

ارزیابی وضعیت و شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA بر مبنای معیارهای آب، خاک، پوشش گیاهی و اقلیم (استان خراسان جنوبی)

شاهین محمدی^۱، علی طویلی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۷

چکیده

بیابان‌زایی پدیده خاص مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب است. میزان این پدیده در کشورهای درحال توسعه از جمله ایران، بسیار زیاد است. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی وضعیت و شدت بیابان‌زایی IMDPA با تأکید بر معیارهای اقلیم، آب، خاک و پوشش گیاهی در استان خراسان جنوبی است. با تلفیق لایه‌های رستری معیارهای مذکور و محاسبه میانگین هندسی معیارها و تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از مدل IMDPA نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه به دست آمد. با توجه به معیارهای بررسی شده، در طبقه‌بندی استان خراسان جنوبی، ۶۲ کیلومتر مربع (۰/۰۵ درصد) در طبقه بیابان‌زایی کم، ۱۴۰۹۱۷ کیلومتر مربع (۹۴/۴۵ درصد) در طبقه بیابان‌زایی متوسط و ۷۶۵۲ کیلومتر مربع (۵ درصد) در طبقه بیابان‌زایی شدید قرار گرفت و غالب منطقه مورد مطالعه از لحاظ بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA با توجه به چهار معیار مذکور در طبقه متوسط (۲/۲) قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از ارزش‌دهی معیارهای مورد بررسی بیان‌کننده آن است که معیار پوشش گیاهی و اقلیم با ارزش‌های ۲/۸ و ۲/۶ مؤثرترین معیار در افزایش شدت بیابان‌زایی خراسان جنوبی است، همچنین معیارهای آب و خاک با ارزش‌های ۲/۱۲ و ۱/۴ با طبقه متوسط و کم در رتبه‌های بعدی، بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است.

واژه‌های کلیدی: بارش، بیابان‌زایی، خشک‌سالی، سفره آب زیر زمینی، هدایت الکتریکی.

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز و نویسنده مسئول.

صندوق الکترونیکی: Shahin_mohammadi70@yahoo.com

^۲ دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

ادبیات و مبانی نظری

حدود ۸۰ درصد از اراضی کشور دارای شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بیابانی است. در عرصه‌های خشک و بیابانی پوشش گیاهی و حیات جانوری در برابر عوامل و تخریب به شدت شکننده و ضربه‌پذیر است (Mesbah zadeh et al, 2013: 472:475). رشد بی‌رویه جمعیت، نیاز انسان‌ها به منابع گیاهی و بهره‌برداری نامناسب از اراضی، پیوسته شرایط را برای گسترش بیابان‌ها فراهم می‌سازد. تاکنون مبارزه با بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در کشورهای توسعه‌یافته و همچنین کشورهای در حال توسعه به‌عنوان اولویت محلی، ملی، منطقه‌ای و جهانی خصوصاً در سطح ملی در نظر گرفته نشده است (Melchiade, 2009: 14). برای مقابله با پدیده بیابان‌زایی، ابتدا باید عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی مشخص و برای بررسی شدت بیابان‌زایی، معیارها و شاخص‌های آن شناسایی شود و سپس با مدل‌سازی اقدام به تهیه نقشه بیابان‌زایی منطقه نمود. جهت ارزیابی بیابان‌زایی و ارائه راهکارهای مطلوب، مدل‌های منطقه‌ای فراوانی استخراج شده است. از بین این مدل‌ها، در دسترس‌ترین مدل که دارای دقت بسیار زیادی بوده و نیز در آن از ابزارهای جدید در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود مدل مدالوس می‌باشد. مدل *IMDPA* که توسط دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و با همکاری سازمان جنگل‌ها و مراتع ارائه شده، از روش مدل مدالوس استفاده کرده و در این مدل شاخص‌ها و معیارها با توجه به شرایط ایران تدوین شده است (ناطق، ۱۳۸۶: ۲۴-۲۵).

پیشینه

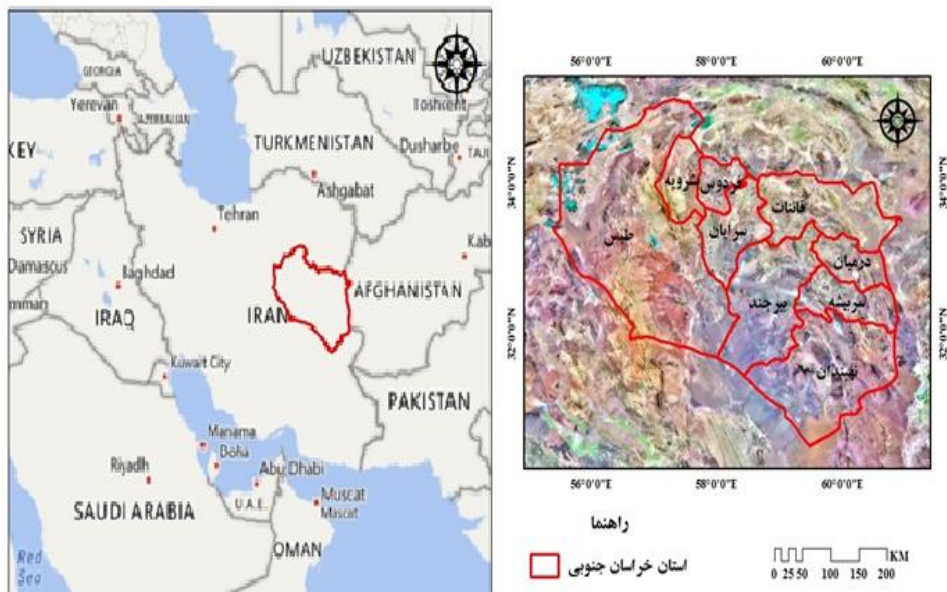
محققین زیادی شدت بیابان‌زایی مناطق مختلف را با استفاده از مدل *IMDPA* مورد مطالعه قرار داده و به نتایج گوناگونی دست یافته‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. رضائی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل *IMDPA* در منطقه باغدر در یزد به مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد که از بین معیارهای خاک، بافت خاک و شوری با میانگین وزنی $1/79$ و $1/2$ به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را در روند بیابان‌زایی منطقه دارند. همچنین از بین شاخص‌های معیار

