

طبقه‌بندی تصاویر استر براساس نتایج پردازش داده‌های فراطیفی هایپریون از دیدگاه

کانی‌شناسی در منطقه لاهرود

هادی جمشید مقدم^۱؛ مجید محمدی اسکویی^{۲*}؛ حمید ذکری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز؛ h.moghadam.mine84@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز؛ mohammady@sut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ h_zekri@sut.ac.ir

(دریافت ۱۹ اسفند ۱۳۹۱، پذیرش ۱ بهمن ۱۳۹۳)

چکیده

با توجه به هدف اساسی فناوری سنجش از دور مبنی بر شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی، طبقه‌بندی یکی از مهمترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر دورسنجی است. هدف از این مطالعه، تعمیم نتایج پردازش داده‌های ماهواره‌ای هایپریون به تصاویر ماهواره‌ای استر است. با این کار می‌توان تلفیقی از داده‌های هایپریون با دقت بالا در تشخیص عوارض و داده‌های استر با گستردش بالا در مرحله طبقه‌بندی استفاده کرد. شرط لازم برای این کار ارزیابی قدرت تفکیک داده‌های استر برای کلاس‌های آموزشی حاصل از آنالیز تصاویر هایپریون است که می‌توان با محاسبه امتیاز تفکیک‌پذیری مناطق انتخابی به این هدف رسید. در تحقیق حاضر، ۱۰ کانی تشخیص داده شده از داده‌های هایپریون به روش فیلترینگ تطبیقی میزان‌شده با مخلوط (MTMF) به‌عنوان کلاس‌های آموزشی بر روی تصاویر استر فراخوانی و میزان تفکیک‌پذیری طیفی بین کلاس‌های مختلف بررسی شده و در نهایت کلاس‌های مشابه (با تفکیک‌پذیری پایین) با هم ادغام شدند. به این ترتیب ۶ کلاس با تفکیک‌پذیری قابل قبول برای انجام طبقه‌بندی تعیین شدند. نقشه طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعه به سه روش پارامتریک حداکثر درست‌نمایی، حداقل فاصله و فاصله ماحالانویس تهیه شد و به منظور بررسی میزان کارایی نقشه‌های به‌دست آمده و مقایسه بین روش‌ها، از ماتریس درهمی بر پایه استفاده از کل پیکسل‌های تصاویر هایپریون به‌عنوان کلاس‌های مبنا استفاده شد. پس از ارزیابی، روش حداکثر درست‌نمایی بهترین عملکرد را نسبت به دو روش پارامتریک دیگر داشت. نقشه فراوانی کانی‌ها با روش‌های به‌کار گرفته شده در این مطالعه با اطلاعات زمین‌شناسی منطقه تطابق دارد؛ به نحوی که گسترش بالای کانی‌های سولفات مانند ژیپس و پلی-هالیت، نشانه‌های اندکی از کانی مالاکیت با پراکندگی باریک و کم در اطراف کانی‌های زئولیت و گسترش فراوان کانی‌های زئولیتی آنالسیم و مزولیت بر اساس گزارش زمین‌شناسی منطقه قابل توجه می‌باشند.

کلمات کلیدی

سنجش از دور، استر، هایپریون، طبقه‌بندی، MTMF، ماتریس درهمی، ضریب کاپا.

۱- مقدمه

امروزه کاربرد گسترده داده‌های ماهواره‌ای و سنجنش از دور انکارناپذیر است. از مزایای مطالعه و پردازش داده‌های ماهواره‌ای، شناسایی یک محدوده وسیع با دقت و سرعت بالا و هزینه کم است که این اجازه را به مفسر می‌دهد تا بتواند عوارض مختلف سطح زمین را تشخیص دهد. دانشمندان و محققان تلاش زیادی را به منظور گسترش و توسعه روش‌های طبقه‌بندی و تکنیک‌هایی برای بالابردن صحت و دقت طبقه‌بندی‌ها به کار برده‌اند [۹-۱]. در سال‌های اخیر به منظور افزایش صحت و دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی، از هر دو مشخصه دقت طیفی و مکانی تصاویر استفاده شده است [۱۰]. با این حال، صحت و دقت طبقه‌بندی داده‌های دورسنجی در داخل یک نقشه موضوعی با چالش‌های متعددی نظیر پیچیدگی چشم‌انداز تحت بررسی، در دسترس بودن اطلاعات مرجع، نوع داده‌های انتخاب شده، روش‌های طبقه‌بندی و پردازش تصویر و تجارب تحلیل‌گر همراه است. بنابراین ممکن است عدم قطعیت یا خطاهای زیادی در نتایج طبقه‌بندی ایجاد شود [۱۱].

توسعه نتایج حاصل از داده‌های فراطیفی^۱ و استفاده همزمان از هر دو گروه تصاویر فراطیفی و چندطیفی^۲ موجب کاهش در زمان و هزینه خواهد شد. تصاویر فراطیفی قابلیت بالایی در تشخیص پدیده‌ها به دلیل تعداد باندهای زیاد و دقت طیفی بالا دارند حال آنکه تصاویر چندطیفی منطقه وسیع‌تری را می‌پوشانند. به همین منظور استفاده همزمان از دقت بالای داده‌های هایپریون^۳ در تعیین کلاس‌های آموزشی و نیز پوشش بالای داده‌های استر^۴ در مرحله طبقه‌بندی باعث افزایش کارایی خواهد شد [۱۲].

اسکویی و بوش (۲۰۱۲) به منظور طبقه‌بندی تصاویر استر بر روی کمپلکس ارونگو در شمال غربی نامبیا، از نتایج جداسازی طیفی^۵ فیلترینگ تطبیقی^۶ روی داده‌های هایپریون به‌عنوان کلاس‌های آموزشی استفاده کردند. آن‌ها از ۱۰ کلاس به‌دست آمده، پس از ارزیابی قابلیت تفکیک‌پذیری طیفی تصاویر استر بین کلاس‌های مختلف و ادغام کلاس‌های مشابه، ۷ کلاس را به‌عنوان کلاس‌های نهایی در نظر گرفتند که نقشه‌های حاصل علاوه بر بهبود صحت و دقت روش‌ها، به‌طور قابل توجهی در کاهش زمان و هزینه نیز مؤثر بود [۱۲].

در پژوهش حاضر، به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر استر در منطقه لاهرود از نتایج جداسازی فیلترینگ تطبیقی میزان‌شده با مخلوط^۷ (MTMF) بر روی تصاویر هایپریون به‌عنوان کلاس‌های آموزشی استفاده شده است. به همین دلیل ابتدا به بررسی روش‌های مختلف انتخاب کلاس‌های آموزشی و نقاط ضعف و قوت آن‌ها پرداخته و سپس بعد از انتخاب کلاس‌های نهایی، سه روش طبقه‌بندی منفرد در منطقه انجام و میزان صحت و کارایی روش‌ها بررسی شده است. در انجام این مطالعه برای پردازش و آنالیز داده‌های ماهواره‌ای از نرم‌افزار ENVI استفاده شده است. با این روش، طبقه‌بندی منطقه در تصویر استر که وسعت بیشتری نسبت به داده‌های هایپریون دارد انجام می‌گیرد که علاوه بر دستیابی به نقشه مذکور، در مقایسه با روش‌های معمول طبقه‌بندی داده‌های چند طیفی دقت و صحت بیشتری نیز دارا می‌باشد. این دقت بالا به خاطر تشخیص کانی‌ها در داده‌های فراطیفی می‌باشد که به داده‌های چند طیفی تعمیم داده شده است.

