

ترکیب آشکارسازها در تهیه نقشه از کانی‌های دگرسان گرمابی (مطالعه موردی: گناباد)

سحر دهنوی^۱، یاسر مقصودی^{۲*}، محمدجواد ولدان‌زوج^۳ و علی بیاتانی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۳ دانشیار، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۴ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ژئوماتیک، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۲

چکیده

شناسایی اهداف معدنی و تفکیک پهنه‌های دگرسانی با استفاده از روش‌های سنجش از دور موضوعی است که طی سالیان متمادی، مورد مطالعه شمار بالایی از پژوهشگران قرار گرفته است. شناسایی بسیاری از نمونه‌های معدنی با استفاده از الگوریتم‌های در سطح پیکسل ممکن نیست. با روی کار آمدن تصاویر ابرطیفی، مسئله حل ابهام آمیختگی طیفی در پیکسل‌های مخلوط و دست‌یابی به دقت‌های جزء پیکسل مطرح شد. بنابراین روش‌های آشکارسازی گوناگون در این حوزه گسترش یافت. از سوی دیگر، تجربیات پژوهشگران نشان داده است که استفاده از ترکیب رده‌بندی کننده‌ها یکی از روش‌های مطرح در بهبود خروجی رده‌بندی کننده‌هاست. در این کار پژوهشی از خروجی رده‌بندی شده در سطح پیکسل که حاصل از نتایج آشکارساز مختلف، برای شناسایی نمونه‌های معدنی در داده‌های سنجنده هواپرد هایمپ خاور ایران است، استفاده شده است. با توجه به اینکه آشکارسازهای مورد استفاده در مرحله اول اطلاعات را از سطح جزء پیکسل در اختیار قرار می‌دهند و رده‌بندی ترکیبی بر پایه این اطلاعات انجام می‌گیرد. انتظار می‌رود دقت آشکارسازی پایانی نسبت به هر یک از آشکارسازهای مجزا افزایش داشته باشد. نتایج حاصل از این بررسی تأیید کننده این افزایش دقت در خروجی پایانی بوده است.

کلیدواژه‌ها: ترکیب آشکارسازها، تصاویر ابرطیفی، تهیه نقشه از کانی‌های معدنی.

*نویسنده مسئول: یاسر مقصودی

E-mail: ymaghsoudi@kntu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

زمین‌شناسی اقتصادی، یکی از مسائلی است که تاکنون مورد توجه طیف گسترده‌ای از پژوهشگران و سرمایه‌گذاران قرار گرفته است. از اصلی‌ترین فعالیت‌های مورد توجه در این حوزه، اکتشاف منابع معدنی مهم بر پایه کانی‌های نمادی است. انجام مطالعات زمین‌شناسی و شناسایی مواد معدنی و نشانه‌های آن به روش‌های سنتی، یکی از مراحل زمانبر و پرهزینه در بخش پی‌جویی اولیه و شناسایی نشانه‌های معدنی در پروژه‌های اجرایی مربوطه است. استفاده از روش‌های سنجش از دور، به منظور کاهش هزینه‌های گزاف این پروژه‌ها، سال‌هاست که توسط پژوهشگران بسیاری معرفی و استفاده شده است.

تا سال ۱۹۹۰ میلادی اندازه‌گیری‌های طیف به روش‌های سنجش از دور، توسط سنجنده‌هایی با قابلیت دریافت تعداد باندهای طیفی محدود (پهن باند) انجام می‌گرفت (Sabins, 1999). از همان ابتدا پژوهشگران، روش‌های گوناگونی مانند نسبت‌های باندی (Gillepsie et al., 1987; Sabins, 1999; Madani & Emam, 2011);، گرادیان‌های طیفی (Meer et al., 2012)، تحلیل اجزای اصلی (Zhang et al., 2007)، تحلیل اجزای اصلی انتخابی (Kenea & Haenisch, 1996)، تلفیق داده‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی با داده‌های تحلیل تصویری مانند ترکیبات رنگی (Kenea & Haenisch, 1996)، تحلیل اجزای اصلی استاندارد (Kenea & Haenisch 1996)، روش‌های معمول رده‌بندی داده‌های چندطیفی مانند روش‌های بیشترین همانندی (Zhang et al., 2007) و کمترین فاصله، برش طیفی (Clark, 1999)، شاخص‌های طیفی (Yamaguchi & Naito, 2003);، و تهیه ترکیبات بینه رنگی (Clark, 1999) با به کارگیری شاخص بینه ترکیب رنگی و تصاویر ماهواره‌ای (Meer et al., 2012)، را به منظور تولید نقشه از کانی‌های مختلف مورد استفاده قرار داده‌اند. اما این دسته از روش‌ها، دارای خروجی‌هایی در سطح پیکسل بودند و گاه اطلاعاتی از ساختار سنگ‌شناسی مناطق مورد مطالعه ارائه می‌دادند (Sabins, 1999; Meer et al., 2012).

نشان داد که این داده‌ها قابلیت تفکیک گروه کانی‌ها را دارند و نمی‌توانند به صورت جزئی و خاص نوع کانی موجود در محدوده تصویربرداری خود را تشخیص دهند (Cloutis, 1996; Meer et al., 2012). علت این موضوع با توجه به مطالعات Hunt & Salisbury (1970) که نشان دادند پهنای باندهای جذبی کانی‌ها معمولاً در حدود ۲۰ تا ۴۰ نانومتر است، روشن می‌شود؛ چرا که سنجنده‌های چندطیفی قابلیت دریافت داده‌های طیفی را با گستردگی ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر دارند (Vane & Goetz, 1988). گسترش فناوری تصویربرداری ابرطیفی و دریافت داده‌های طیفی با پهنای ۱۰ نانومتر، که امکان بازسازی نشانه‌های طیفی پدیده‌ها را به خوبی کتابخانه طیفی اجسام مهیا کرده (Clark, 1999)، امکان استفاده از روش‌هایی را که بیشتر در تصاویر چندطیفی کارایی ندارند در این تصاویر فراهم آورده است و به این ترتیب حل برخی از مسائل مطرح تصاویر چندطیفی، در تصاویر ابرطیفی امکان‌پذیر است (Cloutis, 1996; Chang et al., 2009). بنابراین یکی از اهداف اصلی طراحی اولین سنجنده ابرطیفی (Airborne Imaging Spectrometer AIS)، مطالعات زمین‌شناسی و انتقال اطلاعات ارزشمند سطوح هوازده بوده است که داده‌های چندطیفی امکان ارائه‌شان را نداشتند (Vane & Goetz, 1988).

با روی کار آمدن تصاویر ابرطیفی، مسئله حل ابهام آمیختگی طیفی در پیکسل‌های مخلوط (Mixed pixels) و دست‌یابی به دقت‌های جزء پیکسل (sub-pixel) مطرح می‌شود. چرا که این دسته از تارگت‌ها دارای حد تفکیک مکانی پایین هستند و معمولاً بصری‌سازی آنها به دشواری انجام می‌گیرد. بنابراین روش‌های گسترش یافته در تصاویر ابرطیفی، تارگت-مبنا (Target-based) یا جزء پیکسل هستند. در حالی که تصاویر چندطیفی و تحلیل آنها بیشتر به صورت الگو-مبنا (Pattern-based) است و در سطح پیکسل دنبال می‌شود (Chang, 2007, Borengasser et al., 2008).

به‌طور کلی روش‌های متفاوتی از تحلیل داده‌های ابرطیفی، توسط پژوهشگران بسیار ارائه شده و به منظور آشکارسازی اهداف معدنی مورد استفاده قرار گرفته است؛ که از آن جمله می‌توان به روش‌هایی مانند باقیمانده‌های تصویری

مطالعات بیشتر در زمینه سنجنده‌های چندطیفی مانند ASTER، SPOT، و Landsat

جغرافیایی تقریبی ۳۴ درجه شمالی و ۵۸ درجه خاوری انتخاب و داده‌های ابرطیفی سنجنده هوابرد HyMap که در سال ۲۰۰۶ میلادی برداشته شده‌اند، به عنوان داده‌های مورد مطالعه برگزیده شده است.

