

بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در شهرستان طارم استان زنجان به روش IMDPA با تمرکز بر تأثیر اقلیم و پوشش گیاهی

بیمان اکبرزاده^{۱*}، مهراکبرزاده^۲

چکیده

پدیده بیابان‌زایی یکی از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی مناطق نیمه‌خشک ایران است. شهرستان طارم در استان زنجان، با مساحت تقریبی ۲۲۳۵ کیلومتر مربع، دارای توپوگرافی متنوعی است که شامل دره‌های عمیق حاشیه رودخانه قزل‌اوزن و ارتفاعات پیرامون می‌شود. بارندگی سالانه در دره‌ها حدود ۲۰۰ میلی‌متر و در ارتفاعات ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر است. پوشش گیاهی در دره‌ها (به‌ویژه منجیل و ماهنشان) ضعیف و بیابانی‌مانند است، اما ارتفاعات پوشش مناسبی شامل جنگل‌های ارس (جیش‌آباد)، بنه-بادام (شیرمیشه) و باغات زیتون حاشیه رودخانه دارند. این پژوهش پتانسیل بیابان‌زایی طارم را با مدل ایرانی IMDPA و تمرکز بر معیارهای اقلیم و پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار داد. ارزش هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌ها و شدت کلی از میانگین هندسی معیارها محاسبه و نقشه‌ها تهیه شد. نتایج نشان داد معیار اقلیم با ارزش ۲/۸۳ بیشترین نقش را در تشدید بیابان‌زایی دارد که ناشی از کمبود بارش و تبخیر بالا در دره‌ها است. معیار پوشش گیاهی با ارزش ۱/۸۹ وضعیت بهتری دارد که به دلیل پوشش خوب ارتفاعات و باغات است. شدت کلی بیابان‌زایی ۲/۳۱ محاسبه شد که منطقه را در کلاس متوسط و نزدیک به شدید قرار می‌دهد. معیار اقلیم نشان داد حدود ۸۹ درصد مساحت در کلاس‌های خشک و نیمه‌خشک است و ریسک بالایی ایجاد می‌کند. پوشش گیاهی در ارتفاعات و حاشیه رودخانه مناسب، اما در دره‌ها ضعیف است. نقشه‌نهایی شدت بیابان‌زایی بیانگر آن است که ۲۰ تا ۲۵ درصد مساحت (عمدتاً دره‌ها) در کلاس شدید، ۵۰ تا ۵۵ درصد در کلاس متوسط و ۲۵ تا ۳۰ درصد (عمدتاً ارتفاعات) در کلاس ضعیف قرار دارد. این الگوی فضایی نقش کلیدی توپوگرافی را برجسته می‌کند؛ بنابراین اقدامات حفاظتی متمرکز بر دره‌ها و حفظ پوشش ارتفاعات برای کنترل بیابان‌زایی ضروری است.

واژگان کلیدی:

بیابان‌زایی، مدل IMDPA، معیار اقلیم، معیار پوشش گیاهی، تفاوت توپوگرافی.



مقاله پژوهشی

۱. محقق پژوهشی، گروه جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.

p.akbarzadeh@areeo.ac.ir
*نویسنده مسئول

۲. دکتری تخصصی مهندسی محیط زیست، پژوهشکده انگور، دانشگاه ملایر، همدان، ایران.

mehranakbarzadeh92@gmail.com

شناسه مقاله: ۲۵۱۲-۱۱۴۴
شماره صفحه پایایی: ۱۱۲۰-۱۱۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶
زمان پذیرش: ۴۳ روز

استناددهی:

اکبرزاده، پ.، و اکبرزاده، م. (۱۴۰۴). بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در شهرستان طارم استان زنجان به روش IMDPA با تمرکز بر تأثیر اقلیم و پوشش گیاهی. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۳)، ۵، ۱-۱۲.

