

شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در مقابل بیابان‌زایی با استفاده از شاخص DVI (مطالعه موردی: استان کرمان)

مهران مقصودی*: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

مهین پیره: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.4.3

چکیده

بیابان‌زایی، نوعی تخریب زمین است که بر محیط زیست و زندگی انسان‌ها اثرات مستقیمی دارد و بسیاری از مناطق، از جمله مناطق شرقی کشور با این خطر مواجه است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در مقابل بیابان‌زایی در استان کرمان پرداخته شد. در این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر، از اطلاعات اقلیمی و جمعیتی، مدل رقومی ارتفاعی سی متر و اطلاعات مربوط به نوع خاک منطقه به‌عنوان داده‌های تحقیق استفاده شد. مهم‌ترین ابزار تحقیق، ArcGIS و مدل اصلی مورد استفاده در آن نیز شامل مدل DVI است. این تحقیق در چند مرحله انجام شد که در مرحله اول، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شد. در مرحله دوم، به اطلاعات مورد نیاز به صورت درون‌لایه‌ای وزن داده شد و در مرحله سوم، لایه‌های اطلاعاتی بر اساس مدل DVI با هم ترکیب و نقشه مناطق آسیب‌پذیر تهیه شد. بر اساس نتایج حاصل شده، حدود ۵۳ درصد از مساحت استان کرمان دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد است. در این پژوهش، میزان آسیب‌پذیری در شهرستان‌های مختلف نیز ارزیابی شد که بر اساس نتایج حاصل شده، شهرستان‌های منوجان، قلعه گنج و عنبرآباد به ترتیب با ۹۷، ۹۶ و ۹۱ درصد از مساحت، بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری را داشت.

واژگان کلیدی: استان کرمان، بیابان‌زایی، شاخص DVI.

۱- مقدمه

بیابان‌زایی، نوعی تخریب زمین است که در آن زمین نسبتاً خشک به گونه‌ای فرایند خشک‌تر می‌شود و به‌طور کلی، ساختار اصلی، آب، گیاهان و حیوانات وحشی را از دست می‌دهد که این امر از عوامل گوناگونی سرچشمه می‌گیرد؛ از جمله تغییرات آب و هوایی، بهره‌برداری بیش از حد از خاک و فعالیت انسانی (Zaker Esfahani, 2012). وجه مشترک در همه تعریف‌های بیابان‌زایی، تخریب شدید محیط‌زیست و کاهش تولید بیولوژیک اکوسیستم‌ها بر اثر بیابان‌زایی است (Ekhtesasi and Sepehr, 2011). بیابان‌زایی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، یکی از بحرانی‌ترین موضوعات مورد مطالعه در اکوسیستم‌ها است که بر دامنه وسیعی از نواحی جغرافیایی با خطر بیابان‌زایی بالقوه، تأثیرات اقتصادی و اکولوژیکی شدیدی دارد (Corrado et al, 2015). بیابان‌زایی با پیامدهای زیادی همراه است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر زندگی انسان تأثیر می‌گذارد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به مهاجرت جمعی، فقر، کمبود آب و غذا و کشمکش بر سر منابع زمینی و آبی اشاره کرد (Goudie, 2011). بر اساس مطالعات صندوق بین‌المللی کشاورزی، بیابان‌زایی چهل درصد از کره زمین را تهدید می‌کند و سالانه دوازده میلیون هکتار از اراضی را تحت تأثیر مستقیم خود قرار می‌دهد (Diallo, 2008 & Topa et al, 2013). مناطق مختلف با توجه به شرایط هیدرواقليمی خود، در توسعه بیابان‌زایی پتانسیل‌های متفاوتی دارند (Mehrabi, 2020). موقعیت هیدرواقليمی ایران سبب شده است تا بخش‌های زیادی از آن به‌خصوص مناطق شرقی کشور، از نظر توسعه بیابان‌زایی مستعد باشد. با توجه به اثرات مستقیم این پدیده بر زندگی انسان‌ها و تأثیرات مهم زیست‌محیطی آن، در این پژوهش به بررسی مناطق آسیب‌پذیر در مقابل بیابان‌زایی در استان کرمان پرداخته شد.

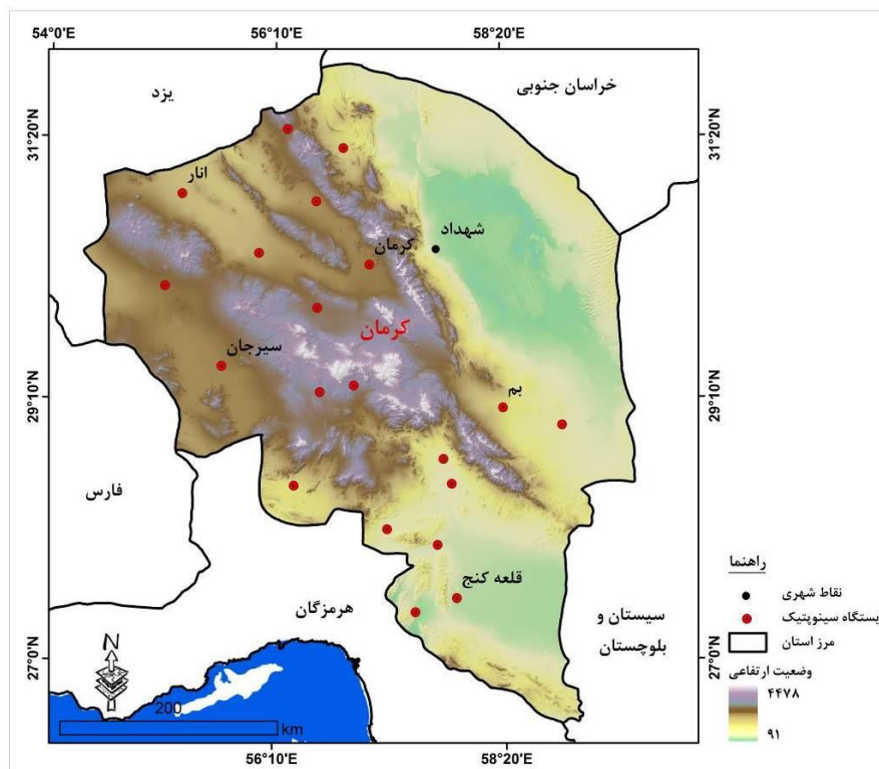
با توجه به اهمیت مسئله بیابان‌زایی، تحقیقات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است؛ از جمله آنها می‌توان به Baraka و همکاران (2012) اشاره کرد که با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی و تصاویر ماهواره‌ای، به بررسی حساسیت بیابان‌زایی در یونان پرداختند. بر اساس نتایج حاصل شده ۷۸ تا ۸۹ درصد از منطقه، مستعد تخریب پوشش است. Tavares و همکاران (2015) به شناسایی مناطق حساس به بیابان‌زایی در جزیره سانتیاگو پرداختند و برای این منظور، از شاخص کیفیت مدل MEDALUS استفاده کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش از پنجاه درصد منطقه در معرض بیابان‌زایی قرار دارد. Ge و همکاران (2016) نیز به بررسی شدت استفاده از زمین و تشدید بیابان‌زایی در شمال چین پرداختند. بر اساس نتایج حاصل شده، از سال ۲۰۰۰ به بعد به دلیل افزایش فشارهای اجتماعی اقتصادی و تغییرات در پوشش، شدت بیابان‌زایی افزایش یافت. Wang و همکاران (2017) عوامل مؤثر در افزایش بیابان‌زایی و تفاوت‌های مکانی این پدیده را مطالعه کردند. Capozzi و همکاران (2018) به ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در کشورهای بورکینافاسو و سنگال پرداختند. در این تحقیق از مدل ESAs استفاده شد و نتایج نشان داد که در اوجادوگو، حساسیت به بیابان‌زایی با فشار جمعیتی و در سنت‌لویس، با استفاده بیش از حد پوشش افزایش می‌یابد. Kalyan و همکاران (2021) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی آسیب‌پذیری در برابر خطر بیابان‌زایی در حوضه رودخانه باناس هند پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات بیابان‌زایی در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ نسبت به سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۰، در ۳۶/۳۰ درصد از منطقه روند کاهشی و در ۶۴/۶۹ درصد از منطقه روند افزایشی داشت. در ایران نیز Sadeghi Roshan and Ahmadi (2014) با استفاده از مدل تاکسونومی اصلاح شده، به پهنه‌بندی بیابان‌زایی

