

## آشکارسازی اهداف معدنی در تصویر هایپریون به کمک طیف واسطه (منطقه‌ی مطالعاتی: گنآباد)

سیاوش رحمانی<sup>\*۱</sup>، یاسر مقصودی<sup>۲</sup>، سحر دهنوی<sup>\*۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، تهران، ایران
- ۲- استادیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، تهران، ایران
- ۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷

### چکیده

مسئله‌ی آشکارسازی اهداف معدنی در طی یک روند رو به بهبود و انجام مطالعات بسیار زیاد، امروزه به نقطه‌ای رسیده‌است که آشکارسازی اهداف معدنی به کمک سنجش از دور و از طریق تصاویر ابر طیفی انجام می‌شود. تصاویر ابر طیفی فضا برد به دلیل حدتفکیک مکانی پایین در بحث آشکارسازی، نتایج مطلوبی در بر نخواهند داشت. تصاویر ابر طیفی هوا برد، حدتفکیک مکانی خوبی دارند اما تهیه‌ی این تصاویر با صرف هزینه‌های بالایی همراه است. بنابراین برای آشکارسازی بهتر است، از تصاویر ابر طیفی فضا برد استفاده شود که به سهولت در دسترس قرار می‌گیرد، در این صورت می‌بایست ضعف تصاویر ابر طیفی در حدتفکیک مکانی به نوعی پوشش داده شود. در این پژوهش، آشکارسازی اهداف معدنی در تصویر ابر طیفی هایپریون، با واسطه قرار دادن یک نوار از تصویر هوا برد هایمپ، و استفاده از یک طیف واسطه برای رفع مشکل فوق تصویر هایپریون، در منطقه‌ای در شرق ایران انجام شد. ارزیابی این مطالعه بر اساس منحنی مشخصه عملکرد (ROC)، برخوردی آشکار ساز انطباق طیفی (SFF)، در مورد چهار کانی مورد بررسی آلونیت، کائولینیت، اپیدوت و هماتیت نشان داد که، استفاده از طیف واسطه، نسبت به طیف آزمایشگاهی، دقت آشکارسازی را در چهار کانی مورد نظر به ترتیب ۴/۴۷، ۱۱/۳۸، ۴/۳۲، ۱۰/۲۸ درصد، افزایش می‌دهد.

**کلید واژه‌ها:** آشکارسازی اهداف، طیف واسطه، تصاویر ابر طیفی، کانی‌های معدنی، آشکارساز انطباق طیفی.

\* نویسنده مسئول: سیاوش رحمانی

تلفن: ۰۹۳۵۲۸۰۹۸۱۴

## ۱- مقدمه

شناسایی و آشکارسازی اهداف معدنی و تعیین محل تمرکز آنها با توجه به حوزه‌ی وسیع کاربرد اهداف معدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حوزه‌ی کاربرد اهداف معدنی می‌توان به زمین‌شناسی اقتصادی، اکتشاف چشمه‌های نفتی، شناسایی آلودگی‌های محیطی ناشی از تجمع برخی از کانی‌های مولد اسید، و تعیین ترکیبات سازنده‌ی سایر سیاره‌های منظومه‌ی شمسی اشاره کرد [۱،۲].

در گذشته شناسایی و آشکارسازی اهداف معدنی و نشانه‌های آن، به روش‌های سنتی انجام می‌گرفت، سه مشکل عمده‌ی روش‌های سنتی پرهزینه بودن، زمانبر بودن و همچنین عدم اندازه‌گیری در پهنه‌های وسیع بود، که رفته رفته برای حل این مشکلات محققین و پژوهشگران به روش‌های سنجش از دوری روی آوردند.

از طرفی لزوم استفاده از روش‌های سنجش از دوری، کاملاً روشن است. چراکه تکنیک‌های سنجش از دوری نسبت به دیگر روش‌های جمع‌آوری داده، دارای مزایایی چون تنوع، ارزش افزوده بالا، هزینه نسبتاً کم، امکان به روزرسانی و استفاده از داده‌های رقومی می‌باشند [۳].

در روش‌های سنجش از دوری، تا سال ۱۹۹۰ از سنجنده‌هایی استفاده می‌شد که قابلیت اخذ تعداد باندهای محدود (پهن‌بند) را داشتند [۴] پژوهشگران و محققین با هدف تولید نقشه از کانی‌ها، از روش‌های متنوعی مانند: گرادبان‌های طیفی [۵]، نسبت‌های باندی [۴،۵،۶،۷]، آنالیز اجزای اصلی [۸]، آنالیز اجزای اصلی انتخابی [۹]، آنالیز اجزای اصلی استاتندارد [۹]، تلفیق داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی با داده‌های آنالیز تصویری مانند ترکیبات رنگی [۹]، تهیه‌ی ترکیبات بهینه‌ی رنگی [۱۰] به‌کارگیری شاخص بهینه ترکیب رنگی، تصاویر ماهواره‌ای [۷]،

روش کمترین فاصله و برش طیفی [۱۰]، شاخص‌های طیفی [۱۱]، روش‌های معمول طبقه‌بندی داده‌های چندطیفی مثل روش‌های بیشترین شباهت [۸]، استفاده کردند، اما خروجی تمام این روش‌ها همگی در سطح پیکسل بود و در بعضی موارد فقط قابلیت دستیابی به اطلاعاتی از ساختار لیتولوژی مناطق مورد مطالعه را فراهم می‌کردند [۴،۷].

سنجنده‌های چندطیفی (پهن‌بند) مثل ASTER، Landsat، SPOT، نمی‌توانند به‌صورت خاص نوع کانی موجود در صحنه‌ی تصویربرداری را تشخیص دهند، اما توانایی تفکیک گروه کانی‌ها را دارند [۷،۱۲] دلیل ضعف این سنجنده‌ها را می‌توان اینگونه بیان کرد که، پهنای باندهای جذبی کانی‌ها معمولاً در حدود ۲۰ تا ۴۰ نانومتر است [۱۳] اما سنجنده‌های چندطیفی قابلیت اخذ داده‌های طیفی با گستردگی ۲۰۰-۱۰۰ نانومتر را دارند [۱۴]، این ضعف تصاویر چند طیفی، با روی کار آمدن تکنولوژی تصویربرداری ابرطیفی و اخذ داده‌های طیفی با پهنای ۱۰ نانومتر، حل شد [۱۰]، این تصاویر توانایی بازسازی علائم طیفی، به‌خوبی کتابخانه‌ی طیفی را دارند و اینگونه امکان استفاده از تکنیک‌هایی فراهم شد که اغلب در تصاویر چندطیفی کارایی نداشتند [۱۵،۱۲]، پژوهشگران به‌منظور آشکارسازی اهداف معدنی، روش‌های متفاوتی از آنالیزهای ابرطیفی مثل باقیمانده‌های تصویری [۱۶] لگاریتم باقیمانده‌ی تصویری [۱۶]، لگاریتم معکوس بازتابندگی (جذب) [۱۷]، روش‌های انطباق طیفی [۷]، تطابق باندهای جذبی [۱۸]، طبقه‌بندی بر اساس معیارهای شباهت طیفی، نظیر دیورژانس اطلاعات طیفی، زاویه طیفی، دیورژانس تصویر به فضای قائم، و معیارهای

<sup>1</sup> image residuals

<sup>2</sup> Log residuals

در سال ۲۰۰۷، کاوشوار مطالعاتی در غالب یک پایان نامه، بر روی سه دسته داده های هایپریون، هایمپ و طیف زمینی، انجام داد. در این پایان نامه نویسنده، بعد از انجام پردازش های لازم بر روی تصویر هایپریون و تبدیل کردن طیف تصویر هایپریون به طیف بازتابندگی، در یک منطقه ی مشترک، طیف بازتابندگی هایپریون را با دو طیف بازتابندگی حاصل از، طیف سنجی میدانی و تصویر هایمپ، مورد مقایسه قرار داد. نتیجه ی این مقایسه، گویای این مطلب است که، طیف بازتابندگی حاصل از تصویر هایمپ، نسبت به طیف بازتابندگی حاصل از طیف سنجی میدانی، شباهت بیشتری به طیف بازتابندگی هایپریون دارد. نویسنده، دلیل این موضوع را عواملی مانند:

- ۱- تنوع پدیده های موجود در هر پیکسل (۹۰۰ مترمربع)
  - ۲- استراتژی نمونه برداری ۳- بازه زمانی لازم برای طیف سنجی میدانی، بر شمرده است. [۲۵]
- در علوم مختلف، به ویژه در علوم مهندسی، در هنگام مقایسه پدیده ها با هم، باید به مقیاس آنها توجه شود. باید بررسی شود که آیا دو پدیده، از نظر مقیاس با یکدیگر قابل مقایسه هستند یا خیر؟ زیرا در صورتی که دو پدیده از نظر مقیاس کاملاً متفاوت باشند، مقایسه ی آنها یک مقایسه ی معقول و منطقی نیست و نتایج این مقایسه نتایج معتبری نخواهد بود. بنابراین برای مقایسه ی دو پدیده ی دور از هم، یک پدیده را بین آنها واسطه قرار می دهند تا مقایسه منطقی تر شود. در سنجش از دور نیز این موضوع کاملاً صادق است، به عنوان مثال در بحث ارزیابی<sup>۵</sup>، مقایسه ی یک پیکسل که دارای حد تفکیک مکانی پایینی (۱ km × ۱ km) می باشد با اطلاعات زمینی برداشت شده، مقایسه ای غیر منطقی خواهد بود [۲۶]. لذا اگر یک تصویر با حد تفکیک بهتر، بین داده های زمینی و تصویر

مبتنی بر فواصل، مثل فاصله اقلیدسی، JMD،<sup>۱</sup> TD، تکنیک های آماری نظیر روش kriging نشانگر [۱۹]، روش های غیر پارامتری یک زمین آمار [۲۰] و روش های مبتنی بر تست نسبت شباهت تعمیم یافته [۲۱]<sup>۳</sup>، فیلترهای تطابقی ترکیبی [۱۸]، ترکیب آنالیزهای شکل منحنی طیفی در نواحی جذبی و استفاده از ماتریس های ابهام، جهت تصمیم گیری نهایی در خصوص کلاس داده ها [۲۲]، استفاده از روش های ترکیب طبقه بندی کننده ها نظیر روش های میانگین، حاصل ضرب، ماکزیمم و مینیمم [۳] استفاده کرده اند.

