردگرسان کاملاً تفکیک شده‌اند. پوشش گیاهی در این تصویر به هیچ وجه بارزشدگی نشان نمی‌دهد. این روش یکی از بهترین و کاربردی‌ترین روشهای پردازش تصویر است که می‌تواند برای جداسازی مناطق دگرسانی استفاده شود.

4-4- 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 آبراهه‌ها 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 بدون‌جهت 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:

0	0	-2
0	4	0
0	0	-2
حاشیه‌ها را در جهت شمال باختر - جنوب خاور واضح می‌سازد.		

-2	0	0
0	4	0
0	0	-2
حاشیه‌ها را در جهت شمال خاور- جنوب باختر واضح می‌سازد.		





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. همچنین معمولاً در محلی که این کانسارها تشکیل می‌شوند سنگهای خرد شده و شکستگی‌های محلی وجود دارند که انتقال دهنده سیال‌های گرمابی کانسار ساز می‌باشند. کانیه‌های آبدار گروه هیدروکسیل و آلونیت از مهم‌ترین کانیهایی هستند که معمولاً در مناطق دگرسانی گرمابی حضور دارند. اکسید آهن نیز در این مناطق، بیشتر همراه با کانیه‌های رسی یافت می‌شود. سنجیده نقشه‌برداری موضوعی پیشرفته با دارا بودن 6 باند در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک و میانی طیف الکترومغناطیسی توانایی نقشه‌برداری از این گروه کانیه‌ها را دارد. از باند تمام رنگ ETM+ می‌توان به خوبی برای مطالعه خطواره‌ها و ساختارهای محلی کنترل کننده ذخایر مس بهره گرفت. روش نسبت‌گیری باندي و ساخت تصاویر رنگی نسبت یکی از روشهای پردازش تصویر برای بارزسازی دگرسانی گرمابی است. روش تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه‌های اصلی و یا روش کروستا با استفاده از 6 باند و 4 باند ETM+ ابزاری قوی برای شناسایی زونهای دگرسانی و کاهش اثرات طیفی پوشش گیاهی است. رده باندي فازی با استفاده از تصاویر پردازش شده حاصل از روش کروستا 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 رده‌بندی زونهای دگرسان به ترتیب شدت دگرسانی وجود دارد. رسم نقشه خطواره‌گی با استفاده از تصویر فیلتر شده باند ETM+8 و تحلیل این خطواره‌ها روش کاربردی دیگری برای مطالعه ارتباط بین زونهای دگرسان و مناطق کانسار سازی 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.

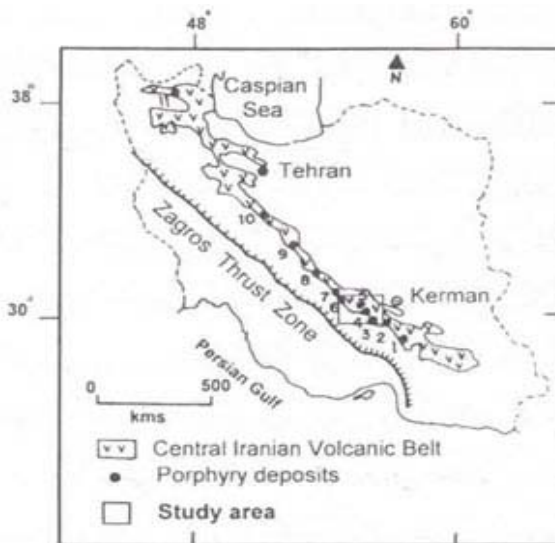
شکل 1- نقشه موقعیت کمربند آتشفشانی- رسوبی ایران مرکزی و کانسارهای مس پورفیری موجود در آن که به موازات راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته است (Shahabpur, 1994).
 1- بحرآسمان 2- تخت 3- کوهپنج 4- دره‌زار 5- سرچشمه 6- میدوک 7- گودکولواری 8- دره زرشک 9- جنوب اردستان 10- شریف‌آباد 11- سونگون

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. (Hardcastle 1995) برای محاسبه ضریب خطواره‌گی در تصاویر ماهواره‌ای یا عکسهای هوایی رابطه زیر را پیشنهاد کرد:

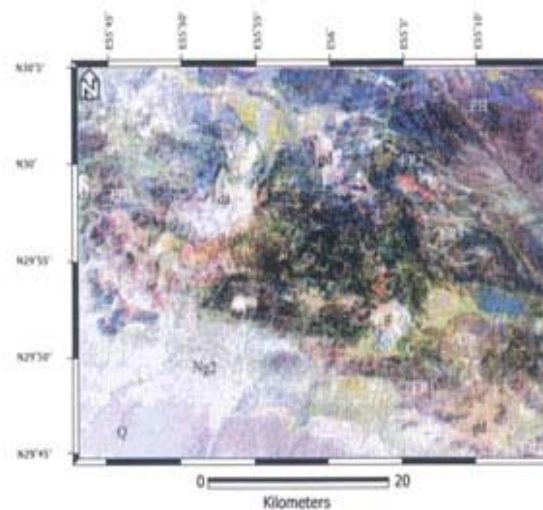
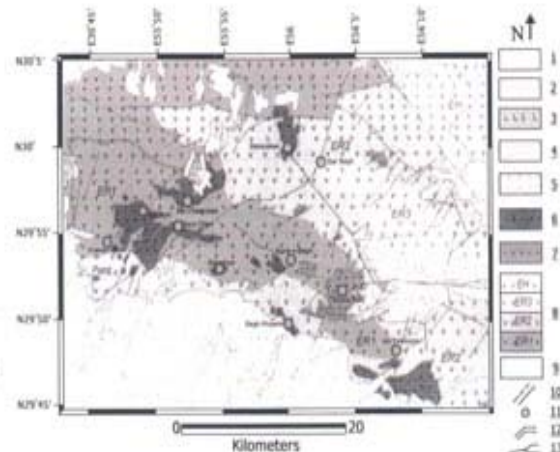
$$PF = (a/A) + (b/B) + (c/C) + (d/D)$$

برای تحلیل خطواره‌ها یک شبکه سلولی مناسب با ابعاد 2×2 کیلومتر برای منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد و روی نقشه خطواره‌گی 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 d تعداد دسته‌جهت‌ها در هر سلول و D میانگین دسته‌جهت‌ها در نقشه است.

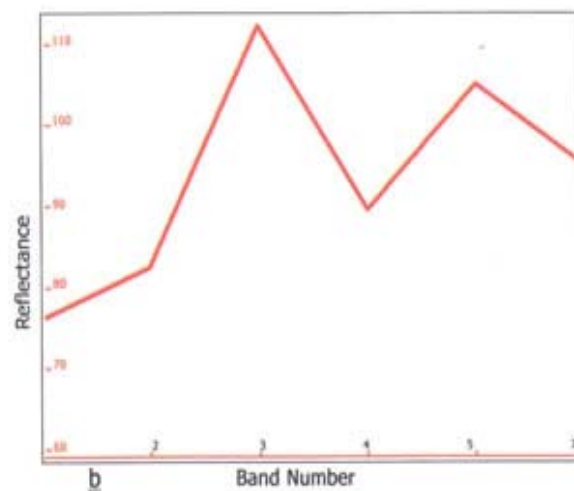
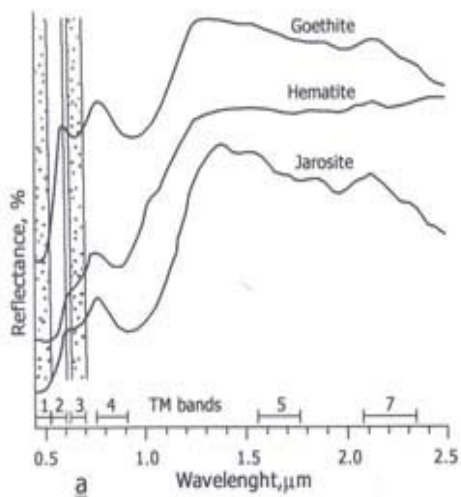
با استفاده از مقادیر به دست آمده از رابطه فوق، نقشه کنتوری خطواره‌گی منطقه با استفاده از نرم‌افزار SURFER تهیه شد (شکل 13). با مطالعه این نقشه مشخص گردید نواحی که در آنها کانسار سازی شده و همچنین مناطق با سنگ‌های دگرسان شده شدید (مثلاً در توده نفوذی مزار و کانسارهای حسین‌آباد، سرکوه، نوچون، ده‌سیاهان، کوه‌پنج، آبتلخون و بندباغ) ارتباط زیادی با مقادیر بالای ضریب خطواره‌گی 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.



