

## تهیه نقشه‌ی واحدهای دگرسان به روش فیلتر سازگاریافته‌ی تنظیم اختلاط با استفاده از تصاویر ابرطیفی

سعید گودرزی مهر\* - کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه کارتوگرافی، دانشکده‌ی جغرافیا  
سید کاظم علوی پناه - استاد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه کارتوگرافی، دانشکده‌ی جغرافیا  
علی درویشی بلورانی - استادیار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه کارتوگرافی، دانشکده‌ی جغرافیا

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۰۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۱/۲۴

### چکیده

آشکارسازی عوارض در سطح زیر پیکسل، یکی از مسائلی است که در سال‌های اخیر و در زمینه‌های مختلف کاربردی مطرح بوده و با توجه به ضعف توان تفکیک مکانی در بسیاری از سنجنده‌های ابرطیفی، روشی کارآمد معرفی شده است. از جمله اطلاعات بسیار با ارزش در زمینه اکتشاف‌های معدنی، تفکیک واحدهای دگرسانی در هر منطقه است. در این پژوهش برای تهیه نقشه‌ی نواحی دگرسان، از منطقه‌ی آتشفشان مزاحم شهر بابک در ایران مرکزی و تصاویر سنجنده‌ی ابرطیفی هایپریون استفاده شده است و پس از حذف باندهای بد و پیکسل‌های معیوب، دو مرحله‌ی دیگر شامل حذف راه‌راه شدگی‌های تصویری و انحنای طیفی روی تصویر اعمال شد و در ادامه تصحیحات اتمسفری و هندسی روی آن انجام گرفت. سپس به منظور کاهش ابعاد داده‌ها از تبدیل حداقل‌سازی نویز روی تصاویر سنجنده‌ی هایپریون استفاده شد و به کمک فیلتر سازگاریافته‌ی تنظیم اختلاط و تحلیلی ابرداده‌های حاصل از ارزش‌های فراوانی اهداف و مقادیر ناممکن، حد آستانه‌های لازم برای استخراج اهداف به کار گرفته و به این ترتیب نقشه‌ی نواحی دگرسان به دست آمد. به منظور ارزیابی عملکرد روش مطرح شده از روش زیرپیکسل طیفی خطی و گزارش‌های موجود از منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان دادند که روش آشکارسازی فیلتر سازگاریافته‌ی تنظیم اختلاط در قالب الگوریتم مطرح شده، به میزان ۲۰ درصد دقت بهتری نسبت به روش زیرپیکسل طیفی خطی از خود ارائه کرده است. این بهبود در آشکارسازی به وسیله‌ی الگوریتم مطرح شده، در حد آستانه‌های مختلف نیز نتایج بهتری نسبت به زیرپیکسل طیفی خطی از خود نشان داد و مقادیر کاذب مثبت کمتری تولید کرد. افزون بر این، نتایج طبقه‌بندی نشان دادند که بخش عمده‌ی دگرسانی‌ها در ناحیه‌ی مرکزی آتشفشان مزاحم قرار گرفته و نواحی اطراف آن را دو ناحیه‌ی دگرسانی با شدت‌های کمتر دربر گرفته است.

کلیدواژه‌ها: سنجش از دور ابرطیفی، زیرپیکسل، هایپریون، دگرسانی.

## مقدمه

بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور ابرطیفی طی سال‌های اخیر، همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع جمع‌آوری اطلاعات مطرح بوده است و در راستای پایش منابع زمینی و بهره‌برداری بهینه از آنها توجه بسیاری از کارشناسان و متخصصان علوم مختلف، از جمله زمین‌شناسی را به‌خود جلب کرده است. تصاویر ابرطیفی، توانایی ثبت داده در تعداد زیادی باند طیفی را دارند (برای نمونه، هایپریون<sup>۱</sup> با ۲۴۲ باند طیفی)، در نتیجه می‌توان به شناسایی اهدافی اقدام کرد که پیش از این در تصاویر چندطیفی امکان‌پذیر نبوده است؛ اما ضعف توان تفکیک مکانی در برخی از تصاویر ابرطیفی، از جمله تصاویر سنجنده‌ی هایپریون، همچنان به‌عنوان مشکلی بالقوه مطرح است. به‌گفته‌ی دیگر با توجه به قدرت تفکیک طیفی بالای تصاویر ابرطیفی (برای مثال در هایپریون ۲۴۲ باند طیفی، از ۴۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) و قدرت تفکیک مکانی نسبی پایین آنها (برای مثال در هایپریون، ۳۰ متر)، همواره بیش از یک هدف در پیکسل یافت می‌شود و یک پاسخ طیفی مرکب از پدیده‌ی هدف و غیر هدف، ثبت خواهد شد (Fauvel et al., 2006: 2829). روش‌های آشکارسازی اهداف در سطح زیر پیکسل به‌همراه مقادیر فراوانی اهداف<sup>۲</sup>، میزان احتمال حضور هدف در تصویر را نیز ارائه می‌کنند و به همین دلیل در بسیاری از طبقه‌بندی‌ها، به جای روش‌های رایج طبقه‌بندی استفاده می‌شوند.

امروزه تهیه‌ی نقشه‌ی واحدهای دگرسان با استفاده از تصاویر ابرطیفی، بخش مهمی از مطالعات زمین‌شناسی را به خود اختصاص داده است. با توجه به ضعف روش‌های پیکسل مینا در تهیه‌ی نقشه‌های کانی‌شناسی و دگرسانی، استفاده از روش‌های زیرپیکسل در مطالعات اخیر افزایش یافته و در زمینه‌ی تهیه‌ی نقشه‌های کانی‌ها و دگرسانی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (Kruse et al., 2003: 1388; Ellis and Scott, 2004: 118; Qiu et al., 2006: 169; Zhang et al, 2007; Mezned et al., 2009: 1; Gabr et al., 2010: 59; Hosseinjani and Tangestani, 2011: 41; Kruse, 2012: 487) که می‌تواند بیانگر برتری این روش‌ها نسبت به روش‌های پیکسل مینا باشد.

استانز<sup>۳</sup> و همکارانش (۲۰۰۰) با استفاده از داده‌های ابرطیفی سنجنده‌ی Probe-1، نقشه‌ی کانی‌ها در ناحیه‌ی توندرا را تهیه کردند. آنها این کار را در چندین مرحله شامل: کالیبراسیون، تصحیح اتمسفری، استخراج خودکار اعضای انتهایی و درنهایت، روش C-LSU<sup>۴</sup> انجام دادند.

کروز<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۳) در مقاله‌ای به مقایسه‌ی داده‌های ابرطیفی هوابرد و هایپریون، به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌ی کانی‌ها در نوادا و دره‌ی ویس پرداختند و از روش‌های MNF، MTMF و نمایش ابر داده‌ها در فضای طیفی N بُعدی برای تولید این نقشه‌ها بهره گرفتند.

حسین‌جانی و تنگستانی<sup>۶</sup> (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های زیرپیکسل LSU و MTMF و بر مبنای استفاده از تصاویر ASTER به تهیه‌ی نقشه‌ی کانی‌های دگرسان پرداختند و سه گروه کانی‌ها شامل: پیروفیلیت -

1. Hyperion  
2. MF Score  
3. Staenz  
4. Constrained- Linear Spectral Unmixing  
5. Kruse  
6. Hosseinjani and Tangestani

آلونیت، سربیسیت - کائولینیت و کلریت - کلسیت - اپیدوت را تفکیک کردند.

بیران وندپور و هشیم<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) به مطالعه‌ی زون‌های دگرسانی هیدروترمال در جنوبی‌ترین ناحیه از کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی پرداختند و از تصاویر ماهواره EO-1 بهره گرفتند. آنها برای آشکارسازی نهشته‌های مس پروفیری، از نسبت‌گیری بانندی و روش‌های پردازشی استفاده کردند. نتایج این مطالعه حاکی از دقت بالای آشکارسازی زون‌های دگرسانی اشاره شده با تصاویر مورد استفاده بود.

پتروویک<sup>۲</sup> و همکارانش (۲۰۱۲) با هدف تعیین مشخصه‌های مواد معدنی و تغییرات شیمیایی در مناطق تحت نفوذ هیدروکربن، دگرسانی سنگ‌های سطح زمین را مورد مطالعه قرار دادند و از داده‌های ابرطیفی سنجنده‌ی Hymap و داده‌های ژئوشیمیایی استفاده کردند و برای پهنه‌بندی مناطق دگرسان و غیر دگرسان روی تصویر ماهواره‌ای، از روش SAM<sup>۳</sup> و برای تعیین تغییرات لیتولوژیک در سطح منطقه، از روش SF<sup>۴</sup> بهره بردند و توانستند با دقت مناسبی این تفکیک را انجام دهند.

بهرام بیگی و همکارانش (۱۳۹۱-ب) با استفاده از روش‌های نقشه بردار زاویه‌ی طیفی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش فیلتر تطبیقی ترکیبی تعدیل شده، به استخراج سنگ‌های کائولینی با تصاویر ابرطیفی اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که روش نقشه بردار زاویه‌ی طیفی با دقت بهتری این تفکیک را انجام داده است.

پریهانتارتو<sup>۵</sup> و همکارانش (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های خاک و تهیه‌ی نقشه‌ی خاک بر مبنای اختلاط مقادیر پیکسل‌ها پرداختند و توانستند با استفاده از روش‌های زیرپیکسل و براساس استفاده از تصاویر چند طیفی، ویژگی‌های خاک را روی تصاویر Eo1-ALI<sup>۶</sup> تعیین کنند.

