مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ۴۶-۳۴
Volume 5, Issue 4, Winter 2026, 34-46
http://emj.ardakan.ac.ir/article_736056.html

# ارزیابی و پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر معیارهای آب و اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان اردکان)

احمدرضا مهدیزاده‌اردکانی[۱]، سعیده کلانتری*[۲]، مهدی تازه[۳]، مجید صادقی‌نیا[۳]

CC BY

مقاله پژوهشی

۱. کارشناسی ارشد بیابانزدایی، گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mehdizadeh@yahoo.com

۲. دانشیار، گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
skalantari@ardakan.ac.ir
* نویسنده مسئول

۳. دانشیار، گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mtazeh@ardakan.ac.ir
msadeghinia@ardakan.ac.ir

**شناسه مقاله:** ۲۶۰۱-۱۱۴۷
**شماره صفحه پیاپی:** ۱۲۳۹-۱۲۲۷

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۴/۱۰/۱۵
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۲/۱۸
**انتشار آنلاین:** ۱۴۰۵/۰۳/۰۷
**زمان پذیرش:** ۱۲۴ روز

**استناددهی:**
مهدیزاده‌اردکانی، ا.، کلانتری، س.، تازه، م.، و صادقی‌نیا، م. (۱۴۰۴). ارزیابی و پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر معیارهای آب و اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان اردکان). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۵(۴)، ۴۶-۳۴.

## چکیده

بیابان‌زایی، یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تخریب اکوسیستم‌های طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تهدیدی جدی برای پایداری اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود. عوامل مرتبط با آب و اقلیم، نقش تعیین‌کننده‌ای، در تغییر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها داشته و ارزیابی آن‌ها می‌تواند مبنایی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی فراهم آورد. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی و پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در شهرستان اردکان، با تأکید بر معیارهای آب و اقلیم، با استفاده از مدل ایرانی IMDPA است. در این راستا، پس از گردآوری و آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز، شاخص‌های منتخب آب و اقلیم، به لایه‌های مکانی تبدیل شدند. درون‌یابی مکانی شاخص‌ها با بهره‌گیری از روش‌های وزن‌دهی معکوس فاصله و توابع پایه شعاعی انجام شد و نقشه‌های پهنه‌بندی هر شاخص تهیه گردید. سپس، تلفیق لایه‌ها بر اساس میانگین هندسی صورت گرفت و نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه مطابق با چارچوب مدل تهیه شد. نتایج نشان داد که در مورد معیار آب، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی و در مورد معیار اقلیم میزان بارش بیشترین تاثیر در بیابانزایی منطقه داشته است. بر اساس نقشه نهایی، حدود ۵۶/۸۹ درصد از سطح منطقه، معادل ۱۱۸۰۳۷/۱۸ هکتار، در طبقه بیابان‌زایی متوسط قرار داشته که عمدتاً بخش‌های غربی و قسمت‌هایی از مرکز منطقه را در بر می‌گیرد. همچنین ۳۹/۹۹ درصد از منطقه، با مساحتی در حدود ۸۲۹۸۸/۸۵ هکتار، در طبقه بیابان‌زایی شدید واقع شده که عمدتاً در بخش‌های شرقی و بخش کوچکی از مرکز منطقه گسترش یافته است. به‌طور کلی، نتایج پژوهش بیانگر روند رو به گسترش بیابان‌زایی و کاهش تدریجی پایداری اکوسیستم‌های طبیعی منطقه از منظر معیارهای آب و اقلیم می‌باشد.

**واژگان کلیدی:**
بیابان‌زدایی، تخریب سرزمین، خشکی، کیفیت منابع آب.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2026.2083169.1147

## ۱- مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شرایط اقلیمی و وضعیت منابع آب، به‌عنوان دو مؤلفه بنیادین، نقش تعیین‌کننده‌ای در پویایی و پایداری اکوسیستم‌ها ایفا می‌کنند. تغییرات در الگوهای بارش، افزایش دما، تشدید تبخیر و تعرق و وقوع خشکسالی‌های مکرر، موجب اختلال در بیلان آبی و کاهش دسترسی به منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود. این ناپایداری اقلیمی- هیدرولوژیکی، ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک را کاهش داده و تاب‌آوری پوشش گیاهی را تضعیف می‌کند. در نتیجه، بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی محیطی، در پی برهم‌خوردن تعادل میان مؤلفه‌های اقلیم و آب شکل گرفته و با افت توان تولید زیستی و کارکردهای اکولوژیک سرزمین همراه است (Hosseini Khezr Abad et al., 2024). بیابان‌زایی افزون بر پیامدهای اکولوژیکی، تبعات اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای از جمله کاهش امنیت غذایی، افزایش مهاجرت و تشدید فقر را نیز به‌همراه دارد. تحولات بلندمدت در الگوهای اقلیمی و تغییر در وضعیت منابع آبی، از عوامل مؤثر بر افزایش آسیب‌پذیری سرزمین در برابر فرآیندهای تخریب محسوب می‌شوند (Pravalie, 2021). کاهش منابع آبی، افت سطح و ذخایر آبخوان‌ها، تغییر در الگوی جریان‌های سطحی و افزایش شوری آب و خاک، به‌عنوان متغیرهای کلیدی، تعادل اکولوژیکی و توان بازیابی طبیعی اراضی را کاهش می‌دهد. پیامد این شرایط، محدود شدن ظرفیت خودترمیمی اکوسیستم‌ها و گسترش پهنه‌های مستعد تخریب است که در نهایت زمینه تشدید بیابان‌زایی را فراهم می‌سازد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، هم‌افزایی تغییرات اقلیمی و ناپایداری هیدرولوژیکی مهم‌ترین محرک کاهش تاب‌آوری محسوب می‌شود (Sivakumar., 2007). از این‌رو، تحلیل هم‌زمان این مؤلفه‌ها در مقیاس محلی، برای درک بهتر الگوی تخریب و شناسایی مناطق بحرانی ضروری است. بر اساس تعریف کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد، بیابان‌زایی به تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب خشک تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی اطلاق می‌شود (United Nations convention, 1994). از این‌رو، پایش و سنجش کمی شدت بیابان‌زایی و تعیین پهنه‌های بحرانی، به‌عنوان یکی از ارکان بنیادین در تدوین راهبردهای مدیریت پایدار و صیانت از کارکردهای اکولوژیکی اکوسیستم‌ها تلقی می‌شود؛ به‌ویژه آنکه چنین ارزیابی‌هایی می‌توانند به اولویت‌بندی مناطق بحرانی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کمک کنند. به‌کارگیری تحلیل‌های مکانی مبتنی بر سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، امکان شناسایی الگوی پراکنش شدت تخریب را با دقت بالاتر فراهم می‌سازد (امیرزاده و همکاران، ۱۴۰۳).

در دهه‌های اخیر، مدل‌های متعددی برای ارزیابی بیابان‌زایی ارائه شده است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌هایFAO-UNEP، MEDALUS و ICD[2] اشاره کرد. با این حال، این مدل‌ها از نظر ساختار مفهومی، تعداد معیارها و نحوه وزن‌دهی با یکدیگر تفاوت‌های روش‌شناختی دارند و برخی از آن‌ها بر مبنای شرایط اکولوژیکی مناطق مدیترانه‌ای یا اروپایی توسعه یافته‌اند که لزوماً قابلیت تعمیم مستقیم به مناطق خشک ایران را ندارند. از این‌رو، به‌کارگیری آن‌ها بدون تطبیق بومی، می‌تواند منجر به برآورد غیرواقعی از شدت بیابان‌زایی شود. در همین راستا، مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی[3] که با هدف بومی‌سازی معیارها و شاخص‌ها متناسب با شرایط ایران توسعه یافته، می‌تواند به‌طور گسترده در مطالعات مناطق خشک کشور به‌کار گرفته شود. با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و فناوری‌های سنجش از دور، امکان تحلیل فضایی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وجود دارد و ارزیابی بیابان‌زایی از رویکرد توصیفی به تحلیل کمی- مکانی ارتقا یافته می‌یابد. مدل IMDPA با انعطاف در انتخاب معیارها و امکان تطبیق با داده‌های در دسترس، چارچوب مناسبی برای تحلیل شرایط منطقه‌ای و انجام پهنه‌بندی دقیق فراهم می‌کند (مسعودی و شیرگیر، ۱۴۰۰).