کتابخانه های طیفی سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS<sup>۴</sup>)، یکی از کاملترین و پرکاربردترین کتابخانه های طیفی سنجش از دوری می باشد. بخشی از طیف های موجود در این کتابخانه ی طیفی، از تصاویر ابرطیفی هوابرد AVIRIS، به دست آمده اند. این مسئله، نشان دهنده ی این نکته است که، طیف تصویر برداری هوابرد، با یک سطح دقت مشخص، قابلیت جایگزینی با طیف به دست آمده از طیف سنجی میدانی و آزمایشگاهی را دارد [۲۳]. مطالعه ی انجام شده به طور کلی، نشان می دهد که، طیف تصاویر ابرطیفی هوابرد، در مقایسه با طیف حاصل از طیف سنجی میدانی، پتانسیل نسبتاً خوبی دارند.

از سوی دیگر، در مطالعه ی انجام شده توسط کرس و همکارانش در سال ۲۰۰۳، که بر روی تهیه ی نقشه های کانی شناسی انجام شد، در مقایسه ی دو دسته تصاویر ابرطیفی هوابرد و فضابرد، محققین به این نتیجه رسیدند که، تصویر ابرطیفی فضابرد هایپریون، قادر است اطلاعات مشابهی با تصویر ابرطیفی هوابرد AVIRIS، تولید نماید [۲۴].

<sup>1</sup> Tchebyshev Distance

<sup>2</sup> Jefferis-Matusita Distance

<sup>3</sup> Generalized Likelihood Ratio Test (GLRT)

<sup>4</sup> U.S. Geological Survey

<sup>5</sup> Validation

منطقه‌ی مورد مطالعه، معرفی خواهد شد، در بخش سوم، کلیاتی از عملیات میدانی، پیش‌پردازش‌های طیفی و تصویری، روش پیشنهادی و نحوه‌ی ارزیابی نتایج بیان خواهد شد. در بخش چهارم، نتایج به دست آمده ذکر خواهد شد. و در بخش پنجم، نتایج مورد بحث و بررسی و مقایسه قرار خواهند گرفت.

## ۲- داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه

### ۲-۱- داده‌های تصویری

در منطقه‌ی مورد مطالعه از دو تصویر ابرطیفی، فضا برد هایپریون و هوا برد هایمپ استفاده شد که در ادامه به بیان مختصری از این تصاویر پرداخته شده است.

### ۲-۱-۱- هایپریون

ماهواره EO-1 در ۲۱ نوامبر سال ۲۰۰۰ میلادی توسط ناسا به منظور مقایسه با داده‌های ETM+ به صورت آزمایشی در مدار قرار گرفت. سه سنجنده مختلف بر روی ماهواره EO-1 قرار دارد. سنجنده فراطیفی هایپریون، سنجنده چند طیفی<sup>۱</sup> ALI و سنجنده فراطیفی<sup>۲</sup> AC [۲۷]. هایپریون در تصویربرداری از فن‌آوری جاروب کردن<sup>۳</sup> در تصویربرداری استفاده می‌کند که در هر صحنه‌ی تصویری، طیفی را از محدوده‌ای به پهنای ۳۰ متر در جهت حرکت و ۷/۷ کیلومتر در جهت عمود بر حرکت اخذ می‌کند [۲۸].

بخش نوری هایپریون از یک تلسکوپ و دو طیف‌سنج VNIR<sup>۴</sup> و SWIR<sup>۵</sup> تشکیل شده است. طیف‌سنج VNIR، ۷۰ بانده از باندهای این سنجنده را اشغال می‌کند. دقت طیفی این طیف‌سنج، ۱۰ نانومتر بوده و در محدوده ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر

با حد تفکیک پایین (۱km × ۱km) واسطه شود، نتیجه مقایسه بسیار منطقی تر خواهد بود [۲۶].

تصاویر ابرطیفی فضا برد دارای حد تفکیک مکانی پایینی هستند، برای مثال در تصویر هایپریون ابعاد هر پیکسل ۹۰۰ مترمربع از سطح زمین را پوشش می‌دهد، مسلماً کل این مساحت خالص نیست. بنابراین مقایسه‌ی داده‌های میدانی، که اطلاعات ۴۰۰ سانتی مترمربع از سطح زمین را پوشش می‌دهند، با این ۹۰۰ مترمربع کاملاً غیرمنطقی است. در بحث آشکارسازی، نتایج آشکارسازی شدیداً به طیف ورودی وابسته هستند. معمولاً طیف میدانی (۲۰cm × ۲۰cm) یا آزمایشگاهی به عنوان ورودی آشکارساز، برای تشخیص نوع ماده موجود در پیکسل هایپریون، به عنوان ملاک تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، نتایج به دست آمده نتایج معتبری نخواهند بود، چراکه این مقایسه در دو مقیاس کاملاً متفاوت صورت گرفته است. به همین دلیل در این مطالعه، به منظور بهبود دقت نتایج آشکارسازی، یک طیف واسطه، به عنوان ورودی فرایند آشکارسازی معرفی می‌شود که، به این ترتیب، مشکل عدم تناسب مقیاس‌ها تا حدودی مرتفع می‌شود و در نهایت دقت نتایج آشکارسازی افزایش می‌یابد. در این مطالعه، به منظور تعریف این طیف واسطه از تصویری با حد تفکیک مکانی بالا به عنوان یک تصویر واسطه استفاده شد. لازم به ذکر است که، در برخی مطالعات، انتخاب تصویر واسطه، تنها در سطح مکانی مطرح شده است و تعریف واسطه از نظر طیفی رخ نداده است [۲۶]. این در حالی است که مقایسه‌ی اطلاعات طیفی میدانی با یک تصویر با حد تفکیک مکانی پایین، از نظر طیفی نیز حائز اهمیت بسزایی می‌باشد. بنابراین در پژوهش حاضر، به تعریف یک واسطه‌ی مکانی و طیفی به صورت توأم پرداخته شده است.

به طور کلی در این مطالعه، مطالب به ترتیب زیر ارائه خواهد شد، در بخش دوم، داده‌های مورد استفاده و

<sup>1</sup> Advanced Land Imager

<sup>2</sup> Atmospheric Corrector

<sup>3</sup> Pushbroom

<sup>4</sup> visible and near-infrared

<sup>5</sup> Short-wavelength infrared

این داده‌های حقیقت زمینی توسط تیمی متشکل از متخصصین زمین‌شناس و محققین سنجش از دور، در طی دو روز کاری (پانزدهم و شانزدهم تیرماه ۱۳۹۳ ه.ش. معادل با ششم و هفتم جولای ۲۰۱۶ م)، از منطقه گناباد جمع‌آوری شد که در مجموع در ۴۱ نقطه نمونه هماتیت، در ۵۳ نقطه نمونه آلونیت، در ۶۷ موقعیت نمونه کائولینیت و در نهایت در ۵۶ نقطه، نمونه اپیدوت برداشت شد. [۲] در نهایت طیف این مواد، از نمونه‌های جمع‌آوری شده به صورت آزمایشگاهی و توسط دستگاه SVC<sup>۳</sup> اندازه‌گیری شد.

### ۲-۳- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در شرق کشور ایران، استان خراسان رضوی، شهرستان گناباد می‌باشد. مختصات جغرافیایی این منطقه به طور تقریبی ۳۴ درجه‌ی شمالی و ۵۸ درجه‌ی شرقی است. این منطقه پیشتر با توجه به مطالعات انجام شده توسط متخصصین زمین‌شناس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کل کشور، به دلیل حضور کانی‌های مهم معدنی و حضور معادن مختلف به عنوان یک پایلوت کانی‌شناسی انتخاب شده بود. منطقه‌ی گناباد با میانگین ارتفاعی ۱۱۸۷/۶ متر از سطح دریا و اختلاف ارتفاعی ۱۶۲ متر در منطقه، درحاشیه‌ی کویر مرکزی ایران قرار دارد، که به دلیل موقعیت بیابانی این منطقه، پوشش گیاهی نیز در آن به نوعی دارای ماهیت بیابانی می‌باشد.

### ۳- روش کار و پیش پردازش‌ها

#### ۳-۱- پیش پردازش‌ها

در این قسمت کلیاتی از پیش پردازش‌های انجام گرفته در دو تصویر و همچنین در طیف‌های مورد استفاده، ارائه شده است.

تصویربرداری می‌کند. طیف‌سنج SWIR نیز ۱۷۲ باند از مجموع ۲۴۲ باند سنجنده هایپریون را می‌پوشاند و دارای دقت طیفی ۱۰ نانومتر بوده و در محدوده ۹۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر تصویربرداری می‌کند [۲۸]. تصویر هایپریون مورد استفاده در این مطالعه، در تاریخ ۷ آوریل، سال ۲۰۱۵ م. از منطقه‌ی گناباد اخذ شد.