کروز<sup>۷</sup> (۲۰۱۲) با استفاده از روش MTMF و داده‌های ابر طیفی، به تهیه‌ی نقشه‌ی کانی‌های سطحی در سه منطقه‌ی نوادا، گولدفیلد و شمال دره‌ی مرگ اقدام کرد و ویژگی‌های طیفی کانی‌های منطقه را در دو ناحیه‌ی طیفی SWIR<sup>۸</sup> و VNIR<sup>۹</sup> مورد مطالعه قرار داد.

عامر<sup>۹</sup> و همکارانش (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی ASTER و تصاویر راداری سنجنده‌ی PALSAR، منطقه‌ای در صحرای مرکزی مصر را مورد مطالعه قرار دادند و از روش‌های طبقه‌بندی SAM، SID<sup>۱۰</sup> برای طبقه‌بندی زون‌های دگرسانی مرتبط با طلا استفاده کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد، روش‌های مذکور توانایی مناسبی برای طبقه‌بندی زون‌های دگرسانی دارند.

1. Beiranvand Pour and Hashim
2. Petrovic
3. Spectral Angle Mapper
4. Spectral Feature Fitting
5. Prihantarto
6. Earth Observation1- Advanced Land Imager
7. Short Wave Infrared
8. Visible Near Infrared
9. Amer
10. Spectral Information Divergence

تنگستانی و مور<sup>۱</sup> (۲۰۰۲) و هنرمند<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۲) از داده‌های سنجنده‌ی ASTER برای تهیه‌ی نقشه‌های دگرسانی استفاده کردند. آنها روش‌های مختلفی چون، نقشه برداری زاویه‌ی طیفی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ناآمیختگی خطی طیفی را مورد مقایسه قرار دادند.

قولام<sup>۳</sup> و عامر (۲۰۱۰) با هدف پیدا کردن زون‌های دگرسانی حاوی طلا، از داده‌های سنجنده ASTER استفاده کردند و به کمک روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۴</sup>، نسبت‌گیری بانندی، ترکیب بانندی کاذب، CEM<sup>۵</sup> و روش MTMF، به آشکارسازی طلا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های طیفی در فضای N بُعدی، بهترین نتیجه را ارائه می‌کنند.

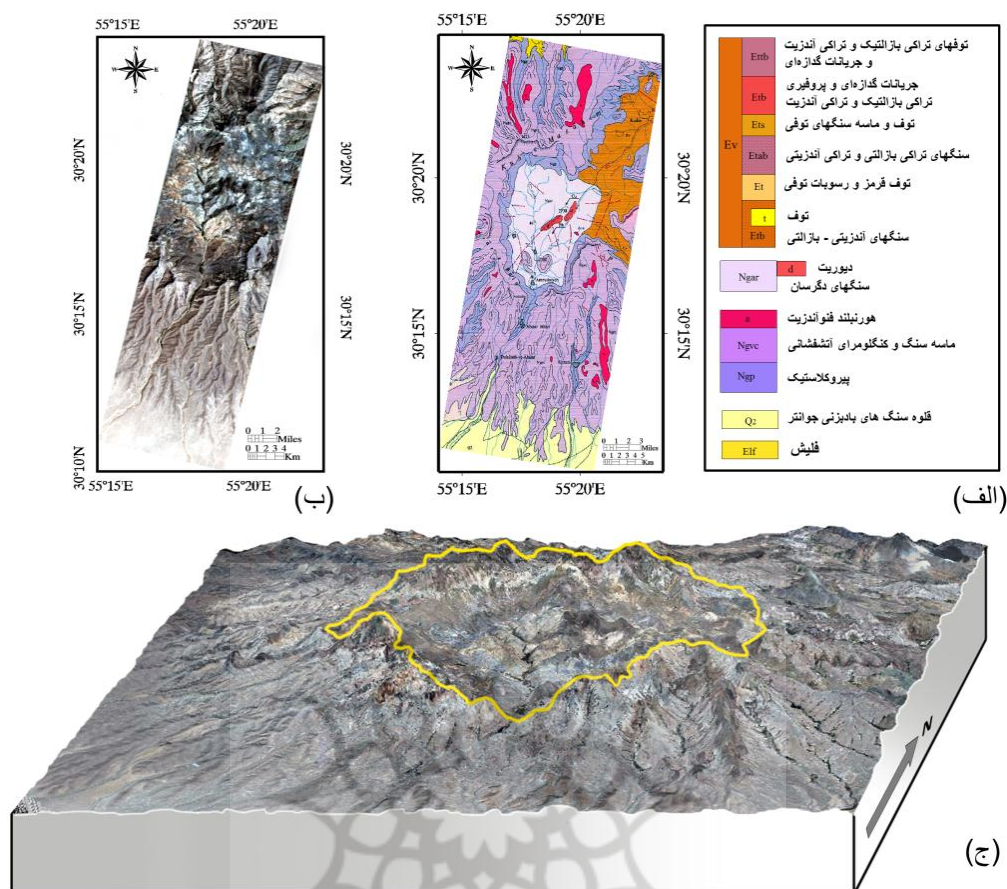
پیش از این مطالعات زیادی نیز در منطقه‌ی مورد نظر در این پژوهش انجام شده است. این مطالعات به‌منظور بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه با تصاویر هایپریون انجام گرفته‌اند (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-الف؛ بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-ب؛ San and Suzen, 2011; Beiranvand Pour and Hashim., 2011; Leverington, ۲۰۰۸; Gersman et al., 2008; Khurshid et al., 2006).

از آنجایی که هدف این پژوهش ارائه‌ی روشی برای طبقه‌بندی واحدهای دگرسانی بر مبنای استفاده از تصاویر ابرطیفی سنجنده‌ی هایپریون بود؛ بنابراین بعد از انجام پیش‌پردازش‌های مربوط به تصاویر خام این سنجنده، از روش MTMF برای تفکیک سه ناحیه‌ی دگرسانی با شدت‌های مختلف، در منطقه‌ی آتشفشان مزاحم - شهر بابک استفاده شد و بر پایه‌ی گزارش‌های موجود، نتایج طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفتند که با توجه به آنها و مقایسه با نتایج حاصل از طبقه‌بندی نواحی دگرسان، روش MTMF مورد استفاده در فلوجارت ارائه شده، با ۲۰ درصد افزایش دقت نسبت به روش LSU، نتیجه‌ی بهتری در تفکیک اهداف انجام داده است و در حد آستانه‌های مختلف به کار رفته در تفکیک واحدهای مورد نظر، مقادیر کاذب مثبت کمتری نیز تولید کرده است.

### منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مطالعاتی در این پژوهش، ناحیه‌ی آتشفشان مزاحم بوده است که در طول جغرافیایی E ۱۶' ۰" ۵۵° تا E ۲۳' ۰" ۵۵° تا عرض جغرافیایی N ۱۵' ۰" ۳۰° تا N ۲۱' ۰" ۳۰° واقع شده است (شکل شماره ۱). دیواره‌های مخروط آتشفشان در اثر عملکرد عوامل فرسایشی فرسوده شده و شکل مخروطی آن تا حدودی از بین رفته است. قطر قاعده‌ی این آتشفشان به‌طور متوسط ۲۵ کیلومتر بوده و مواد فورانی آن در حال حاضر سطحی برابر با ۵۳۰ کیلومتر مربع را پوشانیده است (احمدی پور، ۱۳۷۲: ۱۵۶).

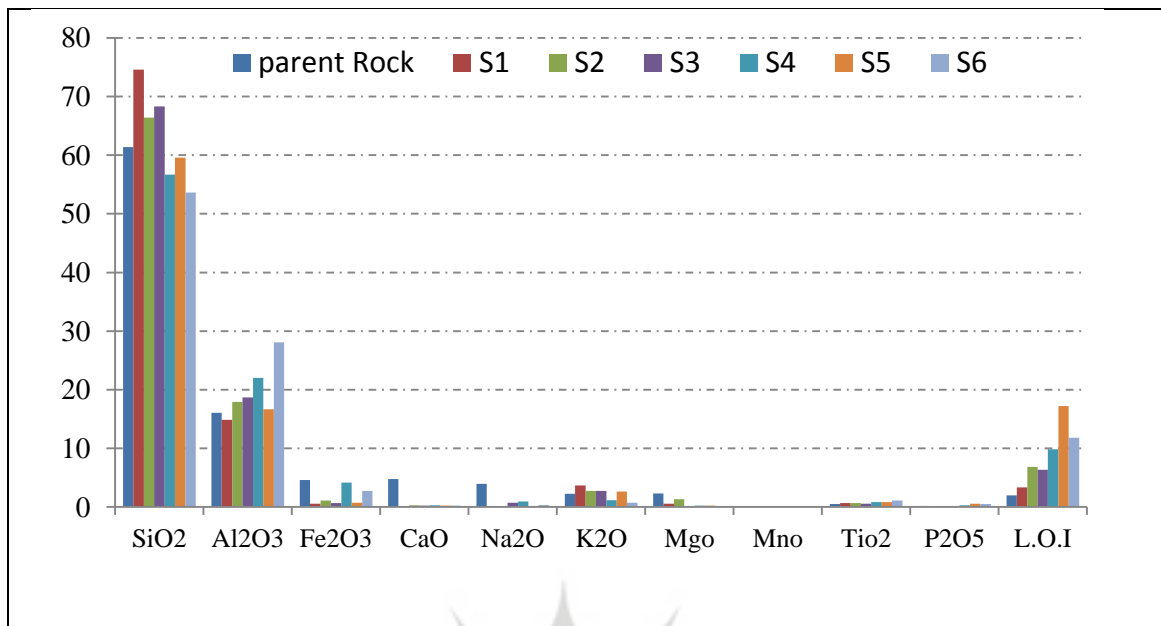
1. Tangestani and Moor
2. Honarmand
3. Ghulam
4. Principal Component Analysis (PCA)
5. Constrained Energy Minimized
6. Ahmadipur



شکل ۱. الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ از منطقه‌ی مورد مطالعه (Ministry of Economy Geology of Iran, 1972)، ب) موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه در تصویر هایپرکولور (ج) نقشه‌ی سه بُعدی حاصل تلفیق DEM سنجنده ASTER و تصویر کویکبرد منطقه که در آن دیواره‌های آتشفشان با رنگ زرد مشخص شده است.

