

ارزیابی روش‌های طبقه بندی SAM و BEC برای تفکیک واحدهای زمین شناسی

پریسا بیرانوند^۱، علی حسینقلی زاده^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه خوارزمی تهران
p.beyranvandgis@gmail.com

^۲ دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه خوارزمی تهران
ali.hosinzade.khu@gmail.com

(تاریخ دریافت مرداد ۱۳۹۶، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۷)

چکیده

مسئله‌ی تهیه نقشه واحدهای زمین شناسی در طی یک روند رو به بهبود، امروزه به نقطه‌ای رسیده است که آشکارسازی و طبقه بندی واحدهای زمین شناسی به کمک سنجش از دور ابرطیفی انجام می‌شود. در این پژوهش با استفاده از تصویر فراطیفی سنجنده هایپریون، مربوط به منطقه خرم آباد واقع در استان لرستان، و به کارگیری الگوریتم‌های طبقه بندی نظارت شده Spectral Angle Mapper و Binary Encoding Classification در تشخیص و تفکیک واحدهای زمین شناسی صورت گرفته است. پس از انجام پیش پردازش‌های لازم، تبدیل MNF و الگوریتم PPI به ترتیب برای کاهش داده و استخراج پیکسل‌های خالص بر روی تصویر اعمال شد. از همپوشانی پیکسل‌های خالص با واحدهای زمین شناسی و داده‌های زمینی، طیف میانگین برای هر عضو استخراج گردید سپس این اعضای خالص به عنوان ورودی جهت الگوریتم‌های ذکر شده فوق استفاده و طبقه بندی تصویر صورت پذیرفت. بررسی‌های میدانی انجام شده و نمونه برداری‌های زمینی (در نقاط ارائه شده توسط روش نقشه بردار زاویه طیفی و BEC) مؤید برتری روش SAM در تفکیک واحدهای زمین شناسی است. در نهایت با بررسی صحت الگوریتم‌ها از طریق محاسبه ماتریس خطا، دقت طبقه بندی هر روش به ترتیب برای SAM (68/83) و BEC (32/60)، مشخص گردید که در پایان الگوریتم SAM با دقت کلی 68/83 به عنوان بهترین الگوریتم طبقه بندی معرفی گردید.

واژگان کلیدی: تصاویر فراطیفی، واحدهای زمین شناسی، اعضای خالص، SAM، BEC، MNF

۱- مقدمه

طبقه‌بندی در تجزیه و تحلیل، جداسازی و آشکارسازی واحدهای مختلف زمین‌شناسی جایگاه ویژه‌ای دارد. طبقه‌بندی تصویر، یکی از مؤلفه‌های اصلی فرآیند استخراج اطلاعات موضوعی است که از طریق بررسی رابطه بین اثر طیفی و کلاس‌ها یا طبقات مختلف حاصل می‌شود. در حقیقت فرآیند طبقه‌بندی تصویر، تبدیل داده‌ها به اطلاعات قابل درک است [۶].

قابل ذکر است که تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی از طریق فن آوری سنجش از دور، بسیار کم هزینه است؛ به طوری که قیمت تمام شده آن در حدود یک دهم روش‌های سنتی تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی می‌باشد [۷].

در این تحقیق الگوریتم‌های مورد استفاده به صورت نظارت‌شده استفاده گردیده‌اند. ارزیابی الگوریتم‌های نظارت‌شده تمام پیکسل و بررسی حاصل از این الگوریتم‌ها را در بهبود طبقه‌بندی و یا آشکارسازی اهداف موردنظر یاری خواهد کرد؛ یعنی اینکه کدام یک از الگوریتم‌ها در تهیه نقشه واحدهای زمین‌شناسی از کارایی بالاتری برخوردار است.

۲- پیشینه تحقیق

در زمینه‌ی استفاده از تصاویر ابرطیفی سنجنده فضا برد هایپریون تاکنون پژوهش‌هایی در علوم کشاورزی، اکتشاف کانسارها، تفکیک واحدهای سطحی زمین و دیگر حوضه‌های علوم زمین صورت گرفته است. تعدادی از این پژوهش‌ها عبارتند از:

BeiranvandPour&Hashim(2011) کاربرد تصاویر سنجنده هایپریون در تفکیک واحدها و تهیه نقشه زمین‌شناسی را در نوار آتشفشانی ایران مرکزی بیان کرده‌اند [۸]. رفاهی (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی استر در محدوده‌ی نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰ اوگلانسر با استفاده از تکنیک‌های مختلف سنجش از دوری نقشه بردارزایه طیفی، کسر کمترین نوفه و روش‌های دیگر اقدام به شناسایی و تفکیک دگرسانی‌ها نموده و در نهایت با اعتبارسنجی صحرائی دقت ۹۰ درصدی برای نقشه‌های تهیه شده را مورد تأیید قرار می‌دهد [۹].

ارغوانیان و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از الگوریتم‌های ^۱LSU و SAM‌های به شناسایی نواحی دارای طلا در

استفاده از فناوری دورسنجی و به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای اغلب موجب کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت می‌شود [۱]. استفاده از این فناوری در چند دهه اخیر به مثابه یکی از مهمترین ابزارهای کسب اطلاعات، توجه بسیاری از کارشناسان و متخصصان علوم مختلف را به خود جلب کرده است؛ از جمله این علوم می‌توان به زمین‌شناسی، معدن، محیط زیست، هواشناسی و کشاورزی اشاره کرد. از اواخر دهه هشتاد میلادی و با معرفی سنجنده‌های ابر طیفی، گام بلندی در حوزه فناوری سنجش از دور برداشته شد. سنجنده‌های ابر طیفی در مقایسه با سنجنده‌های قدیمی‌تر چند طیفی، داده‌هایی با تفکیک‌پذیری طیفی بسیار بالاتری تولید کرده و در نتیجه امکان شناسایی بسیار دقیق‌تر عوارض زمینی را فراهم می‌آورند [۲]. از آنجایی که سنجنده‌های ابر طیفی به دلیل استفاده از باندهای طیفی بسیار زیاد، حجم فراوانی داده طیفی تولید می‌کنند، لذا استفاده از روش‌هایی که قادر به پردازش و استخراج اطلاعات ارزشمند از این داده‌های حجیم باشند نیز ضروری است. رابطه زمین‌شناسی و سنجش از دور پیشینه‌ای قریب به سی سال دارد [۳].