در منطقه ابوزیدآباد کاشان پرداختند. بر اساس نتایج حاصل شده، ۵۴ درصد از منطقه پتانسیل بالایی برای بیابان‌زایی دارد. Silakhori و همکاران (2014) نیز با استفاده از مدل MICD، به ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی در منطقه سبزوار پرداختند و نقشه مناطق مستعد بیابان‌زایی را در چهار کلاس تهیه کردند. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی آسیب‌پذیری خطر بیابان‌زایی در حوضه آبریز مند با تأکید بر رهیافت ویکور توسعه‌یافته پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیش از نیمی از حوضه مند در معرض بیابان‌زایی قرار دارد. Boali and Mohammadian (2019) Behbahani، به ارزیابی شدت و ریسک بیابان‌زایی و ارائه برنامه مدیریت دشت سگزی اصفهان پرداختند. در این تحقیق، از مدل‌های تجربی استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل شده، حدود چهار درصد منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی زیاد و خیلی زیاد است. Silakhori و همکاران (2019)، به ارزیابی خطر بیابان‌زایی در منطقه باشتین سبزوار با استفاده از مدل تاپسیس^۱ پرداختند. بر اساس نتایج حاصل شده، شوری آب و خاک عامل اصلی در توسعه بیابان‌زایی منطقه بود. Gorgani و همکاران (2020) به بررسی اثرات رشد اقتصادی بخش کشاورزی بر بیابان‌زایی در ایران پرداختند. در این پژوهش رابطه بلندمدت و کوتاه‌مدت بین متغیرهای بیابان‌زایی، تولید ناخالص داخلی بخش کشاورزی، مساحت جنگل، متوسط بارش سالانه و سرمایه‌گذاری انجام شده برای مقابله با بیابان‌زایی ارزیابی شد. در راستای تحقیقات پیشین صورت گرفته، هدف از تحقیق حاضر بررسی وضعیت طبیعی و انسانی استان کرمان و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر این استان در برابر خطر بیابان‌زایی است.

۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل استان کرمان است که در جنوب شرقی کشور واقع شده است. استان کرمان در عرض جغرافیایی $26^{\circ} 31'$ تا $31^{\circ} 58'$ و طول جغرافیایی $54^{\circ} 118'$ تا $59^{\circ} 33'$ قرار دارد و با حدود ۱۸۳ هزار کیلومتر مربع و حدود ۳۱۶۰۰۰۰ نفر جمعیت، از سمت شمال به استان‌های خراسان جنوبی و یزد، از سمت غرب به یزد و فارس، از سمت جنوب به هرمزگان و از سمت شرق به استان سیستان و بلوچستان منتهی می‌شود (شکل ۱). کرمان یکی از استان‌های کویری کشور است که میانگین بارش ناچیزی دارد؛ به طوری که بخش زیادی از مساحت این استان دارای بارش سالانه کمتر از پنجاه میلی‌متر است. همچنین بخش زیادی از مساحت این استان نیز دارای میانگین دمای سالانه بیش از بیست درجه سانتی‌گراد است (Meteorological Organization of Iran, 2018). با توجه به وضعیت اقلیمی استان کرمان، بخش زیادی از مساحت آن را اراضی کویری در بر گرفته و به همین دلیل، از نظر پوشش گیاهی بسیار ضعیف است. این استان، اختلاف ارتفاع زیادی دارد (بین ارتفاع ۹۱ تا ۴۴۷۸ متری قرار دارد) و از نظر ژئومورفولوژی، دارای لندفرم‌های مختلف مناطق بیابانی از جمله انواع تپه‌های ماسه‌ای، کلوت‌ها، پلایا، دشت‌های سیلابی، مخروطه‌افکنه‌های بزرگ و واحد کوهستان است. از نظر تقسیمات حوضه‌ای نیز بخش زیادی از مساحت این استان در زیرحوضه‌های جازموریان و کویر لوت قرار دارد و مهم‌ترین رودخانه‌های آنها هلیل‌رود و تنگ‌تویه است. همچنین از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک نیز مناطق غربی آن، در واحد سندرچ-سیرجان و سایر مناطق آن در واحد ایران مرکزی قرار دارد (Aghanabati, 2004).

¹ TOPSIS



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در این پژوهش به منظور بررسی آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه، از شاخص آسیب‌پذیری DVI¹ استفاده شد. از این شاخص به منظور بررسی تغییرات زمانی - مکانی میزان آسیب‌پذیری در مقابل بیابان‌زایی در حوضه رودخانه باناس در کشور هند استفاده شد (Kalyan et al, 2021). اطلاعات مورد استفاده در تحقیق شامل اطلاعات اقلیمی، مدل رقومی ارتفاعی سی متر و ۲۱/۵ متر SRTM، اطلاعات مربوط به نوع خاک منطقه و اطلاعات جمعیتی است. مهم‌ترین ابزار مورد استفاده در تحقیق، ArcGIS است. این تحقیق در چند مرحله به شرح زیر انجام شده است:

مرحله اول (جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز): در مرحله اول، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شد که در جدول زیر، این اطلاعات و منبع آنها ذکر شده است.

¹ Desertification Vulnerability Index

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در تحقیق (Kalyan et al, 2021)

منبع	مجموعه داده	نوع داده
سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۷	دما	اطلاعات اقلیمی
	بارش	
	تبخیر و تعرق	
سایت USGS	مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر	داده‌های مکانی
سازمان جنگل‌داری کشور (۱۳۹۷)	نوع خاک	داده‌های خاک
مرکز آمار کشور، ۱۳۹۵	تراکم جمعیت	اطلاعات جمعیتی
	میزان بی‌سوادی	
	میزان رشد جمعیت	

در مدل DVI از ۹ شاخص استفاده می‌شود که در جدول ۲، اهمیت این شاخص‌ها نشان داده شده‌است. شاخص‌های مورد استفاده شامل چهار گروه شاخص‌های آب و هوایی، توپوگرافی، خاک‌شناسی و جمعیتی است.