۱-۱- منطقه مورد مطالعه

ورقه‌ی لاهرود در شمال شرقی چهارگوشه اهر بین طول جغرافیایی ۴۸°/۰۰ - ۴۷°/۳۰ و عرض جغرافیایی ۳۹°/۰۰ - ۳۸°/۳۰ واقع است. منطقه‌ای کوهستانی که روند بلندی‌ها با روند ساختمانی آن (شرقی - غربی) مطابقت دارد. نزدیک به ۶۰ درصد از بیرون‌زدگی‌های منطقه مورد مطالعه از سنگ‌های دوران سوم می‌باشد که بخش اعظم آن را سنگ‌های آذرین و قسمت کوچکی را نهشته‌های آذرآواری تشکیل داده‌اند. فعالیت‌های ماگمایی در منطقه مورد مطالعه از اواخر کرتاسه شروع و تا اوائل دوران چهارم ادامه داشته، در زمان ائوسن به اوج خود رسیده و به تدریج از شدت آن کاسته شده است. در شکل ۱ موقعیت و نقشه زمین‌شناسی منطقه لاهرود در استان اردبیل نشان داده شده است [۱۳].

۲- داده‌ها

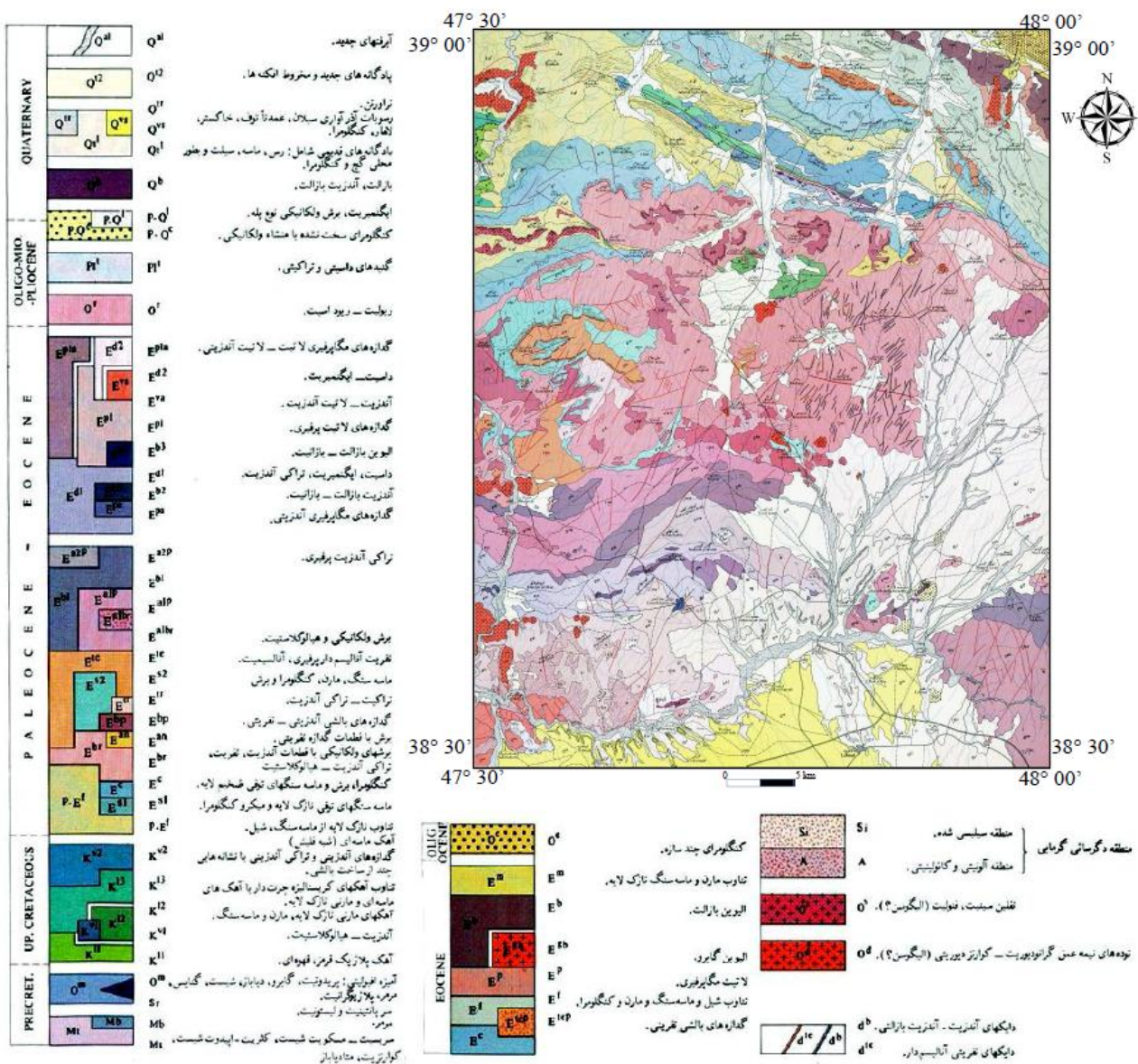
با توجه به این که داده‌های استر در مقایسه با داده‌های هایپریون دارای پوشش بیشتری می‌باشند، بنابراین هدف اصلی در این مطالعه، طبقه‌بندی تصاویر استر بر اساس کلاس‌های تشخیص داده شده از پردازش داده‌های هایپریون (داده‌های تمرینی) است. با این کار عملاً می‌توان تلفیقی از دقت بالای

و توان تفکیک مکانی ۱۵ متر، زیر سیستم فرورسرخ موج کوتاه (SWIR) با ۶ باند طیفی در محدوده ۱/۶۰ تا ۲/۴۳ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۳۰ متر، زیر سیستم فرورسرخ گرمایی (TIR) با پنج باند طیفی در محدوده ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۹۰ متر را در اختیار کاربر قرار می‌دهد که به استفاده وسیع این دسته داده‌ها در شناسایی و اکتشاف مواد معدنی منجر شده است [۱۴].

داده‌های هایپریون در تشخیص عوارض و گسترش بالای داده‌های استر در مرحله طبقه‌بندی را به کار برد.

۲-۱- داده‌های استر

سنجنده استر همراه با چهار سنجنده دیگر سوار بر ماهواره ترزا، از سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده و داده‌های آن از سال ۲۰۰۰ در دسترس می‌باشد. این سنجنده اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند طیفی و سه زیر سیستم مرئی فرورسرخ نزدیک (VNIR) با سه باند طیفی در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر



شکل ۱: موقعیت و نقشه زمین‌شناسی منطقه لاهرود، اردیبهشت ۱۳۹۳.

جدول ۱: کانیهای مشخص شده برای هر عضو انتهای به روش MTMF.

اعضای انتهایی (کلاس ها)	فراوانی کانی ها
کلاس ۱	مزولیت
کلاس ۲	کارنالیت
کلاس ۳	آنالسیم
کلاس ۴	کارنالیت (پلی هالیت)
کلاس ۵	آنالسیم
کلاس ۶	آنالسیم
کلاس ۷	مالاکیت
کلاس ۸	کانینت (پلی هالیت)
کلاس ۹	کارنالیت (پلی هالیت)
کلاس ۱۰	مزولیت + آنالسیم

۳-۲- انطباق کلاس ها روی تصاویر استر

برای انطباق دو تصویر با ابعاد پیکسلی متفاوت، مقادیر پیکسلی براساس تصویر قبلی و ابعاد جدید ساخته می شوند. به طور ویژه اگر مختصات دار کردن مهم نباشد، یک تصویر می تواند به عنوان یک تصویر اصلی برای تصویر دیگر انتخاب شود؛ در این حالت مختصات (X,Y) انتخاب شده، موقعیت پیکسل از تصویر اصلی است. مزیتی که این روش دارد این است که نیازی به انطباق دو نقشه نسبت به یک نقشه پایه نیست و در واقع از یکی از نقشه ها به عنوان نقشه پایه (اصلی) و از یک سری نقاط به عنوان نقاط کنترلی استفاده می شود. بنابراین باید ارتباط قابل ملاحظه ای بین موقعیت نقاط کنترلی در تصویر اصلی شناخته شود و به منظور افزایش دقت روش نیز می بایستی چندین نقطه در نظر گرفته شود. نکته ی حائز اهمیت این است که سعی شود نقاط انتخاب شده از توزیع مناسبی برخوردار باشند؛ به عبارت دیگر نقاط انتخاب شده کل تصویر را پوشش دهند [۱۶]. در این مطالعه ۸ نقطه به عنوان نقاط کنترلی انتخاب و در نتیجه تصاویر هایپریون بر روی تصاویر استر منطبق شدند.

