نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۶۹ تا ۱۸۶

ارزیابی شدت بیابان‌زایی شمال‌غرب یزد با تأکید بر معیارهای خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی

اعظم‌السادات حسینی[۱]، عباسعلی ولی[۱*]، امیرحسین حلبیان[۲] و محمدحسین مختاری[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۵)

چکیده

بیابان‌زایی، از جدی‌ترین معضلات زیست‌محیطی در مناطق خشک به شمار می‌آید. ارزیابی کمی فرایند بیابان‌زایی برای پیشگیری و کنترل بیابان‌زایی ضروری است. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی وضعیت کمی و کیفی بیابان‌زایی شمال‌غرب یزد از مدل IMDPA استفاده شد. در این مدل سه معیار خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی در نظر گرفته شد. برای هر معیار چندین شاخص با وزن ۰ (کم) تا ۴ (خیلی شدید) تعریف شد. از میانگین هندسی هر یک از سه معیار برای تهیه نقشه مناطق حساس به بیابان‌زایی در ArcGIS استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش از ۹۲ درصد منطقه پژوهشی در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار دارد و تنها واحدکاری تپه‌های ماسه‌ای در کلاس خیلی شدید قرار دارد. در نهایت کل منطقه پژوهشی با امتیاز نهایی ۳/۰۴، در کلاس شدید شدت بیابان‌زایی قرار گرفت. همچنین معیار خاک با بالاترین امتیاز وزنی ۳/۲۶، بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه شمال‌غرب یزد ایفا کرده است؛ بنابراین با گسترش پدیده بیابان‌زایی و تأثیرگذاری زیاد معیار خاک، اجرای عملیات اصلاحی و احیایی در منطقه ضروری است. نتایج پژوهش نه‌تنها شدت بیابان‌زایی بلکه پتانسیل و حساسیت منطقه را نسبت به پدیده بیابان‌زایی نشان می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان خروج از کارکرد طبیعی سیستم اطلاق شود.

واژه‌های کلیدی: تخریب اراضی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل IMDPA، معیارها و شاخص، وضعیت بیابان‌زایی

۱. گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲. گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۳. گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vali@kashanu.ac.ir

مقدمه

گرمایش جهانی، توسعه اقتصادی و رشد جمعیت ناشی از فرایندهای تخریب زمین در بزرگ‌مقیاس، سبب بیابان‌زایی می‌شود (۳، ۵ و ۸). بیابان‌زایی یک سیستم پویا و پیچیده تخریب زمین است (۲، ۲۶ و ۳۰) که اغلب در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب در اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود (۷ و ۲۳).

بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از جدی‌ترین مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی – اقتصادی در مقیاس جهانی در نظر گرفته می‌شود و توجه جهانی را به خود جلب کرده است (۲۵ و ۲۷). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد، حدود ۳.۶ میلیارد هکتار از اراضی جهان دچار بیابان‌زایی شده است که نزدیک به ۳۰ درصد از کل مساحت جهان را تشکیل می‌دهد (۲). فرایند بیابان‌زایی اکثر کشورهای جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این فرایند در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران از میزان زیادی برخوردار است؛ بنابراین در ایران بیابان‌زایی تهدیدی جدی است. زیرا از نگاه اقلیمی، ٪۵۵ از اراضی کشور جزء مناطق بیابانی به‌حساب می‌آید (۱۸). بیابان‌زایی نه‌تنها تخریب محیط زیست را تسریع می‌کند، بلکه عرضه دائمی بهره‌وری کشاورزی را کاهش می‌دهد و حتی شدت و فراوانی خشکسالی، فقر، خشونت و ناآرامی‌های سیاسی را افزایش می‌دهد و تهدیدی جدی برای رفاه انسان و توسعه پایدار است (۱، ۲۱ و ۲۲).

ارزیابی کمی فرایند بیابان‌زایی در مقیاس ملی و جهانی به‌منظور پیشگیری و کنترل بیابان‌زایی و جلوگیری از تخریب اراضی اهمیت دارد (۶ و ۱۴). در حال حاضر استاندارد یکپارچه و معتبری برای پایش بیابان‌زایی در داخل و خارج از کشور وجود ندارد (۲۴) و بررسی و ارزیابی پیامدهای ناشی از آن در مناطق مختلف با استفاده از مدل‌ها، معیارها و شاخص‌هایی انجام می‌گیرد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل فائو یونپ (۱۹۸۴)، مدل طبقه‌بندی بسط‌یافته بیابان‌زایی در ایران، مدل مدالوس، مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (Iranian Model of Desertification (IMDPA Potential Assessment و مدل آکادمی علوم ترکمنستان اشاره کرد (۱۳).

برای پدیده بیابان‌زایی، مطالعات علمی و ارزیابی‌های متنوعی در نقاط مختلف جهان و ایران صورت‌گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: هاشمی و همکاران (۱۲) به‌منظور بررسی شدت بیابان‌زایی زهک سیستان از مدل IMDPA استفاده کردند و معیارهای فرسایش بادی، اقلیم، خاک و پوشش گیاهی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از تأثیر زیاد معیار اقلیم با ارزش عددی ۳/۸۸ در شدت بیابان‌زایی منطقه بود. همچنین ٪۳۶/۴ منطقه در کلاس متوسط و ٪۶۳/۶ دیگر در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. در نهایت کل منطقه پژوهشی با امتیاز عددی ۲/۷۴، نشان‌دهنده آهنگ شدید بیابان‌زایی است. ممبنی و همکاران (۱۹) در پژوهشی با استفاده از سه معیار آب، خاک و اقلیم در مدل IMDPA، به ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت عباس پرداختند. یافته‌های حاصل نشان داد، بیشترین وسعت منطقه بر اساس معیار اقلیم، آب و خاک به‌ترتیب در کلاس‌های شدید، کم و متوسط قرار دارد. همچنین میانگین هندسی به‌دست آمده از هر سه معیار، بیانگر قرارگرفتن منطقه در کلاس بیابان‌زایی متوسط است. از تأثیرپذیرترین معیارها در ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت عباس، معیار اقلیم با امتیاز عددی ۲/۶۱ است. ذوالفقاری و خسروی (۳۱) از مدل IMDPA با تأکید بر چهار معیار اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی در بررسی بیابان‌زایی منطقه سراوان استفاده کردند و به نتایجی مبنی بر تأثیر زیاد معیار اقلیم (۳/۱) و تأثیر کم معیار خاک (۲/۳۵) در بیابان‌زایی منطقه دست یافتند. همچنین معیار پوشش گیاهی و فرسایش بادی، کلاس بیابان‌زایی شدید را در منطقه نشان دادند. در مجموع بیش از ٪۹۰ منطقه سراوان بر اساس درجه بیابان‌زایی مدل IMDPA، در کلاس متوسط و شدید قرار گرفته است. خانی بندانی و همکاران (۱۷) در پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی جنوب‌شرق زاهدان از مدل IMDPA استفاده کردند و معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی را مورد ارزیابی قرار

دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ٪۶۱/۶۹ منطقه پژوهشی در کلاس بیابان‌زایی شدید قرار گرفته است. در میان معیارهای مورد بررسی، معیار اقلیم با امتیاز ۳/۲۵، از مؤثرترین عوامل در بیابان‌زایی منطقه است. سپس معیارهای خاک (امتیاز ۳/۰۹)، پوشش گیاهی و فرسایش بادی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. کمالی مسکونی و همکاران (۱۵)، پتانسیل بیابان‌زایی حوزه فاریاب استان کرمان را با استفاده از مدل IMDPA و با تأکید بر معیارهای خاک و پوشش گیاهی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، ۱۴/۵۳، ۳۳/۶۹ و ۵۱/۷۸ درصد از منطقه مطالعاتی به‌ترتیب در کلاس‌های کم، متوسط و شدید از نظر شدت بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند و مؤثرترین شاخص در بیابان‌زایی منطقه متعلق به شاخص تجدید از معیار پوشش گیاهی است. زهتابیان و همکاران (۲۹) به‌منظور تهیه اطلس بیابان‌زایی ایران از مدل IMDPA استفاده کردند و به نتایجی مبنی بر قرارگرفتن بیش از ٪۸۸/۷۳ از مساحت کشور تحت پدیده بیابان‌زایی دست یافتند و بیشترین و کمترین سطح کشور به‌ترتیب در کلاس‌های متوسط و شدید بیابان‌زایی قرار دارند. محمدی و طویلی (۲۰) شدت بیابان‌زایی خراسان جنوبی را با استفاده از مدل IMDPA و معیارهای آب، خاک، پوشش گیاهی و اقلیم ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، معیارهای پوشش گیاهی و اقلیم به‌ترتیب با امتیاز ۲/۸ و ۲/۶، از مؤثرترین معیارها در افزایش شدت بیابان‌زایی منطقه پژوهشی هستند. سپس معیارهای آب و خاک با قرارگرفتن در کلاس متوسط و کم در رتبه‌های بعدی، بیابان‌زایی منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. کل منطقه با امتیاز ۲/۲، در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار دارد. کرامت‌زاده و همکاران (۱۶)، در بررسی آهنگ بیابان‌زایی جنوب‌شرق اهواز با توجه به شرایط منطقه از مدل ایرانی IMDPA و با تأکید بر دو معیار پوشش‌گیاهی و اقلیم استفاده کردند. نتایج بیانگر تأثیرگذاری بیشتر معیار پوشش‌گیاهی نسبت به معیار اقلیم در بیابان‌زایی منطقه بود. همچنین کلاس شدت بیابان‌زایی منطقه بر اساس هر دو معیار با ارزش عددی ۱/۹۹، متوسط تعیین شد. جیوردانو و همکاران (۱۱) از پروژه مدالوس و مدل ESA در شناسایی مناطق مستعد و حساس به بیابان‌زایی در منطقه سیسیلی ایتالیا استفاده کردند و چهار شاخص اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و مدیریت را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، ٪۶/۹ از مساحت منطقه نسبت به بیابان‌زایی بسیار حساس، ٪۴۶/۵ متوسط، ٪۳۲/۵ کم و تنها ٪۷/۲ غیرحساس است. آرامی و اونق (۴) با بررسی خطر و ریسک بیابان‌زایی در منطقه آق‌بند استان گلستان بر اساس مدل IMDPA، نشان دادند معیارهای خاک و پوشش گیاهی به‌ترتیب با ارزش عددی ۲/۶۷ و ۲/۵۴، بیابان‌زایی منطقه را شدید و سایر معیارها، بیابان‌زایی منطقه را متوسط توصیف کرده است و همچنین کل منطقه با میانگین امتیاز بیابان‌زایی ۲/۰۳ در کلاس متوسط قرار دارد. ابوزید و عبداللطیف (۱) به ارزیابی بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس اصلاح‌شده و روش ESAs با تجزیه و تحلیل پنج شاخص اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، مدیریت و فرسایش در منطقه شمال دلتای نیل در مصر پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ٪۷۲ از منطقه به‌عنوان حساس به بیابان‌زایی مشخص شد که از این میزان، ٪۷۰ کلاس بسیار بحرانی و ٪۲ کلاس نیمه‌بحرانی را شامل می‌شوند.