مطالعات انجام‌شده در نقاط مختلف، نشان می‌دهد که مدل IMDPA برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه، در دشت مهران، شاخص‌هایی نظیر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، کلر و افت آب زیرزمینی بررسی شد و نتایج بیانگر قرارگیری بخش قابل‌توجهی از منطقه در کلاس‌های متوسط تا شدید بیابان‌زایی بود (شاهینی و همکاران، ۱۴۰۰). در حوضه بیابانی دارانجیر نیز ارزیابی بر مبنای کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین، نشان داد که بیش از نیمی از مساحت حوضه در شدت متوسط و حدود یک‌پنجم آن در شدت شدید قرار دارد؛ یافته‌ای که نقش تعیین‌کننده شوری و افت سطح آب زیرزمینی را برجسته می‌سازد (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۴). همچنین در حوضه آبخیز سفیدرود، نتایج حاکی از آن بود که هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر را در افزایش شدت بیابان‌زایی داشته است (یوسفی مبرهن و همکاران، ۱۴۰۴). با وجود انجام پژوهش‌ها در زمینه ارزیابی بیابان‌زایی، تاکنون مطالعه‌ای با رویکرد مشابه و با تمرکز بر منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر انجام نشده است. تفاوت‌های هیدروکلیماتیک و شرایط محلی ایجاب می‌کند که ارزیابی‌ها به‌صورت منطقه‌ای و متناسب با ویژگی‌های هر منطقه انجام شوند. از این‌رو، اجرای این پژوهش در محدوده مورد مطالعه، می‌تواند خلأ اطلاعاتی موجود را برطرف کرده و تصویری دقیق‌تر از وضعیت و شدت بیابان‌زایی در این منطقه، ارائه دهد. در پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی و پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه اردکان، از مدل بومی ارزیابی بیابان‌زایی IMDPA استفاده شد. این مدل با اقتباس از چارچوب مفهومی مدل MEDALUS و بر اساس شرایط اقلیمی و اکولوژیکی ایران، توسعه یافته و شامل نه معیار ارزیابی در زمینه‌های مختلف است. با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، محدودیت در دسترسی به داده‌های مربوط به تمامی معیارهای مدل و نقش محوری مؤلفه‌های اقلیم و آب در شکل‌گیری فرآیند بیابان‌زایی در این منطقه، در این تحقیق معیارهای مرتبط با این دو مؤلفه مورد استفاده قرار گرفت.

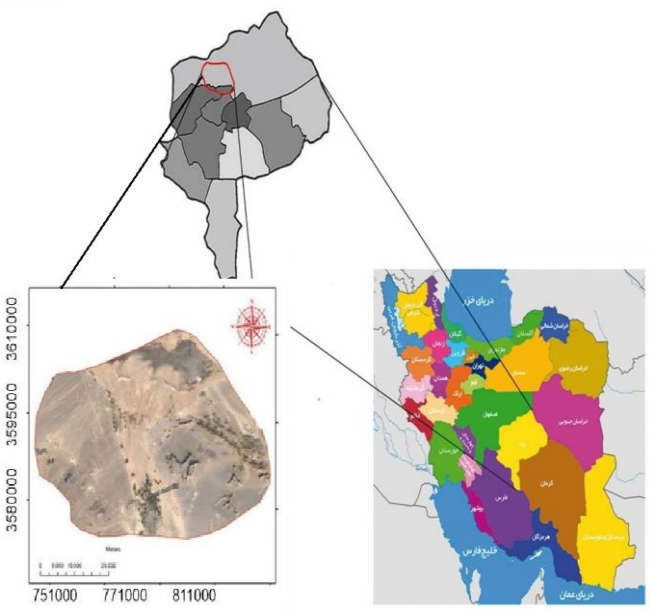
1. Mediterranean Desertification and Land Use
2. Iranian Classification of Desertification
3. Iranian Model of Desertification Potential Assessment

انتخاب این معیارها به دلیل اهمیت تعیین‌کننده آن‌ها در پویایی اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و همچنین قابلیت کمی‌سازی و تحلیل دقیق‌تر آن‌ها صورت گرفته است و تحلیل را با محدودیت‌های داده‌ای و شرایط واقعی منطقه همسو می‌سازد.
هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی و تحلیل شدت بیابان‌زایی در شهرستان اردکان با تمرکز بر نقش مؤلفه‌های اقلیم و منابع آب و شناسایی پهنه‌های حساس به تخریب است. این مطالعه با هدف ارائه تصویری واقعی از وضعیت فعلی بیابان‌زایی در منطقه، انجام می‌شود تا الگوی پراکنش شدت تخریب و نواحی آسیب‌پذیر مشخص گردد. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای علمی برای تدوین راهبردهای حفاظت و مدیریت پایدار اکوسیستم‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین خروجی‌های حاصل از این پژوهش، می‌تواند در اولویت‌بندی مناطق بحرانی و حمایت از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کاربرد داشته باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

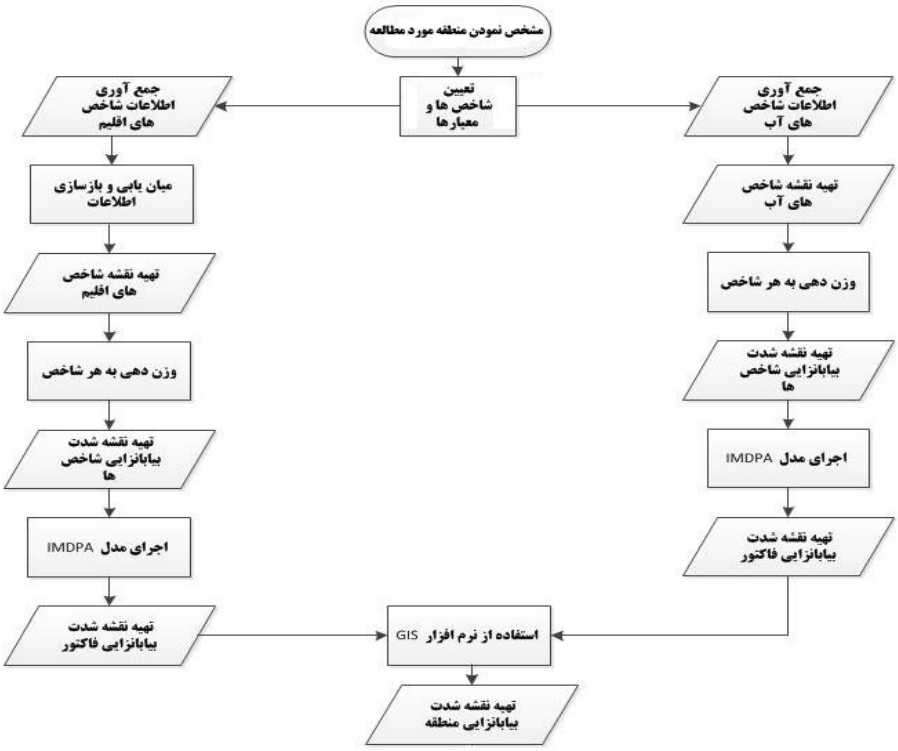
منطقه مورد مطالعه در شمال شهرستان اردکان، با وسعت ۲۰۷۴۹۹ هکتار واقع شده است. شهرستان اردکان پهناورترین شهرستان استان یزد محسوب می‌شود و از شمال به کویر جندق و دشت طبس، از شرق و جنوب‌شرق به کویر مرکزی و شهرستان یزد و از جنوب و غرب به شهرستان میبد و باتلاق گاوخونی محدود می‌گردد. موقعیت جغرافیایی منطقه بین ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). میانگین ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۱۲۳۴ متر است. بلندترین نقطه منطقه کوه خونزا با ارتفاع ۳۱۵۸ متر و کم‌ارتفاع‌ترین نقطه آن چاه افضل با ارتفاع ۷۵۰ متر از سطح دریا است. اقلیم منطقه بر اساس شاخص‌های اقلیمی، گرم و خشک بوده و بخش عمده‌ای از اراضی آن را سطوح بیابانی با پوشش گیاهی پراکنده و ضعیف تشکیل می‌دهد (برزگر اردکانی و همکاران، ۱۴۰۳).




**شکل (۱): محدوده مطالعاتی**

### ۲-۲- داده‌ها و منابع اطلاعاتی

به‌منظور ارزیابی شدت بیابان‌زایی، از داده‌های مرتبط با آب و اقلیم استفاده شد. داده‌های اقلیمی شامل بارندگی، دما، رطوبت نسبی و تبخیر و تعرق پتانسیل از ایستگاه‌های هواشناسی یزد، میبد و عقدا تهیه گردید که با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، این ایستگاه‌ها نقشی در تأمین داده‌های مورد نیاز برای تحلیل‌های اقلیمی ایفا کردند. داده‌های مربوط به کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی شامل شاخص‌های هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و میزان افت سطح آب زیرزمینی از طریق منابع سازمانی و نتایج آزمایش‌های میدانی و نمونه‌برداری‌های انجام‌شده جمع‌آوری شد. تمامی داده‌ها پس از کنترل و آماده‌سازی اولیه، برای تحلیل‌های مورد نظر استفاده شد. مدل مورد استفاده در این تحقیق، IMDPA است که مراحل اجرایی آن در شکل (۲) ارائه شده است و با کمی‌سازی و تحلیل شاخص‌های مرتبط با هر یک از معیارهای منتخب، امکان تعیین نقش و سهم هر شاخص در شدت بیابان‌زایی منطقه، فراهم گردید.