شکل 2- نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی (اقتباس با تغییرات از نقشه 1: 50000 کرمان، دیمتریویچ، 1973).
 1= رسوبات کواترنر (پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها)؛ 2= رسوبات نفوژن (ماسه‌سنگ سخت نشده، رس همراه با کنگلومرا)؛ 3= داسیت؛ 4= ماسه‌سنگ و کنگلومرا سخت نشده (سازند سرخ بالایی، نفوژن)؛ 5= کنگلومرا؛ 6= نفوذیه‌های تپ جبال‌بارز (گرانودیوریت، بعد از میوسن)؛ 7= نفوذیه‌های نیمه‌عمیق تپ کوه پنج (گرانیت- گرانودیوریت، پس از الیگوسن)؛ 8= سنگهای آتشفشانی انوسن با ترکیب آندزیت و تراکی‌آندزیت (EH= کمپلکس هزار، ER3= زیرکمپلکس رازک بالایی، ER2= زیرکمپلکس رازک میانی، ER1= زیرکمپلکس رازک پایینی)؛ 9= دگرسانی گرمایی؛ 10= گسل؛ 11= کانسار؛ 12= جاده؛ 13= آبراهه.



شکل 3- تصویر رنگی کاذب 2-4-7 در رنگهای سرخ، سبز و آبی که بر روی آن واحدهای زمین‌شناسی مشخص شده‌اند.



شکل 4- 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 3 و بازتاب کمینه در باند 1 توجه شود.

جدول 1- تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی شش باند ETM+ منطقه مطالعاتی.

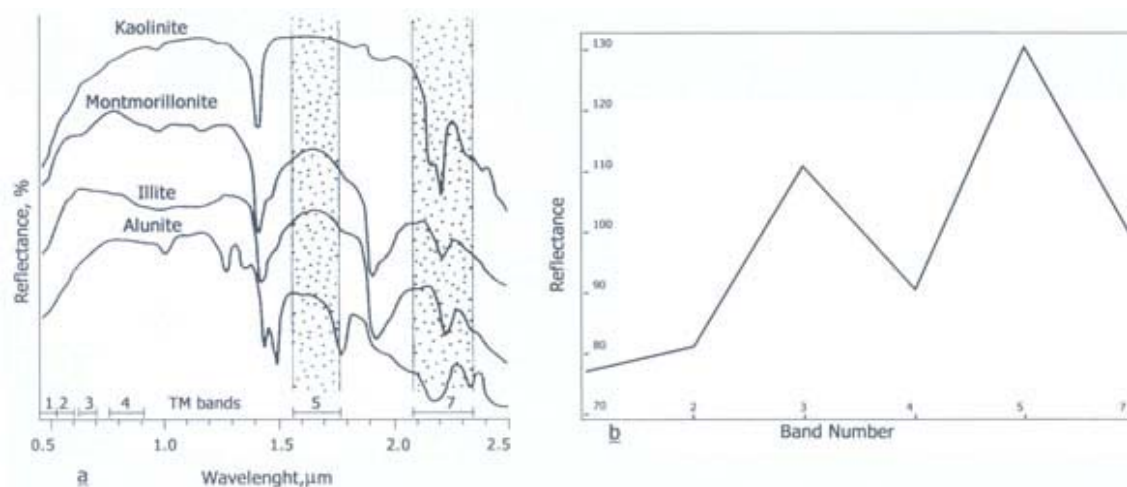
باند های وردی	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
ETM+-1	0/22	-0/51	-0/32	-0/32	-0/44	-0/53
ETM+-2	0/31	0/4011 -	-0/17	-0/31	0/02	0/78
ETM+-3	0/46	-0/44	0/10	0/48	0/56	-0/21
ETM+-4	0/37	-0/001	0/84	-0/09	-0/38	0/01
ETM+-5	0/53	0/51	-0/12	-0/52	0/37	-0/19
ETM+-7	0/47	0/35	-0/36	0/54	-0/46	0/14
ویژه مقدارها (%)	91	6/26	1/54	0/63	0/43	0/14

جدول 2- تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی ETM+.