جدول ۲: شاخص‌های DVI و اهمیت آنها (Kalyan et al, 2021)

شاخص	اهمیت
میانگین بارندگی سالانه - (میلی‌متر)	مقدار کم باران به کاهش رطوبت خاک منجر می‌شود که روی رشد گیاه تأثیر می‌گذارد.
دمای متوسط سالانه (C°)	دمای تبخیر آب، تعرق گیاهان در حال رشد، شوری خاک و قلیایی بودن آن را تعیین می‌کند.
متوسط PET سالانه - (میلی‌متر)	وقتی تبخیر و تعرق در یک منطقه بیشتر باشد، آسیب‌پذیری خاک در برابر شور شدن و بیابان‌زایی بیشتر است.
شاخص خشکی (UNEP)	شاخص خشکی بالا به این معنی است که منطقه کمبود آب بیشتری دارد و منابع آب ناکافی به آسیب‌پذیری منطقه در برابر بیابان‌زایی منجر می‌شود.
شیب (درجه)	زمانی که زاویه شیب از مقدار بحرانی آن بیشتر شود، فرسایش خاک حاد خواهد شد و شیب زیاد خاک تأثیر منفی بر بیابان‌زایی می‌گذارد.
نوع خاک	نوع خاک می‌تواند روی زهکشی خاک، دمای خاک، ظرفیت نگهداری آب موجود (AWC)، حاصلخیزی خاک و فرسایش آن تأثیر بگذارد.
تراکم جمعیت (نفر در کیلومتر مربع)	مناطق با تراکم جمعیت بالا، تحت تأثیر تنش آب و فرسایش خاک قرار هستند و نسبت به بیابان‌زایی و تخریب زمین آسیب‌پذیری بیشتری دارند.
میزان رشد جمعیت - (درصد در سال)	مناطق دارای میزان رشد جمعیت بالا، با تخریب بیشتر زمین در ارتباط است.
میزان بی‌سوادی (درصد)	کشاورزان باسواد به احتمال بیشتری از تکنیک‌های کشاورزی جدید برای کشت استفاده می‌کنند و روش‌های جدید مدیریت زمین را برای کاهش فرسایش خاک و تخریب مواد مغذی از زمین خود در پیش می‌گیرند.

مرحله دوم (فازی‌سازی و وزن‌دهی به شاخص‌ها): پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر ابتدا وزن درون لایه‌ای هر پارامتر مشخص (جدول ۳) و بر اساس آن، لایه‌های اطلاعاتی فازی‌سازی شد. با توجه به اینکه ارزش و اهمیت لایه‌های اطلاعاتی یکسان نیست، از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به منظور وزن‌دهی به آنها استفاده شد.

جدول ۳: شاخص‌های مورد استفاده در مدل DVI و وزن آنها (Kalyan et al, 2021)

شاخص	طبقات شاخص	رده	وزن
مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)	۲۲ تا ۲۲۷ میلی‌متر	مناطق با بارش کم، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق با بارش کمتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق با بارش بیشتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.
میانگین دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	۱۴ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد	مناطق با دمای زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق با دمای بیشتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق با دمای کمتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.
میانگین PET سالانه (میلی‌متر)	۱۶۶۲ تا ۲۶۱۴	مناطق با تبخیر زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق با تبخیر بیشتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق با تبخیر کمتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.
شاخص خشکی (UNEP)	۰/۱ تا ۰/۱۴	مناطق با ضریب خشکی زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق با ضریب خشکی بیشتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق با ضریب خشکی کمتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.
شیب (درصد)	صفر تا بیش از ۱۵۰	مناطق با شیب زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق با شیب بیشتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق با شیب کمتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.
نوع خاک	وجود اراضی بدلدنی، تپه‌های ماسه - ای، خلوت، پلایا، شوره‌زار، اردی - سول، اینسپتی سول و انتی سول	مناطق دارای خاک‌های خشک و کویری، پتانسیل - آسیب‌پذیری بالایی دارد.	اینسپتی سول: ۰/۱ انتی سول: ۰/۲ اریدی سول: ۰/۳ پلایا: ۰/۶ بدلدن: ۰/۷ کلوت: ۰/۷ شوره‌زار: ۰/۹ تپه‌های ماسه‌ای: ۰/۹
تراکم جمعیت	۳ تا ۷۴ نفر در کیلومتر مربع	مناطق با تراکم جمعیت زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق با تراکم جمعیت بیشتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق با تراکم جمعیت کمتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.
میزان رشد جمعیت	۰/۳۶ تا ۲/۲ درصد در سال	مناطق با نرخ رشد زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق با میزان رشد بیشتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق با میزان رشد کمتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.

میزان بی‌سوادی	۱۹/۳ تا ۴۰ درصد	مناطق با نرخ بی‌سوادی زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.	به مناطق دارای میزان بی‌سوادی بیشتر، ارزش نزدیک به یک و به مناطق دارای میزان بی‌سوادی کمتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد.
----------------	-----------------	---	--

مرحله سوم (اجرای مدل شاخص آسیب‌پذیری بیابان‌زایی (DVI): شامل شاخص کیفیت آب و هوا، کیفیت خاک و شاخص اقتصادی اجتماعی است. معادله ریاضی این شاخص در رابطه ۱ نشان داده شده است.