منطقه گناباد در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار گرفته است و از دید ساختاری جزئی از پهنه لوت به شمار می‌آید. میانگین ارتفاعی در این منطقه ۱۱۸۷/۶ متر از سطح دریا و اختلاف ارتفاع منطقه برابر با ۱۶۲ متر است. واحدهای سنگی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی تراکیت، ریوداسیت، ربولیت، سنگ‌های آذررواری، توف‌های اسیدی-حدواسط و آگلومرا، توده‌های نفوذی و نیمه‌آتشفشانی با ترکیب اسیدی-حدواسط، سنگ‌های رسوبی و دگرگونی است. واحدهای آتشفشانی و توده‌های نیمه‌آتشفشانی (sub volcanic) موجود، تحت تأثیر محلول‌های گرمایی دگرسان شده‌اند. پهنه‌های دگرسانی مهم این منطقه شامل محدوده‌های سیلسی، پروپلیتیک، آرژیلیک، سرسیستیک و کوارتز-سرسیست-پیرییتی هستند که اهمیت مطالعات زمین‌شناسی را در این منطقه افزایش می‌دهند. با توجه به موقعیت بیابانی این منطقه پوشش گیاهی نیز در آن به نوعی دارای ماهیتی بیابانی است. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی منتخب و صحنه‌های تصویربرداری مربوط به هر سنجنده در شکل‌های ۱ و ۲ آمده است.

۲-۲. داده‌های تصویری مورد استفاده

سنجنده HyMap، به عنوان یکی از سنجنده‌های تجاری هوابرد ابرطیفی است که توسط Integrated Spectronics استرالیا گسترش یافته و توسط شرکت Hyvista کاراندازی شده است. به عنوان یکی از سنجنده‌های مدرن هوابرد در زمینه سنجنش از دور به شمار می‌رود. این سنجنده محدوده طیفی ۰/۴۵ تا ۲/۵ میکرومتر را در ۱۲۸ باند طیفی با پهنای باند تقریبی ۱۵ نانومتر با نسبت سیگنال به نوفه ۸۰۰، پوشش می‌دهد (Cocks et al., 1998). با توجه به اینکه باندهای شماره ۱، ۳۱ و ۳۲ از این سنجنده نوفه‌ای هستند و یا اینکه محدوده پوشش طیفی همانندی دارند، این باندها توسط شرکت Hyvista از مجموعه ۱۲۸ باند حذف شده‌اند و در کل ۱۲۵ باند طیفی در اختیار قرار گرفته است. ابعاد پیکسل زمینی این سنجنده متناسب با ارتفاع پرواز آن از سطح منطقه مورد مطالعه است. با توجه به اینکه ارتفاع پرواز از سطح این منطقه ۴۰۲۵/۸۸ متر است، ابعاد پیکسل‌های زمینی برابر با ۴/۹ متر است.

نمایی از ترکیب رنگی (R:84; G:123; B:7) تصویر این سنجنده که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت در شکل ۳ آمده است.

۲-۳. برداشت داده‌های طیفی

داده‌های طیفی نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از طیف‌سنج میدانی ASD FieldSpec@3 اندازه‌گیری شد. این دستگاه منحنی طیفی را در ناحیه مرئی-فروسرخ نزدیک (VNIR) و فرورسرخ کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کند. محدوده طیفی این دستگاه از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است. این دستگاه با زاویه میدان دید ۲۵ درجه (به صورت پیش فرض) و وزن ۵/۲ کیلوگرم توسط شرکت ASD ساخته شده است (Devices, 2007).

در این کار پژوهشی اندازه‌گیری‌های طیفی انجام شده، در میدان دید ۲۵ درجه از طیف‌سنج و به صورت نادیر تهیه شدند. با توجه به آنکه که میزان بازتابندگی ثبت شده به شدت به درستی انجام کالیبراسیون دستگاه طیف‌سنج در مرحله خوانش صفحه مرجع و بهینه‌سازی وابسته است، مرحله خوانش از صفحه مرجع و بهینه‌سازی نیز در طی انجام عملیات مرتباً تکرار شد؛ به گونه‌ای که فاصله زمانی میان خوانش صفحه مرجع و خوانش بازتابندگی تارگت مورد نظر کمتر از ۵ دقیقه به طول انجامد.

۳- روش کار

۳-۱. پیش‌پردازش‌ها

با توجه به اینکه داده مورد استفاده در این کار به صورت رادیانس طیفی در اختیار قرار

(image residuals) (Schowengerdt, 2007)، لگاریتم باقیمانده‌های تصویری (Log residuals) (Schowengerdt, 2007)، استاندارد AIG (Kurse, 2007)، لگاریتم معکوس بازتابندگی (جذب) (Gerighausen et al., 2012)، روش‌های انطباق طیفی (Meer et al., 2012)، تطابق باندهای جذبی (Clark et al., 2003)، رده‌بندی بر پایه معیارهای همانندی طیفی مانند دیورژانس اطلاعات طیفی، زاویه طیفی، دیورژانس تصویر به فضای قائم و معیارهای مبتنی بر فواصل مانند فاصله اقلیدسی، (Tchebyshev Distance) TD و (Jefferis-Matusita Distance) JMD (Chang, 2003)؛ روش‌های آماری مانند روش kriging نشانگر (Meer, 2005)، روش‌های غیرمغری زمین آمار (Meer, 1994) و روش‌های مبتنی بر آزمون نسبت همانندی تعمیم یافته (Generalized Likelihood Ratio Test) GLRT (Manolakis & Shaw 2002)، فیلترهای تطابقی ترکیبی (Clark et al., 2003)، ترکیب تحلیل‌های شکل منحنی طیفی در نواحی جذبی و استفاده از ماتریس‌های ابهام برای تصمیم‌گیری پایانی در زمینه رده داده‌ها (Heidena et al., 2007)، کدینگ باینری (رضایی، ۱۳۸۹) و کدینگ مشتقی (Chang et al., 2009)، استفاده از روش‌های ترکیب رده‌بندی‌کننده‌ها مانند روش‌های میانگین، حاصل‌ضرب، بیشینه و کمینه (مقصودی، ۱۳۸۵؛ Ponti, 2011؛ Maghsoudi, 2011) اشاره کرد.

استفاده از ترکیب آرا و دموکراسی در حل مسائل گوناگون همواره مورد توجه پژوهشگران علوم مختلف قرار گرفته است. به این ترتیب که در صورت مستقل بودن هر یک از رده‌بندی‌کننده‌ها و وجود مقدار مشخص احتمال خطا در هر یک از آنها، ترکیب رده‌بندی‌کننده‌ها دارای دقت بالاتری نسبت به هر یک از رده‌بندی‌کننده‌ها خواهد بود. از سوی دیگر روش‌های آشکارسازی اهداف که در سطح جزءپیکسل رفتار می‌کنند، هر یک بر پایه فرض‌های متفاوتی استوار و دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود هستند. یکی از راهکارهای ممکن برای بهبود نتایج حاصل از آشکارسازی و استفاده از نقاط قوت آنها، ترکیب نتایج حاصل از آشکارسازهاست (مقصودی، ۱۳۸۵).

