

بررسی کارایی روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست در شناسایی انواع سنگفرش بیابانی در جنوب استان سمنان

هایده آراء*: استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

محمدکیا کیانیان: استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

حریر سهرابی: دانشجوی کارشناسی ارشد رشته بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

علی احمدآبادی: استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۱

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲)

چکیده

شناخت لندفرم‌ها و نحوه پراکنش آن‌ها از نیازهای اساسی در علوم محیطی کاربردی است. همچنین نقشه لندفرم‌ها نمایانگر اشکال سطح زمین و نیز ماهیت فرایندهایی است، که در حال وقوع هستند. پژوهش حاضر با هدف بررسی، تفکیک و شناسایی طبقات سنگفرش بیابان به عنوان نوعی از لندفرم مناطق بیابانی با تکیه بر تکنیک سنجش از دور و استفاده از تصویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست در جنوب سمنان صورت گرفته است. بدین منظور از طریق بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه، تراکم درصد پوشش سنگی اندازه‌گیری، و موقعیت هر نمونه با GPS ثبت شد. به منظور طبقه‌بندی انواع سنگفرش بیابانی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی و فاصله ماهالانویی، در محیط نرم‌افزارهای ENVI 4.5 و IDRISI Selva استفاده شد و صحت طبقه‌بندی هر روش با استفاده از ضرایب دقت کلی، کاپا، صحت کاربر، صحت تولیدکننده، خطای گمناشته‌شده و خطای حذف‌شده و نیز ارائه جدول ماتریس خطا مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. همچنین مساحت و درصد مساحت نقشه‌های تولید شده هر روش طبقه‌بندی نیز در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد، که تصاویر حاصله از سنجنده ETM+ توانایی قابل توجهی در تفکیک طبقات سنگفرش بیابان دارد. همچنین بر اساس ضریب کاپا، روش‌های حداکثر احتمال (۸۶/۸۵)، حداقل فاصله از میانگین (۷۵/۵۴)، فاصله ماهالانویی (۶۸/۸۹) و سطوح موازی (۴۲/۲۵)، به ترتیب بیشترین توانایی را در تفکیک طبقات مختلف سنگفرش بیابان جنوب سمنان دارند. علاوه بر این، میزان ضرایب محاسبه شده برای هر طبقه، در روش‌های مختلف طبقه‌بندی متفاوت بوده و تغییر روش طبقه‌بندی تغییر فاحشی در تفکیک پذیری نسبی طبقات ایجاد نمی‌کند. واژگان کلیدی: حداکثر احتمال؛ جنوب سمنان؛ سنگفرش بیابان؛ سنجنده ETM+؛ طبقه‌بندی نظارت‌شده.

۱- مقدمه

فرایند شناسایی لندفرم‌های زمین، موضوعی است، که توسط محققین بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. در تمامی تعاریف ژئومورفولوژی بر مطالعه و شناسایی لندفرم‌ها تاکید شده است. شناخت لندفرم‌ها و نحوه‌ی پراکنش آن‌ها از نیازهای اساسی در علم ژئومورفولوژی کاربردی و سایر علوم محیطی است (Shayan *et al.*, 2012; Negahban and Mokaram, 2015). از سوی دیگر، سنجش از دور، ابزاری توانا برای مطالعه‌ی اکوسیستم‌های مختلف زمین، به منظور تولید داده‌های با ارزش و مفید از نظر زمانی و مکانی است (Rezaei Moghaddamet and Saghafi, 2006; Norozi, 2014; Akbarinasab *et al.*, 2016).

سنگفرش‌های بیابانی به عنوان یکی از لندفرم‌های مناطق خشک، نقش اساسی در فرایندهای این مناطق ایفا می‌کنند. سنگفرش بیابانی، ناحیه‌ای موزاییک مانند سنگی بالنسبه هموار در یک منطقه بیابانی است، که بعد از برداشت مواد ریزتر، به شکل نزدیکی، کنار یکدیگر جای می‌گیرند. به عبارت دیگر، به سطوح بیابانی که از سنگ، قلوه سنگ و ریگ‌های پوشیده شده باشند، که باد قادر به حمل آن‌ها نیست، سنگفرش بیابانی یا رگ^۱ می‌گویند. بنابراین، اولین گام در جهت تجزیه و تحلیل کمی این نقش، تهیه‌ی نقشه‌ی سطحی دقیق است. برای بیان تغییرات فیزیکی سطح سنگفرش بیابانی در یک مقیاس بزرگ، واحد نقشه (دسی متر بر متر) در نظر گرفته شده است (David *et al.*, 2002). در همین راستا، تکنولوژی سنجش از دور به دلیل تولید تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی که وسیله‌ای کارآمد برای شناسایی و طبقه بندی لندفرم بوده (Norozi, 2014)، و می‌تواند ابزاری ارزشمند در جهت شناسایی و طبقه بندی سنگفرش‌های بیابانی به عنوان یکی از مهمترین لندفرم‌های مناطق خشک در محدوده مورد مطالعاتی خود باشد (Alavi Panah *et al.*, 2000; Gohari *et al.*, 2019). تحقیقات بسیاری در خصوص مطالعه و بررسی رخساره‌های مناطق بیابانی و خصوصیات آن‌ها از طریق روش‌های سنجش از دور، صورت گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیقات حاکی از دقت خوب و رو به پیشرفت داده‌های ماهواره‌ای در شناسایی و طبقه بندی رخساره‌های ژئومورفولوژیکی مناطق بیابانی بوده است. Niazi و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود، برای تفکیک واحدهای سنگ شناسی از سه روش طبقه بندی حداکثر احتمال، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان بر روی تصاویر لندست TM استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد، روش ماشین بردار پشتیبان در هر سه کرنل با دقت ۸۳/۴۲ درصد، بیشترین دقت را نسبت به دو روش دیگر داشته است. محققین روش ماشین بردار پشتیبان را برای تهیه نقشه زمین شناسی مناسب تر از دو روش دیگر پیشنهاد کردند.

Arekhi (۲۰۱۴)، به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی دشت عباس، از داده‌های رقومی سنجنده ETM⁺ استفاده کرد. برای طبقه بندی تصاویر، روش‌های طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال را به کار برد. بر اساس نتایج تحقیق، روش طبقه بندی شبکه عصبی، قابلیت تهیه نقشه پوشش اراضی را با صحت بالا دارد. De laet و همکاران (۲۰۰۷)، با مطالعه‌ی توسعه و ثبات سنگفرش بیابانی در ترکیه به این نتیجه رسیدند، که سنگفرش بیابانی در این منطقه به احتمال زیاد (در محل) با تجزیه مکانیکی قطعات سطحی و اثرات حداقل Tophonomic در آثاری با قطر رسوب بزرگتر از ۲ سانتی متر ایجاد شده اند. در پژوهش پیش رو، در شناسایی و طبقه بندی سنگفرش بیابانی از کارایی تصاویر لندست به صورت جامع تری با استفاده از استراتژی‌های طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است.

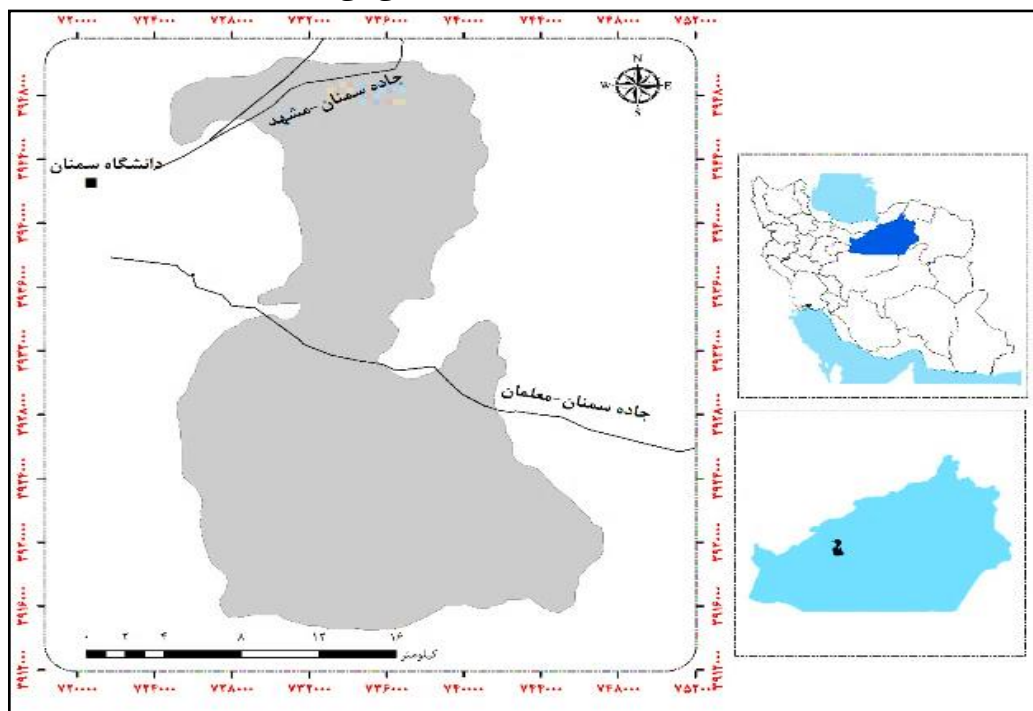
Gohari و همکاران (۲۰۱۸)، در مطالعات خود بر روی پهنه های ماسه ای دشت سرخس، از سه تکنیک طبقه بندی نظارت شده و تصویر ماهواره‌ی لندست ۸ سال ۲۰۱۵ استفاده کردند و به بررسی کلیه‌ی الگوریتم‌های طبقه بندی، شامل روش پیکسل پایه، الگوریتم حداکثر احتمال، روش شیء‌گرا، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و روش درخت تصمیم‌گیری و تلفیق دو الگوریتم فوق پرداختند. به منظور صحت سنجی نتایج، علاوه بر استفاده از پارامترهای دقت کل، ضریب کاپا، ماتریس دقت تولیدکننده و تولید شده، از دو پارامتر مغایرت کمی و مغایرت تخصیصی نیز استفاده کردند.