$$DVI = (CQI * SEQI)^{1/3} \quad \text{رابطه ۱}$$

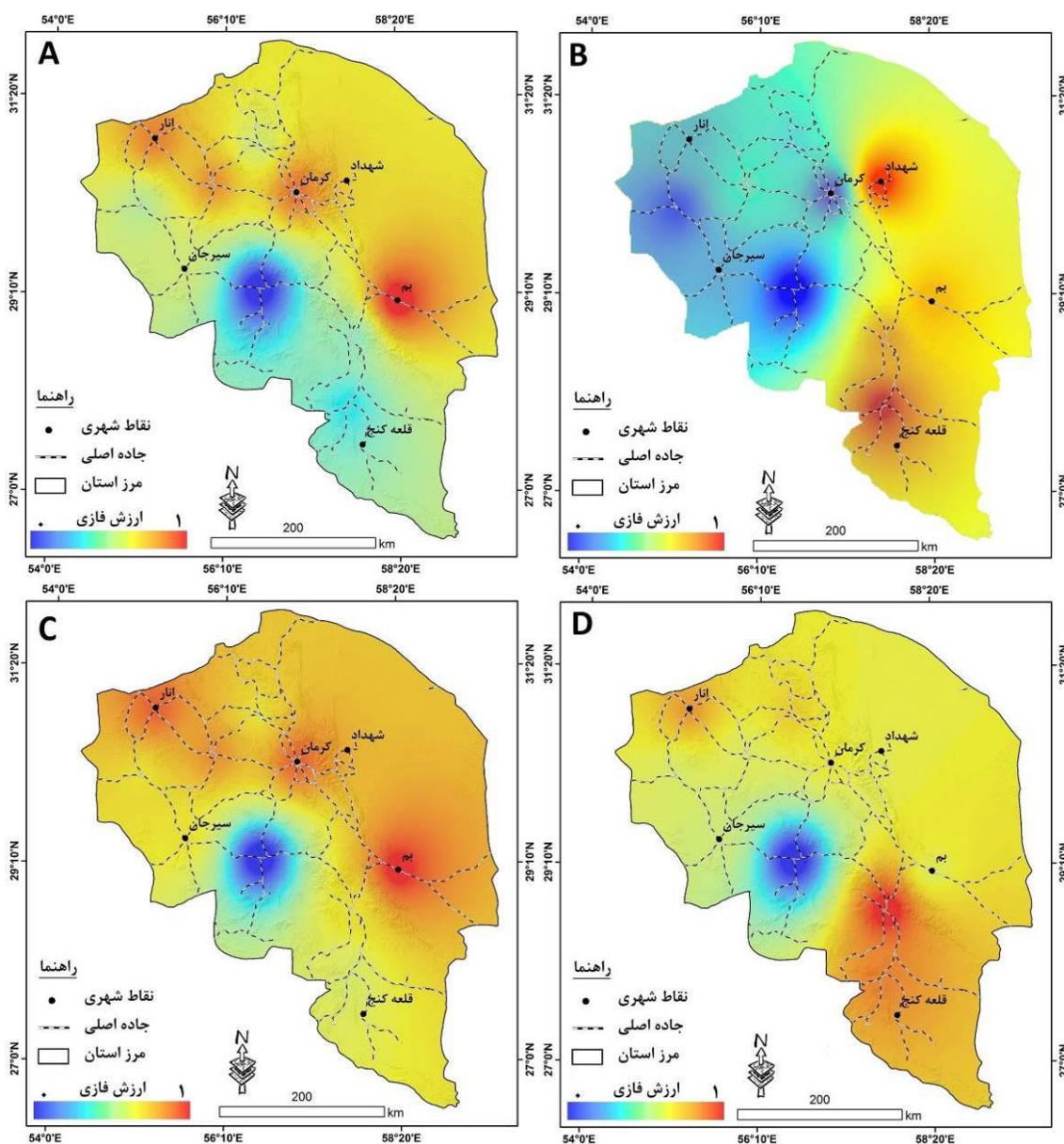
در این معادله، DVI بیانگر شاخص آسیب‌پذیری بیابان‌زایی است، CQI بیانگر شاخص کیفیت آب و هوا، SQI بیانگر شاخص کیفیت خاک و SEQI بیانگر شاخص کیفیت اجتماعی - اقتصادی است (Kalyan et al, 2021).

۴- یافته‌ها (نتایج)

در این پژوهش به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر بیابان‌زایی، از شاخص‌های آب و هوایی، توپوگرافی، خاک-شناسی و شاخص‌های جمعیتی استفاده شد که در ادامه شرح داده خواهد شد:
الف) شاخص‌های مورد استفاده

شاخص‌های آب و هوایی: شاخص‌های آب و هوایی از عوامل مؤثر در تعیین آسیب‌پذیری مناطق بیابانی محسوب می‌شود. در این پژوهش از چهار شاخص مجموع بارش سالانه، میانگین دمای سالانه، میزان تبخیر و تعرق و شاخص خشکی به عنوان شاخص‌های آب و هوایی مؤثر استفاده شد. بررسی وضعیت بارش منطقه بیانگر این است که میانگین بارش در محدوده استان کرمان بین ۲۲ تا ۲۲۷ میلی‌متر است که بیشترین میزان آن به مناطق جنوب غربی این استان بازمی‌گردد و کمترین آن مربوط به مناطق شرقی استان است؛ بنابراین از نظر شاخص بارش، مناطق شرقی استان کرمان پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری دارند (شکل ۲: A). بررسی وضعیت دمای منطقه نیز بیانگر این است که میانگین دمای سالانه این استان بین ۱۴ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد است که بیشترین میزان آن، به مناطق جنوبی و شرقی استان کرمان بازمی‌گردد. در واقع در یک روند کلی، میانگین دما از غرب به شرق و از شمال به جنوب استان روند افزایشی دارد. با توجه به موارد مذکور، مناطق جنوبی و شرقی استان کرمان، پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری دارد (شکل ۲: B). پارامتر اقلیمی دیگری که در این پژوهش ارزیابی شد، شاخص خشکی است. شاخص خشکی بالا به این معنی است که منطقه کمبود آب بیشتری دارد و منابع آب ناکافی به آسیب‌پذیری منطقه در برابر بیابان‌زایی منجر می‌شود. بر اساس نتایج حاصل شده، از نظر شاخص خشکی، مناطق جنوبی و شرقی استان کرمان دارای بالاترین ضریب خشکی است و بنابراین، بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارد (شکل ۲: C). همچنین تفاوت در وضعیت دمایی و توپوگرافی استان سبب شده است تا میزان تبخیر نیز در مناطق مختلف آن متفاوت باشد. بر اساس نتایج حاصل شده، بیشترین میزان تبخیر مربوط به مناطق جنوبی و شرقی استان است و کمترین میزان آن نیز به مناطق جنوب غربی استان بازمی‌گردد. با توجه

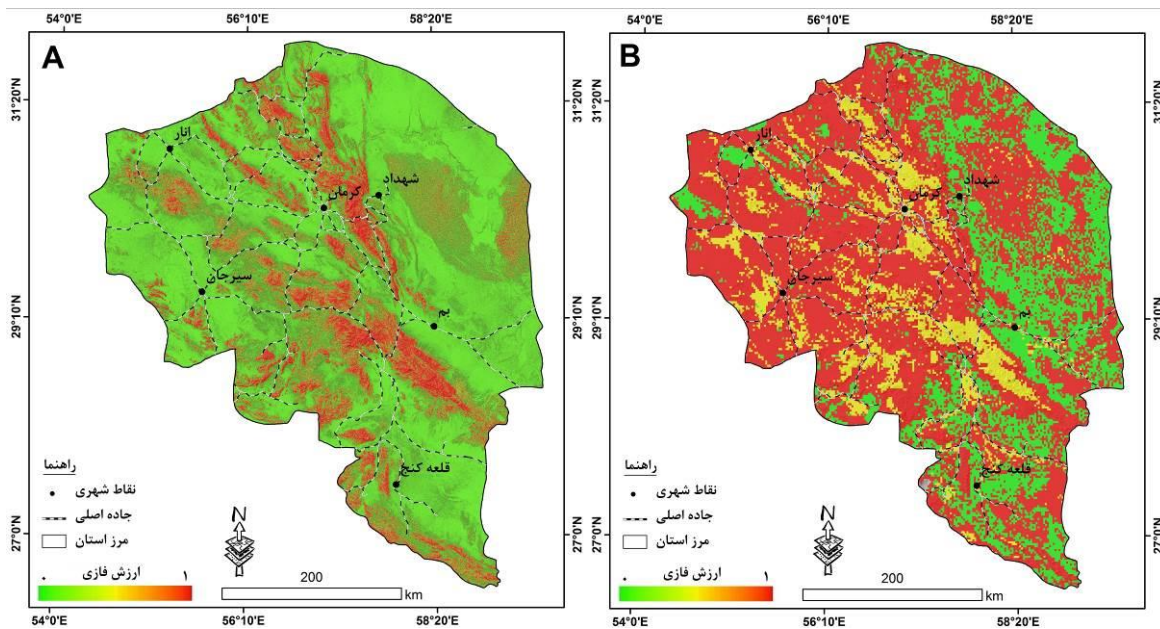
به موارد مذکور، از نظر میزان تبخیر، مناطق جنوبی استان کرمان دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری است (شکل ۲: D).



