

ارزیابی کمی شدت خطر و ریسک بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه سرخس)

محبوبه سربازی^۱، مجید اونق^{۲*}، علی محمدیان بهبهانی^۳، مرتضی اکبری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۸

چکیده

بیابان‌زایی به‌عنوان خطر جدی زیست‌محیطی، بسیاری از مناطق خشک جهان و به‌خصوص ایران را متأثر ساخته است. امروزه روش‌ها و مدل‌های زیادی برای ارزیابی کمی این فرایند تخریب سرزمین وجود دارد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی شدت پتانسیل بیابان‌زایی و ریسک خطر در مناطق خشک شرق ایران، در شهرستان سرخس و با استفاده از مدل ایرانی IMDPA انجام شد. برای محاسبه شدت پتانسیل بیابان‌زایی داده‌هایی همچون پارامترهای اقلیمی، ویژگی‌های پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، آب‌های زیرزمینی، کشاورزی و اطلاعات اقتصادی-اجتماعی مورد استفاده قرار گرفتند که تجزیه و تحلیل آن‌ها در محیط GIS انجام شد. کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به دست آمد. ریسک خطر بیابان‌زایی از ترکیب نقشه‌های شدت خطر، فراوانی عناصر در معرض خطر و درجه آسیب‌پذیری عناصر و بر اساس معادله جهانی ریسک تهیه شد. نتایج نشان داد حدود ۶۹٪ منطقه مورد مطالعه از نظر شدت خطر بیابان‌زایی در وضعیت شدید و حدود ۱۱٪ در وضعیت خیلی شدید قرار داشته و عواملی چون فرسایش بادی، تخریب پوشش گیاهی، توسعه کشاورزی و مسائل اقتصادی-اجتماعی، بیشترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. نتایج ارزیابی ریسک نیز نشان داد که بیش از ۶۰٪ منطقه سرخس، از نظر ریسک و احتمال بیابانی شدن، امکان تبدیل به شرایط نامناسب محیطی و تخریب سرزمین در آینده را دارا می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های بیابان‌زایی، آسیب‌پذیری، ریسک، فرسایش بادی، سرخس.

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استاد گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، نویسنده مسئول، ma94ownegh@yahoo.com

۳. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است.

مقدمه

بیابان‌زایی، تخریب زمین و خشکسالی از موضوعات جهانی است که توسعه پایدار همه کشورهای را با چالش‌های جدی مواجه می‌کند. ارزیابی آسیب‌پذیری فرایندی است که منجر به کاهش و جلوگیری از مشکلات آینده ناشی از تخریب زمین و بیابان‌زایی می‌شود (دفتر کاهش خطر بلایای سازمان ملل متحد^۱، ۲۰۱۴).

شناخت رفتار فرایندهای بیابان‌زایی و عوامل به‌وجودآورنده و تشدیدکننده آن، امری مهم و ضروری است که باید بررسی و ارزیابی شود. بنابراین انتخاب معیارها و شاخص‌ها به‌منظور ارائه یک مدل برای نشان دادن شدت بیابان‌زایی و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن برای جلوگیری از گسترش فاکتورهای بیابان‌زایی ضرورت دارد (آرامی و همکاران، ۲۰۱۴؛ اکبری و همکاران، ۲۰۲۰). محققان زیادی شدت بیابان‌زایی مناطق مختلف را مورد مطالعه قرار داده و به نتایج گوناگونی دست یافته‌اند که در ذیل به برخی از آنها اشاره می‌شود.

رئیزی و همکاران (۲۰۰۸) عوامل مؤثر در شدت بیابان‌زایی (بیابان‌های ساحلی) با استفاده از مدل IMDPA^۲ در منطقه کهریز کنارک بررسی کردند. نتایج نشان داد بیابان‌زایی در منطقه با شدت متوسط، شدید و بسیار شدید در حال انجام بوده و روند آن رو به گسترش است. ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۱) شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند ۵۱/۰۹٪ منطقه از نظر درجه بیابان‌زایی در کلاس متوسط و ۴۵/۰۹٪ آن در کلاس شدید قرار دارد و ۳/۸۲٪ منطقه که شامل مناطق مسکونی و مخازن آب چاه نیمه‌ها بود، در هیچ کلاسی قرار نگرفت. ذاکری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی، شدت بیابان‌زایی را در دشت زرین‌فارس با معیار آب زیرزمینی ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۳۷/۴۱ و ۶۲/۵۹٪ از اراضی منطقه به‌ترتیب

در کلاس‌های شدید و خیلی شدید بیابان‌زایی قرار دارند. راه‌داری و همکاران (۲۰۱۴) در پایش روند بیابان‌زایی، بیابان‌های ساحلی جنوب شرق ایران از مدل IMDPA و دو معیار اقلیم و آب استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده روند افزایشی شدت بیابان‌زایی در منطقه بود و شاخص خشکی ترانسو نیز به‌عنوان مؤثرترین شاخص معرفی شد. ممبنی^۳ و همکاران (۲۰۱۵) وضعیت بالفعل بیابان‌زایی منطقه دشت عباس را با استفاده از معیارهای اقلیم، آب و خاک مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج حاکی از آن بود که معیار اقلیم با میانگین وزنی ۲/۶۱ مؤثرترین معیار در افزایش شدت بیابان‌زایی منطقه بوده است. ولی^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در ارزیابی شدت بیابان‌زایی حوضه مسجدسلیمان با استفاده از مدل IMDPA بیان کردند که معیار اقلیم، معیار تأثیرگذارتری در شدت بیابان‌زایی منطقه است.

در خارج از ایران نیز ارزیابی شدت خطر بیابان‌زایی با مدل‌های منطقه‌ای صورت گرفته است. برای نمونه می‌توان به مطالعات لادیس^۵ و همکاران (۲۰۰۲) در جنوب ایتالیا، هیدیا^۶ و همکاران (۲۰۰۶) در مناطق نیمه‌خشک تونس، بوویاید و همکاران (۲۰۱۰) در حوضه رودخانه سوس در مراکش و مطالعات راسمی^۷ و همکاران (۲۰۱۰) در منطقه خشک غرب نیل که از مدل مدالوس برای ارزیابی بیابان‌زایی استفاده نموده‌اند، اشاره کرد.

کارامسوتی^۸ و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور بررسی روند بیابان‌زایی در یونان، طی ۴۵ سال گذشته با استفاده از مدل ایسس، بیابان‌زایی منطقه را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد طی این سال‌ها مناطقی که از نظر خطر بیابان‌زایی بحرانی هستند، حدود ۹٪ افزایش و مناطق شکننده، بالقوه آسیب‌دیده و غیر آسیب‌دیده به‌ترتیب ۳/۷، ۳/۶ و ۲/۵٪ کاهش دارند. بدوی^۹ (۲۰۲۰) بیابان‌زایی در تونس مرکزی را

3. Mombeni
4. Valy
5. Ladisa
6. Hedia
7. Rasmy
8. Karamesouti
9. Bedoui

1. UNISDR, United Nations International Strategy for Disaster Reduction
2. Iranian Model of Desertification Potential Assessment

مدیریت خطر بیابان‌زایی در منطقه رضاآباد خارتوران در سمنان، کارایی مدل‌های ICD^۲ و ESAs^۳ را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج او نشان داد ۴۳/۳٪ از منطقه در رتبه ریسک کم، ۲۵/۴۲٪ در رتبه ریسک متوسط، ۷/۶۲٪ در رتبه خطر زیاد و همچنین ۲۳/۵۹٪ در رتبه ریسک خیلی زیاد قرار دارند. سیلاخوری و همکاران (۲۰۱۴) خطر و ریسک بیابان‌زایی منطقه سبزوار را با استفاده از مدل MICD^۴ ارزیابی کردند. نتایج نقشه ریسک بیابان‌زایی نشان داد منطقه مطالعاتی در پنج رتبه قرار دارد که بیشترین سطح منطقه را رتبه زیاد و کمترین سطح منطقه را رتبه خیلی کم به خود اختصاص داد. مؤمن‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی، ریسک بیابان‌زایی منطقه فدیشه نیشابور را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین عناصر به ترتیب در رتبه زیاد و خیلی زیاد آسیب‌پذیری قرار گرفتند. نقشه ریسک بیابان‌زایی در ۵ رتبه به دست آمد که بیشترین سطح منطقه را رتبه متوسط و کمترین سطح منطقه را رتبه خیلی زیاد به خود اختصاص داد. اکبری (۲۰۱۶) سیستم پیش‌آگاهی خطر بیابان‌زایی در مناطق نیمه‌بیابانی غرب استان گلستان ارائه کردند. نتایج ارزیابی ریسک بیابان‌زایی نشان داد که بیشترین عناصر مهم اکولوژیکی، فیزیکی و زیستی منطقه که عمدتاً در بخش‌های مرکزی واقع شده‌اند، در معرض ریسک متوسط تا بسیار شدید بیابان‌زایی هستند. حسین‌پور و همکاران (۲۰۱۶) ریسک بیابان‌زایی منطقه نهبندان را ارزیابی کرده و سپس برنامه مدیریتی آن را ارائه دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد ریسک بیابان‌زایی منطقه در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده که بیشترین سطح منطقه را کلاس خیلی زیاد و کمترین سطح را کلاس زیاد به خود اختصاص داد. داوری و همکاران (۲۰۱۷) ارزیابی شدت و ریسک بیابان‌زایی دشت قاسم‌آباد بجنستان با مدل IMDPA ارزیابی و در نهایت برنامه‌های مدیریتی ارائه کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد شدت بیابان‌زایی در دو