۳-۱- تفکیک پذیری کلاس ها

ده باند MTMF (حاصل از جداسازی طیفی تصویر هایپریون) به صورت ۱۰ کلاس (با شماره های ۱ تا ۱۰)، روی تصویر استر فراخوانی گردیدند و سپس یک ارزیابی تفکیک پذیری بین آن ها صورت گرفت. تصویر فراخوانی شده نقشه برداری تصویر هایپریون بر روی تصویر استر در شکل ۲ مشاهده می شود؛ به

برای استخراج اطلاعات دقیق از تصاویر ماهواره ای، انجام یک سری تصحیحات جهت کاهش عوامل تداخل و نوفه ضروری است. در این مطالعه برای تصحیح اتمسفری از الگوریتم QUAC استفاده شده است. QUAC یک روش تصحیح در ناحیه VNIR-SWIR برای تصاویر چندطیفی و فراطیفی است. برخلاف سایر روش های تصحیح اتمسفری، این روش پارامترهای تصحیح را به طور مستقیم از اطلاعات داخل خود تصویر، بدون کمک گرفتن از اطلاعات جانبی تعیین می کند.

۲-۲- داده های تمرینی

به منظور استفاده از نتایج نقشه برداری داده های هایپریون می توان از نتایج دو روش فیلترینگ تطبیقی (MF) و فیلترینگ تطبیقی میزان شده با مخلوط (MTMF) استفاده نمود. در روش فیلترینگ تطبیقی، فراوانی هر کدام از اعضای انتهایی به صورت جداگانه محاسبه و بازتاب هر پیکسل بصورت ترکیب خطی از دو جز در نظر گرفته می شود: جزء مطلوب (عضو انتهایی) و نامطلوب (میانگین تمامی دیگر اختلاط ها به غیر از عضو انتهایی مربوطه). در این روش فرض بر این است که در صورتی که تمامی اعضای انتهایی به درستی شناخته شده باشند، اثر اهداف سازنده زمینه یک پیکسل به آن افزوده نمی شود. روش فیلترینگ تطبیقی میزان شده با مخلوط، سادگی روش قبل را به ارث برده، با این تفاوت که امکان کاهش هشدارهای اشتباه را فراهم می سازد که توسط روش MF امکان پذیر نیست. این روش در فضای تبدیل کسر حداقل نوفه (MNF) اجرا می گردد و علاوه بر نقشه های فراوانی اعضای انتهایی، نقشه های امتیاز ناممکنی^۱ برای پیکسل ها را نیز فراهم می کند [۱۵].

در مطالعه ی حاضر، از نتایج نقشه های پراکندگی داده های هایپریون منطقه به روش MTMF استفاده شده است. بدین- منظور ۱۰ باند نتایج نقشه MTMF برای کلاس های ده گانه به عنوان داده های تمرینی در طبقه بندی داده های استر استفاده شدند که لیست کلاس ها به همراه کانی های تشخیص داده شده برای هر کلاس در جدول ۱ آورده شده است.

$$\alpha = \frac{1}{8} (\mu_i - \mu_j)^T \left[\frac{C_i + C_j}{b} \right]^{-1} (\mu_i - \mu_j) + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{C_i + C_j/2}{\sqrt{|C_i| \times |C_j|}} \right]$$

در روابط فوق، i, j : جفت کلاسی که با هم مقایسه می‌شوند، C_i : ماتریس کوواریانس برای کلاس i ، μ_i : بردار متوسط برای کلاس i ، tr : تابع تریس، T : تابع ترانپوز می‌باشند [۱۸].

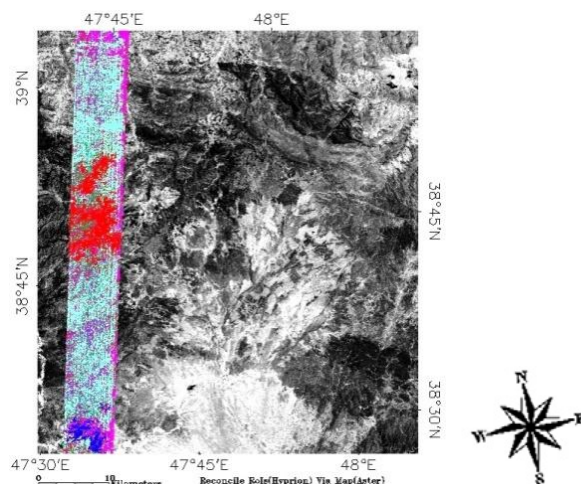
همواره خروجی مقادیر اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار ENVI بین ۰ تا ۲ می‌باشد مقادیر نزدیک ۲ نشان دهنده‌ی درجه تفکیک‌پذیری بالا و مقادیر نزدیک صفر نشان دهنده‌ی پایین بودن تفکیک‌پذیری هستند، که باید تلاش کرد با ویرایش کلاس‌ها یا به‌وسیله انتخاب یک کلاس جدید مقدار تفکیک‌پذیری را بهبود داد. برای جفت کلاس‌ها با مقادیر تفکیک‌پذیری پایین (کمتر از ۱) می‌توان آن‌ها را ادغام و به صورت یک کلاس خاص و ویژه بیان کرد [۱۲].

پس از فراخوانی، تفکیک‌پذیری بین کلاس‌ها در حالتی که هر پیکسل به کلاسی با حداکثر فراوانی اختصاص داده شده است محاسبه و در جدول ۲ بیان شده است. با توجه به جدول تنها مقادیر کمی از جفت کلاس‌ها مقدار بیش از ۱ را نشان می‌دهند و این رضایت بخش نیست؛ در نتیجه طبقه‌بندی با این کلاس‌های آموزشی صحت و دقت بالایی را حاصل نخواهد کرد. در ادامه روش‌هایی به منظور افزایش مقدار تفکیک‌پذیری بین جفت کلاس‌ها بررسی و ارائه شده است.

۴- تعیین کلاس‌های آموزشی

با توجه به این که در روش‌های مختلف کلاس‌بندی، ابتدا تعیین کلاس‌های آموزشی ضرورت دارد؛ در این راستا پیکسل‌هایی از تصویر که دارای بیشترین احتمال از یک کلاس معین هستند به عنوان کلاس‌های آموزشی انتخاب می‌شوند. بدین منظور در این مطالعه از دو روش استفاده شده است. در روش اول بدون محتمل‌ترین پیکسل‌های مربوط به کلاس‌های آموزشی پرداخته شده است؛ در حالی که در روش دوم، توازن پیکسلی برای این کلاس‌ها رعایت شده و از باندهای رول MTMF تعداد یکسانی پیکسل به عنوان اعضای هر کلاس انتخاب شده‌اند. جزئیات این دو روش در ادامه تشریح شده است.

شکلی که در آن هر پیکسل به کلاسی با حداکثر فراوانی اختصاص داده شده است.



شکل ۲: تصویر فراخوانی نقشه‌برداری هایپرین بر روی تصویر استر.