دقت بسیار بالای اطلاعات طیفی ارائه شده توسط سنجنده‌های ابرطیفی هوآبرد و فضا برد منجر به افزایش کارایی فناوری سنجش از دور در حوزه علوم زمین و اکتشافات ذخایر اقتصادی معدنی نسبت به گذشته گردیده است [۴]. یکی از مهمترین اهداف استفاده از سنجش از دور ابرطیفی در زمین‌شناسی از گذشته تا به امروز تهیه نقشه پراکندگی کانیها، سنگ‌ها و کسب اطلاعات از ترکیبات سازنده سطح زمین با هدف اکتشافات ذخایر معدنی است چرا که سنجنده‌های ابرطیفی توانایی شناسایی کانی‌های سازنده سطح زمین را با جزئیات خیلی بیشتری دارند [۵]. نقشه‌های موجود واحدهای زمین‌شناسی به طور معمول به روش‌های سنتی تهیه شده است؛ در این پژوهش سعی بر این است که از قابلیت‌های فناوری سنجش از دور در تهیه این نقشه‌ها بهره گرفته شود.

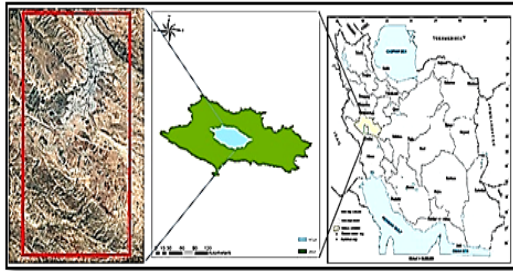
تصاویر حاصل از فناوری سنجش از دور تأمین‌کننده داده‌های کارآمدی است که برای استخراج اطلاعات موردنظر از آن‌ها نیاز به پردازش‌هایی بر روی تصویر است. در میان روش‌های مختلف سنجش از دور، تکنیک

^۱ Linear Spectral Unmixing

۳- مواد و روش ها

۳-۱- منطقه پژوهش

منطقه مورد مطالعه واقع در غرب کشور ایران، استان لرستان، شهرستان خرم‌آباد واقع شده است (شکل ۱). خرم‌آباد از نظر جغرافیایی در حدود $48^{\circ} 23' - 48^{\circ} 20'$ طول جغرافیایی و $39^{\circ} 06' - 38^{\circ} 43'$ عرض جغرافیایی واقع است.



شکل ۱- نمایی از ناحیه منتخب مطالعاتی در استان لرستان، پلی گون قرمز رنگ نمایانگر تصویر هایپریون محدوده مورد مطالعه واقع در شهرستان خرم‌آباد است.

۳-۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

وضعیت ساختمانی- رسوبی استان معرف این واقعیت است که بخش‌های مختلف آن در طول زمان ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوتی نسبت به هم پیدا کرده و از هم متمایز شده است لذا با توجه به فعالیت‌های تکتونیکی و سبک ساختمانی واحدهای مختلف سن واحدها یا حوضه‌های رسوبی و نوع رسوبات مربوط به آن‌ها و همچنین فعالیت‌های ماگمایی و دگرگونی استان لرستان بر اساس واحدهای زمین‌شناختی و ساختمانی ایران به سه زون به شرح زیر می باشد:

الف) زون زاگرس: زیر زون زاگرس چین‌خورده

ب) زیر زون زاگرس رو رانده یا مرتفع

ج) زون سندانج- سیرجان

در منطقه مورد بررسی به شرح خصوصیات واحدهایی می‌پردازیم که در منطقه رخنمون دارند که از آن جمله می‌توان به واحدهای سنگ چینه‌ای موسوم به واحد گچساران، سروک، بختیاری، آسماری، کشکان اشاره کرد.

منطقه مشکین شهر واقع در شمال غرب ایران با استفاده از تصاویر هایپریون پرداختند [۱۰]. بهرام بیگی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش های SAM و PCA به استخراج و سنگ‌های کائولینی با تصاویر ابرطیفی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش SAM با دقت بهتری این تفکیک را انجام می دهد [۱۱].

بلواسی و همکاران (۱۳۹۴) در شناسایی مناطق دارای مس منطقه قزل داش شهرستان خوی از تصاویر هایپریون و روش های پیکسل مینا استفاده کردند. نامبردگان به دقت بالای روش پیکسل مینای SAM جهت شناسایی و تفکیک این مناطق با دقت بالا اشاره کردند [۱۲].

فری و همکاران (۲۰۰۷) روش های طبقه بندی بر اساس پیکسل شامل روش اندازه گیری زاویه طیفی و بیشترین شباهت و همچنین روش تجزیه طیفی، به طبقه بندی تصویر AVIRIS مربوط به یک منطقه کشاورزی پرداختند.

نگهبانی نیز در سال ۱۳۸۵ به بررسی و ارزیابی الگوریتم های شناسایی اهداف در تصاویر ابر طیفی، به منظور آشکارسازی مواد معدنی پرداخت. او در تحقیق خود به بررسی و ارزیابی الگوریتم های شناسایی اهداف که برای تمایز بین اهداف از زمینه‌ی، از مشخصه طیفی مواد استفاده می کنند، پرداخت.