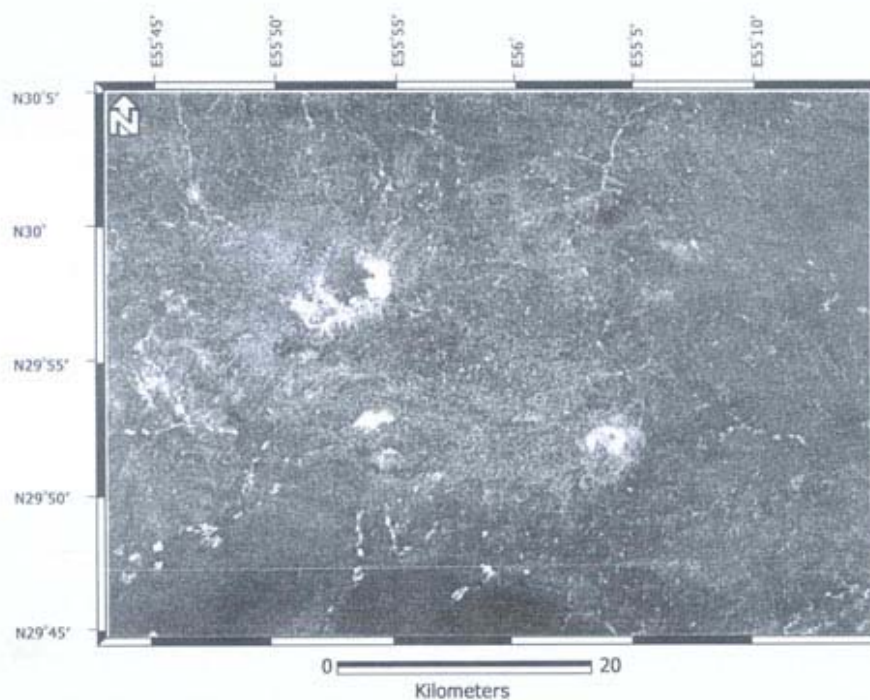
باند های وردی	PC1	PC2	PC3	PC4
ETM+-1	0/27	-0/58	-0/40	0/65
ETM+-3	0/56	-0/49	0/009	-0/67
ETM+-4	0/45	0/04	0/81	-0/36
ETM+-5	0/64	0/64	-0/41	-0/05
ویژه مقدارها (%)	90/72	6/73	1/84	0/71

جدول 3- تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری هیدروکسیل بر روی چهار باند انتخابی ETM+.

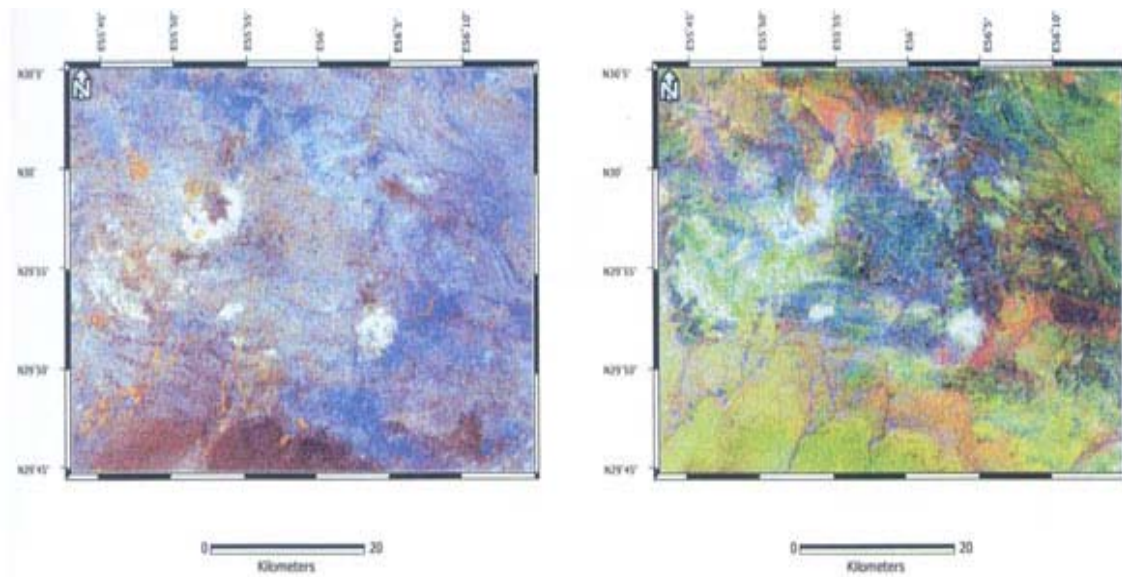
باند های وردی	PC1	PC2	PC3	PC4
ETM+-1	0/25	-0/87	-0/39	0/19
ETM+-4	0/44	-0/29	0/83	-0/17
ETM+-5	0/65	0/36	-0/07	-0/67
ETM+-7	0/57	0/18	-0/38	0/70
ویژه مقدارها (%)	92/48	4/64	2/13	0/75



