نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۴، شماره ۴، ۱۴۰۱، صفحات ۴۹۴-۵۱۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 14, Issue 4, 2023, Pages 494-511
DOI:10.22092/ijwmse.2021.343407.1810

پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس اصلاح شده و روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی، مطالعه موردی: دشت باد قوس سبزوار

محمدعلی زنگنه اسدی[۱]، مهناز ناعمی تبار[۲*] و مختار کرمی[۳]

[۱] دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، [۲] دانشجو دکتری، ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری و [۳] استادیار هیدرو اقلیم، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

چکیده

در حال حاضر بیابان‌زایی به‌عنوان یک معضل، گریبان بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران را گرفته است. این مشکل، نه تنها در نواحی خشک و نیمه‌خشک، بلکه در بخش‌هایی از مناطق نیمه‌مرطوب نیز دیده می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی و پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس اصلاح شده و روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی در دشت باقوس سبزوار است. بدین‌منظور، معیارهای موثر در بیابان‌زایی شامل اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش و نحوه مدیریت انتخاب و میانگین هندسی شاخص‌ها محاسبه شدند. لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌های مربوط به هر یک از معیارها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. این اطلاعات بر اساس روش مدالوس امتیازدهی شده و از میانگین هندسی شاخص‌های هر یک از معیارها، نقشه نهایی وضعیت هر معیار تهیه و از میانگین هندسی معیارها، نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه تهیه شد. نتایج نشان داد، معیارهای پوشش گیاهی، اقلیم و فرسایش بیشتر از سایر عوامل در بیابان‌زایی منطقه موثر بودند و تیپ حساسیت زیاد و بحرانی، با فقر پوشش گیاهی و خشکی اقلیم مطابقت داشته و واحدهای کاری ۱ و ۲ بیشترین مساحت تیپ‌های بیابان‌زایی با شدت زیاد را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، نتایج نشان داد که ۲۱ درصد از منطقه مورد مطالعه، در پهنه حساسیت زیاد، ۲۸ درصد در پهنه حساسیت زیاد و بحرانی، ۱۷ درصد در پهنه حساسیت کم، ۲۸ درصد در پهنه حساسیت کم و بحرانی و شش درصد در پهنه حساسیت ناچیز به فرسایش قرار دارد. ۵۵/۶ درصد از نتایج مدل مدالوس اصلاح شده به‌وسیله روش‌های خوشه‌بندی معنی‌دار به‌دست آمد. با توجه به نقشه توزیع مکانی شدت بیابان‌زایی مستخرج از مدل مذکور می‌توان به‌عنوان ابزاری کمکی در مقابله با بیابان‌زایی استفاده کرد و از تخریب بیش از حد منطقه در آینده جلوگیری به عمل آورد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مناطق خشک و نیمه‌خشک

مقدمه

بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب بر اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسان است که محدودیت‌های بسیاری در کشاورزی، تامین غذا، پرورش دام، توسعه صنعت و هزینه‌های خدماتی ایجاد می‌کند (Shirghir و همکاران،

* مسئول مکاتبات: mahnaznaemi70@gmail.com

۲۰۲۱). کشور ایران در طول سال‌های اخیر، یکی از بیشترین خشکسالی‌ها را تجربه کرده که در ۵۰ سال اخیر کم سابقه بوده است. حدود ۸۰ درصد کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و یک سوم آن مستعد بیابان‌زایی است (Farajzadeh و همکاران، ۲۰۰۷). بعضی مطالعات نشان می‌دهند که شور شدن خاک و منابع آب، آب و هوا، فرسایش بادی، مدیریت نامناسب زمین و تخریب پوشش گیاهی از عوامل مهم بیابان‌زایی در اکوسیستم‌های خشک ایران است (Yaghobi و همکاران، ۲۰۲۰).

بیابان‌زایی بر اثر عوامل طبیعی نظیر متغیرهای اقلیمی و فعالیت‌های انسانی رخ داده است و تاثیر آن بر روی فرایندهای اکولوژیکی بسیار زیاد و پیچیده است، نظیر تاثیر منفی بر روی ویژگی‌های گیاهی (مانند بیومس، تراکم و مساحت اراضی تحت پوشش گیاهی)، کاهش و نقصان تنوع زیستی و باروری خاک، تغییر در الگوهای چشم‌اندازی نواحی خشک در مقیاس‌های مختلف جغرافیایی (Khodaei Gheshlagh و همکاران، ۲۰۲۱). پدیده بیابان‌زایی که از نمودهای تخریب اراضی است، از جمله خطرات طبیعی است که در اثر دخالت بشر در طبیعت و استفاده غلط و بی‌رویه از آن، به سرعت رو به گسترش است (Ownegh و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی وقوع پدیده بیابان‌زایی از سوی محققان مختلف، در نواحی مختلف جهان مورد مطالعه قرار گرفته است.

Farajzadeh و همکاران (۲۰۰۷) به ارزیابی مدل مدالوس در تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی در دشت سگزی اصفهان پرداخته و به این نتیجه رسیدند که عامل اقلیم نقش مهمی در بیابان‌زایی دارد. Shariyary و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی تخریب سرزمین را در منطقه نیاتک سیستان با تاکید بر فرسایش بادی و با مدل مدالوس برآورد کردند. نتایج نشان داد که تخریب فراتر از حد معیار و شامل طبقه‌های متوسط، زیاد و شدید بوده است. طبقه متوسط، زیاد و خیلی زیاد به‌ترتیب ۵۹/۳، ۳۱/۲ و ۹/۵ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود. Honardoust و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور ارزیابی شدت و خسارت بیابان‌زایی در بخش شمالی دشت گرگان، از مدل مدالوس اصلاح شده استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۵۲/۴۸، ۴۴/۲۷ و ۲/۷۹ درصد از منطقه در حد متوسط و کمی تحت تاثیر بیابان‌زایی است و شاخص خاک و ماندابی شدن مهمترین عوامل موثر بر روند بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه به شمار رفته است. Abbasi و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی کمی وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس و سامانه اطلاعات جغرافیایی در دشت شمیل در استان هرمزگان به این نتیجه رسیدند که معیار اقلیم بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه داشته است.

Zehtabian و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی بیابان‌زایی در حوضه حبله‌رود با مدل مدالوس پرداختند. ۴/۱۶ درصد از منطقه در طبقه بیابان‌زایی با شدت کم تخریب منابع خاک بود و اختلاف معنی‌داری بین شاخص‌ها در سطح ۰/۰۵ نبود. تنها اختلاف معنی‌دار در درصد سنگریزه خاک سطحی و در تراز ۰/۰۱ بود. Kazeminia و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی شدت بیابان‌زایی با مدل مدالوس در زمین‌های غرب اهواز نشان دادند که ۱۱ درصد از منطقه در طبقه کم، ۳۰ درصد در طبقه متوسط، ۲۵ درصد در طبقه زیاد و ۲۹ درصد در طبقه خیلی زیاد بوده است. معیار اقلیم با مقدار شاخص ۲/۶ بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته است. علت آن وزش بادهای شدید و افزایش تعداد روزهای طوفانی و گرد و غباری دانسته شد.

Yaghmaeian Mahabadi و همکاران (۲۰۱۷) به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر تخریب اراضی با استفاده از مدل مدالوس در حوضه سیاهپوش استان اردبیل پرداخته و به این نتایج دست یافتند که معیارهای اقلیم و مدیریت بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است. در مقابل، معیارهای خاک و پوشش گیاهی با کسب کمترین وزن (۱/۳۷۱ و ۱/۳۷۸) کمترین تاثیر را در بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند. Arab Ameri و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی برای ارزیابی کمی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس اصلاح شده به این

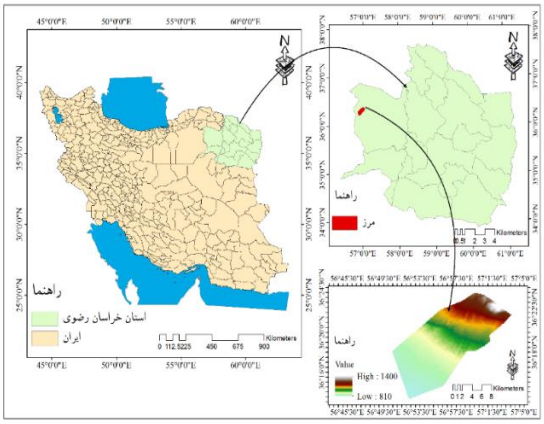
نتیجه رسیدند که معیارهای اقلیم و فرسایش با متوسط وزنی ۱/۶۰۷ و ۱/۴۶۷ بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته‌اند. از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان به تحقیقات Turan (۲۰۲۱)، Jokar و همکاران (۲۰۲۱)، Bo ali و همکاران (۲۰۲۰)، Bedoui (۲۰۲۰)، Abd El Hameed و همکاران (۲۰۲۰) و Morianou و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد.