با توجه به مطالعات پیشین انجام گرفته (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-الف) در منطقه‌ی آتشفشان مزاحم و مطالعات ژئوشیمیایی (امینیان، ۱۳۸۷) (شکل شماره ۲) مشخص شده است در این منطقه با نواحی متفاوتی به لحاظ شدت دگرسانی روبه‌رو هستیم (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-الف: ۵۳).

با توجه به نبود کانی‌های دیکیت و نانترونیت و همچنین الگوی عناصر فرعی و کمیاب در سنگ‌های کائولینی شده منطقه، منشأ دگرسانی رسی در بخش مرکزی کالدرا به‌طور عمده برون‌زاد بوده و کمتر با فرایندهای اولیه و هایپوژن در ارتباط است. الگوی احتمالی دگرسانی آرژیلیک وسیع در بخش مرکزی کالدرا، دگرسانی فلیک وسیع سنگ‌های تراکی آندزیتی در مرحله‌ی فعالیت‌های انتهایی آتشفشان و اثر سیال‌های سوپرژن برون‌زاد در مرحله‌ی بعد است که به خروج پتاسیم از سنگ و تبدیل سریسیت به کائولینیت منجر شده است (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-الف: ۹۸). در حقیقت با توجه به مطالعات انجام شده در این منطقه (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-الف؛ امینیان، ۱۳۸۷) با سه ناحیه‌ی دگرسانی با شدت‌های مختلف روبه‌رو هستیم که این نواحی مبنای مطالعات دورکاو در این پژوهش قرار گرفت.

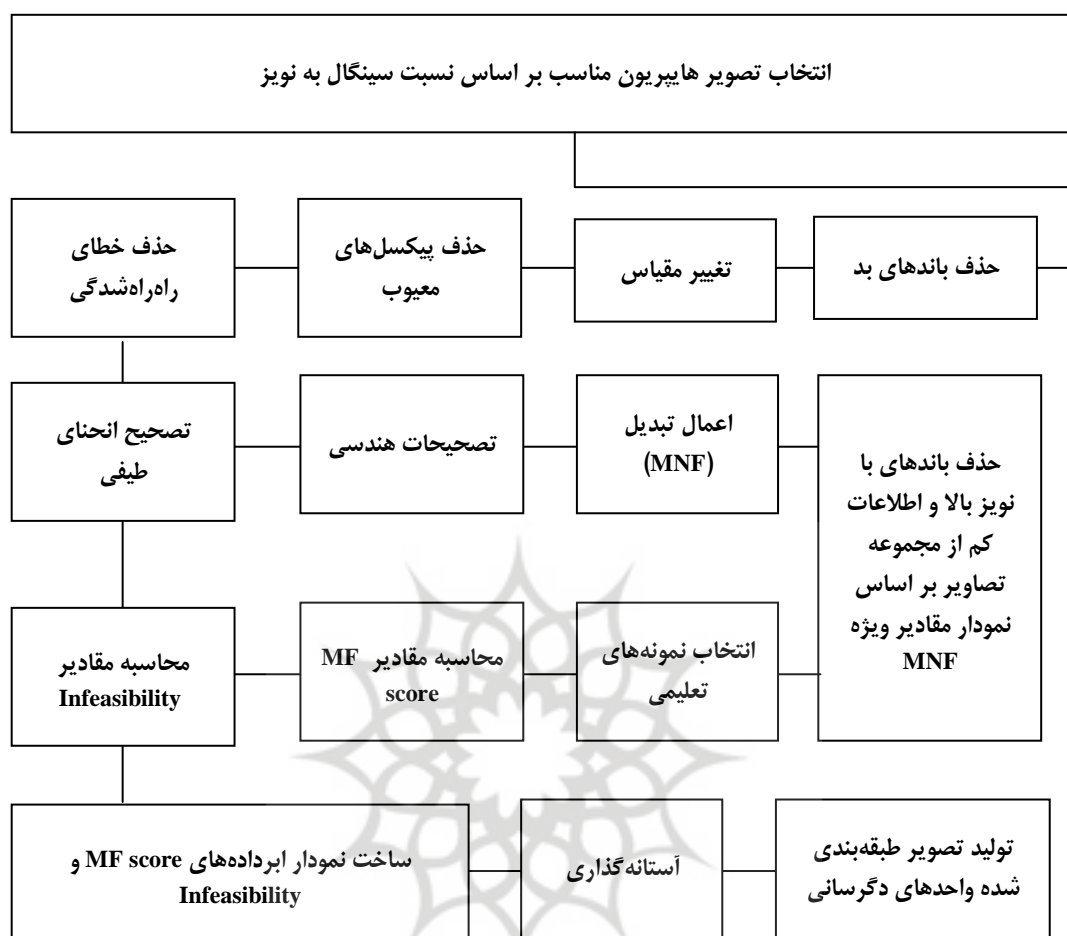


شکل ۲. درصد اکسیدهای عناصر اصلی در سنگ مادر و نمونه‌های نیمه‌دگرسان و دگرسان منطقه در بخش عمدتاً آرزیلیک. مقدار شاخص LOI به ترتیب برای سنگ مادر، نمونه S1، S2، S3، S4، S5، S6 برابر ۲، ۳/۳۵، ۶/۸۷، ۶/۳۶، ۹/۸۶، ۱۷/۲ و ۱۱/۸ است (امینیان ۱۳۸۷).

## مواد و روش‌ها

با توجه به نويز بالای تصاویر سنجنده‌ی هایپریون، انجام مراحل پیش‌پردازش این تصاویر بسیار با اهمیت است. بنابراین مراحل کلی طبقه‌بندی دگرسانی‌ها با در نظر گرفتن پیش‌پردازش‌های لازم برای این تصویر انجام پذیرفت. نخستین مرحله‌ی این فرایند، انتخاب تصویر هایپریون براساس فصل سال است. مطابق با مطالعات گرین<sup>۱</sup> و همکارانش (۲۰۰۳: ۱۱۹۴)، در فصل زمستان هم میزان دامنه‌ی نوسان‌ها SNR<sup>۲</sup> و هم شدت نوسان‌ها کمتر از تابستان است. بنابراین تصویر مورد استفاده می‌بایست تا جایی که امکان دارد، مربوط به تابستان باشد تا موج قوی‌تری دریافت شود. با در نظر گرفتن این موضوع، تصویر هایپریون منطقه در سطح پردازشی L1 تهیه شد. در ادامه از ۲۴۲ باند موجود، ۱۵۸ باند بهینه از تصاویر هایپریون منطقه انتخاب شدند (محدوده‌ی طیفی ۴۲۶/۸۲ تا ۲۳۲۴/۹۰ نانومتر) سپس مرحله‌ی تغییر مقیاس انجام شد (USGS, 2012) و چهار نوع پیکسل معیوب از تصاویر هایپریون حذف شدند که این کار بر اساس مجموعه داده‌های جانبی همراه با تصویر صورت پذیرفت. برای اصلاح راه‌راه‌شدگی‌های موجود در تصویر، از روش ارائه شده‌ی دات<sup>۳</sup> و همکارانش (۲۰۰۳: ۱۲۴۶) بهره گرفته شد و بعد از بررسی گرادیان روشنایی در MNF-1 و نمودار انحنای طیفی در طول موج‌های VNIR و SWIR، روش میانگین ستونی سازگار شده در فضای MNF به کار گرفته شد که از سوی گودینا<sup>۴</sup> و همکارانش (۲۰۰۳: ۱۳۲۱)، برای تصاویر هایپریون مطرح شده بود.

1. Green
2. Signal to Noise Ratio
3. Datt
4. Goodenough



شکل ۳. نمودار طبقه‌بندی دگرسانی‌ها، بر مبنای استفاده از تصاویر خام سنجنده‌ی هایپریون

برای تصحیحات اتمسفری نیز با توجه به شرایط بیابانی منطقه، از روش IAR<sup>۱</sup> استفاده شد که در چنین مناطقی کاربرد دارند (Ben-Dor et al., 1994: 683; Roberts, 1986: 121; Kruse, 1988: 32). برای تصحیحات هندسی نیز از روش ارائه شده‌ی (Beck, 2001: 56) بهره گرفته شد. سپس از تبدیل MNF برای حذف باندهای با نویز بالا استفاده شد تا هم حجم داده‌ها کاهش یابد و هم اینکه دقت طبقه‌بندی بیشتر شود (شکل شماره‌ی ۳). در ادامه مراحل تولید تصاویر MF<sup>۲</sup> و روش MT<sup>۳</sup> شرح داده می‌شود.