به منظور ارزیابی توانایی سنجنده استر در تمایز بین کلاس‌های مختلف، تفکیک‌پذیری آن‌ها محاسبه شد. در سنجش از دور آنالیز تفکیک‌پذیری شامل تکنیک‌هایی است که به منظور تعیین این که به چه صورت انواع سطوح مختلف از یکدیگر مجزا هستند صورت می‌گیرد. اگر کلاس‌ها به‌طور طیفی دارای هم‌پوشانی نباشند، طبقه‌بندی راحت‌تر و آسان‌تر خواهد بود. اسوین و دیویس (۱۹۷۸) مقدار تفکیک‌پذیری دیورژانس، تبدیل دیورژانس و فاصله جیفریس - ماتوسیستا (JM) را ارائه کردند که روابط آن‌ها به صورت زیر بیان می‌شوند [۱۷].

- دیورژانس

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr}[(C_i - C_j)(C_i^{-1} - C_j^{-1})] + \frac{1}{2} \text{tr}[(C_i^{-1} - C_j^{-1})(\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \mu_j)^T]$$

- تبدیل دیورژانس

$$TD_{ij} = 2000[1 - \exp\left(\frac{-D_{ij}}{8}\right)]$$

- فاصله جیفریس - ماتوسیستا (JM)

$$JM = \sqrt{2(1 - e^{-\alpha})}$$

۴-۱- روش اول

در جدول ۲ تفکیک پذیری در حالتی بررسی شد که در آن فراوانی پیکسل‌ها برای هر عضو انتهایی بیشترین مقدار است. اساس روش حاضر بر پایه تهیه نقشه فراوانی کلاس‌ها در درصدهای مختلف و سپس تفسیر و بررسی مقدار تفکیک پذیری برای هر نقشه می‌باشد. با این کار در درصدهای مختلف تنها پیکسل‌های شاخص هر کلاس در ارزیابی و تفسیر شرکت داده می‌شوند و از پیکسل‌های مشترک و مخلوط بسته به نوع درصد انتخاب شده صرف نظر می‌شود. به همین دلیل در تصاویر منطقه‌ی مورد مطالعه مقدار تفکیک پذیری در حالتی که فراوانی کلاس‌ها در هر پیکسل بالای ۱۰، ۲۰، ۲۳، ۳۰ درصد

است، محاسبه شد. جدول ۳ و ۴ تفکیک پذیری بین کلاس‌ها را در شرایط بالای ۲۳٪ و ۳۰٪ نشان می‌دهند. با مقایسه جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که جدول حاصل از نقشه‌ی فراوانی در حالت بالای ۲۳ درصد مقادیر مناسبی برای بهبود روند تفکیک پذیری را نشان نمی‌دهد لذا نیاز به استفاده از درصدهای بالاتر برای افزایش و بهبود آن است. به عبارتی نیاز به کاهش بیشتر پیکسل‌های مخلوط و افزایش کارایی پیکسل‌های شاخص می‌باشد، ولی به علت کم بودن تعداد پیکسل‌ها در کلاس ۵، در جدول ایجاد شده حاصل از نقشه‌ی فراوانی در حالت بالای ۳۰ درصد هیچ پیکسلی به کلاس ۵ اختصاص داده نمی‌شود. در نتیجه کلاس مذکور در تفسیر تفکیک پذیری در

جدول ۲: تفکیک پذیری بین کلاس‌ها با اختصاص هر پیکسل به کلاسی با حداکثر فراوانی

کلاس‌ها	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۰/۹۴۲۴	۱/۴۹۴۳	۰/۶۵۴۲	۰/۶۷۵۲	۰/۸۵۳۷	۰/۵۴۹۱	۰/۴۵۰۰	۰/۹۳۹۳	۰/۶۴۱۸
۲	۱/۱۵۵۰	۰/۱۴۶۰	۰/۲۵۳۴	۰/۲۶۹۶	۰/۲۲۴۷	۰/۲۱۳۸	۰/۲۳۲۰	۰/۱۹۸۴	۰/۱۹۸۴
۳		۱/۱۳۸۵	۰/۲۸۱۹	۱/۱۰۸۶	۱/۰۶۱۳	۱/۲۲۱۴	۱/۳۳۴۴	۱/۰۶۱۳	۱/۰۶۱۳
۴			۰/۱۱۸۲	۰/۱۹۷۸	۰/۱۷۸۵	۰/۱۲۵۶	۰/۱۶۸۰	۰/۰۶۵۰	۰/۰۶۵۰
۵				۰/۴۵۲۱	۰/۳۰۰۷	۰/۱۸۴۰	۰/۲۶۳۱	۰/۲۲۹۵	۰/۲۲۹۵
۶					۰/۳۳۵۶	۰/۳۸۲۱	۰/۳۶۴۰	۰/۱۳۸۴	۰/۱۳۸۴
۷						۰/۰۹۵۷	۰/۴۵۰۶	۰/۱۵۵۱	۰/۱۵۵۱
۸							۰/۳۲۲۷	۰/۱۶۸۶	۰/۱۶۸۶
۹								۰/۲۵۸۱	۰/۲۵۸۱

جدول ۳: تفکیک پذیری برای فراوانی کلاس‌ها بالای ۲۳ درصد

کلاس‌ها	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱/۳۶۲۴	۱/۸۸۷۹	۱/۳۳۵۸	۱/۹۸۳۵	۱/۲۰۵۹	۰/۷۴۱۱	۰/۶۵۵۸	۱/۸۳۸۶	۰/۹۹۳۲
۲	۱/۷۳۵۷	۰/۸۹۰۱	۰/۹۶۶۷	۱/۴۸۲۱	۰/۷۱۳۷	۰/۷۴۶۳	۱/۳۰۹۶	۰/۸۷۱۲	۰/۸۷۱۲
۳		۱/۸۵۵۰	۱/۹۳۵۹	۱/۵۸۰۶	۱/۵۷۵۹	۱/۸۶۷۷	۱/۹۲۱۱	۱/۴۴۷۶	۱/۴۴۷۶
۴			۱/۹۷۵۷	۰/۵۹۵۱	۱/۱۶۶۸	۱/۱۹۳۱	۰/۹۶۸۳	۰/۸۸۷۸	۰/۸۸۷۸
۵				۱/۹۵۷۴	۱/۹۵۳۷	۱/۹۷۹۱	۱/۹۸۸۸	۱/۹۴۹۰	۱/۹۴۹۰
۶					۰/۶۴۸۵	۰/۹۵۰۰	۱/۱۷۸۰	۰/۴۶۵۱	۰/۴۶۵۱
۷						۰/۵۴۸۷	۱/۷۰۵۲	۰/۵۱۹۷	۰/۵۱۹۷
۸							۱/۷۱۰۶	۰/۹۹۱۱	۰/۹۹۱۱
۹								۱/۵۷۷۴	۱/۵۷۷۴