در پژوهش حاضر، برای بررسی شدت بیابان‌زایی از مدل مدالوس اصلاح شده و روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شده است. مدل مدالوس از روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی چند عامله است که در بیشتر کشورهای حاشیه دریای مدیترانه و خاورمیانه اجرا شده و نتایج مثبتی به دنبال داشته است. بنابراین، به‌دلیل سازگار بودن این مدل با شرایط بیابانی منطقه، استفاده از قابلیت GIS و سنجش از دور در تعیین نقشه‌ها و امکان تجزیه و تحلیل آن‌ها و تعیین مناطق بحرانی و غیربحرانی در گسترش بیابان‌زایی از این مدل استفاده شد. در این پژوهش، از مدل مدالوس اصلاح شده با توجه به‌کارایی بالای آن و همچنین، سازگاری آن با شاخص‌های موثر در تخریب اراضی برای ارزیابی کمی خطر بیابان‌زایی استفاده شده است. هدف از پژوهش حاضر نیز بررسی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل نام برده و تهیه نقشه حساسیت به بیابان‌زایی در دشت باد قوس سبزوار است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه باد قوس سبزوار به وسعت ۱۵۰ کیلومتر مربع در بخش غربی شهرستان سبزوار واقع شده است. این منطقه از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده طول‌های "۳۰ '۵۷ °۵۶ الی "۲۰ '۵۹ °۵۶ شرقی و عرض‌های "۰۰ '۱۶ °۳۶ الی "۳۰ '۲۰ °۳۶ شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه از شمال به روستای بیزه و کوه‌گر، از شرق به دامنه‌های دشتی روستای کمیز و راه آسفالته سبزوار به شاهرود، از غرب به شهر داورزن و از جنوب به قلعه خرابه باد قوس و آب انبار حاجی میر قیسی منتهی شده است (شکل ۱).

بارش متوسط منطقه ۱۵۷/۶ میلی‌متر است. مطالعات درجه حرارت منطقه نشانگر این است که دمای متوسط سالانه منطقه ۳۱/۳ سانتی‌گراد و دمای کمینه مطلق منطقه به ۱۲/۵- درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه مطلق منطقه ۴۸/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. در جدول ۱، شاخص آمبرژه و نوع اقلیم در محدوده مطالعاتی تعیین شده که خشک سرد است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

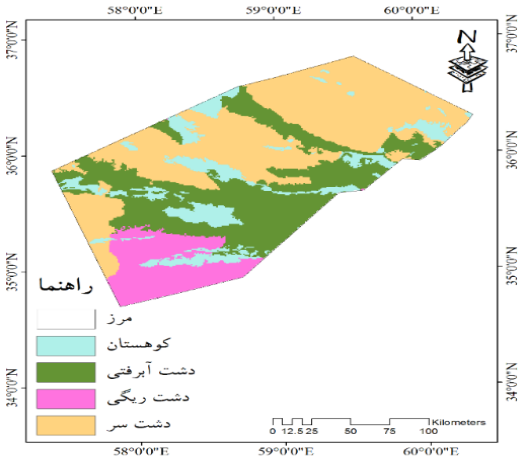
جدول ۱- اقلیم منطقه مورد مطالعه در اقلیم‌نمای آمبرژه

نوع اقلیم	شاخص آمبرژه	میانگین بیشینه دمای گرم‌ترین ماه سال (درجه کلوین)	میانگین کمینه دمای سردترین ماه سال (درجه کلوین)	بارندگی (میلی‌متر)
خشک سرد	۱۲/۹	۳۱۲/۶	۲۷۰/۹	۱۵۷/۶

مدل مدالوس اصلاح شده به‌وسیله کمیسیون اروپا در سال ۱۹۹۹ تحت عنوان حساسیت محیطی مناطق به بیابان‌زایی ارائه شد. این مدل با هدف انجام دادن بررسی های پایه‌ای در تخریب اراضی (از بین رفتن خصوصیات فیزیکی خاک از طریق فرسایش آبی) کشورهای مدیترانه ای در سال ۱۹۹۰ به‌وسیله کمیسیون اروپا پیشنهاد شد. در روش مدالوس اصلی به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت محیطی مناطق به بیابان‌زایی از ۱۵ شاخص در قالب چهار معیار کیفیت اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و مدیریت استفاده می‌شود (Arab Ameri و همکاران، ۲۰۱۹).

قابل ذکر است که این معیارها با توجه به شرایط محیطی منطقه تعریف شده‌اند و برای استفاده از این مدل می‌بایست، معیارهای کلیدی و مناسب برای منطقه مورد نظر تعریف شود. در این روش، پنج معیار ارزیابی شده است که عبارتند از کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی، کیفیت فرسایش و کیفیت مدیریت. هر کدام از معیارها شاخص‌هایی دارند. وزن هر معیار، بعد از وزن‌دهی به شاخص‌ها، بر اساس جداول مربوط، از میانگین هندسی به‌دست می‌آید. بر این اساس، وزن واحدهای مختلف منطقه، بین ۱ تا ۲ خواهد بود، به‌طوری که ارزش ۱ بهترین و ارزش ۲ بدترین وزن است. بخشی از اطلاعات با استفاده از بررسی منابع و استناد به مطالعات سایر محققین، نظرات کارشناسی و عملیات صحرایی استخراج و اطلاعات محاسبه شده وارد محیط GIS شده است و بر اساس الگوریتم‌های تعریف شده برای محاسبه شاخص‌ها و با به‌کارگیری میانگین هندسی، لایه‌های رستری مربوط به هر شاخص تهیه و با هم تلفیق شدند. سپس، لایه‌ها در هم ضرب شده و به توان رسیده است. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش و بیابان‌زایی تهیه شد. نخستین اقدام برای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی، تعیین واحدهای کاری است. منظور از واحد کاری بخش یا واحدی از منطقه مطالعاتی است که ویژگی‌های یکسان ژئومورفولوژی دارد. به همین دلیل، بر اساس واحدها و رخساره‌های ژئومورفولوژی، واحد کاری در منطقه تعیین شدند.

در این پژوهش، برای بررسی برخی معیارهای مورد بررسی مدل مدالوس، واحدهای کاری با به‌کارگیری نقشه شیب و لندفرم‌ها تعیین شد که بعد از تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه در محیط GIS، رخساره‌های ژئومورفولوژی به‌عنوان واحدهای کاری منطقه مورد نظر قرار گرفت (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه واحدهای کاری

بر این اساس، برای منطقه مورد مطالعه چهار واحد کاری شامل دشت آبرفتی (واحد کاری ۱)، دشت سر (Pediment) (پنه پلین، واحد کاری ۲)، دشت ریگی (واحد کاری ۳) و کوهستان (واحد کاری ۴) در نظر گرفته شده است (جدول ۲).

جدول ۲- شاخص‌های استفاده شده در مدل مدالوس برای پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی

معیار	شاخص
کیفیت خاک	بافت خاک، زهکشی، شیب به درجه، عمق خاک به سانتی‌متر و سنگ‌ریزه سطحی
کیفیت اقلیم	شاخص خشکی بگنولد-گوسن، بارندگی سالیانه و جهت شیب
کیفیت پوشش گیاهی	درصد پوشش، مقاومت به خشکسالی، حفاظت خاک در برابر فرسایش، خطر آتش‌سوزی
کیفیت مدیریت اراضی	شدت کاربری اراضی و سیاست‌های اجرایی

در پژوهش حاضر، بعضی از شاخص‌ها بر اساس شرایط منطقه اصلاح شده است. برای بررسی عوامل بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس اصلاح شده از پنج معیار خاک (شاخص‌های بافت، عمق خاک، شیب، مواد اولیه و درصد سنگ‌ریزه)، اقلیم (بارندگی و ضریب خشکی)، پوشش گیاهی (درصد پوشش گیاهی و میزان مقاومت در برابر فرسایش)، فرسایش (فرسایش آبی و

بادی) و مدیریت (سیاست‌های اجرایی و شدت کاربری اراضی) استفاده شده است (جدول ۳).

شاخص‌های هر کدام از معیارها طبق چارچوب اصلی مدل مدالوس وزن‌دهی شدند و بر اساس میانگین هندسی به‌کار برده شده در مدل رابطه (۱) ترکیب و هم‌پوشانی (محاسبه معیارها در هر کدام از واحدهای کاری) شده است (جدول ۴).

$$Index\ x\ \{\frac{\{(Layer\text{-}1).(Layer\text{-}2\}1/n}{(Layer\text{-}n)}\} \quad (۱)$$

که در آن، *Index-x* معیار مورد نظر، *Layer* شاخص‌های هر معیار و *n* تعداد شاخص‌های هر معیار است. برای بررسی معیار خاک نمونه‌هایی از افق خاک سطحی (از عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر) در سطح منطقه برداشت شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک، شیب، مواد مادری تشکیل دهنده خاک، درصد پوشش سنگ‌ریزه، مواد آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک مشخص شدند.