### اصول تئوریک روش MTMF

فرایند روش MTMF می‌تواند در چهارچوب دو مرحله‌ی کلی بیان شود: ۱- برآورد فراوانی‌ها با روش MF و ۲- کاهش مقادیر مثبت کاذب که با روش MT انجام می‌شود. در مورد MF می‌توان گفت این روش یک آشکارساز خطی بهینه

1. Internal Average Reflectance  
2. Matched Filtered  
3. Mixture Tuned

برای طیف شناخته‌شده‌ی هدف، در حضور یک پس‌زمینه‌ی ترکیبی و ناشناخته است. روش MT و ترکیب آن با MF نخستین‌بار توسط بوردمن<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) صورت گرفت. در مباحث مربوط به پیکسل‌های مختلط، شرط واحد شدن مجموع مقادیر فراوانی‌ها و شرط نامنفی شدن مقادیر تولیدی برای روش MF در نظر گرفته می‌شود. اگرچه از MF برای برآورد فراوانی‌ها استفاده می‌شود؛ اما قدرت اصلی روش MTMF در اطلاعات جانبی است که روش MT فراهم می‌کند. بردار تصویر کننده در MF با رابطه‌ی شماره‌ی ۱ بیان می‌شود:

$$MFV = (C^{-1} \times (ts - (dm)))/((ts - dm)^T \times C^{-1} \times (ts - dm)) \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در آن؛

MFV : بردار تصویر کننده‌ی MF مورد نظر؛

$C^{-1}$  : معکوس ماتریس کوواریانس داده‌ها؛

ts : طیف هدف؛

dm : میانگین طیف داده است.

در حقیقت چنانچه داده‌ها به فضای MNF برده شوند، با توجه به صفر شدن میانگین، عبارت  $(ts - dm)$  به  $t_{MNF}$  تبدیل می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد، قوی‌ترین و منحصر به فردترین جنبه‌ی روش MTMF، بخش MT است که در واقع یک مدل هندسی چند بُعدی (بسته به تعداد باندها) از اختلاط طیفی را ارائه می‌دهد. روش MT به ما اجازه می‌دهد تا به‌طور مستقیم خطاهای مثبت کاذب که در خروجی‌های روش MF رخ می‌دهد را شناسایی کرده و آنها را حذف کنیم. برای دسترسی به مقدار ارزش‌های ناممکن مربوط به یک پیکسل مشخص، ابتدا می‌بایست مقدار MF را تعیین کرد و سپس فاصله‌ی آن از خط اتصال دهنده‌ی میانگین پس‌زمینه و هدف را اندازه‌گیری کرد (شکل شماره‌ی ۴). این اندازه‌گیری در سطح MF ثابت انجام شده و بر حسب مقدار انحراف معیار نويز حاصل از توزیع شکل‌یافته‌ی خطی، برای آن MF صورت می‌گیرد.

$$MFI = MFV \times Dmmf \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$adm_i = MFI_i * tsmnf$$

$MFI_i$  : نتیجه‌ی پردازش MF برای پیکسل  $i$  ام و  $tsmnf$  معرف طیف هدف در فضای MNF است.

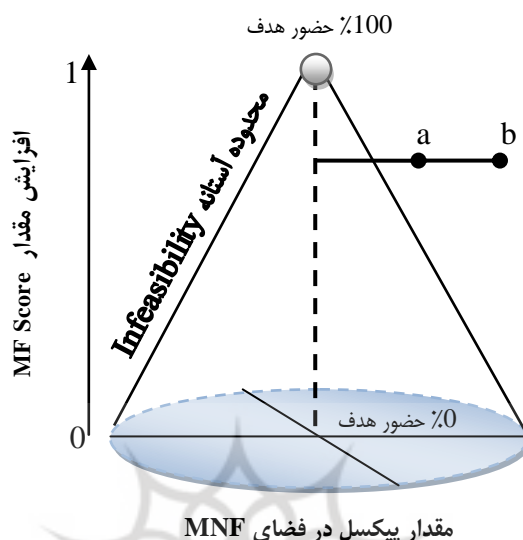
در این رابطه بردار مؤلفه‌ی تنظیم اختلاط<sup>۲</sup>  $(MFV)$  در مقدار به‌دست آمده برای پیکسل‌ها در فضای MNF؛ یعنی  $(Dmmf)$  ضرب می‌شود تا بردار پیکسل‌ها را در فضای MFV تصویر کند که نتیجه‌ی آن، تولید یک مقدار برآورد شده برای هر پیکسل  $i$  به صورت  $MFI_i$  خواهد بود؛  $adm_i$  میانگین توزیع مناسب برای پیکسل  $i$  با توجه به امتیاز MF آن، است. باید توجه داشت که رابطه‌ی مذکور تنها در مورد داده‌های فضای MNF صادق است و با فرض این که میانگین

1. Boardman

2. Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF)



پس‌زمینه صفر باشد، یک معادله‌ی پارامتریک را توصیف می‌کند که در آن محدوده‌ای از مقادیر برای  $adm$  از طیف صفر برای  $tsmnf$  به‌عنوان محدوده‌ای از امتیازهای MF از صفر تا واحد (یک)، وجود دارد.



شکل ۴. نمایش مفهوم مقادیر ناممکن<sup>۱</sup> در مقابل مقادیر MF. هر دو پیکسل فرضی  $a$  و  $b$  مقادیر یکسانی از MF را تولید کرده‌اند و بدون استفاده از بخش MT هیچ تفاوتی در آنها وجود ندارد؛ در حالی که محاسبه‌ی مقادیر ناممکن نشان می‌دهد که پیکسل  $a$  درصد آغستگی کمتری به مقادیر کاذب مثبت دارد و فاصله‌ی اقلیدوسی کمتری با بردار هدف دارد و دارای ارزش بالاتری برای اختصاص یافتن به هدف است (Mundt and Streutker, 2007: 6).

در مرحله‌ی دوم می‌بایست با توجه به مقادیر MF در هر پیکسل، مقدار ویژه‌ی مناسب این توزیع محاسبه شود. رابطه‌ای که برای درون‌یابی استفاده می‌شود، در رابطه‌ی شماره‌ی ۳ و بر اساس محاسبه‌ی فاصله‌ی اقلیدوسی هر پیکسل (در فضای MNF)، از بردار میانگین هدف است (شکل شماره‌ی ۴) (Boardman, 1998).

$$MTEval_i = \left( Dmcnweval^{\frac{1}{2}} - MFI_i * \left( Dmcnweval^{\frac{1}{2}} - UV \right) \right)^2 \quad \text{(رابطه‌ی ۳)}$$

که در آن؛  $Dmcnweval$ ، بردار مقادیر ویژه MNF؛ و  $MFI_i$ ، ارزش فراوانی به‌دست آمده توسط روش MF برای پیکسل  $i$  ام با مقادیر کمینه‌ی (مینیمم) صفر و حداکثر (ماکزیمم) یک؛  $UV$ ، بردار یک‌گه (مقادیر ویژه‌ی نویز MNF)، است. مرحله‌ی آخر محاسبات، محاسبه‌ی مقادیر ناممکن هستند که شامل: تفریق میانگین مناسب از مقادیر ارزش داده‌ها، تصویر کردن آنها روی بردارهای ویژه، تقسیم جزء به‌جزء به‌وسیله‌ی مربع ریشه‌های مقادیر ویژه و محاسبه‌ی طول اقلیدوسی نتایج است. از آنجایی که داده‌های MNF پیش‌تر روی مقادیر ویژه‌شان تصویر شده‌اند، فرایند مدل‌سازی MTMF از داده‌های MNF، ساده‌تر خواهد شد. رابطه‌ی نهایی به‌صورت زیر برای مقادیر MT به‌دست می‌آید:

$$MT_i = \left( \sum_i^n \left( (Dmmf_i - adm_i) / MTEval_i \right)^2 \right)^{1/2} \quad \text{(رابطه‌ی ۴)}$$

که در آن؛  $Dmnf_i$ ، طیف MNF برای پیکسل  $i$  ام؛  $adm_i$ ، میانگین مناسب برای پیکسل  $i$  ام؛ و  $MTEval_i$  بردار درون‌یابی شده‌ی مقادیر ویژه برای پیکسل  $i$  ام است. سپس مقدار نهایی  $MT_i$  برابر انحراف معیار حاصل از خطاً پس‌زمینه‌ی هدف برای هر پیکسل که با استفاده از مقادیر ویژه‌ی درون‌یابی شده‌ی مناسب بر پایه‌ی امتیاز MF در آن پیکسل، اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب مقادیر ناممکن، بر اساس آنچه بوردمن (۱۹۹۸) ارائه کرده بود، تولید می‌شود. بر مبنای همین روش نمونه‌های تعلیمی برای اجرای مراحل، بر اساس مشاهدات و مطالعات میدانی مورد استفاده قرار گرفتند و واحدهای دگرسانی طبقه‌بندی شدند.