شکل ۲: (A) نقشه فازی‌سازی شاخص مجموع بارش سالانه، (B) نقشه فازی‌سازی شاخص میانگین دمای سالانه، (C) نقشه فازی‌سازی شاخص خشکی و (D) نقشه فازی‌سازی شاخص تبخیر

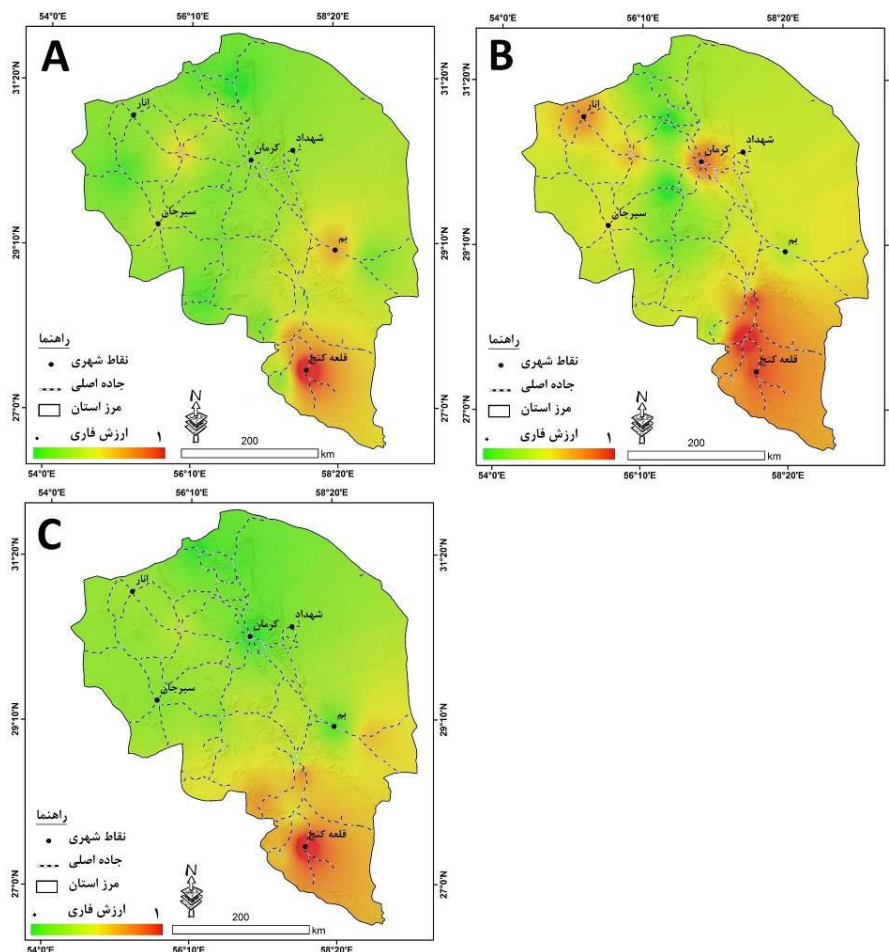
شاخص خاک‌شناسی و شیب: وضعیت خاک‌شناسی و شیب نیز از عوامل مؤثر در تشدید آسیب‌پذیری مناطق محسوب می‌شود. شیب زمین از عوامل مؤثر در نفوذپذیری، فرسایش و رواناب است؛ زمانی که زاویه شیب از مقدار بحرانی آن بیشتر شود، فرسایش خاک حاد می‌شود و شیب زیاد خاک، بر بیابان‌زایی تأثیر منفی می‌گذارد. بر اساس نتایج حاصل شده، بخش زیادی از وسعت استان کرمان را مناطق با شیب کمتر از ده درصد دربر گرفته است و مناطق پرشیب آن، منطبق بر ارتفاعات میانی این استان است. با توجه به موارد مذکور، مناطق پرشیب استان پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد (شکل ۳: A). نوع خاک نیز در تشدید میزان آسیب‌پذیری نقش مهمی ایفا می‌کند. بخش‌های زیادی

از مساحت استان کرمان را تپه‌های ماسه‌ای و شوره‌زار دربر گرفته‌است که بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارد. همچنین بخش‌هایی از مساحت استان را اراضی بدلدنی، کلوته‌ها و پلایاها در بر گرفته‌است که این مناطق نیز پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد. با توجه به موارد مذکور، مناطق شرقی استان کرمان به این دلیل که از شوره‌زارها، تپه‌های ماسه‌ای و کلوته‌ها تشکیل شده‌است، بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارد (شکل ۳: B).



شکل ۳: (A) نقشه فازی‌سازی شاخص شیب و (B) نقشه فازی‌سازی شاخص خاک‌شناسی

شاخص‌های جمعیتی: شاخص‌های جمعیتی مورد استفاده در این تحقیق شامل تراکم جمعیت، رشد جمعیت و بی‌سوادی است. مناطق با تراکم جمعیت بالا، تحت تأثیر تنش آب و فرسایش خاک است و نسبت به بیابان‌زایی و تخریب زمین، آسیب‌پذیری بیشتری دارد. بر اساس نتایج حاصل شده، تراکم جمعیت در استان کرمان بین ۳ تا ۷۴ نفر در کیلومترمربع است. بالاترین میزان تراکم جمعیت مربوط به مناطق جنوبی و کمترین میزان آن مربوط به مناطق شرقی استان است؛ بنابراین از نظر شاخص تراکم جمعیت، مناطق جنوبی استان کرمان بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارند (شکل ۴: A). درصد رشد جمعیت نیز به‌طور مستقیم در افزایش روند تخریب زمین و افزایش آسیب‌پذیری مؤثر است. بر اساس نتایج حاصل شده، درصد رشد جمعیت استان کرمان بین ۰/۳۶ تا ۲/۲۳ درصد است که بیشترین میزان آن به مناطق میانی و جنوبی این استان بازمی‌گردد؛ بنابراین از نظر درصد رشد جمعیت، این مناطق بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارند (شکل ۴: B). همچنین میزان بی‌سوادی نیز در افزایش آسیب‌پذیری مؤثر است. در واقع، میزان بی‌سوادی در میزان آگاهی مردم و مدیریت محیطی مؤثر است؛ بنابراین، به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در نظر گرفته می‌شود. بر اساس نتایج حاصل شده، میزان بی‌سوادی در استان کرمان بین ۱۹ تا ۴۰ درصد است که بالاترین میزان آن به مناطق جنوبی استان بازمی‌گردد. با توجه به موارد مذکور، از نظر شاخص میزان بی‌سوادی در یک روند کلی، میزان آسیب‌پذیری به سمت مناطق جنوبی استان افزایش می‌یابد (شکل ۴: C).



