Vol.13, No2, Summer 2024, pp.210-239 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83917.1404 Open access

Desertification Risk Assessment and Providing Management Strategies using the DPSIR-M Model in Khorasan Razavi province

Morteza Akbari[*a], Mahboobeh Sarbazi[b], Ali Sibevei[c], Somayeh Fadaie[d]

[a] *Associate Professor in Desertification, Desert and Arid Zones Management Department, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran*
[b] *PhD in Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran*
[c] *Assistant Professor in Department of Agricultural Economics, University of Torbat Heydarieh, Iran*
[d] *PhD Candidate in Industrial Management, Department of Management,Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Received: 13 August 2023 ***Revised: 30 August 2023*** ***Accepted: 10 September 2023***

Abstract

Desertification is the greatest environmental challenge that serious threats to food security and biodiversity. This research was conducted with the aim of evaluating the risk of desertification and providing management plans using the DPSIR-M conceptual model in Khorasan Razavi province and in 4 steps. These steps include; - Collecting data and preparing basic maps, - Choosing a model to prepare a desertification intensity map, - Assessing the risk of desertification and finally, providing management plans based on the conceptual approach of DPSIR-M. The results showed that more than 30% of the study area are located in the relatively critical to severe desertification class. In terms of fragility, about 59% of the areas of Khorasan Razavi province are in relatively fragile to very fragile environmental conditions, and about 7% have the potential of fragility. The results of the desertification risk map showed that more than 98% of the regions are in the high and very high desertification risk class, and only 2% of the areas are in the moderate to very low classes. This issue can be a serious warning of the land degradation for the officials and executives of Khorasan Razavi province. Therefore, based on the intensity and risk maps of desertification and using the DPSIR-M model, six policies and 46 strategies and action plans were proposed for optimal land management. The proposed programs are in the form of preventive, corrective and rehabilitation programs. Therefore, it is suggested that the results obtained from this research be used by managers and experts of executive departments.

Keywords: Desertification, DPSIR-M model, Land degradation, Soil erosion, Land management,

Desertification risk

*. Corresponding author: Morteza Akbari Email: m-akbari@um.ac.ir Tel:+989155183055
How to cite this Article: Akbari, M., Sarbazi, M., Sibevei, A., & Fadaei, S. (2022). Desertification Risk Assessment and Providing Management Strategies using the DPSIR-M Model in Khorasan Razavi province, Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 210-239.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076 جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۳۹-۲۱۰

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83917.1404 دسترسی آزاد

ارزیابی خطر بیابان‌زایی و ارائه برنامه‌های مدیریتی با استفاده از مدل مفهومی DPSIR-M در استان خراسان رضوی

مرتضی اکبری[1]- دانشیار بیابان زدایی، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محبوبه سربازی- دکترای بیابان‌زدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

علی سیبویه- استادیار دانشکده اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

سمیه فدایی- دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی،دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۵/۲۲ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۶/۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۶/۱۹

چکیده

بیابان‌زایی بزرگ‌ترین چالش محیطزیستی است که امنیت غذایی و تنوع زیستی را تهدید می‌کند. هدف این پژوهش ارزیابی شدت و خطر بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی و ارائه راهکارهای مدیریتی با استفاده از مدل مفهومی DPSIR-M است؛ بنابراین، در ابتدا نقشه حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با مدل جهانی ESAs به دست آمد و سپس با استفاده از مدل ریسک، نقشه خطر بیابان‌زایی تعیین شد. نتایج نشان داد بیش از ۳۰ درصد از منطقه موردمطالعه در کلاس بیابان‌زایی نسبتاً بحرانی تا شدید قرار دارد. از نظر شکنندگی، حدود ۵۹ درصد از مناطق استان خراسان رضوی در شرایط محیطی نسبتاً شکننده تا بسیار شکننده قرار داشته و در حدود ۷ درصد نیز دارای پتانسیل شکنندگی هستند که در صورت بدتر شدن وضعیت از نظر شرایط محیطی، این میزان به کلاس شکننده اضافه خواهد شد. نتایج نقشه خطر بیابان‌زایی بیانگر آن است که بیش از ۹۸ درصد مساحت منطقه موردمطالعه در کلاس خطر بیابان‌زایی زیاد و خیلی زیاد قرار داشته و تنها ۲ درصد از مناطق در کلاس متوسط تا خیلی کم قرار دارند. بر اساس نقشه‌های شدت و خطر بیابان‌زایی و با استفاده از مدل DPSIR-M، ٦ سیاست و ٤٦ استراتژی و برنامه عملیاتی برای مدیریت بهینه اراضی استان خراسان رضوی پیشنهاد شد. همچنین پیشنهاد می‌شود نتایج به دست آمده از این پژوهش مورداستفاده مدیران و کارشناسان ادارات اجرایی قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: بیابان‌زایی، مدل DPSIR-M ، تخریب سرزمین، فرسایش خاک، مدیریت اراضی، خطر بیابان‌زایی

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۱۸۳۰۵۵ Email:m-akbari@um.ac.ir

مقدمه

بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، گسترش شدت تخریب سرزمین و بیابان‌زایی، امنیت غذایی و محیط‌زیست را با مشکلات زیاد و تهدید جدی روبرو ساخته است. به‌نحوی‌که پیش‌بینی می‌شود در ۲۵ سال آینده به میزان ۱۲ درصد از تولید محصولات غذایی در جهان کاسته شود (UNCCD, 2020). از سوی دیگر تا سال ۲۰۳۰، نیز روندهای جهانی همچون پویایی جمعیت، افزایش تقاضا برای مصرف انرژی، غذا و آب، فشار قابل‌ملاحظه‌ای را بر منابع طبیعی تحمیل خواهد نمود که نتیجه آن تخریب شدید اراضی است(Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018; 2021). در حال حاضر، گزارش‌های رسمی بیانگر آن است که بیش از دو میلیارد هکتار از اراضی که قبلاً توان تولیدی داشته‌اند، تخریب شده و بیش از ۷۰ درصد اکوسیستم‌های طبیعی دگرگون شده‌اند. تا سال ۲۰۵۰ نیز این میزان تخریب می‌تواند به ۹۰ درصد برسد (FAO, 2020). کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل به دلیل اهمیت موضوع، بیابان‌زایی را تخریب سرزمین در اراضی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب توسط عوامل مختلف اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، تعریف نموده است (United Nations Conference on Environment and Developmen, 1992). به‌طوری‌که امروزه، بیابان‌زایی به‌عنوان یک مخاطره محیطی به همراه سایر مخاطرات همچون تغییر اقلیم موجب آواره شدن بیش از ۱۷ میلیون نفر انسان از خانه‌های خود شده است. بر اساس تخمین بانک جهانی، اقتصاد جهانی سالانه ۵۲۰ میلیارد دلار را به دلیل وقوع مخاطرات محیطی از دست می‌دهد (UNCCD, 2020).

عوامل زیادی ازجمله؛ استمرار خشک‌سالی، تغییر پارامترهای اقلیمی، فرسایش خاک، تخریب پوشش‌گیاهی، جنگل‌زدایی، تغییر کاربری اراضی، معدن‌کاوی، رشد جمعیت، بهره‌برداری بیش‌ازحد از سفره‌های آب زیرزمینی، فرونشست زمین و غیره در شدت تخریب سرزمین و گسترش بیابان‌زایی نقش دارند (Akbari, Jarari shalamzari, Gholami, Memarian 2020; Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, & Noughani, 2020; Akbari, et al., 2020; Jiang et al., 2019; Bastas & Abdelrahim, 2019). در حال حاضر، برای ارزیابی شدت خطر بیابان‌زایی، مدل‌ها، معیارها و شاخص‌های متعددی وجود دارند. برای مثال می‌توان به مدل‌های جهانی FAO-UNEP, [1]ESAs, LADA[2] و روش ترکمنستان اشاره نمود (Salvati & Bajocco, 2011; Baartman, Van Lynden, Reed, Ritsema, & Hessel, 2007; Kairis, Karavitis, Salvati, Kounalaki, & Kosmas, 2015). به‌طوری‌که، نتایج این ارزیابی‌ها می‌تواند راهنمای مفیدی در تصمیم‌گیری‌های مدیران برای مدیریت مخاطرات باشد.

1 - Sensitivity Areas Assessment of Desertification, ESAs
2 - Land Degradation Assessment in Drylands, LADA

مدیریت خطر[1] (ریسک)، بر اساس تحلیل عدم قطعیت‌ها و یک رویکرد سیستماتیک برای به حداقل رساندن آسیب‌پذیری محیطی است (Akbari, 2016; Ammann, 2016). مدیریت خطر، فرآیند پیچیده‌ای است که مدیران را قادر می‌سازد تا استراتژی‌های خاصی مانند؛ اقدامات کنترلی برای کاهش اثر مخاطرات را اجرا نمایند (Jafari, Akbari, Kashki, & Badiee Nameghi, 2019; Davari, Rashki, Akbari, & Talebanfard, 2017; Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022). در این راستا، رویکرد و مدل مفهومی DPSIR[2] (محرک‌ها، فشارها، حالت‌ها، اثرات و پاسخ‌ها/واکنش‌های مدیریتی)، یک رویکرد جامع برای ارزیابی سیستماتیک خطر بوده که روابط بین سیستم‌های محیطی و انسانی را در نظر می‌گیرد (Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011; Sekovski, Newton, & Dennison, 2012). این مدل، یک روش ساده و علمی برای ارزیابی تخریب سرزمین در مقیاس محلی تا جهانی است (Zhang, Zhang, Wu, Ma, & Yang, 2016; Bizikova, Metternicht, & Yarde, 2018). رویکرد نوین DPSIR یا همان DPSIR-M[3] به دلیل اتخاذ تصمیمات مهم اجرایی، مبتنی بر واقعیت میدانی و نظرات کارشناسی برای کاهش اثرات مخاطرات محیطی، امکان بهتر و عملیاتی شدن استراتژی‌ها و راهبردهای مدیریتی را فراهم می‌سازد(Zhang, Zhang, Wu, Ma, & Yang, 2016; Bizikova, Metternicht, & Yarde, 2018)؛ بنابراین، به نظر می‌رسد برای کنترل، کاهش و به حداقل رساندن اثرات تخریب اراضی، یک رویکرد و سیاست یکپارچه با اهداف روشن، در ارزیابی خطر بیابان‌زایی ضروری است.

پژوهش‌های انجام شده در خراسان رضوی نشان می‌دهند بیابان‌زایی در این منطقه گسترش یافته و مشکلات محیط‌زیستی و اجتماعی–اقتصادی ایجاد نموده است (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022; Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022; Akbari, Neamatollahi, Noughani, & Memarian, 2022; Khashtabeh, Akbari, Kolahi, & Talebanfard, 2020). لذا، با وجود علائم مختلف بیابان‌زایی و شدت تخریب اراضی در استان، فقدان برنامه‌های مدیریتی مناسب و جامع برای جلوگیری از فرآیندهای مخرب آن مشهود است.

بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، پاسخ به سؤالات زیر است؛ آیا بیابان‌زایی بر اساس مدل جهانی ESAs در استان خراسان رضوی رخ داده است؟ در صورت وقوع این پدیده، درصد آسیب‌پذیری محیطی تا چه حد بوده است؟ و اینکه چگونه می‌توان اثرات مخرب این فرآیند را با مدیریت مناسب (مدیریت مبتنی بر احتمال وقوع خطر)، کنترل، کاهش و متوقف نمود؟ در این پژوهش سعی شده است علاوه بر تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی، عناصر در معرض خطر، آسیب‌پذیری محیطی و پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی، راهبردها، استراتژی‌ها و برنامه‌های پیشنهادی کنترل و کاهش خطر بیابان‌زایی در سطح و مقیاس استان خراسان رضوی، بر اساس

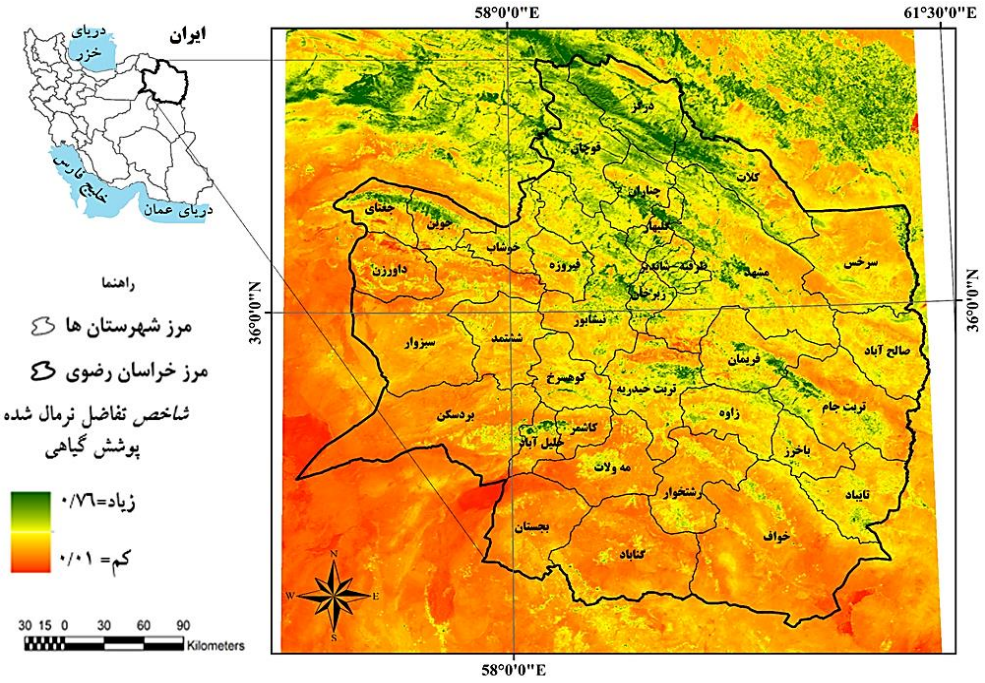
1- Risk Management
2 - Driver-Pressure-State-Impact-Response Framework, DPSIR
3- Driver-Pressure-State-Impact-Response- Managment Framework, DPSIR-M

نظرات کارشناسان و خبرگان عرصه بیابان و طبق دستور کار سال ۲۰۳۰ سازمان ملل برای توسعه پایدار و مبتنی بر یک مدل مدیریتی مانند DPSIR-M ارائه گردد. لازم به توضیح است که تاکنون تنها تعداد محدودی مطالعه در برخی از مناطق کشور، با هدف نقشه خطر بیابان‌زایی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

استان خراسان رضوی با مساحتی در حدود ۱۱۸ هزار کیلومترمربع، در شمال شرقی ایران قرار دارد. گزارش‌ها نشان می‌دهند بیش از ۷۵ درصد از مساحت این استان بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن تحت حاکمیّت اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, & Noughani, 2020; Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020 a,b). میزان بارش منطقه موردمطالعه از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد. از نظر دمایی نیز استان خراسان رضوی دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد بوده و میانگین سالانه دما ۱۵/۹ درجه سلسیوس است که از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. این استان از لحاظ پوشش گیاهی جزء نواحی ایرانی-تورانی بوده و بخش‌های شمالی آن از تنوع زیستی بیشتری در مقایسه با اکوسیستم‌های شکننده و حساس به فرسایش بخش‌های جنوبی برخوردارند (Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020 a,b) وضعیّت اقلیمی و بارش کم استان موجب شده که اکوسیستم حاکم بر منطقه از یک شرایط حساس و شکننده برخوردار باشد (Feyzi Koushki, Akbari, Memarian, & Azamirad, 2019; Memarian & Akbari, 2021). استان خراسان رضوی به دلیل اقلیم خشک، نزولات آسمانی اندک، خاک نامساعد، موقعیت استراتژیک مرزی، تغییر کاربری غیر اصولی، فرونشست زمین، گسترش بیابان‌زایی و فرسایش بادی و گردوغبار، نیازمند یک برنامه مدیریت جامع خطر بیابان‌زایی در راستای اهداف توسعه پایدار است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی

(تصویر NDVI در پس‌زمینه نقشه، مربوط به ماهواره استر سنجنده مودیس سال ۲۰۲۰ میلادی است).

Fig.1. Geographical location map of Khorasan Razavi province

روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر در چهار گام و مرحله انجام شد.

گام اول، جمع‌آوری داده‌ها و تهیه نقشه‌های پایه: داده‌های موردنیاز برای انجام این پژوهش شامل؛ نقشه‌های توپوگرافی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام سازمان نقشه‌برداری کشور)، آمار ایستگاه هواشناسی (تعداد ۱۳ ایستگاه سینوپتیک و استخراج اطلاعات آماری متوسط دما و بارندگی سالانه)، نقشه زمین‌شناسی و واحد قابلیت اراضی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام)، نقشه پوشش گیاهی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام)، نقشه مناطق چهارگانه محیط‌زیست استان (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام)، تصاویر ماهواره‌ای استر مربوط به سنجنده مودیس (جهت استخراج NDVI از محیط گوگل ارتز انجین) و گزارش طرح‌های اجرایی انجام شده سال ۱۴۰۰، ادارات و سازمان‌های مربوطه مانند گزارش طرح‌های مربوط به احیاء اراضی بیابانی و طرح‌های بیابان‌زدایی اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی، می‌باشند. جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نسخه ۱۰.۸.۲ انجام شد.

گام دوم، انتخاب مدل جهت تهیه نقشه شدت خطر بیابان‌زایی: مدل، ابزاری برای تحلیل رفتار پدیده‌ها و ساده کردن پیچیدگی‌های موجود در جهان واقعی است و هدف آن، افزایش دریافت ما درباره واقعیت‌ها و فرآیندها

در جهان می‌باشد (Khajeddin, Akbari, Karimzadeh, & Eghbal, 2008; Rasmy, Gad, Abdelsalam, & Siwailam, 2010). در این پژوهش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در خراسان رضوی از مدل جهانی ESAs استفاده شد. پویایی مدل در وزن‌دهی و میانگین هندسی شاخص‌ها و همچنین استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در تجزیه‌وتحلیل مکانی پارامترها از دلایل اصلی استفاده از مدل ESAs در این پژوهش بوده است. بر اساس مدل ESAs و با توجه به شرایط جغرافیایی و محیطی خراسان رضوی، تعداد ٤ معیار و ۱۹ شاخص مؤثر در بیابان‌زایی ازجمله؛ بافت خاک، عمق خاک، شیب زمین، زهکشی خاک، بارندگی، تبخیر و تعرق، خشکی، تراکم پوشش‌گیاهی، محافظت از فرسایش، خطر آتش‌سوزی، فرسایش آبی، فرسایش بادی، تراکم دام سبک، تراکم جمعیت انسانی و طرح‌های اجرایی تعیین و در ۵ گروه تحت عنوان معیارهای کیفیت خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش خاک (فرسایش آبی و بادی) و کیفیت مدیریت انسانی طبقه‌بندی شدند(Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022). وزن‌دهی و کمّی نمودن هر شاخص، طبق جدول استاندارد مدل ESAs انجام شد (جدول ۱). سپس با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های هر معیار و با استفاده از رابطه ۱، مقدار ارزش کیفیت هر معیار در سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد. پس از روی‌هم‌گذاری لایه اطلاعاتی معیارها در ماژول‌های آنالیز فضایی–مکانی (Kosmas, Kirkby, & Geeson, 1999; Kosmas, Tsara, Moustakas, Kosma, & Yassoglou, 2006; Lahlaoi, Rhinane, Hilali, Lahssini, & Moukrim, 2017; Lamqadem, & Rahimi. 2018) GIS، حساسیت اراضی خراسان رضوی به بیابان‌زایی تهیه شد. در این پژوهش، جهت انجام آنالیزهای و الگوریتم‌های تحلیل مکانی–فضایی و تهیه نقشه‌های ترکیبی رستری (سلولی)، از سیستم اطلاعات جغرافیایی نسخه ۱۰.۸.۲ استفاده شده است.

جدول ۱- ارزش وزنی معیارها و شاخص‌های مؤثر بیابان‌زایی خراسان رضوی بر اساس مدل (ESAs) (Akbari,Talebanfard, Pakdin, & Shahrokhi, 2024)

Table1- The weighted value of the effective criteria and indicators of Khorasan Razavi desertification based on ESAs model

معیار	شاخص	ویژگی شاخص‌ها	ارزش وزنی
خاک	بافت	لومی–سیلتی لوم–ماسه ای لومی–لومی ماسه ای–رسی لومی	۱
		ماسه‌ای رسی – سیلتی لوم – سیلتی رسی لوم	۱/۲
		سیلتی – رس– رسی سیلتی	۱/٦
		ماسه‌ای	۲
	عمق	عمق عمیق (>۷۵)	۱
		عمق متوسط (۳۰ – ۷۵)	۱/۲
		کم عمق (۱۵ – ۳۰)	۱/٦
		خیلی کم عمق (<۱۵)	۲
	شیب	خیلی ملایم تا مسطح (٦ >)	۱
		ملایم (۱۸ – ٦)	۱/۲
		زیاد (۳۵ – ۱۸)	۱/۵
		خیلی زیاد (۳۵ >)	۲

	سنگ و سنگریزه	کاملاً پوشیده از سنگ و سنگ‌ریزه	۱
		دارای سنگ و سنگ‌ریزه (متوسط)	۱/۳
		فاقد سنگ و سنگ‌ریزه سطحی	۲
	مواد مادری	شیل- شسیت-بازیک- اولترا بازیک- کنگلومرا	۱
		سنگ آهک-مارن- گرانیت- ریولیت-گنیس- ماسه سنگ	۱/۷
		مارن- پیروکلیست	۲
	زهکشی خاک	خوب	۱
		ناقص	۱/۲
		ضعیف	۲
اقلیم	بارندگی	> ۳۰۰	۱
		۳۰۰ – ۲۰۰	۱/۲
		۲۰۰ – ۱۵۰	۱/۵
		۱۵۰ – ۱۰۰	۱/۷
		< ۱۰۰	۲
	جهات شیب	NW-NE-E-W-N	۱
		S-SW-SE	۲
	خشکسالی	(۰/۲۰ – ۰/۵۰) نیمه‌خشک	۱/۵
		(۰/۰۳ – ۰/۲۰) خشک	۱/۸
		(۰/۰۳ >) خیلی خشک	۲
پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	٪٤٠<	۱
		٪۱۰-٤۰	۱/۸
		٪ ۱۰>	۲
	مقاوم به فرسایش	بوستان‌ها و باغات میوه – مراتع همیشه‌سبز	۱
		چمنزارها و مراتع دائمی	۱/۳
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/٦
		فاقد پوشش (لخت)	۲
	مقاومت به خشکسالی	بوستان‌ها و باغات میوه – مراتع همیشه‌سبز	۱
		چمنزارها و مراتع دائمی	۱/۲
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/۷
		فاقد پوشش گیاهی (بایر و بدون پوشش)	۲
	خطر آتش‌سوزی	فاقد پوشش گیاهی	۱
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/۵
		بوستان‌ها و باغات میوه – مراتع همیشه‌سبز	۲
فرسایش	فرسایش آبی	کم	۱
		متوسط	۱/٤
		زیاد	۱/۷
		خیلی زیاد	۲
	فرسایش بادی	کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۱/۸

		خیلی زیاد	۲
مدیریتی (مدیریت انسانی)	تغییر کاربری اراضی	شدت کم	۱
		شدت متوسط	۱/۵
		زیاد	۲
	توسعه معدنی	کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۲
	مناطق حفاظت شده	کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۲
	تعداد و تراکم دام	۵۰ – صفر	۱
		۵۰ – ۱۰۰	۱/۲
		۱۰۰ – ۲۰۰	۱/٤
		۲۰۰ – ۳۰۰	۱/۷
		> ۳۰۰	۲
	طرح‌های اجرایی	دارای طرح مدیریتی و اجرا شده	۱
		دارای طرح، اجرا نشده	۱/۵
		فاقد طرح مدیریتی، اجرا نشده	۲

پس از محاسبه ارزش هر معیار و با محاسبه میانگین هندسی معیارها، ارزش وزنی حساسیت اراضی به بیابانزایی (شدت بیابانزایی)، استان خراسان رضوی یا ESAI[1] محاسبه گردید (جدول ۲).

$$ESAS = (SQI \times CQI \times VQI \times EQI \times MQI)^{1/5}$$ رابطه ۱

در رابطه ۱؛ SQI معیار خاک، CQI معیار اقلیم، VQI معیار پوشش گیاهی، EQI معیار فرسایش و MQI معیار مدیریتی (مدیریت انسانی) می‌باشند (Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022; Akbari,Talebanfard, Pakdin, & Shahrokhi, 2024). لازم به توضیح است که میانگین هندسی هر معیار نیز بر اساس شاخص‌های آن معیار و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد.