نتایج تحقیق نشان داد، که روش درخت تصمیم‌گیری با دقت کل ۸۷ درصد، شاخص کاپای ۸۲ درصد، مغایرت کمی ۶/۷ درصد و مغایرت تخصیصی ۵/۶ درصد نسبت به دیگر روش‌ها مانند روش پیکسل پایه و شیء‌گرا به ترتیب با

دقت کل ۸۳ و ۸۰ درصد، شاخص کاپای ۷۸ و ۷۵ درصد، مغایرت کمی ۱۰/۴ و ۸۳ درصد و مغایرت تخصیصی ۶/۱ و ۷/۶ درصد، از دقت و صحت بالاتری برخوردار است؛ به گونه‌ای که مساحت اراضی ماسه‌ای شامل تپه‌ها و پهنه‌های ماسه-ای در حدود ۱۳۴۹ کیلومتر مربع برآورد شد. بیشترین گستردگی این اراضی، در بخش‌های مرکزی منطقه و عمدتاً در مجاورت عناصر زیستی و فیزیکی بود. علاوه بر این، با مقایسه‌ی مساحت نقشه‌های تولید شده مشخص شد که مساحت کاربری‌های سطوح آبی و اراضی کشاورزی تقریباً نزدیک به هم بوده و بیشترین اختلاف مساحت مربوط به کاربری‌های مراتع، اراضی بایر و پهنه‌های ماسه‌ای است.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۴۷۶۴۵/۹۸ هکتار، با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی، در شهرستان سمنان واقع در استان سمنان قرار گرفته (شکل ۱) و از غرب به شهر سمنان و منطقه اعلاء، منتهی می‌شود.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان و کشور

بیابان سمنان در جنوب منطقه و دانشگاه سمنان در شمال غربی آن دیده می‌شود. همچنین جاده‌های سمنان-جندق و سمنان-دامغان از این منطقه می‌گذرد. بیشترین ارتفاع در شمال شرق منطقه، ۱۵۹۸ متر، و کمترین ارتفاع در جنوب غربی منطقه برابر با ۵۹۸ متر دیده می‌شود. شیب عمومی از شمال شرق به جنوب غرب که در نهایت به بیابان جنوب شرق سمنان منتهی می‌شود، کاهش می‌یابد. تشکیلات مربوط به واحد ژئومرفولوژی دشت‌سر در منطقه مورد بررسی تماماً جزء رسوبات عهد حاضر (کواترنری) هستند، که سطح عمده منطقه طرح را شامل می‌شوند. این رسوبات به ترتیب شامل مخروط افکنه‌های کم ارتفاع و پادگانه‌های آبرفتی پست (QT³)، کنگلومرای ناهمگون (QP1) و مارن‌های خاکستری روشن به همراه سنگ آهک‌های مرجانی و نهشته‌های تبخیری به رنگ زرد روشن تا خاکی (Mb³) و گچ (GP) هستند. وجود عرصه‌های سنگفرش بیابانی در منطقه با درصد ریگ‌های متفاوت سبب انتخاب آن به عنوان منطقه مطالعه بوده است.

۳- مواد و روش

برای مطالعه‌ی بهتر منطقه، از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی ETM^+ با قدرت تفکیک‌پذیری مکانی، زمانی و خصوصاً رادیومتری بهتر استفاده شده است. داده‌های این سنجنده، در هفت باند طیفی ارائه می‌شوند که در این تحقیق از سایت USGS^۱ با ردیف و گذر ۱۶۳ و ۳۵ اخذ شده‌اند. ابزارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر و کاربرد آن‌ها در جدول ۱، ارائه شده است. لازم به ذکر است که تاریخ داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های برداشت شده صحرائی مطابقت زمانی دارد.

جدول ۱. نرم افزارهای به کار رفته و موارد استفاده از آن‌ها

نرم افزارهای مورد استفاده	مورد استفاده
نرم افزار ENVI 4.5	پیش پردازش، پردازش و ارزیابی صحت تصاویر ماهواره‌ای
نرم افزار Idrisi Selva	پردازش و ارزیابی صحت تصاویر ماهواره‌ای
نرم افزار ILWIS 3.3	شاخص مطلوب بهینه
نرم افزار Arc GIS 10.2	تعیین مساحت طبقات و تهیه خروجی
نرم افزار Google Earth	شناسایی مقدماتی منطقه مورد مطالعه و ترسیم مرز
نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰	تحلیل وضع توپوگرافی و جنس زمین

به منظور شناسایی بهتر انواع سنگفرش بیابان، بازدید و مطالعه صحرائی صورت گرفت و با بهره‌گیری از پلات و خط‌کش به صورت تصادفی و به روش تراکم در سطح، اندازه‌گیری تراکم سنگفرش بیابان انجام، و موقعیت مکانی هر نمونه به وسیله دستگاه موقعیت‌یاب جهانی ثبت شد (شکل ۲). سپس نمونه‌های برداشت شده در سه کلاس تراکم ۴۰-۷۰، ۷۰-۹۰ و ۹۰-۴۰ درصد قرار داده شدند.



شکل ۲: انواع سنگفرش بیابانی در منطقه مطالعه

تعیین مناسب‌ترین باند، در تفسیر و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از شاخصی تحت عنوان، فاکتور شاخص مطلوب (OIF)^۱ که ترکیب سه باند را به ترتیب میزان اطلاعات درجه‌بندی می‌کند، صورت گرفت (Alavi Panah, 2000). رابطه زیر، برای محاسبه OIF از انحراف معیار و ضریب همبستگی باندها بکار گرفته شد. (Sarmastiet al., 2013). (Jensen, 2011).

رابطه (۱)

$$OIF = \frac{\sum SD}{\sum CC}$$

در این رابطه، $\sum SD$ = مجموع انحراف معیارهای سه باند ترکیبی و $\sum CC$ = مجموع قدر مطلق ضریب همبستگی‌های سه باند هستند.

1. The United States Geological Survey

در تحقیق حاضر مطابق تحقیقات پیشین، به بررسی و تعیین مهم‌ترین طیف یا باندهای تصویر ETM⁺ لندست، برای شناسایی سنگفرش بیابانی پرداخته و برای این کار، ۵۶ حالت ترکیب باندی (R-G-B) از تمام باندهای ETM⁺ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) در گروه‌های مختلف در نرم‌افزار ILWIS 3.3 مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). لازم به ذکر است، که ترتیب باندها در هر ترکیب از RGB در مقدار OIF تاثیری ندارد (Qaid and Basavarajappa, 2008).

جدول ۲: فهرست گروه‌های باندی مورد استفاده (Qaid and Basavarajappa, 2008, Sarmastiet al., 2013)

Band Group	گروه باندی	شماره
Visible	مرئی	۱
VNIR+SWIR	طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی	۲
VNIR+TIR	باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز حرارتی	۳
SWIR+TIR	مادون قرمز میانی، مادون قرمز حرارتی، مادون قرمز نزدیک	۴
VNIR+SWIR+TIR	مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی، مادون قرمز حرارتی	۵
SWIR+Panchromatic	مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی، پانکروماتیک	۶
VNIR+SWIR+Pan	طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی، پانکروماتیک	۷
VNIR+Pan	طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک، پانکروماتیک	۸
SWIR+TIR+Pan	مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی، مادون قرمز حرارتی، پانکروماتیک	۹
VNIR+TIR+Pan	طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز حرارتی، پانکروماتیک	۱۰

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی سنگفرش بیابان از چهار روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی و فاصله ماهالانویی استفاده شد. با استفاده از بازدیدهای میدانی و دستگاه موقعیت‌یاب جهانی، در شرق سمنان، اقدام به برداشت نمونه‌های تعلیمی یا داده‌های آموزشی شد. لازم به ذکر است، داده‌های آموزشی می‌توانند توسط بازدیدهای صحرایی، نقشه‌ها و یا عکس‌های هوایی تولید شوند، که از آن‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Mokhtari and Najafi, 2015).