#### ۲-۱-۲- هایمپ

یکی از سنجنده‌های تجاری و مدرن هوابرد در زمینه‌ی سنجش از دور، سنجنده‌ی هایمپ می‌باشد که به وسیله‌ی Integrated Spectronics استرالیا توسعه پیدا کرد و توسط شرکت‌های ویستا<sup>۱</sup> راه‌اندازی شد. این سنجنده با ۱۲۸ باند طیفی، محدوده‌ی طیفی ۴۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهد که پهنای تقریبی هر باند ۱۵ نانومتر است، نسبت سیگنال به نویز این سنجنده نیز ۸۰۰ می‌باشد [۲۹]، البته باندهای ۱، ۳۱، ۳۲، از این سنجنده یا نویزی هستند یا از نظر محدوده‌ی طیفی همپوشانی دارند. [۳۰] که با حذف این باندها توسط شرکت‌های ویستا در کل ۱۲۵ باند طیفی از این سنجنده در اختیار قرار گرفت. ارتفاع پرواز این سنجنده از سطح منطقه ۴۰۲۵/۸۸ متر بوده و ابعاد هر پیکسل زمینی ۴/۹ متر می‌باشد. این تصویر در تاریخ ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۶ م. اخذ شده است.

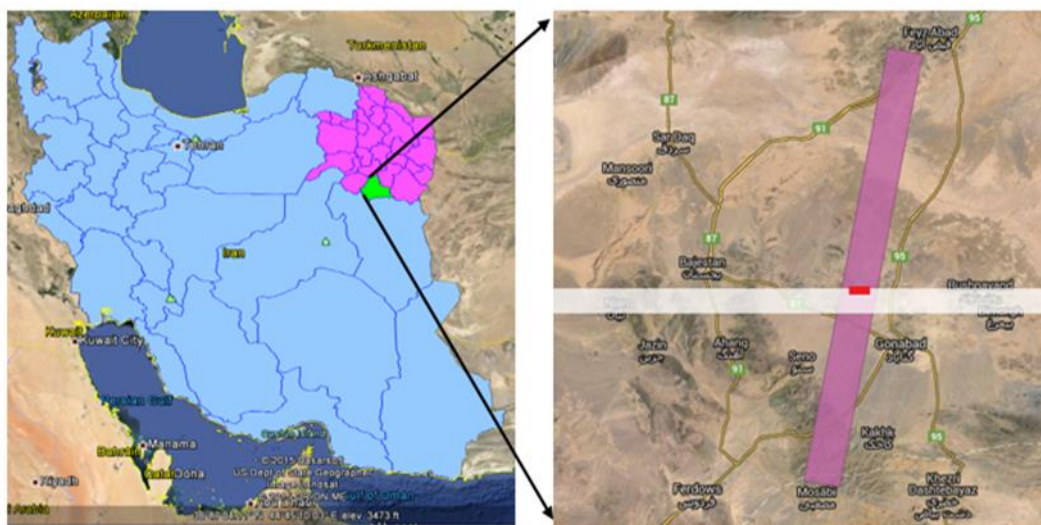
#### ۲-۲- داده‌های طیف‌سنجی

در این مطالعه برای اخذ داده‌های طیفی، به منظور تهیه‌ی طیف ورودی آشکارسازها و داده‌های حقیقت زمینی<sup>۲</sup> برای ارزیابی نتایج حاصل از این تحقیق، برداشت داده‌های میدانی از منطقه مطالعاتی به این ترتیب انجام شد که تعدادی از کانی‌ها، با حضور در منطقه شناسایی شدند،

<sup>۱</sup> Hy vista

<sup>۲</sup> Groundtruth data

<sup>۳</sup> Spectra vista corporation



شکل ۱: نمایی کلی از منطقه‌ی مطالعاتی و تقاطع دو تصویر (رنگ سفید تصویر هایمپ و رنگ صورتی تصویر هایپیرون)، نحوه‌ی قرارگیری دو تصویر هایپیرون و هایمپ نسبت به هم و منطقه‌ی مطالعاتی موردنظر (پلی‌گون قرمز رنگ در میانه تصویر که مساحت این ناحیه ۱۹۴۶۰۴۱/۳۳۲۷۴۵ مترمربع می‌باشد).

شرکت‌های ویستا در اختیار قرار گذاشته شده بود، بهره‌برده شد. که به موجب آن ۲۹ باند از مجموعه‌ی کل باندهای طیفی تصویر هایمپ حذف گردید، به علاوه تعداد کمی از باندها به علت نویز موجود در آن‌ها حذف شدند [۲]، در ادامه ۹ باند (باند اول و هشت باند آخر) نیز به دلیل عدم هم‌پوشانی با محدوده‌ی طیفی تصویر هایپیرون حذف شدند، که در روند الگوریتم پیشنهادی، در شکل (۲) با عنوان "حذف باندهای غیرمشترک با هایپیرون" قابل مشاهده است. در مجموع ۸۴ باند طیفی بازتابندگی به عنوان، باندهای مطلوب تصویر هایمپ به ورودی الگوریتم معرفی شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌های مذکور، عملیات زمین مرجع کردن تصویر هایمپ، با بهره‌مندی از روش جدول مختصات‌های هندسی (GLT)<sup>۴</sup> انجام گرفت [۲]. شکل ۲، یک نمای کلی از الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۱- پیش پردازش‌های تصویر هایمپ:

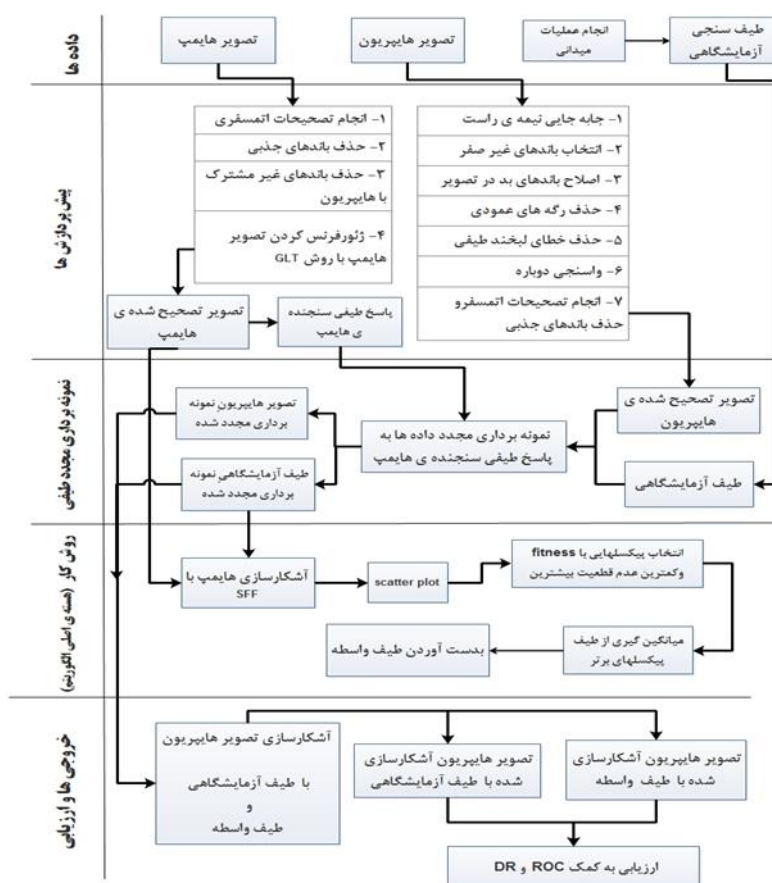
داده‌های تصویر هایمپ<sup>۱</sup> به صورت رادیانس طیفی در اختیار بودند، که برای رسیدن به بازتابندگی پهنه نیاز به انجام تصحیحات رادیومتریکی، از جمله تصحیحات اتمسفری و حذف باندهای جذبی بخار آب بود، برای انجام تصحیحات اتمسفری از مدل تحلیل اتمسفری خط دید سریع در چندبندی‌های طیفی (FLAASH)<sup>۲</sup> استفاده شد. [۲] پارامترهای مورد نیاز مدل از اطلاعات هواشناسی ایستگاه هواشناسی گناباد در تاریخ اخذ تصویر (۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۶ م.) بدست آمد، که در این فرایند مقدار فاصله‌ی دید افقی با توجه به اطلاعات هواشناسی موجود برابر با ۱۸ کیلومتر انتخاب شد. برای حذف باندهای جذبی از اطلاعات فایل سربرگ<sup>۳</sup> مربوط به تصویر هایمپ مورد استفاده که توسط

<sup>۱</sup> hmap

<sup>۲</sup> Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis in Spectral Hypercubes

<sup>۳</sup> header

<sup>۴</sup> Geometric look up table



شکل ۲: روش کار پیشنهادی

اصلاح پیکسل‌های معیوب<sup>۱</sup> و بررسی کیفیت تصویر، بروی داده‌های سطح صفر، برای تبدیل داده‌ی رادیانس به واحد تابش (DN)، باندهای مربوط به محدوده مادون قرمز نزدیک (VNIR) در ضریب ۴۰ و باندهای محدوده طول موج کوتاه (SWIR) در ضریب ۸۰، ضرب شده‌اند [۳۱].

به منظور تبدیل این داده به بازتابندگی سطحی می‌بایست تصحیحاتی شامل برخی از پیش پردازش‌های خاص داده‌های هایپریون و همچنین تصحیحات اتمسفری، بر روی این تصاویر انجام گیرد. که در ادامه، بیان خواهد شد.

