

بررسی وضعیت بیابان‌زایی با مدل IMDPA در بیابان‌های ساحلی (مطالعه موردی: منطقه شمیل - تخت، استان هرمزگان)

حمید غلامی* - استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران
سیده مهدخت موسوی - دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران
غلامرضا زهتابیان - استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۱۸

چکیده

از مهم‌ترین چالش‌های بشر در قرن حاضر در ابعاد گوناگون بیابان‌زایی بوده که از آن تحت عنوان تخریب اراضی نه تنها در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب بلکه در مناطق مختلف و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه یاد می‌شود. مناسب‌ترین روش برای بررسی عوامل مؤثر در تخریب اراضی و شدت بیابان‌زایی از نظر متخصصان استفاده از مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی می‌باشد. به‌منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای و ارزیابی کمی وضعیت فعلی بیابان‌زایی محدوده‌ای با وسعت ۸۰۸۰۰ هکتار در بخش شمیل - تخت استان هرمزگان در نظر گرفته شد. برای این منظور پس از بررسی و ارزیابی‌های اولیه، چهار معیار اقلیم، آب، خاک و فرسایش بادی با شاخص‌های مربوطه در نظر گرفته شد. برای هر معیار، مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در کیفیت آن معیار، بررسی و با شیوه IMDPA وزن‌دهی انجام شد و با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌ها و بهره‌گیری از نرم‌افزار Arc Gis ۹.۳، نقشه‌های مربوطه به وضعیت هر معیار تهیه شد. در انتها از میانگین هندسی معیارها، نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه به دست آمد. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان می‌دهد کل منطقه از نظر درجه بیابان‌زایی در کلاس متوسط قرار دارد. از بین معیارهای مورد بررسی، معیار اقلیم با ارزش عددی ۲/۸ بالاترین درصد وزنی را به خود اختصاص داده است و از بین شاخص‌های مورد بررسی شاخص خشکسالی با ارزش عددی ۳/۳۵، و بعداً آن شاخص خشکی، بافت خاک، درصد پوشش‌زنده و غیرزنده در سطح خاک، مقدار بارش سالانه، شدت فرسایش بادی و افت آب بیشترین درصد وزنی را به خود اختصاص داده‌اند. شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه با ارزش عددی ۱/۹ تا ۲/۳ برآورد شده است.

واژگان کلیدی: ارزیابی، بیابان‌زایی، شمیل - تخت، IMDPA

مقدمه

بیابان‌زایی یکی از مهم‌ترین بحران‌های امروز جهان است. به‌نحوی که هم‌اکنون حدود هزار و سیصد میلیون انسان ساکن در بیش از ۱۱۰ کشور (نزدیک به سه‌پنجم کشورهای جهان)، از اثرهای زیان‌بار آن در رنج هستند و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی آن نیز بی‌شک، ساکنان دیگر نقاط زمین را متأثر می‌سازد (هاما آبر، ۲۰۰۱). گسترش سریع بیابان‌زایی منجر به خسارات اقتصادی، تخریب محیط‌زیست، شرایط ناپایدار سیاسی محلی و هرج‌ومرج‌های اجتماعی شده است؛ بر این اساس دلایل بیابان‌زایی در بسیاری از مطالعات موردتوجه قرار گرفته است (زو و همکاران، ۲۰۱۰).

براساس گزارش‌های موجود این پدیده از نیمه دوم قرن گذشته (دهه ۱۹۵۰)، شناسایی و به آن توجه شد. در کشور ایران که ۸۵ درصد اراضی آن تحت اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، و فراخشک است و همچنین گسترش روزافزون بیابان‌زایی، یافتن روش‌های ارزیابی این پدیده و علل ایجاد آن در قالب مدل ارزیابی وضعیت فعلی و پیش‌بینی روند آن، بیش‌ازپیش، ضروری می‌نماید. بنابراین، در سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری بدین منظور انجام شده است (بخشنده‌مهر و همکاران، ۱۳۹۱). برای ارائه مدل مناسبی از بیابان‌زایی که با شرایط ایران منطبق باشد، مدل‌های بیابان‌زایی که در کشورهای مختلف جهان انجام شده‌اند مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند و سرانجام با در نظر گرفتن شرایط موجود در ایران مدل‌هایی از جمله مدل (MICD)^۱ توسط اختصاصی و همکاران (۱۳۸۳) و (IMDPA)^۲ توسط احمدی و همکاران (۱۳۸۳) ارائه گردیده است (حبیبی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). مدل‌های ارزیابی شدت بیابان‌زایی به‌طور گسترده توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته‌اند و بعضاً برحسب نظر کارشناسی و شرایط منطقه‌ای برخی فاکتورهای دیگر در این موضوع دخیل شده‌اند. برای مثال خسروی (۱۳۸۳) با به‌کارگیری مدل مدالوس و اجرای تغییراتی در آن، این مدل را در منطقه کاشان اجرا کرد. نتایج تحقیق وی نشان داد روند بیابان‌زایی در منطقه رو به گسترش است و فرآیند تخریب آب در منطقه بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی دارد.

ناطقی و همکاران (۱۳۸۸)، شدت بیابان‌زایی دشت سگری را با بهره‌گیری از مدل ایرانی IMDPA مورد ارزیابی قرار دادند، در این بررسی سه معیار آب، زمین و پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده کلاس شدید و بسیار شدید روند بیابان‌زایی و تأثیر بسزای معیار آب در بیابان‌زایی منطقه بوده است.