با استفاده از سنجش از دور، GIS و مدل مدالوس ارزیابی کرد. نتایج بررسی شاخص‌های خاک، پوشش گیاهی، آب و هوا و مدیریت نشان داد که منطقه مورد مطالعه در مرحله پیشرفته بیابان‌زایی قرار دارد؛ زیرا بیشتر سطح آن (۸۲٪) در طبقه بحرانی است. این وضعیت به دلیل پوشش گیاهی بسیار ضعیف، خاک نامساعد، تعداد زیاد دام و سیستم کشاورزی است. اکبری و همکاران (۲۰۲۰) روند بیابان‌زایی را در مناطق خشک ایران پایش کرده و برنامه‌های مدیریتی ارائه دادند. شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل ایرانی IMDPA ارزیابی شد. نتایج نشان داد که خشکسالی، رشد جمعیت، مهاجرت، تغییرات کاربری اراضی و... منجر به افزایش شدت بیابان‌زایی شده است.

استفاده از مدل‌ها، امکان تهیه نقشه‌های پتانسیل و شدت خطر بیابان‌زایی را ممکن می‌سازد و نقشه ریسک به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت کاهش خطر، با استفاده از نقشه‌های شدت، عناصر در معرض خطر و نقشه آسیب‌پذیری محیطی امکان‌پذیر است. ارزیابی ریسک به‌منظور فراهم کردن اطلاعات ضروری برای تعیین اولویت‌ها و استراتژی‌های پیشگیری و طراحی سیستم‌های هشدار اولیه صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه مدیریت مبتنی بر ریسک در دستور کار ۲۱ اجلاس جهانی توسعه پایدار ۲۰۰۲ اشاره شده و جزء کلیدی استراتژی‌های کاهش مخاطرات محیطی سازمان ملل (ISDR)^۱ می‌باشد، مطالعه در زمینه ریسک به‌عنوان ابزاری استراتژیک در برنامه‌ریزی و مدیریت کاهش خطر ضروری است. ارزیابی ریسک بیابان‌زایی بر اساس روابط کلی ریسک (شدت خطر × عناصر در معرض خطر × آسیب‌پذیری) و تجزیه و تحلیل طیف گسترده‌ای از تغییرات شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی انجام می‌شود. تعیین مناطق دارای بحران و مناطق غیر بحرانی، امکان مدیریت ریسک، برای کاهش خسارت ناشی از آن را فراهم می‌سازد. در زمینه ارزیابی ریسک بیابان‌زایی، مطالعات چندانی در ایران صورت نگرفته است، لذا فقط می‌توان بدین مطالعات اشاره کرد:

نظری‌نژاد (۲۰۱۰) برای پهنه‌بندی و تدوین برنامه

2. Iranian Classification Deserts
3. Environmental Sensitive Areas to Desertification
4. Modified Iranian Classification Deserts

1. International Strategy for Disaster Reduction

هدف ارزیابی شدت خطر با استفاده از مدل ایرانی IMDPA و همچنین با توجه به اهمیت ارزیابی ریسک برای کاهش خسارت ناشی از گسترش بیابانزایی در منطقه مورد مطالعه از فرمول جهانی ریسک، نقشه‌بندی عناصر در معرض خطر و درجه آسیب‌پذیری محیطی در چهار طبقه کیفی استفاده شده است. در این پژوهش، تمامی معیارهای مدل مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش

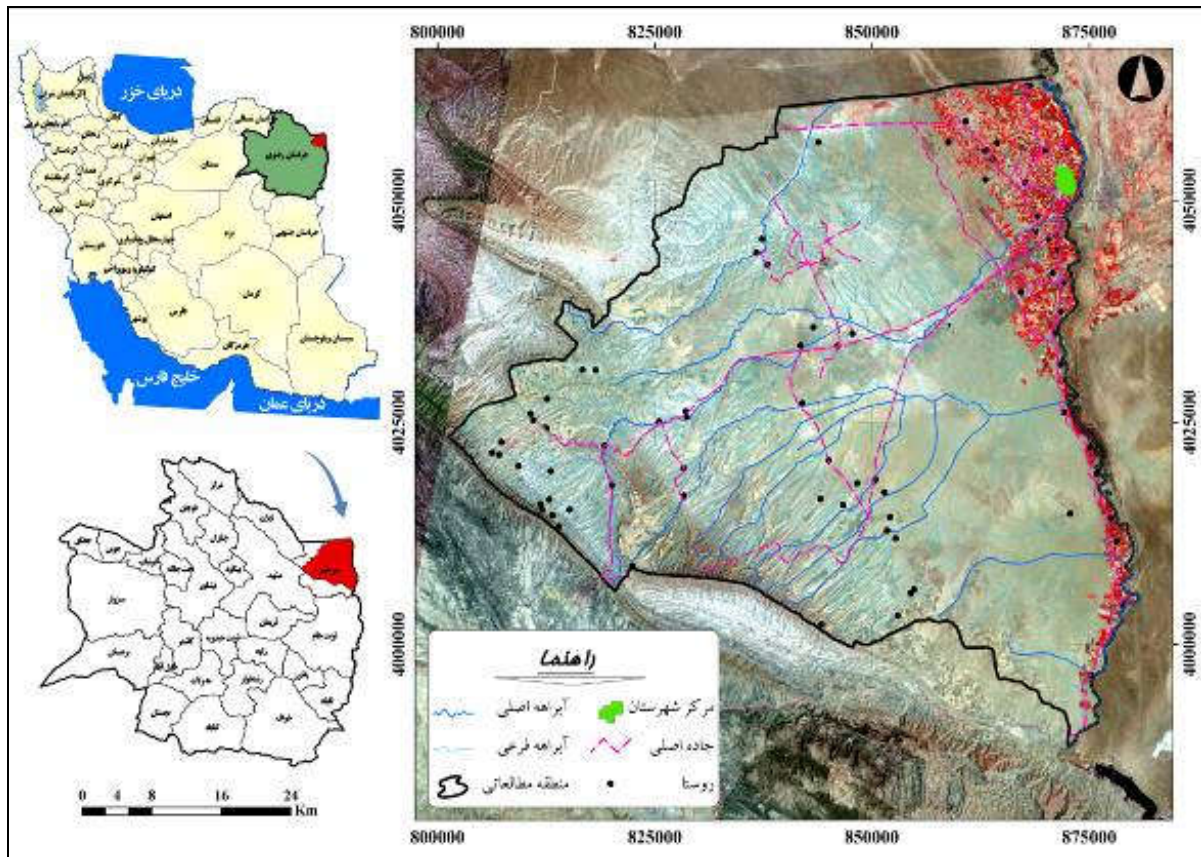
منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی سرخس، بخش کوچکی از حوضه بزرگ قره‌قوم است که در شهرستان سرخس واقع شده است. مرز تفکیک منطقه در قسمت غرب و جنوب غربی کوه‌های بزنگان و شورلق، در قسمت شمالی، مرز سیاسی ایران-ترکمنستان و در قسمت شرقی رودخانه تجن می‌باشد. از نظر جغرافیایی، محدوده مطالعاتی سرخس در موقعیت جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. منابع آبی سطحی مهم منطقه، رودخانه کال‌شور است و از خط الرأس‌های بزنگان و شورلق تغذیه می‌شود. رودخانه هریرود از کوه‌های هندوکوش در کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرد. این منطقه از نظر طبیعی استعداد گسترش بیابان را دارد که همجواری با صحرای قره‌قوم آن را تشدید کرده و اقلیم خشک و سرد را به وجود آورده و فرسایش بادی در آب و هوای خشک متداول‌تر است که بهره‌وری از زمین شرایط خشک شدن آن را تشدید می‌کند (طرح الگوی مشارکت جوامع محلی و دستگاه‌های اجرایی در احیاء منابع طبیعی شهرستان سرخس). شکل (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان خراسان رضوی نمایش می‌دهد.