شکل ۴: (A) نقشه فازی سازی شاخص تراکم جمعیت، (B) نقشه فازی سازی شاخص میزان رشد جمعیت و (C) نقشه فازی سازی شاخص میزان بی‌سوادی

ب) وزن‌دهی به شاخص‌ها

با توجه به اینکه ارزش و اهمیت لایه‌های اطلاعاتی یکسان نیست، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و فازی‌سازی آنها، با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شد. به منظور ارزش‌گذاری لایه‌ها، از نظرات کارشناسان مربوطه استفاده شد و پس از مقایسه زوجی لایه‌های اطلاعاتی، اطلاعات تهیه شده به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد. سپس وزن نهایی معیارها به دست آمد که در جدول ۵ نشان داده شده است.

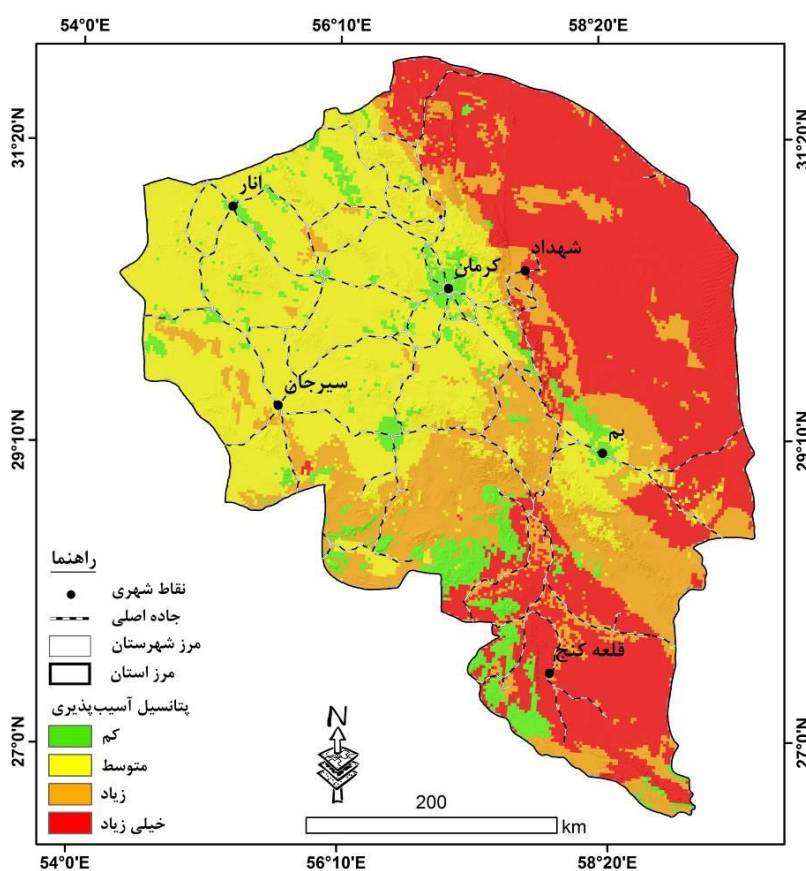
جدول ۵: وزن شاخص‌های مورد استفاده بر اساس مدل AHP

شاخص	بارش	دما	خشکی	تبخیر	شیب	خاک	تراکم جمعیت	رشد جمعیت	بی‌سوادی
وزن	۰/۱۱۸	۰/۱۱۵	۰/۱۲۷	۰/۹۸	۰/۱۴۵	۰/۱۳۴	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۸۱

ج) تهیه نقشه آسیب‌پذیری

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر، وزن‌های درون لایه‌ای بر روی لایه‌ها اعمال شد، سپس با استفاده از رابطه ۱، لایه‌های اطلاعاتی با هم ترکیب و نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر تهیه شد (شکل ۵). بر اساس نتایج به دست آمده، مناطق شرقی و جنوبی استان کرمان دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری است. این مناطق از نظر بیشتر شاخص‌های

مورد استفاده از جمله شاخص‌های شیب، اقلیمی و جمعیتی، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارند و در جمع‌بندی نهایی نیز به‌عنوان مناطق دارای توان بالای آسیب‌پذیری شناسایی شده‌اند. در جدول ۳ و شکل ۴، مساحت و درصد مساحت طبقات نشان داده شد. بر اساس نتایج حاصل شده، ۶۶۰۹۹ کیلومتر مربع (معادل ۳۵/۹ درصد از کل مساحت) از مساحت استان، پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیاد دارد که عمدتاً شامل مناطق شرقی و جنوبی این استان است. ۴۱۱۶۳ کیلومتر مربع (معادل ۲۲/۳ درصد از کل مساحت) از مساحت استان نیز پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی دارد که عمدتاً شامل مناطق مرکزی استان است. ۶۴۴۲۱ کیلومتر مربع (معادل ۳۵ درصد از کل مساحت) از مساحت استان، پتانسیل آسیب‌پذیری متوسطی دارند که عمدتاً شامل مناطق شمال غربی استان است. همچنین ۱۲۵۸۶ کیلومتر مربع (معادل ۶/۸ درصد از کل مساحت) از مساحت استان، دارای پتانسیل کم آسیب‌پذیری است که عمدتاً شامل مناطق مجاور شهرها و نقاط ارتفاعی استان است.



شکل ۵: نقشه آسیب‌پذیری بیابان‌زایی بر اساس مدل DVI

جدول ۳: مساحت و درصد مساحت طبقات آسیب‌پذیر در برابر بیابان‌زایی

پتانسیل آسیب‌پذیری	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت (کیلومتر مربع)	۱۲۵۸۶	۶۴۴۲۱	۴۱۱۶۳	۶۶۰۹۹
درصد مساحت	۶/۸	۳۵	۲۲/۳	۳۵/۹

۵- بحث

نتایج بررسی وضعیت محیطی استان کرمان نشان داد که بخش‌های زیادی از مساحت این استان را مناطق با پتانسیل آسیب‌پذیری بالا در بر گرفته‌است. پایش مناطق دارای توان بالای آسیب‌پذیری در برابر بیابان‌زایی و تحلیل ارتباط آن با وضعیت کاربری‌های اراضی این استان نشان داد که بخش زیادی از مناطق دارای توان بالای آسیب‌پذیری را اراضی کویری دربرمی‌گیرد. در این پژوهش به منظور شناسایی کاربری‌های در معرض خطر در هر شهرستان، درصد مساحت دارای توان بالای آسیب‌پذیری (کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد) در برابر خطر بیابان‌زایی در شهرستان‌های استان کرمان به تفکیک نوع کاربری اراضی محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصل شده، بیشترین درصد آسیب‌پذیری با ۹۷ درصد از کل مساحت، مربوط به شهرستان رودبار بود. نتایج تفکیک میزان آسیب‌پذیری در کاربری‌های مختلف نشان داد که ۸۹ درصد از آسیب‌پذیری شهرستان رودبار مربوط به کاربری مراتع فقیر، هفت درصد مربوط به اراضی بایر و یک درصد هم مربوط به اراضی کویری بود. شهرستان‌های ریگان و قلعه‌گنج نیز با ۹۶ درصد، درصد بالایی از آسیب‌پذیری داشت. در شهرستان ریگان از کل درصد مساحت دارای پتانسیل بالای آسیب‌پذیری، ۴۱ درصد مربوط به اراضی کویری، ۴۷ درصد مربوط به مراتع فقیر و ۷ درصد نیز مربوط به اراضی بایر بود. در شهرستان قلعه‌گنج نیز از کل درصد مساحت دارای پتانسیل بالای آسیب‌پذیری، ۲۶ درصد مربوط به اراضی کویری، ۱۱ درصد مربوط به تپه‌های ماسه‌ای، ۵۵ درصد مربوط به مراتع فقیر و ۴ درصد نیز مربوط به اراضی بایر بود. همچنین در بین شهرستان‌های استان کرمان، شهرستان‌های زرنند، شهر بابک و انار به ترتیب با ۳، ۴ و ۴ درصد از کل مساحت شهرستان، کمترین میزان آسیب‌پذیری را داشتند. مجموع نتایج حاصل شده از این بخش نشان داد که اراضی کویری، مراتع فقیر و تپه‌های ماسه‌ای، کانون‌های آسیب‌پذیر در برابر بیابان‌زایی است.