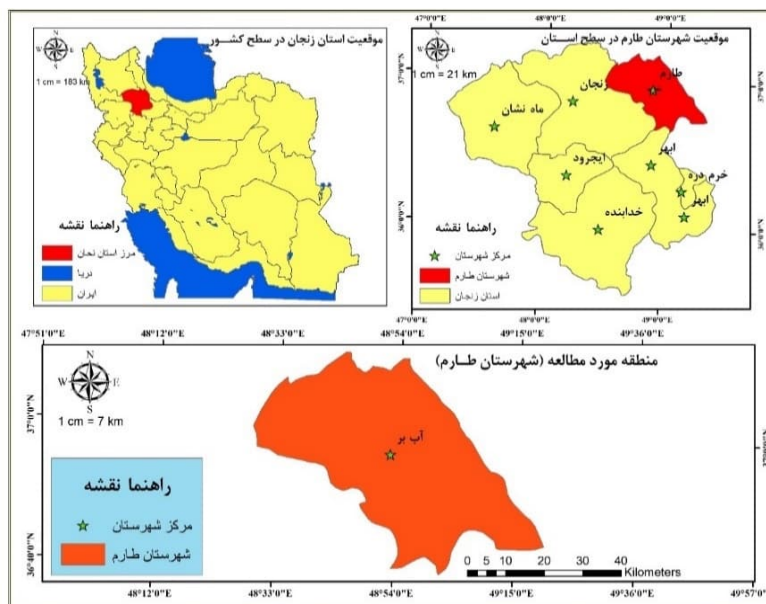
۱- مقدمه

پدیده بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از چالش‌های زیست‌محیطی برجسته در جهان محسوب می‌شود و به کاهش کیفیت منابع طبیعی، فرسایش خاک، از دست رفتن پوشش گیاهی و تخریب ساختار اکوسیستم‌های خشکی منجر می‌شود. بیابان‌زایی نتیجه تعامل پیچیده میان عوامل طبیعی (از جمله تغییرات اقلیمی، کاهش بارش و افزایش دما) و انسانی (نظیر مدیریت ناپایدار اراضی، چرای بیش‌ازحد و تغییر کاربری زمین) است و از مهم‌ترین مسائل پایدار محیط‌زیست در قرن بیست‌ویکم شناخته می‌شود (Arami and Ownagh, 2017; Akbarzadeh et al., 2025). در ایران، به دلیل قرارگیری بخش وسیعی از کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پدیده بیابان‌زایی شدت بیشتری دارد. برآوردها نشان می‌دهد که بیش از ۸۰ درصد از گستره کشور در اقلیم خشک تا نیمه‌خشک قرار دارد و بخش بزرگی از اراضی کشور دارای پتانسیل زیاد برای تخریب و بیابان‌زایی هستند (Eskandari Dameneh et al., 2021; Emadodin et al., 2019). برای اندازه‌گیری و تحلیل کمی پتانسیل بیابان‌زایی در سطح منطقه‌ای، به‌کارگیری مدل‌های معتبر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی^۱ است که به‌عنوان ابزاری علمی برای سنجش شدت و توزیع بیابان‌زایی در ایران توسعه یافته است؛ این مدل با استفاده از معیارهای متعدد از جمله اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، آب و فرسایش و با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲، امکان تهیه نقشه‌های کمی شدت بیابان‌زایی را فراهم می‌کند (Arami, and Ownagh, 2017؛ کرامت‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ ذاکری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱؛ غلامی و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعات انجام‌شده با استفاده از IMDPA در مناطق مختلف ایران، نقش عوامل اقلیمی و پوشش گیاهی به‌وضوح برجسته شده است. به‌عنوان نمونه در پژوهشی در منطقه بردخون استان بوشهر، بررسی معیارها نشان داد که اقلیم مهم‌ترین عامل در بیابان‌زایی است و پوشش گیاهی در تعیین شدت فرآیند بیابان‌زایی سهم قابل‌توجهی دارد (Pahlavanravi and Bahreini., 2017؛ حبیبی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳؛ شاهینی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین تحلیل گسترده در چارچوب IMDPA نشان داده است که درصد زیادی از خاک ایران در انواع کلاس‌های شدت بیابان‌زایی قرار دارد، که این یافته نشان‌دهنده وسعت و اهمیت موضوع در سطح کشور است (Khosravi et al., 2019). یکی دیگر از جنبه‌های مهم بررسی بیابان‌زایی، تأثیر تغییرات اقلیمی بر پوشش گیاهی است. مطالعات با استفاده از شاخص‌های اقلیمی و شاخص‌های پوشش گیاهی (مانند شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و تولید خالص اولیه) نشان داده‌اند که کاهش بارش و افزایش دما با کاهش تجمع پوشش گیاهی مرتبط بوده و این امر به تشدید فرآیند بیابان‌زایی انجامیده است؛ این ارتباط بین اقلیم و پوشش گیاهی یکی از مبانی علمی در ارزیابی سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی در پهنه‌های خشک است (Eskandari Dameneh et al., 2021). در واقع بیابان‌زایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی ایران است که به دلیل گستردگی مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاهش پوشش گیاهی، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین، پیامدهای جدی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارد (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۳). برای ارزیابی سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی، استفاده از مدل‌های کمی و شاخص‌های محیطی، مانند IMDPA و MICD، ابزارهای مؤثری به‌شمار می‌آید. سلیمان‌پور و همکاران (۱۴۰۳) با بهره‌گیری از مدل IMDPA شدت بیابان‌زایی حوزه آبخیز رفسنجان را با تمرکز بر شاخص‌های آب زیرزمینی و فرونشست تحلیل کردند و مناطق حساس را شناسایی نمودند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که کاهش تراز آب زیرزمینی و فرونشست زمین اثر مضاعفی بر سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی دارد و نیازمند مدیریت دقیق منابع آب و خاک است، همچنین حسینی خضراباد و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از مدل MICD وضعیت فعلی بیابان‌زایی در شمال غرب استان یزد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی در این منطقه به شکل مؤثری بر شدت بیابان‌زایی اثرگذار است و برخی از مناطق، به دلیل شرایط ویژه خاک و کاهش منابع آبی، در وضعیت بحرانی قرار دارند، مرور این مطالعات نشان می‌دهد که ترکیب مدل‌های کمی، شاخص‌های هیدرولوژیکی، تغییرات پوشش گیاهی و داده‌های مکانی، امکان ارزیابی دقیق و شناسایی مناطق حساس را فراهم می‌آورد. این رویکردها علاوه بر اولویت‌بندی مناطق بحرانی، امکان طراحی برنامه‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی مبتنی بر شواهد را نیز فراهم می‌کنند و به پژوهشگران و مدیران منابع طبیعی کمک می‌کنند تا اقداماتی مؤثر برای کاهش سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی انجام دهند (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۳؛ حسینی خضراباد و همکاران، ۱۴۰۱). مطالعات انجام‌شده در دشت درگز استان خراسان رضوی نشان داده‌اند که توسعه کشاورزی و تغییر کاربری اراضی یکی از عوامل اصلی افزایش شدت بیابان‌زایی است؛ در این پژوهش شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA و معیارهای مرتبط با فعالیت انسانی مانند آبیاری، زهکشی و توسعه شهری بررسی شد و نتایج حاکی از تسریع سنجش شدت کنونی تخریب زمین در طبقات متوسط و شدید بیابان‌زایی بود که نیاز به مدیریت پایدار اراضی را برجسته می‌سازد (نصیریان و همکاران، ۱۳۹۸). در استان خراسان رضوی، پژوهشی دیگر از مدل ESAs برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی استفاده کرده است؛ این مطالعه نشان داد که افزایش سنجش شدت کنونی خشکسالی و تغییرات پارامترهای اقلیمی همراه با فعالیت‌های انسانی باعث افزایش بیابان‌زایی و کاهش کیفیت پوشش گیاهی در دوره‌های زمانی طولانی شده است (قوامی و همکاران، ۱۴۰۲). مطالعه‌ای دیگر که با استفاده از مدل ایرانی بیابان‌زایی (IMDPA) انجام شد، نشان داد که معیارهای خاک و پوشش گیاهی تأثیر بسزایی در تعیین

شدت بیابان‌زایی دارند، به‌گونه‌ای که بخش‌های دارای پوشش گیاهی ضعیف با شدت بیشتری دچار تخریب شده‌اند؛ این پژوهش تأکید می‌کند که در ارزیابی سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی باید به ترکیب این عوامل توجه شود (ممبئی و همکاران، ۱۳۹۵). شهرستان طارم در استان زنجان به دلیل قرارگیری در چرخه اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک و داشتن بخش‌هایی از اراضی حساس به تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی پراکنده، از جمله مناطق خرد و خرداقلیمی است که نیازمند تحلیل کمی و علمی سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی می‌باشد. ارزیابی وضعیت فعلی و سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی در این شهرستان با تمرکز بر اثرات اقلیم و پوشش گیاهی و به روش IMDPA می‌تواند دیدی جامع نسبت به پتانسیل و شدت تخریب اراضی ارائه داده و راهنمای برنامه‌ریزی مدیریتی برای مقابله با بیابان‌زایی و احیای این گستره باشد؛ این مطالعه از چند جنبه حاوی نوآوری علمی است، در مرحله ای اول تمرکز بر نقش تفاوت‌های توپوگرافی (دره در مقابل ارتفاع) به‌عنوان عامل کلیدی در تشدید یا تعدیل بیابان‌زایی در یک منطقه نیمه‌خشک است که در مطالعات پیشین این منطقه کمتر بدان پرداخته شده است. دوم، کاربرد مدل IMDPA در مقیاس شهرستان و در یک محیط خرداقلیمی با پراکندگی شدید عوامل مؤثر است که می‌تواند الگویی برای ارزیابی‌های مشابه باشد. سوم، تأکید بر نزدیکی منطقه به آستانه بحرانی (کلاس شدید) و ارائه راهکارهای مدیریتی مکان‌محور بر اساس واحدهای کاری طبیعی (دره، ارتفاع و حاشیه رود) است که قابلیت اجرایی طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی را افزایش می‌دهد.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شهرستان طارم در شمال استان زنجان واقع شده است. این شهرستان با مساحت تقریبی ۲۲۳۵ کیلومتر مربع، دارای توپوگرافی متنوعی است که شامل دره‌های عمیق حاشیه رودخانه قزل‌اوزن و ارتفاعات اطراف (سمت گیلان، زنجان و مناطق جیش‌آباد و شیرمیشه) می‌باشد. بارندگی سالانه در دره‌ها میانگین حدود ۲۰۰ میلی‌متر (با تمرکز در فصل زمستان) است، در حالی که در ارتفاعات به ۴۵۰-۴۰۰ میلی‌متر می‌رسد. پوشش گیاهی در دره‌ها (به‌ویژه سمت منجیل و ماهنشان) ضعیف و با ویژگی‌های بیابانی است، اما در ارتفاعات پوشش خوبی شامل جنگل‌های ارس (منطقه جیش‌آباد) و بنه-بادام (منطقه شیرمیشه) وجود دارد. تمامی باغات (عمدتاً زیتون) در حاشیه رودخانه قزل‌اوزن متمرکز هستند (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح کشور و استان

در این پژوهش، برای ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) استفاده شد. این مدل جامع، توسط دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و در نتیجه پروژه‌ای با عنوان «تعیین روش‌شناسی معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران» ارائه شده است. در این پروژه، از مدل‌های بین‌المللی مانند (1984) FAO/UNEP و (1999) MEDALUS (European Commission) الهام گرفته شده است. در مدل IMDPA، به هر شاخص بر اساس وزن آن امتیازی از ۱ تا ۴ اختصاص داده می‌شود. ارزش عددی هر معیار از میانگین هندسی امتیاز شاخص‌های آن به‌دست می‌آید. فرمول محاسبه آن در رابطه (۱) آمده است.

$$\text{Index} - X = [(Layer_1) \times (Layer_2) \times \dots \times (Layer_n)]^{1/n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن Index-X معیار مورد نظر، Layer امتیاز هر شاخص و n تعداد شاخص‌های معیار است.