طبقه متوسط و شدید بوده و ارزیابی ریسک نیز نشان داد حدود ۵۲٪ منطقه در کلاس زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. بوعلی و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی با هدف ارزیابی شدت خطر و ریسک بیابانزایی در منطقه بیابانی دشت سگری اصفهان انجام دادند؛ نتایج ارزیابی ریسک نشان داد که کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد، ۴۰٪ منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و بیشترین کلاس مربوط به ریسک بیابانزایی خیلی کم با ۳۹٪ مساحت است. در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده از ریسک، واقعیت زمینی و نظرات کارشناسی برنامه مدیریتی مناسب پیشنهاد و ارائه شد.

در کاربرد مدل‌های ایرانی مانند IMDPA، ICD و... کمتر اتفاق افتاده است که تمامی معیارهای اصلی، در مدل مورد استفاده قرار گیرند. شاید دلیل اصلی آن کمبود یا نبود اطلاعات مناسب در مناطق خشک کشور باشد. پژوهشگران معدودی شدت خطر بیابانزایی را با تمامی معیارهای مدل IMDPA ارزیابی کرده‌اند (نیکو، ۲۰۱۱؛ سیلاخوری، ۲۰۱۴؛ آرامی، ۲۰۱۴؛ اکبری، ۲۰۱۶؛ داوری و همکاران، ۲۰۱۷).

خشکسالی‌های اخیر، وجود بادهای موسمی و تغییر کاربری اراضی موجب شده تا سرخس همواره با پدیده بیابانزایی روبه‌رو باشد. با توجه به موقعیت جغرافیایی آن، که در کنار صحرای قره‌قوم جمهوری ترکمنستان و دشت آبرفتی حاشیه رود تجن قرار گرفته، دارای خاک نرم و حساس به فرسایش است. شخم و شیار اراضی، چرای مفرط، قطع و بوته‌کشی به وسیله عشایر و دامداران منطقه و خشکسالی‌های پی‌درپی چند سال اخیر، همه و همه دست به دست هم داده و فرسایش بادی را در این منطقه تشدید کرده است. از این رو با توجه به این موقعیت، لزوم مطالعه در زمینه بیابانزایی و شناسایی شاخص‌ها و معیارهای مؤثر آن در این منطقه ضروری است. با توجه به مشکلات حاد محیطی و انسانی و موقعیت استراتژیک سرخس، پژوهش حاضر با



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

Figure (1): Geographical location of the study area in Iran and Khorasan Razavi province

اجتماعی و اقتصادی، توسعه شهری و صنعتی استفاده شد. امتیازدهی معیارها و شاخص‌ها، در واحدهای کاری انجام شد. به منظور دستیابی به نقشه واحدهای کاری، نقشه‌های سنگ‌شناسی، فیزیوگرافی، کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد و در محیط GIS روی هم اندازی شدند. پس از ترکیب نقشه‌های موجود در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ArcGIS نسخه ۱۰/۲، واحدهای کاری به دست آمد که برای بازنگری و تصحیح، علاوه بر جانمایی بر روی تصاویر گوگل‌ارتر از نقشه کاربری اراضی، زمین‌شناسی، نقشه پوشش سطحی جهت انطباق بیشتر با اشکال سطح زمین استفاده شده است. در تهیه واحدهای کاری علاوه بر در نظر گرفتن ژئومورفولوژی منطقه، ویژگی‌های پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی در آن واحد، در نظر گرفته شد. این واحد برنامه‌ریزی، امکان بررسی جزئیات بیشتری از خصوصیات زمین را برای کارشناس فراهم خواهد کرد. لذا

جمع‌آوری داده‌ها و روش پژوهش

داده‌های مورد نیاز برای انجام این پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی، آمار ایستگاه هواشناسی، اطلاعات موجود در قالب نقشه، جداول، داده‌های اجتماعی و اقتصادی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و گزارش‌های انجام‌شده از سوی ادارات و سازمان‌های مربوط است. سپس داده‌ها به قالب مناسب تبدیل و نقشه‌های اولیه شیب، جهت، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی تهیه شد. از آنجایی که مدل‌های ارزیابی شدت بیابان‌زایی در واحدهای کاری اجرا می‌شوند، ابتدا نقشه واحدهای کاری منطقه تهیه و سپس مدل در واحدهای کاری اجرا گردید.

محاسبه پتانسیل شدت بیابان‌زایی با مدل IMDPA

برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی، از روش ایرانی IMDPA و از میانگین هندسی معیارهای نه‌گانه اقلیم، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کشاورزی، آب، خاک، فرسایش آبی و بادی، مسائل

به هر شاخص در هر واحد کاری، وزنی بین ۰ تا ۴ بر اساس نظر کارشناسی و واقعیت زمینی داده شد و در نهایت در چهار طبقه، از کم و ناچیز تا خیلی شدید، طبقه‌بندی گردید.

جدول (۱): طبقه‌بندی کلاس‌های بیابان‌زایی مدل IMDPA (اکبری و

همکاران، ۲۰۱۶؛ اکبری و همکاران، ۲۰۲۰)

Table (1): Classification of IMDPA Desertification Classes (Akbari et al, 2016; Akbari et al., 2020)

کلاس	دامنه اعداد	علامت
کم	۰-۱/۵۹	I
متوسط	۱/۶-۲/۵۹	II
شدید	۲/۶-۳/۵۹	III
خیلی شدید	۳/۶-۴	IV

جدول (۱) طبقه‌بندی طبقه‌های بیابان‌زایی مدل IMDPA

را نشان می‌دهد. در این روش، هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های خود، طبق رابطه (۱) به دست می‌آید (احمدی، ۲۰۰۴).

(۱)

$$\text{Index-x} = [(\text{Layer}-1) \cdot (\text{Layer}-2) \dots (\text{Layer}-n)]^{1/n}$$
 که در آن، Index-x معیار مورد نظر، Layer شاخص‌های هر معیار، N تعداد شاخص‌های هر معیار است.

با میانگین هندسی معیارهای نه‌گانه مدل IMDPA، نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه تهیه شد (رابطه ۲).

(۲)

$$\text{DM} = (\text{QC} \cdot \text{QV} \cdot \text{QS} \cdot \text{QG} \cdot \text{QA} \cdot \text{QE} \cdot \text{QW} \cdot \text{Q(S-E)})^{1/9}$$

QC: معیار کیفیت اقلیم

QV: معیار کیفیت پوشش

QS: معیار کیفیت خاک

QG: معیار کیفیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی

QA: معیار کیفیت کشاورزی

QE: معیار کیفیت فرسایش

QW: معیار کیفیت آب

QT: معیار کیفیت توسعه شهری و صنعتی
 Q(S-E): معیار کیفیت مسائل اجتماعی - اقتصادی
 DM: نقشه شدت بیابان‌زایی

اطلاعات ارزیابی معیار اقلیم با استفاده از داده‌های هواشناسی، معیار زمین‌شناسی با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و واقعیت زمینی، معیار آب، زیرزمینی بر اساس اطلاعات کیفی و کمی آب منطقه‌ای معیار توسعه شهری - صنعتی با استفاده از نقشه کاربری ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای، معیار خاک با استفاده از نمونه‌برداری خاک در واحدهای کاری و نتایج آزمایشگاهی خاک، معیار پوشش گیاهی با کمک نقشه پوشش گیاهی استان خراسان رضوی ۱:۲۵۰۰۰۰ و بر اساس تصاویر ماهواره و واقعیت زمینی، معیار فرسایش نقشه فرسایش آبی و کانون‌های بحران فرسایش بادی استان و واقعیت زمینی، معیار اقتصادی - اجتماعی با استفاده از اطلاعات نفوس و مسکن استانداری استان خراسان رضوی و معیار کشاورزی نیز با توجه به اطلاعات جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی و شهرستان سرخس به دست آمد که تمامی اطلاعات بر اساس مدل IMDPA برای هر یک از واحدهای کاری امتیازدهی شدند.

ارزیابی ریسک بیابان‌زایی

ارزیابی ریسک ناشی از بیابان‌زایی، از ترکیب نقشه شدت خطر بیابان‌زایی، عناصر در معرض خطر و درجه آسیب‌پذیری محیطی و با استفاده از رابطه جهانی ریسک، به دست آمد. رابطه (۳) معادله ریسک خطر بیابان‌زایی را نشان می‌دهد (آمان^{۱۱}، ۲۰۱۶). ون وستن^{۱۲} و همکارانش (۲۰۱۵) نیز از این فرمول برای ارزیابی و مدیریت ریسک چندمخاطره‌ای در خطرات کوهستان استفاده کرده‌اند.

$$R = H * E * V \quad (3)$$

در رابطه فوق ۱۳H، بیانگر شدت و تداوم خطر است که

7. Water Quality Index

8. Technogenic Quality Index

9. Social Quality Index

10. Desertification Map

11. Ammann

12. Van Westen

13. Hazard

1. Climate Quality Index

2. Vegetation Quality Index

3. Soil Quality Index

4. Geomorphology Quality Index

5. Agriculture Quality Index

6. Erosion Quality Index

بالاتری قرار دارند از آسیب‌پذیری بیشتری نیز برخوردار خواهند بود. جدول ۳ ارزش کیفی صفات هر عنصر در معرض خطر را نشان می‌دهد. این ارزش‌گذاری، بر اساس نظرات کارشناسان ادارات اجرایی مرتبط و با توجه به شرایط منطقه‌ای، انجام شده است که می‌تواند در مناطق مختلف، ارزش‌هایی متفاوت نیز داشته باشند. محاسبه طبقه آسیب‌پذیری، طبق رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

$$A = (A*a) + (A*b) + (A*c) + (A*d)$$

رابطه (۴): طبقه خطر واحدکاری است.