**شکل (۲): روندنما انجام پژوهش**

### ۲-۳- مدل ارزیابی بیابان‌زایی

مدل IMDPA، مدلی که به دلیل تطابق دقیق با شرایط اکولوژیکی و اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و توانایی تلفیق شاخص‌های متنوع، به‌عنوان یک ابزار قوی در مطالعات بیابان‌زایی کشور شناخته می شود. این مدل با محاسبه شدت بیابان‌زایی بر اساس میانگین هندسی شاخص‌ها، امکان در نظر گرفتن اثر متقابل عوامل محیطی مختلف و ارائه ارزیابی جامع و دقیق از وضعیت تخریب سرزمین را فراهم می‌کند و به همین دلیل، نقش کلیدی در شناسایی پهنه‌های حساس و پشتیبانی از برنامه‌ریزی‌های مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی ایفا می‌نماید. در مدل IMDPA اولیه، ۹ معیار و ۱۳۰ شاخص وجود داشت که با طرح کالیبراسیون معیارها و شاخص‌ها، مدل مذکور به ۹ معیار و ۳۶ شاخص تغییر یافت. معیارهای مدل مورد نظر عبارتند از: ژئومرفولوژی و زمین شناسی، اقلیم، کشاورزی، آب، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش (آبی و بادی)، توسعه تکنولوژی و اقتصادی-اجتماعی، بر این اساس، در این پژوهش معیارهای مرتبط با اقلیم (شاخص‌های بارش و خشکی) و آب (شاخص‌های هدایت الکتریکی، افت سطح آب زیرزمینی و نسبت جذب سدیم)، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرآیند بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر شاخص ابتدا بر اساس داده‌ها، به واحدهای مکانی منطقه تخصیص داده شده و نقشه پهنه‌بندی آن تهیه می‌گردد. سپس با استفاده از روش میانگین هندسی، شدت بیابان‌زایی در هر واحد مکانی محاسبه می‌شود. این رویکرد امکان در نظر گرفتن اثر متقابل شاخص‌ها و وزن‌دهی نسبی آنها را فراهم می‌آورد. وزن هر شاخص بر اساس اهمیت آن در تشدید بیابان‌زایی و دامنه تغییرات آن در منطقه تعیین شد، به‌گونه‌ای که شاخص‌های با اثر بیشتر، سهم بالاتری در محاسبه شدت نهایی دارند (کرامت‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

### ۲-٤- معیارها و شاخص‌های مورد استفاده

با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و اکولوژیکی منطقه و محدودیت داده‌ها، دو معیار اصلی آب و اقلیم به‌عنوان شاخص‌های کلیدی مؤثر در بیابان‌زایی انتخاب شدند و برای هر معیار، شاخص‌هایی متناسب با شرایط محیطی و منابع موجود منطقه در نظر گرفته شد.

#### ۲-٤-۱- معیار آب

برای ارزیابی معیار آب، سه شاخص کلیدی شامل هدایت الکتریکی آب زیرزمینی، نسبت جذب سدیم و میزان افت سطح آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های هر شاخص پس از پهنه‌بندی مکانی تهیه و بر اساس طبقات تعیین‌شده در مدل IMDPA امتیازدهی شدند. مقدار نهایی معیار آب با استفاده از میانگین هندسی این سه شاخص محاسبه گردید (انتظاری‌زارچ و همکاران، ۱۴۰۱).

رابطه (۱) $$\text{معیار آب} = \sqrt[3]{\text{افت زیرزمینی آب سفره} \times \text{هدایت الکتریکی} \times \text{نسبت جذب سدیم}}$$

در جدول(۱)، شاخص‌های کمی مرتبط با معیار آب در طبقات شدت بیابان‌زایی آمده است، که مبنای محاسبه امتیاز و تعیین وضعیت کیفی معیار آب در مدل IMDPA محسوب می‌شود.

**جدول (۱): شاخص‌های ارزیابی معیار آب**

| طبقه‌بندی بیابان زایی | غیر قابل ملاحظه | کم | متوسط | شدید | بسیارشدید |
|---|---|---|---|---|---|
| امتیاز | ۱-۰/۰۱ | ۱/۵-۱/۱ | ۲/۵-۱/۵۱ | ۳/۵-۲/۵۱ | ٤-۳/۵۱ |
| افت آب زیرزمینی (سانتی‌متر/سال) | ۱۰-۰ | ۲۰-۱۰ | ۳۰-۲۰ | ۵۰-۳۰ | >۵۰ |
| هدایت الکتریکی آب (میکروموس/سانتی‌متر) | <۵۰۰ | ۷۵۰-۵۰۰ | ۲۲۵۰-۷۵۰ | ۵۰۰۰-۲۲۵۰ | >۵۰۰۰ |
| نسبت جذب سدیم آب (میکروموس/سانتی‌متر) | <۱۵ | ۱۸-۱۵ | ۲۶-۱۸ | ۳۲-۲۶ | >۳۲ |

### ۲-٤-۲- معیار اقلیم

برای ارزیابی معیار اقلیم، دو شاخص بارندگی سالانه و شاخص خشکی در نظر گرفته شد. شاخص خشکی بر اساس شاخص ترانسو و روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن تو سعه‌یافته، محا سبه گردید. داده‌های اقلیمی مورد ا ستفاده شامل میانگین بارندگی سالانه، میانگین دمای سالانه و تبخیر و تعرق پتانسیل بود. بررسی آمار بارندگی ایستگاه‌های منتخب نشان داد که ایستگاه عقدا با میانگین بارندگی سالانه ۶۹/۷ میلی‌متر مرطوب‌ترین و ایستگاه یزد با میانگین ۵۳/۶ میلی‌متر خشک‌ترین ایستگاه منطقه محسوب می‌شود. همچنین، میانگین دما در ایستگاه عقدا ۲۱/۲ درجه سانتی‌گراد بود، بررسی تبخیر و تعرق پتانسیل نیز حاکی از حداقل مقدار ۲۴۵ میلی‌متر در ایستگاه میبد و حداکثر ۲۸۲/۷ میلی‌متر در ایستگاه عقدا بود. بارندگی و حرارت، دو پارامتر اصلی در طبقه‌بندی اقلیمی هستند که اثر متقابل آنها بر محیط و خاک، نقش تعیین‌کننده‌ای در پراکنش پوشش گیاهی و تحولات اکولوژیکی منطقه دارد. برای تعیین طبقه‌بندی اقلیمی، از روش دومارتن گسترش یافته استفاده شد، که میانگین بارندگی سالانه و میانگین دمای سالانه را به‌عنوان متغیرهای پایه در نظر می‌گیرد. از شاخص ترانسو به‌منظور بررسی شاخص خشکی در این تحقیق استفاده گردیده است. که در آن رابطه I بر اساس رابطهٔ (۲) بیان شده است (هاشمی و همکاران، ۱۴۰۱):

$$I = \frac{p}{ETP}$$ رابطه (۲)

که در این رابطه P: بارش سالانه، ETP: مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه می‌باشد.

با به‌کارگیری روش روش تورنت وایت، تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه را محاسبه شد. در برآورد تبخیر و تعرق سالانه به روش تورنت وایت، نیاز به $T_i$ دمای متوسط ماهانه می‌باشد.

$$ETP = 16.2(\frac{10\ Ti}{I})^{\alpha}$$ رابطه (۳)

در گام بعد با توجه به عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها، $ETP_C$ (اصلاح شده) محاسبه گردید. جدول(۲)، طبقات و امتیازات معیار اقلیم را نشان می‌دهد.