بررسی‌های انجام شده نشان داده است که گرچه از روش‌های آشکارسازی متفاوت به منظور آشکارسازی اهداف استفاده شده است، ولی تاکنون در هیچ مطالعه‌ای از مفهوم ترکیب رده‌بندی‌کننده‌ها برای ترکیب آشکارسازهای مختلف استفاده نشده است. بنابراین در این کار پژوهشی به منظور افزایش دقت در خروجی پایانی آشکارسازها، از پیشنهاد روشی برای ترکیب نتایج آشکارسازها برای تهیه یک خروجی ترکیبی بهره برده شده است. به این معنا که خروجی ۹ آشکارساز مختلف در سطح احتمال (اطمینان) ترکیب شده‌اند. در مرحله بعد برای رده هر پیکسل بر مبنای مقادیر بیشینه احتمال تصمیم‌گیری شده است. این نوع از ترکیب آشکارسازها با توجه به این مسئله انجام گرفته است که هر یک از آنها در فضاهای متفاوتی هستند و از دید آماری مستقل فرض شده‌اند. این مسئله در بخش‌های بعدی با کلیات بیشتری بیان شده است. به طور کلی، مطالب ارائه شده در این مطالعه به ترتیب زیر دنبال شده است. در بخش دوم، به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده پرداخته شده است. در بخش سوم، کلیاتی از روش کار مورد استفاده شامل پیش‌پردازش‌های مورد نیاز، آشکارسازهای مورد نظر، روش پیشنهادی ترکیب آشکارسازها، ژئوکدینگ خروجی‌های آشکارسازی و در پایان ارزیابی نتایج پرداخته شده است. در پایان در بخش چهارم، نتایج حاصل از آشکارسازهای مختلف همراه با نتایج روش پیشنهادی ارائه شده و مورد بحث قرار گرفته است.

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

۲-۱. معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه، بنا بر نظرات متخصصان زمین‌شناس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، در استان خراسان رضوی، شهرستان گناباد، با موقعیت

آشکارساز، باید بیشترین مقدار احتمال را در میان ۱۶ باند موجود در آشکارساز مربوطه انتخاب کرد. به این ترتیب شماره باند احتمال بیشینه، نشان‌دهنده شماره تارگت مورد نظر برای آن پیکسل خواهد بود.

پس از انتخاب بیشترین احتمال مربوط به حضور هر تارگت، لازم است از میان آشکارسازهای موجود و نتایج آشکارسازی آنها برای انتخاب رده هر پیکسل استفاده کرد. پس از تولید تصویر با ۹ باند و به ابعاد تصویر اولیه، در پایان از روش رأی‌گیری اکثریت از خروجی آشکارسازهای مختلف، برای انتخاب رده هر پیکسل استفاده شد. نمای گرافیکی این روش در شکل ۵ ارائه شده است.

۳-۴. ژئوکدینگ نقشه‌ها

سنجنده‌های تصویربرداری هوابرد و اسکنرهای اپتیکی در کاربردهای سنجش از دوری، بسیار پراهمیت هستند. استحکام هندسی این سامانه‌ها از پلتفرم‌های فضابرد بسیار کمتر است. این موضوع ناشی از اعوجاجات هندسی است که در اثر تغییر مسیر حرکت پلتفرم و متغیرهای وضعیت (roll, pitch, heading) آن ایجاد می‌شود. این اثر حتی با استفاده از ابزارهای مکانیکی متعادل‌کننده (stabilizer) که با این هدف روی پلتفرم نصب می‌شوند هم قابل حذف نیست. این اعوجاجات به‌ویژه در انواع مطالعاتی که در آنها به دقت‌های در حد پیکسل و زیر پیکسل مورد نیاز است غیر قابل چشم‌پوشی است. مسئله مهم آن است که این دسته از خطاها با به کارگیری مدل‌های ترمیم پلی‌نیمال (Polynomial rectification) قابل حذف نخواهند بود (Cocks et al., 1998, Schapfer, 2011). در واقع روش‌های ژئورفرنس سنتی که بر پایه نقاط کنترل زمینی هستند، در سنجنده‌های هوابرد ناکارآمد هستند. روش‌های پلی‌نیمال سنتی که با اصطلاح "rubber-sheet" شناخته می‌شوند نیازمند تعداد زیادی نقطه‌گره‌ای هستند تا بتوانند اثر جابه‌جایی‌های موجود در پلتفرم را حذف کنند. گر چه حتی با این روش نیز داده‌های هوابرد به دقت‌های بالایی دست نمی‌یابند.

گر چه حتی استفاده از پلی‌نیمال‌های قطعه‌ای (piecewise) پتانسیل خوبی در انجام عملیات ژئورفرنس در داده‌های هوابرد ارائه می‌کند، با این حال این دسته از روش‌ها هم نمی‌توانند اعوجاجات بسامد بالای موجود در تصاویر هوابرد را حل کنند (Schapfer, 2011).

در شرکت Hyvista که مسئول سنجنده هایمپ است، از مدل هندسی سنجنده برای تعریف مدل متغری ژئوکد استفاده شده است (Cocks, 2013). بنابراین خروجی‌های ارائه شده توسط این شرکت که در قالب دو مجموعه فایل IGM و GLT هستند، اطلاعات هندسی منطقه مورد مطالعه از DEM گرفته تا موقعیت پیکسل‌های ترمیم شده را ارائه می‌کنند (Kurse, 2004, Cocks, 2013). بنابراین انتظار می‌رود تهیه نقشه از این اطلاعات هندسی، موقعیت ترمیم شده پیکسل‌ها را روی DEM منطقه ارائه کند.

۳-۵. ارزیابی

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از این پژوهش، از برداشت داده‌های میدانی در بخشی از تصویر که در منطقه مورد مطالعه قرار داشت استفاده شد. به این ترتیب که تعدادی از کانی‌ها با حضور در منطقه و ثبت مختصات GPS آنها شناسایی شدند. نمایی از نقاط برداشت زمینی در شکل ۶ نمایش داده شده است. گفتنی است که پراکندگی نقاط برداشت شده به‌صورت سیستماتیک انجام نگرفته است، بلکه با توجه به در اختیار داشتن اطلاعات جانبی از منطقه مورد مطالعه و همچنین همراهی تیم زمین‌شناس متخصص، نقاط در محل‌هایی برداشت شده است که امکان حضور نمونه‌های معدنی مورد تأیید زمین‌شناسان بوده است. برای نمونه، در مجموع در ۵۳ ناحیه از کل منطقه مطالعاتی موقعیت نمونه آلونیت ثبت شده است. از سوی دیگر، برداشت نقاط در مناطقی صورت گرفته است که نمونه‌های معدنی مورد نظر محدوده‌ای از سطح ناحیه را پوشش داده‌اند. به این ترتیب می‌توان نسبت به انتقال مختصات‌های برداشتی به سطح تصویر اطمینان حاصل کرد.

گرفته است، تنها تصحیحات رادیومتریک مورد نیاز شامل تصحیحات اتمسفری و حذف باندهای جذبی جو است. به این منظور از مدل FLAASH برای انجام تصحیح اتمسفری بهره برده شد. متغیرهای این مدل با استفاده از اطلاعات هواشناسی تهیه شده از دو ایستگاه هواشناسی گناباد و فردوس در تاریخ برداشت داده تصویری (۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۶ م.) تکمیل شد.

در این فرایند، از عملیات EFFORT polishing (Boardman, 1998) با پهنای باند ۵ نانومتر استفاده و مقدار فاصله دید افقی با توجه به اطلاعات هواشناسی موجود برابر با ۱۵ متر انتخاب شده است. باندهای جذبی با شماره باندهای ۱، ۳۴، ۳۵، ۴۵، ۵۶، ۶۱، ۶۲، ۶۸ و ۷۴ از مجموعه باندهای طیفی حذف شدند. به این ترتیب در پایان، ۱۱۶ باند طیفی بازتابندگی در اختیار قرار گرفت. همچنین با توجه به ماهیت نوفه‌ای هر نوعی از داده‌های تصویری، پیش از پیاده‌سازی بسیاری از روش‌های آشکارسازی یا رده‌بندی طیفی از روش‌های متفاوت حذف نوفه بهره گرفته می‌شود. در این کار از روش رگرسیون چندگانه (Bioucas-Dias & Nascimento, 2008) برای حذف نوفه استفاده شد.

