



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

روش های آبخیزداری
WMRJ.2024.365469.1581/10.42092
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مؤسسه تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی و شناسایی سنگفرش های بیابانی در شهرستان سمنان با استفاده از تصویرهای سنجنده⁺ ETM

حریر سهرابی^۱، هایده آرا^{۲*}، محمدکیا کیانیان^۳، امین صالح پورجم^۴

- ۱ - کارشناس ارشد گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
- ۲ - استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
- ۳ - استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
- ۴ - دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

فرآیند شناسایی شکل‌های زمین موضوعی است، که به‌وسیله بسیاری از پژوهشگران بررسی شده است. تمام تعریف‌های زمین‌ریخت‌شناختی مبتنی بر مطالعه و شناسایی شکل‌های زمین است. شناخت شکل‌های زمین و نحوه پراکنش آنها از نیازهای اساسی علم زمین‌ریخت‌شناختی کاربردی و دیگر علوم محیطی است. در این راستا، فناوری سنجش از دور به‌دلیل تولید تصویرهای ماهواره‌ای با وضوح زیاد فضایی و طیفی، می‌تواند ابزار ارزشمندی برای شناسایی و طبقه‌بندی شکل‌های زمین باشد. سنگ‌فرش بیابان، یکی از مهم‌ترین شکل زمین‌های مناطق خشک و بیابانی است. تهیه نقشه سنگ‌فرش‌ها و انواع آنها، مبنایی برای ارزیابی منطقه از نظر ساختاری و ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناختی فراهم می‌آورد، که در زمینه بسیاری از مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی سودمند است و می‌تواند به‌عنوان الگویی برای مناطق مشابه به‌کار رود. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های سنجنده⁺ ETM و بر اساس معیارهای مدنظر، شناسایی و طبقه‌بندی ویژگی‌های سنگ‌فرش‌های بیابانی شهرستان سمنان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده با مساحت ۴۷۶۴۵/۹۸ هکتار، در شهرستان سمنان است. منطقه دارای مختصات جغرافیایی ۲۸°۵۳' تا ۳۳°۵۲' طول شرقی و ۳۵°۲۰' تا ۳۵°۴۰' عرض شمالی است. هدف این پژوهش بررسی، جداسازی و شناسایی طبقات سنگ‌فرش بیابانی به‌عنوان نوعی از شکل زمین‌های بیابانی با استفاده از روش سنجش از دور و تصویرهای ماهواره‌ای

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ara338@semnan.ac.ir

استناد: سهرابی، ح، آرا، ه، کیانیان، م. ک، صالح پورجم، ا. ۱۴۰۴. بررسی و شناسایی سنگفرش‌های بیابانی در شهرستان سمنان با استفاده از تصویرهای سنجنده⁺ ETM. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۴): ۱۵-۳۳.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.365469.1581

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۵، زمستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۵ تا ۳۳.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

© نویسندگان



لندست ETM^+ در جنوب سمنان بود. از این رو، با بررسی میدانی و نمونه‌برداری از محدوده مطالعه‌شده، درصد تراکم پوشش سنگفرش بیابانی اندازه‌گیری و موقعیت هر نمونه با GPS ثبت شد. برای طبقه‌بندی سنگفرش‌های بیابانی در محیط‌های نرم‌افزار Envi 4.5 و IDRISI Selva، از ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، نقشه زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی و آرت‌مپ فازی استفاده شد. سپس، صحت هر طبقه‌بندی، با استفاده از ضریب‌های صحت کامل، کاپا، صحت کاربر و صحت تولیدکننده با نمونه‌های تعلیمی مقایسه شد. سرانجام، نقشه پهنه‌بندی مکانی هر روش در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 رسم شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، بهترین ترکیب نواری برای تشخیص و جداسازی سنگفرش‌های بیابانی جنوب سمنان، ترکیب باند ۳-۴-۶ عامل شاخص مطلوب ۷۱/۴۵ (OIF) بود، که در نوار مادون قرمز و مرئی میانی (VNIR + TIR) بود. بر اساس ضریب کاپا، روش‌های ماشین بردار پشتیبان (۸۵/۰۵)، آرت‌مپ فازی (۸۱/۴۴)، شبکه عصبی (۵۵/۱۷)، نقشه زاویه طیفی (۵۳/۸۹) و واگرایی اطلاعات طیفی (۵۰/۲۲)، به ترتیب بیشترین توانایی را در جداسازی طیفی طبقات گوناگون سنگفرش بیابان جنوب سمنان داشتند. روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و آرت‌مپ فازی، به ترتیب بیشترین ضریب‌های کاپا برای طبقات را کسب کردند و کمترین ضریب‌های کاپا و صحت کامل نیز، به ترتیب در روش‌های شبکه عصبی، نقشه زاویه طیفی و واگرایی اطلاعات طیفی بود. با توجه به اینکه طبقات، باندها و دیگر شرایط استفاده‌شده برای تمام روش‌ها یکسان بود، از این رو، اختلاف موجود در صحت، فقط به دستورالعمل‌های محاسبه‌ای روش‌ها بستگی داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فناوری سنجش از دور به دلیل تولید تصویرهای ماهواره‌ای با وضوح زیاد فضایی و طیفی، می‌تواند ابزار ارزشمندی برای شناسایی و طبقه‌بندی شکل‌های زمین باشد. تهیه نقشه سنگفرش‌های بیابانی و انواع آنها، مبنایی برای ارزیابی منطقه از نظر ویژگی‌های ساختاری و زمین‌ریخت‌شناختی است، که می‌تواند در زمینه بسیاری از مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی سودمند باشد. از این رو پیشنهاد می‌شود، از دیگر روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر برشی‌گرابودن، روش‌های ترکیبی، فرکانس پوششی، تصویرهای سنجنده‌های با قدرت جداسازی مکانی و طیفی بهتر و لحاظ کردن خصوصیات همچون قطر ذرات استفاده شود، تا در تهیه نقشه‌های طبقات سنگفرش بیابانی اثربخش باشد.

واژگان کلیدی: آرت‌مپ فازی، سنجنده ETM^+ ، سنگفرش بیابان، سمنان، ماشین بردار پشتیبان

مقدمه

سنگریزه است، که از عنصرهای آبرفتی و کوهرفتی تشکیل شده است. قطر عنصرها تا ۱۰ سانتی‌متر هم می‌باشد، باد عنصرهای ریز را با خود حمل می‌کند و عنصرهای درشت را که قادر به حمل آن نیست، بر جای می‌گذارد و مانند یک محافظ، خاک را در برابر فرسایش بادی حفظ می‌کند.

ب: رخساره سنگفرش دانه ریز

این رخساره با عنصرهای ریز که شامل قلوه سنگ، شن درشت و شن ریز است، قابل تشخیص است. البته هرزآب‌ها و رواناب‌های مناطق بیابانی با هر جریان، مواد ریز را رسوب داده و در فصل‌های خشک باد آن را حمل می‌کند (علوی‌پناه ۲۰۰۰). بنابراین در طرح‌های بیابان‌زدایی باید توجه داشت، که این مناطق کمتر دست‌کاری شود.

ج: رخساره منطقه حمل

در برخی مناطق باد مواد همراه خود را که از دشت‌سرها برداشت کرده است، پس از برخورد با مانع (پوشش گیاهی و یا ناهمواری‌های سطح زمین) و گاهی کاهش سرعت بر جای می‌گذارد و دوباره بادها با شدت زیادتر آن مواد را جابه‌جا می‌کنند (کیانیان و همکاران ۲۰۱۴). به این رخساره رخساره

در میان انواع گوناگون زمین‌ریخت‌شناختی بیابان، پوشش سنگفرشی یکی از بارزترین ویژگی‌های بیابان به‌شمار می‌آید. بررسی مقاطع عرضی در این زمین‌ها بیانگر آن است، که در سطح لایه نازکی از مواد فرسایش‌یافته درشت دانه، خرده سنگ زاویه‌دار یا گرد وجود دارد، که معمولاً ضخامت یکسانی هم دارند و در زیر آن، سازند ناهمگن از مواد فرسایش‌یافته با رس، لای، ماسه که گاهی میان لایه‌های گچی و آهکی است (فریمپونگ و همکاران ۲۰۲۳؛ ژنگ و همکاران ۲۰۲۲؛ امینی و همکاران ۲۰۲۲؛ چندلر ۲۰۰۹؛ دب‌دیپ ۲۰۱۳؛ قنبری و همکاران ۲۰۲۳؛ قضاپی و همکاران ۲۰۲۳؛ نیازی و همکاران ۲۰۱۰؛ شایان و همکاران ۲۰۰۶؛ کیانیان و همکاران ۲۰۱۴). در استرالیا به آن دشت ژیر و در کشورهای آفریقای شمالی هامادا و رگ و در ایران دشت ریگی یا سنگفرش بیابان گفته می‌شود. سنگفرش بیابان را بر اساس قطر و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده و به‌طور کلی بر مبنای شکل ظاهری آن به چند رخساره تقسیم می‌کنند:

الف: رخساره سنگفرش دانه درشت

عنصرهای تشکیل‌دهنده این رخساره شامل قلوه سنگ و

در پژوهشی، آرخی (۲۰۱۴) به منظور تهیه نقشه کاربری زمین‌های دشت عباس از داده‌های رقومی سنجنده⁺ ETM و برای طبقه‌بندی تصویر از روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و بیشترین احتمال استفاده کرد. سرانجام، نقشه پوشش زمین‌های منطقه به چهار طبقه زمین‌های کشاورزی، مرتع فقیر، زمین‌های بایر و پهنه‌های ماسه‌ای تقسیم‌بندی شد. نتایج این پژوهشگر نشان داد، روش شبکه عصبی مصنوعی (با صحت کامل ۹۸/۳۷٪ و ضریب کاپای ۰/۹۷) در مقایسه با روش ماشین بردار پشتیبان (با صحت کامل ۹۲/۳۶٪ و ضریب کاپای ۰/۸۷) و بیشترین احتمال (با صحت کامل ۸۱/۴۲٪ و ضریب کاپای ۰/۷۳)، در تهیه نقشه کاربری زمین‌ها عملکرد بهتری داشت. پژوهش نامبرده نشان داد، که می‌توان با روش طبقه‌بندی شبکه عصبی، نقشه پوشش زمین را با صحت زیاد تهیه کرد. فتحی‌زاد و همکاران (۲۰۱۵) برای مقایسه دو روش بیشترین احتمال و فازی به منظور پهنه‌بندی مراتع آبخیز دوبرج دهلران، از تصویر سال ۲۰۰۷ سنجنده⁺ ETM ماهواره لندست استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد، که دستورالعمل شبکه عصبی مصنوعی آرت‌مپ فازی با ضریب ۰/۹۶۱۴ نسبت به دستورالعمل بیشترین احتمال با ضریب ۰/۸۰۵۸، از صحت بیشتری برخوردار بوده است. لیزارازو (۲۰۰۶) برای طبقه‌بندی کاربری زمین‌های منطقه شهری بوگوتا در کلمبیا از روش‌های طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری، شبکه عصبی و بیشترین احتمال استفاده کرد. برای انجام طبقه‌بندی، تصویر Quickbird به کار برده شد و نقشه کاربری با نه طبقه ایجاد شد. صحت طبقه‌بندی کاربری زمین‌ها برای روش‌های درخت تصمیم‌گیری، شبکه عصبی و بیشترین احتمال به ترتیب ۷۴، ۶۵ و ۴۰٪ بدست آمد. احمدپور و همکاران (۱۳۹۰) با هدف مقایسه اندازه‌گیری سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت شده داده‌های ماهواره‌ای (روش حداقل فاصله از میانگین، روش متوازی السطوح و روش بیشترین احتمال) در تشخیص گروه‌های گیاهی منطقه حفاظت شده گلول و سرانی (استان خراسان شمالی) پژوهشی را انجام دادند. نتایج نشان دادند، که در بین روش‌های بکار برده شده، روش بیشترین احتمال بیشترین اندازه دقت را در طبقه‌بندی هر دو گروه داده‌های ماهواره‌ای دارد (۹۰/۳۵، ۸۹/۱۹ OA و ۰/۸۷۸، ۰/۷۷۲ KA) و در مقابل روش متوازی السطوح نیز کمترین اندازه دقت را در طبقه‌بندی گروه‌های گیاهی در منطقه مطالعه شده داشت (۶۷/۰۹، ۷۶/۵۸ OA و ۰/۵۹۳، ۰/۴۷۸ KA). نیازی و همکاران (۲۰۰۹) برای جداسازی واحدهای سنگ‌شناختی، از سه روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان بر روی تصویرهای لندست TM استفاده نمودند. نتایج پژوهش نشان داد، روش ماشین بردار پشتیبان با صحت ۸۳/۴۲٪، بیشترین صحت را نسبت به دو روش دیگر داشته است. دوایود و راو (۱۹۹۲) در پژوهشی به منظور انتخاب

حمل یا ترانزیت گفته می‌شود. در طرح‌های بیابان‌زدایی شناخت مناطق حمل بسیار مهم است. همچنین، در پاره‌ای از مناطق سنگ‌فرش بیابان، که قله سنگ‌های سطحی همگن و حساس به فرسایش و باد سایدگی هستند، شکل‌های مثلثی شکل دیده می‌شود. در مناطقی که بافت لایه‌ای وجود دارد، نیز بر حسب درجه سستی لایه‌ها و سیمان میان ذرات آثار فرسایش تفریقی باد به شکل برون زده‌های نواری و شکل‌های کنگره‌ای در جهت رو به باد دیده می‌شود. این رخساره می‌تواند نشان‌دهنده بادهای فرسایش‌زا و حمل‌کننده ماسه باشد.

د: رخساره جلای بیابان یا ورنی بیابانی

این رخساره نشان‌دهنده قشر لعابی و براقی است که سطح خارجی سنگ‌ها را می‌پوشاند و به نام ورنی یا جلای بیابان موسوم است (فریدی و همکاران ۲۰۲۲). این پوشش سطحی که رنگ آن از قرمز تیره تا سیاه تغییر می‌کند، بیشتر از اکسیدهای آهن و منگنز تشکیل شده است، که در آن مقداری سیلیس نیز وجود دارد. پدیده‌ای که موجب تشکیل این نوع جلای بیابانی می‌شود، افزایش اکسیدهای آهن و منگنز در اثر تأثیر عمل اکسیداسیون، رطوبت و نور خورشید، تحت تأثیر تخیخ شدید است. نتایج بررسی‌های انجام‌شده بیانگر آن است که در شرایط مساعد برای تشکیل ورنی بیابانی ۲۵ سال وقت لازم است (چن و همکاران ۲۰۱۱).

فرایند شناسایی شکل‌های زمین، موضوعی است، که به وسیله پژوهشگران بسیاری بررسی شده است. تمام تعریف‌های زمین‌ریخت‌شناختی مبتنی بر مطالعه و شناسایی شکل‌های زمین است. شناخت شکل‌های زمین و نحوه پراکنش آنها از نیازهای اساسی در علم زمین‌ریخت‌شناختی کاربردی و دیگر علوم محیطی است (شایان ۲۰۰۵). بیش از چند دهه، زمین‌ریخت‌شناخت‌ها از روش کیفی برای توصیف و بررسی شکل زمین استفاده می‌کردند تا اینکه در اوایل دهه ۱۹۶۰، از روش‌های کمی مانند به کارگیری سنجش از دور برای مطالعات شکل‌های زمین استفاده شد. از سوی دیگر، در روش سنتی برای تشخیص چشمی شکل‌های زمین از روی داده‌های سنجش از دور بدون سرعت و دقت لازم وجود یک تفسیرگر متخصص نیز ضروری بود (چنگیز و همکاران ۲۰۰۶؛ دیویس ۲۰۰۲؛ حسین و همکاران ۲۰۲۲). امروزه رویکرد سنتی تفسیر چشمی در شناسایی شکل‌های زمین به دلیل نبودن دقت و نیز وقت‌گیر بودن و وابستگی نتایج به تفسیر تفسیرگر، کارایی و سرعت لازم را ندارد. از این رو، استفاده از روش‌های شناخت خودکار شکل‌های زمین از روی داده‌های سنجش از دور ضروری است. همچنین، سنجش از دور، ابزاری توانا برای مطالعه بوم‌نظام‌های گوناگون زمین برای تولید داده‌های با ارزش و مفید از نظر زمانی و مکانی است (ژنگ و همکاران ۲۰۲۲؛ رضایی‌مقدم ۲۰۰۶؛ فودی ۲۰۰۴؛ آل احمدی و همکاران ۲۰۰۹؛ آدلز برگر و همکاران ۲۰۰۹؛ پاتر ۲۰۱۶؛ فریمپونگ و همکاران ۲۰۲۳؛ امینی و همکاران ۲۰۲۲).

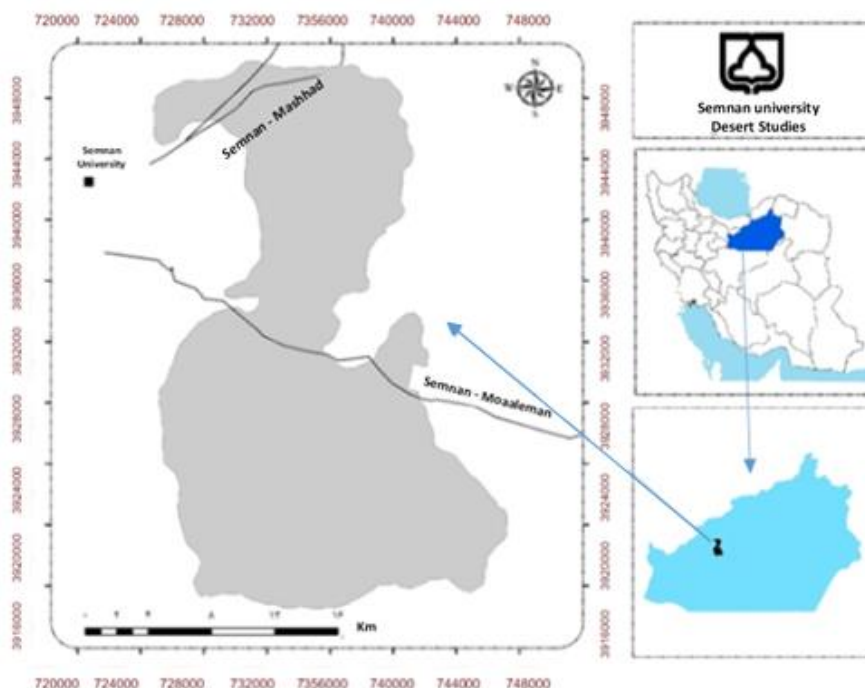
جداسازی و شناسایی با کمک روش‌های جدید (ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، نقشه زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی و آرت‌مپ فازی) در محیط نرم‌افزارهای ENVI 4.5 و IDRISI Selva، شکل می‌گیرد، که به نوعی روش نوین برای شناخت و طبقه‌بندی آنها است.

مواد و روش‌ها منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده با وسعت ۴۷۶۴۵/۹۸ هکتار، در شهرستان سمنان است. منطقه دارای مختصات جغرافیایی ۵۳°۲۸' تا ۵۳°۴۳' طول شرقی و ۳۵°۲۰' تا ۳۵°۴۰' عرض شمالی است. منطقه مطالعه شده از غرب به شهر سمنان و منطقه اعلاء، محدود می‌شود. دانشگاه سمنان در شمال غربی منطقه و بیابان جنوب سمنان در جنوب منطقه است. همچنین، جاده‌های سمنان-جندق و سمنان-دامغان از منطقه مطالعه شده عبور می‌کند. بلندی بیشینه منطقه مطالعه شده، ۱۵۹۸ متر در شمال شرق منطقه و بلندی کمینه در جنوب غربی منطقه ۵۹۸ متر است (شکل ۱). شیب عمومی منطقه از شمال شرق به جنوب غرب است که با منتهی شدن به بیابان جنوب شرق سمنان، از آن کاسته می‌شود. نقشه منطقه مطالعه شده در استان سمنان و ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. دلیل انتخاب این منطقه به عنوان منطقه پژوهشی وجود عرصه‌های سنگ‌فرش بیابانی با درصد گوناگونی از ریگ‌ها بود.

بهترین ترکیب باندی ممکن برای تشخیص خاک‌های متأثر از شوری دشت آبرفتی ایندو جانگتیک، از تصویرهای سنجنده TM ماهواره لندست ۴ بهره گرفتند. نتایج نشان داد، ترکیب باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک با ترکیب ۵-۳-۱، بهترین ترکیب برای منطقه مطالعه شده می‌باشد.

تهیه نقشه سنگ‌فرش‌ها و انواع آنها، مبنایی برای ارزیابی منطقه از نظر ساختاری و ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناختی فراهم می‌آورد، که در زمینه بسیاری از مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی سودمند بوده و می‌تواند به عنوان الگویی برای مناطق مشابه بکار رود. از آنجا که، تاکنون مطالعاتی برای شناسایی سنگ‌فرش بیابانی با استفاده از تصویرهای ETM^+ در شهرستان سمنان انجام نپذیرفته است، در این مطالعه در صدد بکارگرفتن روش مناسب برای طبقه‌بندی این شکل‌های زمین با استفاده از روش فوق‌الذکر در این منطقه می‌باشیم. هدف اصلی این پژوهش، با توجه به اهمیت سنگ‌فرش‌های بیابانی به عنوان پوشش خاک زیرین خود و همچنین بررسی کم آنها در کشور و منطقه مذکور در جنوب سمنان، بررسی کاربرد تصویرهای ماهواره‌ای لندست ETM^+ در زمینه شناسایی و طبقه‌بندی سنگ‌فرش‌های بیابانی است. با استفاده از داده‌های ETM^+ ، می‌توان سنگ‌فرش‌های بیابانی را بر اساس درصد تراکم ذرات جداسازی و شناسایی نمود و به اینکه، کدام بخش از طیف یا باندهای تصویر ETM^+ لندست، برای شناسایی سنگ‌فرش بیابانی مناسب‌تر است؟، دست یافت. این



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه شده در استان سمنان و ایران.