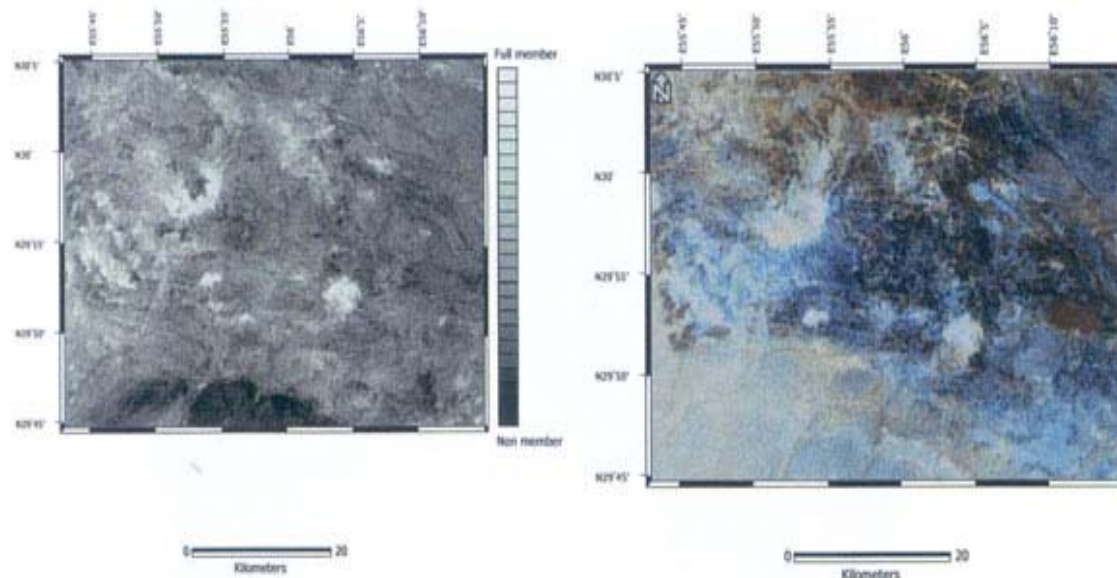
شکل 5- a- طیف بازتاب آزمایشگاهی آلونیت، ایلیت، مونت‌موریلونیت و کائولینیت (Sabins, 1997). b- منحنی بازتاب کانیهای گروه هیدروکسیل در منطقه معدنی دره‌زار، به بازتاب بیشینه در باند 5 و بازتاب کمینه در باند 7 توجه شود.



شکل 6- تصویر نسبت 5/7 برای بارزسازی کانیهای رسی.

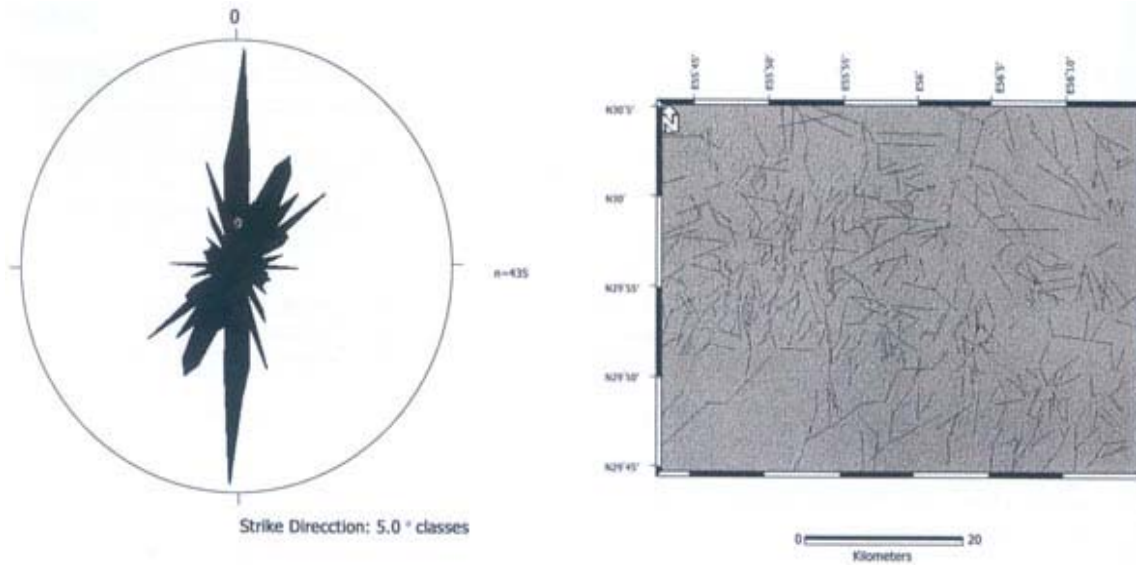


شکل 7- تصویر ترکیب نسبت‌های 3/1- 5/4- 5/7 در رنگهای سرخ- سبز- آبی برای بازسازی مناطق دگرسانی گرمابی. شکل 8- تصویر نهایی روش کروس‌تای 6 بان‌دی حاصل از ترکیب - PC4، PC4+PC5 و PC5 در رنگهای سرخ- سبز- آبی برای نقشه‌برداری کلیه مناطق دگرسانی گرمابی.