نمایی از طیف پیکسل شماره ۱۳۱۷۸ و ۶۶ در تصویر بازتابندگی حاصل از اعمال تصحیح اتمسفری HyMap، پس از یک مرحله حذف باند جذبی اتمسفری و در پایان حذف نوفه در شکل ۴ ارائه شده است.

۳-۲. آشکارسازها

در خروجی آشکارسازهای مختلف، مقادیر احتمال حضور هر تارگت در یک پیکسل مشخص است که هدف این کار پژوهشی، ترکیب نتایج این آشکارسازها در سطح احتمال است. الگوریتم‌های آشکارسازی مورد استفاده در این کار پژوهشی در جدول ۱ به‌طور مختصر معرفی شده‌اند.

با توجه به آنچه پیش‌تر بیان شد، در صورت مستقل بودن هر یک از رده‌بندی‌کننده‌ها و وجود مقدار مشخص احتمال خطا در هر یک از آنها، ترکیب رده‌بندی‌کننده‌ها دارای دقت بالاتری نسبت به هر یک از رده‌بندی‌کننده‌ها خواهد بود. بنابراین ایده بنیادین در ترکیب روش‌های آشکارسازی از آنجایی منشأ می‌گیرد که هر یک از آنها از مفاهیم متفاوتی در بحث آشکارسازی طیفی اهداف بهره می‌برند. به‌گونه‌ای که در برخی از آنها مانند SFF تنها به موقعیت باندهای جذبی و شکل آن توجه شده است (Clark et al., 2003)، برخی دیگر مانند روش CEM راستای بردارهای پیکسلی در فضای ویژگی را بیشتر مورد توجه قرار می‌دهد (Chang 2003 & 2007) و در روش‌های دیگر همانند LSMA، طیف هر پیکسل، ترکیبی خطی از طیف اجزای سازنده آن فرض می‌شود. در نوع دیگر این روش‌ها نیز همانند روش ACE از آزمون‌های آماری برای شناسایی همانندی یک بردار پیکسلی با طیف کتابخانه طیفی بهره برده است (Chang, 2003; Schowengerdt, 2007).

در مجموع، در انواع متفاوت این روش‌ها از مفاهیمی مانند راستا و طول بردارهای پیکسلی در فضای ویژگی و همانندی‌های طیفی در فضای طیفی (شکل منحنی طیفی اهداف) استفاده شده است. بنابراین این آشکارسازها را با توجه به نوع تحلیل‌های متفاوتی که از داده‌های طیفی دارند، می‌توان مستقل دانست و ترکیب آنها یقیناً دارای اطلاعات تکمیلی خواهد بود.

۳-۳. ترکیب خروجی آشکارسازها

در مجموع ۱۶ تارگت هدف به عنوان اهداف مورد نظر در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که شامل کانی‌های آلونیت، بیوتیت، کلسیت، کلریت، دولومیت، اپیدوت، جیسیست، گوتیت، همتایت، ایلیت، جوراسیت، کائولینیت، مونت‌موریلونیت، مسکوویت، پیروفیلیت و کوارتز هستند.

خروجی هر یک از آشکارسازهای معرفی شده در بخش پیش، ۱۶ باند تصویری (برابر با تعداد اهداف مورد مطالعه) با مقادیر احتمال حضور این اهداف است. به منظور انتخاب تارگت با بیشترین احتمال حضور در یک پیکسل به ازای تنها یک

مطابق با روش‌های متداول ارزیابی آشکارسازی در داده‌های ابرطیفی، در این مطالعه نیز از منحنی ROC برای بررسی عملکرد هریک از آشکارسازها استفاده شده است. نتایج این ارزیابی نشان از آن دارد که تعمر منحنی ROC در ترکیب نتایج آشکارسازها بیشترین مقدار را داشته و به ترتیب در آشکارسازهای SFF و MTMF دارای انحنای بهتر در مقایسه با دیگر آشکارسازها بوده است. انحنای بیشتر منحنی ROC در روش ترکیب آشکارسازهای ارائه شده در این مطالعه نشان از عملکرد بهینه این روش آشکارسازی در مقایسه با خروجی تک‌تک آشکارسازها دارد. از سوی دیگر، یکی دیگر از برتری‌های روش معرفی شده در مقایسه با مطالعات پیشین آن است که افزون بر توجه به موضوع عملکرد بهتر ترکیب نتایج، به مسئله جزء پیکسلی بودن نتایج پایانی نیز توجه شده است. به بیان دیگر، در مطالعات پژوهشگران پیشین ترکیب نتایج در سطح رده‌بندی‌کننده‌ها انجام می‌گرفته است. در حالی که در این مطالعه، ترکیب در سطح احتمالات جزء پیکسلی انجام گرفته است.

در این روش، مقادیر احتمال حضور هر تارگت در مرحله اول ترکیب دخالت داده شده‌اند. به این ترتیب احتمال آشکارسازی به عنوان وزن تصمیم‌گیری وارد شده است. در مرحله بعد تارگت‌های با احتمال حضور بیشینه در هر پیکسل، بر پایه رأی‌گیری اکثریت میان آشکارسازها مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و تارگت با بیشترین رأی به عنوان تارگت معرفی شده در آن پیکسل انتخاب شده است. با توجه به اینکه ممکن است روش‌های آشکارسازی مختلف عملکردهای متفاوتی داشته باشند، می‌توان موضوع ترکیب وزن‌دار یا هوشمندانه آشکارسازها را به عنوان پیشنهادی برای مطالعات آتی در این حوزه مطرح کرد.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت سازمان زمین‌شناسی و سازمان فضایی کل کشور انجام شده است. به گونه‌ای که داده‌های هواپرد سنجنده هایمپ در شمال خاور کشور برای اولین بار در این کار مورد تحلیل‌های سنجنش از دور قرار گرفت. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری‌های ویژه گروه ژئوماتیک سازمان زمین‌شناسی کشور سپاسگزاری کنند.

آشکارسازی نمونه آلونیت اهمیت بالایی در این منطقه دارد و با توجه به همانندی طیفی آن با نمونه کائولینیت آشکارسازی آن دشوارتر از دیگر نمونه‌هاست. بنابراین در ادامه ارزیابی نتایج مبتنی بر آشکارسازی نمونه آلونیت در تک‌تک آشکارسازها و روش ترکیبی پیشنهادی، بر پایه خروجی‌های احتمالاتی و منحنی‌های ROC ارائه شده است. آشکارسازی دیگر نمونه‌ها به منظور حفظ اختصار در مقاله نمایش داده نشده است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

۴-۱. نتایج

خروجی‌های مربوط به آشکارسازی در آشکارسازهای مختلف و نتیجه ترکیب آنها در کانی آلونیت به شرح شکل ۷ حاصل شده است.