1- Environmentally Sensitive Area Index

جدول ۲- طبقه‌بندی حساسیت اراضی (شدت) بیابان‌زایی

(Kosmas, Tsara, Moustakas, Kosma, & Yassoglou, 2006)

Table2-Classification of land sensitivity (severity) of desertification

نماد کلاس	کلاس/ طبقه حساسیت اراضی	دامنه تغییرات هر طبقه در ESAI
C3	بحرانی شدید	> 1.53
C2	بحرانی متوسط	1.42-1.53
C1	نسبتاً بحرانی	1.38-1.41
F3	خیلی شکننده	1.33-1.37
F2	شکننده	1.27-1.32
F1	نسبتاً شکننده	1.23-1.26
P	دارای پتانسیل شکنندگی	1.17-1.22
N	بدون تأثیر	< 1.17

گام سوم، برآورد خطر (ریسک) بیابان‌زایی

به‌منظور برآورد خطر بیابان‌زایی، ابتدا عناصر در معرض خطر شناسایی و با تعیین درجه آسیب‌پذیری آن‌ها و همچنین نقشه شدت بیابان‌زایی، نقشه خطر بیابان‌زایی طبق رابطه ۲ (مدل جهانی ریسک) به دست آمد (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018)

$$Risk\ assessment = H * E * V$$ **رابطه ۲**

در رابطه فوق H[1]، بیانگر شدت و تداوم خطر است که بر اساس مدل ارزیابی شدت بیابان‌زایی ESAs به دست آمد. پارامتر E[2]، عناصر در معرض خطر است و شامل تمامی عناصر زیستی و فیزیکی ازجمله؛ مراکز مسکونی و جمعیّتی، 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 بازدید میدانی به دست آمد. منظور از V[3] نیز درجه آسیب‌پذیری محیطی است که تابعی از درجه پایداری و ناپایداری محیطی است (Salvati & Toward, 2014).

1- Desertification Hazard
2 -Value at risk (Exposure)
3 -Vulnerability

تهیه نقشه عناصر در معرض خطر (E)

پس از مشخص شدن طبقه‌های شدت بیابان‌زایی و شناسایی عناصر طبیعی و انسانی در پهنهٔ طبقه‌های خطر، با بهره‌گیری از نظرات کارشناسی و واقعیّت‌های میدانی، طبقه‌های آسیب‌پذیری عناصر، با توجه به نوع طبقه شدت خطر تعیین شد. جدول ۳ طبقه‌های عناصر در معرض خطر را نشان می‌دهد.

جدول ۳- کلاس‌های عناصر زیستی-فیزیکی در معرض خطر استان خراسان رضوی

(Akbari, Ownegh, Asgari, Sadoddin, & Khosravi, 2016**)**

Table3-Classes of biological-physical elements at risk of Khorasan Razavi province

ردیف	کلاس عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر
۱	I	خیلی کم	≤۲
۲	II	کم	۳
۳	III	متوسط	٤
٤	IV	زیاد	٥
٥	V	خیلی زیاد	٦

محاسبه آسیب‌پذیری محیطی عناصر در معرض خطر (V)

برای محاسبه ارزش کمّی آسیب‌پذیری محیطی، نقشه شدت بیابان‌زایی و شرایط هر یک از عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیک مد نظر قرار گرفته شده است. عناصری که در طبقهٔ خطر بالاتری قرار دارند از آسیب-پذیری بیشتری نیز برخوردار خواهند بود. جدول ٤ ارزش کیفی صفات هر عنصر در معرض خطر و جدول ٥ رتبه و عدد آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر را نشان می‌دهد. این ارزش‌گذاری، بر اساس نظرات کارشناسان ادارات اجرایی مرتبط و با توجه به شرایط استان انجام شده است که می‌تواند در مناطق مختلف، ارزش‌هایی متفاوت نیز داشته باشند. محاسبه طبقه آسیب‌پذیری، طبق رابطه ۳ محاسبه شد:

$$\text{عدد آسیب‌پذیری} = (A*a)+(A*b)+(A*c)+(A*d) \qquad \textbf{رابطه ۳}$$

در رابطه ۳، A= طبقه خطر است. a,b,c,d = به ترتیب ارزش کیفی عناصر در معرض خطر موجود است، که طبق جدول ٤ ارزش‌گذاری می‌شوند.

جدول ٤- ارزش صفات عناصر در معرض خطر

(Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022).

Table4- The value of traits of elements at risk

عناصر زیستی و غیر زیستی	عامل	ارزش آسیب‌پذیری
مراتع	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲ – ۱۰
جنگل‌ها	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲ – ۱۰
اراضی کشاورزی	هر چه 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/نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها	با افزایش رتبه خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲ – ۱۰
جاده‌ها و زیرساخت‌ها	جاده‌های درجه‌یک 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

جدول ٥- رتبه و عدد آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر

(Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022).

Table5- Vulnerability rank and number of elements at risk

کلاس آسیب‌پذیری	طبقات کیفی	عدد آسیب‌پذیری
I	خیلی کم	۰ –۱٦
II	کم	۱۷ –۳۲
III	متوسط	۳۳ –٤۸
IV	زیاد	٤۹ –٦٤
V	خیلی زیاد	٦٥ –۸۰

در انتها از حاصل‌ضرب نقشه‌های شدت بیابان‌زایی (H)، نقشه عناصر در معرض خطر (E) و نقشه درجه آسیب‌پذیری عناصر (V) با یکدیگر در محیط GIS، نقشه خطر یا همان ریسک بیابان‌زایی (R) محاسبه شد (جدول ٦).

جدول ٦- رتبه و عدد خطر (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022).

Table6- Risk rating and number

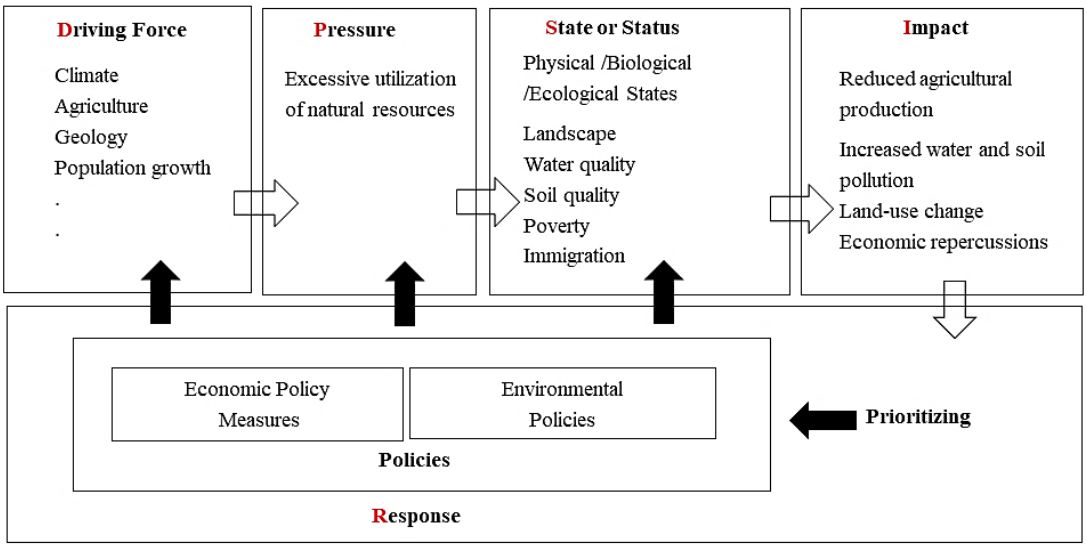
کلاس خطر	طبقات کیفی	عدد خطر
I	خیلی کم	۰–۸
II	کم	۹ – ۱۵
III	متوسط	۱٦ – ۳۵
IV	زیاد	۳٦ – ۸۰
V	خیلی زیاد	۸۰ – ۱۳٦

گام چهارم، ارائه برنامه‌های مدیریتی بر اساس رویکرد مفهومی DPSIR-M: برای بررسی و تحلیل مسائل مربوط به سیستم‌های اکولوژیکی (نظام محیطی) و اجتماعی–اقتصادی (نظام انسانی) که در ارتباط با هم پدیده بیابان‌زایی را به وجود می‌آورند در درجه اول نیاز به یک چارچوب فکری است که مسائل و مشکلات را طبقه‌بندی نموده و در مراحل بعد، امکان مدل‌سازی را فراهم نماید. در این پژوهش، برای تحلیل مسئله و مدیریت بیابان‌زایی برای اولین بار از چارچوب DPSIR-M استفاده شد. در واقع این چارچوب مقدمه‌ای برای پویایی سیستم فضایی مدل است. مدل مفهومی DPSIR-M رویکردی جامع برای ارزیابی علل، عواقب و پاسخ به تغییرات محیطی است که توسط آژانس زیست‌محیطی اروپا در سال ۱۹۹۹ توسعه یافته است. در درک و تجزیه‌وتحلیل روابط علت و معلولی و مدیریت اطلاعات بین اجزای متقابل سیستم‌های پیچیده اجتماعی–اقتصادی و محیط طبیعی نقش دارد (Kristiansen, 2004; Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011; Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, Noughani, 2020). این مدل از پنج جزء اصلی تشکیل شده است.

مدل مفهومی DPSIR (مدل محرک‌ها، فشارها، حالت‌ها، اثرات و پاسخ‌های مناسب مدیریتی) یک رویکرد ارزیابی سیستماتیک است که روابط بین سیستم‌های محیطی و انسانی را در نظر می‌گیرد (سکووسکی و همکاران ۲۰۱۲). این روش روابط علت و معلولی را مفهوم‌سازی می‌کند، یعنی اینکه چگونه فعالیت‌های انسانی (علل) فشارهایی را بر محیط تحمیل می‌کنند که منجر به تغییرات عمیق کیفی و کمی (پیامدها) می‌شود. در واقع، در مطالعات و پژوهش‌های مبتنی بر مدل مفهومی DPSIR، می‌توان مستقیماً تأثیرات هر عامل را بررسی نمود و راه‌حل‌های مدیریتی مناسب نیز ارائه کرد (European Environment Agency, 1995, 1999, 2003). چارچوب DPSIR از طریق ارتباط متقابل بین سیستم‌های طبیعی و اجتماعی شکل می‌گیرد (Carr, et al., 2007). در کاربرد رویکرد DPSIR، باید به ویژگی‌های اساسی سیستم و همچنین پیچیدگی‌ها و متغیرهای آن پایبند باشیم (Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011). در این راستا، مدل DPSIR-M، یک زنجیره علت و معلولی ساخته شده است که از نیروهای محرک شروع شده و به واکنش/استراتژی و راهبرد ختم می‌شود. در چارچوب DPSIR-M، پاسخ‌ها (سیاست‌ها/راهبردها و استراتژی‌ها) شامل؛ استراتژی‌هایی (برنامه‌های اقدام عمل[1]) می‌باشند که به‌عنوان راهنما برای ذینفعان، گروه‌های محلی و یا دولت‌ها عمل می‌کنند. پاسخ‌ها، تلاش‌هایی برای جلوگیری، جبران، و بهبود تغییرات در محیط یا انطباق با آن‌ها هستند (آژانس محیط‌زیست اروپا، ۲۰۰۳). برای مثال، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای جلوگیری از تغییرات آب و هوایی (Shahsavari & Akbari, 2018) و یا استفاده از آب مغناطیسی برای افزایش شاخص‌های رشد پوشش‌گیاهی در احیاء مناطق بیابانی (Mohammadi, Dastorani,

1 -Action Plan

(Akbari, & Ahani, 2019 نمونه‌هایی از پاسخ‌ها و راه‌حل‌های پیشگیرانه و مبتنی بر مدیریت خطر بیابان‌زایی به شمار می‌آیند. شکل ۲، طرح شماتیکی از رویکرد مفهومی DPSIR را نشان می‌دهد.