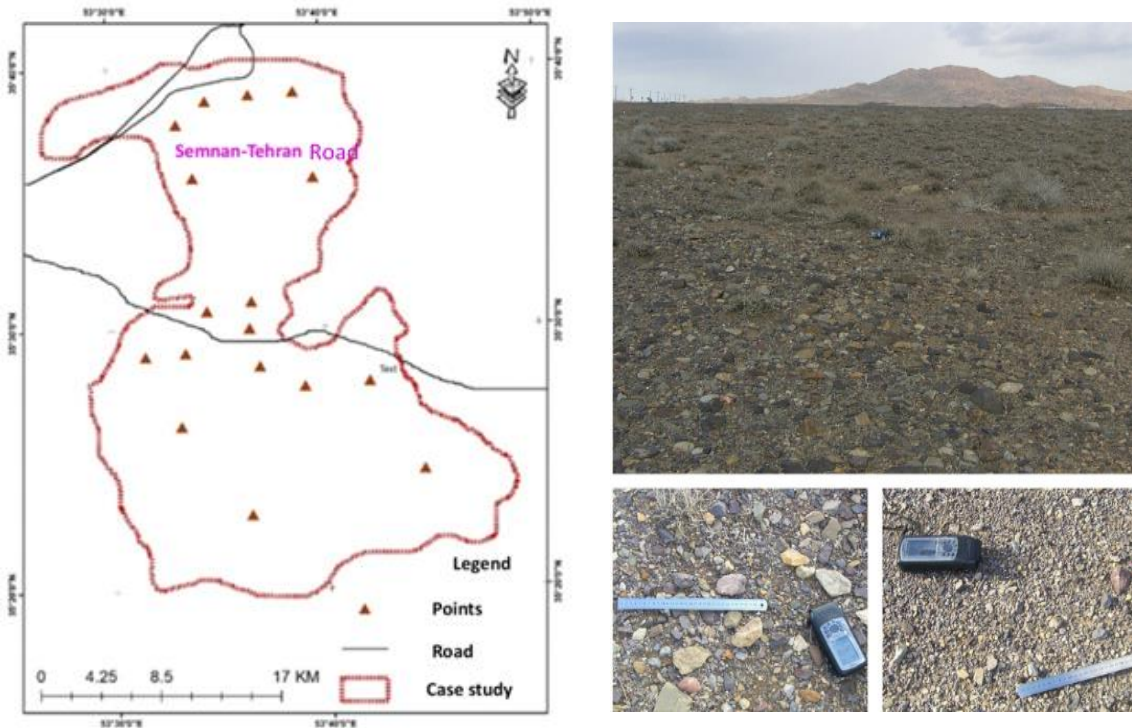
Figure 1- Location of the study area in the Semnan Province and Iran.

کاربری زمین‌ها است. یکی از مزایای این روش "یک در مقابل یک" است. همچنین، می‌توان با این روش همراه با نمونه‌های تعلیمی کوچک تصویر طبقه‌بندی شده را با دقت خوبی تهیه کرد و این مزیت سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت کار می‌شود (جنسن ۲۰۰۵). شبکه عصبی، یکی از روش‌های غیر سنج‌های برای طبقه‌بندی تصویر است و نیازی به فرض بهنجار بودن داده‌ها ندارد (دیکسون و کانداد ۲۰۰۸). با این روش می‌توان توصیف دقیقی از پردازش داده‌های ورودی در خروجی پیشنهاد داد. روش طبقه‌بندی نقشه زاویه طیفی، یکی از روش‌های طبقه‌بندی طیفی تصویرهای ماهواره‌ای است. در این روش، از یک زاویه بدون بعد برای نسبت دادن پیکسل‌های مدنظر به طیف بانندی استفاده می‌شود. زمانی این روش استفاده می‌شود که داده‌ها نسبت به انعکاس و اسنجی شده‌اند و تقریباً در مقابل اثرات نور و الیبدو غیرحساس هستند (کروز و همکاران ۱۹۹۳). روش طبقه‌بندی و اگرایی اطلاعات طیفی یک روش طبقه‌بندی طیفی است، که از اندازه و اگرایی برای تطابق پیکسل‌ها به طیف مدنظر استفاده می‌کند. در این روش هرچه و اگرایی کمتر باشد، احتمال شباهت پیکسل‌ها بیشتر است. همچنین پیکسل‌های با انحراف بیشتر از حداکثر آستانه تعیین شده، طبقه‌بندی نمی‌شوند (دو و همکاران ۲۰۰۴). آرت‌مپ فازی بر پایه نظریه تشدید انطباقی است (کارپنتر و همکاران ۱۹۹۱). هر ساختار آرت‌مپ از دو واحد (ARTa, ARTb) تشکیل شده است که طبقات بازشناختی پایداری را در پاسخ به دنباله‌های دلخواه از الگوهای ورودی ایجاد می‌کند. این دو واحد با یکدیگر با یک واحد میانه به نام ناحیه نگاشت (Fab) پیوند می‌یابند. بنابراین، آرت‌مپ فازی از ساختارهای ART فازی به این ترتیب بهره می‌گیرد. مثلاً عملگر (Ω) با عملگر AND فازی جایگزین می‌شود. از این‌رو، در شرق سمنان با استفاده از بازدیدهای میدانی و دستگاه موقعیت‌یاب جهانی، نمونه‌های تعلیمی یا داده‌های آموزشی برداشت شد. باید توجه داشت که داده‌های آموزشی می‌توانند به‌وسیله بازدیدهای صحرائی، نقشه‌ها و یا عکس‌های هوایی تولید شوند، که از آن‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود (مختاری و نجفی ۲۰۱۵). در این پژوهش، نمونه‌های تعلیمی به دو گروه تقسیم‌بندی شدند که یک گروه برای طبقه‌بندی و گروه دوم، برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شدند (یوسفی و همکاران ۲۰۱۱).

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی ETM^+ به دلیل قدرت جداسازی مکانی، زمانی و به‌ویژه رادیومتری استفاده شد. داده‌های این سنجنده، هفت باند طیفی داشت، که برای منطقه مطالعه شده با ردیف و گذر ۱۶۳ و ۳۵ از پایگاه USGS گرفته شد. در این پژوهش، به‌منظور شناسایی بهتر انواع سنگ‌فرش بیابان، بازدید و مطالعه صحرائی انجام شد و با بهره‌گیری از پلات و خطکش به‌شکل تصادفی و با روش تراکم در سطح، اندازه‌گیری تراکم سنگ‌فرش بیابان در پلات‌هایی به ابعاد ۴۰ در ۴۰ سانتی‌متر انجام شد (شکل ۲). سرانجام، نمونه‌های برداشت شده در سه گروه تراکم ۴۰-۲۰، ۷۰-۴۰ و ۹۰-۷۰٪ بر اساس رخساره‌های دشت سر لخت، آپانداژ و پوشیده گذاشته شدند. به‌منظور تعیین مناسب‌ترین باند در تفسیر و طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌ای، از عاملی به نام عامل شاخص مطلوب (optimum index factor یا OIF) استفاده شد که ترکیب سه باند را به‌ترتیب اندازه اطلاعات درجه‌بندی می‌کند (سرمدی و همکاران ۲۰۱۳ و علوی‌پناه ۲۰۰۰). در این پژوهش برای محاسبه OIF، از انحراف معیار و ضریب همبستگی باندها از رابطه ۱ استفاده شد (جنسن ۲۰۱۱).

$$OIF = \frac{\sum SD}{\sum CC} \quad (1)$$

$\sum SD$: مجموع انحراف معیارهای سه باند ترکیبی، $\sum CC$: مجموع قدر مطلق ضریب همبستگی‌های سه باند است. در این پژوهش، برپایه پژوهش‌های انجام‌شده و به‌منظور بررسی و شناسایی مهم‌ترین طیف یا باندهای تصویر لندست ETM^+ و شناسایی سنگ‌فرش بیابانی، ۵۶ حالت ترکیب بانندی (R-G-B) از تمام باندهای ETM^+ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) در گروه‌های گوناگون در نرم‌افزار ILWIS 3.3 استفاده شد (جدول ۲). باید توجه داشت، که ترتیب باندها در هر ترکیب از RGB در اندازه OIF تأثیری نداشت (قائد و بسواراجا ۲۰۰۸). در این پژوهش، برای تهیه نقشه پهنه‌بندی سنگ‌فرش بیابان از پنج روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، نقشه زاویه طیفی، و اگرایی اطلاعات طیفی و آرت‌مپ فازی استفاده شد. روش ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های جدید برای طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌ای به‌منظور استخراج نقشه



شکل ۲- انواع سنگفرش بیابانی و نقشه نقاط نمونه‌برداری در منطقه مطالعه‌شده.
Figure 2- Types of desert pavement and map of sampling points in the study area.

شاخص‌های ارزیابی صحت محاسبه شد. بعد از طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده بودند، صحت تصویر طبقه‌بندی شده ارزیابی شد. در این پژوهش از معمول‌ترین سنجه‌های برآورد صحت، شامل صحت تولیدکننده، صحت کاربر، صحت کلی و ضریب کاپا (لئو و همکاران ۲۰۰۴) استفاده شد. صحت کامل یکی از شاخص‌های رایج برای برآورد اندازه صحت پردازش تصویر است که در این پژوهش با استفاده از رابطه ۲ و داده‌های موجود در ماتریس خطا به دست آمد. صحت کلی نیز با استفاده از رابطه ۲ از جمع عنصرهای قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها به دست آمد (علوی پناه ۲۰۰۵).

$$OA = 1/n \sum_{i=1}^n pii \quad (2)$$

OA: صحت کلی، N: تعداد پیکسل‌های آزمایشی، $\sum pii$: جمع عنصرهای قطر اصلی ماتریس خطا است.

باید توجه داشت که برای داشتن کمترین اندازه خطا در محاسبات و پردازش تصویرها در منطقه مطالعه‌شده، از نمونه‌های تعلیمی ثابتی برای طبقه‌بندی‌های گوناگون استفاده شد و در نمونه‌های تعلیمی تغییری ایجاد نشد. همین شرایط برای نمونه‌های تعلیمی برای ارزیابی نیز لحاظ شد. پس از انجام اصلاحات تصویرها و با توجه به دستورالعمل‌های مطالعه‌شده، برای هر دستورالعمل با استفاده از نرم افزار ENVI 4.5، با کمک نمونه‌های تعلیمی نقشه پهنه‌بندی سنگفرش بیابان برای منطقه پژوهشی تهیه شد. سرانجام، برای از بین بردن اثر فلفل-نمکی که یکی از اثرات معمول در کار با سامانه‌های با قدرت جداسازی متوسط مانند ماهواره‌ی لندست است (لو و وی ۲۰۰۹)، از فیلتر حداکثر 3×3 استفاده شد. برای ارزیابی صحت نقشه‌های به دست آمده از پردازش تصویرهای ماهواره‌ای، ابتدا ماتریس خطا برای داده‌های واقعی و داده‌های پردازش شده تشکیل شد. به این شکل، که داده‌های واقعی و داده‌های به دست آمده از پردازش تصویرها برای هر طبقه در ماتریس خطا گنجانده شد. سپس،

جدول ۱- فهرست گروه‌های باندی استفاده‌شده (کواد و بساواراجا ۲۰۰۸؛ سرمستی و همکاران ۲۰۱۳).
Table 1- list of gang groups used (Qaid and Basavarajappa 2008; Sarmasti et al. 2013).