جدول ۴: تفکیک‌پذیری برای فراوانی کلاس‌ها بالای ۳۰ درصد

کلاس‌ها	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱/۴۷۸۲	۱/۹۲۶۶	۱/۵۱۳۱	۰/۰۰۰۰	۱/۳۵۰۳	۱/۸۰۶۴	۰/۸۱۱۹	۱/۸۸۴۷	۱/۲۱۸۷
۲	۱/۷۷۷۲	۱/۱۰۹۵	۰/۰۰۰۰	۰/۵۵۲۸	۰/۸۵۳۷	۰/۸۱۴۸	۱/۳۵۹۰	۱/۱۰۶۱	۱/۱۰۶۱
۳	۱/۹۰۲۹	۰/۰۰۰۰	۱/۵۸۵۳	۱/۶۲۸۳	۱/۹۰۳۶	۱/۹۳۸۶	۱/۴۸۵۴	۱/۴۸۵۴	۱/۴۸۵۴
۴	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۸۶۳۸	۱/۴۰۵۰	۱/۴۰۷۵	۱/۱۷۷۱	۱/۱۲۷۷	۱/۱۲۷۷	۱/۱۲۷۷
۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۶	۰/۷۸۰۴	۱/۰۷۰۸	۱/۲۹۵۳	۱/۶۹۷۹	۰/۶۹۷۹	۰/۶۹۷۹	۰/۶۹۷۹	۰/۶۹۷۹	۰/۶۹۷۹
۷	۰/۶۹۱۷	۱/۷۵۹۱	۰/۷۹۹۲	۱/۷۹۹۲	۱/۷۹۹۲	۱/۷۹۹۲	۱/۷۹۹۲	۱/۷۹۹۲	۱/۷۹۹۲
۸	۱/۷۴۲۴	۱/۲۴۷۴	۱/۲۴۷۴	۱/۲۴۷۴	۱/۲۴۷۴	۱/۲۴۷۴	۱/۲۴۷۴	۱/۲۴۷۴	۱/۲۴۷۴
۹	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱	۱/۶۹۹۱

می‌باشند، بنابراین از ادغام صرف‌نظر شده و کلاس ۶ به تنهایی به‌عنوان یک کلاس آموزشی مجزا در تعیین طبقه‌بندی لحاظ گردید. حال ۱۰ کلاس حاصل از پردازش باندهای MTMF در قالب ۶ کلاس [(۱) و (۲-۴-۸-۹) و (۳-۵) و (۶) و (۷) و (۱۰)] برای طبقه‌بندی آماده گردیدند. شایان ذکر است با مقایسه کلاس‌های مذکور با نتایج نقشه‌های MTMF مطابقت خوبی بین کلاس‌های ادغامی با نتایج وجود دارد. جدول ۶ کلاس‌های آموزشی نهایی به منظور طبقه‌بندی تصاویر استر منطقه را نشان می‌دهد.

۵- طبقه‌بندی

هدف از این مطالعه اختصاص هر یک از پیکسل‌های تصویر استر به یکی از کلاس‌های بحث شده در جدول ۶ می‌باشد. در بحث طبقه‌بندی تصاویر دورسنجی با استفاده از روش‌های مختلف، ارزش پیکسل‌های تصویر با نمونه‌های آموزشی مقایسه می‌شود و به این ترتیب پیکسل‌ها در طبقات قابل تفکیک قرار داده می‌شوند. نظر به اینکه در طبقه‌بندی، جداسازی کلاس‌ها براساس وضعیت و الگوی طیفی پدیده‌های مورد مطالعه صورت می‌گیرد، بنابراین میزان موفقیت طبقه‌بندی بستگی به میزان تمایز بازتاب‌های طیفی پدیده‌ها از یکدیگر دارد [۱۹].

در حالت کلی طبقه‌بندی را می‌توان به دو دسته‌ی نظارتی و غیرنظارتی تقسیم کرد روش‌های نظارتی همواره نیازمند اطلاعات قبلی و شناخت پدیده‌های مرتبط با داده‌ها است و مفسر می‌تواند مکان‌هایی را با مشخصات شناخته شده به‌عنوان داده‌های تمرینی تعریف کند. ولی در روش طبقه‌بندی غیرنظارتی از مناطق آموزشی به‌عنوان مبنای طبقه‌بندی استفاده نمی‌شود؛ به‌عبارتی در این روش خوشه‌های حاصل براساس تشابه طیفی پیکسل‌ها ایجاد می‌شوند. بنابراین نتایج

نظر گرفته نمی‌شود و این یکی از نقاط ضعف در این روش به‌شمار می‌رود. به همین جهت با توجه به نتایج موجود نمی‌توان از حالت مذکور برای تعیین کلاس‌های آموزشی نهایی استفاده کرد.

۴-۲- روش دوم

با توجه به مشکلات روش قبل و تمرکز بر روی مهم‌ترین شرط انتخاب کلاس‌های آموزشی؛ یعنی توازن پیکسلی برای کلاس‌ها، در روش حاضر به جای استفاده از نقشه‌های فراوانی در درصدهای مختلف، سعی می‌شود که از هر کدام از باندهای MTMF به تعداد مساوی پیکسل به‌عنوان پیکسل‌های شاخص یک کلاس انتخاب و سپس بعد از ارزیابی تفکیک‌پذیری، این پیکسل‌ها را به صورت کلاس ROI برای باند مذکور روی تصاویر استر فراخوانی کرد. در این مطالعه، تفکیک‌پذیری در حالات مختلف ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰ پیکسلی بررسی شد و در نهایت جدول حاصل به‌منظور تفسیر تفکیک‌پذیری جفت کلاس‌ها برای ۵۰۰ پیکسل از هر باند MTMF بهترین نتایج را به همراه داشت. جدول ۵ مقادیر تفکیک‌پذیری محاسبه شده در این حالت را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، فقط تعداد کمی از جفت کلاس‌ها مقادیر کمتر از ۱ را نشان می‌دهند و می‌بایست با هم ادغام شوند. بنابراین قبل از انجام طبقه‌بندی، از ۱۰ کلاس آموزشی موجود، کلاس‌های (۲و۹و۴) و (۳و۵) با هم ترکیب شدند. نکته‌ی قابل درک از جدول این است که با مقایسه‌ی دو جفت کلاس (۹و۶) و (۸و۶) مشاهده می‌شود که مقدار تفکیک‌پذیری در جفت کلاس (۹و۶) کمتر از ۱ بوده و باید با هم ترکیب شوند حال آن‌که جفت کلاس (۸و۶) تفکیک‌پذیری مناسبی را نشان می‌دهند؛ در این حالت به علت این‌که جنس کانی‌های مشخص شده متفاوت

جدول ۵: جدول تفکیک پذیری با انتخاب ۵۰۰ پیکسل از هر کدام از باندهای MTMF

کلاس‌ها	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱/۹۲۷۱	۱/۹۹۳۸	۱/۹۵۰۳	۱/۹۹۸۴	۱/۹۸۱۴	۱/۲۵۵۷	۱/۶۶۰۹	۱/۹۷۸۰	۱/۸۹۶۴
۲	۱/۸۸۷۶	۰/۱۲۵۷	۱/۹۳۸۱	۱/۰۲۴۲	۱/۸۲۹۴	۰/۷۱۰۲	۰/۲۳۲۷	۱/۴۷۴۹	
۳		۱/۹۱۶۸	۰/۳۵۵۹	۱/۸۳۲۷	۱/۹۵۴۱	۱/۸۹۹۵	۱/۹۲۰۶	۱/۹۲۵۶	
۴			۱/۹۵۶۶	۱/۰۳۰۳	۱/۸۶۷۱	۰/۹۰۷۷	۱/۱۸۰۰	۱/۴۶۰۰	
۵				۱/۸۸۱۹	۱/۹۸۰۱	۱/۹۴۸۰	۱/۹۵۷۲	۱/۹۶۰۲	
۶					۱/۹۱۳۷	۱/۵۹۹۱	۰/۹۱۲۷	۱/۸۳۱۹	
۷						۱/۴۸۶۷	۱/۹۲۷۸	۱/۸۵۳۶	
۸							۱/۱۶۳۰	۱/۴۱۷۲	
۹								۱/۶۴۰۷	

طبقه‌بندی برای یک مدت زمان طولانی در نظر گرفته می‌شود [۲۰].