برای ارزیابی و پهنه‌بندی بیابان‌زایی، تحقیقات علمی متنوعی در نقاط مختلف جهان و ایران صورت‌گرفته است و مدل‌های متعددی ارائه شده است. هریک از این مدل‌ها برای منطقهٔ خاصی بر اساس موقعیت و وضعیت اقلیمی ارائه شده‌اند. در این پژوهش، باتوجه‌به قرارگرفتن شهرستان اشکذر در بخشی از دشت یزد - اردکان که از اقلیم گرم و خشک برخوردار است، به دلیل خشکسالی‌های پیاپی، فقر پوشش گیاهی، بادخیز بودن منطقه و تأثیر زیاد فرسایش بادی در حرکت ماسه‌های روان، بیابان‌زایی آهنگی افزایشی به خود گرفته است؛ بنابراین شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در آهنگ بیابان‌زایی منطقه، تعیین شدت فعلی بیابان‌زایی و شناسایی مناطق با بیشترین آسیب‌پذیری نسبت به بیابان‌زایی ضروری است. هدف این پژوهش، ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در منطقه شمال‌غرب یزد با استفاده از مدل ایرانی

ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) به‌منظور شناخت و برنامه‌ریزی صحیح مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه پژوهشی

منطقه مورد پژوهش، شهرستان اشکذر واقع در ۲۰ کیلومتری شمال‌غربی استان یزد با مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۳ درجه، ۴۱ دقیقه و ۳۱ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۲۶ دقیقه و ۴۱ ثانیه و عرض شمالی ۳۱ درجه، ۴۵ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۳۲ درجه، ۱۲ دقیقه و ۵۹ ثانیه است. این منطقه شامل دو بخش اشکذر و خضرآباد و در مجموع به مساحت ۱۹۰۵/۸۱ کیلومترمربع است. داده‌های اقلیمی موردنیاز برای این پژوهش علاوه بر ایستگاه‌های داخل منطقه پژوهشی (اشکذر و خضرآباد)، از سه ایستگاه دیگر که از نظر موقعیت جغرافیایی به منطقه نزدیک‌تر بودند، از اداره هواشناسی یزد تهیه شد. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در جدول ۱ و موقعیت منطقه پژوهشی و ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

روش انجام پژوهش

در این پژوهش برای ارزیابی بیابان‌زایی و تهیه نقشه مناطق مستعد بیابان‌زایی در شهرستان اشکذر، از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) استفاده شد. اساس کار در این مدل، نقشه واحدهای کاری (رخساره‌های ژئومورفولوژی) است که در مطالعات منابع طبیعی نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در تهیه نقشه واحدکاری، ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی و نرم‌افزار ArcGIS10.3 نقشه شیب تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه زمین‌شناسی استان یزد در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه‌شده از سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی منطقه پژوهشی تهیه شد. در نهایت از تلفیق این نقشه‌ها و مراجعات میدانی و استفاده از تصاویر GoogleEarth، نقشه واحدهای کاری موجود در منطقه با کاربری‌های مختلف به‌دست آمد. سپس به‌منظور استفاده از مدل IMDPA و ترسیم نقشه بیابان‌زایی در منطقه مورد پژوهش باتوجه‌به شرایط منطقه سه معیار خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی به‌عنوان معیارهای کلیدی بیابان‌زایی در نظر گرفته شد که هر کدام از این معیارها خود دارای شاخص‌هایی هستند (جدول ۲).

در ابتدا به‌منظور تهیهٔ نقشه بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA، نقشه هریک از شاخص‌ها بر اساس جدول ۲ تهیه شد. به این صورت که داده‌های شاخص‌ها بر اساس وضعیت کیفی خود، امتیازی بین ۰ تا ۴ گرفتند، به‌طوریکه به بهترین وضعیت عدد صفر و به بدترین حالت، عدد ۴ تعلق گرفت. سپس با گرفتن میانگین هندسی از شاخص‌های هر معیار، وضعیت آن معیار به‌دست آمد و با گرفتن میانگین هندسی از سه معیار خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی، وضعیت نهایی بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA در سیستم اطلاعات جغرافیایی Geographic Information System (GIS) به‌دست آمد.

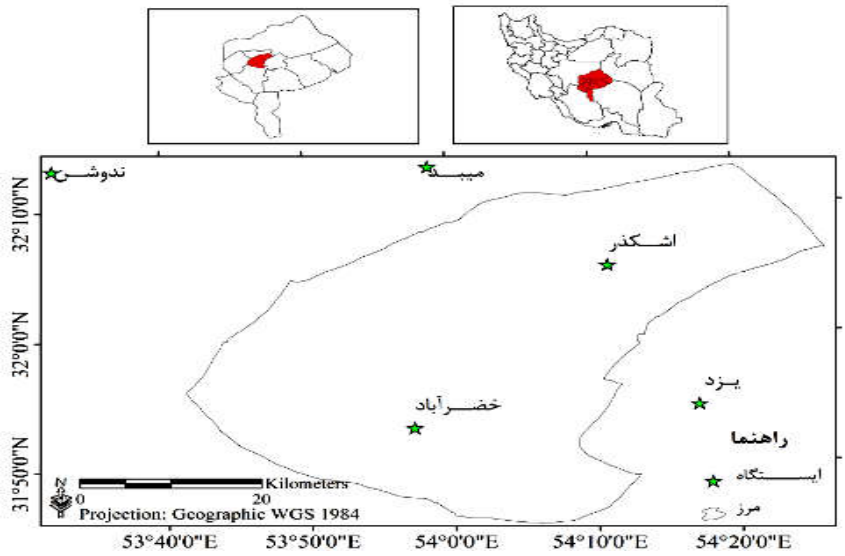
برای نمونه، ارزیابی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، اطلاعات پروفیل خاک در بخش‌های مختلف منطقه پژوهشی از اداره منابع طبیعی استان یزد (۱۰) دریافت شد. مشخصات خاک منطقه پژوهشی شامل بافت، عمق، هدایت الکتریکی (EC)، درصد سنگریزه سطحی و عمقی است. به‌منظور تهیه نقشه معیار خاک از شاخص‌های ذکرشده بر اساس جدول ۲ استفاده شد و میانگین هندسی این معیار طبق رابطه (۱) محاسبه شد (۹ و ۲۸).