$a, b, c, d =$ به ترتیب ارزش کیفی عناصر در معرض خطر موجود در واحدکاری است.

بر اساس مدل‌های ارزیابی خطر بیابان‌زایی به دست می‌آید. پارامتر 1E، عناصر در معرض خطر است و شامل تمامی عناصر زیستی و اقتصادی از جمله مراکز مسکونی و جمعیتی، اراضی جنگلی و مرتعی، اراضی کشاورزی، زیرساخت‌های فیزیکی مانند راه‌ها و خطوط ارتباطی، رفاهی، معادن و منابع آبی مانند چاه‌ها و قنوات خواهد بود که در هنگام وقوع تخریب زمین و پدیده بیابان‌زایی، خساراتی را از بُعد طبیعی و انسانی ایجاد می‌کنند. این عناصر با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، توپوگرافی و همچنین با فهرست‌برداری در طبیعت به دست می‌آید. منظور از 2V نیز درجه آسیب‌پذیری محیطی است که تابعی از درجه پایداری و ناپایداری محیطی است.

تهیه نقشه عناصر در معرض خطر

پس از مشخص شدن طبقه‌های خطر بیابان‌زایی و شناسایی عناصر طبیعی و انسانی در پهنه طبقه‌های خطر، با بهره‌گیری از نظرات کارشناسی و واقعیت‌های میدانی، طبقه‌های آسیب‌پذیری عناصر با توجه به نوع طبقه شدت خطر تعیین شد. جدول (۲) طبقه‌های عناصر در معرض خطر را نشان می‌دهد.

جدول (۲): کلاس‌های عناصر در معرض خطر در منطقه مورد مطالعه

(اکبری و همکاران، ۲۰۱۶)

Table (2): Classes of endangered elements in the study area (Akbari et al. 2016)

ردیف	کلاس عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر
۱	I	خیلی کم	≤ ۲
۲	II	کم	۳
۳	III	متوسط	۴
۴	IV	زیاد	۵
۵	V	خیلی زیاد	۶

محاسبه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر

برای محاسبه ارزش کمی آسیب‌پذیری محیطی، نقشه شدت خطر و شرایط هر یک از عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیک مد نظر قرار گرفت. عناصری که در طبقه خطر

جدول (۳): ارزش صفات عناصر در معرض خطر (سیلاخوری و همکاران، ۲۰۱۴)

Table (3): Value of traits of at-risk elements (Silakhori and et al., 2014)

عناصر	عامل	ارزش آسیب‌پذیری
مرتع	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
اراضی درختکاری‌شده	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
زراعت	هرچه گیاه آسیب‌پذیرتر و شدت خطر افزایش پیدا کند، با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند.	۳-۱۵
چشمه، چاه، قنات	با افزایش رتبه خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
اماکن مسکونی	با افزایش رتبه خطر، با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند.	۳-۱۵
تأسیسات	با افزایش رتبه خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲-۱۰
جاده	جاده‌های درجه یک در اولویت بالاتری نسبت به جاده‌های درجه ۲ و ۳ قرار دارند و با افزایش رتبه خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کنند.	۲-۱۰

1. Value at risk (exposure)

2. Vulnerability

جدول (۴): رتبه و عدد آسیب پذیری عناصر در معرض خطر (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶)
 Table (4): Number of vulnerabilities of endangered elements (Akbari et al., 2016)

کلاس آسیب پذیری	طبقات کیفی	عدد آسیب پذیری
I	خیلی کم	۰-۱۶
II	کم	۱۷-۳۲
III	متوسط	۳۳-۴۸
IV	زیاد	۴۹-۶۴
V	خیلی زیاد	۶۵-۸۰

نتایج

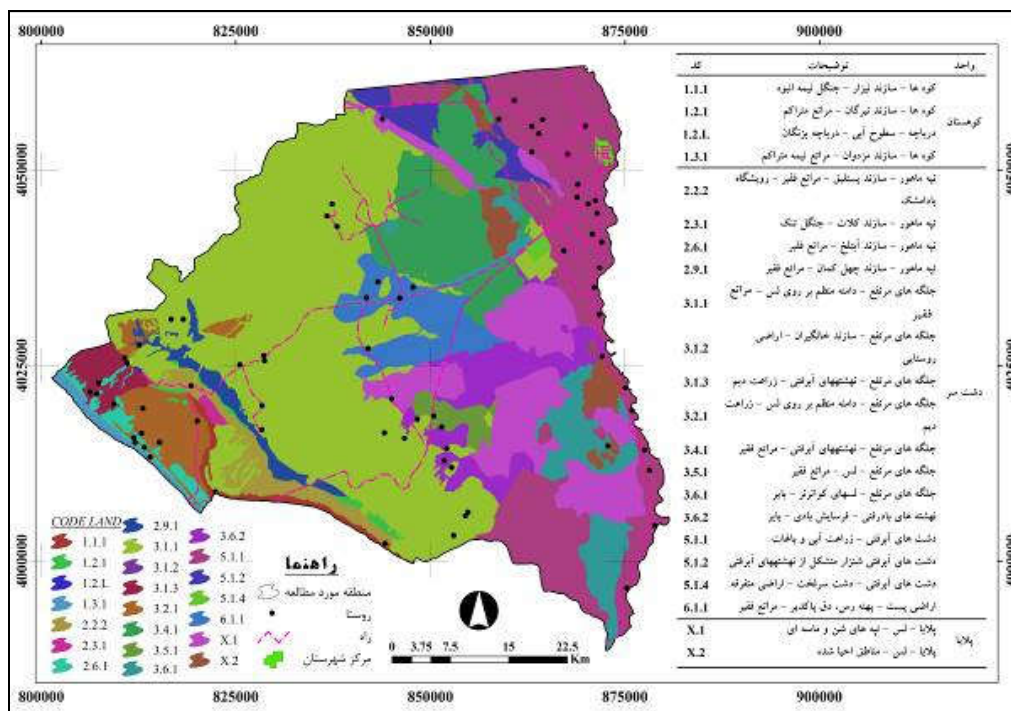
تعیین واحدهای کاری

منطقه مورد مطالعه به ۳ واحد، ۲۲ تیپ و ۶۷ رخساره تفکیک شد، به طوری که واحد کاری با کد 1-2-3 با مساحت حدود ۴ هکتار (اراضی روستایی) کوچکترین رخساره و واحد کاری با کد 1-1-3 با مساحت حدود ۶۹۷۲۳ هکتار (مراعات فقیر) بزرگترین رخساره در منطقه مورد مطالعه است. شکل (۲) نقشه واحد کاری منطقه سرخس را نشان می دهد.

در انتها از حاصل ضرب طبقه های خطر بیابانزایی (H) در طبقه های عناصر در معرض خطر (E) و درجه آسیب پذیری عناصر (V) در محیط GIS طبقه های ریسک (R) محاسبه تعیین شد (جدول ۵).

جدول (۵): رتبه ریسک و عدد ریسک (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶)
 Table (5): Class and risk number (Akbari and et al., 2016)

کلاس ریسک	طبقات کیفی	عدد ریسک
I	خیلی کم	۰-۸
II	کم	۹-۱۵
III	متوسط	۱۶-۳۵
IV	زیاد	۳۶-۸۰
V	خیلی زیاد	۸۰-۱۳۶



شکل (۲): نقشه واحد کاری منطقه مورد مطالعه
 Figure (2): Map of the work unit of the study area

پتانسیل شدت بیابان‌زایی

ارزش عددی هریک از رخساره‌ها، بر اساس میانگین هندسی معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی در مدل IMDPA، ۳ برآورد شد (برآیند ارزش‌گذاری متغیرها در هریک از واحدهای کاری) که بیانگر شدت بیابان‌زایی شدید در منطقه است. از نظر پهنه‌بندی، منطقه در چهار طبقه کم با درصد فراوانی ۰/۶، متوسط با درصد فراوانی ۱۸/۸، شدید با درصد

فراوانی ۶۸/۹ و خیلی شدید با درصد فراوانی ۱۱/۷ طبقه‌بندی شد. از بین عوامل مؤثر، معیارهای فرسایش بادی، پوشش گیاهی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی، هر چهار معیار با متوسط وزنی ۳/۵ بیشترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. جدول (۶) میانگین وزنی هریک از معیارها و شاخص‌های مدل IMDPA را به همراه طبقه شدت بیابان‌زایی آن‌ها نشان می‌دهد.