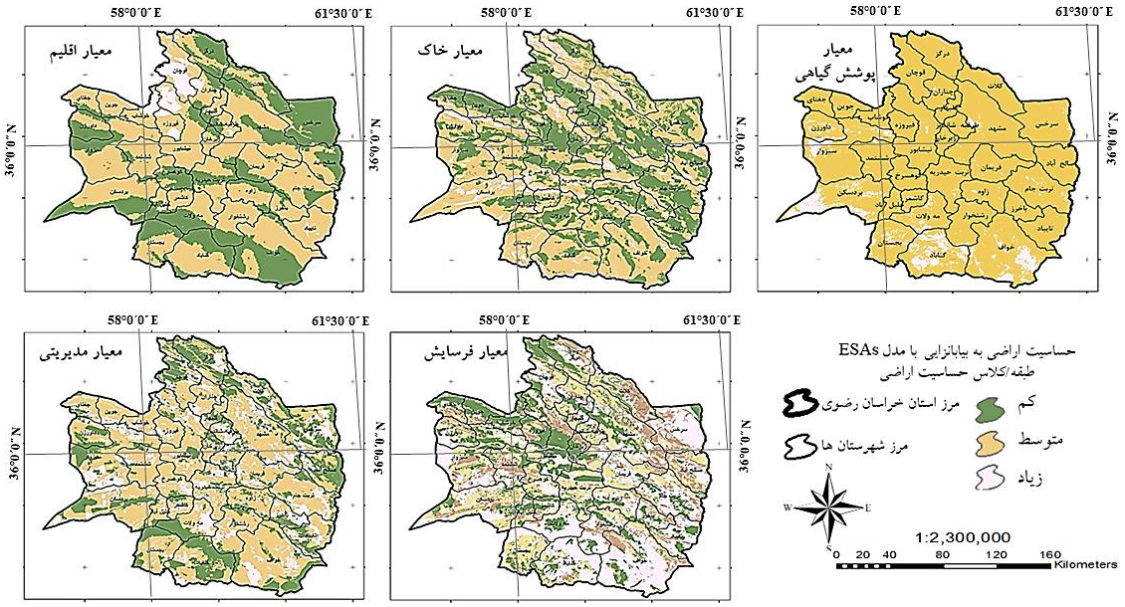
شکل ۲- چارچوب DPSIR و راهکارها (Kristiansen, 2004; Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011)

Fig.2. DPSIR framework and solutions

تاکنون پژوهش‌های مختلفی با استفاده از مدل DPSIR در مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی انجام شده است. برای مثال، می‌توان به مطالعه مداخلات انسانی در مدیریت زمین و محیط‌زیست (Magdy, El-Salam, & Elhakem, 2016)، برنامه‌ریزی جهت توسعه پایدار (Ale-Mohammad, Yavari, Salehi, & Zebardast, 2014)، تدوین شیوه‌های مدیریت پایدار خاک برای جلوگیری از تخریب سرزمین (Kairis, Karavitis, Salvati, Kounalaki, & Kosmas, 2015) و در ایران به مطالعات (Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, Noughani, 2020)، در استان گلستان جهت تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در روند بیابان‌زایی و ارائه راهکارهای پیشنهادی مقابله با آن اشاره نمود.

نتایج و بحث

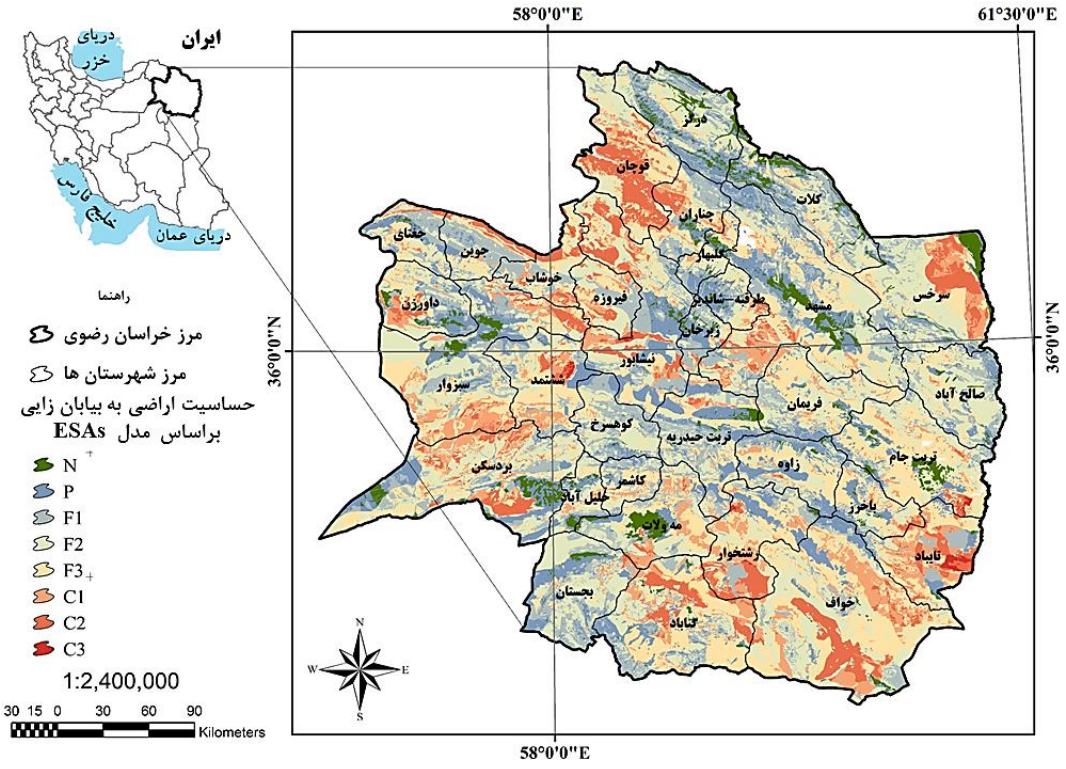
همان‌طور که در بخش روش کار نیز اشاره شد، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی خراسان رضوی بر اساس مدل جهانی ESAs و با استفاده از پنج معیار اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش (آبی و بادی) و همچنین مدیریت انسانی، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه شدت بیابانزایی بر اساس معیارهای پوشش‌گیاهی، خاک، اقلیم، فرسایش و مدیریت انسانی برگرفته از پژوهش(Akbari,Talebanfard, Pakdin, & Shahrokhi, 2024)

Fig.3. Desertification intensity map based on the criteria of vegetation, soil, climate, erosion and human management

نتایج ارزیابی شدت بیابانزایی نشان داد که نواحی مرکزی، جنوبی، جنوب شرق استان خراسان رضوی در وضعیت بحرانی و شکننده قرار دارند. به‌طوری‌که بیش از ۳۰ درصد اراضی در کلاس نسبتاً بحرانی تا بحرانی شدید واقع شده است. از نظر وضعیت شکنندگی در حدود ۵۹ درصد اراضی استان در شرایط نسبتاً شکننده تا خیلی شکننده قرار داشته و در حدود ۷ درصد نیز دارای پتانسیل شکنندگی می‌باشند که در صورت بدتر شدن شرایط از نظر عوامل محیطی و انسانی، این مقدار نیز به کلاس شکننده اضافه خواهد شد (شکل ٤).



شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی خراسان رضوی بر اساس مدل ESAs

Fig.4. Desertification intensity zoning map of Khorasan Razavi based on ESAs model

نتایج پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی استان خراسان رضوی نشان داد که معیار کیفیت پوشش‌گیاهی و شاخص‌هایی همچون کاهش پوشش‌گیاهی، افزایش خطر آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌های تنک و بیابانی (به دلیل خشکسالی‌های مستمر نزدیک از دو دهه گذشته تاکنون) و افزایش شدت فرسایش بادی و آبی به دلیل کاهش پوشش‌گیاهی، دارای بیشترین اهمیت در گسترش بیابان‌زایی خراسان رضوی بوده‌اند. پس از آن، معیارهایی همچون فعالیت‌های انسانی (معیار مدیریت انسانی)، اقلیم، فرسایش و خصوصیات خاک به ترتیب بیشترین تأثیر و نقش را در حساسیت اراضی به بیابان‌زایی این استان داشته‌اند. با توجه به روند تغییر پارامترهای اقلیمی، وضعیت بارش، میزان بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی، چرای بیش از ظرفیت مراتع توسط دام، شدت فرسایش بادی و آبی را در این نواحی از استان رقم زده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش، با نتایج پژوهش انجام شده در منطقه خشک استان اصفهان (Khajeddin, Akbari, Karimzadeh, & Eghbal, 2008) و نتایج مطالعات (Davari, Rashki, Akbari, & Talebanfard, 2017) و (Feyzi Koushki, Akbari, Memarian, & Azamirad, 2019) در استان خراسان رضوی همخوانی دارد. به‌طوری‌که در بسیاری از مطالعات کاهش پوشش گیاهی به دلیل استمرار خشک‌سالی، آتش‌سوزی، فرسایش خاک و توسعه فعالیت‌های انسانی مانند؛ تغییر کاربری اراضی (FAO., 2015) و افزایش شدت چرای دام در

مراتع را عامل اصلی گسترش بیابان‌زایی معرفی نموده‌اند. نقش فعالیت‌های انسانی در کاهش و تخریب پوشش‌گیاهی و گسترش بیابان‌زایی (Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022)، در پژوهش در حوضه کویر نمک خراسان رضوی نیز مورد تأکید قرار گرفته است. وجود املاح و شوری در بخش‌های جنوبی استان مانند؛ شهرستان‌های گناباد، خواف، بجستان، خلیل‌آباد و بردسکن عمدتاً منجر به کاهش تراکم پوشش گیاهی و شدت فرسایش بادی در این اراضی شده است. به‌طوری‌که در برخی از مطالعات نیز به افزایش شدت فرسایش بادی در نتیجه کاهش پوشش گیاهی اشاره شده است (Akbari, Jafari Shalamzari,Memarian, & Gholami 2020; Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022).