معیار خاک = (هدایت الکتریکی × بافت خاک × عمق خاک × ٪ سنگریزه عمقی)$^{1/4}$ (۱)

در ارزیابی معیار پوشش گیاهی منطقه سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی، بهره‌برداری از پوشش گیاهی و تجدید پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفتند (۹ و ۲۸). در ارزیابی شاخص وضعیت پوشش گیاهی، ابتدا گزارش‌های موجود در اداره منابع طبیعی استان یزد جمع‌آوری و مطالعه شد. سپس از طریق بازدید میدانی و مذاکره با کارشناسان جنگل و مرتع اداره منابع طبیعی شهرستان اشکذر، اطلاعات لازم در رابطه با مقادیر

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های هواشناسی

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	میانگین دما(°C)	بارندگی سالانه (mm)
۱	یزد	۵۴° ۱۷' ۳۹"	۳۱° ۵۴' ۲۷"	۱۲۳۷	۲۰/۷۲	۴۷/۵۸
۲	اشکذر	۵۴° ۱۱' ۲۳"	۳۲° ۰۵' ۳۸"	۱۱۴۰	۱۹/۶۶	۴۸/۸۲
۳	خضرآباد	۵۳° ۵۷' ۵۳"	۳۱° ۵۳' ۰۳"	۱۷۳۲	۱۸/۵۷	۹۳/۸۲
۴	میبد	۵۳° ۵۸' ۵۲"	۳۲° ۱۳' ۱۰"	۱۱۱۶	۱۹/۶۶	۵۲/۳۱
۵	ندوشن	۵۳° ۳۲' ۵۰"	۳۲° ۱۳' ۲۷"	۱۹۹۴	۱۴/۸۵	۸۱/۳۷



شکل ۱. موقعیت منطقه پژوهشی در کشور و استان یزد

گونه‌های مهاجم و یک‌ساله، درصد تاج پوشش تهیه شد و بر اساس آن مقادیر و مطابق جدول ۲، شاخص وضعیت پوشش گیاهی برای کل واحدهای کاری موجود در منطقه محاسبه شد. ارزیابی دو شاخص دیگر علاوه بر بازدید میدانی، طی مذاکره با کارشناسان اداره بیابان‌زدایی و مرتع منابع طبیعی استان یزد و کارشناس جنگل و مرتع اداره منابع طبیعی شهرستان اشکذر انجام شده است و براین‌اساس، میزان ظرفیت چرا با تعداد دام موجود در منطقه سنجیده شد و شیوه تجدید حیات گونه‌های مرتعی با ضرورت داشتن عملیات اصلاحی از طریق خصوصیات پوشش گیاهی (مانند ترکیب گیاهی و وضعیت مرتع) بررسی شد و مطابق جدول ۲، امتیازدهی صورت گرفت. در نهایت نقشه معیار پوشش گیاهی از میانگین هندسی شاخص‌های مذکور مطابق رابطه ۲ به‌دست آمد (۹ و ۲۸):

معیار پوشش گیاهی = (وضعیت پوشش × پوشش از بهره‌برداری)$^{1/3}$ × تجدید پوشش گیاهی (۲)

به‌منظور ارزیابی معیار فرسایش بادی در بیابان‌زایی منطقه پژوهشی از شاخص‌های شدت فرسایش بادی، تراکم پوشش غیرزنده، درصد پوشش گیاهی و تعداد روزهای طوفانی با شاخص گردوخاک استفاده شده است (جدول ۲). در امتیازدهی به شاخص شدت فرسایش (رخساره‌های فرسایشی) از نقشه واحدهای کاری و تفسیر بصری رخساره‌های فرسایشی و در نهایت تخمین مقدار فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد. اطلاعات تراکم پوشش غیرزنده (درصد سنگریزه سطحی) از داده‌های پروفیل خاک تهیه شده

جدول ۲. طبقه‌بندی و امتیاز شاخص‌های معیارخاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی در مدل IMDPA (۹ و ۲۸)

معیار	شاخص	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
		امتیاز	۱	۲	۳	۴
خاک	عمق خاک(cm)		>۸۰	۸۰-۵۰	۵۰-۲۰	<۲۰
	هدایت الکتریکی (ds/m)		<۵	۸-۵	۱۶-۹	>۱۶
	بافت خاک		رسی و لومی رسی	لوم ریز	لوم درشت	شنی و لومی شنی
	٪ سنگ‌ریزه عمقی		<۱۵	۳۵-۱۵	۷۵-۳۷	>۷۵
پوشش گیاهی	وضعیت پوشش گیاهی		گونه‌های مهاجم کمتر از ۵ درصد ترکیب و کمتر از ۲۵درصد ترکیب گونه‌های یک‌ساله	گونه‌های مهاجم بین ۲۰-۵ درصد ترکیب و ۵۰-۲۵ درصد ترکیب گونه‌های یک‌ساله	گونه‌های مهاجم بین ۵۰-۲۰ درصد ترکیب و اکثر پوشش گیاهی از گونه‌های یک‌ساله	گونه‌های مهاجم بیش از ۵۰ درصد ترکیب و پوشش گیاهی منطقه از گیاهان یک‌ساله
			درصد پوشش تاج دائمی بیش از ۴۰	درصد پوشش تاج دائمی بین ۴۰- ۱۵	درصد پوشش تاج دائمی بین ۱۵- ۵	درصد پوشش تاج دائمی کمتر از ۵
	بهره‌برداری از پوشش گیاهی		آثار بوته‌کنی مشاهده نمی‌شود	قطع بوته‌ها و درختچه‌ها نسبتاً زیاد	قطع بوته‌ها و درختچه‌ها زیاد و کاملاً محسوس	قطع بی‌رویه بوته‌ها و درختچه‌ها در حال حاضر و گذشته نه‌چندان دور
			چرای متعادل و کمتر از ظرفیت در فصل مناسب	مازاد دام تا ۲۵ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام بین ۲۵- ۵۰ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام بیش از ۵۰ درصد ظرفیت چرا
	تجدید پوشش گیاهی		تجدید حیات به طور طبیعی	تجدید حیات با هزینه کم	تجدید حیات با هزینه زیاد	تجدید حیات بسیار مشکل و غیرقابل‌توجیه اکولوژیکی - اقتصادی
			نیازی به عملیات اصلاحی نیست	عملیات اصلاحی تاکنون مؤثر نبوده	عملیات اصلاحی انجام شده نسبتاً موفق	عملیات اصلاحی تاکنون موفق نبوده
فرسایش بادی	ظهور رخساره فرسایشی		بدون آثار فرسایش بادی و آشفتگی در سطح خاک	دارای آثار بادبردگی محدود در سطح خاک، سطوح شلجمی شکل پراکنده و تشکیل سنگفرش بیابان متراکم	پهنه‌های ماسه‌ای، کلوتک پراکنده شلجمی متراکم و تشکیل سنگفرش کم‌تراکم	تپه‌های ماسه‌ای فعال، کلوتک‌های متراکم و نزدیک به هم
	٪ سنگ‌ریزه سطحی		>۸۰	۸۰ -۴۰	۴۰ -۲۰	<۲۰
	٪ پوشش گیاهی		>۴۰	۴۰ -۲۰	۲۰ -۱۰	<۱۰
	تعداد روزها با شاخص طوفانی گردوخاک		<۱۰	۳۰- ۱۰	۶۰ -۳۰	>۶۰

از اداره منابع طبیعی استان یزد، اطلاعات پوشش زنده (گیاهی) از طریق تصاویر ماهواره‌ای مودیس (MOD13Q1) و محاسبه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و تعداد روزهای طوفانی با شاخص گردوخاک از طریق داده‌های اداره هواشناسی استان یزد برای ۵ ایستگاه مطالعاتی (جدول ۱) دریافت و استخراج شده است. در نهایت نقشه معیار فرسایش بادی از میانگین هندسی شاخص‌های آن بر اساس رابطه ۳ به‌دست آمد (۹ و ۲۸):

تراکم پوشش غیرزنده × شدت فرسایش) = معیار فرسایش بادی
(۳) $^{1/4}$(روزهای طوفانی گردوخاک× ٪ پوشش زنده ×

در نهایت پس از محاسبه امتیاز سه معیار خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی، با استفاده از رابطه ۴ و میانگین هندسی معیارهای انتخابی، ارزش عددی شدت بیابان‌زایی مطابق جدول ۳ برای منطقه پژوهشی محاسبه شد و نقشه نهایی وضعیت بیابان‌زایی منطقه پژوهشی در محیط ArcGIS10.3 به‌دست آمد (۹).

$$DM = \left[\prod_{i=1}^{3} Q_i\right]^{1/3} = (SQI \times VQI \times WQI)^{1/3} \qquad (۴)$$

که در آن؛ DM : شدت نهایی بیابان‌زایی با مدل IMDPA، SQI: میانگین معیار خاک، VQI: میانگین معیار پوشش گیاهی و WQI: میانگین معیار فرسایش بادی است. Qi: معیار کیفیت است که در آن i از یک تا ۳ تغییر می‌کند.

نتایج

واحدهای کاری: با تلفیق نقشه‌ها و تفسیر بصری، نقشه واحدهای کاری منطقه پژوهشی در ۱۲ واحد تهیه شد (شکل ۲). بر اساس شکل ۲، واحدهای کاری فلات‌ها و تراس‌های فوقانی و تپه به‌ترتیب با مساحت ۶۰۰/۲۳ و ۱۱/۰۶ کیلومترمربع، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین واحد و رخساره ژئومورفولوژی را در منطقه شامل می‌شوند. قابل ذکر است، واحدهای کاری توده سنگی و مناطق مسکونی به دلیل وسعت کم اراضی در ارزیابی بیابان‌زایی، لحاظ نشده و امتیاز صفر برای این واحدها در نقشه بیابان‌زایی لحاظ شده است.