در نهایت، شدت بیابان‌زایی از میانگین هندسی دو معیار مورد بررسی (اقلیم و پوشش گیاهی) محاسبه شد (رابطه ۲):

$$DI = [(CC) \times (VC)]^{1/2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه CC: معیار اقلیم^۱ و VC: معیار پوشش گیاهی^۲

قبل از شروع امتیازدهی شاخص‌ها، نقشه واحد کاری منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب منطقه تهیه گردید. در پایان، نقشه خطر بیابان‌زایی (نقشه نهایی) بر اساس جدول (۱) به ۴ زیر کلاس طبقه‌بندی شد.

جدول (۱): طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی

کلاس بیابان‌زایی	مقدار عددی شدت بیابان‌زایی	توصیف کیفی شدت بیابان‌زایی
I	۰ - ۱/۵	کم
II	۱/۶ - ۲/۵	متوسط
III	۲/۶ - ۳/۵	شدید
IV	۳/۶ - ۴	خیلی شدید

در این پژوهش، از میان نه معیار این مدل، دو معیار پوشش گیاهی و اقلیم (با توجه به شرایط منطقه شامل تفاوت بارش و پوشش بین دره‌ها و ارتفاعات) انتخاب گردیدند. برای هر معیار، شاخص‌های مختلفی در نظر گرفته شد. در این مدل، ارزش عددی معیارها از میانگین هندسی شاخص‌ها و در نهایت بیابان‌زایی کل منطقه از میانگین هندسی معیارها به دست آمد و نقشه نهایی بیابان‌زایی منطقه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. دلیل انتخاب معیارهای اقلیم و پوشش گیاهی، با توجه به هدف پژوهش که بررسی تأثیر متقابل عوامل طبیعی کلیدی در تشدید یا تعدیل بیابان‌زایی در منطقه‌ای با توپوگرافی متنوع است، دو معیار اقلیم (به‌عنوان عامل محرک اصلی) و پوشش گیاهی (به‌عنوان عامل تعدیل‌کننده و نشانگر سلامت اکوسیستم) انتخاب شدند. این انتخاب مبتنی بر اهمیت شناخته‌شده این دو معیار در مطالعات بیابان‌زایی مناطق نیمه‌خشک و همچنین دسترسی به داده‌های مکانی یکپارچه و قابل اعتماد برای این معیارها در سطح شهرستان بود. سایر معیارهای مدل IMDPA (مانند خاک، آب زیرزمینی، فرسایش و مدیریت) با وجود اهمیت ذاتی، به دلیل عدم دسترسی به داده‌های دقیق، به‌روز و همگن در مقیاس مورد مطالعه و نیز تمرکز پژوهش بر نقش مستقیم و متقابل این دو عامل طبیعی، در این مرحله لحاظ نشدند. این امر به‌عنوان یک محدودیت در پژوهش پذیرفته شده و در بخش نتیجه‌گیری نیز به آن اشاره شده است.

۱-۲- معیار پوشش گیاهی

به‌منظور انعکاس پویایی و وضعیت واقعی پوشش گیاهی منطقه، از داده‌های سنجش از دور استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 (سنجنده OLI) مربوط به سال ۱۴۰۳ (مطابق با پوشش ابری کم و فصل رویش) به‌عنوان داده پایه انتخاب گردید. شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی^۳ از این تصاویر محاسبه شد. سپس با اعمال روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال^۴ و با استفاده از نقاط آموزشی جمع‌آوری‌شده از بازدیدهای میدانی و نیز نقشه‌های موجود کاربری اراضی و مرتع، نقشه پوشش گیاهی منطقه در چهار کلاس اصلی تولید شد شامل جنگل و مراتع مرغوب (ارتفاعات)، مراتع متوسط (نواحی انتقالی)، مراتع ضعیف و با ویژگی‌های بیابانی (دره‌ها) و اراضی کشاورزی آبی و باغات (حاشیه رودخانه). این نقشه مبنای امتیازدهی به شاخص‌های وضعیت، بهره‌برداری و تجدید پوشش گیاهی در مدل IMDPA قرار گرفت.

شاخص‌ها شامل وضعیت پوشش گیاهی (ضعیف در دره‌ها، خوب در ارتفاعات)، بهره‌برداری از پوشش (متعادل در باغات حاشیه رودخانه) و تجدید پوشش گیاهی (طبیعی در ارتفاعات) (رابطه ۳).

$$VC = [(S) \times (U) \times (R)]^{1/3} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه:

S: وضعیت پوشش^۵، U: بهره‌برداری از پوشش^۶، R: تجدید پوشش^۷ است.

جدول (۲): شاخص‌های ارزیابی معیار پوشش گیاهی

شاخص‌ها	ناچیز (۱)	متوسط (۲)	شدید (۳)	خیلی شدید (۴)
وضعیت پوشش گیاهی	گونه‌های مهاجم کمتر از ۵ درصد، تاج پوشش بیشتر از ۳۰ درصد	گونه‌های مهاجم ۵ تا ۲۰ درصد، تاج پوشش ۱۵ تا ۳۰ درصد	گونه‌های مهاجم ۲۰ تا ۵۰ درصد، عمدتاً سالانه	گونه‌های مهاجم بیشتر از ۵۰ درصد، سالانه غالب
بهره‌برداری از پوشش	چرای متعادل یا کمتر از ظرفیت	مازاد ۲۵ درصد ظرفیت	مازاد ۵۰-۲۵ درصد	مازاد > ۵۰ درصد
تجدید پوشش گیاهی	طبیعی	با هزینه کم	با هزینه بالا	غیرممکن

۲-۲- معیار اقلیم

شاخص‌ها شامل بارش سالانه (۲۰۰ میلی‌متر در دره‌ها، تا ۴۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات)، شاخص خشکی UTI و تداوم خشکسالی (رابطه ۴).

$$CC = [(P)] \times (UTI) \times (D)^{1/3} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه:

1. Climate Criterion

2. Vegetation Criterion

3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

4. Maximum Likelihood

5. Cover Status

6. Utilization

7. Renewal

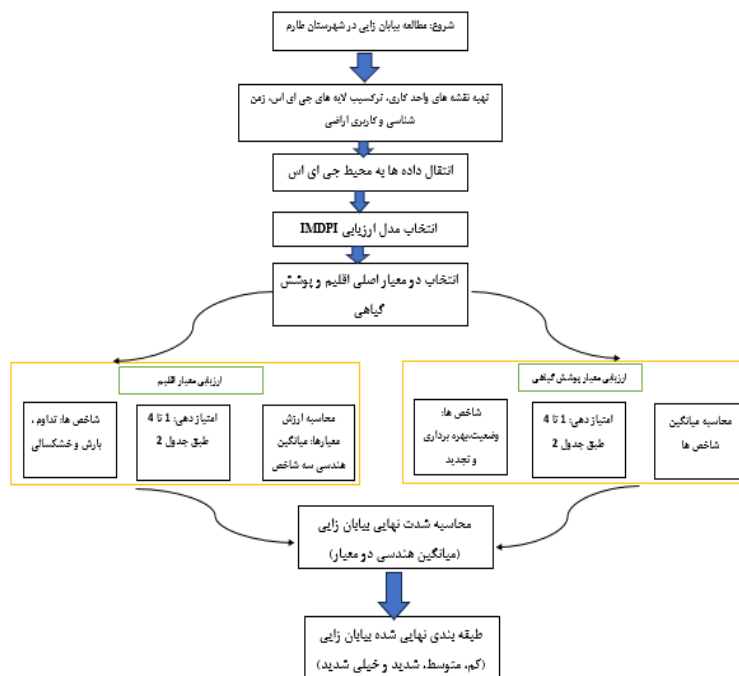
P: بارش سالانه^۱، UTI: شاخص خشکی^۲، D: تداوم خشکسالی^۳

داده‌های اقلیمی مورد استفاده (بارش و دما) میانگین دوره ۱۰ ساله (۱۳۹۴-۱۴۰۳) را پوشش می‌دهند که از ایستگاه هواشناسی آب‌بر و ایستگاه‌های همجوار استخراج شده‌اند. میانگین‌های گزارش شده در این پژوهش حاصل این دوره آماری هستند. با توجه به ماهیت یکنواخت نبودن داده‌های پوشش گیاهی ماهواره‌ای (مربوط به یک سال هدف)، محاسبه انحراف معیار برای تلفیق این دو مجموعه داده امکان‌پذیر نبود؛ با این حال، دامنه تغییرات اصلی برای شاخص‌های اقلیمی بارش سالانه از ۲۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر) در بخش نتایج ذکر شده است.