جدول ۳- معیارهای استفاده شده در مدل اصلاح شده مدالوس برای پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه

معیار	شاخص
خاک	بافت خاک، عمق، شیب، مواد اولیه، درصد سنگ‌ریزه
اقلیم	بارندگی و ضریب خشکی
پوشش گیاهی	درصد پوشش گیاهی و میزان مقاومت در برابر فرسایش
مدیریت	شدت کاربری اراضی و سیاست‌های اجرایی
فرسایش	فرسایش آبی و فرسایش بادی

جدول ۴- طبقه‌بندی و وزن‌دهی معیارهای بیابان‌زایی به روش مدل مدالوس اصلاح شده (Kosmas، ۱۹۹۰)

معیار	طبقه	توضیح	دامنه
خاک	۱	کیفیت بالا	۱/۲- ۱/۰۳
	۲	کیفیت متوسط	۱/۵- ۱/۲
	۳	کیفیت پایین	۱/۵- ۱/۷
اقلیم	۱	نیمه‌مرطوب	۱
	۲	نیمه‌خشک	۱/۴- ۱
	۳	خشک	۲- ۱/۴
پوشش گیاهی	۲	کیفیت بالا	۱
	۳	کیفیت متوسط	۱/۷- ۱
	۱	کیفیت پایین	>۱/۷
فرسایش	۲	کیفیت متوسط	۱/۴- ۱
	۳	کیفیت پایین	۲- ۱/۴
مدیریت	۱	خوب	۱/۳- ۱
	۲	متوسط	۱/۵- ۱/۳
	۳	ضعیف	۱/۸- ۱/۵

اطلاعات مورد نیاز معیار نقشه پوشش گیاهی از شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) استخراج شده از تصویر ماهواره لندست سنجنده ETM^+ سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۰ استفاده شد. درصد پوشش گیاهی با استفاده از چند نوار (ترانسکت ۱۰۰ متری) در هر واحد کاری اندازه‌گیری شدند. سپس، میانگین درصد پوشش ترانسکت‌ها به‌عنوان درصد پوشش کل در هر واحد کاری محاسبه شدند. شاخص NDVI یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای ارزیابی پوشش گیاهی است که از طریق نسبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمزِ نزدیک بر روی تصویر میزان پوشش گیاهی منطقه را به‌دست می‌دهد (رابطه ۲).

$$NDVI=\frac{band4-band3}{band4+band3} \quad (۲)$$

جدول ۴- طبقه‌بندی و وزن‌دهی معیارهای بیابان‌زایی به روش مدل مدالوس اصلاح شده (Kosmas، ۱۹۹۰)

معیار	طبقه	توضیح	دامنه
خاک	۱	کیفیت بالا	۱/۲- ۱/۰۳
	۲	کیفیت متوسط	۱/۵- ۱/۲
	۳	کیفیت پایین	۱/۵- ۱/۷
اقلیم	۱	نیمه‌مرطوب	۱
	۲	نیمه‌خشک	۱/۴- ۱
	۳	خشک	۲- ۱/۴
پوشش گیاهی	۲	کیفیت بالا	۱
	۳	کیفیت متوسط	۱/۷- ۱
	۱	کیفیت پایین	>۱/۷
فرسایش	۲	کیفیت متوسط	۱/۴- ۱
	۳	کیفیت پایین	۲- ۱/۴
مدیریت	۱	خوب	۱/۳- ۱
	۲	متوسط	۱/۵- ۱/۳
	۳	ضعیف	۱/۸- ۱/۵

برای به‌دست آوردن شاخص کیفیت اقلیم از میانگین داده‌های بارندگی در بازه زمانی ۳۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی سبزوار و مزینان استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۵ آورده شده است.

شاخص خشکی با روش دومارتن محاسبه و همراه با معیار بارندگی طبقه‌بندی و وزن‌دهی شدند و لایه رستری آن در محیط GIS تهیه شد.

جدول ۵- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		فاصله از حوضه (km)
				دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	
۱	سبزوار	سینوپتیک	۹۷۷/۶	۴۳	۵۷	۳۲	۳۶	۷۵
۲	مزینان	تبخیرسنجی	۸۲۰	۴۸	۵۶	۱۹	۳۶	۱۰

فرایند فرسایشی از دو شاخص فرسایش بادی و آبی تعیین می‌شود. فرسایش بادی از طریق روش کیفی سازمان مدیریت اراضی آمریکا (B.L.M) و برای تعیین فرسایش آبی، روش پسیاک به‌کار گرفته شده است. روش B.L.M به‌وسیله دفتر مدیریت اراضی آمریکا ابداع شده است. معیارهای این مدل شامل تیپ فرسایش، عامل فرسایش سطحی، عامل وجود لاشبرگ سطحی، عامل پوشش سنگی سطح زمین، عامل آثار تخریب در سطح زمین، عامل وجود فرسایش شیاری، عامل آثار رسوب گذاری، عامل وجود فرسایش خندقی است (Nojavan، ۲۰۱۲).

روش پسیاک برای اولین بار در سال ۱۹۶۸ میلادی به‌وسیله شرکت عمران و منابع آب آمریکا برای بررسی وضعیت فرسایش و براورد رسوب در حوضه‌های بدون آمار در مناطق نیمه‌خشک ایالت غربی این کشور ارائه شده است. نه عامل زمین‌شناسی سطحی، خاک‌شناسی، آب و هوا، رواناب سطحی، شیب، پوشش، کاربری، فرسایش اراضی و خندق محاسبه می‌شود (Ahmadi،

۲۰۰۸). معیار مدیریت تاثیر فعالیت‌های انسانی را بر بیابان‌زایی بررسی می‌کند و بر پایه دو شاخص سیاست‌های اجرایی و شدت کاربری اراضی در منطقه انجام می‌گیرد. اراضی بر پایه چگونگی به‌کارگیری آن‌ها تقسیم‌بندی می‌شود. عملیات مدیریتی بر اساس میزان درصد موفقیت طرح‌های اجرایی منابع طبیعی و نظر کارشناسی در واحدهای کاری، ارزیابی و وزن‌دهی شده است.

روش وارد: این روش در سال ۱۹۶۳ برای خوشه‌بندی داده‌ها ارائه شده است که یکی از روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی است. در این روش، هر بردار به‌صورت خوشه جداگانه‌ای در نظر گرفته می‌شود. سپس، در هر گام دو شی با هم ادغام می‌شوند. این کار آن‌قدر تکرار می‌شود تا در پایان کار خوشه یکتایی شکل گیرد. در این روش، در هر گام همه ترکیب‌های دو تایی ممکن ادغام دیده می‌شود و شاخصی به‌نام مجموعه مربعات خطا (sse) محاسبه می‌شود. هر ترکیبی که خطای کمتری داشته باشد، برگزیده می‌شود و بر پایه آن ادغام انجام می‌پذیرد. روشن است که هر بار مقدار کمترین خطا افزایش می‌یابد. این کار آن‌قدر تکرار می‌شود تا همه بردار با هم ادغام شوند و خوشه یکتایی به‌وجود آید. گاهی از این روش با نام روش کمترین واریانس یاد می‌شود (Ward، ۱۹۶۳).

روش K-means: از کاربردی‌ترین روش‌های خوشه‌بندی داده‌هاست. این روش، نخستین‌بار به‌وسیله Macqueen (۱۹۶۷) ارائه شد. تعداد خوشه‌ها در این روش ثابت و از پیش تعیین شده است. این روش، بر اساس کمینه کردن مربعات خطا یا واریانس درون گروهی که معادل با بیشینه کردن واریانس بین خوشه‌هاست، بنا نهاده شده است. بنابراین، هدف کلی این الگوریتم به‌دست آوردن قسمت‌هایی است که با تعداد ثابت خوشه‌ها به‌طور کلی مربع خطاها را کمینه کند. با توجه به k خوشه اولیه از طریق تخصیص داده‌های باقی‌مانده به نزدیک‌ترین مرکز و پس از آن بارها تغییر عضویت در خوشه‌ها بر اساس تابع خطا صورت می‌گیرد تا زمانی که تابع خطا به‌طور معنی‌داری تغییر نکند یا اعضای خوشه‌ها تغییرات زیادی نداشته باشند. این روش، برای خوشه‌بندی داده‌هایی طراحی شد که به‌صورت عددی (کمی) باشد و خوشه مرکزی به‌نام میانگین داشته باشد.

در این روش، ابتدا بردار به‌صورت تصادفی به k خوشه تقسیم می‌شود. در گام بعد، فاصله هر بردار از مرکز خوشه خود محاسبه می‌شود. در صورتی که فاصله شی مد نظر از میانگین خوشه خود زیاد و به خوشه دیگری نزدیک باشد، این شی به خوشه‌ای نزدیک‌تر است، اختصاص می‌یابد. این کار آن‌قدر تکرار می‌شود تا تابع خطا کمینه شود و یا اعضای آن تغییر نکند. اگر d مجموعه داده‌ها با n شی باشد و $c1,c2,...,ck$ بیان کننده k خوشه مختلف حاوی کلیه عناصر d باشد، در این صورت تابع خطا (EF) مجموعه فواصل هر شی از مرکز خوشه خودش است که به شرح زیر (رابطه ۳) تعریف می‌شود.

$$EF= \sum_{i=1}^{K} \sum_{xci}^{d} (x.\mu(ci)) \qquad (۳)$$

که در آن، μ نشان‌دهنده مرکز میانگین خوشه، $(x.\mu(ci))$ فاصله هر شی از مرکز خوشه‌ای است که خود درون آن قرار دارد. فاصله هر شی از خوشه خود بر پایه فاصله اقلیدسی محاسبه می‌شود. به‌دلیل این که در خوشه‌بندی‌های مرکز گرا، تابع خطایی وجود دارد که باید کمینه شود و محدودیت‌هایی به این شرح دارد: الف) تعداد خوشه‌ها از پیش تعیین شده است و نمی‌توان آن را کم یا زیاد کرد. ب) تعداد اعضای هیچ یک از خوشه‌ها نمی‌تواند صفر باشد.