در این پژوهش، نمونه‌های تعلیمی به دو گروه تقسیم شدند، گروه اول در طبقه بندی، و گروه دوم در ارزیابی صحت طبقه‌بندی به کار گرفته شدند. علاوه بر این، برای به حداقل رساندن میزان خطا در محاسبات و پردازش تصاویر در منطقه مورد مطالعه، از نمونه‌های تعلیمی ثابت در طبقه‌بندی‌های مختلف استفاده شد و در نمونه‌های تعلیمی تغییری ایجاد نشد. همین شرایط برای نمونه‌های تعلیمی ارزیابی نیز، لحاظ شد. پس از اعمال تصحیحات تصاویر با توجه به الگوریتم-های مورد مطالعه برای هر الگوریتم، با استفاده از نرم افزار ENVI 4.5، به کمک نمونه‌های تعلیمی نقشه پهنه‌بندی سنگفرش بیابان برای منطقه مطالعاتی ترسیم شد. برای از بین بردن اثر فلل-نمکی که یکی از اثرات معمول در کار با سامانه‌های دارای قدرت تفکیک متوسط مانند ماهواره‌ی لندست است (Luo and Wei, 2009)، از فیلتر حداکثر ۳×۳ استفاده شد. برای ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا ماتریس خطا برای داده‌های واقعی و داده‌های پردازش شده تشکیل شد. به این صورت، که داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از پردازش تصاویر برای هر طبقه در ماتریس خطا گنجانده شدند. سپس شاخص‌های ارزیابی صحت محاسبه شدند. پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند، صحت تصاویر طبقه‌بندی شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

معمول‌ترین پارامترهای برآورد دقت به کار گرفته شده، عبارتند از: صحت تولیدکننده، صحت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا، هستند (Lu et al., 2004). صحت کلی، یکی از شاخص‌های رایج برای برآورد میزان صحت پردازش تصویر است، که با استفاده از رابطه‌ی ۲ و داده‌های موجود در ماتریس خطا بدست آمد. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها بدست می‌آید (Alavi Panah, 2005).

$$OA = 1/n \sum_{i=1}^n p_{ii} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه: OA. دقت کلی؛ N، تعداد پیکسل‌های آزمایشی؛ $\sum p_{ii}$ ، جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی، غالباً در کارهای اجرائی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود، چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد (Yousefi *et al.*, 2011). ضریب کاپا، صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی (حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شده باشد) محاسبه می‌کند. این ضریب با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه شد (Alavi Panah, 2009):

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه، P_0 ، درستی مشاهده شده؛ P_c ، توافق مورد انتظار هستند. دقت تولید کننده، احتمال اینکه یک پیکسل در تصویر کلاسه بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال اینکه یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه بندی شده قرار بگیرد، می باشد، که از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌گردند:

$$PA = \frac{ta}{ga} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$UA = \frac{ta}{n1} \times 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$

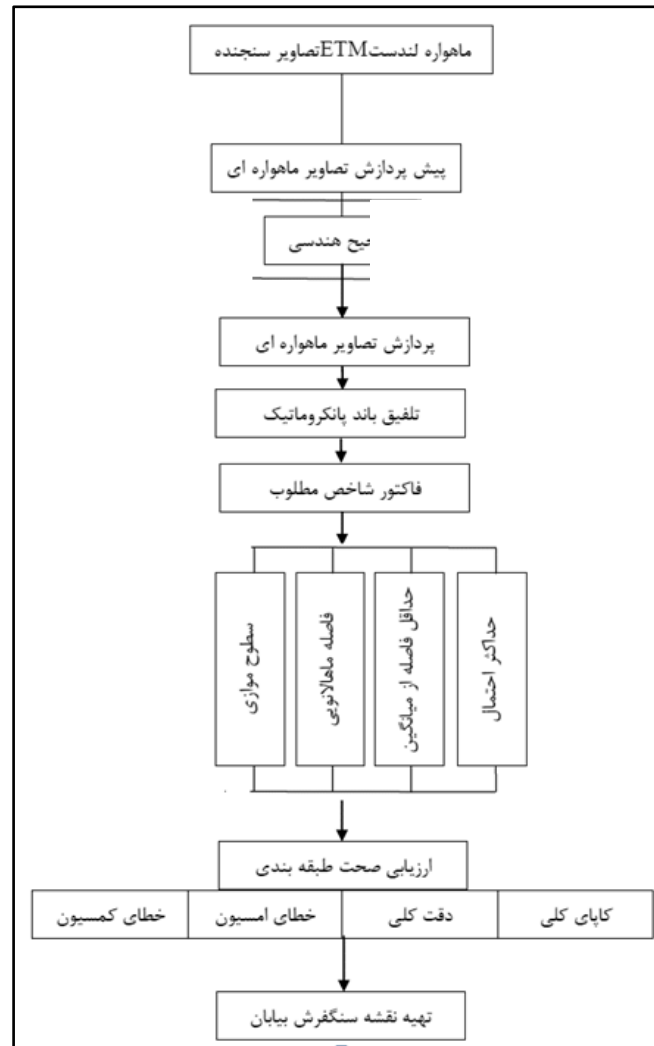
در این روابط؛ PA، دقت کلاس a برای دقت تولیدکننده، ta، تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به عنوان کلاس a، ga، تعداد پیکسل‌های کلاس a در واقعیت زمینی، UA، درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر، n1، تعداد پیکسل‌های کلاس a در نتیجه طبقه‌بندی هستند (Niazi *et al.*, 2014). بر اساس دو دقت ذکر شده، دو خطای گماشته شده و حذف شده به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شوند (Fatemi and Rezaei, 2005).

$$Ce = 1 - UA \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$Oe = 1 - PA \quad \text{رابطه (۷)}$$

Ce: خطای گماشته شده که بر اساس دقت کاربر محاسبه می‌گردد، معادل آن درصد از پیکسل‌هایی است، که در واقع متعلق به کلاس مورد نظر نبوده، ولی طبقه‌بندی کننده، آن‌ها را در این کلاس خاص، در نظر گرفته است. Oe: خطای حذف شده مربوط به آن درصد از پیکسل‌هایی است، که در واقعیت زمینی، در کلاس مورد نظر قرار دارند، اما در کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند.

برای مشخص کردن مساحت و درصد مساحت طبقات سنگفرش بیابانی منطقه مورد مطالعه با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و در محیط Arc GIS 10.2، نقشه‌های تولیدشده در قالب فرمت سلولی TIFF/GEO TIFF با استفاده از ماژول Raster to Polygon به فرمت برداری تبدیل شده و مساحت هر طبقه از سنگفرش بیابان محاسبه شد. خروجی مناسب برای نقشه‌های بدست آمده در قالب فرمت JPEG تهیه شد. در شکل ۳، مدل مفهومی مراحل انجام تحقیق ارائه شده است.



شکل ۳: مدل مفهومی مراحل تهیه نقشه سنگفرش بیابان

مدل اجرایی تحقیق اصلاح شد و تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری در بخش پیش پردازش حذف گشت (تصاویر استفاده شده در Level 1 بوده و با توجه به موضوع که طبقه بندی است، نیازی به تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری نیست).

تفکیک و طبقه بندی انواع سنگفرش بیابان

به منظور تفکیک و تشخیص انواع سنگفرش‌های بیابانی از نظر تراکم پوشش به کمک نرم‌افزارهای EDRI SI Selva و ENVI 4.5 و تصاویر سنجنده ETM⁺ از ماهواره لندست، ۴ روش طبقه بندی نظارت شده، حداکثر احتمال، فاصله ماهالانویی، حداقل فاصله از میانگین و سطوح موازی مورد استفاده قرار گرفت. هر روش، از نظر صحت طبقه بندی با استفاده از ضرایب دقت کلی، کاپا، صحت کاربر و صحت تولیدکننده مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند. علاوه بر این برای هر روش، جدول ماتریس خطا ارائه شد. در این ماتریس، میزان تطابق هر کلاس طبقه بندی شده با واقعیت زمینی نمایش داده می‌شود، که در آن می‌توان میزان خطای قرار گرفتن (تداخل) یک طبقه را در طبقات دیگر مشاهده کرد. قطر ماتریس خطا، درصد کلاس‌های درست طبقه بندی شده و سایر سلول‌های آن میزان خطاهای گماشته شده (ستون هر طبقه در ماتریس خطا) و حذف شده (ردیف هر طبقه در ماتریس خطا) را نشان می‌دهد (Lillesand and Kiefer, 2004, Ahmadpour et al. 2011). سپس نقشه پهنه بندی مکانی هر روش در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 ترسیم شد.