پوشش گیاهی شاخص‌های تجدید حیات و وضعیت پوشش گیاهی با میانگین وزنی ۱/۵۳ و ۱/۵۴ تأثیر بیشتری در روند بیابان‌زایی منطقه داشته است. رفیع و همکاران (۲۰۱۶) به منظور برآورد وضعیت بیابان‌زایی در اردکان یزد به مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد که معیار آب با وزن متوسط ۳/۴۴ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشت. (مسعودی، ۲۰۱۰) به منظور ارائه سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در دشت کاشان، به مطالعه روی دو معیار آب و اقلیم پرداخت. وی با استفاده از مدل IMDPA و با نرم‌افزار GIS سیستم هشدار را در قالب دو بعد سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تعریف کرد. پس از ارزیابی بیابان‌زایی به این نتیجه رسید که معیار آب با ارزش عددی ۳/۳۶ بیشترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه داشت و در کلاس شدید قرار گرفت. (دولت‌شاهی، ۲۰۰۷) بر اساس مدل ایرانی IMDPA با در نظر گرفتن چهار عامل آب، خاک، کشاورزی و پوشش گیاهی مقدار شدت بالفعل بیابان‌زایی در جنوب گرمسار را ۱/۹۴ برآورد نمود که بر اساس جدول طبقه‌بندی، کلاس بیابان‌زایی برای این منطقه، متوسط به شمار می‌آید. (ناطق، ۲۰۰۸) نیز با استفاده از مدل ایرانی IMDPA و معیارهای آب، زمین و پوشش شدت بالفعل بیابان‌زایی برای دشت سگزی اصفهان را ۳/۳۸ یعنی (شدید) برآورد نمود. ممبئی و همکاران (۲۰۱۵) با هدف ارزیابی وضعیت بالفعل بیابان‌زایی، با تأکید بر سه معیار آب، اقلیم و خاک با استفاده از مدل IMDPA دشت عباس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از ارزش‌دهی معیارهای مورد بررسی بیان‌کننده این است که معیار اقلیم با ارزش ۲/۶۱ مؤثرترین معیار در افزایش شدت بیابان‌زایی دشت عباس است، بر این اساس مشاهده می‌شود که ارزش کمی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه در طبقه متوسط قرار گرفته است. طباطبائی‌فر و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی با استفاده از مدل ایرانی

شدت بیابان‌زایی را در دشت گرمسار در قالب دو معیار اقلیم و آب در چهار دوره زمانی مورد بررسی قرارداد. نتایج نشان داد که دو شاخص نسبت جذب سدیم و شاخص خشک‌سالی به ترتیب با ارزش‌های عددی ۱/۱۷ در کلاس کم و ۱/۶۳ در کلاس متوسط، کمترین تأثیر و شاخص خشکی ترانسو و افت آب زیرزمینی با ارزش عددی ۳/۸۱ و ۳/۱۷ در کلاس بسیار شدید، بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی دشت گرمسار داشته‌اند. رفیع و همکاران (۲۰۱۶) به‌منظور ارزیابی ریسک فرسایش‌پذیری با تأثیر عوامل خاک، پوشش گیاهی اقلیم و آب، استان یزد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص سطح آب زیرزمینی بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی استان یزد داشته است. خراسان جنوبی به‌عنوان دومین استان بیابانی کشور شناخته‌شده است و همچنان به‌سوی بیابانی شدن پیش می‌رود و آگاهی از وضعیت بیابان‌زایی این استان برای مدیریت بهتر آن امری بسیار مهم می‌باشد. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی در استان خراسان جنوبی به‌وسیله مدل *IMDPA* بر اساس چهار معیار آب، خاک، پوشش گیاهی و اقلیم می‌باشد که شامل ۱۳ شاخص می‌شود تا در نهایت با طبقه‌بندی مناطق از لحاظ بیابان‌زایی بتوان با اعمال طرح‌های آبخیزداری و بیابان‌زدایی از افزایش بیابان‌زایی استان جلوگیری نموده و مدیریت بهتری به‌منظور حفاظت از حیات سرزمین اتخاذ نمود. در کنار هدف اصلی تحقیق اهداف فرعی همچون استفاده از دانش بومی و اطلاعات موجود در انتخاب شاخص‌های بیابان‌زایی و تعیین شاخص‌هایی که در بیابان‌زایی منطقه مؤثر هستند در نظر گرفته شد.

موقعیت جغرافیایی

استان خراسان جنوبی به مرکزیت شهر بیرجند دارای مساحتی بالغ بر ۱۵۰ هزار کیلومترمربع بین مدار جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۷ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان از شمال به استان خراسان رضوی و از شرق به طول ۳۳۱ کیلومتر دارای مرز مشترک با کشور افغانستان بوده و از غرب به استان‌های یزد، اصفهان و سمنان و از جنوب به استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان محدود هست. ارتفاعات خراسان جنوبی امتداد شرقی - جنوبی دارد. بلندترین نقطه استان قله باقران در ارتفاع ۳۶۱۵ متری و پست‌ترین نقاط استان در دشت کویر با ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. آب‌وهوای استان از نوع نیمه صحرائی ملایم تا آب‌وهوای گرم صحرائی هست. میانگین بارندگی سالانه استان خراسان جنوبی، ۱۳۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه، ۱۷٫۵ درجه سلسیوس است.



شکل شماره ۱. ترکیب رنگی کاذب برای منطقه مورد مطالعه (استان خراسان جنوبی)

مواد مورد استفاده در تحقیق

برای استفاده از این مدل باید معیارهای کلیدی و مناسب برای منطقه مورد نظر تعریف شود. شاخص‌های مربوط به معیار خاک استان به کمک نرم‌افزار *HWSO* که توسط فائو تهیه گردید. پارامترهای آب و اقلیم نیز با استفاده از داده‌های مربوط به سازمان آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی گرفته شد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، داده‌های گوگل ارث و از تصاویر سنجنده *OLI* ماهواره لندست و کنترل صحرایی استان خراسان جنوبی واحدها، تپ‌ها و رخساره‌های منطقه مورد مطالعه به کمک تفسیر بصری از هم تفکیک شد. همچنین به منظور انجام پردازش و آنالیز داده‌های مورد نیاز از نرم‌افزارهای *ENVI*، *ArcGIS*، *Office* و *HWSO* استفاده گردید.

روش کار

روش تحقیق به کار گرفته شده در این پژوهش، توصیفی تحلیلی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، با هدف کاربردی می‌باشد. در این تحقیق با بهره‌گیری از مدل ایرانی *IMDPA* نقشه بالفعل شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه بر اساس چهار معیار آب، اقلیم، پوشش گیاهی و خاک که هر معیار از چند شاخص مربوطه تشکیل گردیده است به دست آمد که در پایین توضیح داده می‌شود.

معیار آب: جهت بررسی وضعیت کیفیت آب منطقه خراسان جنوبی سه شاخص افت سفره زیرزمینی، *EC* و *SAR* انتخاب شد. با توجه به اطلاعات موجود موقعیت کلیه چاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی ترسیم گردید. سپس به منظور شناخت وضعیت کیفی آب در مناطق مختلف سفره آب زیرزمینی خراسان جنوبی، نتایج آنالیز شیمیایی ۲۵ چاه مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای دست یافتن به این معیار، داده‌های چاه‌های پیرومتری در سطح استان مورد بررسی قرار گرفته و نقشه آن تهیه گردید. به منظور تولید نقشه نحوه امتیازدهی مطابق با جدول ۱ و در نهایت نقشه شدت بیابان‌زایی معیار آب بر اساس معادله ۱ به دست آمد. به هر لایه بر اساس تأثیر آن در بیابان‌زایی با توجه به بررسی منابع و استناد به کار سایر محققین و با توجه به شرایط منطقه، وزنی بین ۱ تا ۴ داده شد که ارزش ۱ بهترین و ۴

ارزش بدترین وزن بوده است.

$$\text{معیار آب} = \sqrt[3]{(\text{افت سفره} * \text{EC} * \text{SAR})} \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول شماره ۱. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار آب در مدل IMDPA