گام اساسی در خوشه‌بندی K-means تفکیک کلیه بردارها به k خوشه به‌صورت دلخواه، گام تکراری (محاسبه فاصله هر شی از مرکز خود، محاسبه تابع خطا)، گام بهبود (جابه‌جایی عضوی که بیشترین فاصله را با مرکز خوشه خودش دارد، به خوشه‌ای که کمترین فاصله را با آن دارد)، دستور توقف (تغییر نیافتن اعضای خوشه‌ها یا کاهش نیافتن مقدار تابع خطا) (جدول ۶).

جدول ۶- خصوصیات آماری و دامنه داده‌های مطالعه شده

معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	انحراف از معیار	چولگی	میانه
کیفیت خاک	۱/۳۳	۵۵/۲۲۳	۲/۸۲۱	۰/۸۵۶	۲/۷۸۸	۲/۶۶۱	۰/۶۱۲
کیفیت اقلیم	۴/۴۰۴	۸۹/۴۲۱	۵/۲۵۱	۰/۷۸۱	۳/۳۲۱	۰/۴۵۳	۶/۲۳۳
کیفیت پوشش گیاهی	۵۵/۸۹	۵۱/۶۳۳	۶/۳۲۱	۰/۶۹۵	۴/۲۵۸	۰/۵۷۷	۹/۵۸۸
کیفیت فرسایش	۷۶/۵۰۸	۷۱/۲۷۳	۹/۹۷۱	۰/۹۵۱	۵/۶۲۱	۰/۴۱۷	۵/۱۴۴
کیفیت مدیریت	۶۹/۲۰۱	۴۹/۵۰۱	۴۲/۱۲۳	۰/۶۷۷	۴/۵۶۹	۰/۱۲۵	۱/۱۶۹

برای تعیین تعداد خوشه بهینه از شاخص عرض سیلهوت (رابطه ۴) استفاده شده است (Rousseeuw و همکاران، ۱۹۸۷).

$$s(i)=\frac{b(i)-a(i)}{max\{a(i).b(i)\}} \quad (۴)$$

که در آن، $a(i)$ رابطه متوسط فاصله i عضو موجود در یک خوشه با دیگر اعضای آن خوشه، $b(i)$ کمینه متوسط فاصله i عضو موجود در یک خوشه با همه اعضای خوشه بوده و همواره $-۱<s(i)<۱$ است. پس از محاسبه s(i) هر یک از اعضا در هر خوشه مقادیر متوسط عرض سیلهوت برای تعداد مشخص خوشه به‌دست می‌آید. خوشه‌بندی‌ای که به تولید بیشتر عرض سیلهوت متوسط منجر شود، خوشه‌بندی بهینه خواهد بود.

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و محاسبه میانگین هندسی آن‌ها بر اساس رابطه (۴) نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه تهیه شد. در نهایت، نقشه حساسیت محیطی منطقه به بیابان‌زایی، به طبقاتی بر اساس جدول ۷ طبقه‌بندی و تحلیل شد.

تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی: بعد از تهیه نقشه‌های کیفیت خاک، آب زیرزمینی، اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش و مدیریت منطقه با به‌کارگیری رابطه (۵)، نقشه‌ها با هم ترکیب شدند و نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه به‌دست آمد. جدول ۶، انواع تیپ‌های حساسیت محیطی به بیابان‌زایی و مساحت هر یک را نشان می‌دهد.

$$ESA = (SQI \times CQI \times VQI \times EQI \times MQI)^{1/6} \quad (۵)$$

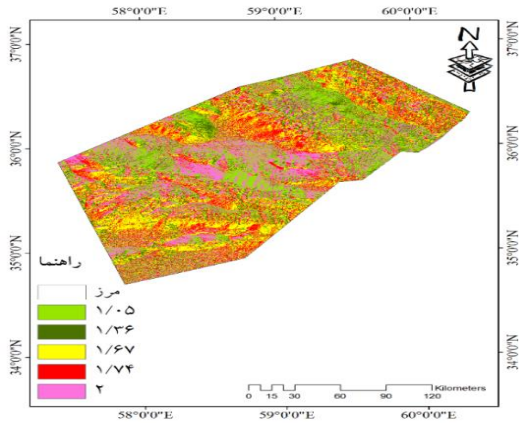
جدول ۷- انواع حساسیت محیطی به بیابان‌زایی و دامنه‌های تعیین‌شده

نوع	علامت	دامنه
بحرانی (Critical)	زیاد (C3)	<۱/۵۳
بحرانی (Critical)	متوسط (C2)	۱/۴۳ - ۱/۵۳
بحرانی (Critical)	کم (C1)	۱/۳۸ - ۱/۴۳
شکننده (Fragile)	شدید (F3)	۱/۳۳ - ۱/۳۸
شکننده (Fragile)	متوسط (F2)	۱/۲۷ - ۱/۳۳
شکننده (Fragile)	کم (F1)	۱/۲۳ - ۱/۲۷
Potential	P	۱/۱۷ - ۱/۲۳
Non affected	N	<۱/۱۷
استخرهای آب و مناطق شهری	U	۰

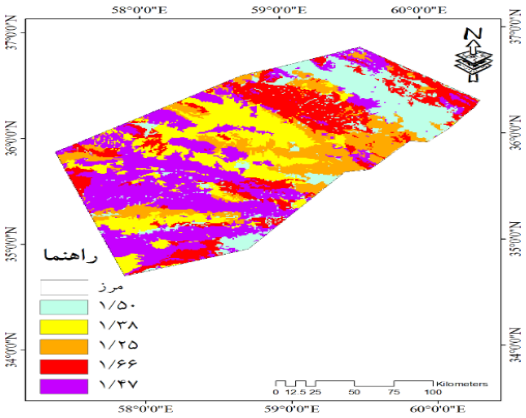
نتایج و بحث

در پژوهش حاضر بیشترین تاثیر عامل خاک (شکل ۵) در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۱ به‌علت شیب کم و مواد حساس به فرسایش و کمترین تاثیر آن در واحد کاری ۴ به‌علت عدم وجود خاک‌های عمیق تکامل یافته است. اقلیم منطقه مطالعاتی گرم و خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و کم باران است (شکل ۶). به‌طوری‌که میزان بارندگی سالیانه در واحد کاری ۲ به کمتر از ۱۸۰ میلی‌متر می‌رسد. نتایج ارزیابی معیار پوشش گیاهی (شکل ۳) در واحدهای کاری منطقه نشان داد که بیشترین تاثیر عامل پوشش گیاهی در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۲ به علت وجود خاک‌های شور با قلیائیت زیاد دارای پوشش گیاهی با

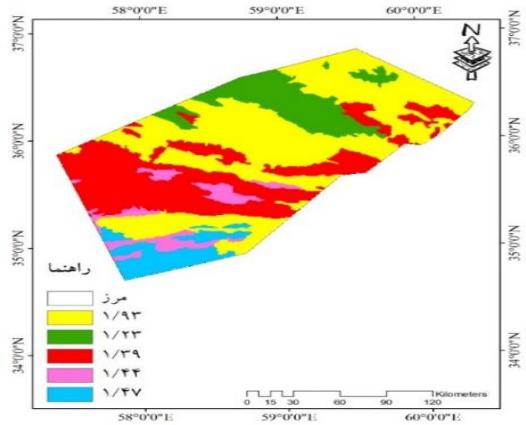
تراکم بسیار اندک است و کمترین آن در واحد کاری ۴ است که به علت عدم وجود خاک‌های تکامل یافته عمیق و حاصل‌خیز بایر است که با نتایج Naserzadeh و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.