لی و همکاران (۲۰۱۴) به منظور شناسایی منابع معدنی مبتنی بر پردازش داده مینا، در منطقه ای در غرب چین تصاویر ASTER را با استفاده از الگوریتم SAM به کار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که روش های مبتنی بر داده های ASTER با استفاده از تصاویر ابزاری قدرتمند برای استفاده در منابع معدنی کوچک است [۱۳]. آمر و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER و تصاویر راداری سنجنده منطقه PALSAR، منطقه ای در صحرای مرکزی مصر را بررسی و از روش های SAM و SID برای طبقه بندی زون های دگرسانی مرتبط با طلا استفاده کردند [۱۴].

تحقیق حاضر سعی دارد تا با طبقه‌بندی و آشکارسازی بر اساس طیف‌های به دست آمده به شناسایی واحد های زمین‌شناسی به کمک تصاویر ماهواره‌ای هایپریون و جداسازی واحدهای زمین‌شناسی، دقت نقشه‌های تولیدی را افزایش دهد.

جدول ۱- معرفی مهم‌ترین واحدهای لیتولوژی موجود (اهداف مورد مطالعه) در محدوده مورد مطالعه

ردیف	علامت	لیتولوژی
۱	Plbk	کنگومرای توده‌ای سیمانی با دگرسانی شدید و ماسه سنگ کمی هوازده با چینه بندی متقاطع (واحد بختیاری)
۲	Mgs	انیدریت، نمک، مارن خاکستری و قرمز بامیان لایه های گچ، آهک آرژیلیتی و آهک (واحد گچساران)
۳	EMas-sb	سنگ های تفکیک نشده واحدهای شهبازان و آسماری
۴	Pekn	کنگومرای قرمز، ماسه سنگ و سلتستون (واحد کشکان)
۵	Ksv	سنگ آهک خاکستری و آهک دولومیتی (واحد سروک)

۳-۳- داده های استفاده شده

تصویر ماهواره‌های EO-1 سنجنده هایپریون در این تحقیق در تاریخ ۵ سپتامبر ۲۰۱۰ اخذ شده است که دارای شماره مسیر ۱۶۶ و شماره ردیف ۳۷ می‌باشد. ابعاد آن برابر با 7/65 کیلومتر عرض و ۱۸۵ کیلومتر طول می‌باشد. مرکز این منطقه و تصویر دارای مختصات ۳۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۰۰ ثانیه شمالی و ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه و ۱۹ ثانیه شرقی می‌باشد.

۳-۴- آماده سازی تصاویر ماهواره ای

۳-۴-۱- پیش پردازش داده های ماهواره ای

عملیات پیش پردازش لازم برای آماده سازی داده ها شامل دو مرحله کلی تصحیح رادیومتریک و تصحیح هندسی است.

یکی از تصحیح های لازم برای داده های هایپریون، تصحیح اثر انحنای طیفی در تصویر است که بر اثر فناوری تصویربرداری Pooshbroom به وجود آمده، در تمام داده های هایپریون وجود دارد [۱۵]. تصحیح این خطا به روش تعدیل میانگین ستون در فضای رادیانس در نرم افزار ENVI انجام گرفت. در این روش، برای هر باند منفرد داده های هایپریون، مقدار میانگین هر ستون برابر با مقدار میانگین باند گذاشته میشود نوارهای عمودی ۲ از دیگر خطاهای موجود در تصاویر هایپریون است که برطرف کردن آنها با استفاده از نرم افزار ENVI انجام گرفت. داده های

تصویر که به صورت عدد رقومی ۳ بود، ابتدا به رادیانس و سپس به بازتابندگی ۴ تبدیل شد. مقادیر رقومی محصولات سطح هایپریون، رادیانسهای ۱۶ بیتی بود. باندهای VNIR دارای ضریب مقیاس ۴۰ است و باندهای SWIR ضریب مقیاس ۸۰ دارد (در واحد $\mu\text{m}/\text{Wm}^2\text{Sr}1$). بنابراین مطابق رابطه مقادیر رادیانس برای باندهای این تصویر تصحیح شد:

$$\text{VNIR} = \text{Digital Number}/40 \quad (1)$$

$$\text{SWIR} = \text{Digital Number}/80 \quad (2)$$

تصحیح اتمسفری سبب تبدیل مقادیر رادیانس به مقادیر انعکاس در پیکسل می شود. اطلاعات انعکاس در مقایسه با رادیانس مطلوبیت بیشتری دارد؛ چراکه اطلاعات انعکاسی در همه جای دنیا به طور نسبی مشابه است و به خصوصیات هر ماده بستگی دارد؛ در حالیکه اطلاعات رادیانس متفاوت بوده، از طریق شاخص های گوناگون اتمسفر تحت تأثیر قرار می گیرد. تصحیح جوی تصویر هایپریون و تبدیل رادیانس به بازتابندگی، به کمک الگوی تصحیح اتمسفری FLAASH در نرم افزار ENVI انجام گرفت.

پس از تصحیح رادیومتریک، تصحیح هندسی نیز روی تصاویر انجام گرفت. برای تصحیح هندسی تصاویر از نقاط کنترل زمینی همچون تقاطع جاده ها و راهها که در هر دو تصویر ماهواره ای هایپریون و OLI به طور واضح نمایان بود استفاده شد، پس از انجام این دو مرحله تصویر برای انجام دادن روش های تحقیق آماده شد.