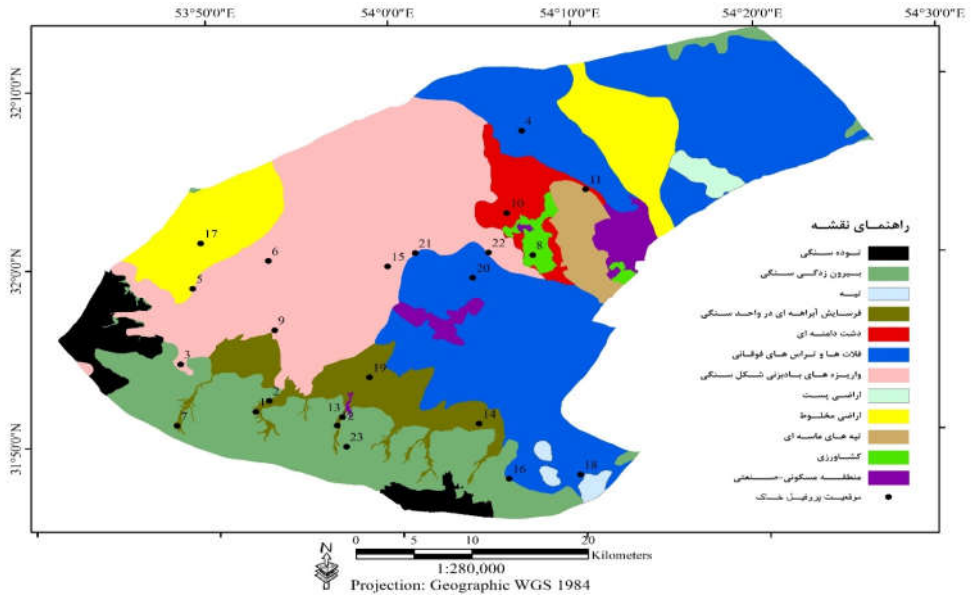
معیار خاک: برای ارزیابی شاخص‌های معیار خاک از اطلاعات پروفیل خاک بخش‌های مختلف منطقه پژوهشی تهیه شده از اداره منابع طبیعی استان یزد استفاده شد که موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. خوشبختانه حداقل یک پروفیل در هر واحدکاری وجود داشت و اطلاعات خاک آن در همان محل اندازه‌گیری و ثبت شده بود. جدول ۴ پارامترهای مختلف خاک در محل پروفیل‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از این پروفیل‌ها، بافت خاک منطقه پژوهشی به طور عمده لومی شنی است که در عمق صفر تا ۳۵ سانتی‌متری، با هدایت الکتریکی ۰/۵۳ تا بیشتر از ۱۱۲/۷ (ds/m) و درصد سنگریزه عمقی صفر تا ٪۶۸ متغیر است.

پس از بررسی پارامترهای خاک، اقدام به امتیازدهی مطابق جدول ۲ و تهیه نقشه‌های چهار شاخص این معیار شد (شکل ۳). بر اساس نقشه شاخص بافت خاک، قسمت‌های شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی منطقه بیشترین امتیاز این شاخص را شامل می‌شوند. نقشه عمق خاک بیشترین امتیاز را در قسمت‌های جنوب تا جنوب‌غربی و مرکز به خود اختصاص داده است که این مناطق متعلق به واحد کاری بیرون‌زدگی سنگی و تپه‌های ماسه‌ای است. نقشه رتبه‌بندی شاخص هدایت الکتریکی، نشان‌دهنده امتیاز یکسان (۳/۹۵) بیش از نیمی از واحدهای کاری منطقه پژوهشی است و واحدکاری اراضی کشاورزی کمترین امتیاز این شاخص را به خود اختصاص داده است. نقشه شاخص درصد سنگریزه عمقی نیز بیانگر این است که به‌ترتیب واحدهای کاری تپه‌های ماسه‌ای، فرسایش آبراهه‌ای در کوهستان و اراضی مخلوط، بیشترین امتیاز بیابان‌زایی را در برگرفته‌اند. در نهایت متوسط وزنی و امتیاز نهایی شاخص‌های معیار خاک در ارزیابی بیابان‌زایی منطقه پژوهشی در جدول ۵، ذکر شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، منطقه بر اساس شاخص‌های بافت خاک و هدایت الکتریکی در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته‌است.

معیار پوشش گیاهی: بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از طریق بازدید میدانی و مذاکره با کارشناسان جنگل و مرتع اداره منابع طبیعی استان یزد و شهرستان اشکذر، گونه گیاهی غالب در

جدول۳. تعیین کلاس‌های شدت بیابان‌زایی برحسب ارزش عددی معیارها در مدل IMDPA (۹ و ۲۸)

ردیف	دامنه ارزش عددی	وضعیت کیفی بیابان‌زایی	کلاس بیابان‌زایی
۱	۱-۱/۵	کم و ناچیز	I
۲	۱/۶ -۲/۵	متوسط	II
۳	۲/۶ -۳/۵	شدید	III
۴	۳/۶ -۴	خیلی شدید	IV



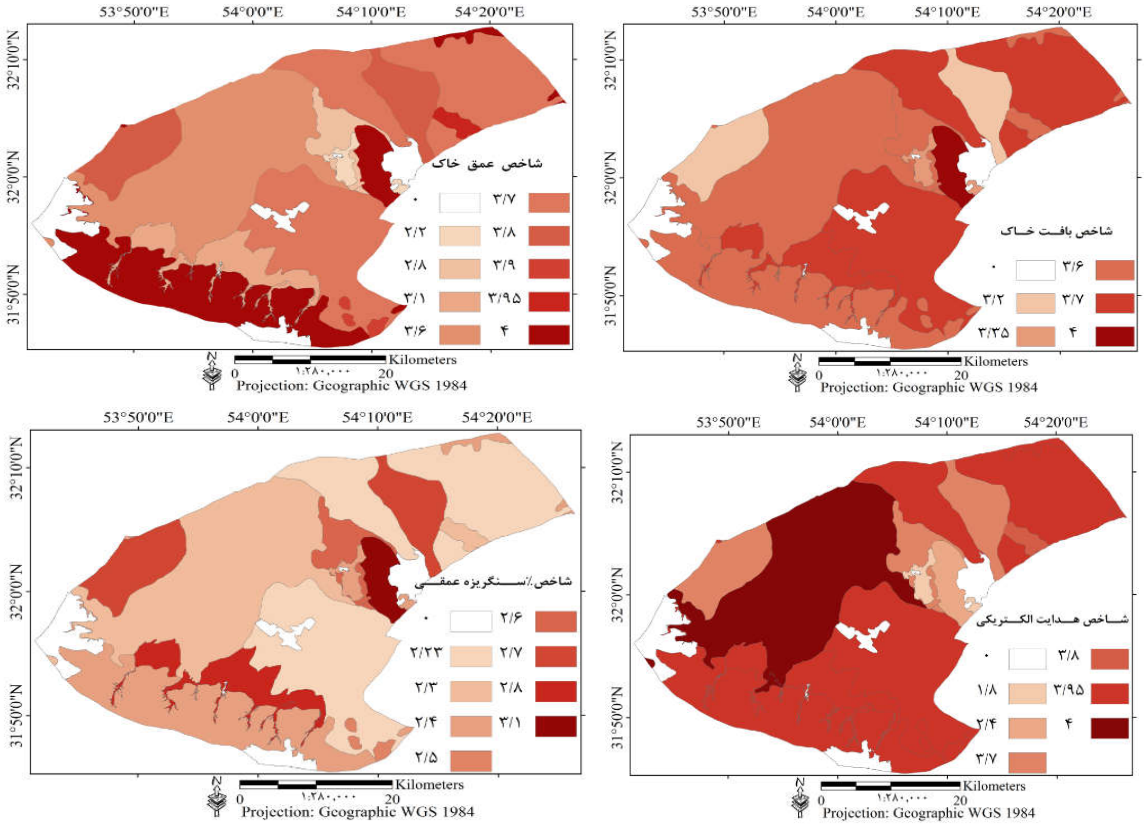
شکل ۲. نقشه واحدکاری در منطقه پژوهشی

جدول ۴. مشخصات پروفیل‌های خاک برداشت‌شده در منطقه پژوهشی (۱۰)

پروفیل	بافت	عمق	EC (ds/m)	سنگریزه سطحی (٪)	سنگریزه عمقی (٪)
۱	لوم	۳۰	۰/۷۵	۶۰	۳۹
۲	لومی شنی	۱۳	۰/۹۰	۴۰	۶۲/۵
۳	لوم	۱۳	۱/۲۵	۳۵	۴۵
۴	لومی شنی	۲۰	۴	۲۰	۶۰
۵	لوم	۲۵	۹۹/۱۴	۴۰	۶۰
۶	لومی شنی	۱۵	۰/۹۱	۴۳	۵۵
۷	لومی شنی	۱۵	۰/۸۵	۴۰	۶۰
۸	لومی شنی	۳۵	۰/۶۱	۳۸	۵۰
۹	لومی شنی	۲۰	۲۱/۷	۴۰	۵۸
۱۰	لومی شنی	۲۵	۱/۱۷	۴۰	۶۰
۱۱	لومی شنی	تقریبا فاقد خاک	۱/۲	۴۰	۵۸/۹

جدول ۴. مشخصات پروفیل‌های خاک برداشت‌شده در منطقه پژوهشی (۱۰) (ادامه)