### روش آشکارسازی خطی LSU

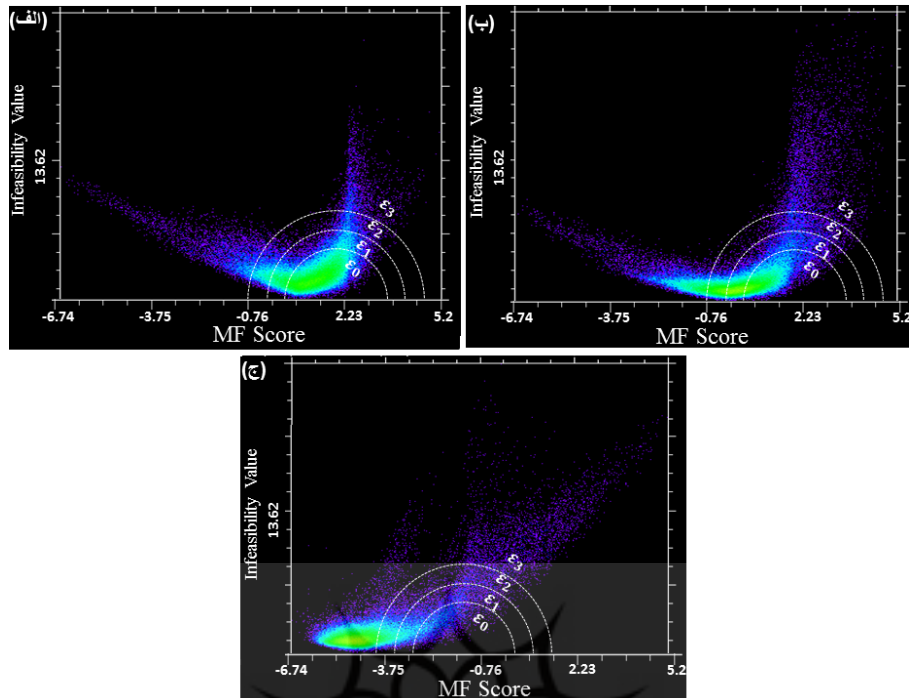
برای ارزیابی نحوه‌ی عملکرد روش MTMF، از روش LSU استفاده شد که یکی از رایج‌ترین روش‌های مبتنی بر مفهوم زیر پیکسل است. این روش بر اساس ویژگی‌های طیفی مواد موجود در تصویر، به برآورد فراوانی‌های اعضای مرجع می‌پردازد (Boardman, 1998: 20). فرضیه‌ی اصلی این روش بر خطی بودن ارتباط میان طیف هدف و طیف پیکسل‌های مورد بررسی استوار است (Jensen, 2005, 489). این روش با رابطه ۵ بیان می‌شود:

$$R_i = \sum_{j=1}^n f_j r_{ij} + \varepsilon_i, \quad \sum f_i = 1; \quad 0 \leq f_j \leq 1 \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه‌ی فوق،  $i$ : معرف تعداد باندهای طیفی مورد استفاده؛  $j$ : بیانگر تعداد اعضای انتهایی؛  $R_i$ : انعکاس طیفی مخلوط در پیکسل باند  $i$ ؛  $f_j$ : معرف فراوانی عضو انتهایی  $j$  ام در سطح پیکسل؛  $r_{ij}$ : نمایانگر انعکاس حاصل از عضو انتهایی  $j$  ام در باند  $i$  و  $\varepsilon_i$ : خطای باقی‌مانده در باند  $i$  است (Jensen, 2005: 489). بنابراین با دادن نمونه‌های تعلیمی به‌عنوان اعضای مرجع به رابطه فوق، سه ناحیه‌ی دگرسانی آشکارسازی شدند.

### آستانه‌گذاری

از آنجایی که روش MTMF برخلاف بسیاری از روش‌های رایج طبقه‌بندی و زیرپیکسل، دارای دو تصویر خروجی است؛ بنابراین می‌توان به کمک ابر داده‌های حاصل از این دو باند، با دقت بهتری طبقه‌بندی را انجام داد. در این روش مقادیر بالای MF و مقادیر پایین MT، نمایانگر نزدیکتر شدن به هدف هستند. همین ارتباط، مبنای طبقه‌بندی بسیاری از مقاله‌ها با روش MTMF بوده است (گودرزی مهر و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۳۴؛ Kruse, 2012: 44,45؛ Boardman, 2011, 4547). در این پژوهش نیز به همین صورت عمل شد (شکل شماره ۵) و با تغییر دادن حد آستانه‌ها  $\varepsilon_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ) و آزمون نتیجه‌ی کلاس‌بندی با داده‌های مرجع، بهترین حد آستانه‌بندی تعیین شد. در حقیقت گوشه‌ی سمت راست و پایین نمودار، پراکنش دو بُعدی حاصل از مقادیر MF و MT (شکل شماره ۵) محتمل‌ترین مکان برای هدف مورد بررسی است. برای طبقه‌بندی روش LSU نیز از مقادیر مختلف حد آستانه و بر اساس روش طبقه‌بندی ساختار درختی عمل شد؛ چرا که خروجی این روش، یک تک باند است و بر خلاف روش قبل، هیچ اطلاعاتی از مقادیر کاذب مثبت ارائه نمی‌کند.



شکل ۵. نحوه‌ی آستانه‌گذاری برای روش MTMF بر اساس ابر داده‌های حاصل از MF و بر مبنای اینکه بیشترین احتمال حضور هدف در مقادیر بالای MF و مقادیر کمتر ارزش‌های ناممکن رخ می‌دهد. این آستانه‌گذاری برای سه نمونه‌ی دگرسانی، الف) دگرسانی متوسط، ب) دگرسانی ضعیف و ج) دگرسانی شدید استفاده شد.

## یافته‌های پژوهش

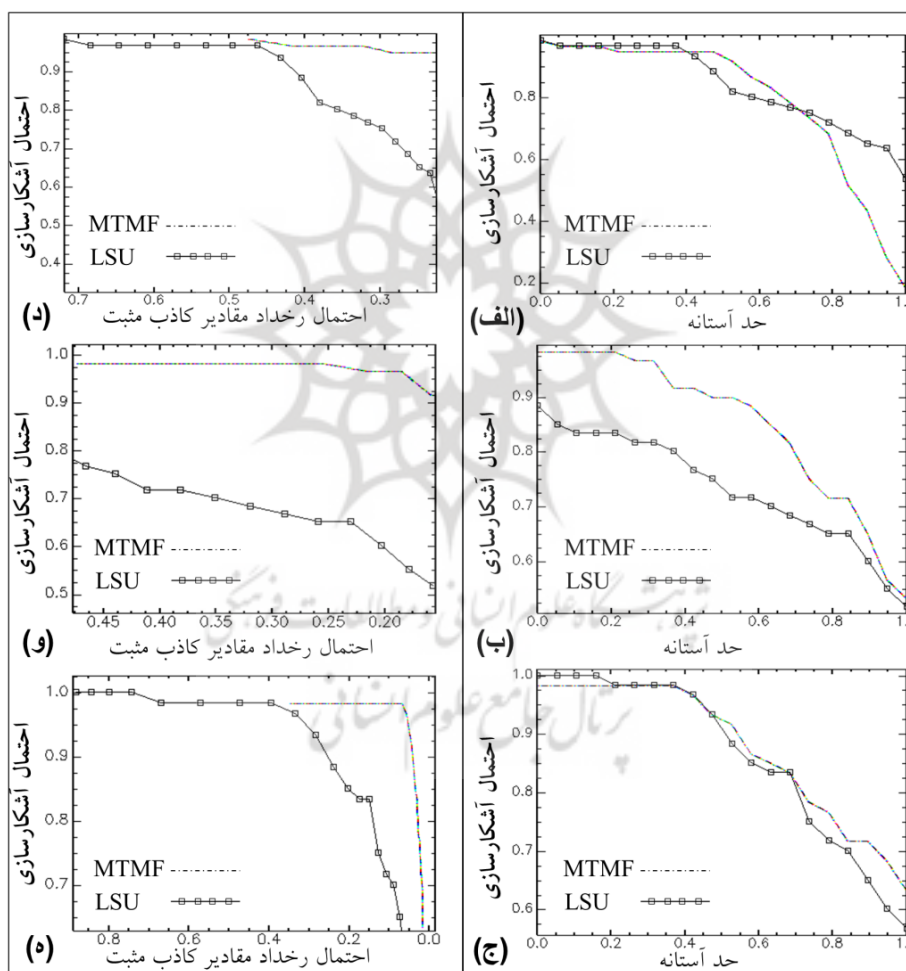
برای بررسی نحوه‌ی عملکرد روش MTMF نسبت به روش LSU، از نمونه‌های واقعیت زمینی (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-الف) استفاده شده است. این ارزیابی از سه طریق انجام گرفت.

(۱) در گام اول از محاسبه‌ی ماتریس خطا برای سه واحد دگرسانی استفاده شد که مقدار ۷۷/۷۷ درصد دقت کل برای روش MTMF به دست آمد. این درحالی است که روش LSU دقت ۵۷/۰۶ درصد را ارائه کرد، نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی نشان دادند که بخش مرکزی کالدرای دارای دگرسانی شدید است. در این بخش هر دو روش LSU و MTMF نتیجه‌ی مطلوبی ارائه کرده‌اند، البته میزان دقت به دست آمده در منطقه‌ی مرکزی کالدرای برای روش MTMF بیشتر از روش LSU است. اما در دو بخش دیگر دگرسانی، شامل دگرسانی ضعیف و متوسط، روش LSU پیکسل‌های بیشتری را به این دو کلاس اختصاص داده است و در واقع در این دو مورد بسیار ضعیف‌تر از روش MTMF عمل کرده است که دلیل اصلی آن در ساختار MT است که تفکیک مقادیر مثبت را امکان‌پذیر می‌کند و از طبقه‌بندی شدن اشتباه پیکسل‌ها و اختصاص پیکسل‌هایی با مقادیر مثبت بالا به هر یک از کلاس‌ها، جلوگیری می‌کند، در حالی که روش LSU چنین قابلیت را ندارد.