**جدول (۲): طبقات و امتیازات معیار اقلیم**

| | طبقه بندی بیابانزایی | غیرقابل ملاحظه | کم | متوسط | شدید | بسیار شدید |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | امتیاز | ۱-۰/۰۱ | ۱/۵-۱/۱ | ۲/۵-۱/۵۱ | ۳/۵-۲/۵۱ | ٤-۳/۵۱ |
| شاخص ارزیابی | بارش سالیانه | >۶۰۰ | ۶۰۰-۲۸۰ | ۲۸۰-۱۵۰ | ۱۵۰-۷۵ | <۷۵ |
| | شاخص خشکی | >۰/۶۵ | ۰/۰-۴۵/۶۵ | ۰/۰-۲/۴۵ | ۰/۰-۰۵/۲ | <۰/۰۵ |

مقدار نهایی معیار اقلیم، با ترکیب میانگین هندسی شاخص‌ها محاسبه شد (رابطه ۴). این رویکرد امکان تلفیق اثر بارندگی و خشکی را فراهم می‌کند و معیار اقلیم به‌دست آمده به‌عنوان ورودی مدل IMDPA برای تحلیل شدت بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گرفت (مسعودی و همکاران، ۱۴۰۱).

$$\text{معیار قلیم} = \sqrt[2]{\text{میزان بارش} \times \text{خشکی}}$$ رابطه (۴)

### ۲-۵- روش زمین آمار

برای پهنه‌بندی داده‌های آب و اقلیم و تولید لایه‌های مکانی، با توجه به محدودیت تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و چاه‌های نمونه‌برداری، دو روش درون‌یابی مکانی یعنی وزن‌دهی معکوس فاصله و توابع پایه شعاعی به‌کار گرفته شد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله، یکی از متداول‌ترین روش‌های درون‌یابی است که مقادیر نقاط نامشخص را با وزن‌دهی به نقاط نمونه‌برداری نزدیک تخمین می‌زند؛ وزن هر نقطه با فاصله آن از نقطه مجهول رابطه عکس دارد و با تغییر توان عددی می‌توان حساسیت نسبت به نقاط دورتر را تنظیم کرد. توان بالاتر وزن نقاط نزدیک را افزایش داده و سطح خروجی با جزئیات مکانی بیشتر ایجاد می‌کند، در حالی‌که توان کمتر توزیع یکنواخت‌تری ارائه می‌دهد و سطح خروجی صاف‌تر خواهد بود. روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای داده‌های پراکنده نامنظم مناسب است و با برازش یک تابع چندمتغیره به نقاط مشاهده‌ای، امکان ایجاد یک سطح هموار و دقیق را فراهم می‌کند (پیری و همکاران، ۱۴۰۲). مقادیر نقاط مجهول بر اساس این تابع تخمین زده می‌شوند. پس از انجام درون‌یابی، نقشه‌های پهنه‌بندی

1. Potential Evapotranspiration

هر شاخص ترکیب و نقشه معیار مربوطه تولید شد. با طبقه‌بندی نقشه‌های نهایی هر معیار، نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس هر معیار آماده شد و در نهایت، با تلفیق معیارهای آب و اقلیم، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه بر اساس مدل IMDPA ایجاد گردید که قابلیت تحلیل الگوهای مکانی بیابان‌زایی و پشتیبانی از برنامه‌ریزی مدیریتی و حفاظتی را فراهم می‌کند. خلاصه آماری داده‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص‌های مربوط به معیار آب بیشترین ضریب تغییرات و شاخص‌های اقلیمی کمترین آن را دارند؛ این امر نشان‌دهنده پراکندگی بالای پارامترهای آب و ثبات نسبی شرایط اقلیمی در منطقه است.

**جدول(۳): خلاصه آماری داده‌های مورد استفاده**

| پارامترهای مورد بررسی | ضریب تغییرات | انحراف معیار | میانگین | حداکثر | حداقل |
|---|---|---|---|---|---|
| هدایت الکتریکی آب (میکروموس/سانتی‌متر) | ۰/۳۶ | ۱۴۹۲/۲ | ۴۰۳۴/۷۱ | ۶۵۴۲ | ۹۶۷/۵ |
| نسبت جذب سدیم (میکروموس/سانتی‌متر) | ۰/۲۹ | ۵/۳۷ | ۱۷/۹۳ | ۲۹/۹۷ | ۸/۸۲ |
| افت آب زیرزمینی (متر/سال) | ۱/۶۷ | ۴ | ۲/۳۸ | ۲۱/۵ | ۰/۱۳ |
| حرارت (درجه سانتیگراد) | ۰/۰۳ | ۰/۶۴ | ۲۰/۴۵ | ۲۱/۲ | ۱۹/۷ |
| رطوبت (درصد) | ۰/۲۴ | ۶/۵۹ | ۲۷/۲۴ | ۳۷/۶ | ۱۹/۷ |
| بارش (میلیمتر) | ۰/۱ | ۳/۰۷ | ۲۸/۵ | ۳۱/۲ | ۲۳/۷ |
| تبخیر (میلیمتر/سال) | ۰/۰۶ | ۱۷/۴۶ | ۲۵۵/۵۵ | ۲۸۲/۷ | ۲۳۸/۲ |

جدول (۴) نتایج ارزیابی دقت دو روش درون‌یابی، برای پارامترهای مختلف را نشان می‌دهد.

**جدول (٤): شاخص‌های آماری دو روش درون‌یابی**

| پارامترهای مورد بررسی | عکس فاصله وزنی | | تابع شعاعی پایه | |
|---|---|---|---|---|
| | میانگین | میانگین مربع ریشه | میانگین | میانگین مربع ریشه |
| افت | ۰/۱۲ | ۲/۲۳ | ۰/۰۳۹ | ۲/۲۹ |
| هدایت الکتریکی | ۵۳/۹۵ | ۱۵۰۱/۵۵ | ۲۸/۶۳ | ۱۴۶۸/۵۹ |
| نسبت جذب سدیم | ۰/۰۳۶ | ۵/۳۷ | ۰/۰۷۶ | ۵/۲۳ |
| بارش | ۰/۵۸ | ۳/۳۴ | ۰/۰۲۶ | ۳/۴۷ |
| رطوبت | ۰/۰۱۹ | ۰/۱۳۲ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۱۳ |
| شاخص ترانسو | – ۱/۶۷ | ۰/۰۰۱ | ۹/۸۸ | ۰/۰۰۱ |

### ۲-٦- تلفیق معیارها و تهیه نقشه نهایی بیابان‌زایی

ابتدا شاخص‌های هر کدام از معیارهای آب و اقلیم تعیین و به لایه‌های مکانی تبدیل شدند و سپس پهنه‌بندی آن‌ها انجام گردید. هر معیار به‌طور مستقل ارزیابی و شاخص‌های آن با استفاده از میانگین هندسی ترکیب شد. در مرحله بعد، نقشه‌های نهایی دو معیار با میانگین هندسی تلفیق شدند تا نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA تولید گردد. هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های خود طبق رابطه (۵) به‌دست آمد (بهنیا و همکاران، ۱۴۰۰):

$$Index - X = [(Layer\ 1).(Layer\ 2) \dots .(Layer\ x)]^{1/n}$$ رابطه (۵)

که در این رابطه $Index - X$ : معیار مورد نظر، Layer: شاخص‌های هر معیار، n : تعداد شاخص‌های هر معیار.

در نهایت، با تلفیق نقشه‌های معیارها، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه تهیه شد که به‌منظور تحلیل الگوی مکانی تخریب سرزمین و پشتیبانی از برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی اکوسیستم‌های طبیعی مورد استفاده قرار گرفت.

$$DM^{1} = [(WI)^{2}(CI)^{3}]^{1/2}$$ رابطه (۶)

که در آن WI: معیار آب، CI: معیار اقلیم است.

## ۳- نتایج

### ۳-۱- معیار آب

نقشه افت آب زیرزمینی، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار برای محدوده مطالعاتی، طبق شکل (۳) تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد، بیشترین میزان افت، در بخش‌های جنوبی منطقه و کمترین مقدار آن در شمال‌شرق مشاهده شد. طبقه‌بندی این نقشه بر اساس کلاس‌های تعریف‌شده در چارچوب IMDPA انجام گرفت. بر اساس نتایج جدول (۴)، بیش از ۹۹ درصد از مساحت منطقه، در طبقه افت کم قرار دارد و حدود ۱۴۵/۲۵ هکتار، در کلاس غیرقابل‌ملاحظه، قرار گرفته است.

1. Desertification Map
2. Water Index
3. Climate Index

نقشه شاخص هدایت الکتریکی آب زیرزمینی، نیز با استفاده از داده‌های موجود و در چارچوب طبقه‌بندی IMDPA تحلیل شد (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد، منطقه در چهار طبقه غیرقابل‌ملاحظه، کم، متوسط و شدید قرار گرفته است. بیشترین مساحت (۵۹/۰۵ درصد معادل ۱۲۲۵۱۶/۶۶هکتار) مربوط به طبقه شدت بیابانزایی کم است، در حالی که بخش‌هایی از شرق و مرکز منطقه با ۴۰/۳۱ درصد در طبقه متوسط و حدود ۰/۶۶درصد در طبقه شدید قرار دارند.

بررسی شاخص شوری آب زیرزمینی، بیانگر آن است که بیشترین شوری در مناطق پیرامونی و بخش‌های مرکزی منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۳)، و بیش از ۹۷/۶۸ درصد از مساحت منطقه در طبقه شوری شدید قرار دارد.

نتایج مربوط به درصد مساحت هر یک از کلاس‌های شاخص‌های معیار آب، در جدول (۵) نمایش داده شده است.