جدول (۶): متوسط وزنی ارزش کمی شاخص‌ها و معیارهای مدل IMDPA

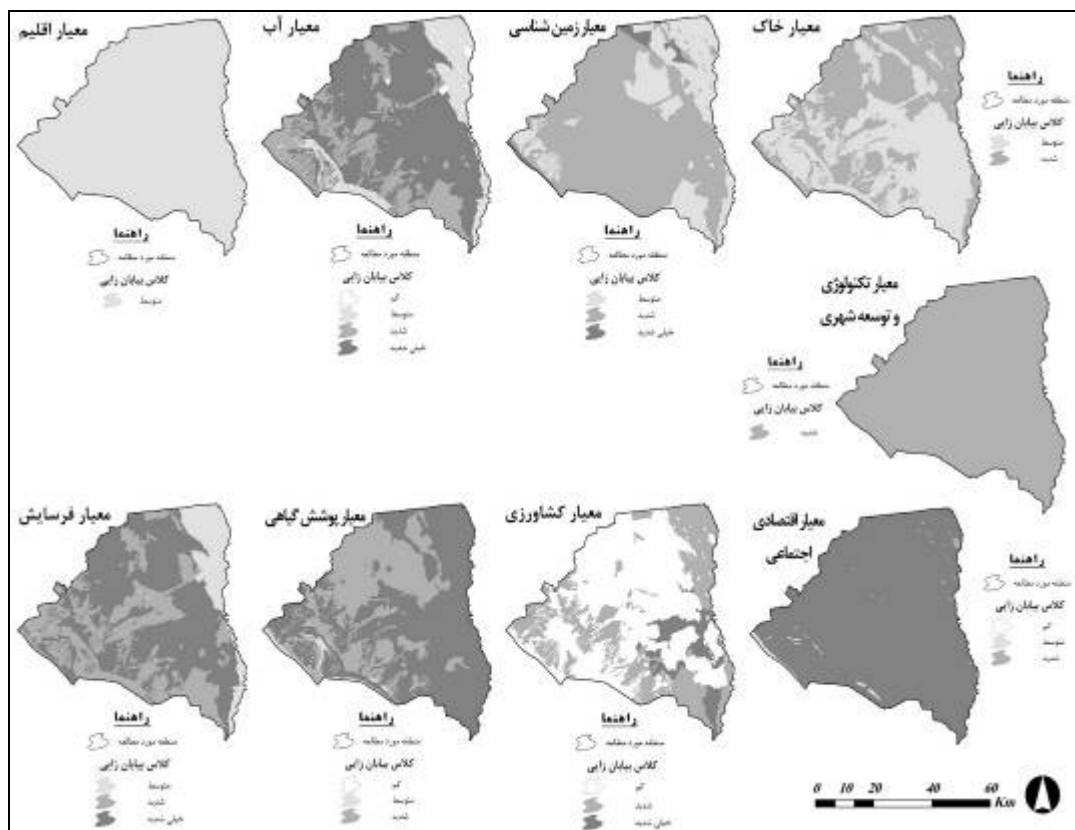
Table (6): Weighted average Quantitative value of indicators and criteria of IMDPA model

معیار	شاخص	ارزش کمی شاخص	کلاس شاخص	ارزش کمی	کلاس معیار
			بیابان‌زایی	معیار	بیابان‌زایی
اقلیم	مقدار بارش سالانه	۲/۴	متوسط	۲/۴	متوسط
	شاخص خشکی	۳/۷	خیلی شدید		
	تداوم خشکسالی	۱/۵	کم و ناچیز		
آب	افت آب زیرزمینی	۲/۸	شدید	۲/۸	شدید
	هدایت الکتریکی	۲/۵	متوسط		
	کلر	۲/۵	متوسط		
	سیستم‌های آبیاری	۳/۴	شدید		
زمین‌شناسی- ژئومورفولوژی	فیزیوگرافی شیب	۱/۸	متوسط	۲/۸	شدید
	حساسیت سنگ	۳/۳	شدید		
	کاربری اراضی	۳/۷	خیلی شدید		
خاک	هدایت الکتریکی	۱/۵	کم	۲/۵	متوسط
	بافت خاک	۳/۷	خیلی شدید		
	عمق خاک	۲/۱	متوسط		
	درصد سنگریزه	۳/۴	شدید		
بادی فرسایش	ظهور رخساره‌های فرسایشی	۳/۷	خیلی شدید	۳/۵	شدید
	تراکم پوشش غیرزنده	۳/۴	شدید		
	پوشش گیاهی	۳/۶	خیلی شدید		
	تعداد روزهای با شاخص طوفانی گردوغبار	۳/۳	شدید		
آبی	نوع و تراکم فرسایش آبی	۳/۴	شدید	۳/۳	شدید
	نوع استفاده از زمین	۳/۷	خیلی شدید		
	تراکم پوشش گیاهی	۲/۹	شدید		
پوشش گیاهی	بهره‌برداری از پوشش	۴	خیلی شدید	۳/۵	شدید
	وضعیت پوشش	۲/۹	شدید		
	تجدید پوشش	۳/۷	خیلی شدید		
کشاورزی	الگوی کشت	۳/۵	شدید	۳/۵	شدید
	عملکرد محصولات	۳/۹	خیلی شدید		
	کاربرد نهاده‌ها و ماشین‌آلات	۳/۱	شدید		

		شدید	۳/۴	جمعیت		
		خیلی شدید	۳/۸	فقر و اقتصاد		
شدید	۳/۵	خیلی شدید	۳/۷	عوامل نهادی، قانونی - حقوقی	اقتصادی - اجتماعی	
		شدید	۳/۱	عوامل اجتماعی فرهنگی، تشکل و مشارکت		
		کم و ناچیز	۱/۵	تبدیل اراضی باغی و زراعی به مسکونی - صنعتی		
شدید	۲/۸	شدید	۳/۵	تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به شهری - صنعتی - کشاورزی	تکنولوژی و توسعه شهری	
		خیلی شدید	۳/۹	میزان فضای سبز به ازای هر نفر		
		شدید	۲/۸	تراکم جاده و معدن		
شدید			۳	شدت بیابان‌زایی کل		

شایان ذکر است امتیازات در هر واحد کاری جداگانه محاسبه شده و هر واحد امتیازات مختص خود را دریافت کرده و نقشه‌ها در واقع برآیند ارزش‌گذاری متغیرها در هریک از واحدهای کاری است.

تمامی شاخص‌های اشاره‌شده در جدول (۶) بر پایه ویژگی‌ها و شرایط توصیفی در مدل IMDPA، عملیات میدانی و نظر کارشناسی، برای هریک از واحدهای کاری، امتیازدهی و طبقه‌بندی شده‌اند. شکل (۳) نیز نقشه‌های شدت بیابان‌زایی معیارهای نه‌گانه مدل IMDPA را نشان می‌دهد.



شکل (۳): نقشه‌های شدت بیابان‌زایی معیارهای نه‌گانه مدل IMDPA منطقه سرخس
 Figure (3): Desertification intensity maps of IMDPA model in Sarakhs region

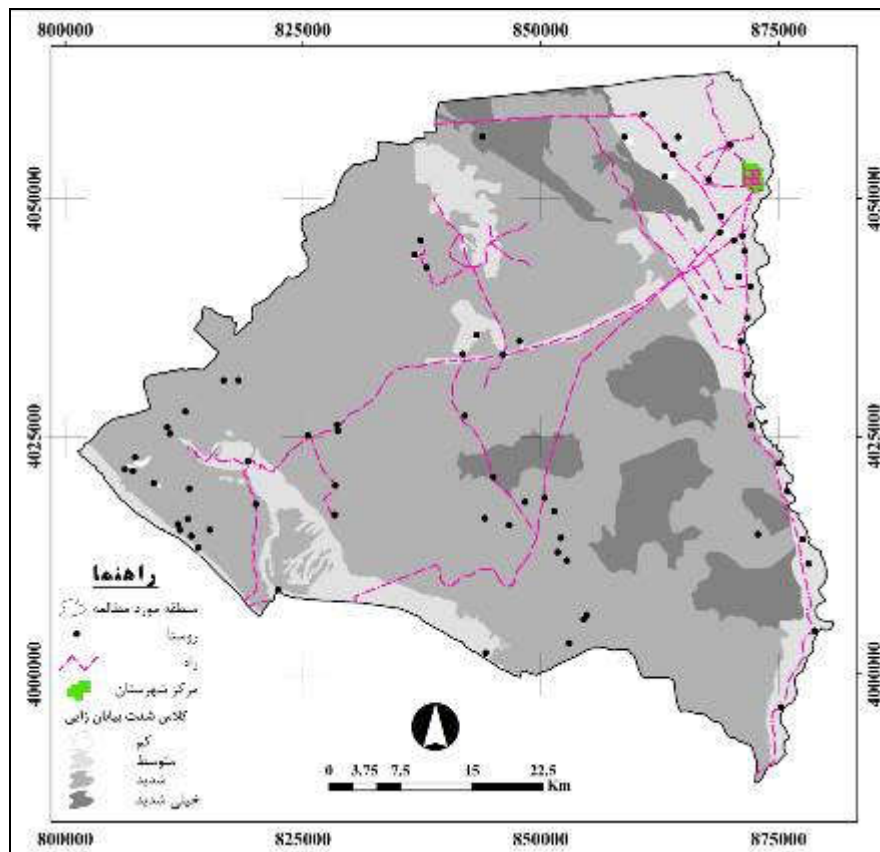
پس از تهیه نقشه شدت خطر بیابان‌زایی و با توجه به ماهیت سنجشی فرایند بیابان‌زایی برای بررسی صحت نتایج و میزان کارایی مدل ارائه‌شده، اقدام به مقایسه آماری کلاس‌های بیابان‌زایی واحدهای کاری با حقایق زمینی گردید. صحت‌سنجی طبقات بیابان‌زایی مدل IMDPA با حقایق