(۲) سپس در گام بعدی از مقدار ضریب کاپا برای ارزیابی نتایج استفاده شد که روش MTMF مقدار ۰/۶۷۵۷ و روش LSU مقدار ۰/۴۴۵۶ را نشان داد که حاکی از برتری مجدد روش MTMF در آشکارسازی سه ناحیه‌ی دگرسانی

است. از آنجایی که این روش، همبستگی میان پیکسل‌های هر کلاس را مبنای محاسبه و مقایسه قرار می‌دهد، می‌توان دریافت در تصویر خروجی روش MTMF، مقادیر پیکسل‌های هر کلاس، همبستگی بالاتری نسبت به هم داشته‌اند. در حقیقت ساختار کووریانس مبنای این روش، عامل تأثیرگذار در این زمینه بوده است؛ چراکه روش‌های کووریانس مینا، در برآورد مقدار فراوانی برای هر پیکسل، همبستگی آنها را نیز در نظر می‌گیرند؛ در حالی که روش LSU تنها به ارتباط خطی میان پیکسل هدف و غیر هدف می‌پردازد که همین امر باعث ضعیف‌تر بودن عملکرد آن نسبت به روش MTMF شده است.

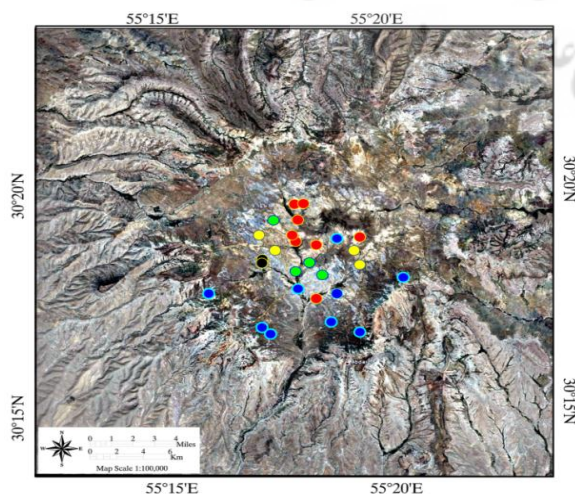
(۳) برای ارزیابی وضعیت مقادیر کاذب مثبت و نحوه عملکرد روش‌های مورد استفاده، به‌زای مقادیر مختلف حد آستانه و آشکارسازی، از نمودار ROC استفاده شده است (شکل شماره ۶).



شکل ۶. الف) میزان احتمال آشکارسازی در حد آستانه‌های مختلف برای روش‌های MTMF و LSU، در کلاس آندزیت‌های با دگرسانی ضعیف؛ ب) میزان احتمال آشکارسازی در حد آستانه‌های مختلف برای دو روش مذکور، در کلاس آندزیت و گرانودیوریت نیمه‌دگرسان؛ ج) میزان احتمال آشکارسازی در حد آستانه‌های مختلف برای دو روش، در کلاس دگرسانی رسی و سریسیتی شدید؛ د) مقادیر کاذب مثبت تولید شده توسط دو روش آشکارسازی در حد آستانه‌های مختلف در کلاس آندزیت‌های با دگرسانی ضعیف؛ و) مقادیر کاذب مثبت تولید شده توسط دو روش آشکارسازی در حد آستانه‌های مختلف در کلاس آندزیت و گرانودیوریت نیمه‌دگرسان و ه) مقادیر کاذب مثبت تولید شده توسط دو روش آشکارسازی در حد آستانه‌های مختلف در کلاس دگرسانی رسی و سریسیتی شدید.

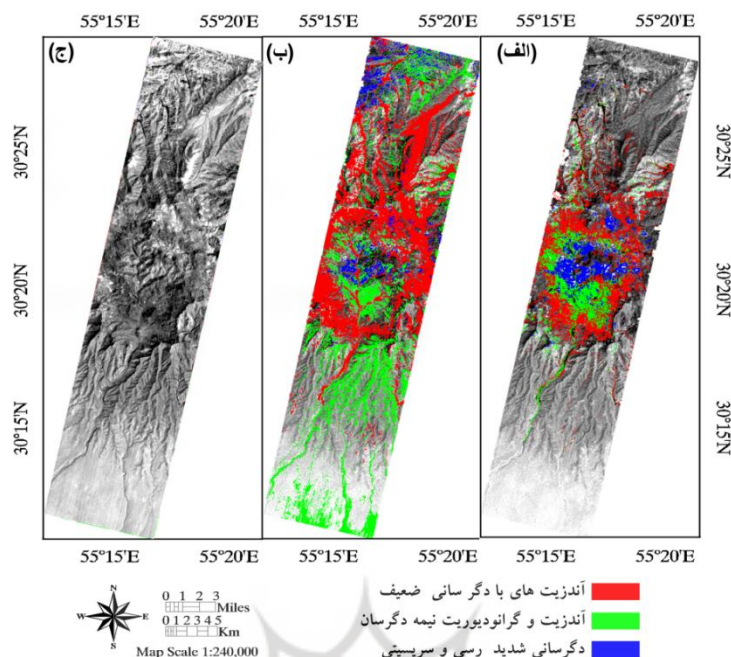
نمودار شکل (۶-ج) نشان می‌دهد که هر دو روش MTMF و LSU در حد آستانه‌های مختلف، نتیجه‌ی طبقه‌بندی نزدیک به هم تولید کرده‌اند، البته روش MTMF تا حدودی بهتر عمل کرده است. مقایسه‌ی این نمودار با نمودارهای شکل (۶-ب) و (۶-الف) نشان می‌دهد که در ناحیه‌ی دگرسانی شدید رسی و سرسیتی، نتایج هر دو روش نزدیک به هم بوده است؛ ولی در دو ناحیه‌ی نیمه‌دگرسان و دگرسانی ضعیف (شکل ۶-الف و ۶-ب)، روش MTMF برتری زیادی نسبت به روش LSU داشته است که تأیید کننده‌ی بهتر بودن نتایج روش MTMF از نظر مقدار دقت کل و ضریب کاپای ارائه‌شده در بندهای (۱) و (۲) است. شکل‌های شماره‌ی ۷ و ۸ نیز به خوبی این وجه تمایز را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در شکل شماره‌ی ۸ مشخص است، ناحیه‌ی دگرسانی شدید (بخش مرکزی کالدر) در هر دو روش، کمابیش مشابه هم است؛ اما در دو ناحیه‌ی دیگر نتایج بسیار متفاوت است. همچنین شکل (۶-د)، (۶-و) و (۶-ه) به بررسی وضعیت مقادیر کاذب مثبت می‌پردازد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ناحیه‌ی دگرسانی متوسط، بیشترین اختلاف در تولید مقادیر کاذب مثبت را برای دو روش دارد. از سویی در میان سه ناحیه‌ی دگرسان، این بخش بیشترین تفاوت طبقه‌بندی را در دو روش داشته است. در این کلاس، روش LSU بیشترین خطا را داشته است که ناشی از مقادیر کاذب مثبت بیشتر در آن است. در حقیقت ساختار خطی این روش و عدم وجود بخش کاهش‌دهنده‌ی مقادیر کاذب در آن، باعث ضعف آن شده است.

به‌طور کلی در شکل شماره‌ی ۶، هرچه ارزش‌های بالاتر احتمال آشکارسازی در مقادیر کاذب مثبت و حد آستانه پایین‌تر رخ دهد، بیانگر کیفیت بالاتر روش طبقه‌بندی است؛ چرا که توانسته است با مقادیر کمتر حد آستانه، به آشکارسازی هدف نزدیک‌تر شود و در عین حال، مقادیر کاذب مثبت کمتری تولید کند. همان‌گونه که شکل (۶-الف و ب) نشان می‌دهد، این روند در روش MTMF بهتر از روش LSU به‌دست آمده است و در حقیقت در هر سه نمونه‌ی دگرسانی، روش MTMF مقادیر کاذب کمتری تولید کرده و در آشکارسازی هدف بهتر عمل کرده است. نتایج طبقه‌بندی در شکل شماره‌ی ۸ مشاهده می‌شود.



- دگرسانی شدید (عدتا رسی) سنگهای آندزیتی و گرانودیوریتی
- دگرسانی رسی و سرسیتی
- آندزیت و گرانودیوریت نیمه دگرسان
- آندزیت های با دگرسانی ضعیف
- آندزیت

شکل ۷. نمایش نمونه‌های زمینی از نواحی دگرسان در منطقه‌ی آتشفشان مزاحم (بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱-الف)



شکل ۸. الف) تصویر طبقه‌بندی شده با روش MTMF؛ ب) تصویر طبقه‌بندی شده با روش LSU برای سه ناحیه‌ی دگرسانی در منطقه‌ی آتشفشان مزاحم شهر بابک و ج) تصویر قبل از اصلاحات و طبقه‌بندی از باند ۳+۲۲ نانومتری سنجنده هایپریون

همان‌طور که شکل شماره‌ی ۸-الف نشان می‌دهد، عمده‌ی دگرسانی شدید در منطقه‌ی آتشفشان مزاحم، در بخش مرکزی آن رخ داده است و بخش بیرونی آن با ناحیه‌ی نیمه‌دگرسان آندزیتی و گرانودیوریتی احاطه شده است. دیواره‌های آتشفشان نیز به‌طور عمده مربوط به دگرسانی ضعیف است. این موارد، نتایج مشاهده‌های زمینی (شکل شماره‌ی ۷) را تأیید کرده و کارایی مناسب روش MTMF در چارچوب فلوچارت ارائه‌شده را یادآور می‌شود.

## بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد مقادیر کاذب مثبت، نقش مؤثری در بهبود یا عدم بهبود دقت طبقه‌بندی در آشکارسازی واحدهای دگرسانی ایفا می‌کنند و حذف آنها می‌تواند به ادامه‌ی روند طبقه‌بندی کمک شایانی کند (شکل‌های ۶-د، ۶-و، ۶-ه). روش MTMF نیز به‌دلیل دارا بودن بخش MT، می‌تواند این عامل را در نظر بگیرد، در حالی که روش‌های رایج آشکارسازی اهداف در سطح زیر پیکسل، مانند LSU، این قابلیت را ندارند. همچنین روش مورد استفاده در این پژوهش به‌دلیل داشتن بخش MT و کاهش خطای حاصل از مقادیر کاذب مثبت نسبت به روش MF که توسط خالقی و رنجبر<sup>۱</sup> (۲۰۱۱: ۱۰) در همین زمینه استفاده شده بود، می‌تواند عملکرد بهتری در آشکارسازی آلتراسیون‌ها داشته باشد. نتایج طبقه‌بندی نشان دادند که در منطقه‌ی آتشفشان مزاحم شهر بابک، بخش شدید دگرسانی در ناحیه‌ی مرکزی آتشفشان قرار گرفته است (شکل ۸-الف) و تصاویر هایپریون قابلیت آشکارسازی شدت دگرسانی‌ها را دارند.

## منابع

- احمدی پور، محمد. ۱۳۷۲. بررسی دینامیزم آتشفشان مساحیم، پایان‌نامه‌ی دکتر، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- امینیان، علیرضا. ۱۳۸۸. ژئوشیمی و پتروژنز منطقه‌ی آبدر، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- بهرام بیگی، بهرام؛ رنجبر، حجت‌ا...؛ شهاب‌پور، جمشید. ۱۳۹۱- ب. مقایسه‌ی روش‌های داده پایه و طیف مبنا برای نقشه‌برداری از مناطق دارای کائولینیت در آتشفشان مساحیم با استفاده از داده‌های هایپریون. مجله‌ی زمین‌شناسی اقتصادی، شماره‌ی ۲، صص. ۲۱۵-۱۹۹.
- بهرام بیگی، بهرام؛ رنجبر، حجت‌ا...؛ شهاب‌پور، جمشید. ۱۳۹۱- الف. بررسی قابلیت‌های سنجنده‌ی هایپریون در اکتشاف کانسارهای فلزی و غیر فلزی در منطقه‌ی آبدر، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- بیران وندپور، امین؛ هشیم، مازلان. ۱۳۹۰. نقشه‌برداری زمین‌شناختی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای EO-1 در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی ایران. مجله‌ی بین‌المللی علوم فیزیکی، جلد ۶، شماره‌ی ۳۳، صص. ۷۶۵۰-۷۶۳۸.
- تنگستانی، مجید؛ مور، فرد. ۱۳۸۱. تهیه‌ی نقشه‌ی دگرسانی مس پروفیری در ناحیه‌ی میدوک، ایران، مجله‌ی بین‌المللی سنجش از دور، جلد ۲۳، شماره‌ی ۲۲، صص. ۴۸۲۵-۴۸۱۵.
- حسین جانی، مهدیه؛ تنگستانی، مجید. ۱۳۹۱. نقشه‌برداری کانی‌های دگرسان با استفاده از روش زیر پیکسل و داده‌های ASTER در ناحیه‌ی سردوئیه، جنوب شرقی کرمان، ایران. مجله‌ی بین‌المللی زمین دیجیتال، جلد ۴، شماره‌ی ۶، صص. ۴۸۷-۵۰۴.
- خالقی، محمد؛ رنجبر، حجت‌ا... ۱۳۹۱. تهیه‌ی نقشه‌ی دگرسانی‌ها برای بررسی کانی‌سازی مس پروفیری در ناحیه‌ی سردوئیه، استان کرمان، ایران، با استفاده از داده‌های SWIR سنجنده ASTER. مجله‌ی علوم کاربردی و مبنایی استرالیا، جلد ۲۲، شماره‌ی ۳، صص. ۱۸-۱.
- گودرزی مهر، سعید؛ علوی‌پناه، سیدکاظم؛ درویشی بلورانی، علی. ۱۳۹۱. آشکارسازی عوارض در سطح زیر پیکسل با استفاده از تصاویر ابرطیفی، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- هنرمند، مهدی؛ رنجبر، حجت‌ا...؛ شهاب‌پور، جمشید. ۱۳۹۰. کاربرد تحلیل‌های طیفی برای نقشه‌برداری دگرسانی‌های هیدروترمال در بخش شمال غربی زون مایی سنوزوئیک کرمان. مجله‌ی علوم، جمهوری اسلامی ایران، جلد ۲۲، شماره‌ی ۳، صص. ۴۷۹-۴۸۲.
- Aminian, E.R., **Geochemical and Petrogenesis of Abdar Area**, 2010, Master Thesis, Geology Department of Shahid Bahonar, University of Kerman.
- Ahmadipur, M., 2002, **Investigating of Dynamics of Mozahem Volcanic**, Ph.D. Thesis, Faculty of Geology, University of Kerman Bahonar.

- Amer, R., Kusky, T., Mezayen, A.R., 2012, **Remote Sensing Detection of Gold Related Alteration Zones in Um Rus Area, Central Eastern Desert of Egypt**, *Advances in Space Research*, Vol. 49, PP. 121-134.
- Bahram Beigi, B., Ranjbar, H.A., Shahab Pour, J., 2012b, **Comparison of Spectral Base and Pixel Base Methods for Mapping the Kaolinite Areas in Mozahem Volcano with Use of Hyperion Images**, *Journal of Economic Geology*, Vol. 4, No. 2, PP. 199-215.
- Bahram Beigi, B., Ranjbar, H.A., Shahab Pour, J. 2012a. **Exploration of Hyperion Capability in Metallic and Non-metallic Minerals Detection of Abdar Area**, Master Thesis, Faculty of Geology in Shahid Bahonar University, Kerman.
- Beck, R., 2001, **EO-1 Hyperion Science Data User's Guide**, TRW Space, Defense & Information Systems, NO. HYP.TO.01.077, PP. 1-60.
- Beiranvand Pour, A., Hashim, M., 2011, **The Earth Observing-1 (EO-1) Satellite Data for Geological Mapping, Southeastern Segment of the Central Iranian Volcanic Belt, Iran**, *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 6, No. 33, PP. 7638 -7650.
- Ben-Dor, E., Kruse, F.A., 1994, **the Relationship between the Size of Spatial Subsets of GER 63 Channel Scanner Data and the Quality of the Internal Average Relative Reflectance (IARR) Correction Technique**, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, No. 3, PP. 683-690.
- Boardman, J. W., Kruse, F. A., 2011, **Analysis of Imaging Spectrometer Data Using N-Dimensional Geometry and a Mixture-Tuned Matched Filtering Approach**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 49, No. 11, PP. 4138-4152.
- Boardman, J.W., 1998, **Leveraging the High Dimensionality of AVIRIS data for Improved Sub-pixel Target Unmixing and Rejection of False Positives: Mixture Tuned Matched Filtering**, *Summaries of the Seventh Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, Pasadena, CA., P. 55.
- Datt, B., McVicar, T.R., Van Niel, T.G., Jupp, D.L.B., Pearlman, J.S., 2003, **Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 6, PP. 1246-1259.
- Ellis, R.J. and Scott, P.W., 2004, **Evaluation of Hyperspectral Remote Sensing as a Means of Environmental Monitoring in the St Austell China Clay (Kaolin) Region, Cornwall, UK**, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 93, No. 1-2, PP. 118-130.
- Fauvel, M., Chanussot, J., and Benediktsson, J.A., 2006, **Decision Fusion for the Classification of Urban Remote Sensing Images**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 44, PP. 2828-2838.
- Gabr, S., Ghulam, A., and Kusky, T., 2010, **Detecting Areas of High-potential Gold Mineralization Using ASTER Data**, *Ore Geology Reviews*, Vol. 38, PP. 59-69.
- Gersman, R., Ben-Dor, E., Beyth, M., Avigad, D., Abraha, M., Kibreba, A., 2008, **Mapping of Hydrothermally Altered Rocks by the EO-1 Hyperion Sensor, Northern Danakil, Eritrea**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 29, No. 13, PP. 3911-3936.
- Goodarzi Mehr, S., Alavipanah, S.K., Darvishi Bolorani, A., 2012. **Subpixel Target Detection with Use of Hyperspectral Images**, Master Thesis, University of Tehran, Iran.