No	Band group	Band Group
1	Visible	Visible
2	Visible spectrum, near infrared, mid infrared	VNIR+SWIR
3	Visible bands, near infrared, thermal infrared	VNIR+TIR
4	Mid infrared, thermal infrared, near infrared	SWIR+TIR
5	Visible, near infrared, mid infrared, thermal infrared	VNIR+SWIR+TIR
6	Near infrared, mid infrared, panchromatic	SWIR+Panchromatic
7	Visible spectrum, near infrared, mid infrared, panchromatic	VNIR+SWIR+Pan
8	Visible spectrum, near infrared, panchromatic	VNIR+Pan
9	Near infrared, mid infrared, thermal infrared, panchromatic	SWIR+TIR+Pan
10	Visible spectrum, near infrared, thermal infrared, panchromatic	VNIR+TIR+Pan

مربوط به آن درصدی از پیکسل‌ها است، که در واقعیت زمینی مربوط به طبقه مد نظر است، ولی جزء طبقه‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند. خطای گماشته‌شده و خطای حذف‌شده از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه شد (فاطمی و رضایی ۲۰۰۵).

$$Ce = 1 - UA \quad (۶)$$

$$Oe = 1 - PA \quad (۷)$$

Ce: خطای گماشته‌شده Oe: خطای حذف‌شده است. برای مشخص کردن مساحت و درصد مساحت طبقات سنگ‌فرش بیابانی منطقه مطالعه‌شده با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 نقشه‌های تولیدشده در قالب شکل سلولی TIFF/GEO TIFF با استفاده از ماژول Raster to Polygon به شکل برداری تبدیل شد و مساحت هر طبقه از سنگ‌فرش بیابان محاسبه شد. سرانجام، خروجی مناسب برای نقشه‌های به‌دست آمده در قالب شکل JPEG تهیه شد. مدل اجرایی پژوهش اصلاح شد و تصحیحات رادیومتریک و جوی در بخش پیش‌پردازش حذف شد.

جداسازی و طبقه‌بندی انواع سنگ‌فرش بیابان

به‌منظور جداسازی و تشخیص انواع سنگ‌فرش‌های بیابانی از نظر تراکم پوشش، با کمک نرم‌افزارهای EDRISI Selva و ENVI 4.5 و تصویرهای سنجنده ETM⁺ از ماهواره لندست، از پنج روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، نقشه زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی و آرت‌مپ فازی استفاده شد. با استفاده از ضریب‌های صحت کامل، کاپا، صحت کاربر و صحت تولیدکننده هر روش طبقه‌بندی از نظر صحت طبقه‌بندی مقایسه و بررسی شد. همچنین، برای هر روش، جدول ماتریس خطا تشکیل شد. در این ماتریس، اندازه تطابق هر طبقه طبقه‌بندی‌شده با واقعیت زمینی نمایش داده می‌شود، که در آن می‌توان اندازه اشتباه قرار گرفتن (تداخل) یک طبقه را در طبقات دیگر مشاهده کرد. قطر ماتریس خطا، درصد طبقه‌های درست طبقه‌بندی‌شده است و دیگر سلول‌های آن، اندازه خطاهای گماشته‌شده (ستون

به‌دلیل ایرادات صحت کلی، و از آنجایی که در کارهای اجرایی مقایسه صحت طبقه‌بندی مهم است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود، زیرا، در این شاخص می‌توان پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی‌شده را در نظر گرفت (یوسفی و همکاران ۲۰۱۱). ضریب کاپا، صحت طبقه‌بندی را در مقایسه با یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی (حالتی که یک تصویر کاملاً به‌شکل تصادفی طبقه‌بندی‌شده باشد) را محاسبه می‌کند. این ضریب با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (علوی‌پناه ۲۰۰۹).

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

p0: درستی مشاهده‌شده، pc: توافق قابل انتظار است.

صحت تولیدکننده یعنی احتمال اینکه یک پیکسل در تصویر طبقه‌بندی در همان طبقه در روی زمین باشد، است و صحت کاربر یعنی احتمال اینکه یک طبقه مشخص در روی زمین در همان طبقه روی تصویر طبقه‌بندی‌شده باشد، است. در این پژوهش با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ صحت تولیدکننده و صحت کاربر محاسبه شد.

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

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

PA: دقت طبقه a برای صحت تولیدکننده، ta: تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده به‌عنوان طبقه ga، a: تعداد پیکسل‌های طبقه a در واقعیت زمینی، UA: درصد دقت طبقه a برای صحت کاربر، n1: تعداد پیکسل‌های طبقه a در نتیجه طبقه‌بندی می‌باشند (نیازی و همکاران ۲۰۰۹).

بر اساس دو صحت نامبرده، دو خطای گماشته‌شده و حذف‌شده نیز محاسبه شد. خطای گماشته‌شده که بر اساس صحت کاربر محاسبه می‌شود، معادل درصدی از پیکسل‌ها است، که در حقیقت متعلق به طبقه مد نظر نبوده، ولی طبقه‌بندی‌کننده، آنها را جز آن طبقه خاص در نظر گرفته است. خطای حذف‌شده

جنوب سمنان، بهترین ترکیب باندی به شکل ۳-۴-۶ و اندازه عامل شاخص مطلوب ۷۱/۴۵ بود، که در گروه مادون قرمز میانی یا مرئی (VNIR+TIR) بود. از آنجایی که شاخص OIF نشان‌دهنده اندازه اطلاعات موجود در باندها است و باند مادون قرمز در رتبه‌های اول از شاخص نامبرده به دست آمد (باند نامبرده، انحراف معیار زیاد و کمترین تکرار یا به بیان دیگر "همبستگی کم" با باندهای دیگر داشت). از این رو، شاخص OIF، بیانگر اطلاعات بیشتر در باند مادون قرمز بود و همین شاخص در تشخیص سنگفرش منطقه مطالعه شده مفید بود. از ترکیب باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، حرارتی و پانکروماتیک (VNIR+TIR+Panchromatic)، چهار ترکیب باندی به دست آمد، که بهترین آنها به شکل ۳-۶-۸ و اندازه عامل شاخص مطلوب ۶۹/۷۸ بود و در رتبه ۴ بود.

هر طبقه در ماتریس خطا) و حذف شده (ردیف هر طبقه در ماتریس خطا) را نشان می‌دهد (احمدپور و همکاران ۲۰۱۱). سرانجام، نقشه پهنه‌بندی مکانی هر روش در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 رسم شد.

نتایج

در این پژوهش، به منظور تعیین بهترین عامل شاخص مطلوب در رتبه‌بندی ترکیبات رنگی کاذب، داده‌های ETM⁺ بر پایه پژوهش‌های مشابه از شش باند انعکاسی، یک باند حرارتی و یک باند پانکروماتیک با قدرت‌های مکانی به ترتیب، ۳۰، ۶۰ و ۱۵ متری استفاده شد. نتایج به دست آمده از ۲۹ ترکیب باندی برتر در جدول ۲ نشان داده شده است. بر پایه نتایج این جدول، برای تشخیص و جداسازی سنگفرش بیابان منطقه

جدول ۲- بهترین ترکیب باندی RGB برای عامل شاخص مطلوب.

Table 2- The best optimal RGB band combinations.

NO.	Band group	False band composition	The optimal index is desirable
1	3	3-4-6	71.45
2	3	1-3-6	70.37
3	3	1-4-6	74.37
4	10	3-6-8	69.78
5	10	4-6-8	69.29
6	3	2-4-6	68.94
7	10	168	68.62
8	3	2-3-6	68.41
9	5	1-5-6	67.53
10	10	2-6-8	66.07
11	3	1-2-6	65.71
12	9	5-6-8	65.38
13	9	6-7-8	64.13
14	4	5-6-7	56.81
15	2	1-4-5	51.18
16	2	3-4-5	49.80
17	2	1-3-4	49.20
18	2	1-4-7	48.40
19	7	3-4-8	48.36
20	6	5-7-8	48.31
21	2	2-4-5	48.15
22	2	3-4-7	47.86
23	7	1-4-8	46.61
24	7	1-5-8	45.71
25	7	2-4-8	45.60
26	7	1-3-8	43.65
27	8	1-2-8	42.68
28	7	2-3-8	42.47
29	1	1-2-3	42.23

طبقه برونزدگی سنگی با طبقه ۹۰-۷۰٪ تراکم بود، به طوری که به ترتیب ۲۴/۴۱ و ۷/۳۷٪ از تعداد پیکسل‌ها را طبقه ۹۰-۷۰٪ کسب کرد. در این روش، طبقه با تراکم ۴۰-۲۰٪ کمترین خطای گامشسته شده را کسب کرد و خطای حذف شده آن به ترتیب صفر

روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)

نتایج ماتریس خطای روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین تداخل مشاهده شده در این روش میان طبقه ۷۰-۴۰٪ با طبقه ۹۰-۷۰٪ تراکم و

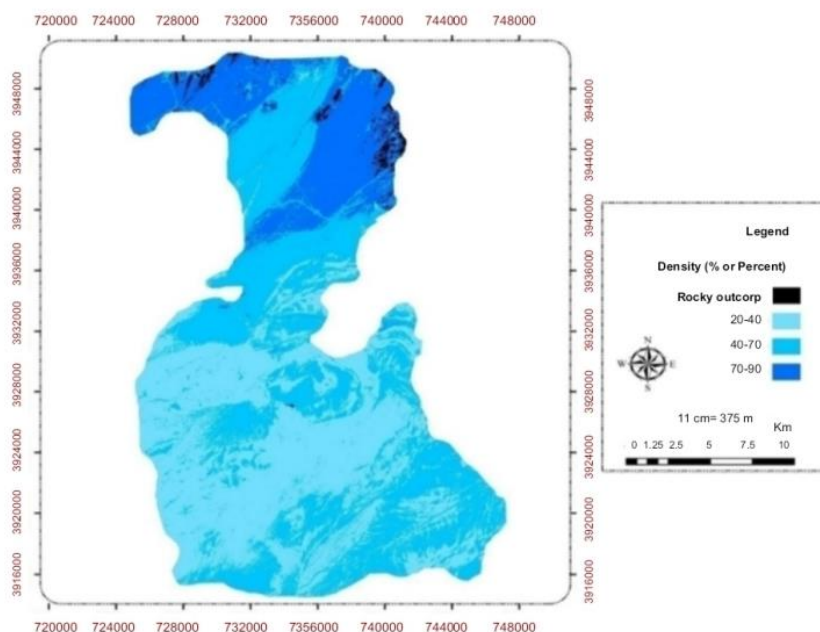
بود (جدول ۳). نقشه پراکنش انواع سنگفرش بیابانی با روش ماشین بردار پشتیبان در شکل ۳ نشان داده شده است.