جدول (۳): شاخص‌های ارزیابی معیار اقلیم

شاخص‌های ارزیابی	ناجیز (۱)	متوسط (۲)	شدید (۳)	خیلی شدید (۴)
بارش سالانه (میلی‌متر)	بیشتر از ۲۸۰	۱۵۰ تا ۲۸۰	تا ۱۵۰	کمتر از ۷۵
شاخص خشکی (شاخص تورنتویت)	بیشتر از ۱۵۰	تا ۱۵۰	۹۰ تا ۱۲۰	صفر تا ۹۰
تداوم خشکسالی (سال)	۳ تا ۴	۵ تا ۶	۶ تا ۷	بیشتر از ۷

داده‌های بارش، دما و پوشش گیاهی از ایستگاه هواشناسی آب‌بر، نقشه‌های کاربری اراضی استان زنجان و گزارش‌های منابع طبیعی استخراج شد. نقشه‌های نهایی شامل نقشه واحد کاری، نقشه معیار اقلیم، نقشه معیار پوشش گیاهی و نقشه شدت کلی بیابان‌زایی در نرم‌افزار ArcGIS تولید گردید. شکل (۲) مدل مفهومی تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل (۲): مدل مفهومی تحقیق

۳- نتایج

۳-۱- ارزیابی معیار اقلیمی

معیار اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی در مناطق نیمه‌خشک است و در این پژوهش بر اساس سه شاخص اصلی بارش سالانه، شاخص خشکی و تداوم خشکسالی ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که شهرستان طارم به دلیل تنوع توپوگرافی، از نظر اقلیمی ناهمگن است. مساحت کلاس‌های اقلیمی بر اساس طبقه‌بندی استاندارد نشان می‌دهد که بخش عمده منطقه (۸۸/۹۵ درصد) در کلاس‌های خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که این امر ریسک بیابان‌زایی را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. بارش سالانه در نواحی دره‌ای حدود ۲۰۰ میلی‌متر است و عمدتاً در فصل زمستان رخ می‌دهد که باعث کاهش اثربخشی آن و افزایش رواناب می‌شود. در ارتفاعات، بارش به ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد، اما این نواحی تنها ۱۱/۱۲ درصد مساحت را تشکیل می‌دهند. همچنین، دماهای بالای تابستانی (حداکثر مطلق ۴۸ درجه سانتی‌گراد) تبخیر را به شدت افزایش داده و شاخص خشکی را تشدید می‌کند. تداوم خشکسالی نیز به دلیل تمرکز زمانی بارش و تغییرات اقلیمی اخیر در وضعیت متوسط تا شدید قرار دارد. بر این اساس، میانگین هندسی شاخص‌های اقلیمی برابر با ۲/۸۳ محاسبه شد که بیانگر کلاس شدید بیابان‌زایی از نظر معیار اقلیم است. این

1. Precipitation

2. UNEP's Thornthwaite Index

3. Drought Persistence

مقدار نشان می‌دهد که عامل اقلیم نقش غالب در تشدید بیابان‌زایی شهرستان طارم دارد و توزیع فضایی آن با غلبه کلاس‌های خشک و نیمه‌خشک (آبی تیره و زرد در نقشه اقلیمی) کاملاً همخوانی دارد (جدول ۴، ۵ و شکل ۳).

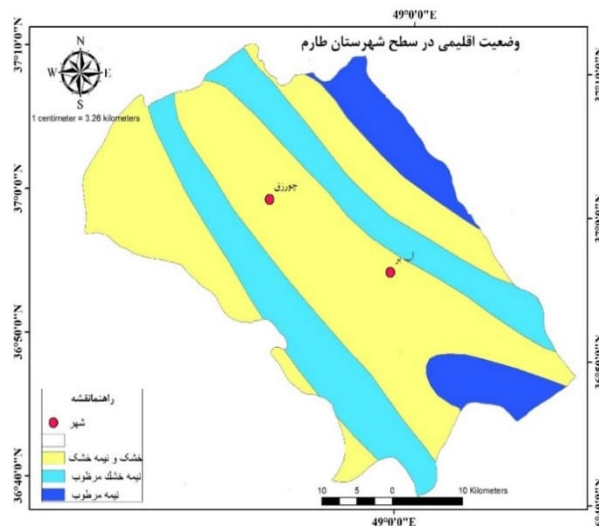
جدول (۴): متوسط ارزش عددی و کلاس شاخص‌های معیار اقلیم

شاخص	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
بارش سالانه	۳/۱	شدید (III)
شاخص خشکی (شاخص خشکی تورنتو)	۰/۳	شدید (III)
تداوم خشکسالی	۲/۴	متوسط تا شدید (II-III)
میانگین هندسی معیار اقلیم	۲/۸۳	شدید (III)

** اعداد مندرج در ستون "ارزش عددی" نشان‌دهنده امتیاز هر شاخص بر اساس طبقه‌بندی مدل IMDPA (طبق جدول ۳) هستند، نه مقدار مستقیم آن متغیر. به‌عنوان مثال، امتیاز ۳/۱ برای شاخص بارش سالانه، مطابق با بازه ۷۵-۱۵۰ میلی‌متر و قرارگیری در کلاس شدید (III) مدل می‌باشد.

جدول (۵): توزیع کلاس‌های اقلیمی شهرستان طارم

کلاس اقلیمی	مساحت (هکتار)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
خشک و نیمه‌خشک	۱۲۲۸۰۵/۴	۱۲۲۸/۰۵	۶۰/۴۶
نیمه‌خشک مرطوب	۵۷۹۰۱/۷	۵۷۹/۰۲	۲۸/۴۹
نیمه‌مرطوب	۲۲۶۰۵/۶۹	۲۲۶/۰۶	۱۱/۱۲
جمع	۲۰۳۳۱۲/۷۹	۲۰۳۳/۱۳	۱۰۰



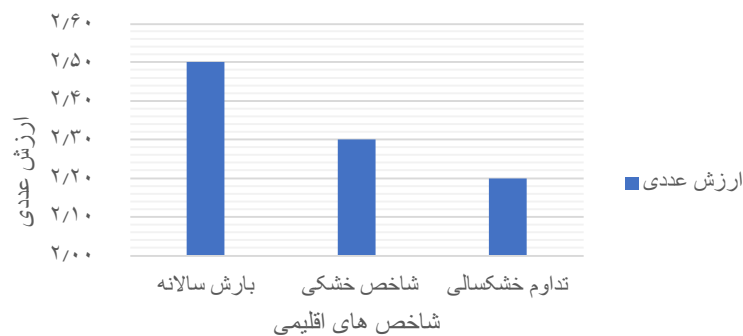
شکل (۳): نقشه توزیع بارندگی و کلاس‌های اقلیمی شهرستان طارم

شکل (۴) ارزش عددی شاخص‌های بارش سالانه، شاخص خشکی و تداوم خشکسالی را نشان می‌دهد. بالاتر بودن مقدار شاخص بارش سالانه (از نظر اثر بر بیابان‌زایی) بیانگر نقش منفی کمبود بارش و تمرکز زمانی آن در فصل زمستان است. شاخص خشکی نیز به دلیل دماهای بالای تابستانی و تبخیر قابل توجه، در محدوده متوسط تا شدید قرار گرفته است. در مقابل، شاخص تداوم خشکسالی وضعیت نسبتاً متعادل‌تری داشته و در کلاس متوسط ارزیابی شده است.