**جدول(۵): نتایج طبقه‌بندی شاخص‌های معیار آب**

| شاخص | | کلاس | مساحت (هکتار) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|---|
| افت آب زیر زمینی | غیر قابل ملاحظه | ۰–۱۰ | ۱۴۵/۲۵ | ۰/۰۷ |
| | کم | ۱۰–۲۰ | ۲۰۷۳۳۲ | ۹۹/۹۲ |
| | متوسط | ۲۰–۳۰ | ۲۶۳۵/۷۴ | ۱/۲۷ |
| نسبت جذب سدیم | کم | ۱۵–۱۸ | ۱۲۲۵۱۶/۶۶ | ۵۹/۰۵ |
| | متوسط | ۱۸–۲۶ | ۸۳۶۳۳/۳۵ | ۴۰/۳۱ |
| | شدید | ۲۶–۳۲ | ۱۳۴۸/۹۹ | ۰/۶۶ |
| هدایت الکتریکی | متوسط | ۷۵۰–۲۲۵۰ | ۴۸۱۳/۹۸ | ۲/۳۲ |
| | شدید | ۲۲۵۰–۵۰۰۰ | ۲۰۲۶۸۵/۰۲ | ۹۷/۶۸ |

بر اساس تلفیق شاخص‌های معیار آب، توزیع کلاس‌های شدت بیابان‌زایی و درصد مساحت آن‌ها طبق جدول (۶) نشان داده شده است.به‌طوریکه، ۳۹/۹۹ درصد منطقه با مساحت ۸۲۹۵۳ هکتار در شرایط بیابان‌زایی شدید قرار گرفته است و تنها ۲/۴۹ درصد از مساحت منطقه دارای شرایط بیابان‌زایی کم و ناچیز بر مبنای این معیار بوده است. بررسی درصد مساحت هر یک از کلاس‌ها نشان داد که برمبنای این معیار بیشترین درصد مساحت منطقه با ۵۶/۸۹ درصد و مساحت ۱۱۸۰۱۵/۸۱ هکتار، در شرایط بیابان‌زایی متوسط قرار دارد.

**جدول(٦): طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار آب**

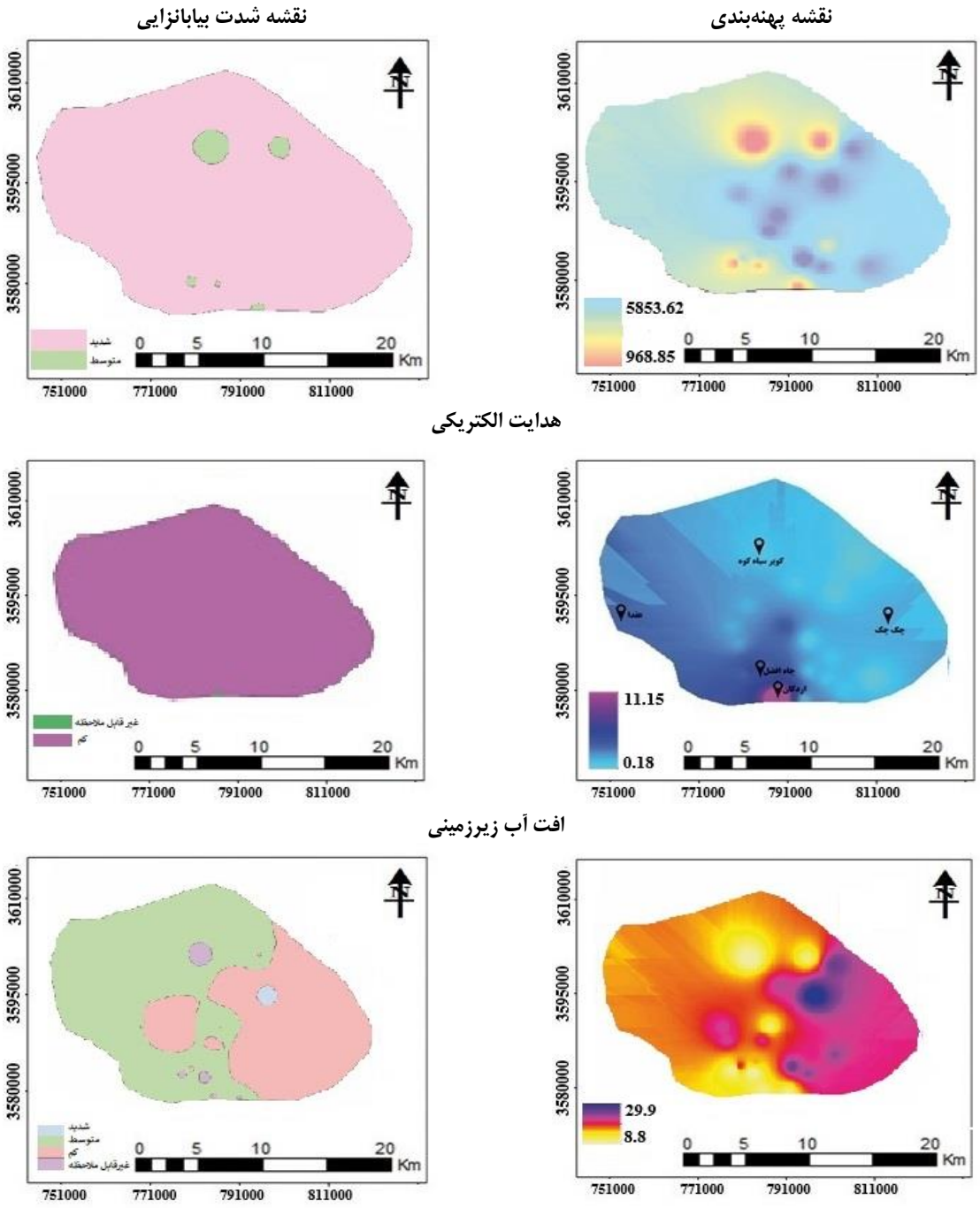
| | کلاس | مساحت (هکتار) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| غیرقابل ملاحظه | ۰/۰۱–۱ | ۲۱۱۳/۳ | ۱ |
| کم | ۱/۱ –۱/۵ | ۳۱۰۵/۲۹ | ۱/۴۹ |
| متوسط | ۱/۵۱ – ۲/۵ | ۱۱۸۰۱۵/۸۱ | ۵۶/۸۹ |
| شدید | ۲/۵۱ – ۳/۵ | ۸۲۹۵۳ | ۳۹/۹۹ |
| بسیار شدید | ۳/۵۱ – ۴ | ۱۳۱۱/۱۶ | ۰/۶۳ |

با تلفیق تمامی لایه‌های معیار آب، نقشه نهایی بیابان‌زایی بر مبنای این معیارتهیه شد (شکل ۴). این نقشه وضعیت مکانی بیابان‌زایی را مشخص کرده و امکان شناسایی پهنه‌های حساس را فراهم می‌آورد.

### ۳-۲- معیار اقلیم

برای بررسی معیار اقلیم، از دو پارامتر بارش و خشکی استفاده و نقشه پهنه‌بندی تهیه شد. جدول (۶) نشان می‌دهد، هر دو شاخص در وضعیت خیلی شدید قرار دارند. نتایج مربوط به این دو شاخص نشان‌دهنده برتری شاخص بارش با ارزش ۳/۷۹ است چراکه عدد بالاتری را به‌خود اختصاص داده است. در پژوهش حاضر، بیابان‌زایی از نظر معیار اقلیم، از میانگین هندسی ۲ شاخص مربوط به اقلیم به‌دست آمد. بر اساس شکل (۵)، کل منطقه در شرایط بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارد.

بر اساس تحلیل شاخص‌های معیار اقلیمT که در شکل (۵) ارائه شده، هر دو شاخص بارش و خشکی در وضعیت «خیلی شدید» بیابان‌زایی قرار دارند و ۱۰۰ درصد منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. شاخص بارش به دلیل اختصاص عدد بالاتر، نقش پررنگ‌تری در تشدید بیابان‌زایی ایفا می‌کند که این امر نشان‌دهنده کمبود شدید بارش در منطقه است. نقشه پهنه‌بندی این معیار نشان می‌دهد که در مناطق غربی، میزان بارش بیشتر بوده و در نتیجه، شاخص خشکی کمتر است. در مقابل، مناطق شرقی به دلیل پوشش گیاهی ضعیف‌تر و احتمالاً تبخیر و تعرق بیشتر، با افزایش شاخص خشکی مواجه هستند. این وضعیت نشان‌دهنده گستردگی و شدت بالای فرآیندهای بیابان‌زایی در کل منطقه مورد مطالعه است که نیازمند توجه ویژه و اقدامات مدیریتی است.