### ۳-۱-۲- پیش پردازش‌های تصویر هایپریون

در این مطالعه داده‌های سطح یک<sup>۱</sup> تصویر هایپریون<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار گرفتند<sup>۳</sup>. تصویر مورد استفاده در این مطالعه، تصویری است که پردازش‌های "سطح یک" روی آن انجام گرفته است، در پردازش‌های سطح یک، ضمن اعمال پیش پردازش‌هایی نظیر تصحیح لکه<sup>۴</sup>، تصحیح اکو<sup>۵</sup>، حذف پس‌زمینه<sup>۶</sup>، تصحیحات پرتوسنجی اولیه<sup>۷</sup>،

<sup>1</sup> Level-1  
<sup>2</sup> hyperion  
<sup>3</sup> <http://earthexplorer.usgs.gov>  
<sup>4</sup> Smear correction  
<sup>5</sup> Echo removal  
<sup>6</sup> Background removal  
<sup>7</sup> Apply calibration

<sup>8</sup> Repair known bad pixel

و یا طولانی مدت و یا حتی به طور دائم از کار بیافتد و یا این که اختلال ایجاد شده در عملکرد اجزاء دیگر موجود در سنجنده، باعث اختلال در برداشت آشکارسازها گردد. اثرات این اختلالات در تصویر، خود را به شکل ایجاد نوارهای برداشت نشده و یا برداشت ناقص نشان می‌دهند [۳۵]. برای شناسایی این نوارها روش‌های متفاوتی ارائه شده است [۳۶]. که مبنای همی روش‌ها بر اساس تعریف حد آستانه‌ی اختلاف بین پیکسل‌های مجاور است. برای حذف این اثرات از تصویر، نیز روش‌های متعددی ارائه شده است، که در این مطالعه از جایگزین کردن نوار، با میانگین پیکسل‌های همسایه در فضای مکانی و طیفی، استفاده شد. [۳۷]

#### ۳-۱-۲-۴- حذف رگه‌های عمودی<sup>۱</sup>

زمانی که مقادیر شیب<sup>۲</sup> و عرض از مبدا<sup>۳</sup> در برخی از آشکارسازها متفاوت با مابقی آشکارسازها باشد، این مسئله موجب ایجاد اختلاف در آماره‌ی نوارهای عمودی مربوط به این آشکارسازها در سطح تصویر خواهد شد [۳۸]. دو روش برای حذف این نوارهای عمودی از تصویر وجود دارد، روش محلی و روش کلی<sup>۴</sup>. هر دوی این روش‌ها با استفاده از روش متعادل کردن آماره‌ی، اقدام به بهبود مقادیر داده‌ها می‌نمایند. برای هماهنگ کردن میانگین و انحراف معیار نوار عمودی با یک میانگین و انحراف معیار مرجع، برای هر پیکسل یک شیب و عرض از مبدا در هر باند به کار گرفته می‌شود، روش حذف رگه‌ی کلی، از مقادیر میانگین و انحراف معیار تمام تصویر در هر باند به عنوان مقدار مرجع استفاده می‌کند، در حالی که روش حذف رگه‌ی محلی، از میانگین و انحراف معیار یک همسایگی محلی نوار مشکل‌دار بهره می‌برد.

#### ۳-۱-۲-۱- جابجایی نیمه راست تصویر هایپریون

##### L1R

به منظور منطبق شدن باندهای VNIR و SWIR از نظر مکانی لازم است، یک هم‌ردیف‌سازی انجام گیرد. که موجب جابجایی یک پیکسل نیمه سمت راست تصویر SWIR به سمت پایین می‌شود. قبل از انجام تصحیحات و پردازش‌های بعدی بر روی داده SWIR، این جابجایی باید حذف شود [۳۲]. به منظور حذف این خطای سیستماتیک تصویر SWIR از پیکسل شماره ۱۲۹ تا ۲۵۶ باید به میزان ۱ پیکسل به سمت بالا جابجا شود تا با آریه‌های VNIR منطبق گردد [۳۳].

#### ۳-۱-۲-۲- انتخاب باندهای غیرصفر

از میان ۲۴۲ باند سنجنده هایپریون، ۱۹۸ باند غیرصفر داریم و بقیه باندها در پردازش اولیه سطح یک به صفر تبدیل شده‌اند. این باندها دارای مقادیر مناسبی نبوده و از اطلاعاتشان فقط به منظور واسنجی دیگر باندها استفاده می‌شود [۳۴]. باندهای غیرصفر و محدوده‌های طیفی آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. باندهای غیرصفر هایپریون

طیف سنج	باندها	طول موج (nm)
VNIR	۸ الی ۵۷	۴۲۸ الی ۹۲۶
SWIR	۷۹ الی ۲۲۴	۹۳۲ الی ۲۳۹۵

از میان این ۱۹۸ باند سنجنده‌ی هایپریون، ۴ باند در محدوده هم‌پوشانی دو طیف‌سنج قرار دارند. باندهای ۵۶ و ۵۷ در VNIR و باندهای ۷۷ و ۷۸ در SWIR که با حذف باندهای ۷۷ و ۷۸ به دلیل سطح بالای نویز، به ۱۹۶ باند غیرصفر می‌رسیم.

#### ۳-۱-۲-۳- اصلاح نوارهای بد در تصویر

بعضی از اشکالات موجود در تصاویر ماهواره‌ای ناشی از اختلال در عملکرد سنجنده و آشکارسازها می‌باشد. هایپریون برای هر ستون در هر باند یک آشکارساز دارد. گاهی ممکن است آشکارساز خاصی در یک دوره کوتاه

<sup>1</sup> De- Stripping radiance data

<sup>2</sup> gain

<sup>3</sup> offset

<sup>4</sup> Global' destreaking, and 'Local' Destreaking



در نرم افزار محیط برای بصرسازی تصاویر (ENVI)<sup>۸</sup> استفاده شد، و اطلاعات مورد نیاز برای برنامه‌ی FLAASH در تاریخ اخذ تصویر، از ایستگاه هواشناسی گنآباد دریافت شد. در مرحله‌ی بعد، تمامی باندهای جذبی اتمسفر از داده‌های هایپریون حذف گردید و تنها باندهایی که دارای اطلاعات و ثبات هستند حفظ شدند. که اطلاعات این باندها در جدول زیر آمده است.

جدول ۲: باندهای باقی مانده از هایپریون

طول موج (nm)	باندهای هایپریون
۴۴۸-۹۲۶	۱۰-۵۷
۹۵۳-۱۱۱۴	۸۱-۹۷
۱۱۵۵-۱۳۳۶	۱۰۱-۱۱۹
۱۴۸۸-۱۷۹۰	۱۳۴-۱۶۴
۱۹۷۲-۲۳۶۵	۱۸۲-۲۲۱

### ۳-۱-۲-۸- زمین مرجع کردن تصویر هایپریون

#### وتفکیک ناحیه‌ی هم‌پوشانی دار در دو تصویر

در این مرحله تصویر هایپریون به کمک تصویر هایپریون متناظرش که توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا زمین مرجع شده بود، به روش تصویر به تصویر<sup>۹</sup>، با انحراف معیار (RMSE)<sup>۱۰</sup> ۰/۳، زمین مرجع شد. به منظور انجام آنالیزهای بعدی و پیاده‌سازی روش پیشنهادی، دو تصویر باید از نظر مکانی دقیقاً هم‌پوشانی داشته باشند. به این منظور یک زیر تصویر<sup>۱۱</sup> از ناحیه‌ی هم‌پوشانی دار دو تصویر فوق، تهیه شد.

### ۳-۲- نمونه برداری مجدد<sup>۱۲</sup> طیفی داده‌ها

برای پیاده‌سازی الگوریتم در نظر گرفته شده، می‌بایست محدوده‌ی طیفی دو تصویر هایمپ و هایپریون و همچنین طیف آزمایشگاهی از نمونه‌های مورد مطالعه،

که در این مطالعه از روش حذف رگه‌ی محلی استفاده شد. [۳۹]

### ۳-۱-۲-۵- حذف خطای لبخند طیفی<sup>۱</sup>

انحنای طیفی که تحت عنوان لبخند<sup>۲</sup> و اخم<sup>۳</sup> از آن یاد می‌شود در اثر تکنولوژی جاروب کردن، ایجاد شده و در تمامی داده‌های هایپریون وجود دارد. اثر لبخند طیفی موجب به وجود آمدن گرادیان در تصویر می‌شود که در باندهای منفرد قابل مشاهده نیست و لذا از تبدیل کمینه‌سازی کسر نویز<sup>۴</sup> (MNF) برای واضح‌سازی آن استفاده می‌شود [۴۰]. به منظور حذف اثر لبخند طیفی تا کنون سه روش ارائه شده است [۴۱]: برازش خطی و درون‌یابی<sup>۵</sup>، ستون‌های میانگین تعدیل شده در فضای رادیانس<sup>۶</sup>، ستون‌های میانگین تعدیل شده در فضای<sup>۷</sup> MNF، در این مطالعه از روش ستون‌های میانگین تعدیل شده در فضای MNF استفاده شد.

### ۳-۱-۲-۶- واسنجی دوباره

در عمل مقادیر رادیانس طیفی، مورد استفاده قرار می‌گیرند، به همین دلیل، به منظور تبدیل داده هایپریون (DN) به واحد انرژی مطلق (رادیانس طیفی)، باید باندهای مربوط به محدوده VNIR بر ۴۰ و باندهای مربوط به محدوده SWIR بر ۸۰ تقسیم شود [۳۱].

### ۳-۱-۲-۷- حذف باندهای جذبی اتمسفر و

#### انجام تصحیحات اتمسفری

حذف اثر اتمسفر یکی از مراحل اصلی پیش پردازش می‌باشد. در این مطالعه به منظور اجرای تصحیحات جوی از برنامه FLAASH موجود

<sup>1</sup> De-smiling

<sup>2</sup> Smile

<sup>3</sup> Frown

<sup>4</sup> Minimum Noise Fraction Transform

<sup>5</sup> Moving Linear Fitting and Interpolation

<sup>6</sup> Column Mean Adjusted in Radiance Space

<sup>7</sup> Column mean Adjusted in MNF space

<sup>8</sup> ENVI(ENvironment for Visualizing Images)

<sup>9</sup> image to image

<sup>10</sup> root-mean-square error

<sup>11</sup> subset

<sup>12</sup> resampling

می‌باشد، که یکی مقدار برازش<sup>۴</sup> بوده و دیگری عدم قطعیت را نشان می‌دهد، پس از تولید خروجی آشکارسازی برای هر کانی، پیکسل‌هایی با بیشترین مقدار برازش و کمترین مقدار عدم قطعیت انتخاب شدند، با میانگین‌گیری از طیف این پیکسل‌ها، به ازای هر کانی مورد نظر، طیفی حاصل شد، که همان طیف واسطه یا نماینده می‌باشد.