۳-۲- ارزیابی معیار پوشش گیاهی

ارزیابی معیار پوشش گیاهی بر اساس شاخص‌های وضعیت پوشش، میزان بهره‌برداری و قابلیت تجدید پوشش گیاهی انجام شد. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی در نواحی دره‌ای عمدتاً ضعیف، پراکنده و با ماهیت بیابانی است که ۵۸۱۲۸/۵۸ هکتار و ۲۸/۵۹ درصد از مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده است، در حالی که در ارتفاعات، پوشش گیاهی از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار بوده و شامل جنگل‌های ارس (نظیر منطقه جیش‌آباد) و رویشگاه‌های بنه-بادام (شیرمیشه) است (جدول ۶).

داده‌های پایه: مساحت کل بر اساس داده‌ها ۲۰۳۳۱۳ هکتار (معادل ۲۰۳۳ کیلومتر مربع، نزدیک به مساحت رسمی ۲۲۳۵ کیلومتر مربع - تفاوت احتمالاً به دلیل اراضی غیرمولد مانند شهری یا شور است). پوشش گیاهی در نقشه استخراج‌شده با کلاس‌بندی شدت تطبیق دارد: مناطق سبز تیره (جنگل و مراتع مرغوب) در ارتفاعات، زرد (مراتع ضعیف) در دره‌ها، آبی (اراضی آبیاری‌شده مانند باغات) در حاشیه رودخانه و سبز روشن (مراتع متوسط) در نواحی انتقالی.



شکل (۴): نمودار شاخص‌های تشکیل‌دهنده معیار اقلیم در شهرستان طارم

جدول (۶): ارزیابی معیار پوشش گیاهی

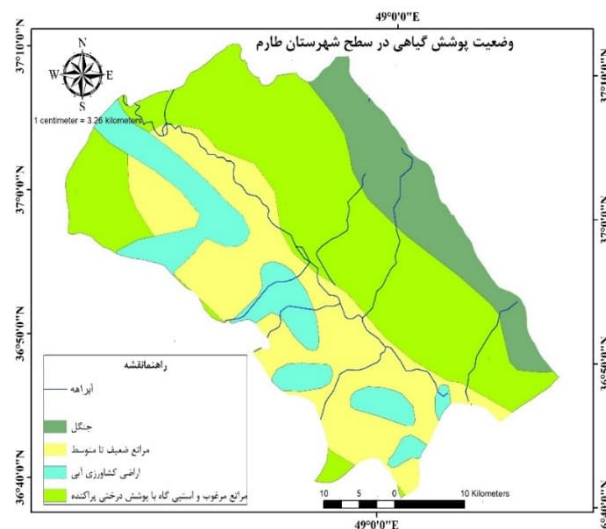
نوع کاربری	مساحت (هکتار)
اراضی کشاورزی آبی	۲۸۳۷۷/۷۴
مراتع ضعیف تا متوسط	۵۸۱۲۸/۵۸
جنگل	۲۷۵۵۳/۱۹
مراتع مرغوب	۸۹۲۵۳/۳۹

شاخص وضعیت پوشش گیاهی: بر اساس درصد تاج پوشش و گونه‌ها؛ جنگل و مراتع مرغوب (۵۷ درصد مساحت) تاج پوشش زیاد (بیشتر از ۳۰ درصد) و گونه‌های مقاوم (ارس، بنه- بادام، بلوط، راش، گز، بادام وحشی، گون، آویشن) دارند- امتیاز پایین (۱/۵). مراتع ضعیف (۲۹ درصد) گونه‌های مهاجم و سالانه غالب- امتیاز بالا (۲/۸). کشاورزی آبی (۱۴ درصد) پوشش مترکم باغات زیتون امتیاز پایین (۱/۲). میانگین وزنی: ۱/۹ (کلاس متوسط، ضعیف‌تر در دره‌ها).

شاخص بهره‌برداری از پوشش: چرای متعادل در مراتع مرغوب و جنگل (امتیاز ۱/۸)، اما مازاد در مراتع ضعیف (به دلیل چرای بیش از ظرفیت در دره‌ها) - امتیاز ۲/۵. باغات آبی بهره‌برداری پایدار - امتیاز ۱/۵. میانگین وزنی: ۱/۹ (کلاس متوسط).

شاخص تجدید پوشش گیاهی: طبیعی و آسان در جنگل و مراتع مرغوب ارتفاعات (امتیاز ۱/۶)، با هزینه متوسط در مراتع ضعیف (به دلیل خاک ضعیف در دره‌ها)، امتیاز ۲/۳. باغات با احیای سریع، امتیاز ۱/۴. میانگین وزنی: ۱/۸ (کلاس متوسط).

ارزش عددی معیار پوشش گیاهی (آپدیت‌شده): میانگین هندسی شاخص‌ها $= (1/8 \times 1/9 \times 1/9) \approx \{1/3\}^{1/3}$ (کلاس متوسط، کمی بالاتر از قبلی به دلیل تأکید بر مراتع ضعیف در داده‌ها و نقشه) (شکل ۵ و جدول ۷).



شکل (۵): تصاویر و نقشه پوشش گیاهی شهرستان طارم که تفاوت آشکار بین پوشش مناسب ارتفاعات و پوشش ضعیف دره‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۷): متوسط ارزش عددی و کلاس شاخص‌های معیار پوشش گیاهی

شاخص	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی	توضیح بر اساس داده‌ها و نقشه
وضعیت پوشش گیاهی	۱/۹	متوسط (II)	ضعیف در دره‌ها (زرد در نقشه، مراتع ضعیف ۲۹ درصد)، خوب در ارتفاعات (سبز تیره، جنگل ۱۴ درصد) و حاشیه رود (آبی، کشاورزی ۱۴ درصد).
بهره‌برداری از پوشش	۱/۹	متوسط (II)	مازاد در مراتع ضعیف دره‌ها، متعادل در مراتع مرغوب (۴۴ درصد) و باغات.
تجدید پوشش گیاهی	۱/۸	متوسط (II)	طبیعی در ارتفاعات (سبز تیره) و حاشیه رود (آبی)، دشوارتر در دره‌ها (زرد).
میانگین هندسی معیار پوشش گیاهی	۱/۸۹	متوسط (II)	نقش تعدیل‌کننده پوشش ارتفاعات و باغات در کاهش ریسک.

این نمودار وضعیت سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی، بهره‌برداری از پوشش و تجدید پوشش گیاهی را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که وضعیت پوشش گیاهی نسبت به سایر شاخص‌ها دارای ارزش عددی بالاتری است که این امر ناشی از ضعف پوشش در نواحی دره‌ای می‌باشد. با این حال، مقادیر نزدیک شاخص‌های بهره‌برداری و تجدید پوشش بیانگر تعادل نسبی در استفاده از منابع گیاهی و توان بازیابی پوشش، به‌ویژه در ارتفاعات و باغات حاشیه رودخانه است (شکل ۶).



شکل (۶): نمودارهای پوشش گیاهی

۳-۳- ریسک بیابان‌زایی

با توجه به نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی (که در آن رنگ قرمز نشان‌دهنده شدت شدید، زرد نشان‌دهنده شدت متوسط و سبز نشان‌دهنده شدت کم است) و با در نظر گرفتن مساحت کل شهرستان طارم حدود ۲۰۳۳ کیلومتر، مساحت هر کلاس شدت بیابان‌زایی بر اساس درصد تقریبی پوشش رنگ‌ها در نقشه محاسبه گردید.

- قرمز (کلاس شدید): ۲۰ تا ۲۵ درصد مساحت (عمدتاً نواحی دره‌ای جنوب و شرق سمت منجیل/ماهنشان).

- زرد (کلاس متوسط): ۵۰ تا ۵۵ درصد مساحت (نواحی مرکزی و انتقالی).

- سبز (کلاس کم): ۲۵ تا ۳۰ درصد مساحت (ارتفاعات شمال و غرب سمت گیلان/زنجان با پوشش بهتر). این درصدها با نتایج مقاله (شدت کلی ۲/۳۱، کلاس متوسط) کاملاً تطبیق دارد و بر اساس نقشه تنظیم شده است (شکل ۷ و جدول ۸).