**شکل(۳): نقشه‌های پهنه‌بندی و شدت بیابان‌زایی شاخص‌های معیار آب**

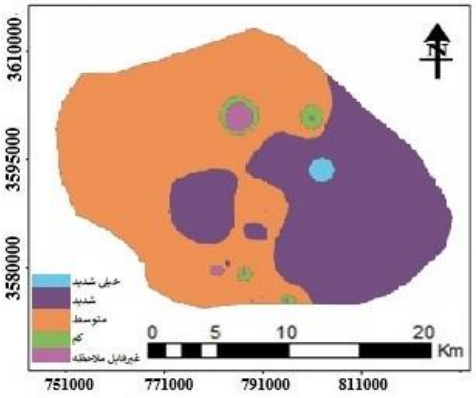
در جدول (۷)، درصد مساحت کلاس‌های مربوط به معیار اقلیم ارائه شده است که توزیع هر یک از طبقات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

**جدول(۷): درصد مساحت مربوط به معیار اقلیم**

| شاخص | کلاس | مساحت (هکتار) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| میزان بارش | شدید | ۲۰۷۴۹۹ | ۱۰۰ |
| خشکی | شدید | ۲۰۷۴۹۹ | ۱۰۰ |

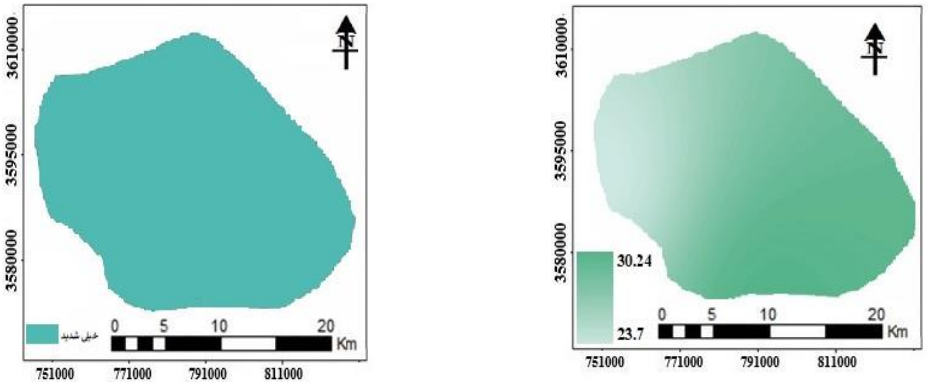
در مرحله بعد، با تلفیق تمامی لایه‌های معیار اقلیم، نقشه نهایی بیابان‌زایی در منطقه تهیه و ارائه شد (شکل ۶). نتایج حاصل از این ارزیابی نشان می‌دهد که به دلیل تداوم خشکی‌های طولانی‌مدت و میانگین بارش بسیار پایین، ۱۰۰ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی (۲۰۷۴۹۹ هکتار) در طبقه بیابان‌زایی «خیلی شدید» قرار گرفته است. تحلیل نقشه‌ها، حاکی از آن است که شاخص بارش به دلیل تأثیر مستقیم بر کاهش رطوبت خاک و

محدودیت دسترسی به منابع آبی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تشدید این روند ایفا می‌کند. همچنین، همپوشانی لایه‌های اقلیمی بیانگر آن است که در بخش‌های شرقی به دلیل پوشش گیاهی ضعیف‌تر و تبخیر و تعرق بالاتر، آسیب‌پذیری اکولوژیک به مراتب بیش از سایر نقاط افزایش یافته است. این وضعیتِ اقلیمیِ بحرانی، نشان‌دهنده سیطره شرایط خشک و نیمه‌خشک بر منطقه و کاهش شدید توان اکولوژیک سرزمین است. در نهایت، تمرکز مطلق پهنه منطقه در کلاس خیلی شدید، ضرورت بازنگری در برنامه‌های مدیریت منابع آب و اتخاذ رویکردهای سازگار با تغییرات اقلیمی را برای جلوگیری از پیشروی بیشتر فرآیندهای بیابان‌زایی بیش از پیش آشکار می‌سازد.

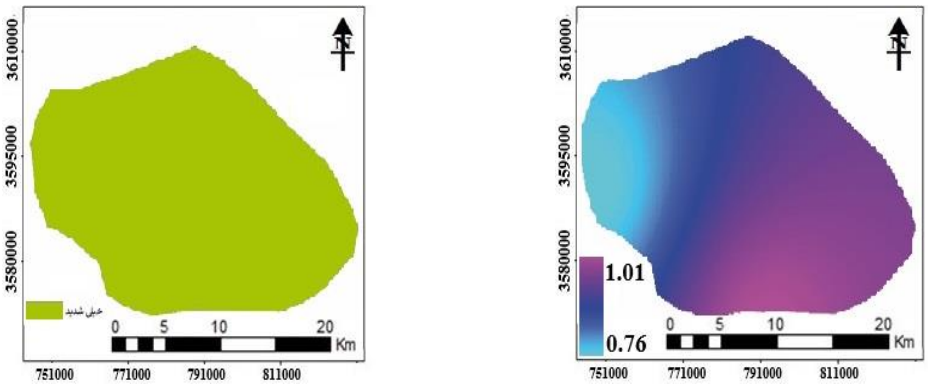



**شکل(٤): نقشه بیابان‌زایی برمبنای معیار آب**

**نقشه پهنه‌بندی** **نقشه شدت بیابانزایی**

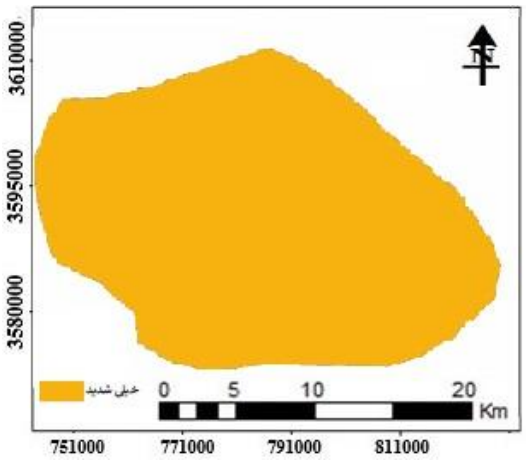



**بارش**




**خشکی**

**شکل (۵): نقشه‌های پهنه‌بندی و شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های معیار اقلیم**




**شکل(٦): نقشه بابیابان‌زایی بر اساس معیار اقلیم**

میانگین وزنی شاخص‌های مؤثر بر بیابان‌زایی بر اساس داده‌های استانداردشده و وزن‌دهی شاخص‌ها در چارچوب مدل IMDPA محاسبه گردید. طبقه‌بندی شاخص‌ها، در قالب کلاس‌های شدت بیابان‌زایی و بر اساس معیارهای آب و اقلیم در جدول (۸) نشان داده شده است.

**جدول(۸): میانگین وزنی شاخص‌های مورد مطالعه**

| کلاس بیابان‌زایی | میانگین ارزش کمی | شاخص بیابانزایی | معیار بیابانزایی |
|---|---|---|---|
| خیلی شدید | ۳/۷۹ | میزان بارش | آب و هوا |
| خیلی شدید | ۳/۵۶ | شاخص خشکی | |
| کم | ۱/۲۲۳ | نسبت جذب سدیم | آب |
| کم | ۱/۴۳ | افت آب زیرزمینی | |
| شدید | ۲/۷۱ | هدایت الکتریکی | |

با توجه به جدول(۹)، م شخص می‌گردد که معیار اقلیم بی شترین اثر را در بیابانزایی منطقه دا شته ا ست. با مطالعه دو معیار و شاخص‌های مربوط به هرکدام، DSI[1] کل منطقه عدد ۲/۴۸ به‌دست آمد که نشان دهنده سطح متوسط بیابانزایی در منطقه مطالعاتی است.

**جدول(۹): ارزش کمی معیارها**

| ردیف | معیار | ارزش کمی | کلاس بیابان‌زایی |
|---|---|---|---|
| ۱ | اقلیم | ۳/۶۷ | خیلی شدید |
| ۲ | آب | ۱/۶۸ | متوسط |

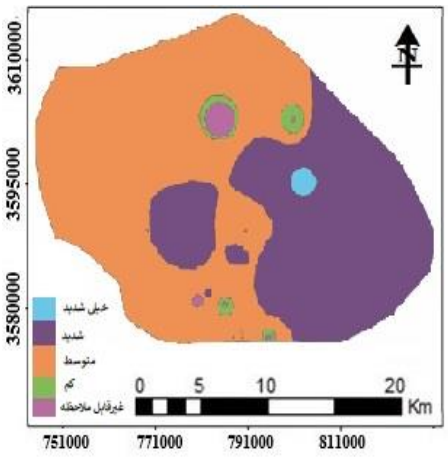
همچنین با ادغام لایه‌های نهایی معیارهای آب و اقلیم، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه بر اساس مدل IMDPA ایجاد شد (شکل ۷). این نقشه، امکان شناسایی پهنه‌های حساس و تحلیل الگوهای مکانی تخریب اکوسیستم‌ها را به‌طور دقیق فراهم می‌کند و می‌تواند به‌عنوان ابزار علمی و مدیریتی برای طراحی برنامه‌های حفاظتی، مدیریت پایدار منابع آب و خاک و اتخاذ تصمیمات استراتژیک در حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد.