۳-۴-۲- پردازش تصاویر

پس از انجام مراحل پیش پردازش و تصحیح هندسی و اتمسفری، تصویر reflectance ایجاد شده می‌بایستی وارد مرحله پردازش و استخراج اطلاعات مورد نیاز گردد، که مراحل کار در زیر آمده است:

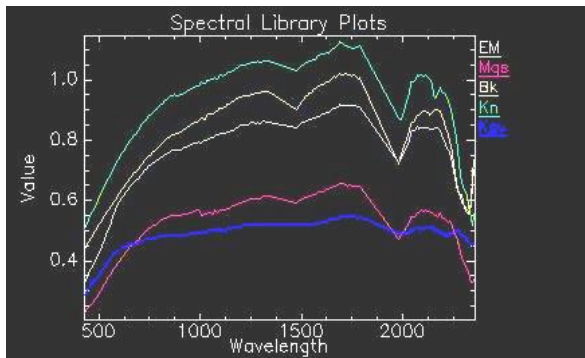
۳-۴-۳- انتخاب باند

از بین ۲۴۲ باند طیفی سنجنده هایپریون مورد استفاده در این تحقیق، تعداد ۱۹۶ باند کالیبره و منحصر به فرد می‌باشند. در صورتی که باندهای جذبی آب را حذف نماییم و باندهایی که دارای نویز فراوان می‌باشند را هم به صورت بصری شناسایی و حذف کنیم تعداد ۱۵۵ باند وارد مرحله پردازش می‌گردد.

جدول ۲- باندهای قابل قبول جهت ورود به پردازش

محدوده طیفی	باندهای قابل قبول
محدوده VNIR	۸-۵۷
محدوده SWIR	۷۹
	۸۳-۱۱۹
	۱۳۳-۱۶۴
	۱۸۳-۱۸۴
	۱۸۸-۲۲۰

پیمایش میدانی و ثبت مختصات واحدهای زمین شناسی با استفاده از دستگاه GPS با دقت بالا و استفاده از نقاط نمونه برداری شده‌ای که با پیکسل‌های خالص استخراج شده از الگوریتم PPI منطبق شده بودند طیف مرجع میانگین واحدها را از خود تصویر استخراج شد و این طیف مرجع به عنوان ورودی جهت الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده گردید. شکل (۲) طیف استخراج شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- طیف استخراج شده از تصویر مربوط به واحدهای زمین شناسی منطقه

۳-۴-۴- تبدیل کسر کمترین نویز (MNF)

در استفاده از داده‌های فرا طیفی لازم است که نویز و ابعاد داده را کاهش داد [۱۶]. تبدیل MNF به عنوان یک تبدیل کاهش دهنده نویز مطرح است. این تبدیل یک تبدیل خطی است که برای مشخص کردن بعد و حجم اصلی تصویر، جدا کردن نویز از دیگر اطلاعات و کاهش میزان پردازش در مراحل بعد استفاده می‌شود. در این تبدیل ابتدا تصویر به دو بخش نویز و غیر نویز تبدیل می‌شود و سپس بخش غیر نویز به عنوان جز اصلی شناخته می‌شود و نویز حذف می‌گردد.

۳-۵- روش‌های استفاده شده

۳-۵-۱- نقشه بردار زاویه طیفی (SAM)

نقشه بردار زاویه طیفی به عنوان یک روش طبقه‌بندی هدایت شده شیوه‌ای کارآمد برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیف استاندارد یا طیف مرجع است. الگوریتم این روش، مشابهت بین دو طیف را به وسیله زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه بین دو بردار محاسبه می‌شود شکل (۳). در این روش برای محاسبه زاویه، جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آن‌ها و به همین علت میزان روشنایی پیکسل در طبقه‌بندی آن تأثیری ندارد. هر چه مقدار زاویه (بین ۰ تا ۱) کمتر باشد شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی که مقدار زاویه یک باشد کل تصویر به عنوان پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود. به عنوان مثال برای مقایسه یک پیکسل، طیف پیکسل مورد نظر با طیف همان پیکسل در بین طیف‌های مرجع بر روی دو باند در یک محور مختصات رسم می‌گردد. سپس نقاط به دست آمده به مبدأ رسم می‌شود و زاویه بین دو خط به دست آمده به عنوان زاویه شناسایی پیکسل شناخته

۳-۵-۴- اجرای اندیس خلوص پیکسل (PPI)

الگوریتم PPI برای پیدا کردن پیکسل‌هایی که خلوص بیشتری دارند (پیکسل‌های انتهایی) در تصاویر فرا طیفی به کار می‌رود. بدین منظور تعداد ۱۰ عدد از باندهای اول خروجی تبدیل MNF را که بدون نویز می‌باشد را به عنوان ورودی به الگوریتم PPI می‌دهیم و خروجی این الگوریتم تصویری می‌باشد که پیکسل‌های خالص را مشخص می‌نماید.

۳-۴-۶- استخراج طیف مرجع (endmember)

بسیاری از الگوریتم‌های طبقه‌بندی در تصاویر فرا طیفی برای شروع پردازش نیاز به وارد کردن مشخصه‌های طیفی عضوها (به هر کلاس یا عارضه‌ای که در تصویر فرا طیفی طبقه‌بندی یا آشکارسازی شود عضو گویند) دارند.

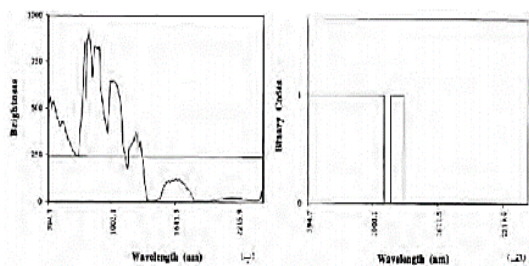
۳-۴-۷- استخراج اعضای انتهایی از طریق

شناسایی پیکسل‌های خالص

اعضای خالص از مناطقی که نوع واحد زمین شناسی آن شناسایی شده بود استخراج شد. با ۴ مرحله برداشت و