در این روش، واریانس و کوواریانس کلاس‌ها ارزیابی می‌شود؛ برای این کار فرض می‌شود همه‌ی مناطق از پراکنش نرمال برخوردارند و در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند. بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیش‌تری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره‌ی پیوسته قرار گیرد. شرط توزیع نرمال در روش حداکثر درست‌نمایی اهمیت خاصی دارد و اساس روش بر پایه احتمالات شرطی است به‌طوری‌که بعد از ارزیابی احتمالات در هر پیکسل، پیکسل‌ها به کلاس‌هایی که بیش‌ترین شباهت را دارند اختصاص می‌یابند و اگر مقادیر احتمال پایین‌تر از حد آستانه باشند به‌عنوان کلاس طبقه‌بندی نشده معرفی می‌شوند [۱۶].

در نرم‌افزار ENVI، توابع احتمال برای کلاس‌ها به‌صورت شکل مدل‌های نرمال چند متغیره بیان می‌شود و شکل نهایی تابع تفکیک کننده به شکل زیر می‌باشد:

$$g_i(x) = \ln P(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln \left| \sum_i i \right| - \frac{1}{2} (x - m_i)^t \cdot \sum_i^{-1} (x - m_i)$$

که در آن، ω_i کلاس i -ام، m_i بردار متوسط، $\sum_i^{-1}(x - m_i)$ ماتریس معکوس و $|\sum_i i|$ دترمینان ماتریس کوواریانس می‌باشد [۱۶].

به‌دست آمده نیاز به استفاده از اطلاعات جانبی و تکمیلی برای تفسیر و شناسایی دارد.

جدول ۶: جدول نهایی کلاس‌های آموزشی انتخابی بمنظور طبقه‌بندی

اعضای انتهایی (کلاس‌ها)	فراوانی کانیها
کلاس ۱	مزولیت
کلاس ۲-۴-۸-۹	پلی‌هالیت
کلاس ۳-۵	آنالسیم
کلاس ۶	آنالسیم
کلاس ۷	مالاکیت
کلاس ۱۰	مزولیت + آنالسیم

مهمترین روش‌های طبقه‌بندی منفرد از نوع نظارتی را می‌توان به دو دسته پارامتریک و غیرپارامتریک (هندسی) تقسیم نمود. اگر داده‌ها به‌طور نرمال توزیع شوند از الگوریتم‌های پارامتریک و در غیر این‌صورت در توزیع غیرنرمال می‌بایست از الگوریتم‌های غیرپارامتریک استفاده کرد [۱۶].

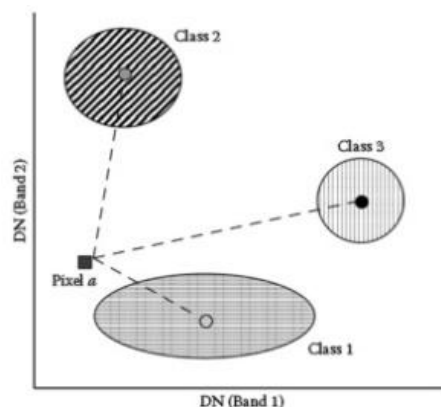
در مطالعه پیش‌رو به منظور بررسی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی در منطقه از سه روش پارامتریک حداکثر درست‌نمایی، حداقل فاصله و روش فاصله ماهالانویس^۱ استفاده شده است.

۵-۱- روش حداکثر درست‌نمایی

این روش گسترده‌ترین روش طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور می‌باشد. در پردازش استاندارد تصاویر دیجیتال، طبقه‌بندی حداکثر درست‌نمایی به‌عنوان پیشرفته‌ترین استراتژی

۵-۲- روش حداقل فاصله

اصطلاح طبقه‌بندی حداقل فاصله یا به‌طور دقیق‌تر حداقل فاصله از میانگین برای کلاس‌ها، یک روش طبقه‌بندی است که در آن از داده‌های آموزشی فقط برای تعیین کلاس‌های متوسط استفاده می‌شود. در این روش نخست مقادیر میانگین طیفی در هر باند و برای هر کلاس تعیین می‌شود و پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه را به خود اختصاص داده، فاصله اقلیدسی هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و پیکسل موردنظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله را با میانگین آن دارد [۱۶]. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است هر پیکسل به طبقه‌ای تعلق می‌گیرد که کمترین مقدار فاصله را تا میانگین آن طبقه داشته باشد. این نوع طبقه‌بندی از نظر ریاضی ساده و از نظر محاسباتی کاراست ولی مبنای نظری آن به اندازه طبقه‌بندی حداکثر درست‌نمایی قوی نیست [۲۱].



شکل ۳: تجسم شمایک طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین [۲۲]

۵-۳- روش فاصله ماکسیمی

طبقه‌بندی فاصله ماکسیمی یک طبقه‌بندی حساس به مقدار فاصله است که از روش‌های آماری برای هر کلاس استفاده می‌کند. این روش شبیه به طبقه‌بندی حداکثر درست‌نمایی است اما فرض می‌کند که تمام کلاس‌ها، کوواریانس یکسانی دارند بنابراین یک روش سریع‌تری است. همه‌ی پیکسل‌ها به نزدیکترین کلاس طبقه‌بندی می‌شوند مگر این‌که یک آستانه‌ی فاصله در نظر گرفته شود. که در این حالت برخی پیکسل‌ها ممکن است در طبقه‌بندی در نظر گرفته نشوند [۱۶].

طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعه با سه روش طبقه‌بندی مذکور برای شش کلاس آموزشی تعیین شده صورت گرفت.

۶- ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعه

ارزش و قابلیت استفاده از هر نقشه تولیدی، به میزان صحت آن بستگی دارد و کاربران تصاویر دورسنجی باید از صحت و کارایی نقشه‌ی مورد استفاده اطلاع داشته باشند. صحت، برآوردی از یک اندازه به مقدار حقیقی کمیت مورد سنجش را بیان می‌کند [۱۹].

در تحقیقات اخیر در زمینه ارزیابی دقت، بیش‌ترین توجه روی ماتریس درهمی متمرکز شده است. به‌طور کلی ماتریس درهمی امکان تجزیه و تحلیل توصیفی و آماری را فراهم می‌کند. روش توصیفی نسبتاً ساده و شامل محاسبات صحت کل و صحت کلاس‌ها است و به کمک ماتریس مذکور دو روش معمول تحت عنوان ماتریس خطا (معادل با ماتریس درهمی) و ضریب کاپا را به‌منظور ارزیابی می‌توان استفاده کرد.

۶-۱- ماتریس خطا

همانطور که قبلاً اشاره شد بعد از انجام طبقه‌بندی، برای هر کلاس، با استفاده از پیکسل‌های طبقه‌بندی شده و پیکسل‌های کنترلی موجود می‌توان ماتریسی تشکیل داد که به کمک آن پارامترهای صحت کلی (OA) و صحت تولیدی (PA) را به‌دست آورد که این پارامترها را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$PA = \frac{n_{\omega}}{N_{\omega}}$$

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^m n_{\omega i}}{\sum_{i=1}^m N_{\omega i}}$$

که در آن: n_{ω} تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده برای کلاس ω ، N_{ω} تعداد کل پیکسل‌ها برای کلاس ω ، m تعداد کلاس‌هاست [۱۲].