- Ghulam, A., Amer, R., 2010, **Mineral Exploration Zone Mapping in Estern Desert of Egypt Using ASTER Data**, ASPRS Annual Conference, San Diego, PP.26-30.
- Goodenough, D.G., Dyk, A., Niemann, K.O., Pearlman, J.S., Hao Chen, Han, T., Murdoch, M., West, C., 2003, **Processing Hyperion and ALI for Forest Classification**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, No. 6, PP. 1321- 1331.
- Green, R.O., Pavri, B.E., Chrien, T.G., 2003, **On-orbit Radiometric and Spectral Calibration Characteristics of EO-1 Hyperion Derived with an under Flight of AVIRIS and in Situ Measurements at Salar De Arizaro, Argentina**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, PP. 1194-1203.
- Honarmand, M., Ranjbar, H., Shahabpour, J., 2011, **Application of Spectral Analysis in Mapping Hydrothermal Alteration of the Northwestern Part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Iran**, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, Vol. 22, No. 3, PP. 221-238.
- Hosseinjani, M., Tangestani, M.H., 2011, **Mapping Alteration Minerals Using Subpixel Unmixing of ASTER Data in the Sarduiyeh Area, SE Kerman, Iran**, International Journal of Digital Earth, Vol. 4, No. 6, PP. 487-504.
- Jensen, J.R., 2005, **Remote Sensing of Environment and Earth Resources Perspective**, Second Edition, University of South Carolina.
- Khaleghi, M., Ranjbar, H., 2011, **Alteration Mapping for Exploration of Porphyry Copper Mineralization in the Sarduiyeh Area, Kerman Province, Iran, Using ASTER SWIR Data**, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 22, No. 3, PP. 1-18.
- Khurshid, K.S., Staenz, K., Sun, L., Neville, R., White, H.P., and Bannari, A. 2006, **Preprocessing of EO-1 Hyperion Data**, Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 32, No. 2, PP. 84-97.
- Kruse, F.A., 1988, **Use of Airborne Imaging Spectrometer Data to Map Minerals Associated with Hydrothermally Altered Rocks in the Northern Grapevine Mountains, Nevada and California**, Remote Sensing of Environment, Vol. 24, No. 1, PP. 31-51.
- Kruse, F.A., 2012, **Mapping Surface Mineralogy Using Imaging Spectrometry**, Geomorphology Journal, No.137, PP. 41-56.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W., and Huntington, J. F., 2003, **Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO-1 Hyperion for Mineral Mapping**, IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, Vol. 41, No. 6, PP.1388-1400.
- Leverington, D.W., 2008, **Discrimination of Geological End Members Using Hyperion Imagery: Preliminary Results, Big Bend National Park, Texas**, IEEE International Geosciences and Remote Sensing Symposium, PP. 1266-1269.
- Mezned, N., Abdeljaoued, S., and Boussema, M.R., 2009, **Unmixing Based Landsat ETM+, and ASTER Image Fusion for Hybrid Multispectral Image Analysis**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Geoinform.
- Ministry of Economy Geological Survey of Iran, 1972, **Geological Map of Shahr-e-babak**. 1:100000.

- Mundt, J.T., Streutker, D.R., Glenn, N.F., 2007, **Partial Unmixing of Hyperspectral Imagery: Theory and Methods**, ASPRS Annual Conference Tampa, Florida.
- Petrovic, A., Khan, S.D., Thurmond, A.K., 2012, **Integrated Hyperspectral Remote Sensing, Geochemical and Isotopic Studies for Understanding Hydrocarbon-induced Rock Alterations**, Marine and Petroleum Geology, Vol. 35, PP. 292-308.
- Prihantarto, W.A., Nugroho, Y.A., Wicaksono, P., Barianto, B.H. 2012, **Soil Prime Minerals Mapping Using Linear Spectral Unmixing Technique in Multispectral Imagery Data**, Japan Geosciences Union Meeting.
- Qiu, F., Abdelsalam, M., and Thakka, P., 2006, **Spectral Analysis of ASTER Data Covering Part of the Neoproterozoic Allaqi-Heiani Suture, Southern Egypt**, Journal of African Earth Sciences, Vol. 44, PP. 169-180.
- Roberts, D.A., Yamaguchi, Y., Lyon, R., 1986, **Comparison of Various Techniques for Calibration of AIS Data, in Proceedings of the 2nd Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop**, Jet Propulsion Lab, Pasadena, CA.
- San, T. and Süzen, M.L., 2011, **Evaluation of Cross-track Illumination in EO-1 Hyperion Image for Lithological Mapping**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 32, PP. 7873-7889.
- Sarup, J., 2011, **Comparison of QUAC and FLAASH Atmospheric Correction Modules on EO-1 Hyperion Data of Sanchi**, International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, Vol. 4, No. 1, PP. 178-186.
- Staez, K., Nadeau, C., Secker, J., and Budkewitsch, P., 2000, **Spectral Unmixing Applied to Vegetated Environments in the Canadian Arctic for Mineral Mapping**, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS Publication, Vol. XXXIII, Part B7. Amsterdam .
- Tangestani, M., Moore, F., 2002, **Prophyry Copper Alteration Mapping at the Meiduck Area, Iran**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 23, No.22, PP. 4815-4825.
- United States Geological Survey (USGS), 2012, Online Spectral Library (presented in <http://speclab.cr.usgs.gov>)
- Zhang, X., Pazner, M., and Duke, N., 2007, **Lithologic and Mineral Information Extraction for Gold Exploration Using ASTER Data in the South Chocolate Mountains (California)**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 62, PP. 271-282.

*Alteration Mapping Based on Mixture Tuned Matched Filtering Method  
and with Use of Spectral Images*

**Goodarzimehr S.\***

M.A. Graduate in RS & GIS, Faculty of Geography, University of Tehran

**Alavipanah S. K.**

Prof. of Remote Sensing and GIS, University of Tehran

**Darvishi Bloorani A.**

Assistant Prof. of Remote Sensing and GIS, University of Tehra

Received: 29/12/2012

Accepted: 13/04/2013

**Extended Abstract**

**Introduction**

Hyperspectral satellite imagery like Hyperion implies collecting data from large number of spectral bands. Therefore, they can be used for some applications that cannot be executed by multispectral satellite images. The advantage of higher spectral resolution is accompanied by the weakness of lower spatial resolution for some applications. Consequently, we are always facing with mixed pixels, i.e. mixed, or a mixture of spectral responses of background and several objects (Fauvel et al., 2006). Sub-pixel target detection methods are able to identify the percentage and location of objects in a mixed pixel. Accordingly, more attention has been paid to them compared to the classification procedures. In recent years, due to some shortages in pixel-based classification methods, the number of methods and publications in sub-pixel target detection have been increased, especially for mineral mapping and alteration in geological units (Kruse et al., 2003; Ellis and Scott, 2004; Qiu et al., 2006; Zhang et al., 2007; Mezned et al., 2009; Gabr et al., 2010; Hosseinjani and Tangestani, 2011; Kruse, 2012). Some studies show the superiority of sub-pixel over pixel-base methods for these fields of applications. Kruse, et al., (2013) compared mineral maps obtained from airborne hyperspectral with space borne EO-1/Hyperion using Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF), Minimum Noise Fraction (MNF) and N-dimensional visualization, in Nevada and Wissy valley. Hosseinjani and

Tangestani (2011) used ASTER data by LSU and MTMF methods. They classified three different groups of alterations, including Perilofiet- Aloniet, Serisit- Caleouniet, Clorit-Calsit-Ipidot. In this work, after prerequisite stages of image pre-processing for Hyperion images, MTMF method was utilized for determining mineral alteration in Mozahem-Babak city (volcanic area).

### **Methodology**

Mozahem volcano area is one of the greatest Caldera in Iran which is located between  $55^{\circ}16'0''$ E to  $55^{\circ}22'0''$  longitude and  $30^{\circ}15'0''$ N to  $30^{\circ}21'0''$ N latitude. Lithological studies were conducted by field measurements and laboratory analysis. The mineralogical studies, X-Ray Diffraction (XRD) test and spectroscopy on various samples from the study area were also carried out. The obtained results in combination with geochemical studies indicate that there are three types of alterations rocks in the central parts of the Caldera; weak altered, semi altered and intense altered. After pre-processing the satellite data using MRNF transformation the optimal bands were selected. The Matched Filtering (MF) values computed training data that were obtained from field studies. Using the earlier results, the MT values were evaluated. The data cloud of MF Score and Infeasibility value were adopted as threshold. Consequently, the classification of these units was produced by images. The final results were compared with Linear Spectral Unmixing method to assess the accuracy of the classification performed.

### **Results and Discussion**

The results of MTMF showed that the main part of intense alteration has been located in the central part of the Mozahem Caldera. The surrounding area also belongs to the alterations with lower intensity. After calculating the confusion matrix from classification of three alteration areas, the accuracy of 77.7 % and Kappa coefficient of 0.6757 was obtained for MTMF method while the accuracy of LSU was 57.6% and its Kappa coefficient was 0.4456. Also the ROC curve evaluation showed that the better performance of MTMF method compared to LSU method.

### **Conclusion**

The results of this study show that for discriminating the alteration units, sub-pixel target detection procedure is more powerful than pixel-based techniques of classification. On the basis of the mechanism of MTMF, MT part could offer classification results with higher accuracy for decreasing the false positive. The MT part is considerably stronger than conventional methods for detection in sub-pixel level as LSU. Also, due to the MT part and reduction of false positive alarms in the structure of MTMF method, the performance was better than the MF method used by Khaleghi and Ranjbar (2010). Therefore, the presented method in this paper can do better in detecting alterations.

**Keywords:** *Hyperspectral Remote Sensing, Alteration Mapping, MTMF, Hyperion.*