زمینی نشان داد که مدل، با واقعیت زمینی در سطح اطمینان ۵٪ با P-value معادل ۰/۴۷۲ اختلاف معناداری ندارد. جدول (۷) میانگین وزنی ارزش کمی طبقه‌های شدت بیابان‌زایی و شکل (۴) نقشه شدت پتانسیل بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۷): میانگین وزنی ارزش کمی طبقه‌های شدت بیابان‌زایی

Table (7): Average weight of the quantitative value of desertification intensity classes

درصد فراوانی	مساحت (هکتار)	دامنه عددی	طبقه شدت بیابان‌زایی
۰/۵۹	۱۹۹۶/۴۹	۰-۱/۵۹	کم
۱۸/۷۵	۶۳۲۱۰/۹۰	۱/۶-۲/۵۹	متوسط
۶۸/۹۵	۲۳۲۴۴۱/۵۷	۲/۶-۳/۵۹	زیاد
۱۱/۷۱	۳۹۴۵۸/۶۴	۳/۶-۴	خیلی زیاد



شکل (۴): نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه سرخس با استفاده از مدل IMDPA

Figure (4): Desertification intensity map of Sarakhs region using IMDPA model

سازمان‌های مربوط جمع‌آوری شد. این نقشه‌ها با چاه‌ها، قنات و چشمه‌ها نقشه عناصر در معرض خطر منطقه را تشکیل دادند. جدول ۸٪ توزیع فراوانی هریک از عناصر را در ۵ طبقه در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

نقشه عناصر در معرض خطر بیابان‌زایی

نقشه مراتع و اراضی کشاورزی با استفاده از نقشه پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای لندست (۲۰۱۸) به دست آمد. نقشه جاده‌ها، اماکن مسکونی، تأسیسات و معادن از

از ۶۴٪ نیز در کلاس متوسط هستند (شکل ۵، ب). جدول (۹) طبقه‌های آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر و توزیع فراوانی آنها را نشان می‌دهد.

جدول (۹): طبقه‌های آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر و توزیع فراوانی آنها

Table (9): Vulnerability classes of endangered elements and their frequency distribution

طبقه	طبقات کیفی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
II	کم	۱۱۸۹۴۸/۸۰	۳۵/۲۹
III	متوسط	۲۱۸۱۵۸/۸۱	۶۴/۷۱

جدول (۸): طبقه‌های عناصر در معرض خطر بیابان‌زایی و توزیع فراوانی آنها

Table (8): Classes of elements at risk of desertification and their frequency distribution

طبقه	طبقات کیفی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
I	خیلی کم	۲۶۱۲۵/۸۲	۷/۷۵
II	کم	۹۳۷۴۴/۲۷	۲۷/۸۱
III	متوسط	۱۲۸۵۳۲/۷۰	۳۸/۱۳
IV	زیاد	۲۵۷/۸۴	۰/۰۸
V	خیلی زیاد	۸۸۴۴۶/۹۷	۲۶/۲۴

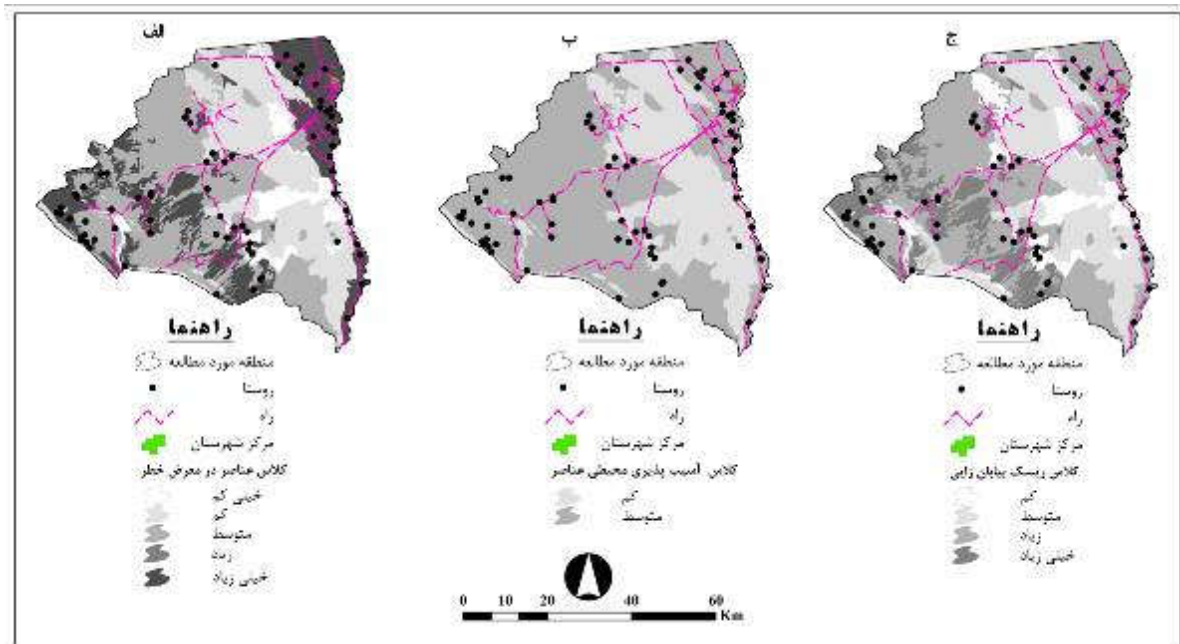
بر اساس جدول (۸) و شکل (۵) مشخص شد که بیشترین تعداد عناصر مهم اکولوژیک، طبیعی، اقتصادی-اجتماعی در شرق منطقه قرار دارند و در بخش‌های مرکزی منطقه به دلیل وجود محدودیت اکولوژیک، عناصر انسانی و اقتصادی کمتر دیده می‌شود.

آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر

آسیب‌پذیری و حساسیت پدیده‌ها (جدول ۹) نشان داد که بیش از ۳۵٪ منطقه از عناصر با ضریب حساسیت کم و بیش

ریسک خطر بیابان‌زایی

با استفاده از رابطه (۳)، عدد ریسک محاسبه و در چهار طبقه کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شد که به ترتیب دارای فراوانی ۱۱/۹۷٪، ۲۶/۵۳٪، ۴۶/۲۴٪ و ۱۵/۲۶٪ هستند. شکل (۵ ج) نقشه ریسک و جدول (۱۰) طبقه‌های ریسک بیابان‌زایی را نشان می‌دهد.



شکل (۵): به ترتیب شامل (الف) نقشه‌های عناصر در معرض خطر، (ب) آسیب‌پذیری محیطی عناصر و (ج) نقشه ریسک بیابان‌زایی

Figure (5): Includes (a) maps of endangered elements, (b) environmental vulnerability of elements, and (c) desertification risk maps, respective

به طوری که این مناطق، محل سکونت و بسیاری از اراضی کشاورزی منطقه است.