۶-۲- ضریب کاپا

تجزیه و تحلیل کاپا، یک روش مورد استفاده معمول چندمتغیره‌ای برای ارزیابی صحت است که اولین بار در مطالعات سنجش از دور توس کنگالتون در سال ۱۹۸۱ معرفی شد [۲۳]. تخمین کاپا شاخصی است که نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین ماتریس درهمی با نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصادفی وجود دارد. روش کاپا برای مقایسه‌ی ماتریس‌های مختلف بدست آمده از روش‌های

مقابل داده‌های چندطیفی پوشش و گستردگی بیش‌تری نسبت به داده‌های فراطیفی دارند. به همین دلیل گسترش استفاده همزمان از تصاویر فراطیفی و چندطیفی به‌منظور دستیابی به نتایج مطلوب‌تر و کاهش در میزان هزینه و وقت امری انکارناپذیر است. در مطالعه حاضر، از تلفیق نتایج حاصل از نقشه‌برداری تصاویر هایپریون در راستای طبقه‌بندی تصاویر استر منطقه استفاده شد و روش‌های مختلف تعیین کلاس‌های آموزشی بررسی شدند؛ نتایج حاصله نشان می‌دهند که رعایت شرط تعادل پیکسلی در انتخاب و تعیین کلاس‌های آموزشی مهم می‌باشد. عدم توازن در تعداد پیکسل‌ها باعث در نظر گرفته نشدن برخی از کلاس‌ها در بحث تفکیک‌پذیری و در ادامه در مبحث ارزیابی صحت، در بررسی روش‌های مختلف طبقه‌بندی در منطقه می‌شود. در نتیجه از ده کلاس موجود به‌صورت نقشه‌های حاصل از نتایج جداسازی طیفی تصاویر هایپریون به روش MTMF، بعد از بررسی تفکیک‌پذیری، شش کلاس به‌عنوان کلاس‌های نهایی در طبقه‌بندی تصاویر استر مورد استفاده قرار گرفتند. از مزایای مهم استفاده از این روش، سهل‌الوصول بودن استفاده از نتایج هایپریون در داده‌های تمرینی در مقایسه با نمونه برداری از منطقه می‌باشد. بعد از تعیین شش کلاس آموزشی، از سه روش پارامتریک طبقه‌بندی منفرد در منطقه بهره گرفته شده و نتایج حاصل از ارزیابی صحت آنها، حکایت از عملکرد بهتر روش حداکثر درست‌نمایی با صحت ۳۰/۴۵٪ و ضریب کاپا ۰/۱۸٪ نسبت به دو روش دیگر دارد. که نقشه نهایی حاصل از این طبقه‌بندی‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مناطق سبز رنگ که نشان‌دهنده‌ی کانی‌های سولفات‌مانند ژیپس و پلی‌هالیت هستند در منطقه گسترش داشته و مربوط به کلاس‌های ۲، ۴، ۸ و ۹ می‌باشند؛ وجود کانی‌های ژیپس که در گزارش زمین‌شناسی منطقه نیز به آن اشاره شده است بیان‌گر صحت وجود این کلاس‌ها می‌باشد [۱۳]. نشانه‌های اندکی از کانی مالاکیت به رنگ زرد (کلاس ۷) با پراکندگی باریک و کم در اطراف

طبقه‌بندی گوناگون قابل استفاده است و با محاسبه‌ی آن می‌توان فهمید آیا یک روش دارای نتیجه‌ی بهتری از روش دیگر است یا خیر [۱۹].

با در نظر گرفتن ماتریس خطا با r ردیف، ضریب کاپا را می‌توان با استفاده از فرمول زیر به راحتی محاسبه نمود:

$$K = \frac{NA - B}{N^2 - B}$$

در این رابطه، N تعداد کل پیکسل‌های حاضر در ماتریس خطا، A مجموع r عضو قطر اصلی (صورت کسر برای محاسبه صحت کلی)، B مجموع تولیدکننده‌ها (کل ردیف \times کل ستون) می‌باشند [۱۹].

۳-۶- بررسی روش‌های طبقه‌بندی در منطقه

به‌علت این‌که پیکسل‌های آموزشی برای هر کلاس مورد استفاده در طبقه‌بندی تعداد محدودی است و همچنین نظر به این‌که باید محل‌های مناسب برای آزمون و متفاوت از محل کلاس‌های آموزشی به کار گرفته شود در نتیجه برای ارزیابی صحت روش‌ها از کلاس‌های مذکور استفاده نشده و به جای آن مقایسه‌ای بین نتایج و تمامی پیکسل‌های موجود هر کلاس در تصاویر هایپریون انجام گرفته است. بدیهی است مقادیر ارائه شده نشان‌دهنده یک معیار نسبی برای صحت و دقت می‌باشد که از آن فقط به‌منظور مقایسه بین روش‌های مختلف طبقه‌بندی می‌توان استفاده کرد و به تنهایی نمی‌تواند ملاکی برای دقت یا عدم کارایی نقشه طبقه‌بندی منطقه باشد. در جدول ۷ صحت کلی و تولیدی و ضریب کاپا برای هر روش و در جدول ۸ درصد پیکسل‌های اختصاص‌یافته به هر کلاس و پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده، ارائه گردیده‌اند.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

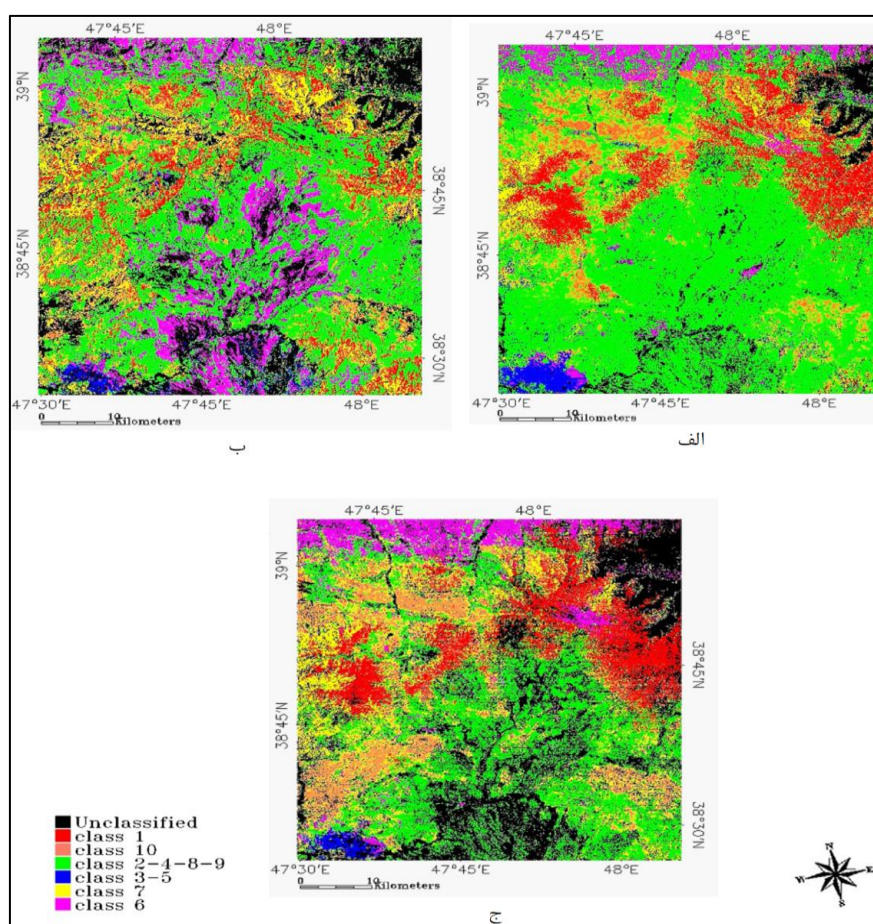
همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد تصاویر فراطیفی دارای حد تفکیک طیفی بالایی نسبت به تصاویر چندطیفی می‌باشند، در

جدول ۷: صحت کلی و تولیدی برحسب درصد و همچنین ضریب کاپا به سه روش طبقه‌بندی پارامتریک.