پروفیل	بافت	عمق	EC (ds/m)	سنگریزه سطحی (٪)	سنگریزه عمقی (٪)
۱۲	لومی شنی	۳۰	۰/۵۳	.۳۰	۴۰
۱۳	لومی شنی	۲۰	۰/۵۴	۳۵	۵۵
۱۴	لومی	۱۰	۰/۶	۳۵	۴۰
۱۵	لومی شنی	۱۰	۰/۵۵	۴۵	۵۵
۱۶	لومی شنی	۱۵	۰/۹۷	۲۴	۶۸
۱۷	لومی	۱۰	۰/۸	۵۵	۴۷/۵
۱۸	لومی شنی	۱۳	۱/۳۷	۴۵	۵۳
۱۹	شنی لومی	۱۰	۰/۹۹	۴۵	۵۵
۲۰	شنی لومی	۱۵	۳۵/۷	No	No
۲۱	لوم رسی شنی	۱۵	۱۱۲/۷<	No	No
۲۱	لومی سیلتی	۱۰	۷۳/۰۷	No	No
۲۲	لومی شنی	تقریبا فاقد خاک	۱۴/۵۸	۷۲	۲۹



شکل ۳. نقشه کلاس بیابان‌زایی شاخص‌های معیار خاک. الف) شاخص عمق خاک، ب) شاخص بافت خاک، ج) شاخص درصد سنگریزه عمقی و د) شاخص هدایت الکتریکی خاک

جدول ۵ امتیاز نهایی شاخص ها و معیارهای مورد بررسی در ارزیابی بیابانزایی منطقه پژوهشی

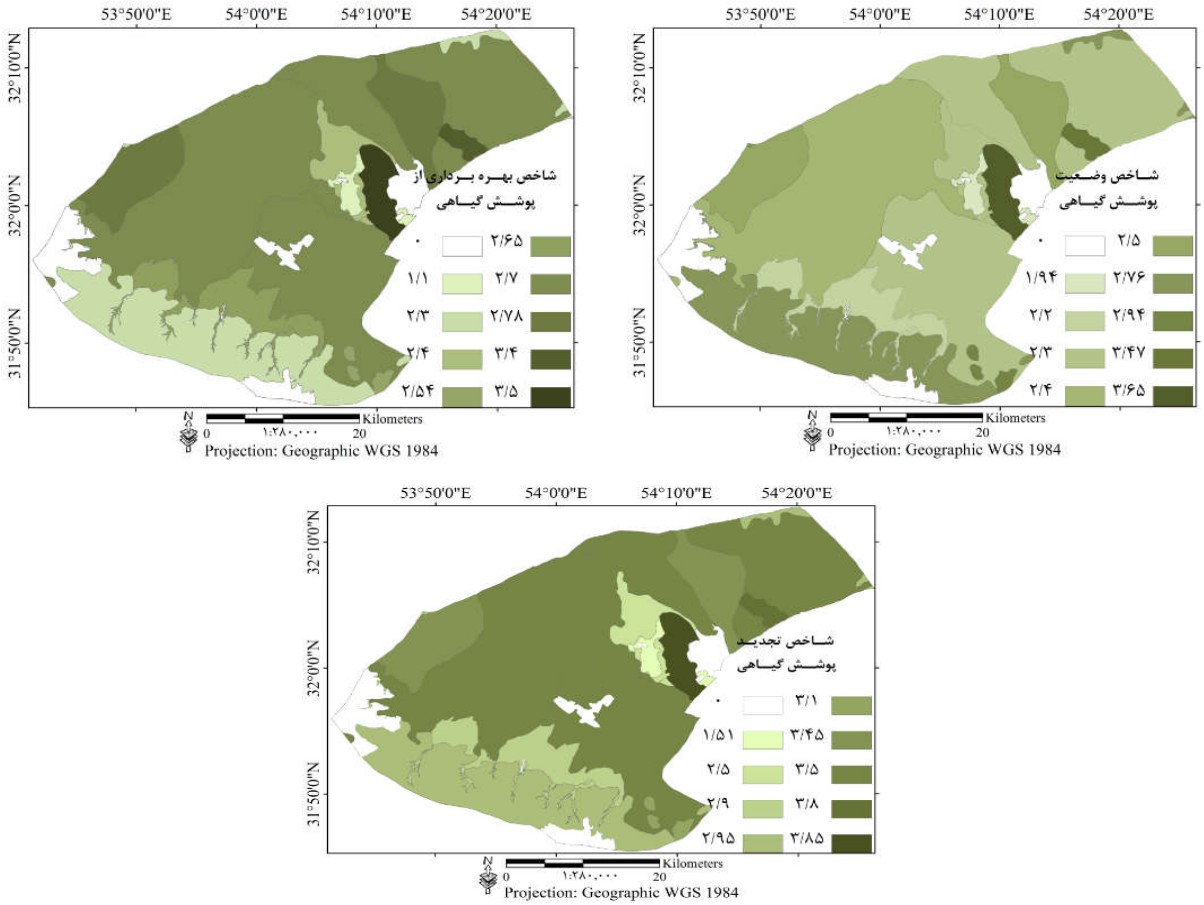
شاخص	عمق	بافت	EC	٪ سنگریزه عمقی	وضعیت پوشش گیاهی	بهره‌برداری از پوشش گیاهی	تجدید پوشش گیاهی	شدت فرسایش	٪ سنگریزه سطحی	٪ پوشش زنده	تعداد روزهای طوفانی
متوسط وزنی شاخص	۳/۵۰	۳/۶۰	۳/۵۵	۲/۵۳	۲/۶۵	۲/۶۱	۳/۱۱	۲/۸۱	۲/۵۵	۳/۴۳	۳/۸
وضعیت کمی بیابانزایی	شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	متوسط	شدید	شدید	شدید	شدید	متوسط	شدید	خیلی شدید
وضعیت کیفی بیابانزایی	III	IV	IV	II	III	III	III	III	II	III	IV
معیار	کیفیت خاک				کیفیت پوشش گیاهی			کیفیت فرسایش بادی			
متوسط وزنی معیار	۳/۲۶				۲/۷۸			۳/۱۱			
وضعیت کمی بیابانزایی	شدید				شدید			شدید			
وضعیت کیفی بیابانزایی	III				III			III			

منطقه پژوهشی درمنه کوهی و دشتی، گون و کتیرا است. آثار دام، فشار و تعداد بیش از حد ظرفیت و توان تولیدی مراتع و چرای زودرس و دائمی از مراتع در منطقه پژوهشی نمایان است، بنابراین استفاده بی‌رویه سبب تخریب مراتع منطقه شده است، به‌گونه‌ای که تجدید حیات گونه‌های خوش‌خوراک و بومی را سلب کرده و گونه‌های مهاجم در منطقه جایگزین شده است. در نتیجه وضعیت مرتع در اغلب تیپ‌های گیاهی ضعیف و خیلی ضعیف است و ظرفیت بهره‌برداری از پوشش گیاهی کاهش یافته است. مطابق این نتایج، برای هریک از واحدهای کاری موجود در منطقه پژوهشی اطلاعات لازم جمع‌آوری شد و سپس امتیازدهی شاخص‌های پوشش گیاهی بر اساس روش IMDPA و جدول ۲ صورت گرفت. شکل ۴ نقشه شاخص‌های معیار پوشش گیاهی را در ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه مورد پژوهش نشان می‌دهد. هر سه نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهند، واحدکاری تپه‌های ماسه‌ای و اراضی کشاورزی به‌ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز را در بیابان‌زایی منطقه دارا هستند. در منطقه پژوهشی دامنه تغییرات شاخص وضعیت پوشش گیاهی از ۱/۹۴ تا ۳/۶۵، شاخص بهره‌برداری از پوشش گیاهی از ۱/۱ تا ۳/۵ و شاخص تجدید پوشش گیاهی از ۱/۵۱ تا ۳/۸۵ متغیر است. مطابق نتایج جدول ۵، در معیار پوشش گیاهی، شاخص وضعیت پوشش گیاهی بیشترین امتیاز را در بیابان‌زایی منطقه پژوهشی داراست. همچنین منطقه مطابق هر سه شاخص پوشش گیاهی، در کلاس شدید قرار گرفته است.

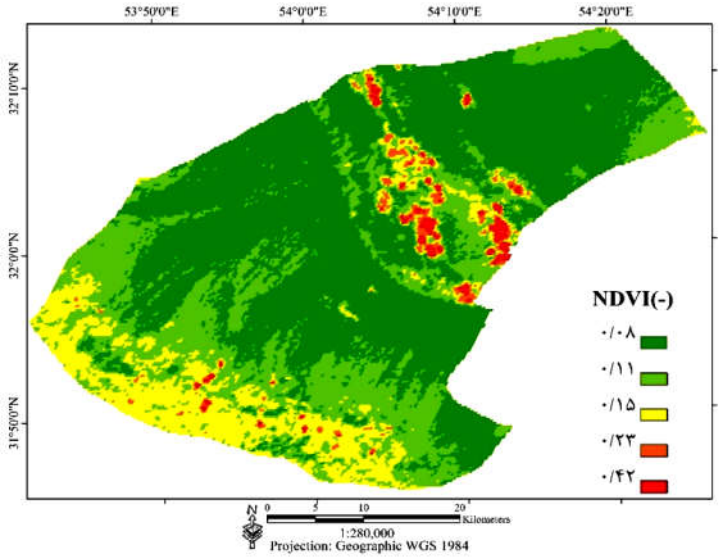
معیار فرسایش بادی: شکل ۵ نقشه میزان شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در منطقه پژوهشی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، بیشترین میزان NDVI در منطقه پژوهشی ۰/۴۲ است. از طریق این نقشه، درصد پوشش زنده در هریک از واحدهای کاری مشخص و مطابق جدول ۲ برای ارزیابی بیابان‌زایی امتیازدهی شد (شکل ۶ ج). تعداد روزهای طوفانی با شاخص گردوخاک از طریق داده‌های اداره هواشناسی استان یزد برای ۵ ایستگاه مطالعاتی دریافت شد و پس از تجزیه و تحلیل، با توجه به اینکه منطقه پژوهشی در عرض‌های بادخیز کشور قرار دارد، مقدار آن برای تمامی واحدهای کاری در حدود ۹۲ روز تعیین شده است.