شاخص ارزیابی	کلاس بیابانزایی			
	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
امتیاز	۱/۰۰-۱/۵۰	۱/۵۱-۲/۵۰	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
افت سفره	<۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۵۰	> ۵۰
EC (μmhos/cm)	<۷۵۰	۷۵۰-۲۲۵۰	۲۲۵۰-۵۰۰۰	> ۵۰۰۰
SAR (μmhos/cm)	<۱۵	۱۵-۲۶	۲۶-۳۲	> ۳۲

معیار اقلیم: برای معیار اقلیم سه شاخص بارش، خشکی ترانسو و خشک‌سالی مورد بررسی قرار گرفت. برای شاخص خشک‌سالی با توجه به انعطاف‌پذیری مدل IMDPA زیر شاخص SPI در نظر گرفته شد. جدول شماره ۲ نحوه طبقه‌بندی شاخص‌های در نظر گرفته شده برای معیار اقلیم بر اساس آستانه‌ها را نشان می‌دهد.

$$I=P/ETP \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن P بارش سالانه و ETP مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده و سابقه تحقیقی که در زمینه شاخص‌های خشک‌سالی وجود دارد از سه شاخص بارش و شاخص خشکی و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد (جدول ۲). در نهایت با استفاده از معادله ۳ نقشه معیار اقلیم حاصل از میانگین هندسی سه شاخص بارش سالانه، شاخص خشکی ترانسو، شاخص خشک‌سالی SPI به دست آمد.

$$\text{معیار اقلیم} = \sqrt[3]{(\text{SPI} * \text{ترانسو} * \text{بارش سالیانه})} \quad \text{رابطه (۳)}$$

جدول شماره ۲. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار اقلیم در روش IMDPA

شاخص ارزیابی	کلاس				
	غیر قابل ملاحظه	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
امتیاز	۰/۰۱-۱	۱/۰۱-۱/۵۰	۱/۵۱-۲/۵۰	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
بارش سالیانه (میلی متر)	≥۶۰۰	۲۸۰-۶۰۰	۱۵۰-۲۸۰	۷۵-۱۵۰	< ۷۵

< ۰/۰۵	۰/۰۵ - ۰/۲	۰/۲ - ۰/۴۵	۰/۴۵ - ۰/۶۵	> ۰/۶۵	شاخص ترانسو
۱	۲،۳	۴	۵،۶	۷	SPI

معیار خاک: برای دستیابی به نقشه معیار خاک در محدوده مورد مطالعه مهم‌ترین شاخص‌های خاک منطقه که بر بیابان‌زایی مؤثر می‌باشند، انتخاب شدند. برای این منظور شاخص‌های عمق خاک، بافت خاک، درصد سنگریزه سطحی و میزان شوری در نظر گرفته شد و براساس جدول شماره ۳ امتیازدهی شد. در نهایت معیار خاک از میانگین هندسی چهار شاخص مذکور براساس معادله ۴ به دست آمد.

$$\text{معیار خاک} = \sqrt[4]{(\text{درصد سنگ و سنگریزه} * SAR * ECE * \text{عمق مؤثر خاک})} \quad \text{رابطه (۴)}$$

معیار پوشش گیاهی: معیار پوشش گیاهی طبق جدول شماره ۴، حاصل از سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی، بهره‌برداری پوشش گیاهی و تجدید پوشش گیاهی از طریق بررسی اطلاعات، عکس ماهواره‌ای و تصاویر ماهواره‌ای حاصل لندست ۸ و به دست آوردن شاخص NDVI منطقه از لحاظ معیار پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت (رفیع ۲۰۱۶). نحوه محاسبه شاخص NDVI در رابطه ۵ بیان شده است:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

جدول شماره ۳. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار خاک در مدل *IMDPA*

شاخص ارزیابی	کلاس امتیاز	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
عمق مؤثر خاک (سانتیمتر)		> ۸۰	۵۰-۸۰	۲۰-۵۰	< ۲۰
بافت خاک		رسی - رسی شنی - سیلتی رسی	سیلتی لومی - لومی - سیلتی رسی لومی - شنی رسی لومی	شنی لومی - لومی شنی	شنی - رس < ۶۰٪
سنگ و سنگریزه (درصد)		< ۱۵	۱۵-۳۵	۳۵-۶۵	> ۶۵

هدایت الکتریکی (ds/m)	<۴	۴-۸	۸-۱۶	>۱۶
--------------------------	----	-----	------	-----

$$\text{رابطه (۶) (پوشش بهره داری * تعدید پوشش * وضعیت پوشش)} = \sqrt[3]{\text{معیار پوشش گیاهی}}$$

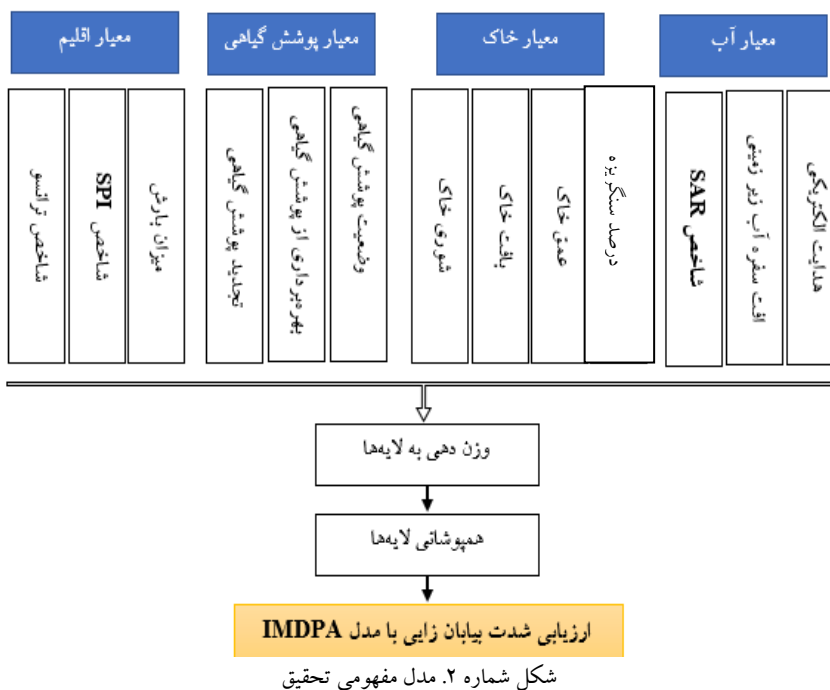
نتیجه ارزیابی حاصل از لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌های مطرح‌شده با توجه به رابطه ۶، معیار پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از محیط نرم‌افزار ArcGIS ۱۰/۳، نقشه معیار پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. در پایان پس از تهیه لایه‌های مربوط به معیارهای مورد بررسی از تلفیق لایه‌های ۴ معیار آب، اقلیم و خاک در محیط Arc GIS ۱۰/۳ نقشه نهایی وضعیت بیابان‌زایی منطقه خراسان جنوبی طبق معادله ۷ تهیه و بر اساس جدول ۵ به چهار طبقه کیفی طبقه‌بندی گردید.