### ۳-۳-۲- آشکارسازی هاپیریون با دو طیف آزمایشگاهی و واسطه

پس از تهیه‌ی طیف واسطه برای هر کانی از تصویر هایمپ، از این طیف به عنوان ورودی آشکارساز SFF، برای آشکارسازی تصویر هاپیریون استفاده شد، از طرفی برای مقایسه‌ی خروجی آشکارساز در حالتی که ورودی آن طیف واسطه باشد، یک بار نیز تصویر هاپیریون، با همین آشکارساز اما با طیف آزمایشگاهی آشکارسازی شد.

### ۳-۳-۳- روش ارزیابی

استفاده از منحنی ROC، به منظور نمایش گرافیکی عملکرد الگوریتم‌های آشکارسازی از دیدگاه میزان خطای برآورد و توان آشکارسازی، به‌طور گسترده‌ای در مطالعات محققین دیده شده‌است. ترسیم منحنی ROC اغلب بر اساس احتمال توان آشکارسازی<sup>۵</sup> یا احتمال مثبت<sup>۶</sup>، و احتمال آشکارسازی یا تشخیص اشتباه<sup>۷</sup> انجام می‌گیرد. این منحنی بر اساس مقادیر مختلف حد آستانه (مقداری که به‌عنوان معیار عضویت یا عدم عضویت در یک کلاس استفاده می‌شود) در یک طبقه‌بندی کننده دودویی ترسیم می‌شود. بمنظور بررسی عملکرد آشکارسازها به‌صورت عددی از مساحت زیر منحنی ROC (AUC<sup>۸</sup>) استفاده می‌شود، که حداکثر این مقدار

یکسان شود و در قالب یک پاسخ طیفی مشترک (پهنای باند در نیمه دامنه<sup>۱</sup> (FWHM) برابر و مراکز باندی یکسان) ارائه شوند و مورد مقایسه قرار گیرند. در این قسمت تصویر هاپیریون و طیف‌های بدست آمده از عملیات طیف‌سنجی آزمایشگاهی، به پاسخ طیفی سنجنده‌ی واسطه‌ی هایمپ، نمونه‌برداری مجدد شدند.

### ۳-۳-۳- روش کار پیشنهادی

بعد از بیان کلیه‌ی پیش‌پردازش‌های انجام شده، در این قسمت کلیاتی از روش کار به این ترتیب ارائه خواهد شد، ابتدا روش بدست آوردن طیف واسطه از روی تصویر هایمپ توضیح داده خواهد شد، در ادامه تصویر هاپیریون در دو حالت آشکارسازی خواهد شد، حالت اول طیف ورودی آشکارساز، طیف آزمایشگاهی و حالت دوم طیف ورودی آشکارسازی طیف واسطه‌ای که از مرحله قبل به‌دست آمده بود، در قسمت آخر نیز نتایج بدست آمده از آشکارسازی تصویر هاپیریون، با استفاده از منحنی‌های مشخصه عملکرد (ROC) مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

### ۳-۳-۱- آشکارسازی هایمپ و بدست آوردن طیف واسطه

آنچنان که پیشتر نیز ذکر گردید، هدف اساسی در این مطالعه استفاده از یک تصویر واسطه به منظور دستیابی به یک طیف، به‌عنوان طیف واسطه است. به‌منظور تولید این طیف، تصویر هایمپ به‌عنوان تصویر واسطه بین طیف آزمایشگاهی و تصویر هاپیریون برگزیده شد. لذا در این مرحله، عملیات آشکارسازی تصویر هایمپ بر مبنای طیف آزمایشگاهی و با به‌رمندی از روش آشکارسازی انطباق طیفی<sup>۳</sup> (SFF)، به ازای تمامی نمونه‌های مورد مطالعه انجام گرفت. خروجی این مرحله، به ازای هر پیکسل دو مقدار عددی

<sup>۴</sup> fitness

<sup>۵</sup> Detection power

<sup>۶</sup> Positive probability

<sup>۷</sup> False alarm probability

<sup>۸</sup> Area Under the Curve (AUC)

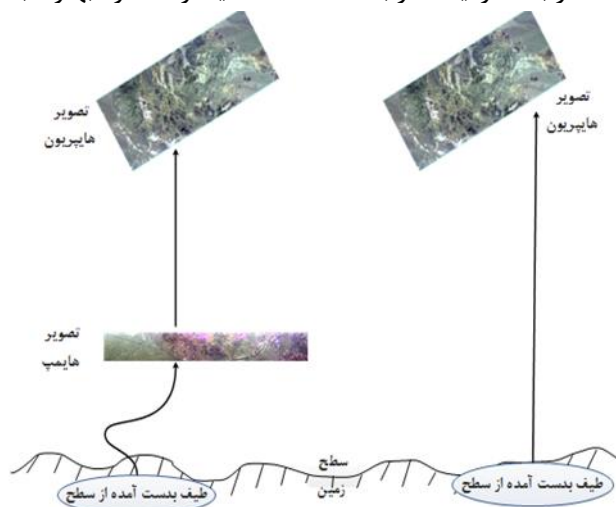
<sup>۱</sup> Full width at half maximum

<sup>۲</sup> Receiver Operating Characteristic (ROC)

<sup>۳</sup> Spectral Feature Fitting

نمایانگر عملکرد بهتر طبقه‌بندی کننده خواهد بود.

برابر ۱ است و هر چه این مقدار به ۱ نزدیک تر باشد،



شکل ۳: نمایشی از مفهوم طیف واسطه (طیف بدست آمده از روی زمین، ابتدا به روی تصویر هایپرمپ منتقل می‌شود، در مرحله‌ی بعد، طیف بدست آمده از تصویر هایپرمپ، به عنوان طیف ورودی آشکارسازی تصویر هایپریون، مورد استفاده قرار می‌گیرد)

فرایند آشکارسازی را در نظر می‌گیرد، به همین دلیل، جامعترین معیار برای ارزیابی نتایج آشکارسازی است. در این مطالعه، برای ارزیابی دقت الگوریتم پیشنهادی و خروجی آشکارسازی تصویر هایپریون در دو حالت، از روش ارزیابی ROC بهره برده شد.

#### ۴-نتایج

پس از محاسبه‌ی طیف واسطه، همانطور که در شکل ۴ دیده‌میشود، برای هرکافی، ۳ طیف، هایپریون، آزمایشگاهی و واسطه، به صورت بصری با هم مقایسه شده‌اند، در تمام نمودارهای شکل ۴ محور افقی نشان دهنده‌ی طول موج می‌باشد، که واحد مربوط به آن نانومتر است و محور عمودی نیز مقدار بازتابندگی را نشان می‌دهد، که مقادیر بازتابندگی بین صفر و یک نرمال شده‌اند.

آنچنان که از شکل ۴ روشن است، باند جذبی در محدوده‌ی حدود ۲۰۰۰ نانومتر، در هر سه طیف موجود بوده، این در حالی است که باند جذبی حوالی

یکی از سوالات مهم و کاربردی در بحث ارزیابی نتایج آشکارسازی، بحث انتخاب درست حدآستانه می‌باشد، به این دلیل که، اگر حدآستانه خیلی پایین گرفته شود، تعداد False alarm<sup>۱</sup> ها، زیاد می‌شود، و اگر حدآستانه خیلی بالا انتخاب شود، تعداد True Positive<sup>۲</sup> ها، کم خواهد شد. از بین معیارهای ارزیابی موجود، تنها منحنی ROC است که تمامی مقادیر ممکن حدآستانه را در نظر می‌گیرد و مستقل از حد آستانه می‌باشد [۴۲،۴۳]. از سوی دیگر این معیار به دلیل اینکه تمام حالت‌های ممکن False یا False alarm-2، Hit یا True Positive-1 یا False positive-3، False Negative یا Miss، True یا Negative-4 (Correct Rejection)، در خروجی

<sup>۱</sup> پیکسل متعلق به کلاس P نباشد اما طبقه بندی کننده آن را در کلاس P طبقه بندی کند.

<sup>۲</sup> پیکسل متعلق به کلاس P باشد و طبقه بندی کننده نیز آنرا در همین کلاس طبقه بندی کند.

<sup>۳</sup> پیکسل متعلق به کلاس P باشد و طبقه بندی کننده آن را در کلاس N طبقه بندی کند.

<sup>۴</sup> پیکسل متعلق به کلاس N باشد و طبقه بندی کننده به درستی آن را

در کلاس N طبقه بندی کند.

همان گونه که از نتایج مشخص است، شباهت طیف تصویر هایپریون، به طیف واسطه نسبت به طیف آزمایشگاهی، بیشتر است.

در رابطه ۱،  $p$ ، طیف هایپریون،  $q$  طیف واسطه یا آزمایشگاهی،  $d$  مقدار فاصله‌ی اندازه‌گیری شده که معیاری از شباهت بین دو طیف است،  $t$  نشان دهنده‌ی شماره‌ی باند طیفی و  $n$  تعداد کل باندها می‌باشد.