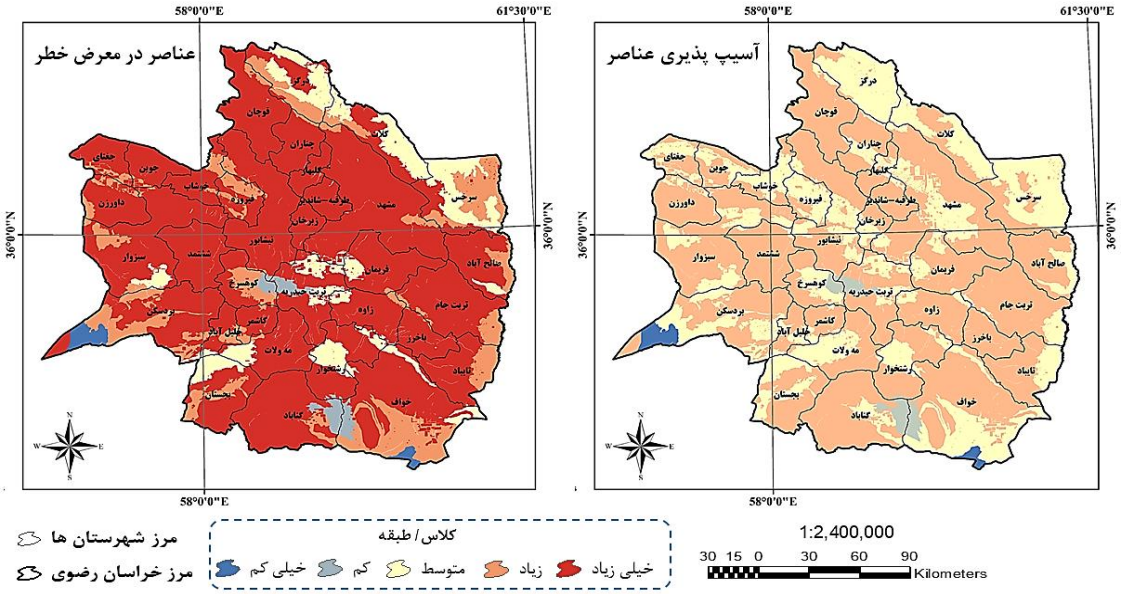
نتایج نشان داد که در بخش‌هایی از استان که در حال حاضر تحت کشت کشاورزی آبی (فاریاب) هستند، وضعیت بیابان‌زایی طبق مدل ESAs بحرانی نبوده است. هرچند به دلیل استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها، عدم رعایت الگوی کشت، افت سطح آب‌های زیرزمینی و تبدیل کاربری اراضی، همواره این اراضی با خطر بیابان‌زایی روبرو بوده و در صورت عدم مدیریت درست و بهینه در آینده، این اراضی نیز دچار درجاتی از بیابان‌زایی خواهند شد (جدول ۷). در برخی از مطالعات انجام شده به نقش توسعه اراضی کشاورزی و تبدیل کاربری اراضی در بخش‌هایی از شمال و جنوب استان و گسترش شدت بیابان‌زایی اشاره شده است (Khashtabeh, Akbari, Kolahi, & Talebanfard, 2020; Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020 a,b; Nasrian, Akbari, Faridhosseini, & Neamatollahi, 2018; 2019) .

جدول ۷- مساحت و درصد مساحت کلاس شدت بیابان‌زایی استان خراسان رضوی بر اساس مدل ESAs

Table7- The area and percentage of the area of desertification intensity class of Khorasan Razavi province based on ESAs model

کلاس/ طبقه حساسیت اراضی به بیابان‌زایی	کد کلاس/طبقه	میانگین وزنی هر طبقه	مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)
بحرانی شدید	C3	۱/۱۱۵	۳۹۱۲۲۹	۳/۳٦
بحرانی متوسط	C2	۱/۱۹۵	۱۵۲۰۷۱٦	۱۳/۰۵
نسبتاً بحرانی	C1	۱/۱٤۵	۱۸۹۷۷۰۱	۱٦/۱۹
خیلی شکننده	F3	۱/۱۹۵	۳۲۷۱٤۷۵	۲۸/۰۸
شکننده	F2	۱/۳۵۰	۲٤٦۵۵۲۳	۲۱/۱۷
نسبتاً شکننده	F1	۱/۳۹۵	۱۱۰۳۹٤٤	۹/٤۸
دارای پتانسیل شکنندگی	P	۱/٤۷۵	۸٦٦۳٤۰	۷/٤٤
بدون تأثیر	N	۱/۵۹۵	۱۳۱٦۷۰	۱/۱۳

نتایج ارزیابی خطر بیابان‌زایی که از حاصل‌ضرب نقشه شدت بیابان‌زایی، عناصر در معرض خطر و نقشه آسیب‌پذیری محیطی در سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد نشان داد بخش عمده‌ای از عناصر زیستی و غیر زیستی استان خراسان رضوی در معرض خطر بیابان‌زایی هستند (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه پهنه‌های فراوانی عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری محیطی در استان خراسان رضوی

Fig.5. Map of abundance zones of elements at risk and environmental vulnerability in Khorasan Razavi province

علاوه برآن، از بُعد آسیب‌پذیری محیطی نیز در حدود ۹۷ درصد مناطق استان از آسیب‌پذیری بالایی برخور بوده و ۸۸ درصد عناصر زیستی و فیزیکی در معرض خطر بیابان‌زایی قرار دارند (جدول ۸). این نتایج با مطالعات (Sarbazi, Talebanfard, Akbari, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022) در شهرستان سرخس، (& Azami rad, 2022) در حوضه کویر نمک استان خراسان رضوی، Davari, Rashki, Akbari, & Talebanfard, 2017 در شهرستان بجستان و نتایج پژوهش Jafari, Akbari, Kashki, & Badiee Nameghi, 2019 در شهرستان گناباد خراسان رضوی همخوانی و انطباق دارد.

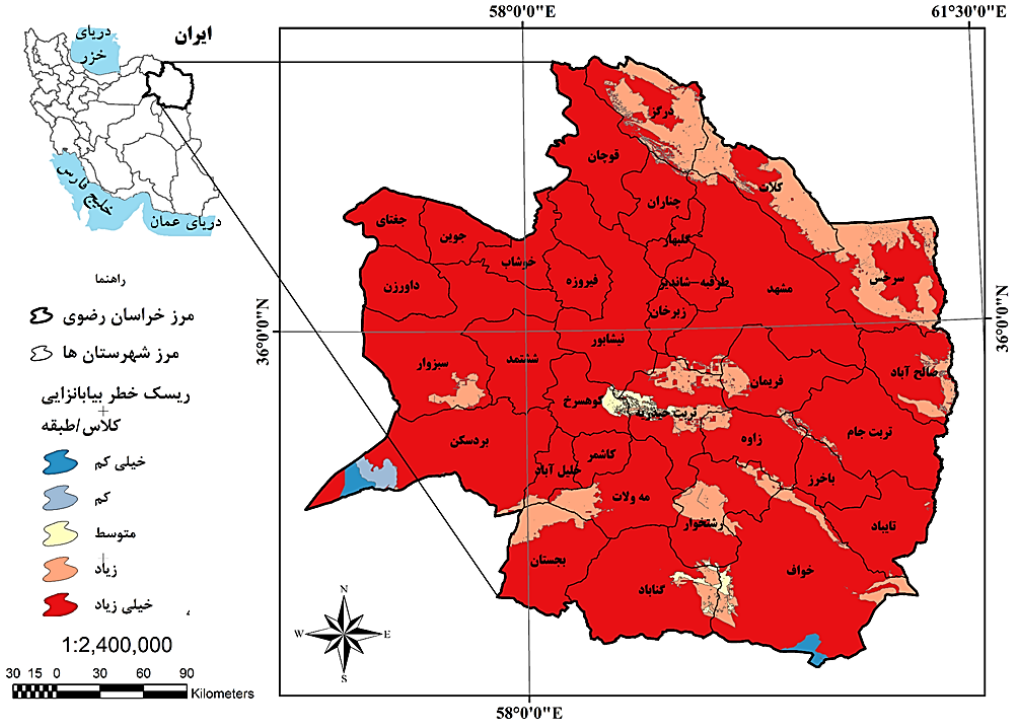
جدول ۸- مساحت و درصد مساحت کلاس عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری محیطی خراسان رضوی

Table8- The area and percentage of the area of the class of elements at risk and environmental vulnerability of Khorasan Razavi province

کلاس/طبقه	کد کلاس	عناصر در معرض خطر		آسیب‌پذیری عناصر	
		مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)
خیلی کم	۱	۹٤۰۳٦	۰/۸۱	۹٤۰۳٦	۰/۸۱
کم	۲	۱۵۸۳۲۹	۱/۳٦	۱۸٤۵٤٤	۱/۵۸
متوسط	۳	۱۱۰۹۳۸۲	۹/۵۲	۳۷۲۸۷۱٤	۳۲/۰۱
زیاد	٤	۱٦٤۷۲۹۱	۱٤/۱٤	۷٦٤۱۳۰٦	٦۵/٦۰
خیلی زیاد	۵	۵٦۳۹۵٦۲	۷٤/۱۷	-	-

نقشه پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی خراسان رضوی نشان داد تقریباً تمامی مناطق در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد بیابان‌زایی قرار دارند و تنها در بخش‌های بسیار کمی خطر بیابان‌زایی کم و ناچیز بوده است. با توجه به

اینکه نقشه خطر، احتمال وقوع بیابان‌زایی را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد، می‌تواند هشدار قابل‌توجهی را به کارشناسان، پژوهشگران و مدیران ادارات اجرایی در مدیریت استان اعلام دارد. شکل ٦ نقشه خطر بیابان‌زایی استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد.



شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی خطر (ریسک) بیابان‌زایی استان خراسان رضوی

Fig.6. Desertification risk zoning map of Khorasan Razavi province

علاوه برآن، بررسی کمی نقشه خطر نیز نشان داد که بیش از ۹۸ درصد اراضی در کلاس و طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد بیابان‌زایی قرار دارند و تنها ۲ درصد اراضی در کلاس‌های متوسط تا خیلی کم واقع شده‌اند (جدول ۹). با توجه به اینکه مطالعات مشابهی تا کنون در مقیاس استان خراسان رضوی در ارتباط با نقشه خطر بیابان‌زایی تهیه نشده است، نتایج این تحقیق می‌تواند راهنمای مفیدی برای تصمیم‌گیری مدیران ارشد و با رویکرد آمایش سرزمین باشد. نتایج منطقه‌ای و محلی که در ارتباط با خطر بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی و یا برخی از استان‌های دیگر با اقلیم خشک و بیابانی صورت گرفته است نیز شرایط بسامانی را از سرزمین ایران نشان نمی‌دهد (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022 Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022; Jafari, Akbari, Kashki, & Badiee Nameghi, 2019).

جدول ۹- مساحت و درصد مساحت کلاس خطر بیابان‌زایی استان خراسان رضوی

Table9- The area and percentage of the area of the desertification risk class of Khorasan Razavi province

کلاس/ طبقه	کد کلاس	مساحت و درصد مساحت خطر	
		مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)
خیلی کم	۱	۵۳۰۸۰	۰/٤٦
کم	۲	۳۹۹٦۰	۰/۳٤
متوسط	۳	۸۱۳۰۹	۰/۷۰
زیاد	٤	۱۳۱٤٤٤۸	۱۱/۲۸
خیلی زیاد	٥	۱۰۱٥۹۸۰٤	۸۷/۲۲

تحلیل مدل مفهومی DPSIR-M در استان خراسان رضوی و ارائه راه‌کارهای مدیریتی

در تحلیل ساختار مدل DPSIR-M ابتدا به نیروهای پیشران به‌عنوان نیروی محرکه در گسترش بیابان‌زایی، فشارها و وضعیت به وجود آمده از آن‌ها و تأثیراتی منفی که در طبیعت برجای می‌گذارد، پرداخته شد (ساختار DPSI) و سپس واکنش‌های مدیریتی (رفتارهای پیشگیرانه، اصلاحی و احیایی) ارائه گردید (ساختار R-M). اثرات و وضعیت حاصل از فرآیند نیروهای پیشران، که همان پنج معیار اصلی مدل ESAs می‌باشند، در جدول (۱۰) نشان داده شده است. در حقیقت عامل طبیعی غالب مانند؛ اقلیم و عامل انسانی مؤثر مانند؛ مدیریت، بر روی پوشش‌گیاهی، خاک و شدت فرسایش آبی و بادی تأثیر می‌گذارند. عوامل و نیروهای پیشران، بر پارامترهای اکولوژیکی و زیستی فشار مازاد ایجاد نموده و در نتیجه این فشار، وضعیت مورفولوژی و ریخت‌شناسی زمین تغییر نموده و نتیجه این تغییر، تأثیرات منفی زیستی–محیطی و گسترش بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی بوده است. برای نمونه تغییر کاربری اراضی (Memarian & Akbari, 2021)، گسترش اراضی شهری و صنعتی در نتیجه افزایش جمعیت (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian & Behbahani, 2022)، توسعه اراضی کشاورزی (Nasrian, Akbari, Faridhosseini, & Neamatollahi 2019; Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020)، افزایش تعداد دام مازاد بر ظرفیت مراتع و بهره‌برداری بیش‌ازحد از سفره‌های آب زیرزمینی(Jiang et al., 2019) ، منجر به تخریب سرزمین، فرسایش خاک و کاهش سطح پوشش‌گیاهی(Magdy, El-Salam, & Elhakem, 2016) ، افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی و افزایش زمین‌های بایر شده است. نتیجه این وضعیت، تأثیراتی همچون کاهش کیفیت آب‌وخاک، افزایش شوری آب‌وخاک در بخش‌های مرکزی، شمال شرقی و شرق استان، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و اراضی طبیعی در مناطق شمالی، شمالی غربی و مرکزی، افزایش شدت فرسایش آبی در بخش‌های شمالی و شمال غربی، افزایش شدت فرسایش بادی در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوبی استان و افزایش مهاجرت، فقر و مشکلات اقتصادی را به همراه داشته است.