جدول (۱۰)، درصد مساحت هر یک از کلاس‌های شدت بیابان‌زایی را بر اساس مدل IMDPA نشان می‌دهد. این جدول شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه را مشخص کرده است. مطالعات بر روی توزیع فراوانی کلاس‌های شدت وضعیت فعلی نشان می‌دهد که در حال حاضر در کلیه اراضی منطقه، پدیده بیابان‌زایی با درجات مختلف در حال رخ دادن می‌باشد. به‌طوریکه اکثریت منطقه را از لحاظ بیابانزایی درجه متوسط فرا گرفته است.

**جدول(۱۰): کلاس‌های بیابان‌زایی برمبنای روش IMDPA**

| | کلاس | مساحت | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| غیرقابل ملاحظه | ۱-۰/۰۱ | ۲۰۷۴/۹ | ۱ |
| کم | ۱/۵ – ۱/۱ | ۳۰۹۱/۷۳ | ۱/۴۹ |
| متوسط | ۲/۵ – ۱/۵۱ | ۱۱۸۰۳۷/۱۸ | ۵۶/۸۹ |
| شدید | ۳/۵- ۲/۵۱ | ۸۲۹۸۸/۸۵ | ۳۹/۹۹ |
| بسیار شدید | ۴ – ۳/۵۱ | ۱۳۰۷/۲۴ | ۰/۶۳ |

1. Desertification Sensitivity Index




**شکل(۷): نقشه نهایی ارزیابی بیابان‌زایی با استفاده از مدلIMDP**

## ٤-بحث و نتیجه‌گیری

بیابان‌زایی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های اکوسیستم‌های طبیعی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تحت تأثیر عوامل مختلفی شکل می‌گیرد. نتایج حاصل از ارزیابی معیار اقلیم در این پژوهش، نشان داد تخریب منطقه مورد مطالعه از نظر دو شاخص بارش و خشکی در شرایط بسیار شدید قرار دارد. این وضعیت، بیانگر حاکمیت اقلیم خشک، ناپایداری بارش‌ها و افزایش دوره‌های خشکسالی است که به‌طور مستقیم بر کاهش توان تولیدی اکوسیستم، افت پوشش گیاهی و تشدید فرآیندهای تخریب سرزمین تأثیر می‌گذارد. چنین شرایطی نشان‌دهنده کاهش تاب‌آوری اکوسیستم و افزایش حساسیت آن در برابر فشارهای انسانی و طبیعی است. بررسی معیار آب نشان داد که شاخص هدایت نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی، در سه کلاس غیرقابل ملاحظه، کم و متوسط پراکنش دارد که بیانگر تغییرات کیفی منابع آب و احتمال افزایش خطر شوری و سدیمی شدن خاک در بخش‌هایی از منطقه است. این وضعیت می‌تواند به کاهش نفوذپذیری خاک، اختلال در رشد گیاهان و در نهایت تضعیف عملکرد اکوسیستم منجر شود. پارامتر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت آب، در دو کلاس متوسط و شدید قرار دارد که نقش تعیین‌کننده‌ای در تشدید بیابان‌زایی منطقه ایفا می‌کند. افزایش شوری آب و خاک از عوامل کلیدی تخریب اکوسیستم‌های طبیعی به‌شمار می‌رود و می‌تواند موجب کاهش تنوع زیستی، محدود شدن گونه‌های گیاهی مقاوم و تغییر ساختار اکولوژیکی اکوسیستم شود. از منظر مدیریت پایدار اکوسیستم‌ها، این نتایج ضرورت توجه ویژه به کنترل شوری و بهبود کیفیت منابع آب را برجسته می‌سازد. نتایج نشان داد که معیارهای آب و اقلیم از عوامل مؤثر و تعیین‌کننده در فرآیند بیابان‌زایی منطقه هستند و اقلیم خشک همراه با افت کیفیت منابع آب، ظرفیت خودتنظیمی اکوسیستم را کاهش داده و فرآیندهای تخریب را تسریع کرده‌اند. تحلیل شاخص‌ها نشان داد که در میان معیارهای مورد بررسی، شاخص بارش و شاخص هدایت الکتریکی آب بیشترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند و در کلاس‌های بیابان‌زایی خیلی شدید و شدید قرار گرفته‌اند. نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی بر اساس تلفیق پنج شاخص، با استفاده از میانگین هندسی و مدل IMDPA تهیه شد. بر اساس این نقشه، حدود ۵۶/۸۹ درصد مساحت منطقه در کلاس بیابان‌زایی متوسط و حدود ۳۹/۹۹ درصد در کلاس شدید قرار دارند. این الگوی مکانی، نشان‌دهنده ناهمگنی شدت تخریب و ضرورت اتخاذ رویکردهای مدیریتی متفاوت، در بخش‌های مختلف منطقه است. توزیع طبقات شدت بیابان‌زایی حاکی از ناهمگنی اکولوژیکی منطقه است و نشان می‌دهد شدت و نوع تخریب در واحدهای مختلف متفاوت است. بخش‌های غربی عمدتاً با بیابان‌زایی متوسط و بخش‌های شرقی با شدت شدید مواجه‌اند، که ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک، وضعیت پوشش گیاهی و شیوه‌های بهره‌برداری از منابع طبیعی است. این اطلاعات می‌تواند به شناسایی اولویت‌بندی مناطق برای اقدامات مدیریت آب و خاک کمک کند. نتایج پژوهش حاضر، با مطالعات انجام‌شده در حوضه مهارلو- بختگان و دشت یزد- اردکان در چارچوب مدل IMDPA همسو است؛ به‌طوری‌که در این پژوهش‌ها، شاخص‌های مرتبط با کیفیت آب زیرزمینی، به‌ویژه هدایت الکتریکی، در کنار مؤلفه‌های اقلیمی مانند کاهش بارش، از عوامل اصلی تشدید بیابان‌زایی شناخته شده‌اند. همچنین غلبه کلاس‌های متوسط تا شدید بیابان‌زایی در این مطالعات با الگوی به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشته و نقش تعیین‌کننده معیارهای آب و اقلیم را در پویایی بیابان‌زایی مناطق خشک مرکزی ایران تأیید می‌کند (سلیمان‌پور و همکاران،۱۴۰۳؛ شاهینی و همکاران،۱۴۰۰). نتایج پژوهش بوعلی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که شاخص‌های اقلیمی و کیفیت آب زیرزمینی، به‌ویژه هدایت الکتریکی، نقش غالبی در تشدید روند بیابان‌زایی دارند؛ یافته‌ای که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین نتایج با یافته‌های پاهنگ و همکاران (۱۴۰۳) همخوانی دارد؛ با این تفاوت که در منطقه اردکان عوامل هیدروکلیمایی نقش غالب‌تری ایفا می‌کنند. این تفاوت‌ها ضرورت انتخاب مدل‌های ارزیابی متناسب با شرایط بومی، اقلیمی و مدیریتی هر منطقه را برجسته می‌کند. پژوهش حاضر همچنین با مطالعاتی دیگر ، هم‌خوانی دارد و تأکید می‌کند که افت کیفیت منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین عوامل گسترش بیابان‌زایی محسوب می‌شود (Cai et al., 2023؛

Liu et al., 2024). در مجموع، تحلیل نتایج نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی آب، نقش برجسته‌ای در تشدید فرآیندهای تخریب سرزمین دارد. افزایش غلظت املاح محلول نه تنها کیفیت آب را کاهش می‌دهد، بلکه با تضعیف پوشش گیاهی، ظرفیت تولیدی اراضی را نیز محدود می‌کند.

هدف این پژوهش ارزیابی و پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در شهرستان اردکان، با تأکید بر معیارهای آب و اقلیم و با بهره‌گیری از مدل IMDPA بود، تا نقش این عوامل در تخریب سرزمین و کاهش پایداری اکوسیستم‌های طبیعی مشخص شود. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه، از نظر معیار اقلیم در وضعیت تخریب بسیار شدید قرار دارد و کاهش بارش و تشدید خشکی به‌عنوان عوامل اصلی فشار محیطی عمل می‌کنند. در معیار آب نیز افت کیفیت منابع آب زیرزمینی، به‌ویژه افزایش هدایت الکتریکی، به‌عنوان مهم‌ترین عامل تشدید بیابان‌زایی شناسایی شد. نقشه نهایی بیانگر غلبه کلاس‌های متوسط و شدید بیابان‌زایی و تمرکز شدت بیشتر در بخش‌های شرقی منطقه است، که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری قابل‌توجه اکوسیستم در برابر تنش‌های هیدروکلیمایی است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که هم‌زمانی اقلیم خشک و افت کیفیت آب زیرزمینی، ظرفیت خودتنظیمی اکوسیستم را کاهش داده و روند تخریب سرزمین را تسریع کرده است. بر این اساس، بهبود مدیریت منابع آب، کنترل شوری، افزایش بهره‌وری مصرف آب و اجرای اقدامات آبخیزداری می‌تواند در کاهش شدت بیابان‌زایی منطقه مؤثر باشد.