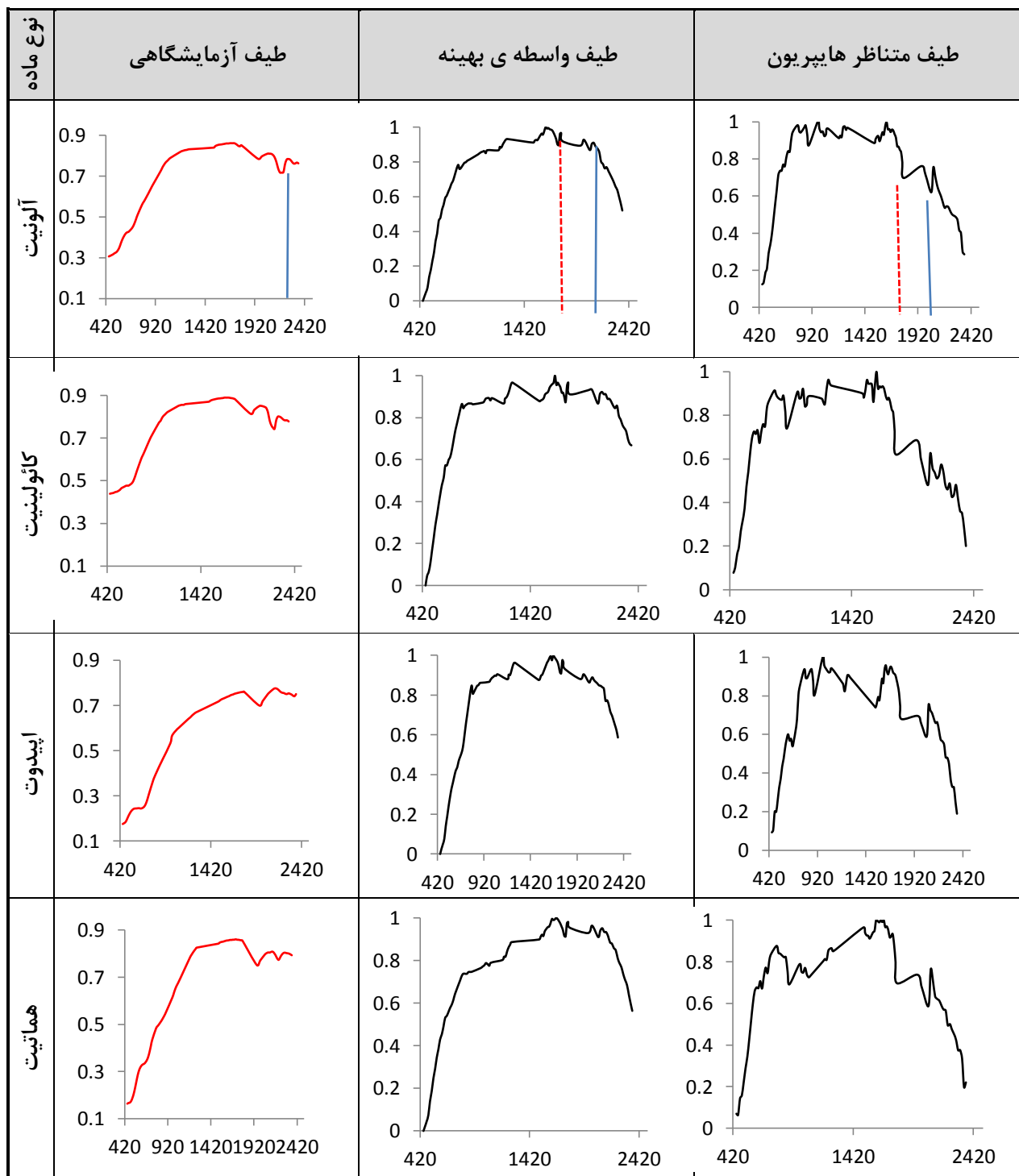
بعد از آشکارسازی تصویر فضا برد هایپریون با دو طیف واسطه و آزمایشگاهی، خروجی‌های آشکارسازی با استفاده از منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفت، که در شکل ۵ برای هر چهار کانی مورد مطالعه، منحنی ROC نشان داده شده‌است، در هر نمودار برای مقایسه‌ی بصری، نمودار ROC مربوط به دو حالت آشکارسازی با هم نشان داده شده‌است، منحنی ROC، مربوط به زمانی که طیف ورودی آشکارسازی طیف واسطه می‌باشد با علامت واسطه (نقطه‌چین) و زمانی که طیف ورودی طیف آزمایشگاهی باشد منحنی با علامت آزمایشگاهی (خط ممتد) نشان داده شده‌است. با توجه به منحنی‌های ROC، می‌توان گفت در هر چهار کانی، عملکرد آشکارساز، زمانی که طیف ورودی، طیف واسطه می‌باشد بهتر است، دلیل این برتری آن است که تحذب منحنی ROC مربوط به طیف‌های واسطه در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه بیش‌تر از تحذب آن‌ها در طیف آزمایشگاهی است.

جدول ۴ برای هر ماده در دو حالت، مساحت‌های زیر منحنی‌های ROC (AUC) را نشان می‌دهد که در واقع نشان دهنده‌ی نحوه‌ی عملکرد روش‌های آشکارسازی متفاوت است. مقدار این مساحت بین صفر و یک می‌باشد که هر چقدر میزان مساحت به مقدار یک نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده‌ی عملکرد بهتر آشکارساز می‌باشد، [۴۴،۴۵] در این مطالعه آشکارساز بهترین عملکرد را در مورد کانی اپیدوت داشته‌است، کمترین مقدار نیز مربوط به کانی هماتیت می‌باشد.

۱۹۰۰ نانومتر در طیف واسطه و هایپریون دیده شده و در طیف آزمایشگاهی دیده نمی‌شود. از طرف دیگر، نگاهی به شیب این طیف‌ها در محدوده‌ی ۱۰۲۰-۴۲۰ نانومتر نشان می‌دهد که شیب طیف واسطه و هایپریون به هم نزدیک‌تر است، در حالی که صعود منحنی طیفی در محدوده‌ی متناظر از طیف آزمایشگاهی با سرعت کمتری نسبت به دو طیف دیگر صورت گرفته است. در مجموع مشاهده می‌شود که شباهتی که طیف واسطه و طیف هایپریون به هم دارند، نسبت به شباهت طیف آزمایشگاهی و هایپریون، بیشتر است. اصولاً کانی‌های مورد مطالعه بجز هماتیت، مابقی خود را در SWIR نشان می‌دهند، می‌توانستیم فقط مطالعه روی طیف‌ها را به این ناحیه (SWIR) محدود کنیم، اما دلیل استفاده از کل دامنه‌ی طیفی این است که، در این مطالعه هدف فقط آشکارسازی نبوده، و دنبال یک نوع مقایسه در سرتاسر محدوده‌ی طیف دو تصویر هوا برد و فضا برد از یک منطقه‌ی مشترک، نیز هستیم. تا از طریق این مقایسه، تاثیر عوامل مختلف بر طیف دو تصویر در نواحی مختلف طیفی و میزان شباهت موجود بین آنها مشخص شود.

علاوه بر مقایسه بصری، شباهت طیف‌ها از طریق فاصله‌ی اقلیدوسی<sup>۱</sup> (معادله ۱) که یکی از معیارهای شباهت طیفی است، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه در جدول ۳ نمایش داده شده‌است، معیار شباهت اینگونه محاسبه شد که، فاصله‌ی طیف تعدادی از پیکسل‌های هایپریون، که از طریق داده‌های حقیقت زمینی به یک کانی خاص منتسب شده بود، از طیف واسطه و آزمایشگاهی مرتبط با آن کانی محاسبه شد، سپس از تمام فاصله‌های محاسبه شده برای پیکسل‌های هایپریون مربوط به یک کانی خاص میانگین گرفته شد.

<sup>1</sup> Euclidean distance



شکل ۴: مقایسه ی طیف آزمایشگاهی، طیف واسطه و طیف متناظر هایپریون، در تمام نمودارها محور افقی نشان دهنده ی طول موج می باشد، که واحد مربوط به آن نانومتر است و محور عمودی نیز مقدار بازتابندگی را نشان می دهد، که مقادیر بازتابندگی بین صفر و یک نرمال شده اند.

رابطه (۱)

$$d(p, q) = d(q, p) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2 + \dots + (q_n - p_n)^2}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$

جدول ۳: شباهت طیف‌ها بر اساس معیار فاصله اقلیدوسی (هر میزان فاصله کمتر باشد، میزان شباهت بیشتر است)

هماتیت	اپیدوت	کائولینیت	آلونیت	طیف تصویر هایپریون
۷۷۳۲/۱۵	۵۶۹۳/۱۸	۵۹۲۸/۱۵	۵۹۶۲/۱۷	مقدار فاصله با طیف آزمایشگاهی
۰۵۰۳/۹	۳۵۱۱/۸	۹۰۸۹/۸	۴۸۱۴/۱۰	مقدار فاصله با طیف واسطه

در مقایسه [۲۶] گرفته شد و ماهیت مطالعه پیشنهادی به این ترتیب است که طیف ورودی آشکارساز برای تصاویر ابرطیفی، به جای آنکه مستقیم از روی زمین وارد مرحله‌ی آشکارسازی شود، ابتدا از روی زمین به یک تصویر واسطه منتقل شده و سپس از روی آن تصویر واسطه به تصویر ابرطیفی فضا برد منتقل شود. به این ترتیب، موضوع عدم تناسب در مقیاس ورودی‌های آشکارسازی حل خواهد شد و از پتانسیل بالای مکانی تصویر واسطه‌ی هایمپ برای بهبود دقت آشکارسازی در تصویر هایپریون استفاده خواهد شد. که این گونه ضعف تصویر هایپریون در آشکارسازی، که به سبب حد تفکیک مکانی پایین می‌باشد، تا حدودی پوشش داده خواهد شد.