جدول ۱۰-ساختار مدل DPSI (نیروهای پیشران، فشارها، وضعیت و اثرات) در گسترش بیابان‌زایی خراسان رضوی

Table10- The structure of the DPSI model (driving forces, pressures, status and impacts) in the expansion of desertification in Khorasan Razavi

نیروهای پیشران	فشارها	وضعیت	اثرات (منفی)
پوشش گیاهی	- بهره‌برداری بی‌رویه از پوشش-گیاهی	- کاهش گونه‌های گیاهی ارزشمند، افزایش گونه‌های مهاجم، تخریب زمین	- فقر پوشش‌گیاهی در سطح خاک، حذف گونه‌های بومی
مدیریت انسانی	- توسعه شهری و صنعتی (افزایش جمعیت) - بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی - تبدیل غیراصولی کاربری اراضی - بهره‌برداری نادرست و بیش‌ازحد از اراضی کشاورزی - تبدیل اراضی، شخم غلط، کاربرد ماشین‌های نامناسب و مواد شیمیایی (سموم، کود و آفت‌کش‌ها) - افزایش دام، عدم تعادل بین دام و مرتع، بوته‌کنی مراتع جهت تعلیف دام	- تخریب سرزمین و بیابان‌زایی - افت سطح آب زیرزمینی - رها نمودن اراضی کشاورزی کم بازده - تغییر و تخریب اراضی - افزایش فرسایش بادی و آبی و هدر رفت خاک -کاهش کیفیت آب‌وخاک -فشردگی خاک سطحی	- مهاجرت، مشکلات اقتصادی و فقر - کاهش کیفیت آب، شور شدن آب‌وخاک -فرونشست زمین و افزایش پدیده شق - کاهش عملکرد تولیدات کشاورزی و باغی، واردات نهاده‌های کشاورزی - افزایش شدت فرسایش آبی - کاهش درآمد و افزایش هزینه‌ها - کم بازده شدن مراتع و نیاز به واردات نهاده‌های دامی -افزایش واردات گوشت -افزایش فرسایش خاک (سطحی و شیاری)
اقلیم	- افزایش دما، استمرار خشکسالی و فشار بر منابع آبی - کمبود بارش -تغییر نوع بارش	- تخریب پوشش‌گیاهی و گسترش بیابان‌زایی - کاهش کمیت و کیفیت منابع آب‌وخاک - افزایش شدت فرسایش آبی و بادی -آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها	- کاهش زیستگاه و کاهش تنوع گیاهی و جانوری - کمبود علوفه و افزایش گونه‌های مهاجم -تخریب زیستگاه حیات‌وحش کاهش تنوع زیستی و انقراض گونه‌های جانوری و گیاهی
خاک	-سازند زمین‌شناسی حساس به فرسایش -فرسایش‌پذیری خاک	-شور و قلیا شدن خاک -تخریب سرزمین و کاهش مواد آلی خاک -افزایش شدت فرسایش آبی و بادی	-کاهش پوشش گیاهی و افت کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی -کاهش توان اکولوژیکی سرزمین -فرسایش و آلودگی خاک
فرسایش (آبی و بادی)	-کاهش پوشش گیاهی -افزایش میزان رسوبات آبی و بادی -حرکت تپه‌های ماسه‌ای	-تخریب پوشش گیاهی -کاهش کیفیت منابع آب‌وخاک -کاهش توان اکولوژیکی سرزمین -تخریب خاک‌های اقتصادی	-مهاجرت و افزایش فقر و کاهش درآمد -کاهش عملکرد محصولات زراعی و مرتعی -تخریب سازه‌ها، زیرساخت‌ها و راه‌های ارتباطی

در راستای دستورالعمل برنامه‌های اقدام عمل کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی و کاهش خشکسالی سازمان ملل (۱۹۹۲)، تعدادی راهبرد مدیریتی به همراه استراتژی‌های اجرایی که نتیجه بررسی طرح‌های اجرایی و مطالعاتی انجام شده در مناطق مختلف خراسان رضوی، نظرات خبرگان عرصه اجرا، متخصصان مراکز

دانشگاهی و همچنین کارشناسان ادارات اجرایی بوده است، متناسب با شرایط استان ارائه گردید. برنامه‌های پیشنهادی در قالب برنامه‌های پیشگیرانه، اصلاحی و احیایی می‌باشند. در حال حاضر برخی از این راه‌کارهای مدیریتی در برخی از استان‌های خراسان رضوی انجام و یا در حال انجام است. برای مثال می‌توان به طرح‌های احیاء مناطق بیابانی، فرسایش بادی و تثبیت ماسه‌های روان در شهرستان‌های سرخس، گناباد، بجستان، سبزوار و نیشابور اشاره نمود. علاوه برآن می‌توان طرح‌های مقابله با آتش‌سوزی مراتع در اراضی مرتعی شمالی استان، طرح‌های مقابله با فرسایش بادی و احیای پوشش‌گیاهی در مناطق شرقی، مرکزی و جنوبی، توسعه کشاورزی محافظتی و گلخانه‌ای و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی و شوری در اراضی جنوبی و جنوب شرقی استان خراسان رضوی را می‌توان نام برد. راهکارهای مدیریتی (R-M)، در قالب ٦ راهبرد و ٤٦ استراتژی و برنامه اقدام عمل و متناسب با نقشه‌ها و پهنه‌های شدت و خطر بیابان‌زایی ارائه شده است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- ارائه راهبردها و استراتژی‌های مدیریتی (واکنش مدیریتی R-M) جهت کنترل و کاهش خطر بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی

Table11- Providing management strategies and strategies (R-M management response) to control and reduce the risk of desertification in Khorasan Razavi province

شماره	واکنش‌های مدیریتی (پیش‌گیرانه، اصلاحی و احیایی)	
	راهبردها	استراتژی‌ها و اقدامات عمل (عملیات‌های اجرایی)
۱	**تدوین، اصلاح و اجرای درست قوانین و مقررات منابع طبیعی**	–استفاده از شیوه‌های مناسب و اقدامات حفاظتی در پهنه‌های با خطر بحرانی و شکننده به بیابان‌زایی خراسان رضوی؛ مانند؛ نظارت بر رعایت اصول محیط‌زیستی در مناطقی با قابلیت توسعه معدن‌کاری –تدوین و اصلاح قوانین مقابله با مخاطرات طبیعی و محیطی مانند آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها، گسترش آفات گیاهی و جانوری، بیابان‌زایی، سیل، فرونشست زمین و زمین‌لغزش با تعیین کارگروه‌های تخصصی جهت برنامه‌ریزی و انجام اقدامات لازم برای مقابله مخاطرات و کاهش خسارت‌های مالی و جانی ناشی از آن‌ها – نظارت بر اجرای درست طرح‌های مدیریت سرزمین مانند؛ پروژه‌های احیاء بیابان، طرح‌های بیابان‌زدایی و آبخیزداری در خراسان رضوی با در نظر گرفتن نظام محیطی و انسانی – نظارت بر اجرای درست قوانین و مقررات در خصوص حفاظت مؤثر اراضی منابع طبیعی خراسان رضوی – تأمین تجهیزات لازم و ادوات موردنیاز برای شناسایی تخریب عرصه‌های طبیعی و حمایت‌های قانونی و قضایی در برخورد با متخلفین – برخورد قانونی و بازدارنده با متخلفین و متجاوزین به عرصه‌های طبیعی استان خراسان رضوی – ملزم نمودن مجریان طرح‌های عمرانی و توسعه‌ای به رعایت نکاتی که بر میزان تخریب سرزمین و فرسایش خاک تأثیرگذار است.
۲	**آموزش، ترویج و فرهنگ‌پروری در استفاده از دانش بومی**	– توانمندسازی جوامع محلی از طریق تشکیل گروه‌های مردمی و صندوق‌های توسعه‌ای مانند؛ پروژه‌های منارید و ترسیب کربن، بنگاه‌های اقتصادی زودبازده و تقویت تعاونی‌های روستایی –استفاده از ظرفیت زنان روستایی به‌عنوان پیش‌گامان حفاظت از اراضی و مشارکت در پروژه‌های احیاء بیابان – به‌کارگیری دانش بومی در فعالیت‌های حفاظت و احیاء اراضی تخریب شده – آموزش و توسعه مشاغل اقتصادی با هدف کاهش خسارت به اراضی طبیعی استان خراسان رضوی –انجام اصلاح روش‌های صحیح بهره‌برداری از منابع طبیعی استان خراسان رضوی