۴- نتایج

در پژوهش حاضر، به منظور تعیین بهترین شاخص مطلوب در رتبه‌بندی ترکیبات رنگی کاذب، داده‌های ETM⁺ مطابق تحقیقات مشابه از شش باند انعکاسی، یک باند حرارتی و یک باند پانکروماتیک با قدرت‌های مکانی به ترتیب، ۳۰، ۶۰ و ۱۵ متری استفاده شد. براساس نتایج حاصل از ۲۹ ترکیب باندی برتر، حاصل از گروه‌های مختلف باندی نشان داد، بهترین ترکیب باندی برای تشخیص و تفکیک سنگفرش بیابان منطقه جنوب سمنان به صورت ترکیب باندی ۳-۴-۶ با مقدار شاخص بهینه مطلوب برابر با ۷۱/۴۵ است، که در گروه مادون قرمز میانی به همراه مرئی (VNIR+TIR) قرار گرفته‌اند. (جدول ۳)

جدول ۳. بهترین ترکیبات باندی RGB بهینه مطلوب

شماره	گروه باندی	ترکیب باندی کاذب	شاخص بهینه مطلوب
۱	۳	۳-۴-۶	۷۱/۴۵
۲	۳	۱-۳-۶	۷۰/۳۷
۳	۳	۱-۴-۶	۶۴/۳۴
۴	۱۰	۳-۶-۸	۶۹/۷۸
۵	۱۰	۴-۶-۸	۶۹/۲۹
۶	۳	۲-۴-۶	۶۸-۹۴
۷	۱۰	۱۶۸	۶۸/۶۲
۸	۳	۲-۳-۶	۶۸/۴۱
۹	۵	۱-۵-۶	۶۷/۵۳
۱۰	۱۰	۲-۶-۸	۶۶/۰۷
۱۱	۳	۱-۲-۶	۶۵/۷۱
۱۲	۹	۵-۶-۸	۶۵/۳۸
۱۳	۹	۶-۷-۸	۶۴/۱۳
۱۴	۴	۵-۶-۷	۵۶/۸۱
۱۵	۲	۱-۴-۵	۵۱/۱۸
۱۶	۲	۳-۴-۵	۴۹/۸۰
۱۷	۲	۱-۳-۴	۴۹/۲۰
۱۸	۲	۱-۴-۷	۴۸/۴۰
۱۹	۷	۳-۴-۸	۴۸/۳۶
۲۰	۶	۵-۷-۸	۴۸/۳۱
۲۱	۲	۲-۴-۵	۴۸/۱۵
۲۲	۲	۳-۴-۷	۴۷/۸۶
۲۳	۷	۱-۴-۸	۴۶/۶۱
۲۴	۷	۱-۵-۸	۴۵/۷۱
۲۵	۷	۲-۴-۸	۴۵/۶۰
۲۶	۷	۱-۳-۸	۴۳/۶۵
۲۷	۸	۱-۲-۸	۴۲/۶۸
۲۸	۷	۲-۳-۸	۴۲/۴۷
۲۹	۱	۱-۲-۳	۴۲/۳۳

شاخص OIF به گونه‌ای نشان‌دهنده‌ی میزان اطلاعات موجود در هر باند است. باند مادون قرمز با دارا بودن انحراف معیار بالا و حداقل تکرار (همبستگی پایین) نسبت به سایر باندها، در رتبه‌ی اول از شاخص مذکور قرار داشته و بدین معناست که، بیشترین اطلاعات برای تشخیص سنگفرش منطقه مورد مطالعه در باند مادون قرمز قرار دارد. از ترکیب باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، حرارتی و پانکروماتیک (VNIR+TIR+Panchromatic)، چهار ترکیب باندی به‌دست آمد، که بهترین آن‌ها به صورت ۸-۶-۳ با مقدار شاخص بهینه مطلوب برابر با ۶۹/۷۸ بوده، که در رتبه ۴ قرار گرفت.

روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال (MXL)

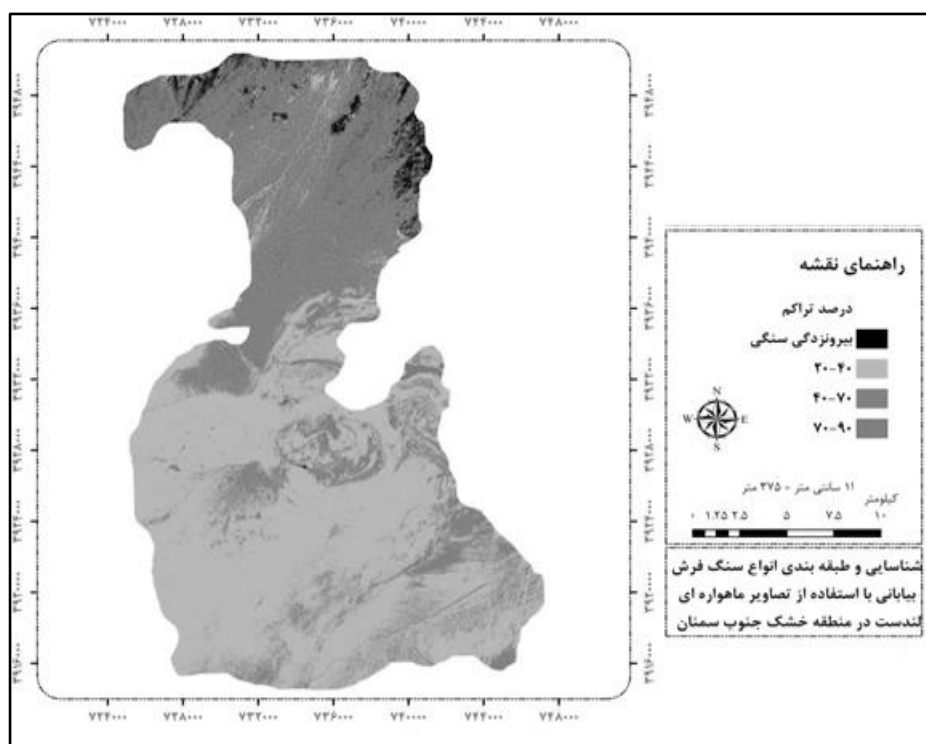
نتایج حاصل از بررسی ضرایب صحت تولیدکننده، صحت کاربر، ضریب کاپا و دقت طبقات، بر اساس روش حداکثر احتمال حاکی از این است که، ضرایب صحت‌های تولیدکننده و کاربر بیشتر از ۷۵ درصد برآورد شده است، که قابل قبول است. همچنین ضرایب کاپا و دقت طبقات نیز برای تمام طبقات بیشتر از ۸۱/۳۷ و ۸۷/۵۷ درصد برآورد شدند، که ضرایب قابل‌قبولی محسوب می‌شوند. روش حداکثر احتمال بیشترین ضریب کاپا و دقت را با مقادیر ۹۷/۹۹ و ۹۸/۶۶ درصد را برای طبقه سنگفرش با تراکم ۹۰-۷۰ درصد و کمترین ضریب کاپا و دقت را با مقادیر ۸۱/۳۷ و ۸۷/۵۷ درصد برای طبقه سنگفرش با تراکم ۴۰-۲۰ درصد برآورد نمود (جدول ۴). نتایج مطالعات در خصوص مساحت و درصد مساحت چهار طبقه تعیین شده بر اساس روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال نشان می‌دهد که، طبقه سنگفرس بیابان با تراکم ۴۰-۲۰ درصد، بیشترین درصد مساحت را با مقدار ۵۶/۶۲ به خود اختصاص داده است (جدول ۵). نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش حداکثر احتمال در شکل ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: ضرایب صحت‌های تولیدکننده، کاربر، کاپا و دقت هر طبقه در روش حداکثر احتمال

طبقات	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	کاپا	دقت
برونزدگی سنگی	۹۲/۷۳	۹۸/۰۸	۸۴/۷۳	۸۹/۸۲
۲۰-۴۰	۹۸/۱۵	۱۰۰	۸۱/۳۷	۸۷/۵۷
۴۰-۷۰	۷۵/۸۶	۹۱/۶۷	۹۶/۲۷	۹۷/۵۱
۷۰-۹۰	۹۴/۶۴	۷۵/۷۱	۹۷/۹۹	۹۸/۶۶

جدول ۵: مساحت و درصد مساحت طبقات سنگفرش بیابان بر اساس روش حداکثر احتمال

طبقات	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
برونزدگی سنگی	۱۳۱۰/۶۲	۲/۷۵
۲۰-۴۰	۲۶۹۵۲/۵۴	۵۶/۶۶
۴۰-۷۰	۹۸۱۸/۵۵	۲۰/۶۲
۷۰-۹۰	۹۵۱۶/۵۲	۱۹/۹۹



شکل ۴: نقشه پراکنش انواع سنگفرش بیابانی بر اساس روش حداکثر احتمال

روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداقل فاصله از میانگین (MinDis)