در تمام کانی‌ها آشکارساز، در زمانی که طیف ورودی آشکارسازی، طیف واسطه می‌باشد، نسبت به زمانی که طیف آزمایشگاهی طیف ورودی است، عملکرد بهتری دارد.

#### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

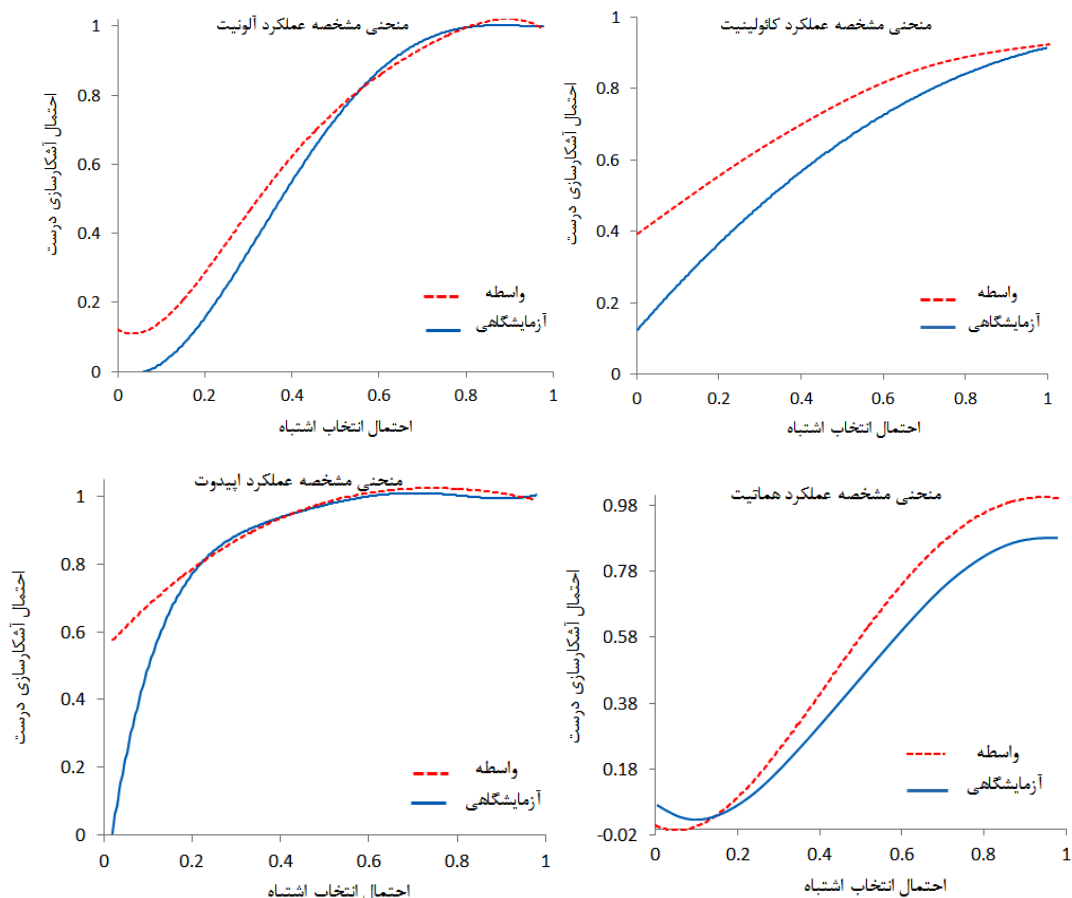
آشکارسازی اهداف معدنی در طی سالیان متمادی و همچنین انجام مطالعات و پژوهش‌های گسترده، در حال حاضر به نقطه‌ای رسیده است که به جای حضور در منطقه و کارمیدانی و صرف هزینه و زمان زیاد، به کمک علم سنجش از دور و استفاده از تصاویر ابرطیفی در طی زمان کوتاه و دقت بالا، قابل انجام است.

ایده‌ی اصلی این پژوهش از بحث رعایت تناسب مقیاس

جدول ۴: مقدار عددی مساحت زیر نمودار ROC (AUC) برای منحنی‌های ROC رسم شده

برای هر کدام از کانی‌ها در دو حالت (طیف آزمایشگاهی و طیف واسطه)

نوع ماده	آزمایشگاهی	واسطه
آلونیت	۰/۵۷۸۶	۰/۶۲۳۳
کائولونیت	۰/۶۰۵۹	۰/۷۱۹۷
اپیدوت	۰/۸۲۸۹	۰/۸۷۲۱
هماتیت	۰/۳۸۹۹	۰/۴۹۲۷



شکل ۵: مقایسه‌ی خروجی آشکارسازی به کمک ROC برای چهار کانی مورد نظر

در مساحت ۲۵ مترمربع است، قطعاً تمام این ۲۵ متر مربع از یک ماده‌ی خالص نیستند و همین ناخالصی‌ها (تنوع پدیده‌ها)، سبب می‌شوند تا طیف یک پیکسل هایمپ که (با استفاده از دانشی که در عملیات میدانی بدست آمده) به یک ماده‌ی خالص منتسب شده، کاملاً شبیه طیف بدست آمده آزمایشگاهی از این ماده‌ی خالص نباشد. در واقع هر چقدر مساحت بیشتر باشد میزان تاثیر ناخالصی‌ها روی طیف غالب (طیفی که در عملیات میدانی، پیکسل به آن منتسب شده) بیشتر می‌شود، به عبارت دیگر هر چقدر مساحت منطقه‌ی تاثیر گذار روی طیف یک پیکسل (در پیکسل‌های تصویر واسطه) بیشتر شود، اختلاف بین طیف واسطه و آزمایشگاهی بیشتر می‌شود. دلیل شباهت بیشتر بین طیف واسطه و طیف تصویر

در شکل ۴، برای هر ماده، طیف آزمایشگاهی و طیف واسطه‌ی بدست آمده از تصویر هوابرد هایمپ و طیف هایپریون متناظر (پیکسل هایپریونی که پیکسل هایمپ در آن قرار گرفته است) نمایش داده شده است، همان‌گونه که در ۴ کانی مختلف دیده می‌شود، شباهتی که طیف واسطه و طیف هایپریون به هم دارند، نسبت به شباهت طیف آزمایشگاهی و هایپریون، بیشتر است. این مسئله در نتایج، معیار شباهت فاصله اقلیدوسی (جدول ۳)، نیز کاملاً مشهود است. دلیل این مسئله را می‌توان این‌گونه توضیح داد که، طیف بدست آمده از طیف آزمایشگاهی، حاصل از بازتابش نور از پدیده‌های موجود در مساحت بسیار کمی است، اما طیفی که در هر پیکسل هایمپ ثبت شده، حاصل بازتابش پدیده‌های موجود

بسیار بهتری خواهیم رسید. در همین راستا، برای بهبود استخراج طیف واسطه، آشکارسازی بهتر باطیف واسطه و همچنین بهره‌برداری مناسب‌تر از این پتانسیل، پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

- در تمام الگوریتم‌های آشکارسازی اهداف در تصاویر فراطیفی، که خواه مبتنی بر طیف‌سنجی میدانی باشد و خواه مبتنی بر استفاده از طیف مستخرج از تصاویر دیگر، یکی از عوامل عدم قطعیت در نتایج حاصل، اختلاف زمانی ثبت طیف مرجع و طیف تصویر فراطیفی (تصویر مورد آشکارسازی) می‌باشد. در صورت انجام صحیح فرایند طیف‌سنجی میدانی در زمان و شرایط مناسب و همچنین تصحیح موثر اثرات جوّی بر روی تصاویر ابر طیفی مورد مطالعه، می‌توان انتظار داشت، اختلاف زمانی جمع‌آوری داده‌های مرجع و اخذ تصویر فراطیفی، کمترین تاثیر مخرب در نتایج آشکارسازی را داشته باشد، اما با این وجود، هر چقدر این اختلاف زمانی کمتر باشند، دقت آشکارسازی بالاتر می‌رود.
- در این پژوهش طیف واسطه، با انجام میانگین‌گیری از طیف پیکسل‌هایی از هایمپ، که بیشترین احتمال حضور را داشتند، محاسبه شد، مطالعه و پژوهش بیشتر، به‌منظور دستیابی به یک شیوه‌ی جامع در استخراج طیف واسطه، از تصویر واسطه پیشنهاد می‌شود.

هایپیرون نیز، این است که ناخالصی‌ها (هرماده‌ای به جز ماده‌ی غالب) در هر دو تصویر هایمپ و هایپیرون به طور یکسان وجود دارند و همان تغییری که در طیف تصویر هایمپ ایجاد می‌کنند در طیف هایپیرون نیز (در یک مساحت یکسان) ایجاد خواهند کرد. همین شباهت بیشتر بین طیف هایپیرون و هایمپ در مقایسه با طیف آزمایشگاهی، یک دلیل کافی است تا در آشکارسازی تصویر هایپیرون از طیف واسطه به‌عنوان ورودی، استفاده شود، که این امر باعث می‌شود، آشکارسازی، که در واقع نوعی مقایسه‌ی شباهت بین طیف ورودی و طیف مورد نظر است، با حل مشکل عدم تناسب در مقیاس، به نتایج معتبرتر و دقیق‌تر منتهی شود. در واقع دلیل حل این عدم تناسب مقیاس، پتانسیل مکانی تصویر هایمپ بود، چون دو تصویر هایمپ و هایپیرون هر دو از نظر طیفی در سطحی نسبتاً مشابه هستند. به این ترتیب، با بهره‌مندی از پتانسیل مکانی تصویر هایمپ، ضعف تصویر هایپیرون در آشکارسازی، که از حد تفکیک مکانی پایین آن ناشی می‌شد، تا حد قابل قبولی مرتفع گردید.