و ۶/۵۲٪ بود. بیشترین خطای گماشته شده ۲۴/۶۴٪ مربوط به طبقه با تراکم ۷۰-۹۰٪ بود. کاپا و صحت کامل به دست آمده از روش ماشین بردار پشتیبان به ترتیب ۸۵/۰۵ و ۸۸/۷۸

جدول ۳- ضریب های صحت های تولیدکننده، کاربر، کاپا، صحت کامل و مساحت هر طبقه در روش ماشین بردار پشتیبان (SVM).

Table 3- Accuracy coefficients of producer, user, kappa, overall accuracy and area of each class in Support Vector Machine (SVM) method.

Classes	The authenticity of the manufacturer	User validity	Kappa	Overall accuracy	Area (percentage)	Area (hectares)
rocky outcrop	92.73	96.23	82.84	88.55	1.18	564.1
20-40	94.44	100	80.49	86.98	4.86	19449.2
40-70	75.86	88	95.28	96.85	41.57	19789.4
70-90	92.86	75.36	95.99	97.33	16.37	7795.4



شکل ۳- نقشه پراکنش انواع سنگفرش بیابانی بر اساس روش ماشین بردار پشتیبان (SVM).

Figure 3- Distribution map of desert paving types based on Support Vector Machine (SVM) method.

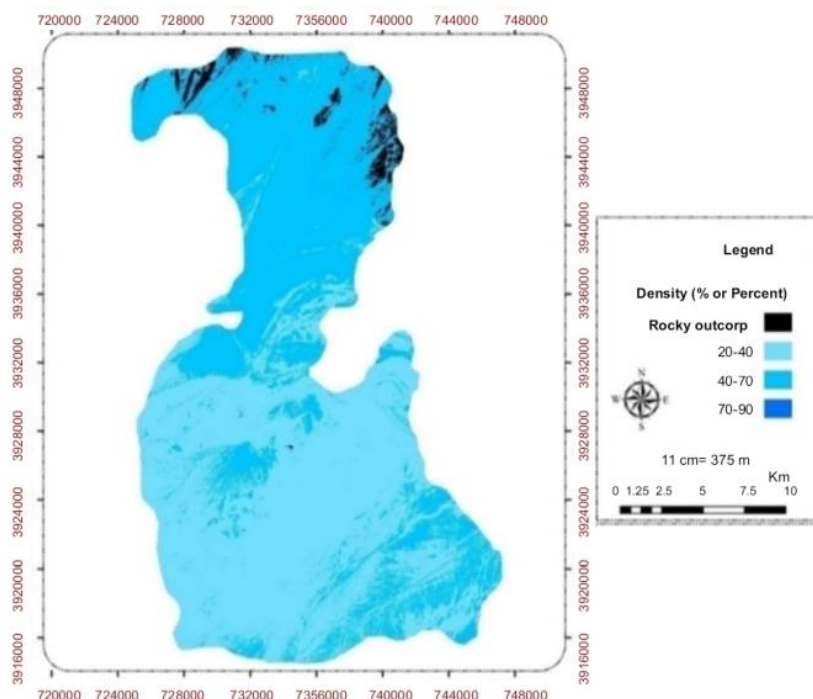
این روش، کمترین خطای گماشته شده مربوط به طبقه با تراکم ۷۰-۹۰٪ با اندازه صفر درصد و کمترین خطای حذف شده با اندازه صفر مربوط به طبقه های برونزدگی سنگی و سنگفرش ۲۰-۴۰٪ بود. بیشترین خطاهای گماشته شده (۵۳/۲۵) و حذف شده (۹۴/۶۴٪) به ترتیب مربوط به طبقه های سنگفرش بیابان با تراکم ۷۰-۹۰٪ و ۴۰-۷۰٪ بود. زیاده بودن اندازه های تداخلها و خطاهای گماشته شده و حذف شده، سبب کاهش ضریب های کاپا و صحت کامل شد، به طوری که، اندازه ضریب های نامبرده به ترتیب ۵۵/۱۷ و ۶۶/۳۶ به دست آمد (جدول ۴). مساحت و درصد مساحت هر طبقه بر اساس روش طبقه بندی نظارت شده شبکه عصبی در جدول ۴ نشان داده شده است. بر این اساس، طبقه سنگفرش بیابان با تراکم

روش شبکه عصبی (NN)

نتایج ماتریس خطای روش طبقه بندی شبکه عصبی در جدول ۶ نشان داده شده است. در این روش، میان دو طبقه برونزدگی سنگی و طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰٪ تداخلی مشاهده نشد، به طوری که ۱۰۰٪ پیکسل ها به درستی در طبقه مربوط به خود طبقه بندی شدند. بیشترین تداخل در طبقه سنگفرش با تراکم ۷۰-۹۰٪ با طبقه سنگفرش ۴۰-۷۰٪ رخ داد، به طوری که، فقط ۵/۳۶٪ از پیکسل ها درست تشخیص داده شدند و ۷۳/۲۱٪ از پیکسل های این طبقه به طبقه ۴۰-۷۰٪ اختصاص یافت. تداخل بعدی میان طبقه سنگفرش ۴۰-۷۰٪ با طبقه ۲۰-۴۰٪ مشاهده شد. در این طبقه، بیش از ۳۰٪ از پیکسل ها در طبقه سنگفرش با تراکم ۲۰-۴۰٪ بودند. در

هکتار) از کل منطقه را کسب کرد. نقشه طبقه‌بندی با روش شبکه عصبی در شکل ۴ نشان داده شده است.

۲۰-۴۰٪ با مساحتی برابر با ۵۲/۹۸٪ (۲۵۲۲۱/۸ هکتار)، وسیع‌ترین طبقه را در این روش کسب کرد. همچنین، طبقه تراکم ۷۰-۹۰٪، کمترین درصد مساحت (۰/۴۶٪) برابر با ۲۲۲/۸



شکل ۴- نقشه پراکنش انواع سنگفرش بیابانی بر اساس روش شبکه عصبی.

Figure 4- Distribution map of desert pavement types based on Neural Network method.

جدول ۴- ضریب‌های صحت‌های تولیدکننده، کاربر، کاپا، صحت کامل و مساحت هر طبقه در روش شبکه عصبی.

Table 4- The accuracy coefficients of producer, user, kappa, overall accuracy and area of each class in the neural network method.

Classes	The authenticity of the manufacturer	User validity	Kappa	Overall accuracy	Area (hectares)	Area (percentage)
rocky outcrop	100	79.71	38.50	60.38	1244.9	2.61
20-40	100	72.97	46.48	63.08	25221.8	52.98
40-70	62.07	46.75	82.96	90.32	20908.4	43.92
70-90	5.36	100	80.32	86.82	222.8	0.46

۷۰-۴۰٪ و ۱۴/۲۹٪ دیگر در طبقه برونزدگی سنگی بودند. طبقه ۷۰-۴۰٪ نیز بیشترین تداخل با طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۷۰-۹۰٪ را کسب کرد، به طوری که ۳۱/۰۳٪ از پیکسل‌ها در این طبقه بودند. کمترین تداخل رخ داده نیز در طبقه با سنگفرش ۲۰-۴۰٪ تراکم بود، که در این شرایط ۹۲/۵۹٪ از پیکسل‌ها به درستی در طبقه خود تشخیص داده شدند. کمترین خطای گمناشته شده نیز مربوط به طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰٪ با اندازه ۹/۰۹٪ بود و بیشترین آن نیز مربوط به طبقه تراکم ۷۰-۴۰٪ با اندازه ۵۳/۲۵٪ بود. بیشترین خطای حذف شده نیز

روش نقشه زاویه طیفی (SAM)

نتایج ماتریس خطای روش طبقه‌بندی نقشه زاویه طیفی در جدول ۵ نشان داده شده است. ضریب کاپای کلی برای روش نامبرده ۵۳/۸۹٪ و صحت کامل ۶۵/۴۷٪ به دست آمد. نتایج نشان داد، که هر چهار طبقه تداخل داشتند، که اندازه تداخل رخ داده در طبقه‌های با تراکم سنگفرش ۷۰-۹۰٪، ۴۰-۷۰٪ بود و طبقه برونزدگی سنگی شدت بیشتری داشت. در طبقه سنگفرش بیابان با تراکم پوشش ۷۰-۹۰٪، فقط ۴۶/۴۳٪ از پیکسل‌ها به درستی در طبقه خود تشخیص داده شدند، در حالی که، ۳۹/۲۹٪ از پیکسل‌ها را در طبقه

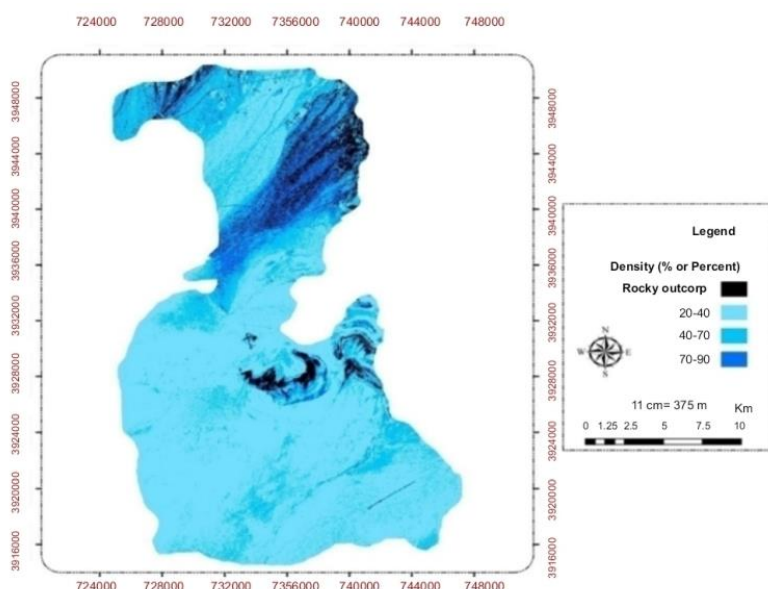
وسعت از منطقه را در بر گرفت. همچنین، طبقه سنگفرش بیابان با اختلاف ۱/۱٪ در مقایسه با طبقه سنگفرش با تراکم ۹۰-۷۰٪ با مساحت ۳۰۶۹/۷ هکتار، کمترین وسعت از منطقه را در بر گرفت (جدول ۵). نقشه پهنه‌بندی با روش نقشه زاویه طیفی در شکل ۵ نشان داده شده است.