$$\text{رابطه (۷) (معیار گیاهی پوشش * معیار اقلیم * معیار آب * معیار خاک)} = \sqrt[4]{\text{شدت بیابان‌زایی}}$$

جدول شماره ۴. تعیین امتیاز شاخص‌های ارزیابی معیار پوشش گیاهی در روش IMDPA

شاخص	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزیابی	امتیاز	۱/۵۰-۱/۰۰	۱/۵۰-۲/۵۰	۲/۵۰-۳/۵۰	۳/۵۰-۴
وضعیت پوشش گیاهی		گونه‌های مهاجم کمتر از ۵ درصد و کمتر از ۲۵ درصد ترکیب گیاهی از گونه‌های یک‌ساله	گونه‌های مهاجم ۲۰-۵ درصد و ۵۰-۲۵ درصد ترکیب گیاهی از گیاهان یک‌ساله	گونه‌های مهاجم ۵۰-۲۰ درصد و اکثر پوشش گیاهی از گیاهان یک‌ساله می‌باشد.	گونه‌های مهاجم بیش از ۵۰ درصد و پوشش گیاهی منطقه از گیاهان یک‌ساله می‌باشد.
		درصد پوشش تاجی دائمی بیش از ۳۰ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی ۳۰-۱۵ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی ۱۵-۵ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی کمتر از ۵ درصد
بهره‌برداری از پوشش		آثار بوته کنی مشاهده نمی‌شود.	قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان نسبتاً زیادتر از بیوماس	قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان زیاد و کاملاً محسوس	قطع بی‌رویه بوته‌ها، درختان و درختچه‌ها در حال حاضر و یا گذشته
		چرا متعادل و یا کمتر از ظرفیت و در فصل مناسب	مازاد دام تا ۲۵ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام ۲۵ تا ۵۰ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام بیش از ۵۰ درصد بیشتر از ظرفیت چرا

تجدید حیات پوشش گیاهی بسیار مشکل و یا غیرممکن و غیر قابل توجه	تجدید حیات با هزینه زیاد امکان پذیر است.	تجدید حیات با هزینه کم امکان پذیر است.	تجدید حیات به طور طبیعی انجام می شود	تجدید پوشش گیاهی
عملیات اصلاح و احیاء پوشش تاکنون موفق نبوده است.	عملیات اصلاحی انجام شده نسبتاً موفق بوده است.	عملیات احیاء پوشش تاکنون مؤثر بوده است.	نیازی به عملیات اصلاحی نمی باشد.	



جدول شماره ۵. توزیع فراوانی کلاس‌های شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی

دامنه ارزش عددی	علامت	طبقه‌بندی کیفی شدت بیابان‌زایی
۰-۱/۵	۱	ناچیز و کم
۱/۵۱-۲/۵	۲	متوسط
۲/۵۱-۳/۵	۳	شدید
۳/۵۱-۴	۴	بسیار شدید

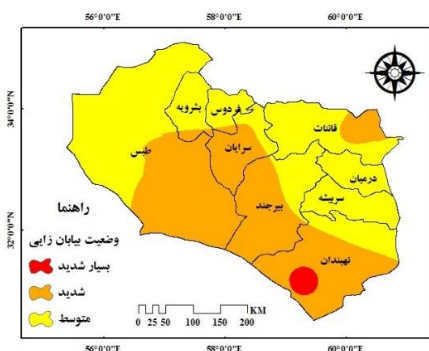
تجزیه و تحلیل

نتایج حاصل از آنالیز و بررسی داده‌ها در این قسمت از مطالعه ارائه گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که با تجزیه و تحلیل شاخص‌های مورد بررسی متوسط هندسی ارزش کمی شدت بیابان‌زایی (وضعیت فعلی بیابان‌زایی) برای کل منطقه بر اساس ۴ معیار ۲/۲ بوده که در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار می‌گیرد. همچنین بررسی انجام شده بر روی میانگین وزنی ارزش‌های کمی شاخص‌های بیابان‌زایی نشان می‌دهد که در منطقه مورد نظر، شاخص‌های مقدار بارندگی سالانه و هدایت الکتریکی آب و وضعیت پوشش گیاهی، بیشترین تأثیر و شاخص‌های عمق خاک، نسبت جذب سدیم آب و هدایت الکتریکی خاک کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارند (جدول شماره ۶).

جدول شماره ۶. ارزش عددی شاخص‌های مورد بررسی

معیار	شاخص‌ها	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
اقلیم	مقدار بارش سالانه	۳/۴	III
	شاخص ترانسو	۲/۷	III
	شاخص SPI	۲	II
پوشش گیاهی	وضعیت پوشش	۳/۲	III
	بهره‌برداری از پوشش	۲/۴	II
	تجدید پوشش	۲/۹	III
آب	افت سفره	۲/۶	III
	SAR	۱/۲	I
	EC	۳/۲۵	III
خاک	عمق خاک	۱/۱۶	I
	بافت خاک	۲/۲	II
	درصد سنگ و سنگریزه	۱/۵۴	II
	هدایت الکتریکی خاک	۱/۳	I

تجزیه و تحلیل انجام شده بر روی متوسط وزنی ارزش‌های کمی، عوامل مؤثر بر معیارها را نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه عوامل اقلیمی و پوششی بیشترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه ایفا می‌کنند که به ترتیب شاخص‌های مقدار بارش سالانه، هدایت الکتریکی، وضعیت پوشش و بافت خاک مؤثرترین شاخص‌ها در هر معیار در افزایش شدت بیابان‌زایی استان خراسان جنوبی هستند. به‌طور کلی در بین ۱۳ شاخص بررسی شده شاخص‌های عمق خاک و نسبت جذب سدیم از کمترین ارزش عددی برخوردارند، فلذا کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارند. نقشه تمامی شاخص‌های مورد بررسی برای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی استان خراسان جنوبی در شکل‌های شماره ۳ تا ۲۰ آورده شده است. شکل شماره ۲۱ نتایج حاصل از ارزش‌دهی معیارهای مورد بررسی را بر اساس مدل *IMDPA* نشان می‌دهد.