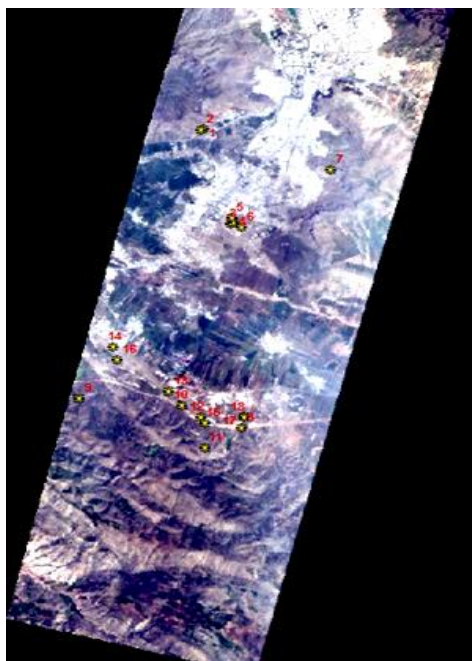
مقایسه کرده و یک تصویر کلاس‌بندی تولید می‌کند. تمامی پیکسل‌ها به وسیله بیشترین تعداد باند سازگار، به Endmember ها کلاس‌بندی می‌شود (A, S, ۱۹۸۸). Mazer یا سه حد آستانه، یک جفت عدد دودویی (Binary) برای مقادیر پیکسل‌ها ایجاد می‌شود شکل (۴).

$$h(n) = \begin{cases} 00 & \text{if } x(n) \leq T_1 \\ 01 & \text{if } T_1 < x(n) \leq T_2 \\ 11 & \text{if } T_2 < x(n) \leq T_3 \\ 10 & \text{if } T_3 < x(n) \end{cases} \quad (5)$$



شکل ۴- نمایشی از یک کد دودویی ساده برای یک طیف از AVIRIS (ب) میانگین طیفی برای یک پیکسل در باندهای از AVIRIS

مقادیر بالاتر از میانگین روشنایی طیف می‌تواند حد آستانه یک و دوتای دیگر می‌تواند بالا و یا پایین این مقدار باشد. شکل (۵) موقعیت نقاط برداشت شده با GPS را نشان می‌دهد.



شکل ۵- موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی

شکل ۶ نقشه حاصل از الگوریتم SAM و BEC را نشان می‌دهد.

می‌شود. برای به آوردن زاویه α بین دو بردار (به دست آمده از طیف نقاط تصویر t و مرجع r استفاده می‌شود).

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\vec{r} \cdot \vec{t}}{\|\vec{r}\| \|\vec{t}\|} \right] \quad (3)$$

که بدین صورت نیز می‌تواند نوشته شود:

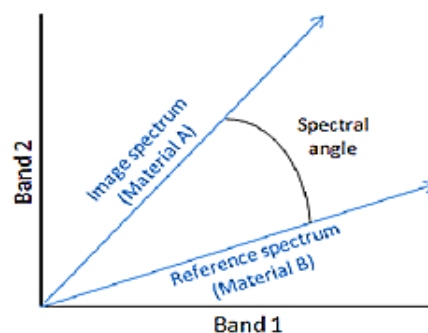
$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left[\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (4)$$

در این فرمول

nb: تعداد باندها

t: طیف مورد آزمایش

r: طیف مرجع

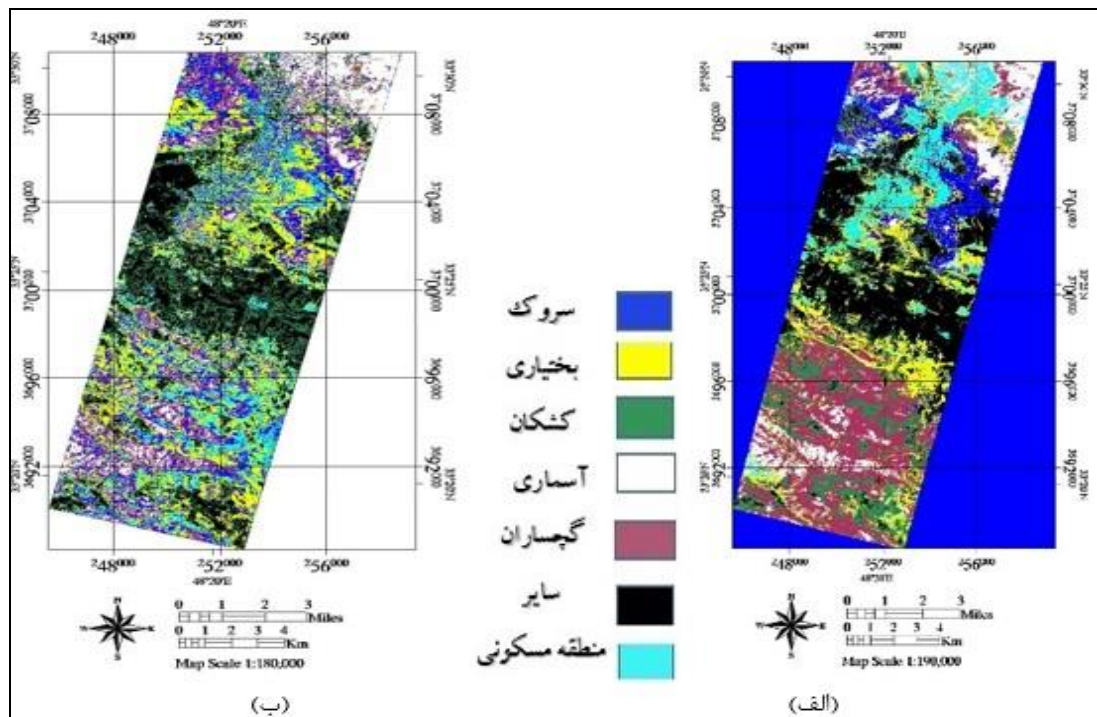


شکل ۳- زاویه بین بردارهای طیف مورد آزمایش و طیف استاندارد در روش SAM

مهم‌ترین مزیت الگوریتم SAM سادگی ساختار آن و استفاده سریع برای نمایش شباهت طیفی بین طیف تصویر و طیف مرجع می‌باشد. مشکل طبقه‌بندی با استفاده از این الگوریتم در نظر نگرفتن مشکل پیکسل‌هایی با طیف مخلوط می‌باشد.