۵۳/۵۷٪ برآورد شد، که مربوط به طبقه سنگفرش با تراکم ۹۰-۷۰٪ بود. همچنین، کمترین خطای حذف شده ۷/۴۱٪ بود که مربوط به طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰٪ بود (جدول ۵). بر پایه پهنه‌بندی انجام شده، طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰٪ با اندازه ۲۹۹۴۷/۵ هکتار (۶۲/۹۱٪) بیشترین

جدول ۵- ضریب‌های صحت‌های تولیدکننده، کاربر، کاپا، صحت کامل و مساحت هر طبقه در روش نقشه زاویه طیفی (SAM).

Table 5- The accuracy coefficients of the producer, user, kappa, overall accuracy and area of each class in the Spectral Angle Map (SAM) method.

Classes	The authenticity of the manufacturer	User validity	Kappa	Overall accuracy	Area (hectares)	Area (percentage)
rocky outcrop	61.82	77.27	56.14	70.88	3069.7	6.44
20-40	92.59	90.91	37.66	58.53	29947.5	62.91
40-70	62.07	46.75	82.74	88.70	11085.3	23.28
70-90	46.43	55.32	73.41	82.19	3495.7	7.34



شکل ۵- نقشه پراکنش انواع سنگفرش بیابانی بر اساس روش نقشه زاویه طیفی (SAM).

Figure 5- Distribution map of desert pavement types based on the Spectral Angle Map (SAM) method.

سنگی و باقی‌مانده در طبقه سنگفرش با تراکم ۲۰-۴۰٪ بودند. همچنین، تداخل زیادی در طبقه ۲۰-۴۰٪ در مقایسه با طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۴۰-۷۰٪ مشاهده شد، به طوری که ۴۸/۱۵٪ از پیکسل‌ها در این طبقه بودند. کمترین خطای گم‌شده مربوط به طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰٪ با اندازه ۲۴/۳۳٪ بود و بیشترین آن مربوط به طبقه تراکم ۴۰-۷۰٪ با اندازه ۶۱/۸٪ بود. بیشترین خطای حذف شده نیز ۶۶/۰۷٪ برآورد شد، که مربوط به طبقه سنگفرش با تراکم ۹۰-۷۰٪ بود. همچنین، کمترین خطای حذف شده ۴۱/۳۸٪ بود که مربوط به طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۴۰-۷۰٪ بود (جدول ۷). طبقه سنگفرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰٪ با اندازه ۲۵۳۸۰/۸ هکتار (۵۳/۳۲٪) بیشترین وسعت از منطقه را

روش واگرایی اطلاعات طیفی (SID)

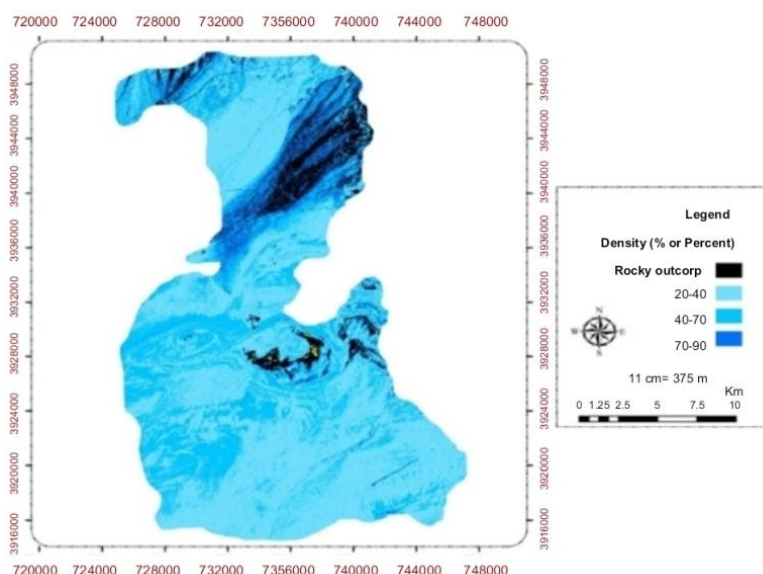
نتایج ماتریس خطای روش طبقه‌بندی واگرایی اطلاعات طیفی در جدول ۱۰ نشان داده شده است. ضریب کاپای کلی برای روش نامبرده ۴۴/۳۳٪ و صحت کامل نیز ۵۰/۲۲٪ به دست آمد، که ضریب‌های برآورد شده بیانگر توانا بودن مدل نامبرده در جداسازی دقیق طبقه‌های سنگفرش بیابان است. نتایج نشان داد، که در هر چهار طبقه تداخل زیادی رخ داد، که اندازه تداخل رخ داده در طبقه سنگفرش با تراکم ۹۰-۷۰٪، شدت بیشتری در مقایسه با دیگر طبقه‌ها داشت، به طوری که، در طبقه نامبرده فقط ۳۳/۹۳٪ از پیکسل‌ها به درستی در طبقه خود تشخیص داده شدند، در حالی که، ۳۲/۱۴٪ از پیکسل‌ها در طبقه ۴۰-۷۰٪ و ۲۸/۵۷٪ از پیکسل‌ها در طبقه برونزدگی

در برگرفت. همچنین، طبقه سنگ‌فرش با تراکم ۷۰-۹۰٪ مساحت ۳۱۶۹/۵ هکتار (۶/۶۵٪)، کمترین وسعت از منطقه را در برگرفت (جدول ۶). نقشه پهنه‌بندی با روش نقشه زاویه طیفی در شکل ۶ نشان‌دهنده شده است.

جدول ۶- ضریب‌های صحت‌های تولیدکننده، کاربر، کاپا، صحت کامل و مساحت هر طبقه با روش واگرایی اطلاعات طیفی.

Table 6- The accuracy coefficients of producer, user, kappa, overall accuracy and area of each class in the Spectral Information Divergence method.

Classes	The authenticity of the manufacturer	User validity	Kappa	Overall accuracy	Area (hectares)	Area (percentage)
rocky outcrop	56.36	62.00	30.65	54.36	3450.5	7.24
20-40	51.85	75.68	20.60	52.50	25380.8	53.32
40-70	58.62	38.20	55.93	70.90	15597.4	32.76
70-90	33.93	40.43	51.38	66.90	3169.5	6.65



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی مکانی انواع سنگ‌فرش بیابانی بر اساس روش واگرایی اطلاعات طیفی (SID).

Figure 6- Spatial zoning map of desert pavement types based on the Spectral Information Divergence (SID) method.

۷۰-۹۰٪ و برعکس طبقه سنگ‌فرش با تراکم ۷۰-۹۰٪ در مقایسه با طبقه برونزدگی سنگی تداخل داشتند. به طور کلی، خطاهای گماشته‌شده و حذف‌شده نیز کمتر از ۱۸٪ به دست آمد. کمترین خطای گماشته‌شده ۲/۷۸٪ مربوط به طبقه سنگ‌فرش بیابان با تراکم ۲۰-۴۰٪ بود و کمترین خطای حذف‌شده نیز مربوط به طبقه سنگ‌فرش با تراکم ۷۰-۴۰٪ با اندازه ۵/۵۶٪ بود (جدول ۷). نتایج پهنه‌بندی مکانی طبقه‌های سنگ‌فرش بیابان بر اساس مساحت و درصد مساحت در جدول ۷ نشان‌دهنده شده است. بر اساس نتایج روش طبقه‌بندی نظارت‌شده آرت‌مپ فازی، طبقه سنگ‌فرش با تراکم ۲۰-۴۰٪ با مساحت ۲۳۶۲۹/۵ هکتار (۴۹/۶۴٪)، بیشترین وسعت را از منطقه را در برگرفت. همچنین، طبقه برونزدگی سنگی با مساحت ۸۷۸/۹ هکتار (۱/۸۴٪)، کمترین وسعت را از منطقه پوشش داد (جدول ۷). نقشه پهنه‌بندی با روش آرت‌مپ فازی در شکل ۷ نشان‌دهنده شده است.

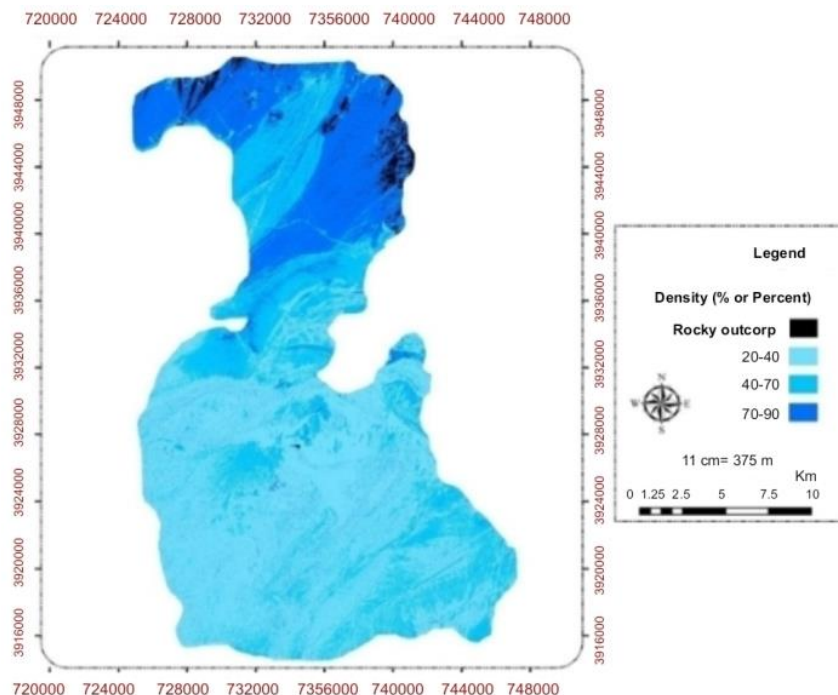
روش طبقه‌بندی نظارت‌شده آرت‌مپ فازی

نتایج ماتریس خطای روش طبقه‌بندی آرت‌مپ فازی در جدول ۱۲ نشان‌دهنده شده است. ضریب کاپای کلی برای روش نامبرده ۸۳/۴۱٪ و صحت کامل نیز ۸۷/۶۷٪ برآورد شد، که ضریب‌های برآوردشده بیانگر توانایی زیاد دستورالعمل‌های محاسبه‌ای مدل نامبرده در جداسازی طیفی طبقه‌های سنگ‌فرش بیابان بود. به طور کلی، در روش نامبرده، کم بودن خطاهای حذف‌شده، بیانگر تداخل کم میان طبقه‌های سنگ‌فرش بیابان است. کمترین تداخل رخ‌داده در طبقه سنگ‌فرش بیابان با تراکم ۷۰-۴۰٪ بود، به طوری که، ۹۴/۲۴٪ از پیکسل‌ها به درستی در طبقه خود شناسایی شدند. بیشترین تداخل نیز در طبقه با تراکم سنگ‌فرش ۲۰-۴۰٪ رخ داد. در این طبقه، ۸۱/۳۹٪ از پیکسل‌ها به درستی در طبقه خود، ۱۱/۶۲٪ از پیکسل‌ها در طبقه سنگ‌فرش با تراکم ۷۰-۹۰٪ و ۶/۹۷٪ از پیکسل‌ها در طبقه با سنگ‌فرش ۷۰-۴۰٪ بودند. در روش نامبرده، طبقه برونزدگی سنگی در مقایسه با طبقه سنگ‌فرش با تراکم

جدول ۷- ضریب‌های صحت‌های تولیدکننده، کاربر، کاپا، صحت کامل و مساحت هر طبقه در روش آرت‌مپ فازی.