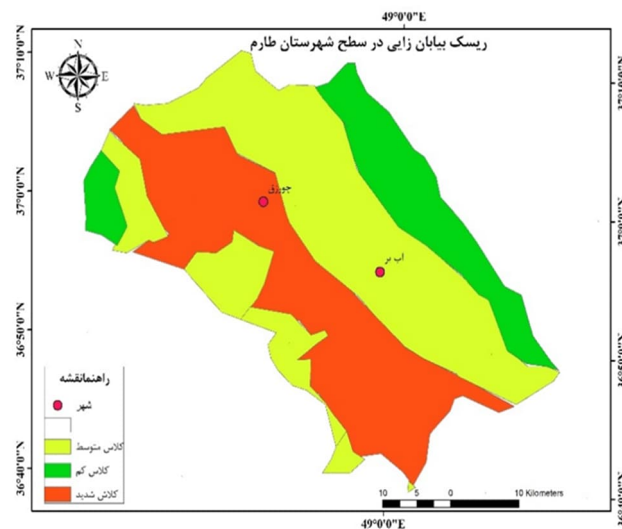
جدول (۸): مساحت کلاس‌های شدت بیابان‌زایی (بر اساس نقشه و مساحت کل ۲۰۳۳ کیلومتر مربع)

توضیح مکانی (بر اساس نقشه و داده‌ها)	مساحت (هکتار)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	رنگ در نقشه	کلاس شدت بیابان‌زایی
ارتفاعات شمال و غرب (جنگل ارس جیش‌آباد، بنه-بادام شیرمیشه، مراتع مرغوب)	۵۷۰۰۰	۵۷۰	۲۸	سبز	کم (I)
نواحی مرکزی، حاشیه رودخانه قزل‌اوزن و باغات زیتون	۱۰۵۷۰۰	۱۰۵۷	۵۲	زرد	متوسط (II)
دره‌ها و نواحی خشک جنوب و شرق (سمت منجیل و ماهنشان، مراتع ضعیف)	۴۰۶۰۰	۴۰۶	۲۰	قرمز	شدید (III)
کل شهرستان طارم	۲۰۳۳۰۰	۲۰۳۳	۱۰۰	-	جمع

۳-۴- بررسی شدت کلی بیابان‌زایی

شدت کلی بیابان‌زایی شهرستان طارم با استفاده از میانگین هندسی دو معیار اقلیم و پوشش گیاهی محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که ارزش عددی معیار اقلیم (۲/۸۳) به‌طور قابل توجهی بالاتر از معیار پوشش گیاهی (۱/۸۹) است و بنابراین نقش غالب‌تری در تعیین شدت بیابان‌زایی ایفا می‌کند. این تفاوت عمدتاً ناشی از غلبه کلاس‌های اقلیمی خشک و نیمه‌خشک (مساحت ۸۸/۹۵ درصد) و تأثیر تبخیر بالا و تمرکز زمانی بارش است. با این حال، پوشش گیاهی مناسب در ارتفاعات (جنگل‌های ارس و بنه-بادام) و باغات زیتون حاشیه رودخانه قزل‌اوزن به‌عنوان یک عامل تعدیل‌کننده عمل کرده و از ورود منطقه به کلاس شدید بیابان‌زایی جلوگیری نموده است. بر این اساس، شدت کلی بیابان‌زایی منطقه برابر با ۲/۳۱ به‌دست آمد که در کلاس متوسط (II) قرار می‌گیرد، اما در نیمه بالایی این کلاس و بسیار نزدیک به مرز کلاس شدید است. توزیع فضایی شدت بیابان‌زایی نیز ناهمگن است؛ نواحی دره‌ای (سمت منجیل و ماهنشان) به دلیل شرایط اقلیمی نامناسب و پوشش ضعیف، شدت بالاتری دارند، در حالی که ارتفاعات و حاشیه رودخانه

با پوشش متراکم‌تر، شدت کمتری نشان می‌دهند. این یافته‌ها تأکید می‌کند که هرگونه تخریب پوشش گیاهی در ارتفاعات یا کاهش پایداری باغات می‌تواند به سرعت شدت بیابان‌زایی را به کلاس شدید ارتقا دهد (جدول ۹).



شکل (۷): وضعیت فعلی شدت بیابان‌زایی شهرستان طارم استان زنجان (مدل IMDPA، معیارهای اقلیم و پوشش گیاهی)

جدول (۹): شدت کلی بیابان‌زایی بر اساس دو معیار

معیار	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
اقلیم	۲/۸۳	شدید (III)
پوشش گیاهی	۱/۸۹	متوسط (II)
شدت کلی (میانگین هندسی)	۲/۳۱	متوسط (II)

این نمودار به منظور مقایسه ارزش عددی سه مؤلفه اصلی شامل معیار اقلیم، معیار پوشش گیاهی و شدت کلی بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، معیار اقلیم با بیشترین ارزش عددی، نقش غالب‌تری در تشدید بیابان‌زایی شهرستان طارم دارد. در مقابل، معیار پوشش گیاهی دارای مقدار کمتری بوده که نشان‌دهنده نقش تعدیل‌کننده پوشش گیاهی، به‌ویژه در ارتفاعات و حاشیه رودخانه قزل‌اوزن است. شدت کلی بیابان‌زایی نیز حاصل برهم‌کنش این دو معیار بوده و در کلاس متوسط قرار گرفته است (شکل ۸).



شکل (۸): نمودار مقایسه معیارهای اصلی بیابان‌زایی

۴- بحث

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده شدت متوسط بیابان‌زایی در شهرستان طارم استان زنجان با ارزش عددی کلی ۲/۳۱ است که منطقه را در کلاس II (متوسط) قرار می‌دهد، اما بسیار نزدیک به مرز کلاس III (شدید) می‌باشد. این شدت کلی عمدتاً تحت تأثیر معیار اقلیم با ارزش عددی ۲/۸۳ قرار دارد، که بیانگر نقش غالب عوامل اقلیمی مانند کمبود بارش (۲۰۰ میلی‌متر در نواحی دره‌ای) و تبخیر بالا در تشدید فرآیند بیابان‌زایی است. در مقابل، معیار پوشش گیاهی با ارزش عددی ۱/۸۹ وضعیت بهتری نشان می‌دهد، که این امر به دلیل پوشش مناسب جنگل‌های طبیعی ارس و بنه-بادام در ارتفاعات (مانند مناطق جیش‌آباد و شیرمیشه) و باغات زیتون حاشیه رودخانه قزل‌اوزن است. این یافته‌ها با مطالعات مشابه در مناطق نیمه‌خشک ایران همخوانی دارد؛ برای مثال، Eskandari Dameneh et al. (۲۰۲۱)، در ارزیابی بیابان‌زایی ایران در اوایل قرن بیستم و یکم با استفاده از شاخص‌های

اقلیمی و پوشش گیاهی، نشان دادند که تغییرات اقلیمی منجر به افزایش شدت بیابان‌زایی در نواحی مرکزی و شمالی کشور شده است، جایی که کمبود بارش و افزایش دما نقش کلیدی ایفا می‌کنند. مشابهاً، Emadodin et al. (۲۰۱۹)، در بررسی خشکسالی و بیابان‌زایی در ایران، تأکید کردند که عوامل اقلیمی مانند تمرکز بارش زمستانی و تبخیر بالا، بیش از ۸۰ درصد اراضی کشور را در معرض ریسک بالا قرار داده، که با توزیع ۸۹ درصد مساحت طارم در کلاس‌های خشک و نیمه‌خشک (حدود ۱۸۱۷۰۰ هکتار)، مطابقت دارد.