جدول (۱۰) نشان می‌دهد که بیش از ۶۰٪ منطقه در غرب و شرق منطقه سرخس، از نظر ریسک خطر و احتمال بیابانی شدن، در طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

بوده است، در این پژوهش علاوه بر معیار فرسایش بادی، معیارهای پوشش گیاهی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی، هر چهار معیار بیشترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند؛ اگرچه عوامل طبیعی در منطقه سرخس سهم مهمی در شدت بیابان‌زایی و تخریب اراضی داشته است، اما عامل انسانی و مدیریتی به دلیل رفتار نابخردانه و فعالیت‌های نامناسب با طبیعت به طور غیرمستقیم باعث تشدید سایر عوامل به‌ویژه اثرات عوامل طبیعی شده است، که نتایج حاصل از ارزیابی شدت بیابان‌زایی در این پژوهش نشان‌دهنده بیش از ۸۰٪ منطقه با درجاتی از شدید تا خیلی شدید مؤید این مطلب خواهد بود. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک، که نتیجه حاصل ضرب نقشه پتانسیل شدت بیابان‌زایی در نقشه عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری محیطی است، مشخص شد بیش از ۳۵٪ از منطقه در طبقه آسیب‌پذیری کم و بیش از ۶۴٪ در طبقه آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفته است. نقشه ارزیابی ریسک بیابان‌زایی نیز نشان داد که ۶۰٪ از منطقه مورد مطالعه دارای ریسک بیابان‌زایی زیاد تا خیلی زیاد است که دلیل آن وجود عناصر زیستی و اقتصادی مهم از جمله مراکز سکونتگاهی، اراضی کشاورزی و زراعت باغی، آب‌های زیرزمینی می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی ریسک با مطالعات اکبری و همکاران (۲۰۱۶) و داوری و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد؛ زیرا در پژوهش یادشده نیز مراکز جمعیتی، اراضی کشاورزی و باغات و آب‌های زیرزمینی در معرض خطر ریسک بیابان‌زایی زیاد تا خیلی زیاد واقع شده‌اند. همچنین این نتایج با برخی از مطالعات به دلیل قرار گرفتن بخش‌ها و فعالیت‌های انسانی که با درجاتی از ریسک بالای بیابان‌زایی روبه‌رو هستند، همخوانی دارد (آرامی، ۲۰۱۴؛ سیلاخوری، ۲۰۱۴؛ مؤمن‌زاده، ۲۰۱۴). در مجموع استفاده از مدل IMDPA به‌عنوان یک مدل ایرانی و سازگار با شرایط اقلیمی و محیطی ایران به‌ویژه منطقه مورد مطالعه، به‌خوبی توانسته است ارزیابی مناسبی از شدت بیابان‌زایی منطقه ارائه دهد. همچنین کاربرد معادله جهانی ریسک، به دلیل استفاده از نقشه شدت، عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری محیطی نشان‌دهنده احتمال توسعه بیابان‌زایی در منطقه بوده است.

جدول (۱۰): طبقه‌های ریسک بیابان‌زایی منطقه سرخس و توزیع

فراوانی آن‌ها

Table (10): Desertification risk classes of Sarakhs region and their frequency distribution

طبقه	طبقات کیفی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
I	کم	۴۰۳۴۷/۸۵	۱۱/۹۷
II	متوسط	۸۹۴۴۸/۶۳	۲۶/۵۳
III	زیاد	۱۵۵۸۷۲/۱۶	۴۶/۲۴
IV	خیلی زیاد	۵۱۴۳۸/۹۷	۱۵/۲۶

بحث و نتیجه‌گیری

مدل ایرانی IMDPA روشی نسبتاً کامل و جامع می‌باشد که با شرایط مرکزی و مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، نیز کالبره شده است. انتخاب تعداد نسبتاً کافی از معیارها و شاخص‌های منطبق با شرایط منطقه و در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف تخریب سرزمین در روش‌های بیابان‌زایی باعث می‌شود تا برآورد دقیقی از شدت و وضعیت بیابان‌زایی در تخریب اراضی در منطقه صورت گیرد که در این مدل به آن توجه شده است. به‌نوعی، در این روش با استفاده از تکنیک سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در نمایش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، علاوه بر سرعت و دقت، کاهش خطای کارشناسی نیز مشهود است. از دیگر نقاط قوت این مدل می‌توان به روش میانگین هندسی اشاره کرد. در عین حال معیارها و شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی در این روش به‌صورت غیر سیستماتیک و بنا بر نظر کارشناس، تعیین و ارزش‌دهی می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد حدود ۶۹٪ منطقه مورد مطالعه از نظر شدت خطر بیابان‌زایی در وضعیت شدید و حدود ۱۱٪ در وضعیت خیلی شدید قرار داشته و از بین معیارهای مورد بررسی، معیار فرسایش بادی، پوشش گیاهی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی با ارزش وزنی ۳/۵ بیشترین تأثیر را بر روند بیابان‌زایی منطقه داشته است. برخی از مطالعات انجام‌شده در این زمینه به دلیل استفاده از تمامی معیارها و شاخص‌های این مدل جواب‌های نسبتاً مشابهی را در اقلیم‌های مشابه تأیید می‌کند (آرامی، ۲۰۱۴؛ سیلاخوری، ۲۰۱۴؛ خسروی، ۲۰۱۴؛ اکبری، ۲۰۱۶؛ داوری، ۲۰۱۷). گرچه در مطالعات فوق، فرسایش بادی مهم‌ترین معیار

مدیریت مبتنی بر ریسک در دستورالعمل شماره ۲۱ و اجلاس جهانی توسعه پایدار اشاره شده و جزء کلیدی استراتژی‌های کاهش مخاطرات محیطی سازمان ملل (ISDR) است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر، نتایج بخشی از رساله دکتری بیابان‌زدایی در دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است. لذا از همکاری همه کسانی که در آن ما را یاری کرده‌اند، بسیار سپاسگزاری می‌شود.

ارزیابی عناصر در معرض خطر به‌ویژه عناصر انسانی و اقتصادی، عمل خوبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری محیطی محسوب می‌شوند که در این پژوهش سعی شد به‌درستی مورد استفاده قرار گیرد. نقشه شدت بیابان‌زایی به‌تنهایی نمی‌تواند ابزاری مفید برای ارائه برنامه مدیریت بحران بیابان‌زایی باشد. شاید منطقه‌ای در رتبه شدید بیابان‌زایی قرار داشته باشد ولی به‌علت فقدان عناصر در معرض خطر، ریسک بیابان‌زایی آن قابل توجه نباشد و در اولویت برنامه مدیریت بحران بیابان‌زایی قرار نگیرد. پس در کنار نقشه شدت بیابان‌زایی، نقشه عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری نیز حائز اهمیت است. همچنین

منابع

- Ahmadi, H. 2004. The final report describes the formulation of a comprehensive service plan and Methodology specifying the evaluation criteria and indicators of desertification in Iran, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- Akbari, M., Jafari Shalamzari, M., Memarian, H. and Gholami, A. 2020. Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicators*. 111, 106011.
- Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A. and Khosravi, H. 2016. Desertification Risk Assessment and Management Program, *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(4), 365-380.
- Akbari, M. 2016. Proposing an Early Warning System for Desertification Hazard (Case study: Semi desert region of the Gorgan Plain, Golestan Province, Iran), Ph.D Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 403 p. (In Persian).
- Ammann, w. 2016. Early warning in Disaster risk reduction- Needs and potential. 7th International Conference on Integrated Natural Disaster Management- INDM, 15-16 Feb., Tehran-IRAN.
- Arami, A.L., Ownegh, M. and Berdi-Shykh, V. 2014. Desertification Risk Assessment in the semi-arid region Agh-Band, Golestan Province, *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 21(2), 153-172. (In Persian).
- Bedoui, C. 2020. Study of desertification sensitivity in Talh region (Central Tunisia) using remote sensing, G.I.S. and the M.E.D.A.L.U.S. approach, *Environmental Science and Pollution Research*, DOI: 10.1186/s40677-020-00148-w.
- Booali, A.L. and Mohammadin Behbahani, A. 2019. Evaluating the severity and risk of desertification and presenting the management plan of the study area: Segzi plain of Isfahan, *Journal of Geography and Development* No. 65, 181-194.
- Bouabid, R., Rouchdi, M., Badraoui, M., Diab, A. and Louafi, S. 2010. Assessment of land Desertification Based on the MEDALUS Approach an Elaboration of an Action Plan, The case study of the Souss River basin, Morocco.
- Committee on Science and Technology, ICCD/COP, 2007. Conference of the parties, Improving the efficiency and effectiveness of the Committee on Science and Technology Final report of the Group of Experts, Convention to Combat Desertification. P15
- Davari, S., Rashki, A., Akbari, M. and Talebanfard, A. 2017. Assessing intensity and risk of desertification and management programs (Case study: Ghasemabad plain of Bajestan, Khorasan Razavi Province), *Desert Management* No. 9, 91-106.
- Hedia, Ch., Mohamed, N., Andrea, V. and Nejib, R. 2006. Modelisation de la Desertification per l'Adaptation de la Methode MEDALUS a UN Bassin Versant du Centre de la Tunisie, 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19.
- Hoseinpour, R., Ownegh, M., Komaki, CH.B. and Ramezani, M. 2015, Assessing the risk of desertification and presenting the management plan of Nehbandan salt marsh area with MICD model, Third National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran. (In Persian).
- Karamesouti, M., Panagos, P. and Kosmas, C., 2018. Model-based spatio-temporal analysis of land desertification risk in Greece, CATENA, Joint Research Centre and Agricultural University of Athens, Volume 167, Pages 266-275
- Khosravi, H., Zehtabiana, G. R., Ahmadib, H. and Azarnivanda, H. 2014. Hazard assessment of desertification as a result of soil and water recourse degradation in Kashan region, Iran. *Desert*, 19(1), 45-55.