Table 7- The accuracy coefficients of producer, user, kappa, overall accuracy and area of each class in Fuzzy Artmap method.

Classes	The authenticity of the manufacturer	User validity	Kappa	Overall accuracy	Area (hectares)	Area (percentage)
rocky outcrop	92.72	85	81.68	84.16	878.9	1.84
20-40	81.39	97.22	82.63	88.93	23729.5	49.64
40-70	94.44	91.89	95.34	97.46	12595.5	26.46
70-90	83.0	81.48	94.67	96.45	10494.1	22.04



شکل ۷- نقشهٔ پهنه‌بندی مکانی انواع سنگ‌فرش بیابانی بر اساس روش آرت‌مپ فازی.

Figure 7- Spatial zoning map of desert pavement types based on fuzzy Art amp method.

حرارتی در مناطق کویری سیاه-کوه و ابرکوه اهمیت داشت، هم‌راستا است که دلایل احتمالی آن می‌تواند به شرایط خاک و اقلیم، داده‌های ماهواره‌ای و منطقهٔ جغرافیایی مربوط باشد. در پژوهش‌های انجام‌شده به‌وسیلهٔ سرمستی (۲۰۱۳)، فریمپونگ و همکاران (۲۰۲۳)، امینی و همکاران (۲۰۲۲) و کواد و بساواراجا (۲۰۰۸)، بهترین ترکیب باندهای مرئی و مادون قرمز حرارتی به‌شکل ۳-۴-۶ به‌دست آمد، که از این دیدگاه با این پژوهش هماهنگی دارد. بدون شک نتایج گوناگون این پژوهش‌ها به‌دلیل اختلافات اقلیمی و جغرافیایی، زمان برداشت اطلاعات به‌وسیلهٔ ماهواره، خصوصیت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی شکل‌های زمین و دیگر عارضه‌های موجود در منطقه است. عامل‌های گوناگونی از جمله سنج‌های جوی، روش‌های استفاده‌شده، نوع تصویرهای ماهواره‌ای، فصل، روز و ساعت دریافت تصویرها، صحت، اندازهٔ خطاها و جنس زمین در نتایج

بحث و نتیجه‌گیری

تشخیص بهترین ترکیب باندی برای استفاده مطلوب از داده‌های چندطیفی، یک ضرورت است. انتخاب بهترین ترکیب باندی با مقایسهٔ چشمی تصویرها، مشکل و وقت‌گیر است. بنابراین، می‌توان با روش رقومی از عاملی به نام عامل شاخص مطلوب (OIF)، برای تعیین مناسب‌ترین ترکیب باندی به‌منظور ایجاد بهترین تصویر رنگی کاذب و تعیین مناسب‌ترین باندها برای طبقه‌بندی رقومی استفاده کرد (علوی‌پناه ۲۰۰۰). در این پژوهش نتایج به‌کارگیری عامل شاخص مطلوب نشان داد، که بهترین ترکیب باندی برای تشخیص و جداسازی سنگ‌فرش بیابان منطقهٔ جنوب سمنان، به‌شکل ترکیب باندی ۳-۴-۶ و با اندازهٔ عامل شاخص مطلوب ۷۱/۴۵ بود، که در گروه مرئی و مادون قرمز حرارتی (VNIR+TIR) بود. این یافته با نتایج پژوهش علوی‌پناه (۱۹۹۸) که گزارش کردند، باند مادون قرمز

بردار پشتیبان و روش آرت‌مپ فازی، طبقه سنگ‌فرش با تراکم ۹۰-۷۰٪، بیشترین خطای گماشته‌شده را کسب کرد. به بیان دیگر، دستورالعمل‌های محاسبه‌ای در روش‌های نامبرده به گونه‌ای بود، که درصد بیشتری از پیکسل‌ها که مربوط به طبقه‌های دیگر مربوط بودند به شکل اشتباه به طبقه سنگ‌فرش با تراکم ۹۰-۷۰٪ اختصاص یافتند. همچنین، روش‌های ماشین بردار پشتیبان و آرت‌مپ فازی، کمترین اندازه‌های خطای حذف‌شده را داشتند. یعنی در مقایسه با دیگر روش‌ها، درصد کمتری از پیکسل‌ها که به یک طبقه مربوط بودند، به طبقه‌های دیگر اختصاص یافتند. در بیشتر روش‌های طبقه‌بندی، بجز روش شبکه عصبی، درصد خطای حذف‌شده غالباً کمتر از ۶۰٪ برآورد شد. به طور کلی، منحنی‌های مربوط به خطاهای گماشته‌شده و حذف‌شده در ۵ روش طبقه‌بندی در منطقه مطالعه‌شده از روند تقریباً هماهنگی (موازی) پیروی کرد، این هماهنگی نشان‌دهنده این واقعیت بود، که اندازه خطای به‌دست آمده برای طبقه‌های گوناگون در انواع روش‌های طبقه‌بندی متفاوت می باشد. همچنین، بر پایه نتایج این پژوهش، باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی، بهترین ترکیب رنگی کاذب را ایجاد کردند و باند مادون قرمز حرارتی نیز در تشخیص سنگ‌فرش بیابان منطقه خشک جنوب سمنان اهمیت زیادی داشت. همچنین، در داده‌های ETM^+ ، درصد تراکم ذرات سنگ‌فرش‌های بیابانی در جداسازی و شناسایی انواع گوناگون آنها مؤثر بود.

سرانجام می‌توان گفت، فناوری سنجش از دور به دلیل تولید تصویرهای ماهواره‌ای با وضوح فضایی و طیفی زیاد، می‌تواند ابزار ارزشمندی برای شناسایی و طبقه‌بندی شکل‌های زمین باشد. تهیه نقشه سنگ‌فرش‌ها و انواع آنها، مبنایی برای ارزیابی منطقه از نظر ساختاری و ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناختی فراهم می‌آورد، که می‌تواند در زمینه بسیاری از مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی سودمند باشد. پیشنهاد می‌شود، از دیگر روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر برشی گرابودن، روش‌های ترکیبی، فرکانس پوششی، تصویرهای سنجنده‌های با قدرت جداسازی مکانی و طیفی بهتر و لحاظ کردن خصوصیات هم‌چون قطر ذرات استفاده شود، تا در تهیه نقشه‌های طبقه‌های سنگ‌فرش بیابانی اثربخش باشد.

تأثیرگذار است. از سوی دیگر، روش‌های طبقه‌بندی استفاده‌شده در این پژوهش از نظر ساختمان و پیچیدگی دستورالعمل با هم متفاوت بودند. از این رو، برای ارزیابی عملکرد و توانمندی روش‌های استفاده‌شده، ضریب‌های کاپا و صحت کامل برای آنها محاسبه شد. ضریب‌های دقت نتایج طبقه‌بندی به‌دست آمده از روش‌های استفاده‌شده، تفاوت‌هایی را نشان داد. با توجه به اینکه طبقه‌ها، باندها و دیگر شرایط استفاده شده برای تمام روش‌ها یکسان بود، بنابراین، در این شرایط اختلاف موجود در صحت، فقط به دستورالعمل‌های محاسبه‌ای روش‌ها بستگی داشت. به بیان دیگر، دستورالعمل محاسبه‌ای در روش‌های نامبرده توانایی زیادی در جداسازی طبقه‌های گوناگون سنگ‌فرش بیابان داشتند. به‌طور کلی، می‌توان گفت طبقه‌هایی که از نظر طیفی جداسازی‌پذیر بودند، در همه روش‌ها تقریباً دقت زیادی را نشان دادند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های نصیری (۱۹۹۷)، کاویانی‌آهنگر و همکاران (۲۰۲۴)، ژنگ و همکاران (۲۰۲۲)، حسین و همکاران (۲۰۲۲) و فریدی و همکاران (۲۰۲۲) هماهنگی دارد. در این پژوهش، بر اساس ضریب‌های کاپا به‌دست آمده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان (۰/۵/۸۵)، آرت‌مپ فازی (۴۴/۸۱)، شبکه عصبی (۱۷/۵۵)، نقشه زاویه طیفی (۸۹/۵۳) و واگرایی اطلاعات طیفی (۲۲/۵۰)، به ترتیب روش‌های نامبرده بیشترین توانایی را در جداسازی طیفی طبقه گوناگون سنگ‌فرش بیابان جنوب سمنان داشتند. روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و آرت‌مپ فازی به ترتیب بیشترین ضریب کاپا را برای طبقه‌ها کسب کردند. کمترین ضریب کاپا و صحت کامل نیز به ترتیب مربوط به روش‌های شبکه عصبی، نقشه زاویه طیفی و واگرایی اطلاعات طیفی بود. این نتایج با یافته‌های بریان و همکاران (۲۰۱۱) و دیکسون و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد، که از میان روش‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و بیشترین احتمال، روش ماشین بردار پشتیبان با صحت کامل ۹۴/۱۵٪، بیشترین دقت را داشت، که بیانگر آن بود که درصد زیادی از پیکسل‌ها، به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین، خطاهای گماشته‌شده در روش‌های آرت‌مپ فازی و ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با دیگر روش‌ها کمتر بود، که بیانگر توانایی زیاد روش‌های نامبرده در طبقه‌بندی پیکسل‌ها در طبقه‌بندی‌های مربوط به خود است. در روش‌های ماشین