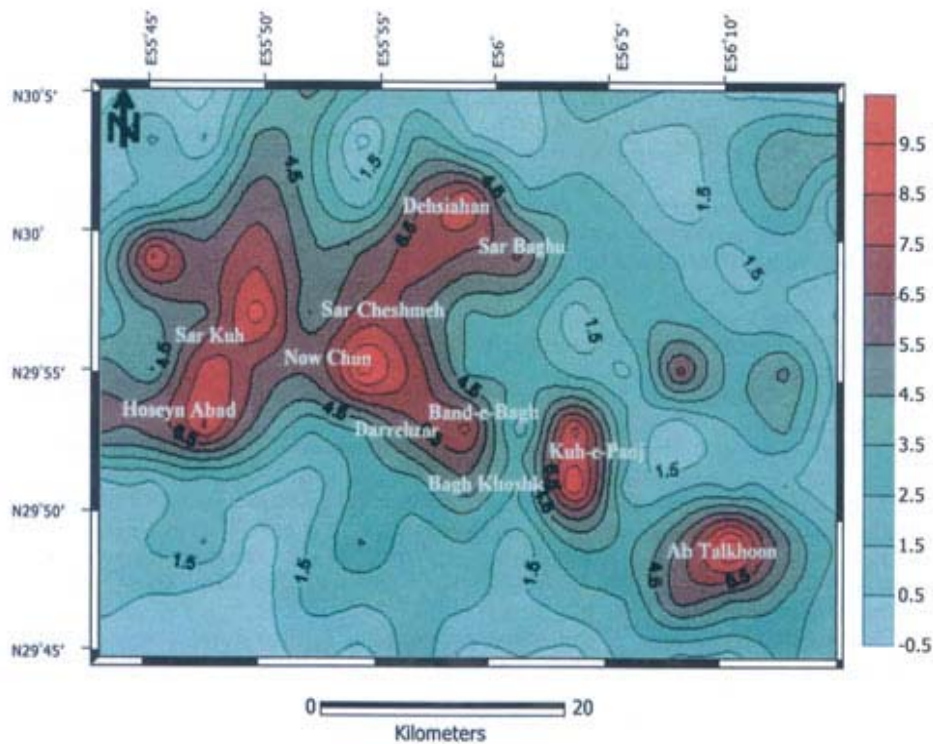


شکل 9- تصویر نهایی روش کروس‌تای 4 بان‌دی حاصل از ترکیب H، H+F و F در رنگهای سرخ- سبز- آبی برای نقشه‌برداری کلیه مناطق دگرسانی گرمابی. شکل 10- نقشه رده بندی فازی برای جداسازی واحدهای دگرسانی با استفاده از تصاویر پردازش شده ETM+ به روش کروس‌تای.





شکل 11- خطواره‌های تفسیر شده از تصویر فیلتر شده منطقه. شکل 12- نمودار گل‌سرخي که روند چیره خطواره های منطقه را نشان می‌دهد.



شکل 13- نقشه ضریب خطوارگی که در آن مناطق کانسارساز با مقادیر بالای ضریب خطوارگی مشخص شده‌اند.

کتابنگاری

مهدی‌زاده تهرانی، س.، فتوتی، و.، نعیمی قصابیان، ن.، 1378- بررسی‌های دورسنجی به منظور ردیابی سیستم‌های مس پورفیری در کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر، مجموعه مقالات هیجدهمین گردهمایی علوم زمین، ص. 608-617.

هنرمند، م.، رنجبر، ح.، 1382- مطالعه کانیهایی مناطق دگرسانی گرمابی به کمک تصاویر ETM+ در منطقه کوه ممزار- کوه پنج در استان کرمان، مجموعه مقالات یازدهمین همایش بلورشناسی و کانیه‌شناسی ایران، یزد، ص. 84-86.

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 Tresa 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, McM., 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 intergrated 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 Geosience 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