16. Ladisa, G., Todorvis, M. and Trisorio, L. G. 2002. Characterization of Area Sensitive to Desertification in Southern Italy, Proc. Of the second int. on new Trend in water and Engineering for Safety and life: Eco-compatible solutions for Aquatic Environmental, Capri, Italy.
17. Mombeni, M., Karamshahi, A., Geraei, P., Azadnia, F. and Khosravi, H. 2015, Assessing the actual situation of desertification with emphasis on water, climate and soil criteria using IMDPA model (Case study: Abbas plain), Journal of Agricultural Sciences and Technology and Natural Resources, Water and Soil Sciences, Vol. 19, No. 72, 349-359. (In Persian).
18. Momenzadeh, M., Ownegh, M., Alizadeh, M. and Taheri Nameghi, H. 2014. Risk Assessment of Desertification in the Neyshabur Fadisheh, The Second National Desert Conference with the approach of managing arid and desert areas. (In Persian).
19. Nazarinezhad, M. 2010. Evaluating the Efficiency of ESAs and ICD Models for Desertification and Development of Desertification Risk Management Program (Case Study: Rezaabad Khartouran, Semnan Province), Master's Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).
20. Nikoo, Sh. 2011. Desertification Assessment Using IMDPA Model (Case Study: Damghan Region), PhD Thesis, Tehran University, Faculty of Natural Resources, Karaj, 233 p. (In Persian).
21. Raeesi, A. Zehtabian GH.R., Ahmadi H., Khosravi H. 2008. Survey affect violence in desert (bank deserts) use from IMDPA model in kahir konarak area, Master's Thesis, Tehran University, Faculty of Natural Resources, Karaj, 142 p. (In Persian).
22. Rahdari, GH., Khosravi, H., Fakhireh, A. and Rahdari, M. 2014, Monitoring the desertification process by analyzing quantitative and qualitative information of water and climate criteria (coastal deserts of southeastern Iran), Desert Management Journal, No. 4, 17-30. (In Persian).
23. Rasmy, M., Gad, A., Abdelsalam, H. and Siwailam, M. 2010. A dynamic simulation model of desertification in Egypt, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 13 (2), 101-111.
24. Silakhori, A., Ownegh, M. and Sadoddin, A. 2014. Risk Assessment and Risk of Desertification Sabzevar Using MICD, Journal of Crisis Management, 5: 89-99. (In Persian).
25. Annual report of the united nations office for disaster risk reduction (2014).
26. Valy, A. A., Barabadi, H. and Khosravi, H. 2015. Risk Assessment of Desertification in the Plain Rodab, Sabzevar, with an emphasis on two criteria, Journal of Engineering Desert Ecosystem, fourth year, 8: 66-57.
27. Van Westen, C., Kappes, M. S., Luna, B. Q., Frigerio, S., Glade, T. and Malet, J. P. 2015. Medium-scale multi-hazard risk assessment of gravitational processes. In Mountain risks: from prediction to management and governance (PP. 201-231). Springer Netherlands.
28. Zakerinejad, R., Masoudi, M.; Afzali, F. and Falah, R. 2012. Assessment of Desertification using ground water criteria and GIS (case study: Zarin Dasht Fars), Irrigation and Water Engineering, 7, 1-10.
29. Zolfaghari, F., Shahriari, A. R., Fakhireh, A, Rashki, A. R., Nori, S. and Khosravi, H. 2011. Desertification Intensity Assessment in the Sistan Plain by using IMDPA Model, Watershed Management Research (Research and Construction), 91: 97-107. (In Persian).

Quantitative Assessment of the Desertification Intensity and Risk: A Case study of Sarakhs City

Mahboobeh Sarbazi¹, Majid Ownegh^{2*}, Ali Mohammadian Behbahani³, Morteza Akbari⁴

Received: 28/08/2020

Accepted: 18/12/2020

Extended abstract

Introduction: The growing trend of desertification is one of Iran's most serious environmental, economic, and social problems, making the identification of the desertification processes and their causes and intensification an important and necessary task. Therefore, to provide a model for showing the intensity of desertification and

1. PhD. Student of Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources

2. Professor, Department of Range Land and Watershed Management of Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Corresponding Author, Email: ma94ownegh@yahoo.com

3. Assistant Professor, Department of Range Land and Watershed Management, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4. Assistant Professor, Department of Desert Area Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

DOI:10.22052/deej.2021.10.31.11

determining the most critical factors involved in desertification and its prevention, it is necessary to select appropriate criteria and indices.

Characterized by a dry climate, low rainfall, unfavorable soil conditions, unprincipled land-use change, and increased wind erosion, Sarakhs city is facing a critical desertification crisis which has led to severe environmental problems as it is considered the center of wind erosion crisis. Thus, considering the critical environmental and human problems existing in Sarakhs and the strategic position of this city, this study sought to assess the severity of the risk via the Iranian model IMDPA and calculate and prepare a desertification risk map of the region. To this end, all the criteria required by the model were evaluated. As the desertification risk maps and the effective indicators of the region's desertification serve as a suitable and efficient tool for managing desertification crises, the prioritization of the crisis management program and the type of programs will be determined.

Methodology: The Iranian IMDPA method, the geometric mean of nine climatic criteria, and relevant indicators in terms of geology, vegetation, agriculture, water, soil, water and wind erosion, social and economic issues, urban and industrial development were used to assess the severity of desertification. The scoring of criteria and indicators was performed in work units, which are the faces of subsistence. Risk assessment of desertification was performed by combining the risk map of desertification risk, hazardous elements, and the degree of environmental vulnerability using a global risk equation. After identifying the desertification risk classes and the natural and human elements across them via expert opinions and field facts, the vulnerability classes of the elements were determined according to the type of class of the risk severity. To calculate the quantitative value of environmental vulnerability, each element's hazard map and conditions were considered economically and ecologically. Elements at higher risk were also vulnerable. This evaluation was based on the relevant executive departments' expert opinions according to the regional conditions, which can have different values in different regions. Finally, the product of the risk classes of desertification (H) in the classes of hazardous elements (E) and the degree of vulnerability of the elements (V) in the GIS environment of the risk classes (R) was determined.

Results: Lithographic maps, physiography, land use, and satellite images were prepared and integrated with the GIS environment to achieve work units' maps. After combining the maps in the ArcGIS geographic information system environments version 10/2, work units were obtained to be reviewed and corrected. Moreover, land use maps, geology, and surface cover maps were located via Google Earth images to be further adapted to the landforms. Finally, three units, 22 brigades, and 67 geo-biophysical faces were separated in the study area. Based on the criteria's geometric mean and the characteristics of desertification in the IMDPA model, the numerical value of each of the faces was estimated to be 3, indicating the severe intensity of desertification in the region. In terms of zoning, the region was classified into low classes with an abundance rate of 0.6, medium classes with an abundance rate of 18.8, severe classes with an abundance rate of 6.9, and very intense classes with an abundance rate of 11.7. Among the factors involved in desertification, wind erosion criteria, vegetation, agricultural and socio-economic factors had the most significant impact on the intensity of desertification in the region with an average weight of 3.5. Moreover, the vulnerability and sensitivity of the phenomena showed that low-sensitivity elements covered more than 35% of the area, and sensitive middle-class elements covered more than 64% of the area. Also, the number of risks was calculated and classified into four categories ranging from low to high via global risk equation, with their frequency reported to be 11.97%, 26.53%, 46.24%, and 15.26%, respectively. In this regard, it was found that more than 60 percent of western and eastern Sarakhs were on a high and very high-risk level in terms of desertification. These areas were home to many agricultural lands.

Discussion & Conclusions: According to the study's results, it was found that more than 80% of the whole study area was classified as severe and very severe in terms of desertification. Furthermore, wind erosion, vegetation, agriculture, and socio-economic criteria had the most significant impact on the region's desertification process, with their weight value reported to be 3.5 on average. In general, using the Iranian IMDPA model, which is compatible with Iran's climatic and environmental conditions, especially with the study area, helped assess the region's desertification intensity. Also, considering the use of intensity maps and the existence of hazardous elements and environmental vulnerabilities, the application of the global risk model indicated the possibility of the development of desertification in the region. It could be argued that evaluation of hazardous elements, especially the human and economic ones, is a good practice to assess environmental vulnerabilities, a fact that this study attempted to apply appropriately. It should also be noted that a desertification intensity map alone cannot be a helpful tool for providing a desert crisis management program. While the region could be at a high risk of desertification, the desertification risk would not be significant due to the lack of endangered elements, and thus, it would not be a priority in the Desert Crisis Management Program. Therefore, in addition to the desertification intensity map, the endangered and vulnerable elements' map is also of great importance. The novelty of this applied research lies in its assessment of the desertification intensity and risk.

Keywords: Desertification Indices, Vulnerability, Risk, Wind erosion, Sarakhs.