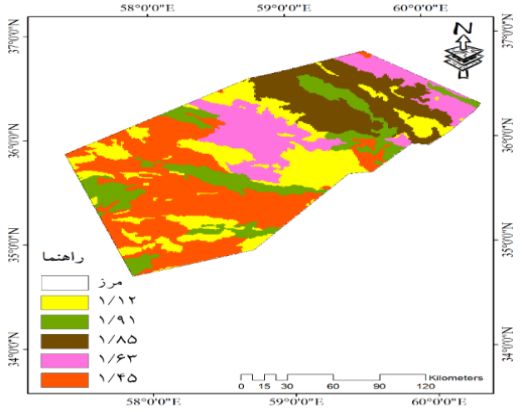
شکل ۳- نقشه NDVI



شکل ۴- نقشه مدیریت

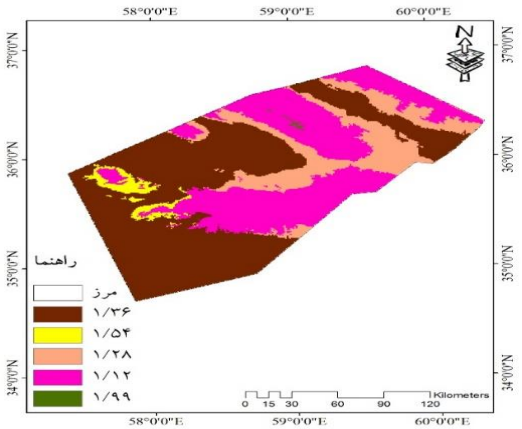


شکل ۵- نقشه معیار خاک



شکل ۶- نقشه معیار اقلیم

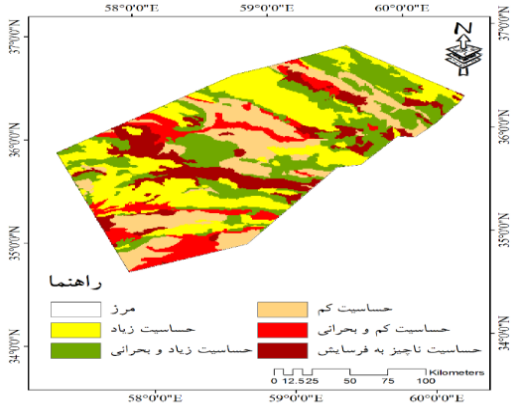
نتایج ارزیابی معیار فرسایش (شکل ۷) در واحدهای کاری منطقه نشان می‌دهد که در واحد کاری ۳ به علت شرایط آب و هوایی خشک و همچنین، برهنه بودن منطقه و حساسیت شدید خاک‌های منطقه به فرسایش وجود دارد. بر طبق نتایج حاصل از معیار مدیریت بیشترین تاثیر عامل (انسانی) در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۱ است و با نتایج Nafar و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. در این واحد، به‌دلیل تراکم جمعیت، اغلب اراضی مستعد کشاورزی تحت کشت وسیع کشاورزی و باغات بوده که بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را در پی داشته است. کمترین تاثیر عامل مدیریت در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۴ است که به علت شرایط نامساعد اقلیمی دارای کمترین تراکم جمعیت است.



شکل ۷- نقشه معیار فرسایش

در این واحد کاربری اراضی مرتبط با فعالیت‌های انسانی محدود بوده است. معیار اقلیم و پوشش گیاهی دارای بالاترین امتیاز بوده و بیشترین تاثیر را در ایجاد و گسترش بیابان نسبت به بقیه معیارها در منطقه مطالعاتی است که از عمده دلایل آن توپوگرافی و شرایط آب و هوایی و همچنین، برداشت غیراصولی انسان از زمین در این منطقه می‌باشد و با نتایج Lahlaoi و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. با توجه به جدول ۷ منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت در طبقه بیابان‌زایی با P زیاد قرار دارد (شکل ۸). نتایج حاصل از تاثیر شاخص‌های هر یک از معیارها در واحدهای کاری در جدول ۸ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۸، در واحد کاری ۱، شاخص اقلیم با بیشترین وزن (۱/۹۸) بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است. در واحد کاری ۲، درصد پوشش گیاهی (۱/۸۹) نسبت به دیگر شاخص‌ها بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است. شاخص درصد خشکی در واحد کاری ۳ نیز با بالاترین امتیاز (۱/۷۸) بیشترین و در واحد کاری ۴ فرسایش بادی با امتیاز ۱/۶۸ بیشترین تاثیر را داشته است. به‌منظور محاسبه تاثیر هر یک از شاخص‌های معیارها در بیابان‌زایی کل منطقه مطالعه، میانگین مقادیر این شاخص‌ها در ۴ واحد کاری محاسبه شده است (جدول ۹).



شکل ۸- نقشه معیار شدت بیابان‌زایی

جدول ۸- محاسبه متوسط وزنی معیارها و شاخص‌های مربوطه در واحدهای کاری

کاری واحد	معیار	وزنی متوسط	شاخص	وزنی متوسط
واحد کاری ۱ (دشت آبرفتی)	خاک	۱/۱۱۸	خاک بافت	۱/۷۶
			خاک عمق	۱/۵۶
			شیب	۱/۲۲
			اولیه مواد	۱/۶۵
			سنگ‌ریزه درصد	۱/۷۲
	اقلیم	۱/۵۲۲	بارندگی	۱/۹۸
			خشکی درصد	۱/۶۶
	گیاهی پوشش	۱/۴۲۱	فرسایش برابر در مقاومت میزان	۱/۹۳
			اراضی کاربری شدت	۱/۷۹
	مدیریت	۱/۴۸	اجرایی سیاست‌های	۱/۳۳
	فرسایش	۱/۲۲۵	آبی فرسایش	۱/۶۹
			بادی فرسایش	۱/۵۲
واحد کاری ۲ (دشت سر)	خاک	۱/۱۶۲	خاک بافت	۱/۲۴
			خاک عمق	۱/۳۲
			شیب	۱/۴۴
			اولیه مواد	۱/۵۱
	اقلیم	۱/۴۲۳	بارندگی	۱/۷۹
			خشکی درصد	۱/۶۱
	گیاهی پوشش	۱/۴۲۰	گیاهی پوشش درصد	۱/۸۹

کاری واحد	معیار	وزنی متوسط	شاخص	وزنی متوسط
			فرسایش برابر در مقاومت میزان	۱/۴۶
			اراضی کاربری شدت	۱/۵۵
	مدیریت	۱/۵۹	اجرایی سیاست‌های	۱/۲۳
	فرسایش	۱/۶۸	آبی فرسایش	۱/۳۳
			بادی فرسایش	۱/۴۱
			خاک بافت	۱/۵۰
			خاک عمق	۱/۲۲
	خاک	۱/۱۲۳	شیب	۱/۳۵
			اولیه مواد	۱/۴۱
			سنگ‌ریزه درصد	۱/۲۸
	اقلیم	۱/۳۰۲	بارندگی	۱/۷۰
			خشکی درصد	۱/۷۸
واحد کاری ۳ (دشت ریگی)	گیاهی پوشش	۱/۲۷۱	گیاهی پوشش درصد	۱/۶۷
			برابر فرسایش در مقاومت میزان	۱/۴۸
			اراضی کاربری شدت	۱/۳۹
	مدیریت	۱/۱۱۰	اجرایی سیاست‌های	۱/۳۷
	فرسایش	۱/۱۲۵	آبی فرسایش	۱/۴۱
			بادی فرسایش	۱/۵۱
			خاک بافت	۱
			خاک عمق	۱
	خاک	۱/۵۵	شیب	۱/۳
			اولیه مواد	۱/۰۸
			سنگ‌ریزه درصد	۱/۱۲
	اقلیم	۱/۸۲	بارندگی	۱/۰۴
واحد کاری ۴ (کوهستان)			خشکی درصد	۱/۰۳
			گیاهی پوشش درصد	۱/۰۲
	گیاهی پوشش	۱/۳۳	فرسایش برابر در مقاومت میزان	۱/۱۳
			اراضی کاربری شدت	۱/۱۰
	مدیریت	۱/۵۹	اجرایی سیاست‌های	۱/۰۱
	فرسایش	۱/۶۸	آبی فرسایش	۱/۰۶
			بادی فرسایش	۱/۱۴

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۸، در واحد کاری ۱، شاخص اقلیم با بیشترین وزن (۱/۹۸) بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است. در واحد کاری ۲، درصد پوشش گیاهی (۱/۸۹) نسبت به دیگر شاخص‌ها بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است. شاخص درصد خشکی در واحد کاری ۳ نیز با بالاترین امتیاز (۱/۷۸) بیشترین و در واحد کاری ۴ فرسایش بادی با امتیاز ۱/۶۸ بیشترین تاثیر را داشته است. به‌منظور محاسبه تاثیر هر یک از شاخص‌های معیارها در بیابان‌زایی کل منطقه مطالعه، میانگین مقادیر این شاخص‌ها در ۴ واحد کاری محاسبه شده است (جدول ۹).

بر طبق جدول ۹، در بین شاخص‌های مربوط به اقلیم و پوشش گیاهی به‌ترتیب با متوسط وزنی ۱/۲۵۵ و

۱/۱۲۷ بیشترین تاثیر و در مقابل شاخص مدیریت کمترین تاثیر را در بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی داشته است. معیار خاک در منطقه مطالعاتی با دامنه وزنی ۱/۶۸ تا ۱/۰۷ در دو گروه کیفیت پایین و بالا قرار گرفته است. انطباق نقشه کیفیت خاک و شاخص‌های مربوط به آن نشان داد که پایین‌ترین کیفیت خاک در مناطق با شیب کم، مواد مادری حساس به فرسایش، درصد سنگ‌ریزه پایین و عمق خاک زیاد است. در بین شاخص‌های مربوط به اقلیم، شاخص بارندگی با متوسط وزنی ۲ بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است و می‌توان گفت که کمبود بارندگی و در نتیجه، ایجاد وضعیت خشکی باعث حساسیت‌پذیری بیشتر منطقه نسبت به فرسایش شده است. بر اساس نقشه معیار کیفیت اقلیم، واحد کاری ۱ با ۱/۹۸ دارای بیشترین وزن است و کل منطقه دارای اقلیم خشک است.