ضریب کاپای کلی محاسبه شده برای روش حداقل فاصله از میانگین برابر با $75/54$ درصد و دقت کلی نیز برابر با $81/61$ درصد است. بر اساس نتایج بدست آمده، روش مذکور در دو طبقه $20-40$ و $70-90$ درصد، تراکم پوشش سنگفرش بیابان از تداخل کمتری نسبت به دو طبقه دیگر برخوردارند. طبقه سنگفرش بیابان با تراکم پوشش $40-70$ درصد، از بیشترین مقدار تداخل برخوردار است، به طوری که، فقط $41/38$ درصد از پیکسل‌ها به درستی در طبقه مربوط به خود تشخیص داده شده‌اند. این در حالی است، که $34/48$ درصد از پیکسل‌ها در طبقه $20-40$ درصد و $22/41$ درصد از پیکسل‌ها در طبقه $70-90$ درصد قرار گرفته‌اند. در این روش، ضرایب صحت‌های تولیدکننده و کاربر به ترتیب بیشتر از 41 و 72 درصد برآورد شده‌اند (جدول ۶). همچنین ضرایب کاپا و دقت نیز برای تمام طبقات بیشتر از 68 و 78 درصد بدست آمد. در روش حداقل فاصله از میانگین، بیشترین ضریب کاپا و دقت با مقادیر $95/40$ و $96/93$ را برای طبقه سنگفرش با تراکم $40-70$ درصد و کمترین ضریب کاپا و دقت نیز با مقادیر $68/5$ و $78/91$ درصد به طبقه بیرون‌زدگی سنگی تعلق یافت.

جدول ۶: ضرایب صحت‌های تولید کننده، کاربر، کاپا و دقت هر طبقه در روش حداقل فاصله از میانگین

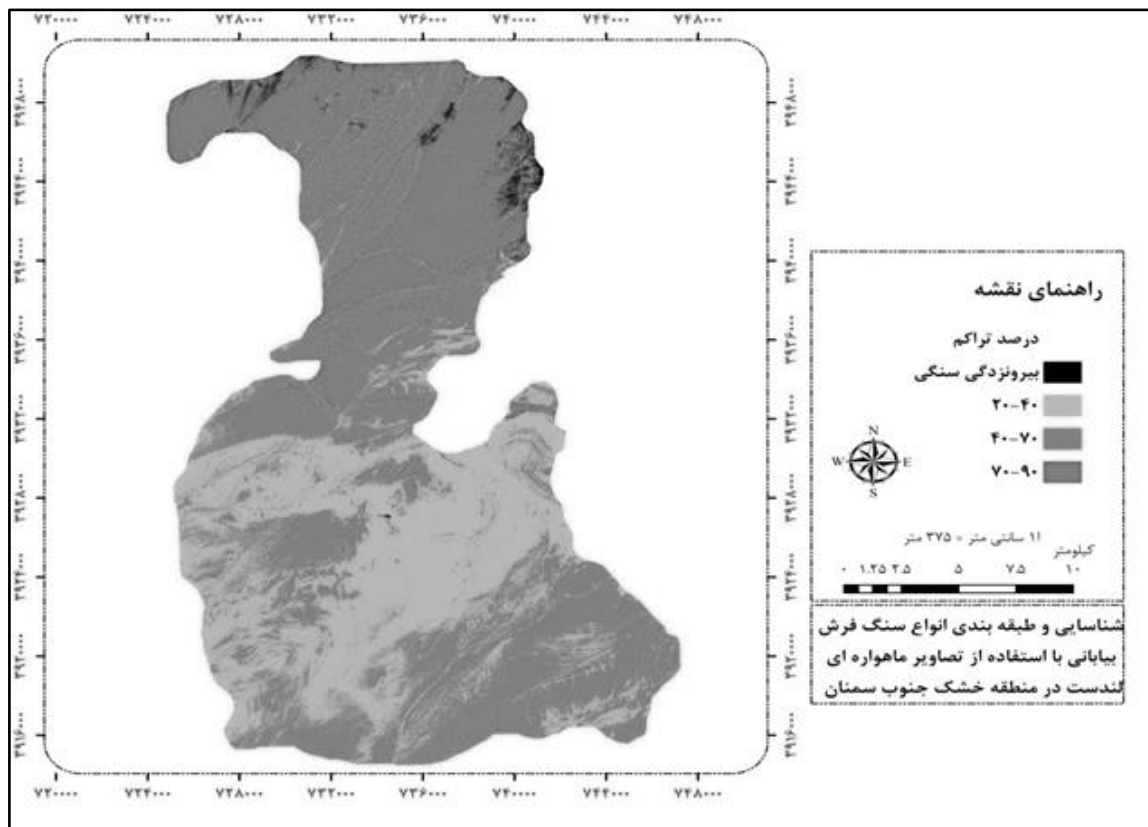
طبقات	صحت تولید کننده	صحت کاربر	کاپا	دقت
برونزدگی سنگی	92/73	96/23	68/50	78/91
20-40	96/30	72/22	80/26	87/24
40-70	41/38	92/31	95/40	96/93
70-90	98/21	76/39	76/67	84/66

طبق نتایج بدست آمده طبقه سنگفرش بیابان با تراکم $40-70$ درصد، بیشترین درصد مساحت را با مقدار $41/88$ درصد (۱۹۹۳۵/۷۹ هکتار) به خود اختصاص داده و طبقه برونزدگی سنگی با مساحت $537/7$ هکتار ($1/12$ درصد)، کم‌وسعت‌ترین

طبقه از منطقه را تشکیل داده است (جدول ۷). شکل ۵، نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش حداقل فاصله از میانگین نشان می‌دهد.

جدول ۷: مساحت و درصد مساحت طبقات سنگفرش بیابان بر اساس روش حداقل فاصله از میانگین

طبقات	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
برونزدگی سنگی	۵۳۷/۷	۱/۱۲
۲۰-۴۰	۱۷۶۳۹/۶۲	۳۷/۰۸
۴۰-۷۰	۱۹۹۳۵/۷۹	۴۱/۸۸
۷۰-۹۰	۹۴۸۵/۲۲	۱۹/۹۲



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی مکانی انواع سنگفرش بیابانی بر اساس روش حداقل فاصله از میانگین

روش طبقه‌بندی نظارت‌شده فاصله ماهالانویی (MahD)

بر اساس مطالعات انجام شده، تداخل زیادی بین طبقات در روش فاصله ماهالانویی مشاهده می‌شود، به طوری که بیشترین تداخل در بین طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۴۰-۷۰ درصد و طبقه ۷۰-۹۰ درصد به گونه‌ای است، که ۲۵/۸۶ درصد از پیکسل‌ها را در طبقه ۷۰-۹۰ در نظر گرفته است. ضرایب کاپا و دقت کلی بدست آمده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده فاصله ماهالانویی به ترتیب برابر با ۶۸/۸۹ و ۷۶/۸۶ است. نتایج حاصل از ضرایب صحت تولیدکننده، صحت کاربر، ضریب کاپا و دقت طبقات در جدول ۱۲ نمایش داده شده است. بر این اساس، کمترین ضریب کاپا و دقت به ترتیب با مقادیر ۶۰/۹۸ و ۷۳/۹۶ درصد به طبقه سنگفرش بیابانی با درصد تراکم ۲۰-۴۰ و بیشترین ضریب کاپا با مقدار ۸۹/۱۳ و دقت کلی برابر با ۹۲/۷۵ درصد مربوط به طبقه ۷۰-۹۰ درصد تراکم است (جدول ۸).

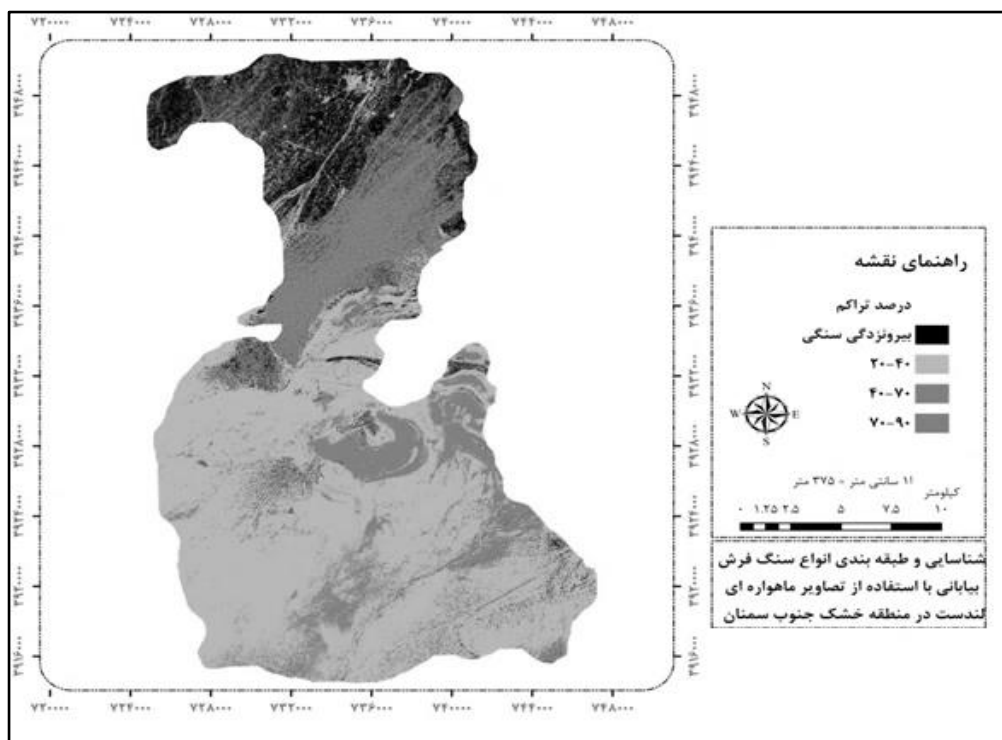
جدول ۸: ضرایب صحت‌های تولید‌کننده، کاربر، کاپا و دقت هر طبقه در روش فاصله‌ماهالانویی