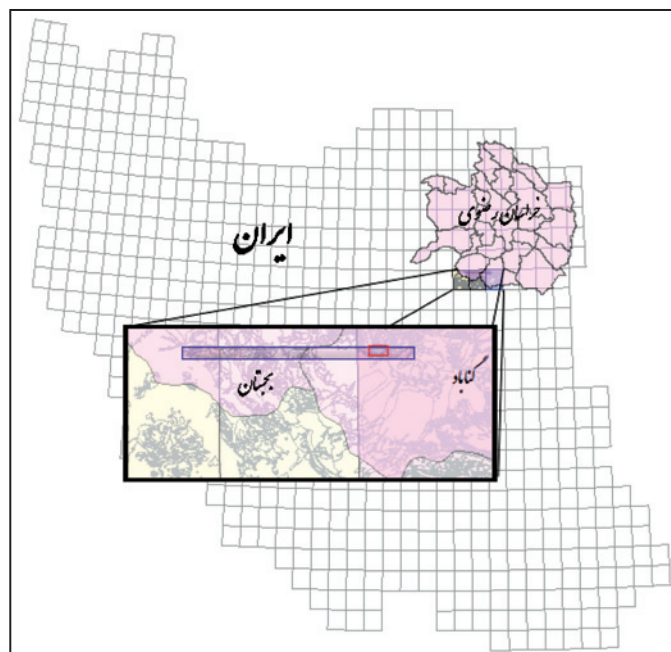
نتایج منحنی ROC در این آشکارسازی و انحنای بیشتر این منحنی در ترکیب آشکارسازها نشان‌دهنده عملکرد بهتر ترکیب‌کننده آشکارسازهاست.

۴-۲. بحث

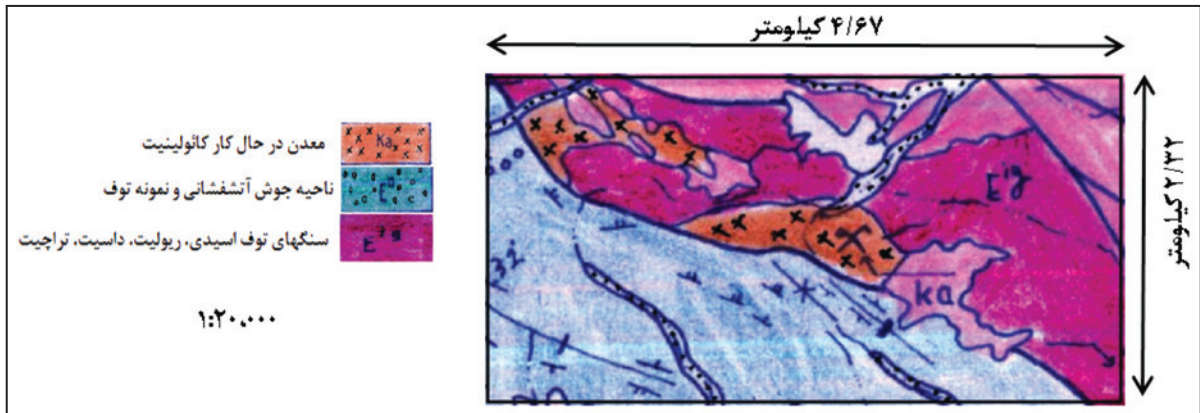
استفاده از روش‌های سنجنش از دور، به منظور کاهش هزینه‌های گزاف در انجام مطالعات زمین‌شناسی و شناسایی مواد معدنی، سال‌هاست که توسط پژوهشگران بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های مختلف آشکارسازی در سطح جزء پیکسل با مفاهیم متفاوتی ارائه می‌شوند و از انواع آنها در پژوهش متفاوت بهره برده شده است.

تجربیات پژوهشگران در روش‌های ترکیب رده‌بندی‌کننده‌ها، نشان داده است که استفاده از ترکیب آراء و دموکراسی در حل مسائل گوناگون در صورت مستقل بودن هریک از رده‌بندی‌کننده‌ها و وجود مقدار مشخص احتمال خطا در هر یک از آنها، موجب بهبود دقت در ترکیب رده‌بندی‌کننده‌ها نسبت به هریک از رده‌بندی‌کننده‌ها می‌شود.

با توجه به مستقل بودن مفهومی آشکارسازها در فضاهای متفاوت آماری، ویژگی و طیفی انتظار می‌رود ترکیب آنها نیز موجب بهبود در نتایج پایانی شود. بنابراین در این کار پژوهشی از ۹ آشکارساز مختلف برای شناسایی اهداف معدنی گرمایی متفاوت استفاده شده است و در پایان خروجی‌های حاصل به روش بیشینه در سطح اندازه‌گیری (احتمال) ترکیب شده‌اند.



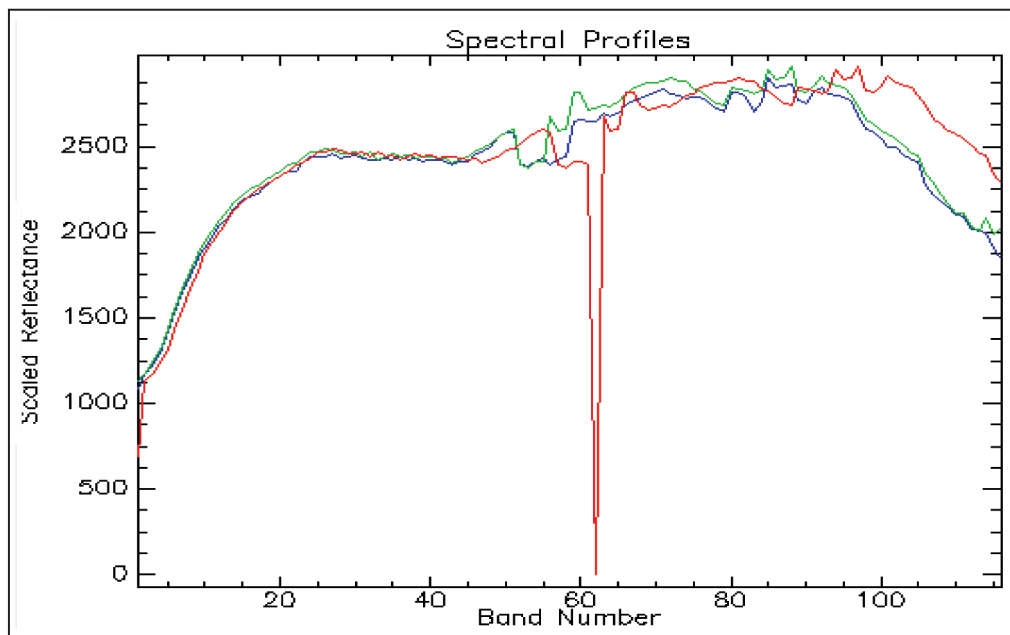
شکل ۱- نمایی از ناحیه منتخب مطالعاتی در خاور ایران. چندضلعی آبی رنگ محدوده پوشش صحنه تصویربرداری HyMap را نمایش داده و چندضلعی سرخ رنگ درونی، نشان‌دهنده محدوده مورد مطالعه است.



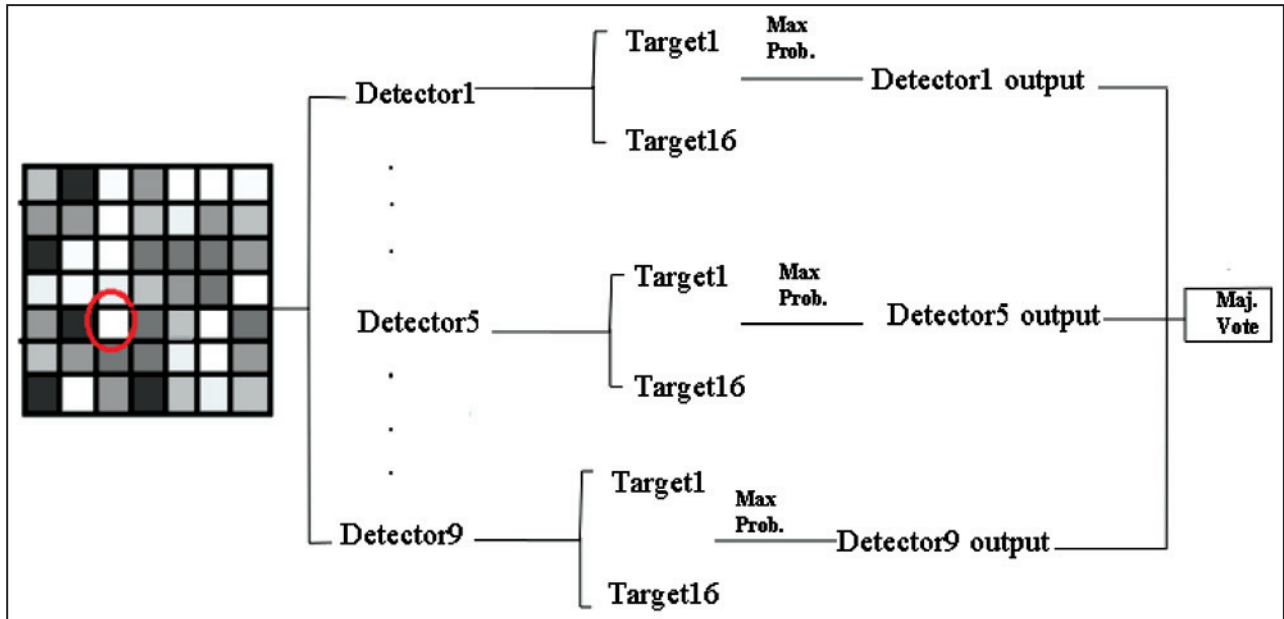
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.