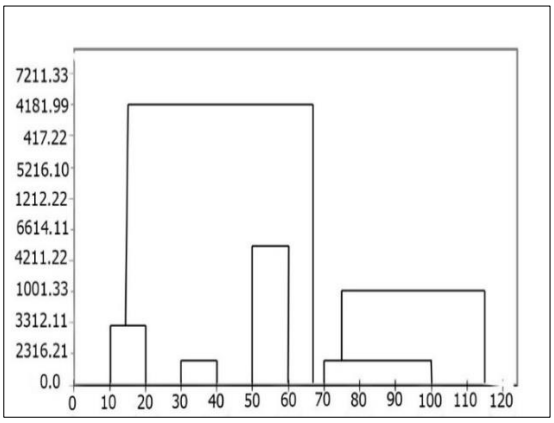
در میان شاخص‌های پوشش گیاهی، درصد پوشش گیاهی با متوسط وزنی ۱/۹۸ بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است. این شاخص از لحاظ بیابان‌زایی به‌دلیل تراکم پایین پوشش گیاهی باعث شده است تا در مقابل فرسایش حساسیت بیشتری از خود نشان دهد. در شاخص‌های معیار مدیریت، شاخص سیاست‌های اجرایی با متوسط وزنی ۱/۴۸ بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی داشته است. نقشه مدیریت منطقه مطالعاتی نشان داد که منطقه مطالعاتی در وضعیت مدیریتی نامناسبی قرار دارد. بر اساس معیار فرسایش، شاخص فرسایش بادی با متوسط وزنی ۱/۹۹ بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی داشته است. بر اساس معیار فرسایش، منطقه مطالعاتی در دو سطح کیفیت بالا و پایین قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده با نتایج پژوهش Shoba و همکاران (۲۰۱۶) و Bedoui (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

جدول ۹- محاسبه متوسط وزنی معیارها و شاخص‌های مربوطه در کل منطقه

واحد کاری	معیار	متوسط وزنی	شاخص	متوسط وزنی
کل منطقه مطالعاتی	خاک	۱/۱۲۶	بافت خاک	۱/۹۲
			عمق خاک	۱/۸۶
			شیب	۱/۷۹
			مواد اولیه	۱/۶۸
	اقلیم	۱/۳۷۱	درصد سنگ‌ریزه	۱/۸۳
			بارندگی	۱/۲۲۵
			درصد خشکی	۱/۱۷۸
	پوشش گیاهی	۱/۲۸۴	درصد پوشش گیاهی	۱/۱۲۷
			میزان مقاومت در برابر فرسایش	۱/۱۱۸
			شدت کاربری اراضی	۱/۱۰۱
	مدیریت	۱/۸۵	سیاست‌های اجرایی	۱/۴۸
	فرسایش	۱/۱۷۵	فرسایش آبی	۱/۸۷
			فرسایش بادی	۱/۹۹

صحت‌سنجی مدل مدالوس اصلاح شده: در پژوهش حاضر، خوشه‌بندی پارامترها بر اساس شاخص‌هایی انجام شده است که برای ارزیابی بیابان‌زایی در مدل استفاده شده است. شکل ۹ دندوگرام مربوط به خوشه‌بندی روش وارد را نشان می‌دهد. بر اساس دندوگرام می‌توان مشاهده کرد، دو خوشه کاملا مجزا وجود دارد که هر یک به خوشه‌هایی تقسیم می‌شود. در خوشه‌بندی به روش K-means خوشه‌ها از قبل تعیین می‌شود و با تعداد خوشه برابر با دندوگرام روش وارد دسته‌بندی مشابه صورت گرفته است. این روش مانند روش وارد عمل کرده و هر دو در تعداد خوشه برابر، پارامترهای یکسانی قرار دارد. برای تعیین آستانه خوشه‌ها و تعداد خوشه بهینه از

شاخص سیلهوت استفاده شد و نتایج این شاخص در جدول ۱۰ بیان شده است.

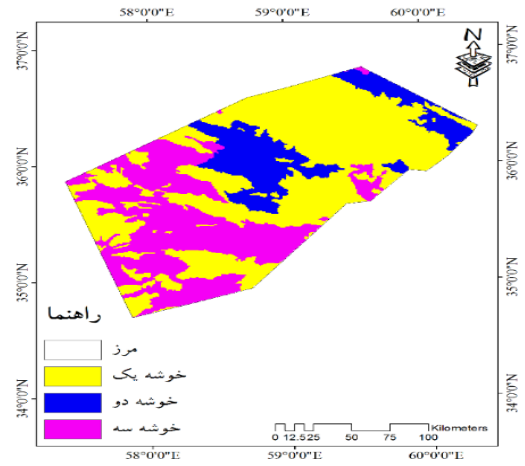


شکل ۹- دندوگرام مربوط به خوشه‌بندی به‌وسیله وارد

در شکل ۱۰ نقشه شماتیک خوشه‌بندی با سه خوشه آمده است و این نقشه تطابقی ۵۵/۶ درصدی را با نقشه پهنه‌بندی بیابان‌زایی نشان می‌دهد. در نتیجه، چنین استنباط می‌شود که تاثیر متغیرها در خوشه‌بندی شامل اقلیم، فرسایش و پوشش گیاهی است.

جدول ۱۰- مقادیر متوسط شاخص عرض سیلهوت در تعداد خوشه متفاوت

تعداد خوشه	۲	۳	۴	۵
متوسط شاخص سیلهوت	۰/۷۱۱۳	۰/۹۰۲۱	۰/۸۵۷۱	۰/۶۲۱۲



شکل ۱۰- نقشه شماتیک خوشه‌بندی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی دشت بادقوس سبزوار از مدل مدالوس اصلاح شده و روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شده است. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان‌دهنده آن است که بیابان‌زایی با شدت زیاد و بحرانی روند افزایشی داشته و معیار پوشش گیاهی، اقلیم و فرسایش معیار غالب در بیابان‌زایی این منطقه محسوب می‌شود. از آنجا که عوامل مدیریتی بیابان‌زایی در کاربری‌های مختلف یکسان نیستند، شاخص‌های مورد استفاده نیز باید با توجه به نوع کاربری انتخاب شوند. برای اطمینان از صحت مدل از روش خوشه‌بندی وارد و K-means استفاده شده است.

تعداد خوشه بهینه با استفاده از شاخص عرض سیلهوت تعیین و بر اساس آن منطقه مورد مطالعه به سه خوشه تقسیم شد. نتایج خوشه‌بندی تطابق ۵۵/۶ درصد را با نتایج مدل مدالوس اصلاح شده دارد و تائیدی بر صحت این مدل است. همچنین، با استفاده از ماتریس‌های اقلیدوسی بیشترین تاثیر در خوشه‌بندی در مرتبه اول اقلیم و بعد از آن فرسایش و پوشش گیاهی است. وجود تعداد نسبتا کافی از معیارها و شاخص‌های منطبق با شرایط منطقه موجب شده است تا برآورد دقیقی از شدت و وضعیت بیابان‌زایی صورت گیرد. با توجه به مدل مدالوس و ارزیابی کمی معیارهای به‌کار گرفته شده و بررسی‌های انجام گرفته بر روی متوسط وزنی این معیارها، می‌توان نتیجه گرفت، معیار اقلیم به‌عنوان عامل مهم فرسایش‌پذیری و در نتیجه، بیابان‌زایی منطقه نقش داشته است.

این نتایج با تحقیقات Yaghmaeian Mahabadi و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد و نتایج پژوهش بیانگر آن است که دو معیار کیفیت مدیریت و کیفیت اقلیم به‌ترتیب با متوسط وزنی ۱/۹۱ و ۱/۶۲ بیشترین تاثیر را بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. معیار کیفیت خاک با متوسط وزنی ۱/۳۹، در طبقه متوسط و معیار کیفیت پوشش گیاهی با متوسط وزنی ۱/۴۱، در طبقه با کیفیت بالا قرار دارد. از این‌رو، مناسب‌ترین معیار، کیفیت پوشش

گیاهی است. میزان شاخص بیابان‌زایی برای منطقه مورد بررسی در مدل مدالوس استاندارد و مدالوس اصلاح شده به‌ترتیب ۱/۳۸ تا ۱/۷۶ و ۱/۳۷ تا ۱/۹۳ به‌دست آمده است. در هر دو روش کل منطقه مطالعاتی در طبقه بحرانی بیابان‌زایی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد، پوشش سطح زمین نقش مهمی در رخداد پدیده بیابان‌زایی در عرصه مطالعاتی دارد. بخشی از این موضوع متاثر از وضعیت اقلیمی منطقه می‌باشد. اقلیم خشک، بارندگی کم و تبخیر و تعرق نسبتا بالا شرایط سختی را حاکم کرده است. این موضوع مزید بر خشکسالی‌های بسیار شدید سال‌های اخیر است و زمینه را برای افت کمی و کیفی پوشش گیاهی در منطقه فراهم کرده است.