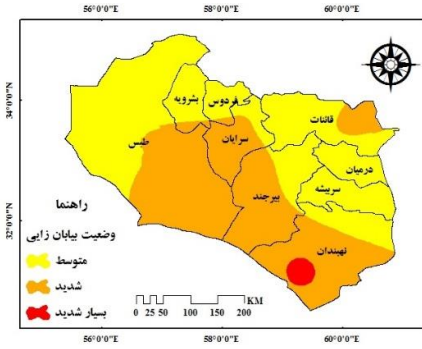
شکل شماره ۴. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص خشکی

ترانسو

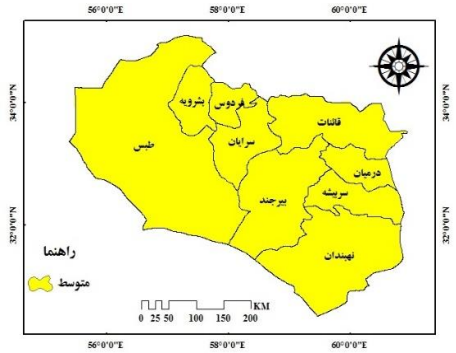


شکل شماره ۳. نقشه وضعیت بیابان‌زایی

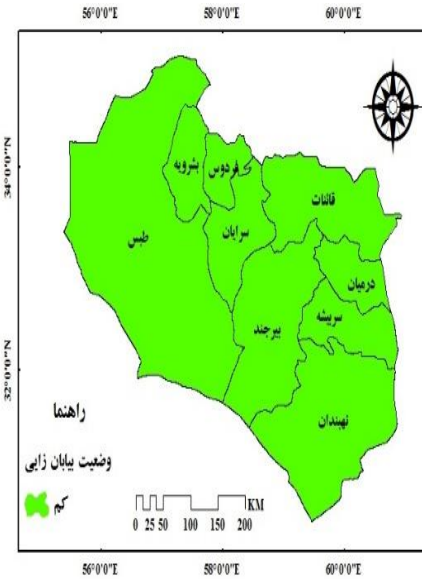
شاخص بارش



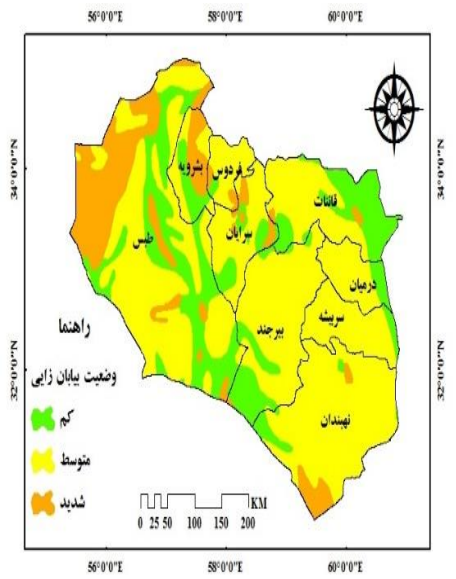
شکل شماره ۶. نقشه وضعیت بیابانزایی معیار اقلیم



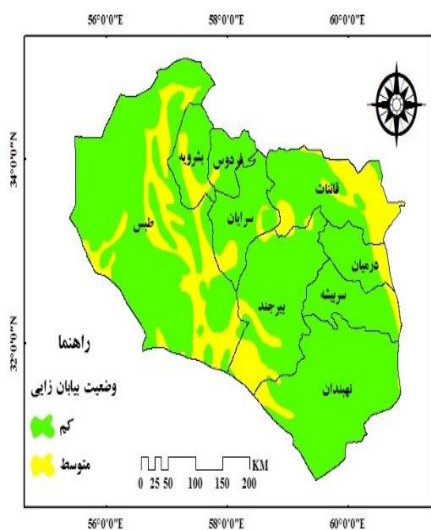
شکل شماره ۵. نقشه وضعیت بیابانزایی شاخص خشکسالی



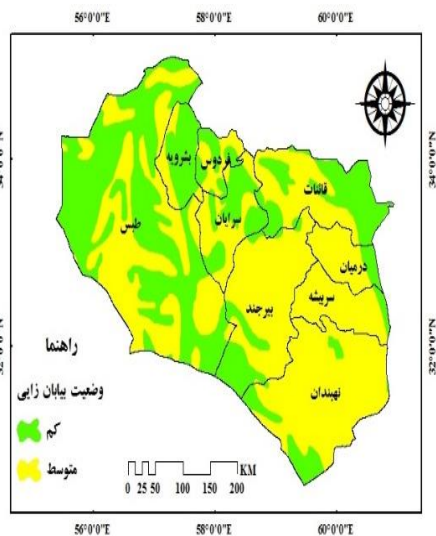
شکل شماره ۸. نقشه بیابانزایی شاخص عمق خاک



شکل شماره ۷. نقشه بیابانزایی شاخص بافت خاک

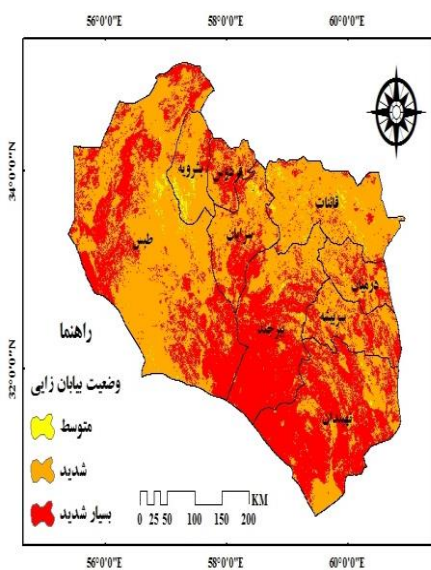


شکل شماره ۱۰. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص ECE



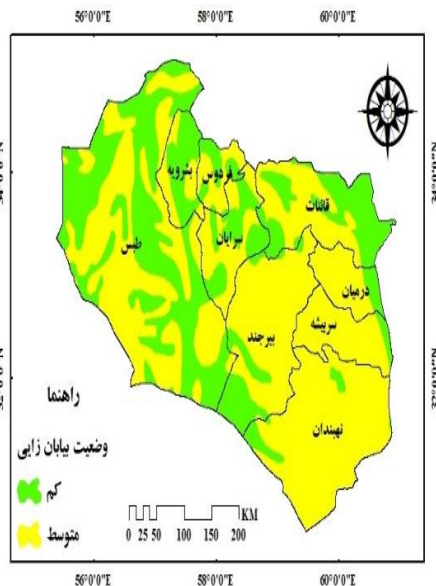
شکل شماره ۹. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص

سنگ‌ریزه

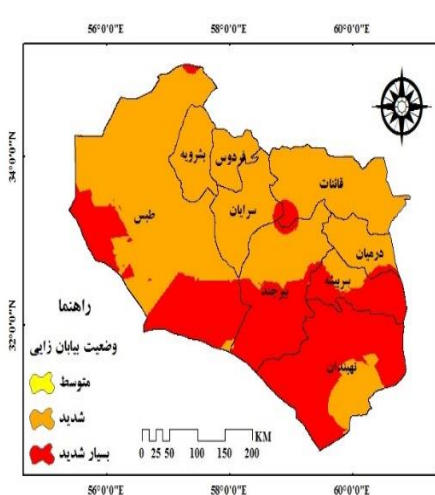


شکل شماره ۱۲. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص پوشش

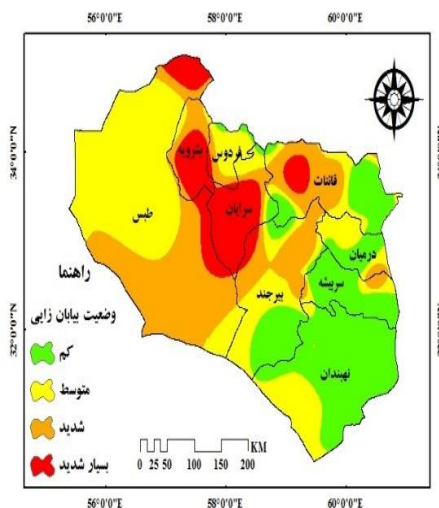
گیاهی



شکل شماره ۱۱. نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار خاک

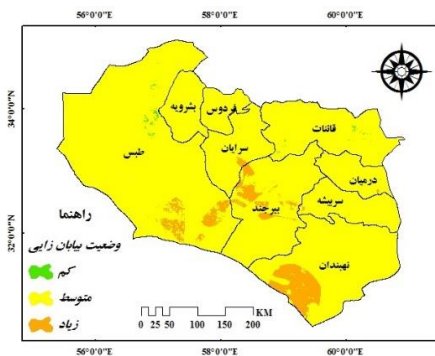


شکل شماره ۱۸. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص EC

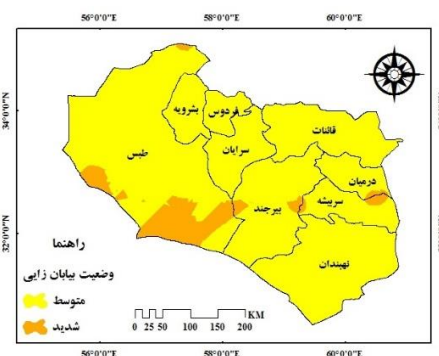


شکل شماره ۱۷. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص افت

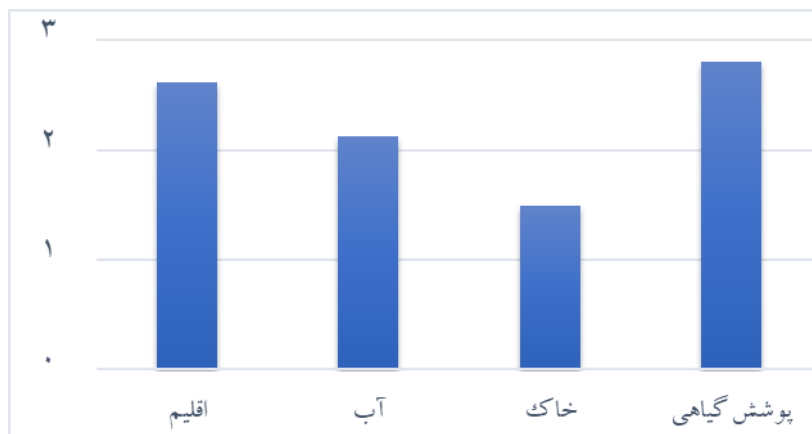
سفره



شکل شماره ۲۰. نقشه وضعیت بیابان‌زایی بالفعل استان



شکل شماره ۱۹. نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار آب



شکل شماره ۲۱. ارزش هر معیار در استان خراسان جنوبی

بررسی معیار اقلیم نشان می‌دهد که وضعیت معیار اقلیم از نظر بیابان‌زایی متوسط تا بسیار شدید متغیر است و بیشترین مساحت معیار اقلیم در کلاس متوسط قرار دارد که مساحت آن ۹۰ هزار کیلومترمربع (۶۰ درصد از مساحت منطقه) را در برمی‌گیرد. همچنین طبقات شدید با مساحت ۵۵ هزار کیلومترمربع حدود ۳۶/۵ درصد و طبقه بسیار شدید با مساحت ۵ هزار کیلومترمربع کمتر از ۳/۵ درصد مساحت استان را به خود اختصاص داده است. در معیار اقلیم مؤثرترین شاخص بر بیابان‌زایی منطقه، مقدار بارش سالانه با ارزش ۳/۴ می‌باشد. همچنین متوسط ارزش معیار اقلیم ۲/۶ می‌باشد. نتیجه تحقیق حاضر با نتایج زهتاییان و همکاران (۱۳۸۷) در منطقه کاشان، نیکو (۱۳۹۰) در منطقه دامغان، نیک‌اقبال (۱۳۸۴) در دشت ایزدخواست، رفیع (۱۳۹۱) در دشت یزد اردکان و احمدی (۱۳۸۵) در دشت سگزی که وضعیت بیابان‌زایی شاخص میزان بارش و شاخص خشکی را شدید ارزیابی نمودند، با توجه به شباهت‌های اقلیمی مطابقت دارد. رئیسی (۱۳۸۷) در منطقه کهیر شهرستان کنارک شاخص میزان بارش با بیابان‌زایی شدید را یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بیابان‌زایی معرفی کرد که نتایج این تحقیقات نیز با توجه به شباهت‌های اقلیمی با مطالعه حاضر همخوانی دارد. نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار خاک نشان می‌دهد که حدود ۴۴ هزار کیلومتر از منطقه که حدود ۲۹/۴ درصد از مساحت کل منطقه را شامل

می‌شود، در طبقه کم قرار گرفت. حدود ۱۰۶ هزار کیلومترمربع از مساحت منطقه در طبقه متوسط قرار گرفت که معادل با ۷۰/۶ درصد از کل مساحت استان می‌باشد. مؤثرترین عامل در معیار خاک، بافت خاک با ارزش ۲/۲ می‌باشد. نتیجه مذکور با نتایج ممبئی و همکاران (۱۳۹۴) و طباطبایی فر و همکاران (۱۳۹۲) که در مناطق خود معیار خاک را با تأثیرگذاری کم در بیابانی شدن منطقه مورد مطالعه خود اعلام کردند، همخوانی دارد. پژوهش‌های حاصل از میانگین هندسی شاخص‌های معیار آب حاکی از این است که ۱۳۵ هزار کیلومترمربع (۹۰/۲ درصد) از مساحت منطقه در طبقه متوسط و ۱۵ هزار کیلومترمربع (۹/۸ درصد) از مساحت منطقه در طبقه شدید جای دارد. در این معیار مؤثرترین شاخص در بیابان‌زایی منطقه مربوط به هدایت الکتریکی آب با ارزش ۳/۲۵ که در طبقه شدید قرار گرفت. بر طبق نتایج حاصل از تحقیق رفیع (۱۳۹۱) در دشت یزد اردکان، خسروی و همکاران (۱۳۸۸) در منطقه کاشان، وضعیت بیابان‌زایی شاخص هدایت الکتریکی آب؛ شدید و نیز بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی بیابان‌زایی در دشت سگزی اصفهان (احمدی ۱۳۸۵)، جنوب گرمسار (دولتشاهی ۱۳۸۶)، شاکریان و همکاران (۱۳۹۰)، کاشان (مسعودی ۱۳۸۹) و دشت دامغان (نیکو ۱۳۹۰) بیابان‌زایی شاخص هدایت الکتریکی آب مشابه تحقیق حاضر شدید ارزیابی شد. این شباهت با توجه به علل مشابه شوری منابع آب، اختلال آب‌شور و شیرین در اثر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، افت سطح سفره و بالا بودن میزان تبخیر در مناطق مذکور و منطقه مورد مطالعه قابل توجیه است. در مجموع موارد مذکور گویای آن است که شاخص هدایت الکتریکی آب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بیابان‌زایی در مناطق خشک کشور است.