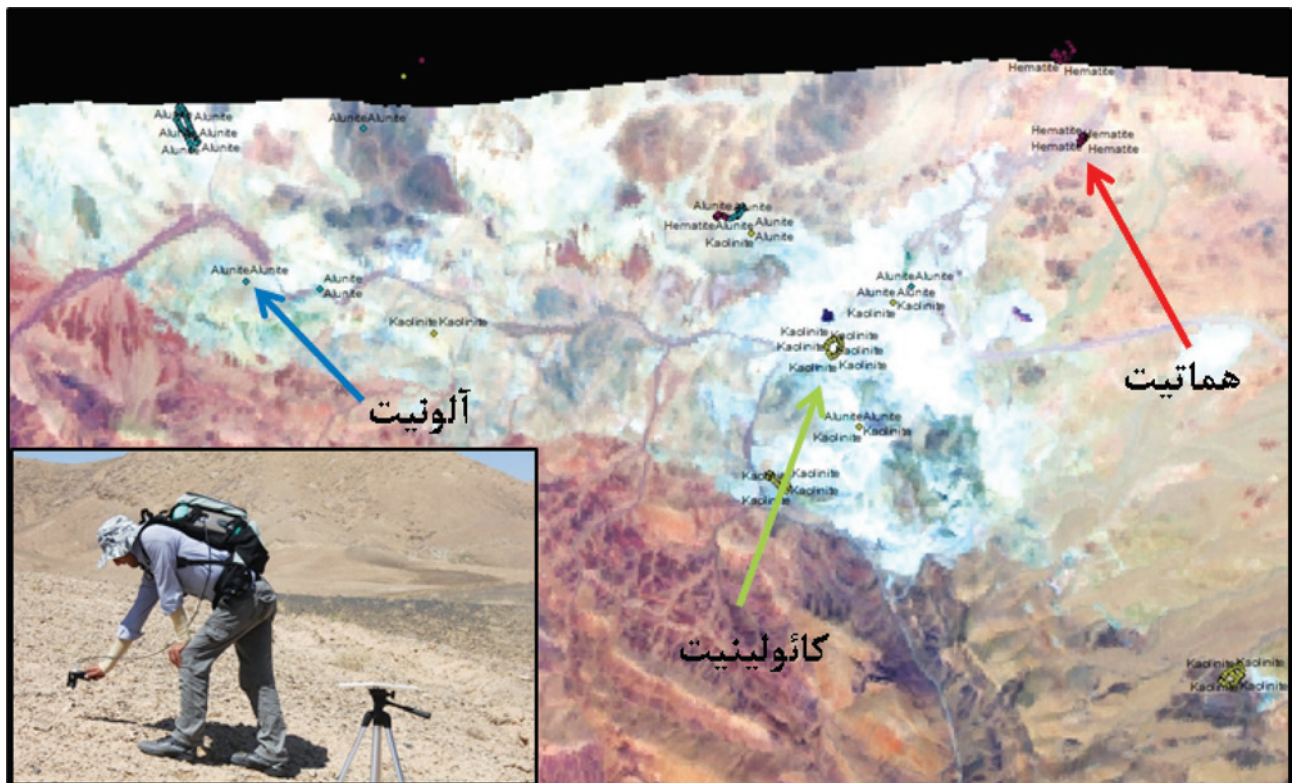
شکل ۳- تصویر ترکیب رنگی (R:84; G:123; B:7) از صحنه HyMap. (منطقه مورد مطالعه در چندضلعی سرخ رنگ نمایش داده شده است).



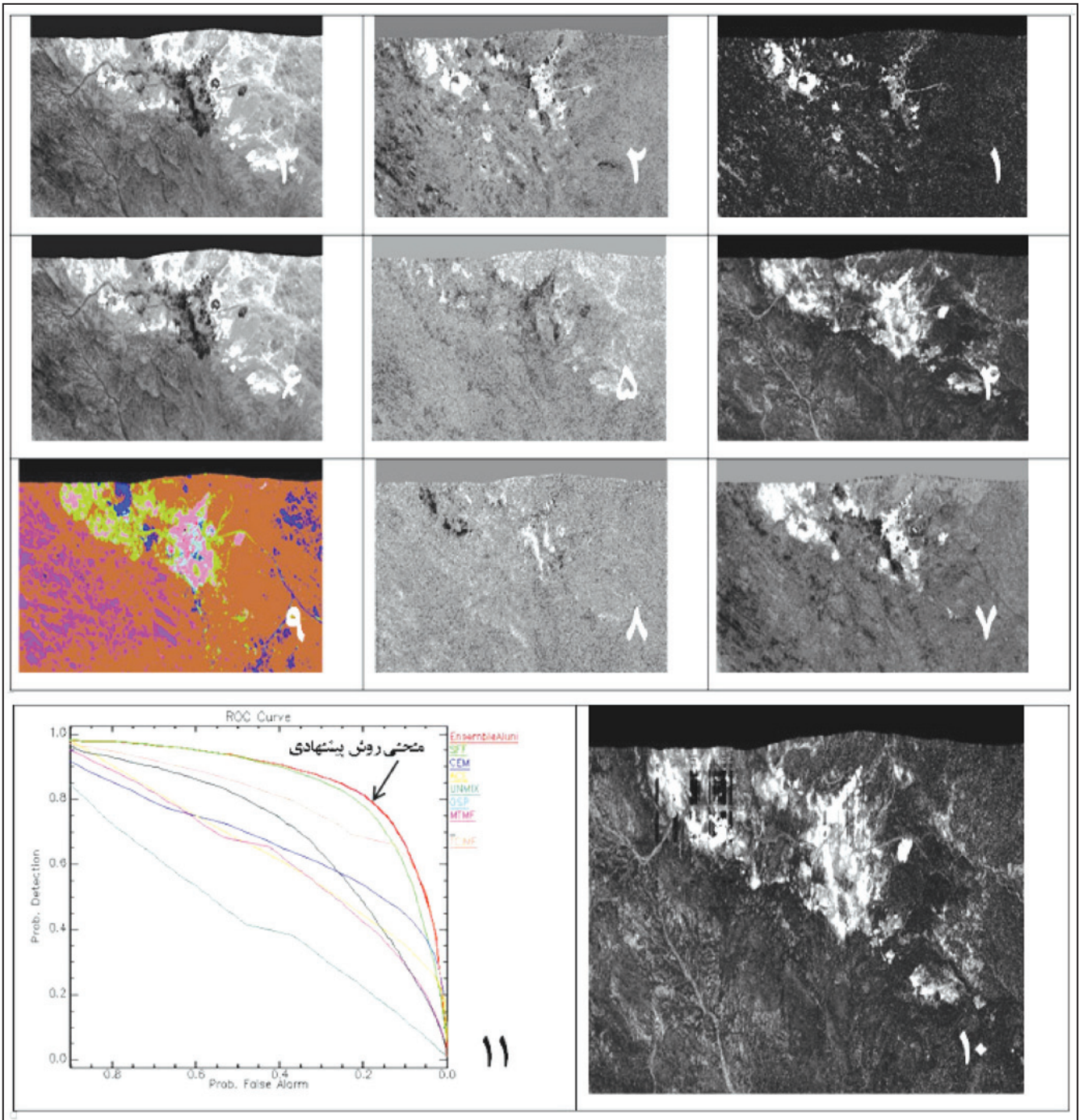
شکل ۴- نمایی از طیف بازتابندگی (سرخ)، طیف پس از حذف باندهای جذبی اتمسفری (سبز)، طیف بازتابندگی پس از اعمال عملیات حذف نوفه (آبی).