با توجه به منحنی‌های ROC (شکل ۵) و مساحت‌های زیر منحنی ROC (AUC) (جدول ۳)، می‌توان گفت در حالت کلی در تمام موارد، عملکرد آشکارساز، زمانی که طیف ورودی، طیف واسطه می‌باشد، بهتر است. این موضوع نوید دهنده‌ی این است که اگر در مورد طیف واسطه مطالعات بیشتری انجام شود و پارامترهای مختلف در نظر گرفته شود، قطعاً به نتایج

## مراجع

- [1] S.A. Sayedain " Exploration of Oil Seepages (Hydrocarbon) Using Target Detection Algorithms in Hyperspectral Images", M.Sc. Thesis in Civil-Surveying Engineering In Remote sensing, K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, 2013(Persian).
- [2] S. Dehnavi " Beneficiary of Hyperspectral Images in Minerals' Target Detection (Study

- Area: Mashhad) ", M.Sc. Thesis in Civil-Surveying Engineering In Remote sensing, K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Geodesy and Geomatics, 2014(Persian).
- [3] Bakker, W. H., et al., 2004. *Principles of remote sensing*. International Institute for geoinformation science and earth observation.
- [4] Sabins, F. F. (1999). "Remote sensing for mineral exploration." *Ore Geology Reviews* 14: 157-183.



- [5] Gillespie, A. R., A. B. Kahle and R. E. Walker (1987). "Color enhancement of highly correlated images.II. channel ratio and "chromaticity" transformation techniques." REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT 22: 343-365.
- [6] Madani, A. A. and A. A. Emam (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.
- [7] Meer, F. D. v. d., H. M. A. v. d. Werff, F. J. A. v. Ruitenbeek, C. A. Hecker, W. H. Bakker, M. F. Noomen, M. v. d. Meijde, E. J. M. Carranza, J. B. d. Smeth and T. Woldai (2012). "Multi- and Hyperspectral geologic remote sensing: A review." International Journal of Applied earth observation and geoinformation-ELSEVIER 14: 112-128.
- [8] Zhang, X., M. Pazner and N. Duke (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.
- [9] Kenea, N. H. and H. Haenisch (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.
- [10] 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.
- [11] Yamaguchi, Y. and C. Naito (2003). "Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands." International Journal of Remote Sensing 24(22): 4311-4323.
- [12] Cloutis, E. A. (1996). "Review article Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques." International Journal of Remote Sensing 17: 2215-2242. URL:
- [13] Hunt, G. R. and J. W. Salisbury (1970). "Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals." Modern Geology 1.
- [14] Vane, G. and A. F. H. Goetz (1988). "Terrestrial Imaging Spectroscopy." REMOTE SENS. ENVIRON. 24: 1-29.
- [15] Chang, C. I., s. Chakravarty, H.-M. Chen and Y.-C. Ouyang (2009). "Spectral derivative feature coding for hyperspectral signature analysis." Pattern recognition 42: 395-408.
- [16] Schowengerdt, R. A. (2007). Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. Department of Electrical and Computer Engineering, Elsevier's Science and Technology, Inc.
- [17] Heike Gerighausen, G. Menz and H. Kaufmann<sup>3</sup> (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.
- [18] Clark, R. N., G. A. Swayze, K. E. Livo, R. F. Kokaly, S. J. Sutley, J. B. Dalton, R. R. McDougal and C. A. Gent (2003). "Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems." J. Geophys. Res. 5: 1-44.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Manolakis, D. and G. Shaw (2002). "Detection algorithms for Hyperspectral Imaging applications." Signal Processing Magazine, IEEE 19(1): 29-43.
- [22] Heidena, U., K. Seglb, S. Roessnerb and H. Kaufmannb (2007). "Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data." REMOTE SENS. ENVIRON.
- [23] R.N. Clark, G.A. Swayze, R. Wise, K. Eric Livo, T.M. Hoefen, R.F. Kokaly, and S. J. Sutley, "USGS digital spectral library splib06a", U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231, 2007. <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06>.
- [24] F. A. Kruse, J.W. Boardman, and J.F. Huntington "Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO-1 Hyperion for Mineral Mapping ", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 41, 6 , 2003.
- [25] P. Kawishwar," Atmospheric Correction Models for Retrievals of Calibrated Spectral Profiles from Hyperion EO-1 Data", Ph.D

Thesis, INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION ENSCHEDE, THE NETHERLANDS AND INDIAN INSTITUTE OF REMOTE SENSING, NATIONAL REMOTE SENSING AGENCY (NRSA), DEPARTMENT OF SPACE, GOVERNMENT OF INDIA, DEHRA DUN, INDIA, 2007.

[26] Sh. Liang, "Quantitative remote sensing of land surfaces", chap12. Vol. 30. John Wiley & Sons Press, 2005.

[27] R. Beck, "EO-1 User Guide," ed. University of Cincinnati, pp. 1-74, 2003.

[28] M.A. Folkman, J. Pearlman, L.B. Liao, and P.J. Jarecke, "EO-1/Hyperion hyperspectral imager design, development, characterization, and calibration," in Second International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, pp. 40-51, 2001.

[29] T. Cocks, T., R. Janssen, A. Stewart, I. Wilson and T. Shields. "The HyMAP airborne hyperspectral sensor: the system, calibration and performance", CSIRO Manufacturing Science and Technology, 1998.

[30] S. Dehnavi, Y. Maghsoudi, M.J. Valadan Zoj and A. Biatani " Fusion of detectors for mapping hydrothermal mineral alterations (Case Study: Gonabad) , geosciences scientific quarterly journal, 2015(Persian).

[31] P. Barry, "EO-1/ Hyperion Science Data User's Guide, Level 1\_B," TRW Space, Defense & Information Systems, 2001.

[32] A. Mehrmanesh, M.R Sahebi, M.J. Valadan Zoj, M. Soltani and M.Moghri " Discrimination of mineral alterations related to porphyry copper mineralization using Hyperion imagery" , geomatics conference, National Cartographic Center, Iran, 2010 (Persian).

[33] <http://eo-1.gsfc.nasa.gov>, "EO-1 Technology Validation Extended Mission Questionnaire Background Data and Operation Assumptions ", 2001.

[34] Y.J. Ming, K.Mori and R. Kada. " Application of Remote Sensing Image Data in the Analysis of Land Use Management for Agriculture in Chianan Irrigation Project in Taiwan ", ACRS 2000, Poster Session3, 2000

[35] H. karimi " Evaluation of spectral analysis techniques of remote sensing data in specifying

alterations and future goals for metal minerals' sources" M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, faculty of humanities, 2012(Persian).

[36] H. Li, D. Zhang, Y. Zhang, and Y. Xu, "Research of image preprocessing methods for EO-1 Hyperion hyperspectral data in tidal flat area," in *Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment: Classification of Remote Sensing Images*, pp. 71471G-71471G-8, 2008.

[37] T. Han, D.G. Goodenough, A. Dyk, and J. Love , " Detection and Correction of Abnormal Pixels in Hyperion Images ", in Proc.IGARSS,vol.III,Toronto,ON, Canada, 2008,pp. 1327-1330, 2002.

[38] B. Datt, T.R. McVicar, T.G. Van Niel, D.L.B. Jupp, and J.S. Pearlman, "Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 1246-1259, 2003.

[39] A. Aktaruzzaman, "Simulation and Correction of Spectral Smile Effect and its Influence on Hyperspectral Mapping," MS Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands, 2008.

[40] D.G.A.D Goodenough, K.O. Niemann, J.S. Pearlman, C. Hao, T. Han, M. Murdoch, and C. West, "Processing Hyperion and ALI for Forest Classification," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 1321-1331, 2003.

[41] C.I. Chang, "Hyperspectral imaging: Techniques for spectral detection and classification", Wiley publication, 2003.

[42] D.Manolakis, D. Marden, and G. A. Shaw,"Hyperspectral Image Processing for Automatic Target Detection Applications", LINCOLN LABORATORY JOURNAL, 14:154-176, 2003.

[43]Ch. Chang, H. Ren, and Sh. Chiang. "Real-time processing algorithms for target detection and classification in hyperspectral imagery" *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 39.4,760-768, 2001.

[45] H.R. Goldberg, "A performance characterization of kernel-based algorithms for anomaly detection in hyperspectral imagery." MSc thesis, Faculty of the Graduate School, University of Maryland, 2007.



## Using Intermediate Spectrum for mineral target detection of Hyperion Images (study area: Gonabad)

Siavash Rahmani <sup>\*1</sup>, Yasser Maghsoudi <sup>2</sup>, Sahar Dehnavi <sup>3</sup>

1- Ms.c student of remote sensing in Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

2- Assistant professor in in Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

3- PhD student of remote sensing in Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

### Abstract

Mineral target detection using the spaceborne hyperspectral images do not leads to accurate results because of the low spatial resolution. Therefore it might be better to use images with much more spatial resolutions in order to achieve good results. However, although airborne hyperspectral images have moderately good spatial resolutions but they are too much costly. Consequently it would be great if we could find a solution for the mentioned problem in low cost satellite images (such as Hyperion). In this study, a process was proposed to apply an intermediate spectrum from Hymap airborne image, to detect some minerals in the spaceborne Hyperion image. The study was conducted in east Iran and it was carried out on four mineral targets including: Kaolinite, Alunite, Epidote and Hematite. Experimental results indicate that the performance was better in intermediate spectrum for entire minerals, by 4.47, 11.38, 4.32 and 10.28 percent respectively in Alunite, Kaolinite, Epidote and Hematite.

**Key words:** Target Detection, Intermediate Spectrum, Hyperspectral Images, Minerals, Spectral Feature Fitting algorithm.