۳-۵-۲- طبقه‌بندی به روش Binary Encoding (Classification BEC)

این روش داده‌ها و طیف‌های مربوط به Endmember ها را به شکل صفر و یک، به ترتیب بر مبنای اینکه یک باند به پایین یا بالای میانگین طیف نزولی یا صعود کرده، کدگذاری می‌کند. یک تابع کدگذاری، OR هر طیف مبنای کدگذاری شده را با داده‌های کدگذاری شده



شکل ۶- نقشه حاصل از الگوریتم (الف) SAM و (ب) BEC

۴- ارزیابی نتایج طبقه بندی

راه‌های مختلفی برای بررسی ارزیابی نتایج طبقه‌بندی وجود دارد. متداول‌ترین روش برای ارزیابی کمی صحت طبقه‌بندی، انتخاب تعدادی پیکسل نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی است که این داده‌های معلوم را واقعیت زمینی^۱ یا داده‌های مرجع^۲ می‌نامند [۱۷]. در این پژوهش پس از تهیه تصاویر کلاس‌بندی شده، برای ارزیابی صحت هر روش از نقاط GPS برداشت‌شده به‌وسیله مشاهدات زمینی به عنوان نقشه واقعیت زمینی^۳ استفاده شد تا از طریق محاسبه ماتریس خطا^۴، دقت طبقه‌بندی در هر روش مشخص شود و در نهایت بهترین روش برای برآورد نقشه واحدهای زمین شناسی معرفی گردید. نتایج ارزیابی صحت معمولاً به صورت ماتریس خطا ارائه می‌شود که در این صورت انواع پارامترها و مقادیری که بیانگر دقت و یا نوعی خطا در نتایج هستند از این ماتریس استخراج می‌شوند. این ماتریس حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است. در ماتریس خطا داده‌های زمینی در ستون‌ها و داده‌های

جدول ۳- تعدادی از نقاط نمونه‌برداری شده

x	Y	Zone	سازند	ردیف
۲۵۲۷۷۱	۲۵۲۷۷۱	۳۹	سروک	۱
۲۵۱۳۸۵	۳۷۰۶۶۹۸	۳۹	سروک	۲
۲۵۱۲۸۳	۳۷۰۶۶۴۷	۳۹	سروک	۳
۲۵۲۵۵۸	۳۶۹۶۹۲۹	۳۹	سروک	۴
۲۵۲۱۹۱	۳۷۰۳۶۶۷	۳۹	سروک	۵
۲۵۲۱۷۴	۳۷۰۳۴۷۷	۳۹	سروک	۶
۲۵۲۲۶۱	۳۷۰۳۵۲۰	۳۹	سروک	۷
۲۴۷۷۳۲,۹۵	۳۶۹۷۵۵۸	۳۹	کشکان	۸
۲۵۰۷۴۴,۳۲	۳۶۹۷۳۴۱,۱۴	۳۹	کشکان	۹
۲۵۲۴۹۳	۳۶۹۶۵۸۹	۳۹	کشکان	۱۰
۲۵۱۴۱۱	۳۶۹۶۷۴۱	۳۹	آسماری	۱۱
۲۴۸۶۹۹	۳۶۹۹۲۹۹	۳۹	آسماری	۱۲
۲۵۰۳۴۸	۳۶۹۷۸۱۶	۳۹	آسماری	۱۳
۲۵۱۲۸۴	۳۶۹۶۹۱۸	۳۹	آسماری	۱۴
۲۵۱۴۰۷	۳۶۹۵۹۱۵	۳۹	آسماری	۱۵
۲۴۸۸۵۴	۳۶۹۸۸۹۵	۳۹	گچساران	۱۶
۲۵۲۵۵۸	۳۶۹۶۹۲۹	۳۹	بختیاری	۱۷
۲۵۲۵۴۹	۳۶۹۶۹۶۸	۳۹	بختیاری	۱۸

^۱ Ground Truth

^۲ Reference Data

^۳ Ground Truth

^۴ Error Matrix

شده‌اند روی این قطر قرار می‌گیرند. عناصر غیر قطری مجموعه خطاها می‌باشند. بر مبنای ماتریس خطا پارامترهای متعددی برای بیان صحت و خطا استخراج می‌گردند.

مربوط به نتایج طبقه‌بندی در سطرهای این ماتریس آورده می‌شود. اعدادی که روی قطر اصلی ماتریس قرار می‌گیرند، تعداد پیکسل‌هایی را مشخص می‌کنند که برچسب آن‌ها در دو سری داده هم‌خوانی دارد یا به عبارت دیگر تعداد پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی

جدول ۴- ماتریس خطا، صحت کلی و ضریب کاپا برای نتایج الگوریتم SAM

کلاس	داده زمینی (پیکسل‌های آزمایشی)						
	سروک	گچساران	آسماری	کشکان	بختیاری	مسکونی	تمام پیکسل‌ها
طبقه‌بندی نشده	0.44	1.40	1.40	0.00	4.24	1.35	0.86
سروک	79.96	3.17	0.45	0	8.93	3.71	54.95
گچساران	2.88	31.81	9.75	17.47	12.75	1.05	۹,۱۸
آسماری	6.08	4.42	71.27	0	17.13	1.1	۳,۸۳
کشکان	0.00	0.85	0	55.08	5.08	0	4.27
بختیاری	5.57	11.66	11.82	1.01	56.93	4.9	11.91
مسکونی	3.71	1.05	1,10	0	4.90	93.31	4.80
سایر	۳,۳۴	۲۲,۸۹	۰	۳۴,۷۴	۶,۷۶	۰	۱۰,۲
تمام پیکسل‌ها	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ضریب کاپا: 0.49				دقت کلی: 68.83			