شکل ۵- نمای گرافیکی الگوریتم پیشنهادی.



شکل ۶- نمایی از نقاط برداشت ثبت شده در منطقه مورد مطالعه برای ارزیابی خروجی‌ها (ثبت اطلاعات طیف و مختصات در منطقه).



شکل ۷- نتایج آشکارسازی در ۹ آشکارساز متفاوت به ترتیب ارائه شده در جدول ۱ برای کانی آلونیت. (۱) ACE؛ (۲) CEM؛ (۳) LSMA؛ (۴) SFF؛ (۵) MSFF؛ (۶) OSP؛ (۷) TCIMF؛ (۸) MTMF؛ (۹) SAM؛ (۱۰) ترکیب آشکارسازها؛ (۱۱) منحنی ROC برای ارزیابی.

جدول ۱- معرفی الگوریتم‌های آشکارسازی مورد استفاده.

شماره	الگوریتم آشکارسازی	معرفی
۱	آشکارساز انطباقی منطقی (ACE; Adaptive Coherent estimator) (Manolakis & Shaw, 2002)	روشی مبتنی بر آزمون‌های آماری با استفاده از آزمون نسبت همانندی تعمیم یافته (GLRT) است. آشکارساز ACE از یک تابع توزیع به منظور مدل کردن پس‌زمینه استفاده می‌کند. به عبارت دیگر این روش نیازی به طیف‌های مربوط به اجزای خالص پس‌زمینه ندارد که این فرض معادل با حذف پس‌زمینه‌ی ساختاریافته است.
۲	کمینه‌ساز انرژی مقید (CEM; Constrained Energy Minimization) (Chang & Heinz, 2000)	این روش، با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به سیگنال مطلوب، بدون اینکه در مورد دیگر سیگنال‌ها، از جمله سیگنال‌های نامطلوب و مزاحم، اطلاعاتی داشته باشد، اثر آنها را کمینه می‌کند. پس این روش نسبت به روش‌های نظارت نشده دارای این برتری است که نیازی به دانش اولیه از تعداد سیگنال‌های مزاحم ندارد. در کل می‌توان CEM را روشی نیمه نظارت شده به شمار آورد که تنها از اطلاعات تارگت استفاده می‌کند و قید تعریف شده را بر جهت بردارهای پیکسلی می‌گذارد.
۳	تحلیل اختلاط طیفی خطی (LSMA; Linear Spectral Mixture Analysis) (Chang, 2007; Schowengerdt, 2007)	روش اختلاط خطی، بر پایه آشکارسازی جزء پیکسل با این فرض تئوری برقرار است که هر پیکسل شامل ترکیبی خطی از طیف بازتابندگی همه اجزای خالص درون پیکسل است. در صورتی که ارتباط خطی باشد، مقدار طیفی بیشتر، نشان‌دهنده آن است که پیکسل شامل مقدار بیشتری از مواد سازنده آن است. مدل LSMA از طول بردارهای پیکسلی برای مدلسازی طیف استفاده کرده و تصویر هر پیکسل در راستای محورهای مختصات را بیانگر فراوانی باندهای طیفی دانسته است.
۴	الگوریتم انطباق طیفی (SFF; Spectral Feature Fitting) (Clark, 1999)	در این روش آشکارسازی، طیف تصویری با اجزای خالص مرجع مورد مقایسه قرار می‌گیرد. به این روش کاربر، بازه‌ای از طول موج را در نظر می‌گیرد که یک ناحیه جذبی از طیف یک تارگت خاص در آن قرار گرفته است. پس از آن با استفاده از دو معیار، طیف پیکسل و تارگت مورد مقایسه قرار می‌گیرند. معیار اول، ژرفای باند جذبی در تارگت و پیکسل است که با یکدیگر مقایسه می‌شوند و معیار دوم شکل این باند جذبی در پیکسل است که با شکل باند جذبی تارگت به روش کمترین مربعات مقایسه می‌شود.
۵	الگوریتم انطباق طیفی چند بازه‌ای (Multi-range SFF) (Clark et al., 2003)	در این روش همانند روش SFF رفتار می‌شود؛ با این تفاوت که بازه‌های متفاوتی از طیف را به عنوان بازه تعریف باندهای جذبی تشخیصی آن معرفی می‌کند. همچنین در این روش می‌توان برای هر باند جذبی وزن مشخصی در نظر گرفت.
۶	آشکارساز تصویر به زیرفضای قائم (OSP; Orthogonal Subspace projection) (Chang, 2007)	این روش یک تحلیل اختلاط طیفی خطی است و از مزایای این مدل بهره‌مند می‌شود تا بتواند تارگت مطلوب را جداسازی کند. این روش نیازمند اطلاعات اولیه (Priori) کاملی از تارگت بوده و از انواع روش‌های غیر مقید است. تنها می‌تواند یک هدف را در هر مرتبه از اجرا شناسایی کند. این آشکارساز از راه حذف اثر اهداف نامطلوب سعی در بهبود نتایج آشکارسازی دارد.
۷	فیلتر کمینه شده تداخلی اهداف مقید (TCIMF; Target-Constrained Interference-) Minimized Filter (Chang, 2003 & 2007)	آشکارسازی تواناست که توانایی آشکارسازی اهداف مطلوب، حذف اثر اهداف نامطلوب و کمینه کردن آثار ناشی از سیگنال‌های مزاحم را داشته باشد. الگوریتم TCIMF توانایی انجام همه موارد یاد شده را به صورت همزمان دارد. روش TCIMF به آشکارسازی همزمان اهداف مورد نظر و حذف ویژگی‌های طیفی اهداف نامطلوب می‌پردازد.
۸	الگوریتم فیلتر انطباقی سازگار یافته (MTMF; Mixture-Tuned Matched Filter) (Kruse, 2002)	این الگوریتم، تلفیقی از روش‌های مدل‌سازی ترکیب خطی و روش‌های مقید جزئی و سیگنال انطباقی است. در واقع این روش در گروه روش‌های جداسازی طیفی جزئی است که هدف از آن تعیین فراوانی یک یا چند هدف خاص در تصویر است. خروجی این روش برای هر منحنی هدف دو مقدار فراوانی یا میزان انطباق و میزان درستی انطباق یا همان عدم قابلیت اجرا (feasibility) است.
۹	نگاشت زاویه طیفی (SAM; Spectral Angle Mapper) (Chang, 2007, Schowengerdt, 2007)	در این روش هر پیکسل تصویری مد نظر قرار می‌گیرد و همانندی آن با طیف تارگت مطلوب، بررسی می‌شود. علت بررسی همانندی پیکسلی آن است که اثرات سایه و ... از آن حذف شده باشد. به این ترتیب طیف تصویری توسط یک ضریب همبستگی (Correlation factor) که مقادیری میان صفر و یک به خود اختصاص می‌دهد، مورد مقایسه با کتابخانه طیفی یا تارگت هدف قرار می‌گیرد.