طبقات	صحت تولید‌کننده	صحت کاربر	کاپا	دقت
برونزدگی سنگی	۷۴/۵۵	۷۸/۸۵	۷۴/۲۶	۸۲/۸۰
۲۰-۴۰	۸۵/۱۹	۱۰۰	۶۰/۹۸	۷۳/۹۶
۴۰-۷۰	۷۰/۶۹	۷۷/۳۶	۷۷/۴۱	۸۴/۹۶
۷۰-۹۰	۷۶/۷۹	۵۹/۷۲	۸۹/۱۳	۹۲/۷۵

طبق پهنه‌بندی انجام شده، طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰ درصد با درصد مساحتی برابر با ۵۳/۵۵، وسیع‌ترین طبقه را در این روش به خود اختصاص داده است. همچنین کمترین درصد مساحت نیز با مقدار ۱۳/۳۹ درصد (۶۳۷۶/۴۳ هکتار) از کل منطقه به طبقه بیرونزدگی سنگی مربوط می‌شود (جدول ۹). شکل ۶، نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش فاصله‌ماهالانویی را نشان می‌دهد.

جدول ۹: مساحت و درصد مساحت طبقات سنگفرش بیابان بر اساس روش فاصله‌ماهالانویی

طبقات	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
برونزدگی سنگی	۶۳۷۶/۴۳	۱۳/۳۹
۲۰-۴۰	۲۵۴۹۲/۸۳	۵۳/۵۵
۴۰-۷۰	۸۲۳۰/۵۶	۱۷/۳۱
۷۰-۹۰	۷۴۹۸/۴۲	۱۵/۷۵



شکل ۶: نقشه پراکنش انواع سنگفرش بیابانی بر اساس روش فاصله‌ماهالانویی

روش طبقه‌بندی نظارت‌شده سطوح موازی

نتایج بررسی‌های صورت‌گرفته به روش سطوح موازی نشان داد که، ضریب کاپای کلی برابر با ۲۱/۰۶ درصد و دقت کلی نیز برابر با ۴۱/۲۵ درصد است، که ضرایب برآوردشده حاکی از عدم کارایی مدل مذکور در تفکیک طبقات سنگفرش بیابان است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، که در این روش، دو طبقه برون‌زد سنگی و طبقه سنگفرش با تراکم ۲۰-۴۰ درصد قابل تشخیص نبودند، به طوری که ۱۰۰ درصد از پیکسل‌های مربوط به این دو طبقه جز طبقات دیگر در نظر گرفته شده است. ضرایب، نشان‌دهنده عدم توانایی روش مذکور در تفکیک طیفی طبقات سنگفرش بیابان است (جدول ۱۰). وقوع حداکثر تداخل در دو طبقه برون‌زد سنگی و سنگفرش با تراکم ۲۰-۴۰ درصد موجب شد، که ضرایب کاپا و دقت به حداقل مقدار (صفر درصد) تقلیل پیدا کنند. بیشترین ضریب کاپا و دقت نیز با مقادیر ۵۴/۷۶ و ۵۴/۴۳ به طبقه سنگفرش با تراکم ۴۰-۷۰ و ۷۰-۹۰ درصد تعلق دارد (جدول ۱۰).

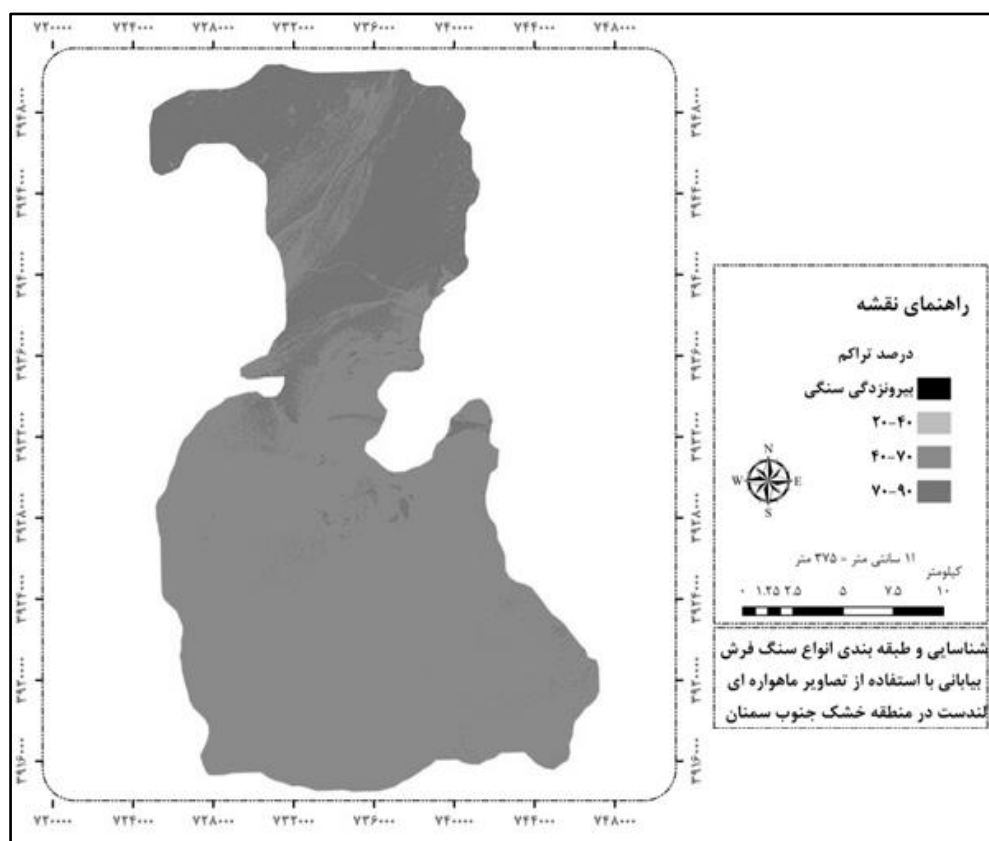
عدم تشخیص و تفکیک دو طبقه برون‌زد سنگی و سنگفرش با تراکم ۲۰-۴۰ درصد موجب افزایش مساحت متعلق به دو طبقه مذکور به طبقات سنگفرش و عدم تطابق با شرایط واقعی و واقعیت زمینی شده است، به طوری که طبقه سنگفرش با تراکم ۷۰-۹۰ درصدی با مساحت ۳۴۹۹۵/۸۸ هکتار (۷۳/۵۲ درصد) از منطقه را شامل شده است (جدول ۱۱). شکل ۷، نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش سطوح موازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰: ضرایب صحت‌های تولید کننده، کاربر، کاپا و دقت هر طبقه در روش سطوح موازی

طبقات	صحت تولید کننده	صحت کاربر	کاپا	دقت
برونزگی سنگی	۰	۰	۰	۰
۲۰-۴۰	۰	۰	۰	۰
۴۰-۷۰	۶۲/۰۷	۳۰/۵۱	۳۱/۴۹	۵۴/۷۶
۷۰-۹۰	۱۰۰	۵۳/۳۳	۳۱/۴۰	۵۴/۴۳

جدول ۱۱: مساحت و درصد مساحت طبقات سنگفرش بیابان بر اساس روش سطوح موازی

طبقات	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
برونزگی سنگی	۰	۰
۲۰-۴۰	۰	۰
۴۰-۷۰	۳۴۹۹۵/۸۸	۷۳/۵۲
۷۰-۹۰	۱۲۵۹۹	۲۶/۴۸



شکل ۷: نقشه پهنه بندی مکانی انواع سنگفرش بیابانی بر اساس روش سطوح موازی

۵- بحث و نتیجه‌گیری

برای استفاده مطلوب از داده‌های چندطیفی، ضرورت دارد، تا بهترین ترکیب باندی مشخص شود. انتخاب بهترین ترکیب باندی از طریق مقایسه چشمی تصاویر مشکل و وقت‌گیر است. بنابراین، می‌توان با روش رقومی از تکنیکی به نام فاکتور شاخص مطلوب (OIF)، برای تعیین مناسب‌ترین ترکیب باندی به منظور ایجاد بهترین تصویر رنگی کاذب و تعیین مناسب‌ترین باندها برای طبقه‌بندی رقومی استفاده کرد (Alavi Panah, 2000).