		– توانمندسازی جوامع محلی و روستائیان با مشاغلی که وابستگی کمتری به زمین داشته باشد – افزایش آگاهی بهره‌برداران و جوامع روستایی با اثرات انواع مخاطرات محیطی و کاهش اثرات مخرب آن‌ها –آموزش همگانی از طریق رسانه‌ها، شبکه‌های اجتماعی و فضای مجازی –استفاده از ظرفیت سمن‌ها و سازمان‌های مردم نهاد در توسعه فرهنگ منابع طبیعی و محیط‌زیست –استفاده از ظرفیت‌های مبلغان مذهبی در ترویج و آموزش فرهنگ حفاظت از اراضی منابع طبیعی
۳	**مدیریت و کنترل دام**	– اعمال مدیریت و کنترل دام از طریق اجرا و بازنگری طرح‌های تعادل دام و مرتع – بررسی اصولی فعالیت‌های انسانی در عرصه‌های طبیعی استان با روش ارزیابی و تحلیل مدل مدیریتی SWOT (بررسی نقاط ضعف، قوت، فرصت‌ها و تهدیدها در راستای پایداری بهینه محیط‌زیست) – تدوین و اجرای دستورالعمل‌ها و مقررات ویژه برای حفاظت از اراضی، متناسب با شرایط خشکسالی یک دهه گذشته – بازنگری طرح‌های بهره‌برداری از مراتع و جنگل‌ها متناسب با شرایط محیطی و اقلیمی حاکم در خراسان رضوی – کنترل دام و ممانعت از ورود دام به مناطق بحرانی حساس به وقوع سیل، فرونشست زمین و زمین‌لغزش با ایجاد تمهیدات و مشوق‌های لازم
٤	**مدیریت حفاظت اراضی و جلوگیری از فرسایش خاک**	– استفاده از روش‌های نوین بیولوژیکی برای مدیریت و تثبیت کانون‌های فعال فرسایش بادی استان خراسان رضوی – اجرای عملیات تثبیت و کنترل فرسایش بادی از طریق اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی و احیاء پوشش گیاهی – جلوگیری از هرگونه اقدام و تأثیرات منفی ناشی از فعالیت‌های انسانی که موجب بروز یا تشدید فرسایش خاک می‌گردد. –برخورد مسئولانه متولیان منابع طبیعی و سایر دستگاه‌های اداری و آحاد مردم نسبت به خط رجدی و تهدید زیست‌بوم‌های جهانی با گسترش بیابان‌زایی، فرسایش بادی و افزایش گردوغبار در استان همسو با سیاست‌های جهانی سازمان ملل –تدوین برنامه مدیریت جامع کنترل گردوغبار و بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی –انجام اقدامات «بازدارنده» شامل جلوگیری از بوته‌کنی، چرای مفرط، تغییر کاربری اراضی و اعمال مدیریت در نحوه‌ی استفاده از اراضی. انجام اقدامات «اصلاحی» شامل آموزش و ترویج، اصلاح روش‌های بهره‌برداری از اراضی، احداث بادشکن و سایر اقداماتی که کمک به احیای بیابان می‌کند و انجام اقدامات «احیایی» شامل بذرکاری و نهال‌کاری – استفاده از روش‌های نوین مانند؛ شخم مناسب، استفاده بهینه از کودهای آلی و معدنی و حاصلخیز کننده‌ها و مالچ‌پاشی و حفظ کاه و کلش، کشاورزی–جنگلداری (آگروفارستری)، کشت کنتوری –مدیریت عرصه‌های طبیعی و بیابانی استان همچون پلایاها –طراحی و توسعه سیستم‌های هشدار اولیه بیلان‌زایی، سیل و تخریب سرزمین تحت وب در خراسان رضوی به‌منظور مدیریت خطر به جای مدیریت بحران –استفاده از پهپاد برای پایش زمانی–مکانی عرصه‌های طبیعی برای جلوگیری از خسارات احتمالی مانند آتش‌سوزی
۵	**مدیریت منابع آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی)**	–تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و تحلیل خطر خسارت ناشی از سیل برای مناطق در معرض سیلاب و فرسایش آبی – اجرای طرح‌های مناسب آبخیزداری به همراه شیوه‌های جدید احیایی و عملیات بیولوژیکی در محدوده‌ها و پهنه‌های دارای پتانسیل و شکننده به بیابان‌زایی – مدیریت جامع منابع آبی از طریق کشت گونه‌های گیاهی کم آب طلب و سازگار به خشکی و خشکسالی – اجرای روش‌های توسعه‌ای (استفاده از آب مغناطیسی، روش‌های جمع‌آوری آب باران، جمع‌آوری مه و شبنم، باران مصنوعی)، و روش‌های حفاظتی منابع آب (توسعه کشت حفاظتی و گلخانه‌ای، جلوگیری از تبخیر و تعرق آب از سطوح آبی و خاکی) در جهت افزایش بهره‌وری از منابع آب‌وخاک. – مدیریت بهره‌برداری پایدار از منابع آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی – استفاده مطلوب از آب‌های نامتعارف در احیاء اراضی بیابانی و تخریب شده، کشاورزی و توسعه باغات مانند؛ آب‌های شور–لب شور و دارای املاح، زه آب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی

٦	**مدیریت پایدار پوشش گیاهی جهت احیاء اراضی طبیعی، کشاورزی و باغی**	–کاشت گونه‌های گیاهی مرتعی و جنگلی سازگار با شرایط خشکی و شوری اراضی همراه با روش‌های مکانیکی – توسعه پوشش گیاهی با مشارکت ذینفعان و بهره‌برداران (گرورداران) و جوامع محلی – حفاظت از پوشش گیاهی موجود و جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی با روش‌های قانونی – نهالکاری، بذرکاری و بذرپاشی در دامنه‌ها و مناطق حساس به فرسایش آبی مانند شهرستان‌های کلات، درگز، تایباد، قوچان و چناران – کاشت گونه‌های گیاهی مرتعی، درختی و زراعی کم آب طلب در عملیات احیایی و توسعه کشاورزی – برنامه‌ریزی جهت احیاء، اصلاح و تقویت پوشش گیاهی در مناطق دارای پتانسیل بیابان‌زایی – برنامه‌ریزی برای احیاء پوشش گیاهی سازگار به خشکی و شوری در عرصه‌های با وضعیت بحرانی بیابان‌زایی – شناسایی عوامل مهم خسارت‌زا و بیولوژی جنگل‌های دست کاشت و طبیعی مانند ملخ کوهان‌دار، شپشک و ارلۀ راه‌های مناسب جلوگیری و کاهش اثرات عوامل خسارت‌زا با کمترین میزان آلودگی محیطی

* لازم به توضیح است که برخی از استراتژی‌های پیشنهادی در جدول فوق از پژوهش اکبری و همکاران (۲۰۲٤) اقتباس شده است.

نتیجه‌گیری

در حال حاضر به موضوعاتی همچون شدت و خطر بیابان‌زایی یا به‌درستی پرداخته نشده و یا اگر پژوهشی انجام شده به‌صورت منطقه‌ای و با تعداد معدودی معیار و شاخص بوده است. در این پژوهش برای اولین بار نقشه شدت (مبتنی بر شدت/نوع) و خطر بیابان‌زایی (مبتنی بر احتمال خطر یا ریسک) استان خراسان رضوی تهیه شد. نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی بیانگر آن است که بیش از ۳۰ درصد اراضی استان در کلاس نسبتاً بحرانی تا بحرانی شدید بیابان‌زایی واقع شده‌اند. از نظر وضعیت شکنندگی در حدود ۵۹ درصد منطقه موردمطالعه در شرایط نسبتاً شکننده تا خیلی شکننده محیطی قرار داشته و در حدود ۷ درصد نیز دارای پتانسیل شکنندگی می‌باشند که در صورت بدتر شدن وضعیت از نظر شرایط محیطی و انسانی، این مقدار نیز به کلاس شکننده اضافه خواهد شد. در استان خراسان رضوی عوامل طبیعی و انسانی مهم در وقوع و گسترش بیابان‌زایی را می‌توان تغییر پارامترهای اقلیمی و استمرار خشک‌سالی، تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش‌گیاهی و آتش‌سوزی در اراضی مرتعی و جنگلی، افزایش شدت فرسایش آبی و بادی و شوری آب‌وخاک نام برد. نتیجه تأثیر این عوامل، کاهش توان اکولوژیکی سرزمین، افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی، بیابان‌زایی و فرونشست زمین بوده است. نقشه خطر بیابان‌زایی خراسان رضوی نیز نشان داد که بیش از ۹۸ درصد اراضی استان در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد بیابان‌زایی قرار دارند و تنها ۲ درصد از اراضی در کلاس‌های متوسط تا خیلی کم واقع شده‌اند. در این پژوهش راهکارهای پیشنهادی مدیریتی بر اساس مدل و چارچوب مفهومی DPSIR-M، نظر خبرگان، کارشناسان و مدیران اجرایی و همچنین بازدیدهای مکرر میدانی و نتایج موجود در طرح‌های مطالعاتی و اجرایی انجام شده در منطقه، شامل ٦ راهبرد مدیریتی ازجمله؛ تدوین، اصلاح و اجرای درست قوانین و مقررات منابع طبیعی، آموزش، ترویج، فرهنگ‌پروری و استفاده از دانش بومی، مدیریت و کنترل دام (نوع دام، تعداد و چرا)، مدیریت حفاظت

اراضی و جلوگیری از فرسایش خاک، مدیریت منابع آبی و همچنین مدیریت پایدار پوشش گیاهی جهت احیاء اراضی طبیعی، کشاورزی و باغی، و همچنین ٤٦ استراتژی و برنامه‌های عملیاتی مانند؛ استفاده از شیوه‌های مناسب و اقدامات حفاظتی در پهنه‌های دارای خطر بحرانی و شکننده به بیابان‌زایی خراسان رضوی در اراضی با کلاس خطر F و C، استفاده از ظرفیت زنان روستایی به‌عنوان پیش‌گامان حفاظت از اراضی و مشارکت در پروژه‌های احیاء بیابان، استفاده از ظرفیت‌های مبلغان مذهبی در ترویج و آموزش فرهنگ حفاظت از اراضی منابع طبیعی، استفاده از روش‌های نوین مانند؛ شخم مناسب، استفاده بهینه از کودها آلی و معدنی و حاصلخیز کننده‌ها و مالچ‌پاشی و حفظ کاه و کلش، کشاورزی–جنگلداری (آگروفارستری)، کشت کنتوری، استفاده از پهپاد برای پایش زمانی–مکانی عرصه‌های طبیعی برای جلوگیری از خسارات احتمالی مانند آتش‌سوزی، استفاده مطلوب از آب‌های نامتعارف در احیای اراضی تخریب شده، کشاورزی و توسعه باغات مانند؛ آب‌های شور–لب شور و دارای املاح، زه آب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی، و همچنین برنامه‌ریزی جهت احیای پوشش گیاهی سازگار به خشکی و شوری در عرصه‌های بحرانی استان خراسان رضوی به بیابان‌زایی (اراضی با کلاس خطر C3, C2, C1) ارائه شد.

برخی از پیشنهادهای اجرایی و علمی دیگر می‌تواند انجام پژوهش‌های تکمیلی در زمینه سیستم‌های هشدار اولیه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، بررسی اثرات اجتماعی–اقتصادی ناشی از رخداد برخی از مخاطرات محیطی همچون فرونشست زمین، تغییر اقلیم و خشک‌سالی، زمین‌لغزش، معدن کاری و شوری و آلودگی منابع آب‌وخاک باشد. متأسفانه در حال حاضر این‌گونه مطالعات بسیار کم بوده است. لذا، پیشنهاد می‌شود نتایج این پژوهش توسط پژوهشگران، مدیران و کارشناسان ادارات اجرایی بررسی، مطالعه و متناسب با مناطق مختلف به کار گرفته شود. علاوه بر آن، استفاده از نظرات خبرگان در قالب نشست‌های تخصصی مانند؛ روش دلفی و استفاده از برنامه‌ریزی سناریو و آینده‌پژوهشی، می‌تواند در بهبود روش‌های مؤثر مدیریت سرزمین و جلوگیری از گسترش بیابان‌زایی مؤثر و کارآمد باشد.

قدردانی و تشکر

این پژوهش ارائه نتایج بخشی از طرح پژوهشی در گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه فردوسی مشهد، با کد ۵۸۸۴۳ بوده است. صمیمانه از همکاری و حمایت تمام کسانی که ما را در به سرانجام رساندن این پژوهش یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

References

Acheampong, E.O., Macgregor, C.J., Sloan, S., & Sayer, J. (2019). Deforestation is Driven by Agricultural Expansion in Ghana's Forest Reserves. *Scientific African*, *5*, e00146. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00146

Agyemang, I., McDonald, A., & Carver, S. (2007). Application of the DPSIR Approach to Environmental Degradation Assessment in Northern Ghana. *Natural Resources Forum*, *31*, 212–225. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2007.00152.x

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 Iran. 403 p. [In Persian]

Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Noughani, M. (2020a). Prioritizing Effective Indicators of Desertification Hazard Using Factor-Cluster Analysis, in Arid Regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(8), 1-17. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05296-9

Akbari, M., Jafari Shalamzari, M., Memarian, H., & Gholami, A. (2020b). Monitoring Desertification Processes Using Ecological Indicators and Providing Management Programs in Arid Regions of Iran. *Ecological Indicators*, *111*, 106011. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106011

Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A., & Khosravi, H. (2016). Desertification Risk Assessment and Management Program. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *2*(4), 365-380. https://doi.org/10.22034/gjesm.2016.02.04.006

Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh Noughani, M., & Zakeri, D. (2020c). Prioritizing Policies and Strategies for Desertification Risk Management Using MCDM–DPSIR Approach in Northeastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *23*, 2503–2523. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00684-3

Akbari, M., Neamatollahi, E., Noughani, M.A., & Memarian, H. (2022). Spatial Distribution of Soil Erosion Risk and Its Economic Impacts Using an Integrated CORINE-GIS Approach. *Environmental Earth Sciences*, *81*, 287. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10405-w

Akbari, M., Talebanfard, A., Pakdin, M., & Shahrokhi, M. (2024). Developing and Prioritizing Desertification Risk Management Strategies Using Scenario Planning in Khorasan Razavi Province. *Desert Ecosystem Engineering*, *12*(39), 1-22. [In Persian] https://doi.org/10.22052/deej.2024.253646.1023

Ale-Mohammad, S., Yavari, A.R., Salehi, S., & Zebardast, L. (2014). Using the Strategic Environmental Assessment for Compilation Polices of Sustainable Development Plan in Lake Urmia. *International Journal of Environment Studies*, *40*, 645-667. [In Persian] https://doi.org/ 10.22059/jes.2014.52211

Ammann, W. (2016, February). *Early Warning in Disaster Risk Reduction- Needs and Potential*. Paper Presented at the Proceedings of the 7th International Conference on Integrated Natural Disaster Management (Iran), Tehran (pp.15-16).