توزیع فضایی شدت بیابان‌زایی در طارم ناهمگن است و نقش تعیین‌کننده تفاوت‌های توپوگرافی را برجسته می‌کند: نواحی دره‌ای (سمت منجیل و ماهنشان) با پوشش گیاهی ضعیف (۲۹ درصد مراتع ضعیف، حدود ۵۹۰۰۰ هکتار) و شرایط اقلیمی نامناسب، حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد مساحت (۴۰۶۰۰ تا ۵۰۸۰۰ هکتار) را در کلاس شدید قرار داده، در حالی که ارتفاعات و حاشیه رودخانه با پوشش متراکم‌تر، ۲۵ تا ۳۰ درصد مساحت (۵۰۸۰۰ تا ۶۱۰۰۰ هکتار) را در کلاس کم نشان می‌دهند. این الگوی فضایی با پژوهش Arami and Ownagh (۲۰۱۷)، در ارزیابی خطر بیابان‌زایی و برنامه‌ریزی مدیریت، همخوانی دارد که توپوگرافی متنوع را به‌عنوان عامل اصلی ناهمگنی شدت در مناطق نیمه‌خشک ایران معرفی کرده است. همچنین، Akbarzadeh et al. (۲۰۲۵)، در بررسی تغییرات فضایی-زمانی پوشش گیاهی در بیابان مرکزی ایران با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور، گزارش کردند که کاهش پوشش در نواحی پایین‌دست به دلیل تأثیر اقلیم، سنجش شدت کنونی بیابان‌زایی را تسریع می‌کند، که با ضعف پوشش در دره‌های طارم (ویژگی‌های استپی-بیابانی) سازگار است.

مقایسه با مطالعات دیگر مبتنی بر مدل IMDPA نیز تأییدکننده نتایج این پژوهش است. برای نمونه، غلامی (۱۳۹۷) در بررسی بیابان‌زایی ساحلی هرمزگان با مدل IMDPA، شدت متوسط تا شدید را گزارش کرد که عمدتاً به معیار اقلیم وابسته بود، مشابه نقش غالب اقلیم در طارم. حبیبی‌پور و همکاران (۱۳۹۳)، در منطقه بهاباد یزد، تأکید بر معیارهای فرسایش نشان داد که پوشش گیاهی به‌عنوان عامل تعدیل‌کننده عمل می‌کند، که با ارزش پایین‌تر پوشش گیاهی در طارم (۱/۸۹) و نقش آن در جلوگیری از ورود به کلاس شدید همخوانی دارد. شاهینی و همکاران (۱۴۰۰) در دشت مهران ایلام، با تمرکز بر آب زیرزمینی، شدت کلی ۲/۴ را گزارش کردند که نزدیک به یافته‌های ما است و پیشنهاد مدیریت پایدار منابع را داد. سلیمان‌پور و همکاران (۱۴۰۳)، در حوزه رفسنجان، با ترکیب فرسایش و آب زیرزمینی در IMDPA، نشان دادند که عوامل انسانی می‌توانند شدت را تشدید کنند، که در طارم نیز می‌تواند با چرای بیش‌ازحد در دره‌ها مرتبط باشد. حسینی خضرآباد و همکاران (۱۴۰۱)، در شمال غرب یزد با مدل MICD^۱ (مشابه IMDPA)، شدت متوسط را گزارش کرد و نقش پوشش گیاهی را در ارتفاعات برجسته نمود. مبینی و همکاران (۱۳۹۵)، در دشت عباس ایلام، شدت کلی متوسط را با تأکید بر پوشش گیاهی ضعیف در نواحی پایین‌دست یافتند. قوامی و همکاران (۱۴۰۲)، در پناهگاه شیراحمد سبزواری، اثر بیابان‌زایی بر کاهش پوشش را بررسی کرد و پیشنهاد حفاظت را داد. نصریان و همکاران (۱۳۹۸)، در دشت درگز خراسان رضوی، شاخص‌های کمی نشان‌دهنده شدت متوسط با تأثیر اقلیم بودند. Pahlavanravi and Bahreini. (۲۰۱۳)، در مورد خون‌بوشهر، وضعیت فعلی را با IMDPA متوسط ارزیابی کردند. Khosravi et al. (۲۰۱۹)، در نقشه‌نگاری شدت بیابان‌زایی ایران با ArcGIS، توزیع فضایی مشابه با طارم را گزارش کردند، در مجموع، نتایج تأکید می‌کنند که هرگونه تخریب پوشش گیاهی در ارتفاعات یا افزایش فشار انسانی در دره‌ها می‌تواند شدت بیابان‌زایی را به کلاس شدید ارتقا دهد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برنامه‌های مدیریتی شامل حفاظت پوشش گیاهی ارتفاعات، مدیریت چرای دام در دره‌ها و توسعه سیستم‌های آبیاری پایدار در باغات حاشیه رودخانه اجرا شود، که این اقدامات با توصیه‌های Arami and Ownagh (۲۰۱۷)، برای برنامه‌ریزی مدیریت ریسک همخوانی دارد. مطالعات آینده می‌توانند معیارهای بیشتری مانند فرسایش خاک و آب زیرزمینی را برای ارزیابی جامع‌تر اضافه کنند.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) و تمرکز بر دو معیار کلیدی اقلیم و پوشش گیاهی، وضعیت فعلی بیابان‌زایی شهرستان طارم استان زنجان را بررسی کرد. نتایج نشان داد که شدت کلی بیابان‌زایی در منطقه برابر با ۲/۳۱ است. این مقدار منطقه را در کلاس متوسط (II) قرار می‌دهد، اما بسیار نزدیک به مرز کلاس شدید (III) است. معیار اقلیم با ارزش عددی ۲/۸۳ نقش غالب و تعیین‌کننده‌ای در تشدید بیابان‌زایی ایفا می‌کند که عمدتاً ناشی از کمبود بارش (به‌ویژه در نواحی دره‌ای با میانگین حدود ۲۰۰ میلی‌متر) و تبخیر بالا است. در مقابل، معیار پوشش گیاهی با ارزش عددی ۱/۸۹ به‌عنوان عامل تعدیل‌کننده عمل کرده و از ورود کل منطقه به کلاس شدید جلوگیری نموده است؛ این امر مرهون پوشش مناسب جنگل‌های ارس و بنه-بادام در ارتفاعات و باغات زیتون حاشیه رودخانه قزل‌اوزن می‌باشد، توزیع فضایی شدت بیابان‌زایی کاملاً ناهمگن و وابسته به تفاوت‌های توپوگرافی است: نواحی دره‌ای (سمت منجیل و ماهنشان) با پوشش ضعیف و شرایط اقلیمی نامناسب، حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد مساحت را در کلاس شدید قرار داده‌اند، در حالی که ارتفاعات و حاشیه رودخانه حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد مساحت را در کلاس کم نشان می‌دهند و بخش عمده (۵۰ تا ۵۵ درصد) در کلاس متوسط قرار دارد. این الگو تأیید می‌کند که توپوگرافی متنوع طارم همزمان عامل تهدید (در دره‌ها) و فرصت حفاظتی (در ارتفاعات) است، با توجه به نزدیکی شدت کلی به مرز کلاس شدید، هرگونه فشار اضافی انسانی مانند چرای بیش‌ازحد، تخریب پوشش ارتفاعات یا مدیریت ناپایدار باغات می‌تواند به سرعت وضعیت را به سمت شدید سوق دهد. بنابراین، اقدامات مدیریتی فوری شامل

حفاظت و غنی‌سازی پوشش گیاهی در ارتفاعات، کنترل چرای دام و مدیریت بهینه منابع آب در نواحی دره‌ای و توسعه سیستم‌های آبیاری کارآمد در باغات زیتون ضروری است. این پژوهش بر لزوم برنامه‌ریزی یکپارچه و مبتنی بر تفاوت‌های توپوگرافی تأکید دارد و می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای سیاست‌گذاری‌های زیست‌محیطی در شهرستان طارم و مناطق مشابه نیمه‌خشک ایران مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی معیارهای دیگری مانند فرسایش خاک، آب زیرزمینی و عوامل انسانی را نیز در مدل IMDPA بگنجانند تا ارزیابی جامع‌تری ارائه شود. این پژوهش با تمرکز بر دو معیار کلیدی اقلیم و پوشش گیاهی انجام شده است. اگرچه این دو معیار نقش تعیین‌کننده‌ای در بیان‌زایی منطقه دارند، اما عدم در نظرگیری سایر معیارهای مؤثر مدل IMDPA (مانند ویژگی‌های خاک، وضعیت آب زیرزمینی، فرسایش و عوامل مدیریتی) به دلیل کمبود داده‌های مکانی دقیق و یکپارچه در سطح شهرستان، می‌تواند به‌عنوان یک محدودیت در جامعیت ارزیابی مطرح باشد. بنابراین، تفسیر نتایج و تعمیم آن‌ها با آگاهی از این محدودیت صورت گرفته است.