روش‌ها / کلاس‌ها	۱	۲-۴-۸-۹	۳-۵	۶	۷	۱۰	OA	Kappa.c
حداکثر درست‌نمایی	۴۳/۰۰	۵۹/۶۷	۳۷/۰۶	۱۶/۳۴	۷/۰۱	۲۹/۱۸	۳۰/۴۵	۰/۱۸
حداقل فاصله	۲۴/۷۳	۴۱/۵۰	۱۶/۹۹	۱۶/۲۲	۱۲/۲۲	۱۸/۶۲	۲۱/۳۳	۰/۰۸
فاصله ماهالانویس	۳۷/۸۱	۲۹/۱۳	۱۹/۲۳	۱۹/۰۳	۹/۰۷	۳۷/۵۶	۲۴/۸۸	۰/۱۴

جدول ۸: درصد پیکسل‌های اختصاص یافته به هر کلاس و پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده در سه روش طبقه‌بندی پارامتریک.

روش‌ها / کلاس‌ها	۱	۲-۴-۸-۹	۳-۵	۶	۷	۱۰	طبقه‌بندی نشده
حداکثر درست نمایی	۱۵/۴۲	۴۱/۹۴	۷/۳۹	۷/۲۴	۵/۷۷	۲۰/۵۱	۱/۷۱
حداقل فاصله	۱۳/۲۶	۳۷/۵۸	۳/۰۶	۸/۵۴	۸/۶۸	۱۴/۷۳	۱۴/۱۴
فاصله ماهالانوبیس	۱۳/۳۶	۲۳/۱۵	۳/۱۹	۸/۵۱	۶/۸۸	۲۹/۵۷	۱۵/۳۵



شکل ۴: نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر استر منطقه لاهرود به روش پارامتریک (الف) حداکثر درست‌نمایی، (ب) حداقل فاصله، (ج) فاصله ماهالانوبیس.

مراجع

- [1] Rowan, L.C., Mars, J.C., 2003; "Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data"; Remote Sensing of Environment 84, pp. 350-366.
- [2] Paskaleva, B.S., Hayat, M.M., Moya, M.M., Fogler, R.J.; 2004; "Multispectral rock type separation and classification"; Proceedings of 49th Annual Meeting of the SPIE: Infrared Spaceborne Remote Sensing XII, Denver, CO, SPIE Proc. 5543, August 2-6, 2004, pp. 152-163.
- [3] Favretto, A., Geletti, R.; 2004; "Satellite imagery elaboration (ASTER sensor, TERRA Satellite), in order

کانی‌های زئولیت (کلاس‌های ۱، ۳، ۵، ۶ و ۱۰) قابل مشاهده می‌باشند که با کانی‌های مزولیت و آنالسیم تشخیص داده شده‌اند. لازم به ذکر است که اندیس‌های تازه شناخته‌شده‌ای از مس در منطقه وجود دارد که می‌توان از آن جمله به اندیس «دوست بیگلو» اشاره کرد. علاوه بر این در خصوص اعتبار سنجی نتایج طبقه‌بندی می‌توان به این نکته نیز توجه نمود که گسترش فراوان کانی‌های زئولیتی آنالسیم و مزولیت در گزارش‌های زمین‌شناسی منطقه تأیید شده و دارای فراوانی بالایی در منطقه هستند؛ بنابراین فراوانی مشاهده شده برای آن‌ها قابل توجیه می‌باشد [۱۳].

Aster data for the spetial distribution detection of clay minerals (case – study: Esteghlal mine, Abadeh”; Iranian journal of Remote sensing & GIS, Vol. 2, No. 4, pp.101-118.

[15] Kruse, F.A., Boardman, J.W., Huntington, J.F.; 2003; “*Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO_1 Hyperion for Mineral Mapping*”; IEEE Transactionson Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, pp.1388-1400.

[16] Richards, J. A., Jia, X.; 2006; *Remote Sensing Digital Image Analysis an Introduction*; 4th Edition, Springer, Germany, Berlin, Heidelberg.

[17] Swain, P.H., Davis, S.M.; 1978; *Remote Sensing: the quantitative approach*, New York, McGraw-Hill International Book Co.

[18] Thomas, V., Treitz, P., Jelinski, D., Miller, J., Lafleur, P., McCaughey, J.H.; 2003; “*Image Classification of a northern peatland complex using spectral and plant community data*”; Remote Sensing of Environment 84, No.1, pp. 83-99.

[19] Alavipanah, S.K.; 2006; “*Application of Remote Sensing in Earth Science*”; Tehran University Press, 2nd Edition.

[20] Maselli, F., Petkov, L., Resti, R.; 1992; “*Inclusion of Prior Probabilities derived from a nonparametric process into the Maximum likelihood classifier*”; Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 58, pp. 201-207.

[21] Tso, B., Mather, P.M.; 2009; “*Classification Methods for Remotely Sensed Data*”; 2nd edition, Taylor and Francis Pub, America.

[22] Soffianian, A., Madanian, M.A.; 2012; “*Comparison of Maximum likelihood and Minimum Distance to Mean classifiers in preparing land cover map (A case study: Isfahan area)*”; Vol. 57, pp. 253-264.

[23] Congalton, R.G.; 1981; “*The use of Discrete Multivariate Analysis for the assessment of Landsat Classification Accuracy*”; Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and Sateuniversity, Master's thesis.

to map rock distribution in extreme areas, The Prince Albert Mountain, Victoria Land, Antartica”; Proceedings of 20th ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, July 12-13, 2004, pp. 1234–1240.

[4] Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A.J.; 2005; “*Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona Province of Australia*”; Remote Sensing of Environment 99: pp. 159-172.

[5] Galvao, L.S., Almeida-Filho, R., Vitorello, I.; 2005; “*Spectral discrimination of hydrothermally altered materials using ASTER short-wave infrared bands: Evaluation in a tropical savannah environment*”; International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 7, pp. 107–114.

[6] Vaughan, R.G., Hook, S.J., Calvin, W.M., Taranik, J.V.; 2005; “*Surface mineral mapping at steamboat springs, Nevada, USA, with multi wavelength thermal infrared images*”; Remote sensing of Environment 99 (1-2), pp. 140-158.

[7] Hubbard, B.E., Crowley, J.K.; 2005; “*Mineral mapping on the Chilean–Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: Data dimensionality issues and solution*”; Remote Sensing of Environment 99 pp: 173 – 186.

[8] Wang, X., Zhang, S.; 2006; “*Evaluation of land cover classification effectiveness for the Queer Mountains, China using ASTER satellite data*” Proceedings of Advanced Technology in the Environmental field, Lanzarote, Canary Islands, Spain, 6-8 June, 2006.

[9] Pourmirzaei, R., Mohammady Oskouei, M.; 2012; “*Topographic Correction on hyperspectral data of western East-Azerbaijan*”, Iranian Journal of Mining Engineering, Vol. 7, No. 15, pp. 25-33.

[10] Ghimire, B., Rogan, J., Miller, J.; 2010; “*Contextual Landcover classification: incorporating Spatial dependence in Landcover classification Models Using random forests and the GetisStatistic*”; Remote Sensing Letters 1, No. 1, pp. 45-54.

[11] Lu , D., Weng, Q.; 2007; “*A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance*”; International Journal of Remote Sensing 28, pp. 823-870.

[12] Oskouei , M.M., Busch, W.; 2012; “*A Selective Combind Classification Algorithm for mapping alteration on Aster Data*”; Applied Geomatics, Vol. 4, pp. 47-54.

[13] Ghandchi, M., Afsharian Zadeh, A., Chaychi, Z.; 1991; “*1:100000 Geological Map of Lahrud*”, Geological Survey of Iran.

[14] Hashemi Tangestani, M., Azizi, M.; 2011; “*Evaluation of pixel and sub – pixel classification of*

پی‌نوشت

¹ Hyperspectral

² Multispectral

³ Hyperion

⁴ Aster

⁵ Unmixing

⁶ Matched Filtering

⁷ Mixture Tuned Matched Filtering

⁸ Infeasibility Score

⁹ Mahalanobis Distance