آیش و رهاسازی زمین‌های کشاورزی نیز از دیگر عوامل موثر در رخداد پدیده فرسایش و به تبع آن تشدید بیابان‌زایی در منطقه می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت، اگرچه عوامل طبیعی در این منطقه سهم مهمی در بیابانی شدن اراضی داشته‌اند، پارامترهای انسانی و مدیریتی نیز به‌طور مستقیم تخریب اراضی و بیابان‌زایی را به دنبال داشته است و با یافته‌های Sepehr (۲۰۰۵) در خصوص بررسی علل بیابان‌زایی در مناطق جنوب استان فارس مطابقت دارد. بر اساس نتایج، دو درصد از مساحت منطقه در طبقه بیابان‌زایی متوسط، ۳۵ درصد در طبقه بیابان‌زایی شدید و ۶۳ درصد نیز در طبقه بیابان‌زایی بسیار شدید قرار دارد.

معیار اقلیم و مدیریت و سیاست از عوامل مهمی هستند که موجب فرایند بیابان‌زایی در منطقه جنوب فارس شده‌اند. همچنین، با مطالعات Chaman pira (۲۰۰۶) در بررسی وضعیت بیابان‌زایی حوزه آبخیز کوه دشت تطابق دارد و بر اساس نتایج به‌دست آمده حدود ۳۵/۲ درصد حوضه دارای شدت بیابان‌زایی کم، حدود ۳۲ درصد بیابان‌زایی متوسط و حدود ۷/۳۲ درصد بیابان‌زایی زیاد است. مهمترین عوامل موثر در بیابان‌زایی محدوده مطالعاتی تخریب منابع آب ناشی از پمپاژ و افت سفره و در درجه بعد تخریب منابع گیاهی بر اثر تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به شهری یا چرای بی‌رویه دام است. از کل مساحت منطقه مطالعاتی، ۲۱ درصد در پهنه حساسیت زیاد، ۲۸ درصد در پهنه حساسیت زیاد و بحرانی، ۱۷ درصد در پهنه حساسیت کم، ۲۸ درصد در پهنه حساسیت کم و بحرانی و شش درصد در پهنه حساسیت ناچیز به فرسایش قرار دارد. ۲۱ درصد از سطح منطقه در طبقه شدید بیابان‌زایی قرار دارد که شامل رخساره‌های اراضی باغی و زراعی و اراضی دست کاشت است. در این رخساره‌ها به علت آبیاری با آب شور و عدم زهکشی مناسب، در صورت عدم توجه روند بیابانی شدن را در پیش خواهد گرفت. وضعیت اقلیمی منطقه بر اساس ضریب خشکی اقلیم نمای آمبرژه، خشک و خشک سرد است که با توجه به سست بودن خاک، عدم پوشش گیاهی و نهایتا حرکت رسوبات وضعیت بسیار بحرانی را ایجاد کرده و زمینه‌ساز ایجاد فرسایش بادی است و نیاز به توجه بیشتری دارند.

نتایج حاصل از ارزیابی خاک در منطقه نشان داد که قسمت‌های جنوب شرقی و شمالی منطقه داری کیفیت خاک نامناسبی بوده است. به علت سبک بودن بافت خاک در این قسمت از منطقه و همچنین، از آن جایی که مهمترین شاخص تاثیرگذار بر کیفیت خاک در منطقه، کمبود مواد آلی است، برای اصلاح این اراضی می‌بایست مواد آلی و رس به خاک اضافه شود یا اقدام به درخت‌کاری کرد. به علت شرایط نامناسب اقلیمی، خاک، آب و چرای مفرط در گذشته، پوشش گیاهی منطقه بسیار تخریب یافته و وضعیت مراتع آن فقیر و بعضا بسیار فقیر است.

گرایش در تمام مراتع منطقه منفی است. با انتخاب گونه‌های سازگار با شرایط منطقه و فراهم آوردن آب برای انجام پروژه‌های نهال‌کاری و بذرپاشی در مراتع می‌توان به بهبود وضعیت و معکوس کردن گرایش منفی آن امیدوار بود. با توجه به این‌که الگوی کشت و روش آبیاری در اراضی کشاورزی نامناسب بوده و مراتع منطقه که در گذشته به علت چرای مفرط تخریب گشته و برای احیای آن برنامه‌ریزی مناسبی صورت نگرفته و معادنی که در قبال بهره‌برداری‌های بی‌رویه هیچ‌گونه برنامه احیایی در دستور کار خود قرار نداده‌اند، همه این عوامل

باعث می‌شود که معیار پوشش گیاهی در دو طبقه پایین و بسیار پایین قرار گیرد. برای جلوگیری از این روند تخریبی در منطقه تنها با برنامه‌ریزی مناسب و مدیریت صحیح می‌توان از این روند جلوگیری کرد. بررسی معیارها و شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی نشان‌دهنده این است که عوامل طبیعی بیشتر از عوامل انسانی بیابان‌زایی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، هر چند که متوسط وزنی معیار کیفیت خاک کمتر از متوسط وزنی معیار کیفیت پوشش گیاهی است، ولی معیار کیفیت خاک در طبقه متوسط و معیار کیفیت پوشش گیاهی، در طبقه با کیفیت بالا قرار دارد.

از این‌رو، بهترین معیار، کیفیت پوشش گیاهی است. با توجه به این که سطح منطقه شامل اراضی زراعی، باغی و دشتی است و عمدتا بر اثر مدیریت‌های غیراصولی مانند عدم تعادل دام و مراتع در گذشته، چرای زودرس و بی‌رویه و دائم در طول سالیان متمادی و همچنین، شرایط توپوگرافی نامساعد دستخوش تغییرات فراوانی گشته و پوشش گیاهی منطقه در بعضی نقاط آسیب دیده و جای خود را به پوشش‌های نامرغوب داده‌اند. با کمی دقت به جداول و اشکال حاصل از تجزیه و تحلیل معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی در می‌یابیم که بعضی از واحدهای کاری در آستانه ورود به طبقه بالاتر قرار گرفته‌اند که این خود افزایش شدت تخریب را در آینده نزدیک به ارمغان خواهد آورد. پیشنهاد می‌شود تا با کاربرد مدل مـذکور در مناطق مختلف و شرایط اقلیمی متفاوت بر حسب اهمیت و گستره اثر شاخص‌ها، ضریبی برای شاخص‌های غالب در نظر گرفته شود تا برآوردی دقیق‌تر از وضعیت موجود به‌دست آید.

با عنایت به این‌که بیشتر روش‌های متداول در تعیین ارزیابی شدت تخریب بسیار وقت‌گیر بوده و نیاز به عملیات صحرایی زیادی دارد، استفاده از تکنیک‌های جدید سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای بـا قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا همراه بـا سامانه اطلاعات مکان، ضمن کاهش هزینه‌ها موجب افزایش سرعت و دقت در برآورد نقشه شدت تخریب بیابان‌زایی منطقه شده و حتی سبب سهولت مدیریت این مناطق برای برنامه‌های بیابان‌زدایی به‌منظور آمایش سرزمین می‌شود. در نهایت، برای جلوگیری از پدیده بیابان‌زایی و تخریب اراضی کشاورزی اطراف این منطقه لازم است، طرح‌های اجرایی بیابان‌زدایی در منطقه مطالعه و اجرا شود.

از جمله طرح‌های اجرایی می‌توان به اجرای عملیات بیولوژیکی در مناطق بحرانی و حساس به فرسایش بادی با اولویت مناطق برداشت به‌منظور از بین بردن منبع تغذیه تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه و جلوگیری از فرسایش خاک و کم شدن قابلیت تولیدی آن، بازگرداندن وضعیت پوشش گیاهی منطقه از حالت فقیر و خیلی فقیر به شرایط کمینه متوسط تا خوب با اجرای توام برنامه‌های اصلاح و احیاء و مدیریتی در مراتع منطقه، استفاده بهینه از سیلاب موجود در منطقه قبل از ورود به کال شور با اجرای برنامه‌های بیو مکانیکی برای اصلاح و احیاء مراتع منطقه، ساماندهی وضعیت دام موجود در منطقه با اجرای برنامه‌های مدیریتی به‌منظور جلوگیری از تخریب هر چه بیشتر مراتع منطقه و احیاء پوشش گیاهی موجود اشاره کرد.

با این تفاسیر مدیریت اکوسیستم‌های بیابانی و برگرداندن وضعیت این عرصه به شرایط عادی و توسعه بدون انجام مطالعات در این مناطق و شناسایی نقاط ضعف و قوت این مناطق میسر نخواهد بود و لازم است، در ابتدا مطالعات اقلیمی، پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی، توپوگرافی و اقتصادی-اجتماعی در این عرصه‌ها با دقت انجام شود و با جمع‌بندی و تجزیه و تحلیل این اطلاعات برنامه‌های اجرایی متناسب با شرایط اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی منطقه را پیشنهاد داد.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, A., P. Amani and M. Zareian. 2014. Quantitative assessment of desertification status using MEDALUS Model and GIS, case study: Shamil Plain, Hormozgan Province. RS and GIS for Natural Resource, 5(1): 87-97 (in Persian).