Anagnostopoulos, A. (2006, February). A Brief Report on Research Needs for Natural Hazards. Based on the Recent Workshop "*Climate Change-Research Challenges*", Brussels in Memory of Anver Ghazi.

Atkins, J.P., Burdon, D., Elliott, M., & Gregory, A.J. (2011). Management of the Marine Environment: Integrating Ecosystem Services and Societal Benefits with the DPSIR Approach in a Systems Approach. *Marine Pollution Bulletin*, 62(2), 215–226. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.12.012

Baartman, J.E.M., Van Lynden, G.W.J., Reed, M.S., Ritsema, C.J. & Hessel, R. (2007, November). Desertification and land degradation: origins, processes, and solutions, a literature review (Report No. 4). Scientific reports, ISRIC, Netherlands.

Bastas, M., & Abdelrahim, A.A. (2019). Awareness of desertification of arable land among university students in Libya. Religación. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*,4(14),136–147. https://www.redalyc.org/journal/6437/643768221017/html/

Bizikova, L., Metternicht, G., & Yarde, T. (2018). Environmental Mainstreaming and Policy Coherence: Essential Policy Tools to Link International Agreements with National Development—A Case Study of the Caribbean Region. *Environment, Development and Sustainable*, *20*, 975–995. http://doi.org/10.1007/s10668-017-9924-x

Carr, E.R., Wingard, P.M., Yorty, S.C., Thompson, M.C., Jensen, N.K., & Roberson, J. (2007). Applying DPSIR to Sustainable Development. *International Journal of Sustainable Development*, *14*, 543–555. https://doi.org/10.1080/13504500709469753

Davari, S., Rashki, A., Akbari, M., & Talebanfard, A. (2017). Assessing Intensity and Risk of Desertification and Management Programs (Case Study: Ghasemabad Plain of Bajestan, Khorasan Razavi Province). *Desert Manage*, *5*(1), 91-106. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/jdmal.2017.27855.

EEA. (1995). Europe's Environment: The Dobris Assessment. European Environment Agency Report, Copenhagen.

EEA. (1999). Environmental Indicators: Typology and Overview (Unpublished Technical Report No. 25). European Environment Agency, Copenhagen.

EEA. (2003). Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting. European Environment Agency Report, Copenhagen.

Fan, M., Shibata, H., & Chen, L. (2017). Assessing High Impacts of Climate Change: Spatial Characteristics and Relationships of Hydrological Ecosystem Services in Northern Japan (Teshio River Watershed). *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *23*(4), 525-552. https://doi.org/10.1007/s11027-017-9748-x

Fang, L., Bai, Z., Wei, S., Yanfen, H., Zongming, W., Kaishan, S., Dianwei, L., & Zhiming, L. (2008). Sandy desertification change and its driving forces in western Jilin province, north China. *Environmental Monitoring and Assessment*, *136*, 379–390. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9693-3

FAO. (2020). Healthy Soils Are the Basis for Healthy Food Production (Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 1–4. Retrieved 2020, Aug.1, from https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/en/c/277682/

Feyzi Koushki, F., Akbari, M., Memarian, H., & Azamirad, M. (2019). Identifying and Ranking Important Factors of Desertification in Khorasan Razavi Province using Delphi Method. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *8*(3), 205-225. https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.84127. [In Persian]

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). IPCC Special Report: Global Warming of 1.5 °C, https://www.ipcc.ch/sr15/.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Jafari, H., Akbari, M., Kashki, M.T., & Badiee Nameghi, S.H. (2019). An Efficiency Comparison of the IMDPA and ESAs Models on Desertification Risk Management in Arid Regions of Southern Khorasan Razavi, Iran. *Arid Biome*, *9*(1), 39–54. https://aridbiom.yazd.ac.ir/article_1542.html?lang=en. [In Persian]

Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Kurban, A., Guo, H., Zheng, G., & De Maeyer, P. (2019). Monitoring the Long-term Desertification Process and Assessing the Relative Roles of its Drivers in Central Asia. *Ecological Indicators*, *195*–208. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.067

Kairis, O., Karavitis, C., Salvati, L., Kounalaki, A., & Kosmas, K. (2015). Exploring the Impact of Overgrazing on Soil Erosion and Land Degradation in a Dry Mediterranean Agro-Forest Landscape (Crete, Greece). *Arid Land Research and Management*, 29(3), 360-374. http://dx.doi.org/10.1080/15324982.2014.968691

Khajeddin, S.J., Akbari, M., Karimzadeh, H.R., & Eghbal, M.K. (2008). Detecting desertification processes using TM and ETM+ data, north of Isfahan, Iran. *Chinese Journal of Plant Ecology*, *32*(2), 328-335. https://doi.org/10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.009

Khashtabeh, R., Akbari, M., Kolahi, A., & Talebanfard, A. (2020). Assessing the Effects of Desertification Control Projects Using Socio-Economic Indicators in the Arid Regions of Eastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *23*, 10455–10469. https://doi.org/10.1007/s10668-020-01065-6

Klomp, J., & Hoogezand, B. (2018). Natural disasters and agricultural protection: A panel data analysis. World Development 104, 404-417. https://doi.org/ 10.1016/j.worlddev.2017.11.013

Kosmas C., Kirkby M., & Geeson N. (1999). The Medalus Project, Mediterranean desertification and land use. European Commission. European Union 18882, 66–73. https://catalogue.unccd.int/629_Medalus_ESA_%20Manual.pdf

Kosmas, C., Tsara, M. Moustakas, N. D. Kosma, D. & Yassoglou, N. (2006). Environmentally Sensitive Areas and Indicators of Desertification. In: Kepner, W.G., Rubio, J.L., Mouat, D.A., Pedrazzini, F. (eds) Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue. NATO Security Through Science Series, vol 3. Springer, Dordrecht. https://doi.org.10.1007/1-4020-3760-0_25

Kristiansen, P. (2004, September). The DPSIR Approach, Paper Presented at the Workshop on a Comprehensive/Detailed Assessment of the Vulnerability of Water Resources to Environmental Change in Africa Using River Basin Approach. UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya.

Lahlaoi, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., & Moukrim, S. (2017). Desertification Assessment Using MEDALUS Model in Watershed Oued El Maleh, Morocco. *Geosciences*, *7*(50), 1-16. https://doi.org/10.3390/geosciences7030050

Lamqadem, P., & Rahimi. S. (2018). Desertification Sensitivity Analysis Using MEDALUS Model and GIS: A Case Study of the Oases of Middle Draa Valley, *Morocco Sensor*, 18(7), 2230. https://doi.org/10.3390/s18072230

Magdy, M., El-Salam, A., & Elhakem, A.H. (2016). Desertification and Its Effect on the Erosion of Vegetation in the South-Western Region of Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and Assessment*, *188* (3), 164-173. https://doi.org/ 10.1007/s10661-016-5164-z

Memarian, H., Komeh, Z., Tavasoli, A., Tajbakhsh, M., Abbasi, A., & Parsayi, L, (2016). Health and Environmental Considerations of Rooftop Catchment Systems (Case study: Aq Gala, Golestan Province, Iran). *Water Harvesting Research*, *1*, 1-11. https://doi.org/ 10.22077/JWHR.2017.372

Memarian, H., & Akbari, M. (2021). Prediction of Combined Effect of Climate and Land Use Changes on Soil Erosion in Iran Using GloSEM Data. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *8*(2), 513-534. [In Persian]. https://doi.org.10.22059/ije.2021.320754.1482

Mohammadi, R., Dastorani, M.T., Akbari, M., & Ahani, H. (2019). The Impacts of Magnetized Water Treatment on Different Morphological and Physiological Factors of Plant Species in Arid Regions. *Water Supply*, *19*(6), 1587-1596. https://doi.org/10.2166/ws.2019.027

Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020a). GIS-Based Agro-Ecological Zoning for Crop Suitability Using Fuzzy Inference System in Semi-Arid Regions. *Ecological Indicators*, *117*, 106646. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106646

Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020b). An Integrated Approach Land Suitability for Agroecological Zoning Based on Fuzzy Inference System and GIS. *Environment, Development and Sustainability*, *25*, 2316-2338. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02127-7 ·

Nasrian, A., Akbari, M., Faridhosseini, A., & Neamatollahi, E. (2018). Spatio-Temporal Monitoring of Groundwater Changes on Desertification Intensity in Agricultural Areas in Dargaz Plain, Khorasan Razavi province. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *7*(21), 75-90. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112660_en.html?lang=en

Nasrian, A., Akbari, M., Faridhosseini, A., Neamatollahi, E., & davari, S. (2019). Quantitative Assessment of Desertification Intensity Indices in the Agricultural Lands of Dargaz Plain, Khorasan Razavi Province. *Desert Management*, *7*(13), 149-170. https://doi.org.10.22034/jdmal.2019.36537 [In Persian]

Rasmy, M., Gad, A., Abdelsalam, H., & Siwailam, M. (2010). A Dynamic Simulation Model of Desertification. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, *13*, 101-111. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.03.001

Salvati, L., & Bajocco, S. (2011). Land Sensitivity to Desertification Across Italy: Past, Present, and Future. *Applied Geography*, *31*, 223–231. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.04.006

Salvati, L., & Toward, A. (2014). Toward a 'Sustainable' Land Degradation? Vulnerability Degree and Component Balance in a Rapidly Changing Environment. *Environment, Development and Sustainability*, *16*, 239–254. https://doi.org/10.1007/s10668-013-9463-z

Sarbazi, M., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., & Akbari, M. (2022). Quantitative Assessment of the Desertification Intensity and Risk: A Case Study of Sarakhs City. *Desert Ecosystem Engineering*, *10*(31), 15-30. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112736.html?lang=en [In Persian]

Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of Solar Energy in Developing Countries for Reducing Energy-Related Emissions. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *90*, 275–291. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065

Sekovski, I., Newton, A., & Dennison, W.C. (2012). Megacities in the Coastal Zone: Using a Driver-Pressure-State-Impact-Response Approach to Address Complex Environmental Problems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *96*, 48-59. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.07.011

Talebanfard, A. A., Akbari, M., & Azami rad, M. (2022). Sensitivity Areas Assessment of Desertification Using ESAs Model and Prioritizing Management Strategies (Case study: Kavir-e- Namak Basin, Khorasan Razavi Province). *Desert Management*, *10*(2), 1-20. https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.549710.1377 [In Persian]

UNCED. (1992, June). Managing Fragile Ecosystems: Combating Desertification and Drought. United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janeiro, Brazil.

UNCCD. (2020). Desertification – Coping with today's global challenges in the context of the strategy of the United Nations Convention to combat desertification, Unites Nations Convention to Combat Desertification. Report on the HighLevel Policy Dialogue. Bonn, Germany.

Zhang, F., Zhang, J., Wu, R., Ma, Q., & Yang, J. (2016). Ecosystem Health Assessment Based on DPSIRM Framework and Health Distance Model in Nansi Lake, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *30*, 1235–1247. https://doi.org/10.1007/s00477-015-1109-2.