جدول ۱: درصد مساحت کلاس‌های مختلف آسیب‌پذیری در برابر مخاطره بیابان‌زایی در شهرستان‌های استان کرمان به تفکیک نوع کاربری اراضی

شهرستان	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت دارای			درصد مساحت مناطق آسیب‌پذیر در هر کاربری		
		آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد	اراضی کوبری	تپه‌های ماسه‌ای	مراعات فقیر	اراضی بایر و کشاورزی دیم	
انار	۲۰۹۱	۴	۳	۰	۰	۱	
بافت	۱۱۲۴۹	۵۴	۱	۰	۴۷	۶	
بردسیر	۶۰۹۱	۷	۶	۰	۱	۰	
بم	۶۸۲۸	۶۸	۴۳	۰	۱۹	۶	
جیرفت	۸۵۱۸	۸۴	۳	۰	۷۳	۸	
را بر	۱۶۳۷	۵۲	۱	۰	۳۳	۱۸	
راور	۱۳۵۴۲	۸۶	۷۹	۱	۶	۰	
رفسنجان	۸۱۲۶	۶	۲	۳	۱	۰	
رودبار	۶۲۱۶	۹۷	۱	۰	۸۹	۷	
ریگان	۵۷۰۳	۹۶	۴۱	۰	۴۷	۸	
زرند	۴۵۶۱	۳	۳	۰	۰	۰	
سیرجان	۱۲۶۵۸	۱۲	۹	۰	۲	۱	
شهربابک	۱۳۵۳۵	۴	۳	۱	۰	۰	
عنبرآباد	۴۵۸۷	۸۴	۱	۰	۷۵	۸	
فهرج	۵۰۰۲	۹۵	۸۶	۵	۳	۱	
قلعه گنج	۱۰۱۰۵	۹۶	۲۶	۱۱	۵۵	۴	
کرمان	۴۴۸۹۰	۷۸	۵۴	۱۶	۷	۱	
کهنوج	۴۷۶۴	۶۴	۳	۰	۵۴	۷	
کوهبانان	۳۶۰۲	۱۱	۱۰	۰	۱	۰	
منوجان	۳۵۶۵	۵۶	۲۴	۰	۲۹	۳	

۶- نتیجه‌گیری

یکی از مسائل مهمی که مناطق خشک و نیمه‌خشک با آن مواجه است، توان بالای آسیب‌پذیری و بیابان‌زایی است. مسئله بیابان‌زایی نقش مهمی در توان زیست‌محیطی کشورها دارد و در طی سال‌های اخیر بسیار قابل توجه بوده است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری DVI به بررسی این مسئله در استان کرمان پرداخته شد. نتایج حاصل شده از تحقیق همانند تحقیقات پیشین (مهرابی، ۱۳۹۹؛ حسن‌زاده و رحیم‌پور، ۱۳۹۹)، بیانگر پتانسیل آسیب‌پذیری بالای استان کرمان بود. بر اساس نتایج حاصل شده، بخش زیادی از مساحت استان کرمان را مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد آسیب‌پذیری در بر گرفته است؛ به طوری که ۴۱۱۶۳ کیلومتر مربع (معادل ۲۲/۳ درصد) از مساحت استان را طبقه با پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و ۶۶۰۹۹ کیلومتر مربع (معادل ۳۵/۹ درصد) را طبقه با پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیاد در بر گرفته است. بررسی پراکنش مکانی مناطق آسیب‌پذیر نیز بیانگر این است که مناطق

شرقی و جنوبی استان کرمان به دلیل وضعیت شیب، وضعیت اقلیمی و جمعیتی، بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارد. در این پژوهش همچنین میزان آسیب‌پذیری در شهرستان‌های مختلف به تفکیک کاربری اراضی ارزیابی شد که بر اساس نتایج حاصل شده، شهرستان‌های رودبار، ریگان و قلعه گنج به ترتیب با ۹۷، ۹۶ و ۹۶ درصد از کل مساحت شهرستان، بالاترین درصد آسیب‌پذیری را داشت که بخش زیادی از مناطق آسیب‌پذیری این شهرستان‌ها مربوط به کاربری‌های اراضی کویری، ماسه‌زارها و مراتع فقیر بود. مجموع نتایج حاصل شده از تحقیق بیانگر این است که استان کرمان پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد و مناطق جنوبی این استان نیز در معرض خطر فرسایش است؛ بنابراین، لازم است برنامه‌ریزی لازم برای جلوگیری از افزایش بیابان‌زایی به خصوص در مناطق جنوبی این استان صورت گیرد.

منابع

1. Aghanabati, S. A., 2004. Geology of Iran. Publications of the Geological Survey of Iran. (in Persian)
2. Ahmadabadi, A.; Seif, A.; Khosravi, S.; & A. Fathnia, 2015. Vulnerability Assessment of desertification hazard using Extended Vikor E-VIKOR in the Mond watershed, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2(2), 85-97. (In Persian)
3. Baraka, K.; Chandra, M.; Sekaran, D.; & K. Barak, 2012. Sensitivity of land to desertification and environmental sensitivity indices in agricultural ecosystems (1984 and 2008) in the region of Boustan, Greece, *Ecological Economics*, 834-837.
4. Boali, A., & A. Mohammadian behbahani., (2019). Assessing intensity, risk of desertification and management program (Case study area: Segazi plain of Isfahan). *Geography and Development Iranian Journal*. 17(56), 181-194. doi: 10.22111/gdij.2019.4896. (in Persian)
5. Capozzi, F.; Di Palma, A.; De Paola, F.; Giugni, M.; Iavazzo, P.; Topa, M. E.; ... & S. Giordano, 2018. Assessing desertification in sub-Saharan peri-urban areas: case study applications in Burkina Faso and Senegal, *Journal of Geochemical Exploration*, 190, 281-291.
6. Corrado, R.; Cherubini, A. M.; & C. Pennetta, 2015. Critical desertification transition in semi-arid ecosystems: The role of local facilitation and colonization rate, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 22(1-3), 3-12.
7. Country Statistics Center., 2016. *Population and Housing Statistics Report of Kerman Province*. (in Persian)
8. Diallo, H. A., 2008. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). *In The Future of Drylands* (pp. 13-16). Springer, Dordrecht.
9. Ekhtesasi, M. R., & A. Sepehr., (2011). Methods and models for assessing and preparing desertification maps. Yazd University Press. (in Persian)
10. Ge, X.; Dong, K.; Luloff, A. E.; Wang, L.; & J. Xiao, 2016. Impact of land use intensity on sandy desertification: An evidence from Horqin Sandy Land, China, *Ecological Indicators*, 61, 346-358.
11. Gorgani, F.; Amirnejad, H.; & M. Taslimi, 2020. Investigating the effects of economic growth of agricultural sector on desertification in Iran, *Agricultural Economics Research*, 12(46), 155-176. (in Persian)
12. Goudie, A. S., 2011. Desertification, *Encyclopedia of Environmental Health*, 30-35.
13. Hasanzadeh, R., & N. Rahimpor., (2020). Assessment of ecological vulnerability using developed fuzzy hierarchical analysis method and GIS (Case study: Kerman province). *Scientific Journal of Environmental Research*. 11 (21), 27-42.
14. Kalyan, S.; Sharma, D.; & A. Sharma, 2021. Spatio-temporal variation in desert vulnerability using desertification index over the Banas River Basin in Rajasthan, India, *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1), 1-13.