جدول ۵- ماتریس خطا، صحت کلی و ضریب کاپا برای نتایج الگوریتم BEC

کلاس	داده زمینی (پیکسل‌های آزمایشی)						
	سروک	گچساران	آسماری	کشکان	بختیاری	مسکونی	تمام پیکسل‌ها
طبقه‌بندی نشده	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
سروک	35.89	13.45	9.39	0.00	19.43	16.88	28.39
گچساران	18.94	14.15	18.78	0.00	11.66	11.39	16.72
آسماری	9.59	12.59	68.51	0.00	14.02	2.53	10.75
کشکان	0.01	7.17	0.00	38.14	0.51	2.53	2.26
بختیاری	20.10	12.87	3.31	0.85	25.17	7.17	17.80
مسکونی	14.96	9.86	0.00	2.54	15.54	43.04	13.74
سایر	۰,۵۱	۲۹,۹۲	۰	۵۸,۴۷	۱۳,۶۸	۱۶,۴۵	۱۰,۳۴
تمام پیکسل‌ها	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ضریب کاپا: 0.15				دقت کلی: 32.60			

نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند به این معنی که مقدار کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود به دست می‌دهد و از طریق رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$O.A = \frac{\sum_{n=1}^c E_n}{N} \times 100 \quad (۶)$$

C : تعداد کلاس‌ها

N : تعداد کل پیکسل‌های معلوم

در این پژوهش، نتایج ارزیابی به صورت صحت کلی^۱ و ضریب کاپا^۲ عرضه شده است (جدول ۴ و ۵). صحت کلی عبارت است از میانگینی از صحت طبقه‌بندی که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد و براساس رابطه (۶) محاسبه می‌شود. [18] ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را

^۱ Overall Accuracy

^۲ Kappa Coefficient

Eii : اعضای قطری ماتریس خطا

رابطه محاسبه این ضریب به صورت زیر است:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} + X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} + X_{+i})} \quad (7)$$

در این رابطه N تعداد کل پیکسل های واقعیت زمینی، X_{i+} مجموع عناصر سطر نو i مجموع عناصر ستون i می باشد.

جدول ۶- مساحت واحدهای زمین شناسی با استفاده از الگوریتم مورد استفاده

الگوریتم سازند	SAM	BEC
سروک	۲۳۰۴/۰۹	۲۶۳۲/۰۵
گچساران	۴۳۸۷/۳۲	۱۵۵۷/۱۸
آسماری	۱۶۹۹/۴۷	۱۵۶۳۴/۹۸
کشکان	۱۹۸۴/۵۹	۱۰۳۶/۱۷
بختیاری	۲۳۷۱/۰۵	۳۸۱۴/۴۷

این الگوریتم ها با هم مقایسه و صحت آن ها در طبقه بندی تصاویر فرا طیفی ارزیابی گردید که الگوریتم SAM دارای بیشترین صحت (صحت کلی ۶۸/۸۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۴۹) در طبقه بندی و الگوریتم BEC هم با صحت کمتر از الگوریتم SAM ارزیابی شدند.

۵- نتیجه گیری

تهیه نقشه واحدهای زمین شناسی در طی سالیان متمادی و همچنین انجام مطالعات و پژوهش های گسترده، در حال حاضر به نقطه ای رسیده است که به جای حضور در منطقه و کار میدانی و صرف هزینه و زمان زیاد، به کمک علم سنجش از دور و استفاده از تصاویر فرا طیفی در طی زمان کوتاه و دقت بالا قابل انجام است.

در این تحقیق، الگوریتم های SAM و BEC برای شناسایی واحدهای زمین شناسی مورد ارزیابی قرار گرفت. یکی از مهم ترین عوامل موثر در تشخیص هدف که نتیجه نهایی ارزیابی الگوریتم ها را تحت تأثیر قرار می دهد، انتخاب مقدار حد آستانه است که در این پژوهش از طریق آزمون و خطا مشخص شد.

ارزیابی نتایج این پژوهش نشان می دهد که مقایسه نقشه واحدهای زمین شناسی که نقشه آنها با استفاده از الگوریتم های SAM و BEC حاصل شد، با نقشه هایی که پیشتر

سازمان زمین شناسی استان لرستان و سازمان زمین شناسی کشور تهیه کرده بودند، بیان کننده این واقعیت است که الگوریتم SAM با صحت کلی ۸۳/۶۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۴۹ درصد نسبت به الگوریتم BEC با صحت کلی ۳۲/۶۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۱۵ درصد، دارای صحت بیشتری است (جدول ۴ و ۵) همچنین، نتایج نشان می دهد که الگوریتم SAM با در نظر گرفتن شرایط منطقه، روشی کارآمد در طبقه بندی منطقه بر اساس واحدهای زمین شناسی موجود، در تحقیقات تهیه نقشه های زمین شناسی است. که این نتایج با نتایجی مطابقت دارد که شریفی (۱۳۸۷) از تصاویر AVIRIS و اعمال الگوریتم های BE، SAM، برای تهیه نقشه کانی شناسی منطقه کوپرت استفاده کرد که نقشه های حاصل از روش SAM دارای صحت ۹۷ درصد بود. با توجه به قابلیت زیاد تصاویر فراطیفی در تفکیک پذیری پدیده ها نشان می دهد که شناسایی و جداسازی، واحدهای زمین شناسی با استفاده از این تصاویر، از سهولت و دقت بیشتری نسبت به روش های دیگر از قبیل استفاده از تصاویر چندباندی برخوردار است.