نتیجه تحقیق با نتایج تحقیق جعفری (۱۳۸۰) در کاشان، خسروی و همکاران (۱۳۸۸) در کاشان و ناطقی (۱۳۸۶) در دشت سگزی که شدت بیابان‌زایی را شدید ارزیابی نمودند مطابقت ندارد و با نتایج عبدی (۱۳۸۶) در ابوزیدآباد، دولتشاهی (۱۳۸۶) جنوب گرمسار، رضوی (۱۳۸۷) کویر میقان اراک، نیکو (۱۳۹۰) دامغان و رفیع (۱۳۹۱) در دشت یزد اردکان که همگی شدت بیابان‌زایی را متوسط ارزیابی نمودند مطابقت دارد. درحالی‌که به دلیل شباهت شرایط محیطی و ساختار اقتصادی-اجتماعی مناطق خشک کشور انتظار می‌رفت نتایج یکسانی به دست آید، پس از بررسی مجدد مشخص شد در تمامی مطالعاتی که شدت بیابان‌زایی متوسط ارزیابی شده است کلاس بیابان‌زایی در آستانه ورود به کلاس شدید می‌باشد.

معیار پوشش گیاهی از لحاظ ارزیابی بیابان‌زایی در دو کلاس متوسط و شدید قرار گرفت که به ترتیب مساحت هرکدام از طبقه‌ها ۲/۵ هزار کیلومتر مربع (۱/۵ درصد) و ۱۴۷/۵ هزار کیلومتر مربع (۹۸/۵ درصد) از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود. نتایج حاصل از ارزش‌دهی معیارهای موردبررسی بیان‌کننده این است که معیار پوشش گیاهی و اقلیم با ارزش‌های ۲/۸ و ۲/۶ مؤثرترین معیار در افزایش شدت بیابان‌زایی خراسان جنوبی است، همچنین معیار خاک با ارزش ۱/۴۹ در طبقه کم بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است.

ارزیابی معیار اقلیم نشان‌دهنده آن است که در قسمت‌های جنوبی و مرکزی استان (شهرهای نهبندان و بیرجند) وضعیت بیابان‌زایی شدید و بسیار شدید است اما در قسمت‌های شمالی مانند فردوس و بشرویه وضعیت بیابان‌زایی متوسط می‌باشد. دلیل آن هم به‌خاطر شرایط اقلیمی استان است که مقادیر بارش در قسمت‌های شمالی استان زیادت‌ر و تبخیر و تعرق در این مناطق کمتر می‌باشد. برعکس آن در مناطق جنوبی استان تبخیر تعرق زیاد و بارش کم، بنابراین وضعیت بیابان‌زایی در مناطق جنوبی مطابق معیار اقلیم شدید و بسیار شدید می‌باشد. بررسی معیار آب نشان می‌دهد که وضعیت بیابان‌زایی در دو کلاس متوسط و شدید قرار می‌گیرد. وضعیت این معیار در قسمت‌هایی از سطح استان مخصوصاً در شهرستان طبس شدید می‌باشد اما غالب سطح استان از لحاظ کلاس بیابان‌زایی مطابق این معیار در کلاس متوسط قرار گرفته است. بررسی شاخص افت آب در سطح استان نشان می‌دهد که شدیدترین افت آب زیرزمینی

در مناطق مرکزی استان مخصوصاً بشرویه و فردوس با بیش از ۵۰ سانتی‌متر اتفاق می‌افتد. همچنین در قسمت‌های شرقی استان کمترین افت آب (در شهرهای نهبندان و درمیان و سربیشه) مشاهده می‌شود. دلیل این امر به خاطر برداشت شدید آب از چاه برای شرب و کشاورزی و حفر غیرمجاز چاه در شهرهای بشرویه و فردوس می‌باشد. تجزیه و تحلیل معیار خاک در استان نشان داد که این شاخص نمی‌تواند جزء اصلی‌ترین عوامل در افزایش بیابان‌زایی باشد، زیرا این معیار از لحاظ بیابان‌زایی برای استان در کلاس کم قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی معیار پوشش گیاهی نشان می‌دهد که پوشش گیاهی منطقه بسیار ضعیف و این معیار به همراه شاخص‌های آن به عوامل اصلی بیابان‌زایی در منطقه تبدیل شده‌اند. این معیار در دو کلاس متوسط و شدید جایی گرفته که کلاس متوسط آن مربوط به کمتر از ۲ درصد از سطح استان را در برمی‌گیرد؛ به عبارت دیگر از لحاظ معیار پوشش گیاهی بیش از ۹۸ درصد حوضه دارای پوشش گیاهی بسیار ضعیف و در کلاس بیابان‌زایی شدید قرار گرفته‌اند.

نتیجه‌گیری

این مدل بر پایه روش مدالوس توسط زهتابیان و همکاران در سال ۱۳۸۶ تدوین شده است. وجود تعداد نسبتاً کافی از معیارها و شاخص‌های منطبق با شرایط منطقه و در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف تخریب سرزمین در این روش باعث شده است تا برآورد دقیقی از شدت و وضعیت بیابان‌زایی و تعیین شاخص‌های مؤثر در تخریب اراضی صورت گیرد (Nateghi, et al, 2012: 594-596). با توجه به معیارهای بررسی شده، در طبقه‌بندی استان خراسان جنوبی ۶۲ کیلومترمربع (۰/۰۵ درصد) در طبقه بیابان‌زایی کم، ۱۴۰۹۱۷ کیلومترمربع (۹۴/۴۵ درصد) در طبقه بیابان‌زایی متوسط و ۷۶۵۲ کیلومترمربع (۵ درصد) در طبقه بیابان‌زایی شدید قرار گرفت و غالب منطقه مورد مطالعه از لحاظ بیابان‌زایی بر اساس مدل *IMDPA* با توجه با چهار معیار مذکور با ارزش ۲/۲ در طبقه متوسط قرار می‌گیرد. در معیار خاک عرصه‌های دارای شدت‌های بیابان‌زایی غیرقابل ملاحظه، کم و متوسط هستند. در معیار پوشش گیاهی از لحاظ شدت بیابان‌زایی در طبقه‌های متوسط تا شدید قرار دارند. عامل حفاظتی پوشش گیاهی روی خاک باعث می‌شود تا زمانی که پوشش گیاهی تخریب نشود (رفاهی، ۲۰۰۱: ۲۴-۲۸) سطح