فهرست منابع

- Adelsberger K, Smith R, Jennifer R. 2009. Desert pavement development and landscape stability on the Eastern Libyan Plateau, Egypt. *Geomorphology*, 107 (3-4): 178-194. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.12.005>.
- Ahmadpour A, Soleimani K, Shokri M, Ghorbani J. 2011. Comparison of three common methods in supervised classification of satellite data for vegetation studies. *Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science*, 5 (3): 77-89.
- Al-Ahmadi FS, Hames AS. 2009. Comparison of four classification methods to extract land use and land cover from raw satellite images for some remote arid areas, Kingdom of Saudi Arabia. *JKAU, Earth Science*, 20 (1): 167-191. <http://dx.doi.org/10.4197/Ear.20-1.9>.
- Alavipanah SK. 2005. Application of remote sensing in earth sciences, Tehran University, 268 p. (In Persian).
- Alavipanah SK. 2000. Evaluating the performance of Landsat TM satellite spectral bands in studies of Iranian deserts, *Journal of Natural Resources of Iran*, 53 (1): 67-78. (In Persian).
- Amini S, Saber M, Rabiei-Dastjerdi H, Homayouni S. 2022. Urban land use and land cover change analysis using random forest classification of landsat time series. *Remote Sensing*, 14 (11):(1-23). 10.3390/rs14112654.
- Arkhi S. 2014. Comparing accuracy of artificial neural network, Support Vector Machine and maximum likelihood Algorithms for land use classification (Case study: Dashat Abbas arid region, Ilam Province, *Grazing magazine*). 1(2): 30-43. (In Persian).
- Brian WS, Qi C, Michael B. 2011. A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography*, 31(2): 525-532. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.11.007>.
- Cengiz O, Sener E, Yagmurlu F. 2006. A satellite image approach to the study of lineaments, circular structures and regional geology in the Golcuk Crater district and its environs (Isparta, SW Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 27 (2): 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.02.005>.
- Chander G, Markham BL, Helder DL. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5): 893-903.
- Chen J, Zhu X, Vogelmann J. E, Gao F, Jin S. 2011. A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images. *Remote Sensing of Environment*, 115(4): 1053-1064. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.010>.
- Debdip B. 2013. Optimum index factor (OIF) for Landsat data: A case study on Barasat town, west Bengal, INDIA. *International Journal of Remote Sensing and Geoscience (IJRSG)*, 2 (5):10-17.
- Dixon B, Candade N. 2008. Multispectral land use classification using neural networks and support vector machines: one or the other, or both. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4): 1185-1206. <https://doi.org/10.1080/01431160701294661>.
- Fatemi, SB, Rezaei, Y. 2005. Basics of Remote Sensing, Azadeh Publications, 265 p.
- Fathizad H, Fallah Shamsi R, Mahdavi A, Arkhi S. 2015. Comparison of two classification methods of maximum probability and artificial neural network of fuzzy Art map in making Range land cover maps (case study: Range land area of Doviraj area, Dehloran). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 22 (1): 59-72. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2015.13223>.

- Foody GM. 2004. Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70 (5): 627–633. <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.70.5.627>.
- Friedl Mark A, Woodcock Curtis E, Olofsson P, Zhu Z, Loveland T, Stanimirova R, Arevalo P, Bullock E, Hu KT, Frimpong Bernard F, Koranteng A, Atta-Darkwa T, Junior Opoku F, Zawila-Niedzwiecki T. 2023. Land cover changes utilising Landsat Satellite imageries for the Kumasi Metropolis and Its Adjoining Municipalities in Ghana (1986–2022). *Sensors*, 23 (5): 1-20. 10.3390/s23052644.
- Ghanbari A, Feizizadeh B, Ayyed AM. 2023. Evaluation of land use changes with an emphasis on the water scarcity impacts and using remote sensing and GIS (Case study: Babylon Province, Iraq), 3 (7): 120-144. 10.22034/rsgi.2024.57669.1054. (In Persian).
- Ghazaie H, Azizi Z, Aghamohammadi H. 2023. Analysis of satellite plant spectral indices in the detection of health stress in pistachio orchards, *Pistachio Science and Technology*. 7 (13): 21-37. (In Persian).
- Hussain S, Lu L, Mubeen M, Nasim W, Karuppanan S, Fahad Sh, Tariq A, Mousa BG, Mumtaz F, Aslam M. 2022. Spatiotemporal Variation in Land Use Land Cover in the Response to Local Climate Change Using Multispectral Remote Sensing Data. *Land*, 11 (5): 1-19. <https://doi.org/10.3390/land11050595>.
- Jensen JR. 2011. *Introductory digital image processing: a remote sensing prospective*. Prentice-Hall, series in geographic information science, PP: 1-164.
- Kaviani Ahangar S, Mahdavi R, Zehtabian G, Gholami H, Chapagain A K. 2024. Monitoring of vegetation and land use changes process using Landsat data (Case study: Sarvestan Plain). *Applied researches in Geographical Sciences*. 24 (72): 327-340. <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.24.72.327>.
- Kianian M.K. 2014. Studying surface properties of desert pavements and their relation to soil properties and plant growth in Hajaligholi playa, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1):1457–1461. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0738-8>.
- Luo J, Wei YD. 2009. Modeling spatial variations of urban growth patterns in Chinese cities: the case of Nanjing. *Landscape and Urban Planning*, 91(2): 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.010>.
- Mokhtari MH, Najafi A. 2015. Comparison of support vector machine and artificial neural network classification methods in extracting land uses from Landsat TM satellite images, *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, 19 (72): 35-45. (In Persian).
- Nasiri A. 1997. Evaluation of several spatial and spectral classification algorithms in the preparation of land use and land cover maps from remote sensing data, Master's thesis in remote sensing, Tarbiat Modares University. 97 p. (In Persian).
- Niazi Y, Akhsati MR, Malekinejad H, Hosseini Z, Morshedi J. 2010. Comparison of two methods of maximum likelihood classification and artificial neural network in the extraction of land use map, a case study, Ilam Dam Basin, *Journal of Geography and Development*, 8 (20): 119-132. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/gdij.2010.633>.
- Potter Ch. 2016. Mapping changes in desert pavement surfaces of the lower Colorado Desert of southern California using Landsat time series analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 5 (6): 1747-1754. <https://dx.doi.org/doi:10.23953/cloud.ijarsg.57>.
- Qaid Ali M, Basavarajappa HT. 2008. Application of optimum index factor technique to Landsat-7 Data for geological mapping of north east of Hajjah, Yemen. *American-Eurasian Journal of Scientific Research* 3 (1): 84-91. Corpus ID: 55355421.

- Rezaei Moghadam MH, Saghafi M. 2006. The research on the geomorphologic evaluation of Kahak Playa in south Khorasan Province based on using satellite images and fuzzy logic methods, *Journal of Geography and Development*, 4 (8): 43-60. (In Persian).
- Sarmaṣṭi N, Fathi MH, Ayase F, Bigipour Motlaq F, Suzandeh F. 2013. The application of the optimal index factor technique of ETM Landsat 7 data in the evaluation of Kashan salt crusts. The second international conference on environmental hazards. pp. 1-13. (In Persian).
- Shayan S, Malamhar Alizadeh, F, Jannati M. 2006. Remotely sensed data efficiency on landform maps production and its role in environmental planning: A case study of Semnan Province/Iran, *The Journal of Spatial Planning. MJSP*, 9(2): 111-148 (In Persian). <http://hsmssp.modares.ac.ir/article-21-8982-en.html>.
- Yousefi S, Taze M, Mirzaei S, Moradi HR, Tawanger Sh. 2011, Comparison of different classification algorithms of satellite images in the preparation of land use maps (Case study: Noor City). *Journal of Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resource Sciences*. 2(2): 15-25. (In Persian). <http://isj.iup.ir/index.aspx?pid=95744&jid=186>.
- Zhang X, Zhao T, Xu H, Liu W, Wang J, Chen X, Liu L. 2022. GLC-FCS30D: The first global 30-m land-cover dynamic monitoring product with a fine classification system from 1985 to 2022 using dense time-series Landsat imagery and continuous change-detection method. *Earth System Science Data*. 16 (3): 1353–1381. <https://doi.org/10.5194/essd-16-1353-2024>.



Investigation and Identification of Desert Pavements in Semnan Township using Images of the ETM⁺ Sensor

Harir Sohrabi¹, Hayedeh Ara^{2*}, Mohammadkia Kianian³, Amin Salehpour Jam⁴

1- M.Sc. Graduate, Combat Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran

2- Assistant Professor, Arid Land Management Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran

3- Assistant Professor, Combat Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran

4- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

The process of identifying landforms is a subject that has been studied by many researchers. All geomorphological definitions are based on the study and identification of landforms. Understanding landforms and their distribution is a fundamental need of applied geomorphology and other environmental sciences. In this regard, remote sensing technology, due to the production of satellite images with high spatial and spectral resolution, can be a valuable tool for identifying and classifying landforms. Desert pavement is one of the most important landforms in arid and desert regions. Mapping pavements and their types provides a basis for evaluating the region in terms of its structural and geomorphological characteristics, which is useful in many environmental management and planning issues and can be used as a model for similar regions. In this research, using ETM⁺ sensor data and based on the considered criteria, the characteristics of desert pavements in Semnan township were identified and classified.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: ara338@semnan.ac.ir

Citation: Sohrabi, H., Ara, H., Kianian golafshani, M.K., Salehpour jam, J. 2025. Investigation and Identification of Desert Pavements in Semnan Township using Images of the ETM⁺ Sensor. *Watershed Management Research*. 37 (4): 15-33.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.365469.1581

Received: 15 April 2024, **Received in revised form:** 18 May 2024, **Accepted:** 20 June 2024

Published online: 01 January 2025

Watershed Management Research, VOL.37, No.4, Ser. No:145, Winter 2024, pp. 15-33.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



Materials and Methods

The study area, with an area of 47645.98 hectares, is located in Semnan township. The geographical coordinates of the region are 28°53' to 43°53' east longitude and 20°35' to 40°35' north latitude. The aim of this study was to investigate, separate, and identify desert pavement classes as a type of desert landform using remote sensing and Landsat ETM⁺ satellite images in southern Semnan. Therefore, by conducting field surveys and sampling of the study area, the percentage of desert pavement cover density was measured and the location of each sample was recorded with GPS. Support vector machines, neural networks, spectral angle maps, spectral information divergence, and fuzzy artmaps were used to classify desert pavements in Envi 4.5 and IDRISI Selva software environments. Then, the accuracy of each classification of each method was compared with the training samples using the coefficients of complete accuracy, kappa, user accuracy, and producer accuracy. Finally, the spatial zoning map of each method was drawn in the Arc GIS 10.2 software environment.

Results and discussion

In this study, the best band combination for detecting and separating desert pavements in southern Semnan was the 6-4-3 band combination with an optimal index factor of 45.71 (OIF), which was in the mid-infrared and visible bands (VNIR + TIR). Based on the kappa coefficient, the support vector machine (85.05), fuzzy artmap (81.44), neural network (55.17), spectral angle map (53.89), and spectral information divergence (50.22) methods had the highest ability in spectral separation of different classes of desert pavements in southern Semnan, respectively. The support vector machine and fuzzy artmap classification methods obtained the highest kappa coefficients for the classes, respectively, and the lowest kappa coefficients and complete accuracy were obtained in the neural network, spectral angle map, and spectral information divergence methods, respectively. Since the classes, bands, and other conditions used were the same for all methods, the difference in accuracy depended only on the calculation instructions of the methods.

Conclusions and suggestions

Remote sensing technology, due to the production of satellite images with high spatial and spectral resolution, can be a valuable tool for identifying and classifying landforms. Preparing a map of desert pavements and their types is a basis for evaluating the region in terms of structural and geomorphological characteristics, which can be useful in many environmental management and planning issues. Therefore, it is suggested that other classification methods based on shear orientation, combined methods, frequency coverage, images from sensors with better spatial and spectral resolution, and considering characteristics such as particle diameter be used to be effective in preparing maps of desert pavement layers.

Key Words: Desert pavement, Fuzzy Art map, Semnan, Sensor ETM+, Support Vector Machine