با توجه به نتایج محاسبه مساحت سازندهای مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه که در جدول (۶) آمده است، سازند گچساران دارای بیشترین مساحت محاسبه شده در روش طبقه بندی SAM و سازند آسماری دارای بیشترین مساحت محاسبه شده توسط روش طبقه بندی BE می باشد. دقت تشخیص واحدهای سروک، گچساران، آسماری، کشکان و بختیاری توسط الگوریتم های SAM، و BE با استفاده از نتایج بدست آمده از جداول (۴ و ۵) در نمودار (۱) نشان داده شده است.

نمودار ۱- مقایسه دقت تشخیص واحدهای زمین شناسی مختلف توسط الگوریتم های طبقه بندی



اگرچه داده های فراطیفی دارای دقت های طیفی بسیار بالاتری نسبت به داده های چندطیفی می باشند، اما به منظور مقایسه میان کارایی تصاویر چندطیفی با تصاویر فراطیفی، شناسایی گونه ها با استفاده از این تصاویر نیز پیشنهاد می شود.

پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی از سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی بیشتر از هایپریون (با اندازه پیکسل ۳۰ متر) برای شناسایی واحدهای زمین‌شناسی با ارزش استفاده شود تا نقشه‌هایی با دقت بالاتر تولید گردد.

مراجع

- [۱] علوی پناه. س.ک. (۱۳۹۲) کاربرد سنجش از دور در علوم زمین. چ ۴. تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- [1] Camps-Valls, G., Tuia, D., Bruzzone, L., & Benediktsson, J. A. (2014). Advances in hyperspectral image classification: Earth monitoring with statistical learning methods. *IEEE Signal Processing Magazine*, 31(1), 45-54.
- [2] Waske, B., van der Linden, S., Oldenburg, C., Jakimow, B., Rabe, A., & Hostert, P. (2012). ImageRF—A user-oriented implementation for remote sensing image analysis with Random Forests. *Environmental modelling & software*, 35, 192-193.
- [3] Wang, Z.H., Zheng, C.Y., 2010. "Rocks/Minerals Information Extraction from EO-1 Hyperion Data Base on SVM", International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 3, p. 229-232.
- [4] Zhang, X., Peijun, L., 2014. "Lithological mapping from hyperspectral data by improved use of spectral angle mapper", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 31, p. 95-109.
- [5] Mountrakis, G., Im, J. and Ogole, C., 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 13, 247–259
- [6] Xiaojia, B., MIAO Fang, WU Bin, LI Jiaguang, and WANG Dong (2010). "Hyperion hyperspectral remote sensing application in altered mineral mapping in east Kunlun of the Qinghai-Tibet plateau." International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering Chengdu, China, 2010. 519-523
- [7] Beiranvand-Pour, A. and 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.
- [۹] رفاهی، داوود. ۱۳۹۱. بررسی زمین‌شناسی اقتصادی و شناسایی زون‌های دگرسانی در منطقه شمال سراب (برگه ۱:۲۵۰۰۰ اوغلان سر) با تاکید ویژه بر استفاده از داده‌های ماهواره استر، تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- [۱۰] ارغوانیان، آ.، درویش زاده، ر.، رسا، ا. و حسینی اصل، ا. («۱۳۹۰»). استخراج نواحی دارای پتانسیل طلا در منطقه غرب مشکین شهر با استفاده از تصاویر HYPERION. سنجش از دور و GIS ایران. س ۳، ش ۱۰، بهار.
- [۱۱] بهرام بیگی، ب.، رنجبر، ح. و شهاب پور (۱۳۹۱) مقایسه روش‌های داده پایه و طیف پایه برای نقشه برداری از مناطق دارای کاتولینیت در آتشفشان مساحیم با استفاده از داده‌های هایپریون. «مجله زمین‌شناسی اقتصادی». ش ۲۰، ص ۲.
- [۱۲] بلواسی، م.، اصغری، ص.، زینالی، ب.، صاحبی وایقات، س.، ۱۳۹۴، اکتشاف نواحی دارای مس در منطقه قزل داش شهرستان خوی با استفاده از تصاویر هایپریون، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۲، صص ۲۸۷-۳۰۲.
- [13] Liu, L., Zhou, J., Yin, F., Feng, M. and Zhang, B. (2014). "The Reconnaissance of Mineral Resources through ASTER Data-Based Image Processing, Interpreting and Ground Inspection in the Jiafushaersu Area, West Junggar, China". *Journal of Earth Science*. Vol. 25. No. 2. pp. 397–406.
- [14] Amer, R, Kusky, T. and Mezayen, A.E (2012). "Remote sensing detection of gold related alteration zones in Um Rus area, Central Eastern Desert of Egypt". *Advances in Space Research* 49. pp. 121–134.
- [۱۵] ع. سیدین "، اکتشاف چشمه‌های نفتی (هیدروکربنی) با استفاده از روش‌های آشکارسازی هدف در تصاویر ابر طیفی "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی.
- [۱۶] رنگزن، کاظم، عظیم صابری، اسماعیل جوکار و فرزاد محمدیان (۱۳۹۰)، شناسایی و تخمین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی با استفاده از داده‌های بهنگام سنجنده هایپرون، همایش ژئوماتیک ۹۰.

- [17] Fatemi, S,B And Rezaei, u. (2012)Basics of remote sensing. Ch.3. Tehran: Azadeh Publications.
- [18] Villa, A., Benediktsson, J.A., Chanussot, J. and Jutten, J. ,2011, "Hyperspectral Image Classification With Independent Component Discriminant Analysis". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 49. No. 12. pp. 4865-4876.
- [19] Wenkai, L. and Qinghua, G. (2014). "A New Accuracy Assessment Method for One- Class Remote Sensing Classification". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 52. No. 8. pp. 1- 13.