2. Abd El-Hameed, H., M.R. Marzouk and A.B. Abdo1and. 2020. Assessments of environmental sensitivity to desertification in ber el-abd area, North Sinai, Egypt using Medalus Model. Sinai Journal of Applied Sciences, 9(2): 169-182.
3. Ahmadi, H. 2008. Applied geomorphology. University of Tehran Press, Second Edition, 76 pages (in Persian).
4. Arab Ameri, A.R., Kh. Rezaei, M.H. Ramesht and M. Sohrabi. 2019. Quantitative assessment of desertification risk using modified Modalus Model, case study: Shahroud Bastam Watershed. Journal of Watershed Engineering and Management, 6(22): 508-522 (in Persian).
5. Bedoui, Ch. 2020. Study of desertification sensitivity in Talh region (Central Tunisia) using remote sensing, GIS and the Medalus approach. Bedoui Geoenvironmental Disasters, 7:16, https://doi.org/10.1186/s40677-020-00148-w.
6. Bo Ali, A.H., H.R. Asghari, A. Mohammadiyan Behbahani, S. Mahini and B. Naemi. 2021. Provision of early desertification warning system based on climate and groundwater criteria study area: Aq Qala and Gomishan counties. Geography and Development, 19(63): 285-306 (in Persian).
7. Chaman pira, Gh., H. Ahmadi and Gh. Zahtabiyan. 2006. Application of ICD Method to determine the intensity of the current desertification situation in Kuh-Dasht Watershed. Iranian Journal of Natural Resources, 1(59): 543-555 (in Persian).
8. Farajzadeh, M. and M. Nikeghbal. 2007. Evaluation medalus model eor desertification hazard zonation using GIS, study area: Iyzad Khast Plain, Iran. Journal of Biological Sciences, 10(16): 2622-2630 (in Persian).
9. Honardoust, F., M. Ownegh and Sh. Vahedbordi. 2011. Assessing desertification sensitivity in the northern part of Gorgan Plain, southeast of the Caspian Sea, Iran. Research Journal of Environmental Sciences, 5(3): 205-220 (in Persian).
10. Jokar, P., M. Masoudi and F. Karimi. 2021. An mce-based innovative approach to evaluating ecotourism suitability using GIS. Cuadernos de Investigación Geográfica, 47(2): 545-556.
11. Kazeminia, A.R., K. Rangzan and M. Mahmoud Abadi. 2017. Assessment of desertification using the Medalus Model, case study: the lands of west Ahvaz. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 8(2): 111–126 (in Persian).
12. Khanamani, A., H.R. Karimzadeh, A. Jafari and A. Golshahi. 2013. Quantitative assessment of current desertification using Medalus Model, case study: Segzi Plain. RS and GIS for Natural Resource, 4(1): 13-25 (in Persian).
13. Khodaei Gheshlagh, F., Sh. Rostaei and D. Mokhtari. 2021. Zoning of desertification intensity based on groundwater degradation criteria using Madalus desertification model, case study: area around Urmia Lake. Hydrogeomorphology, 27(8): 59-79 (in Persian).
14. Lahlaoi, H., H. Rhinane, A. Hilali, S. Lahssini and S. Moukrim. 2017. Desertification assessment using Medalus Model in watershed Oued El Maleh, Morocco. Geosciences, 7(50): 1-16.
15. Macqueen, J. 1967. Some methods for classtification and analysis ofmultivariate observation. In Proceeding of the 5th Berkeley Symposiumon Mathematical Statistics and Probability. Berkeley, CA: University of California, 1: 297-287.
16. Masoudi, M. and P. Jokar. 2017. A new model for desertification assessment using Geographic Information System (GIS), a case study: Runiz Basin, Iran. Ecology, 2: 236-246.
17. Mohamed, E.S. 2013. Spatial assessment of desertification in north Sinai using modified Medlaus Model. Arabian Journal of Geosciences, 6(12): 4647-4659.
18. Morianou, N.N., V. Kourgialas, G. Pisinaras and G. Arambatzis. 2021. Assessing desertification sensitivity map under climate change and agricultural practices scenarios: the island of Crete case study. ESAI methodology and future climate scenarios, http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/0. doi: 10.2166/ws.2021.132.
19. Nafar, F., A. Ebrahimi and A.S. Naghipour. 2021. Desertification assessment tower in Sefiddasht-Borujen Watershed (Chaharmahal and Bakhtiari Province) using the model. Journal of Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources (in Persian).
20. Nojavan. M., A.A. Mohammadi and V. Gholami. 2012. Determining the intensity of erosion using Fargas and BLM models, case study: Bandar Watershed. Journal of Geography and Development, 29(10): 130-119 (in Persian).
21. Naserzadeh, M.H., M. Akbari, M. Saligheh and A. Fakhrabadi. 2019. Intensity of desertification in Kashan Plain evaluation with Iranian desertification potential model. Journal of Geographical Research, 134: 528-538 (in Persian).

22. Ownegh, M., N. Ramezani, A.R. Salman Mahini and A. Sepehr. 2020. Assessment of desertification risk in north Khorasan Province using IMDPA and MICD models. Journal of Desert Ecosystem Engineering, 9(26): 42-29 (in Persian).
23. Raj, K. 2009. Desertification/land degradation status mapping of India. Current Science, 97(10): 1478-1489.
24. Rasmy, M.A., H. Gad, M. Abdelsalam and M. Siwailam. 2010. A dynamic simulation model of desertification in Egypt. Egyption Journal of Remote Sensing and Space Sciences (NARSS), 1564: 101-111.
25. Rousseeuw, P.J. and A. Silhouette. 1987. Graphical aid to the interpretation and validation of cluster analasis. Journal of Computational and Applied Mathematics, 20: 53-65.
26. Sepehr, A. 2005. Quantitative assessment of the current status of desertification using GIS and RS to present a regional model with emphasis on the Medallus Model. MSc Thesis, Shiraz University, 126 pages (in Persian).
27. Shariyary, A., M. Hoseini, M. Ekhtesasi and A. Fakhire. 2011. Assessment of land degradation in Sistan region with emphasis on wind erosion. Journal of Geography and Development, 8(20): 21-36 (in Persian).
28. Shirghir, S. and M. Masoudi. 2021. Desertification risk assessment using the proposed new Madalus Model. Watershed Management Research, 34(3): 133-148 (in Persian).
29. Shoba, P. and S.S. Ramakrishnan. 2016. Modeling the contributing factors of desertification and evaluating their relationships to the soil degradation process through geomatic techniques. Solid Earth, 7: 341–354.
30. Turan, İ.D. 2021. Spatio analysis of soil quality assessment in semi-arid ecosystem using a minimum data set. Eurasian Journal of Soil Science, 10(3): 222-235.
31. Ward, J. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Asssociation, 58(301): 236-244.
32. Yaghmaeian Mahabadi, N.H., S. Asadi and S. Rezaei. 2017. Mapping and assessment of land degradation risk using Medalus Model in Siyahpoush Catchment, Ardabil Province. Journal of Water and Soil Conservation, 24(1): 173-187 (in Persian).
33. Yaghobi, S. and K. Karimi. 2020. Investigation and comparison of desertification trends in arid and semi-arid regions with emphasis on climate criteria, case study: Abbas Plain and Dehloran Plain (Ilam Province). Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 7(2): 103-120 (in Persian).
34. Zehtabian, Gh., A.M. Khosravi and H. Azarnivand. 2015. Evaluation of desertification intensity in Kashan region from the perspective of soil criteria. 6th National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Tarbiat Modares University (in Persian).

DOI: 10.22092/ijwmse.2021.343407.1810

Desertification risk zoning using modified Medalus Model and hierarchical clustering method, case study: Sabzevar Badghous Plain

Mohammadali Zanganeh Asadi[1], Mahnaz Naemitabar[2*] and Mokhtar Karami[3]

[1] Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, [2] PhD Student, Geomorphology, Hakim Sabzevari University and [3] Assistant Professor of Hydro Climate, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University

Received: 23 June 2021 Accepted: 25 December 2021

Abstract

Desertification is a problem that is currently affecting many countries in the world, including Iran. This problem is seen not only in arid and semi-arid areas, but also parts of semi-humid areas. The purpose of this study is to investigate and zoning the intensity of desertification using the modified Medalus Model and hierarchical clustering method in the Baqous Plain of Sabzevar. For this purpose, effective criteria in desertification including climate, vegetation, soil, erosion, and selection management, and the geometric mean of the indicators were calculated. Data layers indicators related to each criterion were prepared using the GIS system. This information was scored based on the Medalus method and from the geometric mean of the indicators of each criterion, the final map of the status of each criterion was prepared and from the geometric mean of the criteria, the current map of the desertification of the region was prepared. Results showed that the criteria of vegetation, climate, and erosion were more effective than other factors in desertification of the region and high sensitivity and critical type was matched with the poverty of vegetation and the dryness of the climate, and work units 1 and 2 have the largest area of desertification types with high intensity. The results also showed that 21% of the study area is in the high sensitivity zone, 28% in the high and critical sensitivity zone, 17% in the low sensitivity zone, 28% in the low and critical sensitivity zone, and 6% in low sensitivity zone to erosion. 55.6% of the results of modified Modalus Model were obtained by significant clustering methods. According to the spatial distribution map of desertification intensity extracted from the model, it can be used as an auxiliary tool against desertification and prevent excessive destruction of the region in the future.

Keywords: Arid and semi-arid regions, Climate, Desertification, Erosion, GIS

[*] Corresponding author: mahnaznaemi70@gmail.com