خاک از فرسایش و تخریب مصون بماند. با توجه به قرارگرفتن منطقه خراسان جنوبی در اقلیم خشک و بیابانی، کمبود بارندگی باعث می‌شود که سطح خاک به مدت طولانی خشک باقی بماند و از طرف دیگر، عامل محدودکننده‌ای برای رشد نباتی است که هر دو این شرایط، خاک را برای فرسایش بادی (بیابان‌زایی) مستعد می‌سازد، لذا تدابیر مربوط به مهار شدت بیابان‌زایی همراه با عملیات اجرایی بیابان‌زدایی در منطقه مورد مطالعه، باید با جدیت بیشتر صورت پذیرد. تأثیر خشک‌سالی مداوم چند سال اخیر در بیابانی شدن بیشتر عرصه‌های منابع طبیعی از طریق ضعیف‌تر شدن پوشش گیاهی سبب وزش بیشتر طوفان‌های گردوخاک شده است. به دلیل شدت و توسعه زیاد پدیده بیابان‌زایی در منطقه مورد بررسی، اجرای عملیات اصلاحی و احیایی ضروری است. در بعضی از مناطق استان مانند قائن، سرایان و بشرویه سطح سفره‌های زیرزمینی گاه‌گاه تا نیم متر کاهش پیدا کرده، این نتیجه بیانگر رشد روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی استان خراسان جنوبی و تخلیه بیش‌ازحد آب زیرزمینی است. این افت بر اثر دو عامل مهم اتفاق افتاده، اول افزایش برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و چاه‌های خود منطقه است، دومین دلیل، رخداد خشک‌سالی‌های اخیر و در نهایت، واقع شدن خراسان جنوبی در منطقه‌ای خشک و کاهش نزولات جوی و تبخیر زیاد، بیانگر کم بودن و کمتر شدن منابع تغذیه‌کننده آبخوان است. پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی از نظر کیفیت، اولین قدم در شناسایی گستره جغرافیایی آلودگی‌ها به‌شمار می‌آید. با پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه مشخص شد که آب منطقه از لحاظ هدایت الکتریکی و شوری در مرحله شدید و بسیار شدید قرار دارد؛ بنابراین باید دولت بر روی حفر و ایجاد چاه‌ها در استان خراسان جنوبی نظارت داشته باشد و از حفر غیرمجاز چاه‌ها در مناطقی دارای افت زیاد آب، جلوگیری کند.

منابع

احمدی، حسن (۱۳۸۵). کالیبراسیون معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران (با استفاده از مدل *IMDPA*)، مطالعه موردی: حبله رود- سگری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

جعفری، رضا (۱۳۸۰). ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی با تحلیل روش‌های *ICD* و *FAO-UNEP* در منطقه کاشان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

خسروی، حسن؛ زهتابیان، غلامرضا؛ حیدری، محمد و قدسی، مرضیه (۱۳۸۸). ارزیابی معیار تخریب منابع آب جهت ارائه یک مدل منطقه‌ای (مطالعه موردی: منطقه کاشان)، اولین همایش ملی آب، مدیریت و نوآوری، یزد، ۱۹-۲۰ اسفندماه.

دولت‌شاهی، رضا (۱۳۸۶). تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل *IMDPA* با تأکید بر سه معیار آب، خاک و پوشش گیاهی (مطالعه موردی جنوب گرمسار). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

رضائی‌پور، عبدالحسین؛ بهرامی، حسین؛ رفیع، جواد و خسروی، حسن (۱۳۹۴). ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل *IMDPA* (باغدر- یزد)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۹: ۵۴-۴۲.

رفیع شریف‌آباد، جواد (۱۳۹۱). بررسی بیابان‌زایی دشت اردکان با استفاده از *IMDPA* با تأکید بر مسائل آب و اقلیم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

رئیزی، عبدالغنی (۱۳۸۷). بررسی عوامل مؤثر در شدت بیابان‌زایی (بیابان‌های ساحلی) با استفاده از مدل *IMDPA* در منطقه کنارک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

رفاهی، حسن (۲۰۰۱). مبارزه با فرسایش بادی، تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

زهتابیان، غلامرضا (۱۳۷۸). طرح احیاء و توسعه اراضی مستعد کشاورزی منطقه کاشان. گزارش مطالعات آب و آبیاری، مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، دانشگاه تهران.

زهتابیان، غلامرضا؛ احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمدرضا و خسروی، حسن (۱۳۸۶) واسنجی مدل مدالوس به منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برآورد شدت بیابان‌زایی در منطقه کاشان. منابع طبیعی ایران. ۳(۶۰): ۷۴۴-۷۲۴.

شاگردیان، نوشین؛ زهتابیان، غلامرضا؛ آذرنیوند، حسین و خسروی، حسن (۱۳۹۰). بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه جرقویه اصفهان با استفاده از IMDPA و با تأکید بر معیارهای آب، خاک و پوشش گیاهی. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۶۴(۴): ۴۲۱-۴۱۱.

طباطبائی‌فر، سیدمهداد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ رحیمی، محمد؛ خسروی، حسن و نیکو، شیما (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیر تغییرات زمانی شرایط اقلیمی و وضعیت آب زیرزمینی بر شدت بیابان‌زایی دشت گرمسار. مجله مدیریت بیابان؛ ۳۹-۴۸.

عبدی، ژاله (۱۳۸۶). بررسی و تهیه نقشه بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA با تأکید بر دو معیار آب و خاک (ابوزیدآباد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ممبئی، مریم؛ کرمشاهی، عبدالعلی؛ گرایسی، پرویز؛ آزادنیا، فرزاد و خسروی، حسن (۱۳۹۴). ارزیابی وضعیت بالفعل بیابان‌زایی، با تأکید بر معیار آب، اقلیم و خاک با استفاده از مدل IMDPA (مطالعه موردی: عباس دشت). مجله علوم و فنون آب و خاک، ۱۹(۷۲): ۳۵۹-۳۴۹.

مسعودی، ریحانه (۱۳۸۹). سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی براساس دو فاکتور آب و اقلیم (دشت کاشان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ناطقی، سعیده (۱۳۸۶). بررسی بیابان‌زایی دشت سگری با استفاده از IMDPA با تأکید بر مسائل آب، زمین و پوشش گیاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

نیک‌اقبال، محبوبه (۱۳۸۴). ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی زرین‌دشت داراب با استفاده از مدل مدالوس با تأکید بر معیار اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

نیکو، شیما (۱۳۹۰). ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی براساس روش *IMDPA* جهت شناخت عوامل مؤثر بر تخریب اراضی (منطقه دامغان). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

Ahmadi, H. (2004). Study Factors effecting desertification, *Journal Forest and Rangeland* 62, 66-70.

Melchiade, B. (2009). Secretariat of the convention to combat desertification. CSD-17 Intergovernmental Preparatory Meeting Panel on Desertification. New York, February 26

Mesbah zade, T., Ahmadi, H., Zehtabian, Gh. Sarmadian, F., Moghminejad, F. & Firoze, F. (2013). Calibration *IMDPA* model According to the criteria in order to provide a regional model of desertification intensity. (Abozaid Abad Kashan). *Journal Range and Watershed* 3, 469-476.

Nateghi, S., Zehtabian, G. & Ahmadi, H. (2008). Evaluation of desertification intensity in Segzi plain by *IMDPA* model. *Journal of Range and Watershed Management*, 3: 419-430.

Nateghi, S., Zehtabian, Gh. & Ahmadi, H. (2012). The impact of geological-geomorphological criteria and Soil Factor on soil desertification In Segzi plain. *Journal of Iran Range and Desert Research* 4, 590-600.

Rafi Sharif Abad, J., Nohegar, A., Zehtabian, G., Khosravi, H., & Gholami, H. (2016). Study of desertification status based on a sub-*IMDPA* model for a case study in Yazd-Ardakan plain, Iran. *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, 6(3), 73-81.

Sharifabad, J. R., Tavili, A., Alipour, A., & Hashemi, M. (2017). Desertification risk assessment in Yazd province with an emphasis on hydrology, climate, vegetation, and soil criteria using *IMDPA* model. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University| İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*.