کتابنگاری

رضایی، ی.، ۱۳۸۹- استخراج خودکار اجزای خالص و جداسازی در تصاویر ابرطیفی، رساله دکترا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
مقصودی، ی.، ۱۳۸۵- استفاده از ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها به منظور طبقه‌بندی تصاویر ابرطیفی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

References

- Bioucas-Dias, J. M. & Nascimento, J. M. P., 2008- Hyperspectral subspace identification. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING* 46: 2435-2445.
- Boardman, J. W., 1998- Post-ATREM polishing of AVIRIS apparent reflectance data using EFFORT: a lesson in accuracy versus precision. *Summaries of the seventh JPL airborne earth science workshop, JPL Publication 99-17.*
- Borengasser, M., Hungate, W. S. & Watkins, R., 2008- *Hyperspectral remote sensing: principles and applications.* Boca Raton, London, New York, CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Chang, C. I. & D. C. Heinz, 2000- Constrained subpixel target detection for remotely sensed imagery. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING* 38: 1144-1158.
- Chang, C. I., 2003- *Hyperspectral imaging: Techniques for spectral detection and classification,* Wiley publication.
- Chang, C. I., 2007- *Hyperspectral Data Exploitation: Theory and Applications.* University of Maryland, A John Wiley & SONS.
- Chang, C. I., Chakravarty, S., Chen, H. M. & Ouyang, Y. C., 2009- Spectral derivative feature coding for hyperspectral signature analysis. *Pattern recognition* 42: 395-408.
- Clark, R. N., 1999- *Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy, Manual of Remote Sensing 3 (Remote Sensing for the Earth Sciences):* 3- 58.
- Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Kokaly, R. F., Sutley, S. J., Dalton, J. B., McDougal, R. R. & Gent, C. A., 2003- *Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems., J. Geophys. Res.* 5: 1-44.
- Cloutis, E. A., 1996- Review article Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques, *International Journal of Remote Sensing* 17: 2215-2242.
- Cocks, P., 2013- *HyMAP Geocoding.* S. Dehnavi. Hyvista Corporation.
- Cocks, T., Jenssen, R. Stewart, A., Wilson, I. & Shields, T., 1998- *THE HYMAP™ AIRBORNE HYPERSPECTRAL SENSOR: THE SYSTEM, CALIBRATION AND PERFORMANCE.* 1st EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy, Zurich.
- Devices, A. S., 2007- *FieldSpec 3 User Manual,* ASD Inc., Boulder, CO.
- Gillepsie, A. R., Kahle, A. B. & Walker, R. E., 1987- Color enhancement of highly correlated images. II. channel ratio and "chromaticity" transformation techniques, *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT* 22: 343-365.
- Heidena, U., Seglb, K., Roessnerb, S. & Kaufmannb, H., 2007- Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data, *REMOTE SENS. ENVIRON.* 111(4): 537-552.
- Gerighausen, H., Menz, G. & Kaufmann, H., 2012- Spatially explicit estimation of clay and organic carbon content in agriculture soils using multi-annual imaging spectroscopy data, *Applied and Environmental Soil Science* 2012.
- Hunt, G. R. & Salisbury, J. W., 1970- Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals, *Modern Geology* 1.
- Kenea, N. H. & Haenisch, H., 1996- Principal component analyses for lithologic and alteration mappings: Examples from the Red Sea Hills, Sudan, *International archive of photogrammetry and Remote sensing* 31: 271-275.
- Kruse, F. A., 2002- Comparison of AVIRIS and Hyperion for Hyperspectral Mineral Mapping. 11th JPL Airborne Geoscience Workshop. Pasadena, California.
- Kurse, F. A., 2004- *ENVI User Guides.*
- Kurse, F. A., 2007- Regional mapping by extending Hyperspectral signatures using multispectral data. *IEEE Xplore. Big Sky, MT, IEEE:* 1-14.
- Madani, A. A. & Emam, A. A., 2011- SWIR ASTER band ratios for lithological mapping and mineral exploration: a case study from El Hudi area, southeastern desert, Egypt, *Arab Journal of (Saudi Society for) Geosciences* 4: 45-52.
- Maghsoudi, Y., 2011- *Analysis of Radarsat-2 Full Polarimetric Data for Forest Mapping.* phd, THE UNIVERSITY OF CALGARY.
- Manolakis, D. & Shaw, G., 2002- Detection algorithms for Hyperspectral Imaging applications, *Signal Processing Magazine, IEEE* 19(1): 29-43.
- Meer, F. D. V. D., Werff, H. M. A. V. D., Ruitenbeek, F. J. A. V., Hecker, C. A., Bakker, W. H., Noomen, M. F., Meijde, M. V. D., Carranza, E. J. M., Smeth, J. B. D. & Woldai, T., 2012- Multi- and Hyperspectral geologic remote sensing: A review, *International Journal of Applied earth observation and geoinformation-ELSEVIER* 14: 112-128.
- Meer, F. V., 1994- Extraction of mineral absorption features from high- spectral resolution data using non-parametric geostatistical techniques." *International Journal of remote sensing* 15(11): 2193-2214.

- Meer, F. V. D., 2005- Indicator kriging applied to absorption band analysis in hyperspectral imagery: a case study from the Rodalquilar epithermal gold mining area, SE Spain, *International Journal of Applied earth observation* 8: 61-72.
- Ponti, M., 2011- Combining Classifiers: from the creation of ensembles to the decision fusion.
- Sabins, F. F., 1999- Remote sensing for mineral exploration." *Ore Geology Reviews* 14: 157-183.
- San, B., Sumer, E. & Gurcay, B., 2004- Comparison of band ratioing and spectral indices methods for detecting alunite and kaolinite minerals using ASTER data in Biga region, Turkey. *Proceedings ISPRS*.
- Schapfer, D., 2011- Parametric geocoding orthorectification for airborne scanner data, user manual version 3.1. Switzerland: 270. Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Department of Electrical and Computer Engineering, Elsevier's Science and Technology, Inc.
- Schowengerdt, R. A., 2007- *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Department of Electrical and Computer Engineering, Elsevier's Science and Technology, Inc.
- Vane, G. & Goetz, A. F. H., 1988- Terrestrial Imaging Spectroscopy, *REMOTE SENS. ENVIRON.* 24: 1-29.
- Yamaguchi, Y. & Naito, C., 2003- Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands." *International Journal of Remote Sensing* 24(22): 4311-4323.
- Zhang, X., Pazner, M. & 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* 62: 271-282.

Ensemble of target detectors in hydrothermal mineral mapping (study area: Mashhad)

S. Dehnavi ¹, Y. Maghsoudi ^{2*}, M. J. Valadanzoej ³ & A. Bayatani ⁴

¹ M.Sc. Student, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

⁴ M.Sc., Geomatics Engineering Group, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2014 October 07

Accepted: 2015 June 23

Abstract

Mineral target identification and hydrothermally altered zone's discrimination has been considered by many investors during many years of study. Numerous mineral targets can't be recognized at pixel level. The problem of unmixing and resolving spectra in subpixel level of mixels (mixed pixels) was expressed with the birth of imaging spectrometry. On the other hand prober's experiments have shown the improved results in ensemble of classifiers. This study have proposed the mixture of some target detectors and classifiers at both pixel and subpixel levels, which have been tested on the hymap airborne hyperspectral sensor, in Iran East. Results have shown that the proposed method has better performance than individual detectors.

Keywords: Target detectors ensemble, Hyperspectral images, Mineral mapping.

For Persian Version see pages 395 to 404

*Corresponding author: Y. Maghsoudi; E-mail: ymaghsoudi@kntu.ac.ir