منابع

- حبیبی‌پور، ا.، اکبری، ح.، و طالبی، ع. (۱۳۹۳). بررسی وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر معیارهای فرسایش آبی و بادی (مطالعه موردی: منطقه بهاباد استان یزد). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۵(۲)، ۱۶۸-۱۵۱.
- حسینی خضراآباد، اس.، ولی، ع.، حلییان، ا.ح.، و مختاری، م.ح. (۱۴۰۱). ارزیابی وضعیت فلی بیابان‌زایی در شمال غرب یزد با استفاده از مدل MICD. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۲(۴)، ۶۲-۵۲.
- ذاکری‌نژاد، ر.، مسعودی، م.، فلاح‌شمسی، ر.، و افضلی، ف. (۱۳۹۱). ارزیابی شدت بیابان‌زایی با معیار آب زیرزمینی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی زرین‌دشت فارس. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۲(۳)، ۱۰-۱.
- سلیمان‌پور، س. م.، نعیمی، م.، رحمتی، ا.، و معتمدنیا، م. (۱۴۰۳). ارزیابی روند بیابان‌زایی با بهره‌گیری معیار آب زیرزمینی و فرونشست با استفاده از مدل IMDPA (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز رفسنجان). پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱۴(۲)، ۱۴۰-۱۲۶-۱۲۶.
- شاهینی، ز.، فرامرزی، م.، گزایی، پ.، و علیمردی، ص. (۱۴۰۰). ارزیابی شدت بیابان‌زایی با تأکید بر معیار آب زیرزمینی با استفاده از مدل IMDPA (مطالعه موردی: دشت مهران، استان ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱(۱)، ۲۸-۱۷.
- غلامی، ح.، موسوی، س. م.، و زهتابیان، غ. (۱۳۹۷). بررسی وضعیت بیابان‌زایی با مدل IMDPA در بیابان‌های ساحلی (مطالعه موردی: منطقه شمیل - تخت، استان هرمزگان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴(۳)، ۳۰-۱۷.
- قوامی، آ.، اکبری، م.، کریمی، آ.، و یزدان‌داد، ح. (۱۴۰۲). ارزیابی شدت خطر بیابان‌زایی و اثر آن بر کاهش پوشش گیاهی پناهگاه حیات وحش شیراحمد سبزوار، استان خراسان رضوی. محیط زیست طبیعی، ۷۶، ۲۷۶-۲۶۱.
- کرامت‌زاده، م.، فتحی، ا.، و معاضد، ه. (۱۴۰۱). بررسی روند بیابان‌زایی منطقه جنوب شرق اهواز به روش IMDPA و تأکید بر دو معیار اقلیم و پوشش گیاهی. علوم و مهندسی آبیاری، ۱(۱)، ۴۵-۱۶۶-۱۵۳.
- ممبئی، م.، کرمشاهی، ع.، آزادنیا، ف.، گزایی، پ.، و کریمی، ک. (۱۳۹۵). ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل ایرانی بیابان‌زایی IMDPA (مطالعه موردی: دشت عباس، استان ایلام). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۳)، ۱۱۲-۱۰۰.
- نصریان، آ.، اکبری، م.، فریدحسینی، ع.، نعمت‌اللهی، ا.، و داوری، س. (۱۳۹۸). ارزیابی کمی شاخص‌های شدت بیابان‌زایی در اراضی کشاورزی دشت درگز، استان خراسان رضوی. مدیریت بیابان، ۷(۱۳)، ۱۷۰-۱۴۹.
- Arami, S.A., and Ownagh, M. (2017). Assessment of desertification hazard, risk and development of management plans. *Desert*, 22(1), 51-67.
- Akbarzadeh, P., Nikoo, S., and Akbarzadeh, M. (2025). Investigating Spatial and Temporal Changes in Vegetation via Remote Sensing Indicators and Revealing Their Trends in The Central Desert of Iran. *Applied Environmental Research*, 47(3), 024.
- Eskandari Dameneh, H., Gholami, H., Telfer, M.W., Comino, J.R., Collins, A.L., and Jansen, J.D. (2021). Desertification of Iran in the early twenty-first century: assessment using climate and vegetation indices. *Scientific Reports*, 11(1), 20548.
- Emadodin, I., Reinsch, T., and Taube, F. (2019). Drought and desertification in Iran. *Hydrology*, 6(3), 66.
- Pahlavanravi, A., and Bahreini, F. (2013). Evaluation of current desertification status based on IMDPA with emphasis on climate, wind erosion, water, soil and vegetation: Case study of Bordekhuhan Region of Boushehr. *Desert*, 18(1), 53-62.
- Khosravi, H., Zehatabian, G.R., Eskandari Damaneh, H., and Abolhasani, A. (2019). Assessment and mapping of Iran desertification intensity using ArcGIS environment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, GeoSpatial Conf.rence 2019, October 2019*, 639-644.

Investigation of the Current Status of Desertification in Tarom County, Zanjan Province, Using the IMDPA Model with Emphasis on Climate and Vegetation Cover Impacts

Peyman Akbarzadeh^{1*}, Mehran Akbarzadeh²



Research Article

1. Forests and Rangelands Research Section, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran.

p.akbarzadeh@areeo.ac.ir
*Corresponding author

2. Ph.D. in Environmental Engineering, Grape Research Institute, Malayer University, Hamedan, Iran.

mehranakbarzadeh92@gmail.com

Article Code: 2512-1144
Countinus Pagnation: 1120-1131

Received: 28 December 2025
Accepted: 08 February 2026
Online: 15 February 2026
Review speed: 43 days

Citation:

Akbarzadeh, P., and Akbarzadeh, M. (2025). Investigation of the Current Status of Desertification in Tarom County, Zanjan Province, Using the IMDPA Model with Emphasis on Climate and Vegetation Cover Impacts. *Management of Natural Ecosystems*, 5(3), 1-12.

Abstract

The phenomenon of desertification is one of the main environmental challenges in Iran's semi-arid regions. Tarom County in Zanjan Province, with an approximate area of 2235 km², features diverse topography including along the margins of the Qezel-Owzan River and surrounding highlands. Annual precipitation averages about 200 mm in the valleys and 400–450 mm in the highlands. Vegetation in the valleys (especially in Manjil and Mahneshan) is weak and desert-like, whereas the highlands have adequate cover including juniper forests (Jish Abad), pistachio-almond stands (Shirmisheh), and olive orchards along river margins. This study evaluated the desertification potential of Tarom with the Iranian IMDPA model and focused on climate and vegetation criteria. The value of each criterion was calculated from the geometric mean of the indicators and the overall intensity was calculated from the geometric mean of the criteria, and maps were prepared. Final maps were prepared. Results indicate the climate criterion by value 2.83 has the greatest role in exacerbating desertification, mainly from low rainfall and high evaporation in valleys. The vegetation cover criterion is in a better condition with a value of 1.89, which is due to good Vegetation cover of highland and orchard. The overall intensity of desertification was calculated to be 2.31, which places the area in moderate class, near severe. The climate criterion showed that about 89 percent of the area is in the arid and semi-arid classes, and creates a high risk. Vegetation cover is suitable, The final map of desertification intensity shows that 20–25% of the area (mainly valleys) is in the severe class, 50–55% in the moderate class, and 25–30% (mainly highlands) in the low class. This spatial pattern highlights the key role of topography; Therefore, conservation measures focused on valleys and maintaining the Vegetation cover of highlands are essential to control desertification.

Key Words:

Desertification, IMDPA model, Climate criterion, Vegetation cover criterion, Topographic variation.