نقشه کلاس بیابان‌زایی شاخص‌های معیار فرسایش بادی در شکل ۶ آورده شده است. در شکل ۶ الف، نقشه شدت فرسایش بادی دیده می‌شود که بیشترین امتیاز با ارزش عددی ۴، مربوط به واحدکاری تپه‌های ماسه‌ای واقع در مرکز و شرق منطقه پژوهشی و کمترین امتیاز، مربوط به واحدکاری بیرون‌زدگی سنگی واقع در جنوب تا غرب منطقه با ارزش عددی ۱/۷ است. دامنه تغییرات شاخص درصد سنگریزه سطحی در منطقه، بین ۱/۹ تا ۳/۷ است. در بررسی شاخص درصد پوشش گیاهی به غیر از واحدکاری اراضی کشاورزی (۱/۸۲)، سایر واحدها دارای ارزش عددی بیشتر از ۳ هستند که این نشان‌دهنده بیابان‌زایی شدید و وضعیت بسیار بد منطقه است. شاخص تعداد روزهای طوفانی گردوخاک نیز برای تمامی واحدهای کاری منطقه پژوهشی یکسان و ۳/۸ است. در نهایت متوسط وزنی و هندسی امتیازهای کمی شاخص‌های معیار فرسایش بادی در جدول ۵ نشان می‌دهد، در منطقه پژوهشی شاخص تعداد روزهای طوفانی گردوخاک با امتیاز عددی ۳/۸، مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی در منطقه است. بر اساس شاخص‌های شدت فرسایش و درصد پوشش زنده، منطقه در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است.

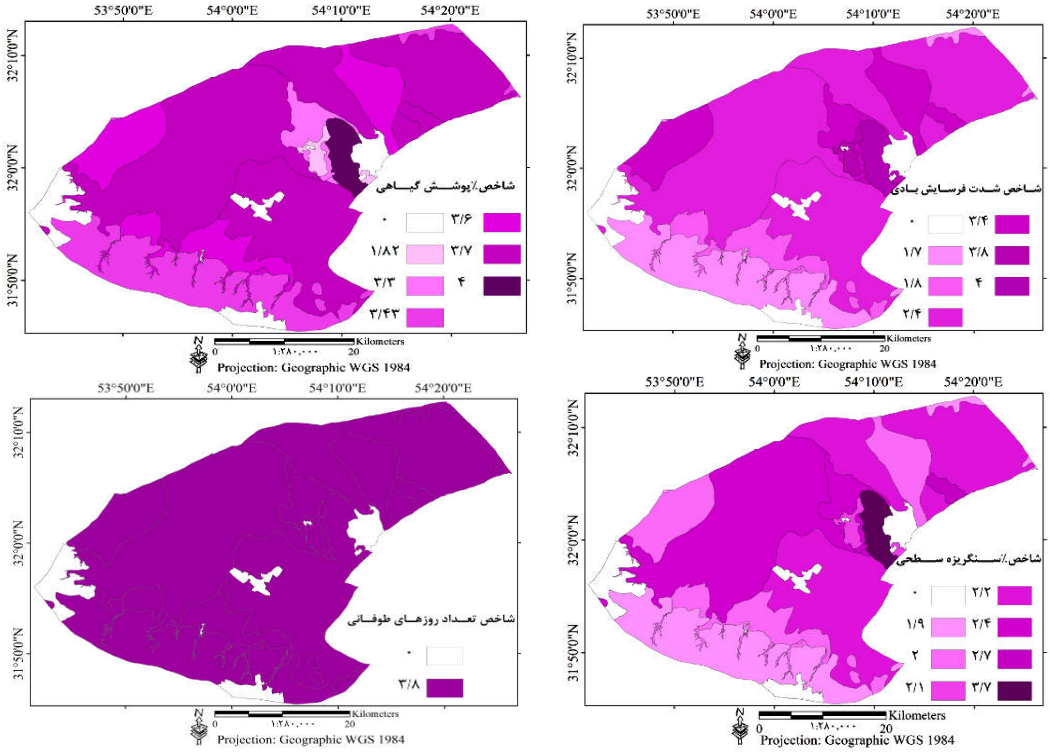
پس از برآورد امتیاز شاخص‌های مورد بررسی در ارزیابی بیابان‌زایی منطقه پژوهشی، امتیاز نهایی معیارهای مدل IMDPA در تمامی واحدهای کاری منطقه با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شده است. همچنین نقشه نهایی معیارها در شکل ۷ ترسیم و امتیاز نهایی معیارها برای کل منطقه پژوهشی در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، واحدکاری تپه‌های ماسه‌ای در معیارهای فرسایش بادی و پوشش گیاهی به‌ترتیب با امتیاز عددی ۳/۸۷ و ۳/۶۲، بیشترین شدت بیابان‌زایی منطقه را شامل شده است. بر اساس نتایج جدول ۵، معیار خاک با متوسط وزنی ۳/۲۶، بیشترین امتیاز را



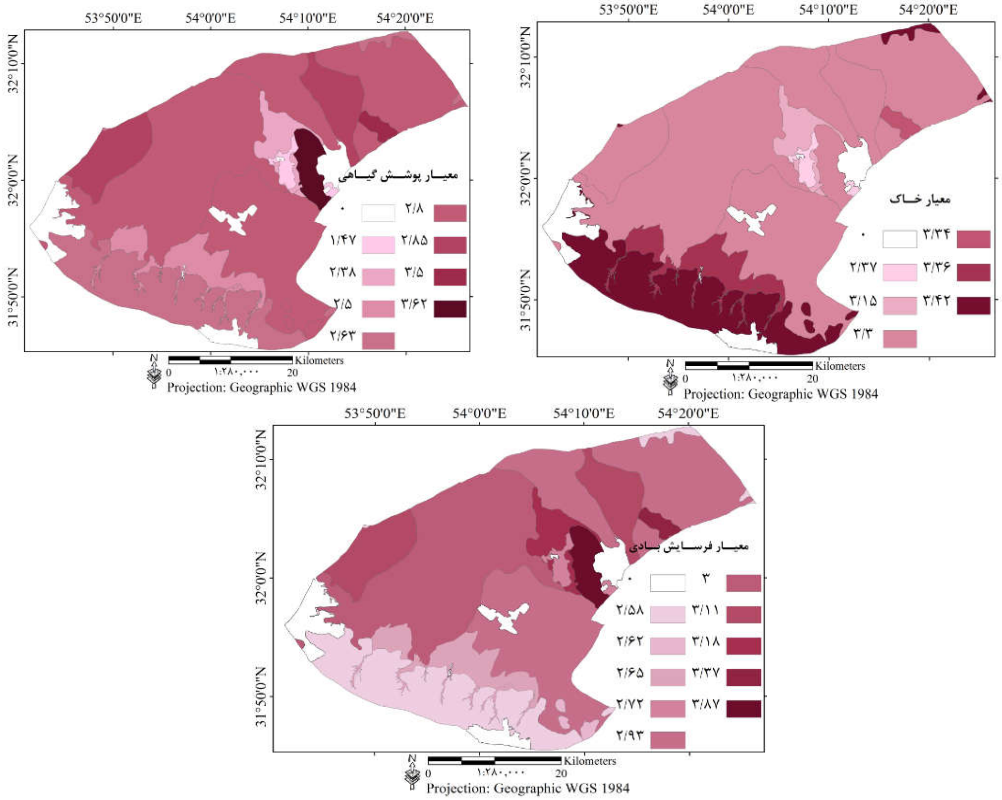
شکل ۴. نقشه کلاس بیابان‌زایی شاخص‌های معیار پوشش گیاهی. الف) شاخص وضعیت پوشش گیاهی، ب) شاخص بهره‌برداری از پوشش گیاهی و ج) تجدید پوشش گیاهی



شکل ۵. میزان شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) در منطقه پژوهشی



شکل ۶. نقشه کلاس بیابانزایی شاخص‌های معیار فرسایش بادی الف) شاخص شدت فرسایش بادی، ب) شاخص درصد سنگریزه سطحی، ج) شاخص درصد پوشش زنده و د) شاخص تعداد روزهای طوفانی



شکل ۷. نقشه وضعیت بیابانزایی الف) معیار خاک، ب) معیار پوشش گیاهی و ج: معیار فرسایش بادی

در بین معیارها به خود اختصاص داده است و همچنین بیشترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه پژوهشی ایفا می‌کند. سپس معیار فرسایش بادی با امتیاز عددی ۳/۱۱ قرار دارد. در نهایت معیار پوشش گیاهی با امتیاز عددی ۲/۷۸ قرار می‌گیرد که کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه پژوهشی دارد.