## منابع


امیرزاده قصری، ع.، کلانتری، س.، تازه، م.، و میرجلیلی، ع. (۱۴۰۳). بررسی ارتباط مورفولوژی گونه‌های شورگز، اسکنبیل و کهور ایرانی با ویژگی‌های مورفومتری نبکاها در شهرستان ریگان کرمان. مدیریت بیابان، (۲)۱۲، ۶۴-۴۹.

انتظاری زارچ، ا.، احمدی، ح.، معینی، ا.، و پذیرا، ا. (۱۴۰۱). ارزیابی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل جهانی ارزیابی تخریب خاک و مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان). مدیریت بیابان، (۴)۱۰، ۲۰-۱.

برزگر اردکانی، ر.، کلانتری، س.، فاضل‌پور، م.، و تازه، م. (۱۴۰۳). تحلیل اقتصادی روش‌های کشت نواری و چاله‌ای در طرح‌های بیابان‌زدایی. مدیریت بیابان، (۱)۱۲، ۸۴-۷۵.

بهنیا، م.، زهتابیان، غ.، خسروی، ح.، احمدآلی، خ.، نظری سامانی، ع.، و مصباح‌زاده، ط. (۱۴۰۰). بررسی ارتباط بین معیارهای بیابان‌زایی و تغییر کاربری اراضی: ارائه متدولوژی عملیاتی پایش با استفاده از مدل IMDPA. مخاطرات محیط طبیعی، (۲۹)۱۰، ۸۶-۶۹.

بوعلی، ع.، بشری، ح.، جعفری، ر.، و سلیمانی، م. (۱۴۰۰). ارائهٔ سیستم هشدار اولیهٔ بیابان‌زایی مبتنی بر معیار اقلیم و آب زیرزمینی منطقهٔ موردمطالعه: شهرستان آق‌قلا و گمیشان. جغرافیا و توسعه، (۱۹)۶۳، ۳۰۶-۲۸۵.

پاهنگ، آ.، کمکی، چ.، ذوالفقاری، ف.، عسگری، ح.، و نظرنژاد، ح. (۱۴۰۳). ارزیابی بیابان‌زایی و ارزشیابی مکانی بیابان‌زایی (منطقهٔ موردی: شهرستان سراوان، استان سیستان و بلوچستان). مهندسی اکوسیستم بیابان، (۴۳)۱۳، ۶۰-۴۳.

پیری،ح.، مبارکی، م.، و میر، م. (۱۴۰۲). مقایسه و کاربرد مدل‌های جنگل تصادفی، چاید و زمین‌آمار در پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک. اکوهیدرولوژی، (۲)۱۰، ۱۸۵-۱۷۳.

سلیمان‌پور، س.م.، نعیمی، م.، رحمتی، ا.، و معتمدنیا، م. (۱۴۰۴). تحلیل تغییرات روند بیابان‌زایی در کویر درانجیر با استفاده از مدل ایرانی IMDPA. تحقیقات مدیریت حوزه آبخیز، (۲)۱۶، ۱۶۱-۱۴۴.

شاهینی، ز.، فرامرزی، م.، گرایی، پ.، و علیمرادی، 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.

کرامت زاده، م.، فتحی، ا.، و معاضد، ه. (۱۴۰۱). بررسی روند بیابان زایی منطقه جنوب شرق اهواز به روش IMDPA و تأکید بر دو معیار اقلیم و پوشش گیاهی. علوم و مهندسی آبیاری، (۱)۴۵، ۱۶۶-۱۵۳.

مسعودی، م.، و شیرگیر، س. (۱۴۰۱). ارزیابی کارایی مدل بیابان‌زایی IMDPA برای ارزیابی فرسایش آبی و بادی. تحقیقات مدیریت حوزه آبخیز، (۲۳)۱۲، ۲۵-۱۲.

هاشمی، ز.، پهلوانروی، ا.ح.، مقدم‌نیا، ع.، جوادی، م.، و میری، ع. (۱۴۰۱). ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در دشت سیستان (مطالعهٔ موردی: زهک). مهندسی اکوسیستم بیابان، (۵)۳، ۶۲-۴۹.

یوسفی مبرهن، ا.، نعیمی، م.، و خالقی، ع. (۱۴۰۴). ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل شدت بیابان‌زایی تحت تأثیر منابع آب زیرزمینی و فرونشست زمین در حوضه سفیدرود. علوم محیطی، (۳)۲۳، ۶۱۶-۵۵۹.

Cai, L., Xiong, K., Liu, Z., Li, Y., and Fan, B. (2023). Seasonal variations of plant water use in the karst desertification control. Science of the Total Environment, 885, 163778.

Hosseini Khezr Abad, A.S., Vali, A., Halabian, A., Mokhtari, M.H., and Mousavi, S.A. (2024). Investigating the Impact of Climate Change on the Effective Indicators in Desertification and Predicting its Spatial Changes. Desert, 29(2), 194-215.

Liu, Y., Wu, J., Huang, T., Nie, W., Jia, Z., Gu, Y., and Ma, X. (2024). Study on the relationship between regional soil desertification and salinization and groundwater based on remote sensing inversion: A case study of the windy beach area in Northern Shaanxi. Science of the Total Environment, 912, 168854.

Prăvălie, R. (2021). Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. Earth-Science Reviews, 220, 103689.

Sivakumar, M.V. (2007). Interactions between climate and desertification. Agricultural and Forest Meteorology, 142(2-4), 143-155.

United Nations. (1994). United Nations convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. United Nations.

*Management of Natural Ecosystems*
Volume 5, Issue 4, Winter 2026, 34-46
http://emj.ardakan.ac.ir/article_736056.html

# Assessment and Zoning of Desertification Intensity Using the IMDPA Model with Emphasis on Water and Climate Indicators (Case Study: Ardakan County)

Ahmadreza Mehdizadeh Ardakani[1], Saeideh Kalantari[*2], Mahdi Tazeh[3], Majid Sadeghinia[3]

CC BY

Research Article

1. MS of desertification combat, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

mehdizadeh@yahoo.com

2. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

skalantari@ardakan.ac.ir

* Corresponding author

3. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

mtazeh@ardakan.ac.ir

msadeghinia@ardakan.ac.ir

**Article Code:** 2601-1147
**Countinus Pagination:** 1227-1239

**Received:** 05 January 2026
**Accepted**: 08 May 2026
**Online:** 28 May 2026
**Review speed:** 124 days

**Citation:**
Mehdizadeh Ardakani, A., Kalantari, S., Tazeh, M., and Sadeghinia, M. (2026). Assessment and Zoning of Desertification Intensity Using the IMDPA Model with Emphasis on Water and Climate Indicators (Case Study: Ardakan County). Management of Natural Ecosystems, 5(4), 34-46.

## Abstract

Desertification is one of the most significant processes of natural ecosystem degradation in arid and semi-arid regions, posing a serious threat to ecosystem sustainability. Factors related to Water- and climate- play a decisive role in altering the structure and functioning of ecosystems, and their assessment can provide a basis for sustainable natural resource management.th e aim of the present study is to assess and zoning the intensity of desertification in Ardakan County, with emphasis on water and climate indicators, using the Iranian IMDPA model.in this regard, after collecting and preparing the required data, the selected water and climate criteria were converted into spatial layers. spatial interpolation of the criteria was performed using Inverse Distance Weighting (IDW) and Radial Basis Function (RBF) methods, and zoning maps for each criteria were prepared. subsequently, the layers were integrated based on the geometric mean, and the final desertification intensity map of the region was produced in accordance with the model framework. the results indicated that, regarding the water indicator, groundwater electrical conductivity, and regarding the climate indicator, precipitation had the greatest impact on desertification in the region. According to the final map, approximately 89.56%of the area, equivalent to 118,037.18 hectares, IS classified as within the moderate desertification class, mainly covering the western parts and portions of the central area. Additionally, 39.99% of the region, with an area of approximately 82,988.85 hectares, is classified under severe desertification, primarily extending across the eastern parts and a small portion of the central area. Overall, the findings indicate an expanding trend of desertification and a gradual decline in the sustainability of the region's natural ecosystems from the perspective of water and climate indicator.

## Key Words:

Combating Desertification, Land degradation, Aridity, Water resource quality.

DOI: 10.22034/emj.2026.2083169.1147
ISSN: 2821-0182