نتایج حاصل از بکارگیری شاخص بهینه مطلوب در پژوهش حاضر نشان داد، که بهترین ترکیب باندی برای تشخیص و تفکیک سنگفرش بیابان منطقه جنوب سمنان به صورت ترکیب باندی ۳-۴-۶ با مقدار شاخص بهینه مطلوب برابر با ۷۱/۴۵ است، که در گروه مرئی و مادون قرمز حرارتی (VNIR+TIR) قرار گرفته‌اند. تفاوت اقلیمی و جغرافیایی، زمان برداشت اطلاعات توسط ماهواره، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی لندفرم‌ها و سایر عوارض موجود در منطقه می‌تواند سبب تولید نتایج متفاوت گردد. از طرفی، روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش از نظر ساختمان و پیچیدگی الگوریتم با هم متفاوت هستند، به منظور ارزیابی عملکرد و توانمندی روش‌های مذکور، ضرایب کاپا و دقت کلی برای هر یک محاسبه شد.

نتایج بررسی ۴ روش طبقه‌بندی، حاکی از این است که، ضرایب مربوط به دقت نتایج طبقه‌بندی اختلاف قابل توجهی دارند. با توجه به این که طبقات، باندها و سایر شرایط مورد استفاده برای کلیه روش‌ها یکسان بوده است، بنابراین اختلاف موجود در دقت، تنها به الگوریتم‌های محاسباتی روش‌ها بستگی دارد. به عنوان نمونه، روش فاصله ماهالانوبی، ساختمان و الگوریتم ساده‌تر از بقیه روش‌های نامبرده دارد و تنها از پارامتر میانگین کلاس‌ها برای پردازش داده‌ها استفاده می‌کند (Nasiri, 1997).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اولویت دقت روش‌های چهارگانه به ترتیب به روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانوبی و سطوح موازی اختصاص دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال،

وضعیت توزیع کلاس‌ها جدا از نرمال، یا غیرنرمال بودن و یا واریانس زیاد طبقات و همچنین تشابه طیفی کلاس‌ها بیشترین دقت را داشته‌اند، به طوری که ضریب کاپا و دقت کلی بدست آمده در این روش، به ترتیب برابر با ۸۶/۸۵ و ۹۰/۱۳ درصد برآورد شده است. و نشان می‌دهد که روش مذکور نسبت به صادق بودن فرضیات آماری مربوط به توزیع نرمال داده‌ها، حساسیت ندارد (Nasiri, 1997). کمترین ضرایب کاپا و دقت کلی به دست آمده با مقادیر ۲۱/۰۶ و ۴۱/۲۵ درصد مربوط به روش سطوح موازی بوده است. نتایج بیانگر این موضوع است، که ساختمان و الگوریتم مورد استفاده در روش سطوح موازی از کمترین حساسیت (رده نهم) در تفکیک تشابه کیفی طبقات مختلف سنگفرش بیابان را در منطقه مورد نظر دارد و در تحقیقات صورت گرفته نباید به نتایج حاصله از این روش استناد کرد. این نتایج با مطالعات Yousefi و همکاران (۲۰۱۱)، در خصوص مقایسه ی الگوریتم‌های مختلف در تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش‌های طبقه بندی متفاوت، مطابقت دارد. در این مطالعه روش سطوح موازی با ضرایب کاپا و دقت کلی برابر با ۰/۰۴ و ۳۰/۰۲ درصد کمترین دقت، و روش حداکثر احتمال، از بیشترین دقت برخوردار بودند. این نتایج، با مطالعات سایر محققین از جمله: David و همکاران (۲۰۰۲)، De laet و همکاران (۲۰۰۷)، Jia and Richards (۱۹۹۴) و Kadmon and Harari- (۱۹۹۹) Kremer همخوانی دارد.

بررسی منحنی‌های مربوط به ضرایب کاپا و دقت‌های کلی طبقات مختلف حاکی از روند تقریباً منظم و هماهنگی (موازی) در ۴ روش طبقه‌بندی مورد مطالعه است. این هماهنگی نشانگر این واقعیت است، که میزان دقت به دست‌آمده برای طبقات مختلف در روش‌های مختلف طبقه‌بندی متفاوت است و تغییر روش طبقه‌بندی تغییر فاحشی در تفکیک-پذیری نسبی طبقات ایجاد نمی‌کند. به عبارت دیگر، کمترین و بیشترین مقدار دقت در کلیه روش‌های طبقه‌بندی به ترتیب متعلق به طبقات با تفکیک‌پذیری ضعیف و طبقات با تفکیک‌پذیری مناسب می‌باشد. در همه روش‌های طبقه‌بندی (جز فاصله ماهالانویی)، طبقه سنگفرش با تراکم ۷۰-۴۰ درصد، از بیشترین ضرایب کاپا و دقت برخوردار بوده، که این مهم بیانگر قدرت تفکیک طیفی بیشتر روش‌های طبقه‌بندی در تشخیص این طبقه سنگفرش بیابان بوده است. همچنین در کلیه روش‌های مورد بررسی (به جز روش‌های حداقل فاصله از میانگین)، طبقه با تراکم سنگفرش ۴۰-۲۰ درصد از کمترین ضرایب کاپا و دقت برخوردار است، که بیانگر توانایی کم روش‌های مورد بررسی در تفکیک طیفی این طبقه است. براساس نتایج این پژوهش، می‌توان گفت طبقاتی که از نظر طیفی تفکیک‌پذیر هستند، در همه روش‌ها تقریباً دقت بالایی را نشان می‌دهند و بالعکس. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، دیگر روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر شی‌گرا بودن مورد توجه قرار گیرد و استفاده از تصاویر سنجنده‌های با قدرت تفکیک‌پذیری مکانی و طیفی بهتر مد نظر قرار گیرد و همچنین لحاظ کردن خصوصیات همچون قطر ذرات می‌تواند در تهیه نقشه‌های طبقات سنگفرش بیابانی اثر بخش باشد.

فهرست منابع

1. Ahmadpour, A., Soleimani, K., Shokri, M., Ghorbani, J. 2011. Comparison of the effectiveness of three commonly used methods of supervised classification of satellite data in vegetation study. *Journal of the Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences*. 2 (2): 77-89. (in Persian)
2. Akbari Nasab, M., Safarrad, T., Akbarzadeh, M. 2017. Detection of coastlines with satellite image processing technique. *Environmental Erosion Research*, 7 (4) 58-81. (in Persian)
3. Alavi Panah, S.K. 2009. Survey of desertification and Lands Changes in Damghan playa Using Multi-temporal and Multispectral Satellite Data. *Desert journal*. 9 (1): pp. 143. (in Persian)
4. Alavi Panah, S.K. 2000. Evaluation of Landsat TM Satellite Spectral Bands Performance in Iranian Desert Studies, *Iranian Journal of Natural Resources*, 53 (1): 67-78. (in Persian)
5. Alavi Panah, S.K. 2005. Application of Remote Sensing in Earth Sciences. University of Tehran Publications. 268 p. (in Persian)