وضعیت نهایی شدت کمی و کیفی بیابان‌زایی هریک از واحدهای کاری منطقه پژوهشی از رابطه ۴ محاسبه و در شکل ۸ ترسیم شده است. تنها واحدکاری تپه‌های ماسه‌ای با امتیاز عددی ۳/۶۲، در کلاس خیلی شدید و واحدکاری اراضی کشاورزی با امتیاز عددی ۲/۱۲، در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند. کلاس کیفی بیابان‌زایی سایر واحدهای کاری منطقه، شدید تعیین شد.

در جدول ۶ طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی منطقه پژوهشی ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، حدود ۱ درصد منطقه پژوهشی در کلاس متوسط، ۹۲/۱۸ درصد در کلاس شدید و ۲/۳ درصد در کلاس خیلی شدید قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که در محاسبه درصد مساحت کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی، مناطق توده‌سنگی و مسکونی در کلاس ناچیز و کم قرار گرفته‌اند.

در نهایت بر اساس متوسط وزنی معیارهای ارزیابی شده در بیابان‌زایی منطقه، امتیاز نهایی شدت بیابان‌زایی کل منطقه پژوهشی، ۳/۰۴ به‌دست آمد که از مقایسه آن با طبقه‌بندی موجود در جدول ۳، کلاس نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه، شدید است.

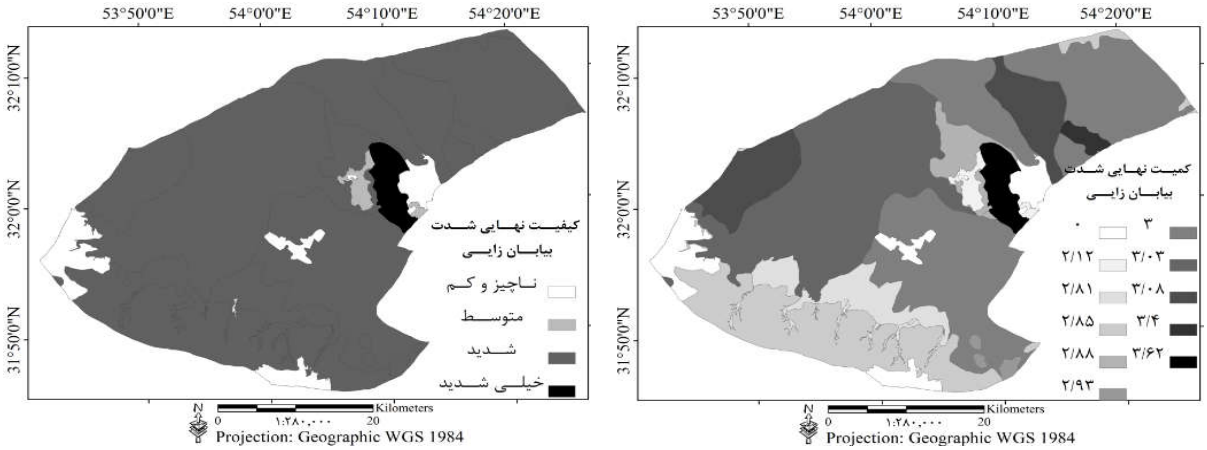
= کمیت نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه با مدل IMDPA

$$(3/26 \times 2/78 \times 3/11)^{1/3} = 3/04$$

بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های برآورد بیابان‌زایی بر اساس بررسی کارکردهای طبیعی سیستم، وضعیت بیابان‌زایی مناطق را ارزیابی می‌کنند. باتوجه‌به شناخت میزان اثر هرکدام از عوامل، می‌توان کارکردهای طبیعی آن عامل را مورد قضاوت قرار داد. باتوجه‌به نتایج به‌دست آمده، شاخص‌های موردمطالعه در ارزیابی بیابان‌زایی نشان می‌دهد، منطقه شمال‌غرب یزد بر اساس شاخص‌های خاک و فرسایش بادی در سه کلاس متوسط، شدید و خیلی شدید، و بر اساس شاخص‌های پوشش گیاهی در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار دارد. همچنین شاخص تعداد روزهای طوفانی گردوخاک با امتیاز عددی ۳/۸ از معیار فرسایش بادی با قرارگرفتن در کلاس خیلی شدید، بیشترین اثرگذاری را در بیابان‌زایی منطقه داشته است. سپس شاخص‌های بافت خاک و هدایت الکتریکی به‌ترتیب با امتیاز عددی ۳/۶۰ و ۳/۵۵ از معیار خاک قرار دارند که این یافته‌ها با نتایج پژوهش هاشمی و همکاران (۱۲) و خانی‌بندانی و همکاران (۱۷) منطبق است. در پژوهش هاشمی و همکاران (۱۲)، شاخص تعداد روزهای گردوخاک از معیار فرسایش بادی و شاخص‌های بارش سالانه و استمرار خشکسالی، هر سه با امتیاز عددی ۴ از مؤثرترین عوامل در شدت بیابان‌زایی منطقه زهک سیستان هستند. همچنین بر اساس پژوهش خانی‌بندانی و همکاران (۱۷)، شاخص‌های خشکی، تداوم روزهای طوفانی گردوخاک و شاخص عمق و بافت خاک، به‌ترتیب با دارابودن بیشترین امتیاز وزنی (۳/۷۳، ۳/۷۰ و ۳/۶۹) و قرارگرفتن در کلاس خیلی شدید، مؤثرترین نقش را در بیابان‌زایی جنوب‌شرق زاهدان ایفا کرده‌اند؛ بنابراین باتوجه‌به برآورد معیارهای خاک و فرسایش بادی در منطقه شمال‌غرب یزد می‌توان نتیجه گرفت، این معیارها کارکرد طبیعی مؤثری در سیستم ندارند و برای هدایت سیستم به کارکرد طبیعی لازم است ملاک عمل در برنامه‌های مدیریتی قرار گیرند.

همچنبن شاخص‌های درصد سنگریزه عمقی از معیار خاک و درصد سنگریزه سطحی از معیار فرسایش بادی با قرارگرفتن در کلاس متوسط، کمترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه پژوهشی دارا هستند که با نتایج کمالی‌مسکونی و همکاران (۱۵)، مغایرت دارد. نتایج پژوهش کمالی‌مسکونی و همکاران (۱۵) نشان داد، در ارزیابی معیار خاک، درصد سنگریزه عمقی با امتیاز عددی ۳/۴۵، از مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی منطقه فاریاب است.



شکل ۸. نقشه نهایی شدت کمی و کیفی بیابانزایی با مدل IMDPA در منطقه پژوهشی

جدول ۶. توزیع کلاس‌های شدت بیابانزایی منطقه پژوهشی با مدل IMDPA

طبقه‌بندی کیفی شدت بیابانزایی	دامنه ارزش عددی	مساحت (km^2)	درصد مساحت نسبت به کل منطقه
ناچیز و کم	۱-۱/۵	۸۶/۷۵	۴/۵۵
متوسط	۱/۶ -۲/۵	۱۸/۶۰	۰/۹۷
شدید	۲/۶ -۳/۵	۱۷۵۶/۵۱	۹۲/۱۸
خیلی شدید	۳/۶ -۴	۴۳/۹۵	۲/۳۰

در میان معیارهای مورد پژوهش، معیار خاک با بالاترین امتیاز و متوسط وزنی ۳/۲۶، بیشترین تأثیر را در بیابانزایی منطقه شمال‌غرب یزد ایفا کرده است. این نتیجه منطبق با نتایج پژوهش خانی‌بندانی و همکاران (۱۷) و مغایر با پژوهش ذوالفقاری و خسروی (۳۱) است. سپس معیار فرسایش بادی و پوشش گیاهی به‌ترتیب با امتیاز عددی ۳/۱۱ و ۲/۷۸ قرار گرفته‌اند.

نقشه‌های کمی و کیفی شدت بیابانزایی نشان داد، بیشترین وسعت منطقه پژوهشی با مساحت ۹۲/۱۸ درصد در کلاس شدید بیابانزایی قرار گرفته است که مغایر با نتایج زهتابیان و همکاران (۲۹) و مطابق نتایج هاشمی و همکاران (۱۲) است. در این پژوهش، تنها واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای با وسعت ۲/۳۰ درصد در کلاس خیلی شدید قرار دارد. در نهایت کل منطقه پژوهشی با امتیاز نهایی شدت بیابانزایی ۳/۰۴ در کلاس شدید قرار گرفت.

با توجه به گسترش پدیده بیابانزایی و تأثیرگذاری زیاد معیار خاک در شدت بیابانزایی منطقه، نقش عوامل انسانی در بیابانزایی و تخریب اراضی شمال‌غرب یزد شدید است. این عوامل مخرب انسانی مانند چرای بی‌رویه دام، بهره برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی، صنایع و تأسیسات، تخریب پوشش‌گیاهی و بوته‌کنی سبب نابودی مراتع و منابع طبیعی و تسریع شدت بیابانزایی در منطقه پژوهشی شده است؛ بنابراین اجرای عملیات اصلاحی و احیایی ضروری است. توصیه می‌شود با بهره‌برداری و پمپاژ کنترل شده منابع آب زیرزمینی، از پیشروی آب‌های شور و در نتیجه کاهش شوره‌زاری اراضی اقدام شود. در اراضی پایین دست زهکش ایجاد شود. با کاشت درختان سازگار با نیاز آبی کم در اطراف مزارع به‌عنوان بادشکن در تقلیل سرعت باد و کاهش گردوخاک استفاده شود. همچنین با بهره‌برداری اصولی از مراتع و چراگاه‌ها با توجه به ظرفیت آن‌ها در زمان مناسب، قرق منطقه به طور دائم مورد توجه فعالیت‌های بیابانزدایی بیولوژیکی و مکانیکی قرار گیرد و با جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، از تسریع شدت بیابانزایی در منطقه مقابله شود و جلوگیری به‌عمل آید.