15. Mehrabi, A., 2020. Identification of areas prone to influx of quicksands using remote sensing and GIS techniques Case study: Reagan, Fahraj and Normashir counties, Kerman province, *Journal of Environmental Hazardsm*, 9 (24), 47-62 (in Persian).
16. Meteorological Organization of Iran, 2018. statistical report of climate information of Kerman province. (in Persian)
17. Sadeghi Roshan, M. H., & H. Ahmadi., (2014). Zoning Desertification Potential Risk in Abozydabad Region by Using Modified Numerical Taxonomy Model, 14(46 & 46), 83-99. (In Persian)
18. Silakhori, E.; Ownegh, M.; & M. Soleimani Sardo, 2014. Assessment of Risk and Hazard desertification using Topsis-GIS method (Case Study: Bashtin, Sabzevar, Razavi province), *Arid Regions Geographic Studies*, 9(35), 44-59. (in Persian)
19. Silakhori, E.; Ownegh, M.; & A. Sadoddin, 2014. Assessing desertification hazard and risk in Sabzevar region using MICD Model, *Journal of Emergency Management*, 3(1), 89-99. (In Persian)
20. Tavares, J. D. P.; Baptista, I.; Ferreira, A. J.; Amiotte-Suchet, P.; Coelho, C.; Gomes, S.; ... & L. Varela, 2015. Assessment and mapping the sensitive areas to desertification in an insular Sahelian mountain region Case study of the Ribeira Seca Watershed, Santiago Island, Cabo Verde. *Catena*, 128, 214-223.
21. Topa, M. E.; Iavazzo, P.; Terracciano, S.; Adamo, P.; Coly, A.; De Paola, F.; ... & S. E. Traoré, 2013. Evaluation of sensitivity to desertification by a modified ESAs method in two sub-Saharan peri-urban areas: Ouagadougou (Burkina Faso) and Saint Louis (Senegal), In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU2013-2229).
22. Wang, X.; Hua, T.; Lang, L.; & W. Ma, 2017. Spatial differences of aeolian desertification responses to climate in arid Asia, *Global and Planetary Change*, 148, 22-28.
23. Zaker Esfahani, A., 2012. Combating with Desertification Process by an emphasis on Capabilities of Desert Areas (Case Study: Isfahan Province), *Journal of Environmental Studies*, 38(3), 155-164. doi: 10.22059/jes.2012.29157. (in Persian)

Identifying Vulnerable Areas to Desertification using the DVI Index (Case study: Kerman province)

Mehran Maghsoudi¹: Associate Professor, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

Mahin Pireh: Ph.D. Student, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

Article History (Received: 2021/09/11

Accepted: 2022/02/1)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.4.3

Extended abstract

1- Introduction

Desertification is a type of land degradation that often occurs in semi-humid, semi- arid, arid or hyper-arid areas. It becomes drier and loses its original structure, water, plants, and wildlife as a result of a variety of factors such as climate change, soil over-exploitation, and human activities. Common to all definitions of desertification is the severe destruction of the environment and the reduction of biological production of ecosystems due to desertification. Desertification of arid and semi-arid ecosystems is one of the most critical issues studied in ecosystems, which have severe economic and ecological impacts on a wide range of geographical areas with the potential risk of desertification. Desertification has many consequences that directly and indirectly affect human life, the most important of which are mass migration, poverty, water and food shortages, and conflicts over land and water resources. According to studies by the International Fund for Agriculture, desertification threatens 40 percent of the planet and directly affects 12 million hectares of land annually. Different regions have different potentials for desertification development depending on their hydro-climatic conditions. Iran's hydro-climatic situation has caused many parts of it, especially the eastern regions of the country, to be prone to desertification. Considering the direct effects of desertification on human life and its important environmental effects, in this study, vulnerable areas against desertification in Kerman province have been studied.

2- Methodology

In this study, in order to investigate the vulnerability of the study area, the DVI vulnerability index has been used. The information used in the research includes climatic information, a digital model of 30 m altitude, information about the type of soil in the area, and also some demographic information. The most important tool used in research has been ArcGIS. This research has been done in several stages. In the first step, the required information is collected. In the second step, in order to identify vulnerable areas, initially, the intra-layer weight of each parameter is determined and, subsequently, based on that, vulnerable areas are identified. In the third stage, using the DVI relationship and in ArcGIS software, a map of vulnerable areas against desertification has been prepared and then the status of desertification potential in Kerman cities has been evaluated.

3- Results

In this study, in order to identify the vulnerable areas of desertification, factors including climatic indicators, topographic indicators, soil characteristics and also demographic indicators have been used. Climatic indicators are one of the effective factors in determining the vulnerability of desert areas, so that areas with less rainfall, high temperature and drought index and more evaporation have a high potential for vulnerability. Soil status and slope are also effective factors in aggravating the vulnerability of areas. Land slope is one of the effective factors in permeability, erosion and runoff. Typically, steep areas have greater potential for vulnerability. Sand fields and salt marshes are also prone to desertification. Demographic indicators are also effective factors in desertification. Demographic indicators used in this study include population density, population growth and illiteracy. Typically, areas with high population density, high illiteracy rates, and high growth rates have greater potential for vulnerability and are prone to desertification.

4- Discussion & Conclusions

In this study, using DVI vulnerability index, the extent of desertification has been investigated in Kerman province. The results of the research indicate that a large part of the area of Kerman province

¹ Corresponding Author: maghsoud@ut.ac.ir

is covered by areas with high and very high vulnerability, so that 61722 square kilometers (equivalent to 34.7%) of the area of the province is a class with high vulnerability potential and 32381 square kilometers (equivalent to 18.2%) of the province's area is covered by floors with very high vulnerability potential. The study of spatial distribution of vulnerable areas indicates that the southern regions of Kerman province have the highest potential for vulnerability due to climatic and demographic conditions. In this study, the level of vulnerability in different cities has been evaluated. Based on the results, the cities of Manojan, Qaleh Ganj and Anbarabad have the highest potential of vulnerability with 97, 96 and 91% of the areas, respectively. The results of the study also indicate that Kerman province has a high potential for vulnerability and the southern regions of the province are at risk of erosion, so it is necessary to plan for conducting measures to prevent desertification, especially in the southern regions of the province.

Key Words: Desertification, DVI index, Kerman province, Land degradation