6. Arekhi, S. 2014. Land use mapping of Abbas plain of Ilam using artificial neural network, support vector machine and maximum likelihood methods. *Range land management Journal*. 2: 30-43. (in Persian)
7. David, P.A., Staid, M.I., Plescia, J.B. Johnson, J.R. 2002. Evaluation of airborne image data for mapping riparian vegetation within the Grand Canyon. Report 02-470. U.S. Geological Survey, Flagstaff, USA.
8. De laet, V., Paulissen, E. Waelkens. M. 2007. Methods for the extraction of archaeological features from very high-resolution Ikonos-2 remote sensing imagery, Hisar (Southwest Turkey). *Journal of Archaeological Science*. 34: 830-841.
9. Fatemi, S.B., Rezaei, Y. 2005. Basics of Remote Sensing. Azade Publications. 296 p. (in Persian)
10. Gohari, Z., Ara, H., Memarian Khalilabad, H. 2019. Comparison of the efficiency of satellite image classification algorithms in detecting sandy areas of Sarakhs plain. *Environmental Erosion Research*, 9 (2): 19-36. (in Persian)
11. Jia, X., Richards. J.A. 1994. Efficient maximum likelihood classification for imaging spectrometer data sets. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 32: 274-281.
12. Kadmon, R., Harari-Kremer, R. 1999. Studying long-term vegetation dynamics using digital processing of historical aerial photographs. *Remote Sensing of Environment*. 68: 164-176.
13. Lillesand, T.M, Kiefer, R.W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Willey & Sons. Inc, United States of America.
14. Lu, D., Mausel, P., Brondi'zio, E., Moran, E. 2004. Change Detection Techniques. *Int. J. Remote Sensing*. 25 (12): 2365-2407.
15. Luo, J., Wei, Y. D. 2009. Modeling spatial variations of urban growth patterns in Chinese cities: the case of Nanjing. *Landscape and Urban Planning*, 91(2), 51-64.
16. Mokhtari, M.H., Najafi, A. 2015. Comparison of Support Vector Machines and Artificial Neural Network Classification Methods in Land Use Extraction from Landsat TM Satellite Images. *Soil and Water Sciences*. 72: 35-45. (in Persian)
17. Nasiri, A. 1997. Evaluation of some Spatial and Spectral Classification Algorithms in land use and plant cover using Remote Sensing Information. Master's Degree in Remote Sensing. Tarbiat Modares University. (in Persian)
18. Neghaban S., Mokarram, M., 2015. Classification of landforms based on topographic position index (TPI) and its relationship with geological features in Hakan watershed (Jahrom city). *Environmental Erosion Research*, 5 (1): 75-89. (in Persian)
19. Niazi, Y., Ekhtesasi, M.R., Malekinejad, H., Hosseini, Z., Morshedi, J. 2010. Comparison of two methods of maximum likelihood classification and artificial neural network in land use map extraction (case Study: Ilam Dam Basin. *Journal of Geography and Development*. 20: 119-132. (in Persian)
20. Nowruzi, A.A., 2016. Evaluation and comparison of the performance of detection methods in identifying wind erosion zones using Landsat 8 images, center and northwest of Khuzestan province. *Environmental Erosion Research*, 6 (2) 89-104. (in Persian)
21. Niazi, Y., Arehki, S., Arzani, H. 2014. Comparison of Different Vegetation Land Use Monitoring Techniques Using RS and GIS (Case Study: Valley city watershed, Ilam Province). *Journal of the Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences*. 5(3): 81-96. (in Persian)
22. Rezaei Moghaddam, M.H., Saghafi, M. 2006. Investigation of Geomorphological Developments of Kahak Playa in South Khorasan Province Using Methods of Satellite Imaging and Fuzzy Logic. *Journal of Geography and Development*. 4 (5): 43-60. (in Persian)
23. Sarmasti, N., Fathi, M.H., Ayase, F., Beigipour Motlagh, F., Sozandeh, F. 2013. Application of desirable factor index technique of Landsat 7 ETM in the evaluation of Kashan salt shells. *Second International Conference on Environmental Hazards*. (in Persian)

24. Shayan, S., Farajzadeh, M., Ahmadabadi, A. 2012. Supervised classification of arid geomorphological landforms using geomorphometric parameters (Case study: Maranjab region). *Remote Sensing and GIS of Iran*. 4 (2): 19-28. (in Persian)
25. Yousefi, S., Tazeh, M., Mirzaei, S., Moradi, H.R., Tavangar, S. 2011. Comparison of Different Algorithms for Classification of Satellite Images in Land Use Mapping (Case Study: Noor County). *Journal of the Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences*. 2 (2): 15-25.

Studying Effectiveness of Landsat ETM⁺ Satellite Images Classification Methods in Identification of desert pavements (Case study: South of Semnan)

Hayedeh Ara*¹: Assistant Professor, Department of Arid Lands Management, Faculty of Desert studies, Semnan University, Semnan, Iran

Mohammad Kia, Kianian: Assistant Professor, Department of Combat Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

Harir Sohrabi: M.Sc. Student, Department of Combat Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

Ali Ahmadabadi: Assistant Professor of Natural Geography, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

Article History (Received: 2020/01/12

Accepted: 2020/08/01)

Extended abstract

1- Introduction

The process of identifying landforms is a subject that has been researched by many researchers. All the definitions of geomorphology emphasize the study and identification of landforms. Understanding landforms and how they are distributed are some sort of essential requirements in applied geomorphology and other environmental sciences (Shayan et al., 2012). On the other hand, remote sensing is a powerful tool for studying different ecosystems of the earth to produce valuable temporal and spatial data (Rezaei Moghaddam and Saghafi, 2006). Arekhi (2014) used ETM+ digital data to map the land use of the Abbas plain. To classify images, artificial neural network, supporting vector machine and maximum likelihood were used. Based on the results, neural network classification method has the highest accuracy of land cover mapping. Also, De laet et al. (2007), by studying the development and stability of desert pebbles in Turkey, concluded that desert pebbles in this area are formed likely (in situ) by mechanical erosion of the surface fragments and minimal Tophonomic effects, in sediment with diameters greater than 2 cm. The purpose of this study is to evaluate the efficiency of Landsat imagery in identifying and classifying desert pavement comprehensively using satellite imagery classification strategies.

2-Methodology

The studied area with an area of 47645/98 ha, in Semnan city is located in 53° 28' to 53° 53' 43° east and 35° 20' to 35° 40' north. ETM+ multispectral satellite data were selected for this study because of spatial, temporal and especially radiometric resolution. The data of this sensor comprises seven spectral bands, obtained from the USGS site. In order to distinguish different types of desert pebbles in terms of cover density using EDRISI Selva and ENVI 4.5 software and ETM+ sensor images of Landsat satellite, 4 methods including supervised classification methods, maximum likelihood, Mahalani distance, minimum distance from mean and Parallel surfaces were used. Each classification method was compared for classification accuracy using overall accuracy coefficients, kappa, user accuracy and producer accuracy.

The error matrix table was also presented for each method. In this matrix, the degree of compatibility of each class with the ground reality is shown, in which the degree of overlap of one class in the other classes can be observed. The error matrix diameter and the percentage of correctly classified classes and other cells show the number of assigned errors (column of each class in the error matrix) and deleted row of each class in the error matrix) (Lillesand et al. 2004, Ahmadpour et al. 2011). Finally, the spatial mapping of each method was plotted in Arc GIS 10.2.

*Corresponding Author: ara338@semnan.ac.ir

3- Results

Supervised Maximum Likelihood (MXL) classification method

According to the results, the mentioned method has less interference than the other classification methods and except for the class with 40-70% pavement density which has 22.41% interference with the class with 70-90% density, the rest of the applications have less than 8% interference. According to the results, desert pavement with 20-40% density had the highest percentage of 56.62%.

Minimum Distance to Average (MinDis) supervised classification method

The overall kappa coefficient for the minimum distance from the mean is 75.54% and the overall accuracy is 81.61%. According to the results, this method has less interference in two classes of 20-40 and 70-90% of desert pavement density than the other two classes. According to the results, desert pavement with a density of 40-70% had the highest percentage of area with 41.88% (9935.79 ha) and the exposed rock with 537.7 ha (1.12%) compose the lowest area in the region.

Mahalani Distance Monitoring Classification Method (MahD)

In this method, there is a high degree of overlap between the classes, with the highest interference being between 40-70% and 70-90% of the desert pavement, which accounts for 25.86% of pixels for the 70-90 class. According to the zoning, the desert pavement with a density of 20-40% with an area percentage of 53.55 have the widest class in this method. Also, the lowest percentage of area with 13.39% (6376.43 ha) of the whole area is related to the rock outcrop.

Supervised Classification Method of Parallel Surfaces

The overall kappa coefficient for this method was 21.06% and the overall accuracy was 41.25%. The estimated coefficients indicate the inefficiency of the model in separating the pavement classes. The lack of recognition and separation of the two rock outcrops and pavement classes with density of 20-40% has increased the area belonging to the two classes of pavement and the mismatch with real conditions and ground reality, so that, with pavement with 70-90% density and the area covers of 34/99,995 ha (73.52%) of the region.

4- Discussion & Conclusions

Given that for optimal use of multispectral data, it is necessary to identify the best band composition. Choosing the best bonding combination is difficult and time consuming visual comparison. Therefore, a technique called Optimal Determination Factor (OIF) can be used to determine the most appropriate band composition to produce the best false color image and to determine the most appropriate bands for digital classification (Alavi Panah, 2000).

The results of applying the optimum index in the present study showed that the best band composition for the detection and separation of the desert pavement in the south of Semnan is a combination of 6-4-3 with the optimum index value equal to 71.45 that are located in visible and infrared thermal band (VNIR +TIR). Climatic and geographical differences, satellite harvest time, physicochemical and biological properties of landforms and other effects in the area can produce different results. On the other hand, the classification methods used in this study differ in terms of the structure and complexity of the algorithm, which were calculated to evaluate the performance of the methods, kappa coefficients and overall accuracy. The classification results show that the coefficients of the classification results accuracy obtained from the used methods are considerable. Since the classes, bands, and other conditions used for all methods are the same, the difference in accuracy depends only on the computational algorithms of the methods. In all the investigated methods (except for the least distance from the mean), the class with desert pavement of 20-40% has the lowest kappa coefficients and accuracy, indicating the low ability of the investigated methods in spectral resolution of this class. In general, spectrally separable classes show pretty high accuracy in all methods, and vice versa. The use of other object-based classification methods as well as better spatial and spectral

resolution sensors images and the incorporation of properties such as particle diameter can be effective in mapping desert pavement classes.

Key Words: Maximum likelihood; Southern Semnan; Desert Pavement; ETM⁺; Supervised Classification.