منابع مورد استفاده

1. Abuzaid. A.S. and A.D. Abdelatif. 2022. Assessment of desertification using modified MEDALUS model in the north Nile Delta, Egypt. *Geoderma.* 45: 115400.
2. Akbari. M., Jafari Shalamzari. M. Memarian. H and A. Gholami. 2020. Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicators.* 111: 106011.
3. Alados, C. L., J. Puigdefabregas. and J. Martinez-Fernandez. 2011. Ecological and socio-economical thresholds of land and plant-community degradation in semi-arid Mediterranean areas of southeastern Spain. *Journal of Arid Environments*. 75(12): 1368-1376.
4. Arami. S. A. and M. Ownagh. 2017. Assessment of desertification hazard, risk and development of management plans. *Desert*. 22(1): 51-67.
5. Bajocco. S., A. De Angelis and L. Salvati. 2012. A satellite-based green index as a proxy for vegetation cover quality in a Mediterranean region**.** E*cological Indicators***.** 23: 578-587.
6. Canora, F., A. D'Angella and A. Aiello. 2015. Quantitative assessment of the sensitivity to desertification in the Bradano River basin (Basilicata, southern Italy). *Journal of Maps*. 11: 745-759.
7. Cui. Y. 2013. Interpretation and dynamic analysis in desertification – a case study of kubuqi desert. *Applied Mechanics and Materials*. 295–298: 2102-2106.
8. Egidi. G., S. Cividino, S. Paris, A. Palma, L. Salvati and P. Cudlin. 2021. Assessing the impact of multiple drivers of land sensitivity to desertification in a Mediterranean country**.** *Environmental Impact Assessment Review***.** 89: 594-106.
9. Ekhtesasi. M. R. and A. Sepehr. 2011. Methods and models of desertification assessment and mapping. Yazd. Published by Yazd University. 288 pages (in farsi).
10. General Department of Natural Resources And Watershed Management of Yazd Province 201..
11. Giordano. L., F. Giordano, S. Grauso, M. Iannetta, M. Sciortino, L. Rossi, and G. Bonati. 2003. Identification of areas sensitive to desertification in Sicily Region. *ResearchGate*. 1-17.
12. Hashemi, Z., A. Pahlevanravi, A. Moghaddamnia, M. R. Javadi and A. miri. 2022. Investigation of the Desertification Potential Using IMDPA Model in Sistan Plain (Case Study: ZAHAK). *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 3(5): 49-62 (in farsi).
13. Hosseinpour, R., M. onagh, B. komaki and M. ramazani gask. 2017. Hazard assessment of desertification using the MICD model: a case study of Kaji pond watershed in Nehbandan, Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 6(14): 33-44 (in farsi).
14. Jafari, R. and L. Bakhshandehmehr. 2013. Quantitative mapping and assessment of environmentally sensitive areas to desertification in Central Iran. *Land Degradation and Development*. 27: 108-119.
15. Kamali Maskooni, E., M. Amin Kamali and A. Khanamani. 2021. Investigation and Preparation of Desertification Map Based on Iranian Model of Desertification Potential (IMDPA) with an emphasis on two criteria of soil and vegetation (Case study: Faryab-Kerman Province). *Journal of Environmental Sciences and Technology*. 22(12): 163-178 (in farsi).
16. Keramat Zadeh, M., A. Fathi and H. Moazed. 2022. Investigate the situation of desertification in south east Ahvaz region using IMDPA model with emphasis on the criteria climate and vegetation. *Journal of Irrigation of Sciences and Engineering*. 45(1): 153-166 (in farsi).
17. Khani Bandani, L. and H. Jafari. 2019. Using the index eriteria of IMDPA method in zoning the intensity of desertification in the southeast region of Zahedan. *Natural Geography Quarterly*. 15(45): 87-105 (in farsi).
18. KhosroShahi, M. 2016. Iranian desert territory from the viewpoint of research. *Irannature*. 1(1): 30-36 (in farsi).
19. Mombeni, M., A. Karamshahi, P. Graee, F. Azadnia and H. Khosravi. 2015. Assessing Current State of Desertification Based on Water, Climate and Soil Indicators Using IMDPA Model (Case Study: Dashte Abbas). *Journal of Water and Soil Science*. 19(72): 349-359 (in farsi).
20. Mohammadi, S and A. Tavali. 2019. Assessing the state and intensity of desertification using the IMDPA model based on water, soil, vegetation and climate criteria (south Khorasan Province). *Amad and Defense Technology Quarterly*. 3(3): 61-84 (in farsi).
21. Sadeghiravesh, M. H., H. Khosravi, A. Abolhasani, M. Ghodsi and A. Mosavi. 2021. Fuzzy logic model to assess desertification intensity based on vulnerability indices*. Acta Polytechnica Hungarica*. 18(3): 7-24 (in farsi).
22. Shao. W., Q. Wang, Q. Guan, J. Zhang, X. Yang and Z. Liu. 2023. Environmental sensitivity assessment of land desertification in the Hexi Corridor, China. *CATENA*. 220: 106728.
23. UNEP (United Nations Environmental Program). World atlas of desertification, editorial commentary by Nick Middleton and David Thomas: London. 1997. 69 Pages.

24. Veron, S. R., J. M. Paruelo and M. Oesterheld. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments*. 66: 751-763.
25. Wang, T., C. Z. Yan, X. Song and J. L. Xie. 2012. Monitoring recent trends in the area of aeolian desertified land using Landsat images in China's Xinjiang region. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 68: 184-190.
26. Wang, Y., L. H. Zhou, Y. Chen, et al. 2017. Relationship between the farmers' livelihoods capital and the desertification reversion trend: a case study in Yanchi County,Ningxia. *Acta Ecologica Sinica*. 37 (6): 2080-2092.
27. Yang, X., K. Zhang, B. Jia and L. Ci. 2005. Desertification assessment in China: an overview. *Journal of Arid Environments*. 63(2): 517-531.
28. Zehtabian, Gh., R. H. Khosravi and R. masoudi. 2015. Valuation medels of desertification (criteria and indicators). Tehran. Published by Tehran University. 268 pages (in farsi).
29. Zehtabian, Gh., R. H. Khosravi, H. Eskandari Damaneh and A. Abolhasani. 2018. An Iranian Model of Desertification Potential Assessment for Sustainable Regional Development. *Environmental Erosion Research*. 29(8:1), 21-38 (in farsi).
30. Zhao, C., R. j. Lu and J. F. Li. 2015. Land desertification and Grain size characteristics of landsurface deposits in the qinghai lake watershed. *Journal of Desert Research*. 35 (2):276-283.
31. Zolfaghari, F and H. Khosravi. 2016. Assessment of Desertification Severity Using IMDPA Model in Saravan Region. *Geography and Environmental Planning*. 27(2): 87-102 (in farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 4, Winter 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Assessment of the Desertification Intensity Based on soil, Vegetation, and Wind Erosion Criteria in the Northwest of Yazd

A. S. Hosseini[1], A. A. Vali[1*], A. H. Halabian[2] and M. H. Mokhtari[3]

(Received: July 8-2023 ; Accepted: October 7-2023)

Abstract

Desertification is one of the most serious ecological environmental problems in the arid regions. Quantitative assessment of the desertification process is important for the prevention and control of desertification. In this research, the IMDPA model was used to evaluate the quantitative and qualitative desertification situation in the northwest of Yazd .Three criteria of soil, vegetation, and wind erosion were considered in this model. Several indicators were defined for each criterion with a weight of 0 (low) to 4 (very severe). The geometric mean of all three criteria was used to prepare a map of sensitive areas to desertification in ArcGIS. The results indicated that more than 92% of the research area was in the extreme class of desertification, and only the dunes work unit was in a very intense class. Finally, the whole of the research area with a final score of 3.04 was placed in the extreme class of desertification intensity. Also, the soil criterion with the highest weight score of 3.26 has had the greatest impact on the desertification of the northwest region of Yazd. Therefore, it is necessary to implement remedial and revitalization operations in this region according to the expansion of the phenomenon of desertification and the high influence of the soil criteria. The results of the research showed the intensity of desertification, the potential, and the sensitivity of the region to the phenomenon of desertification can be referred to as a departure from the natural functioning of the system.

Keywords: Land degradation, Geographic Information System, IMDPA model, Criteria and indicators, Desertification situation

1. Department of Desert Management and Control, University of Kashan, Kashan, Iran.
2. Department of Geography, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran.
3. Department of Desert and Arid Land Management, University of Yazd, Yazd, Iran.
*: Corresponding author, Email: vali@kashanu.ac.ir