فتاحی و همکاران (۱۳۸۹)، برای بررسی شدت بیابان‌زایی حوزه آبخیز قمرود از روش فائو-یونپ استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار دارد.

هندوست و همکاران (۱۳۹۰)، به‌منظور ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی دشت صوفیکم-منگالی در شمال غربی استان گلستان به این نتیجه رسیدند که معیار خاک و پوشش گیاهی مؤثرترین عامل در بیابان‌زایی منطقه بوده است.

پهلوان روی و همکاران (۱۳۹۱)، ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل FAO-UNEP^۳ و MICD در منطقه زهک سیستان انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که عرصه مورد مطالعه از نظر شدت بیابان‌زایی در کلاس بسیار شدید قرار دارد. سیلاخوری و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از مدل MICD ارزیابی و خطر ریسک بیابان‌زایی منطقه سبزوار را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بیشتر مساحت منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار دارد.

آرامی و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در منطقه نیمه‌خشک آق‌بند، استان گلستان معیارهای پوشش گیاهی و خاک را مؤثرترین عامل بیابان‌زایی در آن منطقه دانستند.

^۱ Models Iranian Classification Desertification

^۲ Iranian Model of Desertification Potential Assessment

^۳ Food and Agriculture Organization United Nations Environment Program

جیوردانو^۱ و همکاران (۲۰۰۰) پس از اصلاح و بازسازی مدل ESAS^۲ با توجه به شرایط منطقه سیسیل ایتالیا، چهار شاخص خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی که پارامترهای کلیدی بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی بودند برای ارزیابی بیابان‌زایی در نظر گرفتند.

رسمی^۳ و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهشی که در غرب دلتای نیل براساس مدل مدالوس انجام دادند اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی را توسعه شهری، شوری‌زایی و عدم اجرای سیاست‌های کاربردی ذکر کردند.

سعید محمد^۴ (۲۰۱۳)، با استفاده از ARC GIS^۵ و مدل مدالواس و بهره‌گیری از شاخص‌های بیابان‌زایی از جمله خاک، اقلیم، فرسایش، پوشش گیاهی و مدیریت، ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی در شمال شبه‌جزیره سینا در مصر انجام داد. نتایج تحقیقات وی نشان داد که بیشتر مساحت منطقه در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار دارد.

در مطالعه‌ای که صلواتی^۶ (۲۰۱۵) به منظور تجزیه و تحلیل اکتشافی چند متغیره رابطه بین توزیع فضایی از آسیب‌پذیری زمین به بیابان‌زایی و زمینه‌های اجتماعی و اقتصادی موجود در سه بخش جغرافیایی ایتالیا (شمال، مرکز و جنوب) بر اساس شاخص‌های آماری انجام داد، ۱۱۱ شاخص توصیفی برای موضوعات مختلف با تفکیک مناطق در معرض خطر از مناطق غیر آسیب‌پذیر مورد استفاده قرار داد. نتایج وی نشان داد که اهمیت شاخص‌های جمعیتی و اقتصادی در جنوب ایتالیا نسبت به شمال ایتالیا بالاتر است. در مقابل، شاخص حاشیه‌نشینی اسکان انسان، نقش مهمی در شکل دادن به مناطق آسیب‌پذیر برای بیابانی شدن را در آینده دارد.

امروزه ضرورت شناخت دقیق‌تر عوامل و مکانیسم‌های مؤثر در وقوع پدیده بیابان‌زایی به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح و اصولی مناطق بیابانی بیش‌ازپیش احساس می‌شود. همچنین در نگارش‌های پژوهشی و علمی آن‌قدر بر پدیده جهانی بیابان‌زایی، تخریب زمین و مشکلات ناشی از آن تأکید شده است (فئولی و همکاران، ۲۰۰۳). که دیگر بر هیچ‌کس پوشیده نیست که برای مدیریت پایدار زیست‌محیطی و انجام فعالیت‌های مرتبط با محیط‌زیست به پایش و ارزیابی همیشگی این فرایند نیاز داریم (یانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط طبیعی حاکم نظیر خشکی زیاد، درجه حرارت بالا، بارندگی محدود، کمبود رطوبت حاصل از نزولات آسمانی، پوشش گیاهی کم و همچنین خشکسالی‌های اخیر (هفت سال)، که منجر به بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی شده است. و همچنین بررسی کمی و کیفی آب زیرزمینی، وجود تعدادی از تپه‌های ماسه‌ای، نیکا و در این دشت، نمایان‌گر وضعیت بحرانی از لحاظ بیابان‌زایی در منطقه مورد نظر است.

مدل بیابان‌زایی موجود برای بررسی شدت بیابان‌زایی در بخش شمیل -تخت از تجزیه و تحلیل روش IMDPA شکل گرفته است. لذا با عنایت به گستردگی کار، هدف نخست این پژوهش بررسی وضعیت بیابان‌زایی و هدف بعدی تعیین شدت بیابان‌زایی منطقه با استفاده از مدل IMDPA و سرانجام ترسیم نقشه بیابان‌زایی آن می‌باشد که جهت دسترسی به این امر ضرورت دارد به مطالعات آب، خاک، اقلیم و فرسایش بادی پرداخته شود و از ARC GIS به عنوان ابزاری برای رسیدن به هدف استفاده شود. از آنجاکه دشت شمیل -تخت در دهه‌های اخیر با مشکل کم‌آبی و بیابان‌زایی ناشی از این پدیده روبروست، در نظر است تا به کمک مدل مذکور وضعیت بیابان‌زایی آن مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

¹ Giordano

² Environmental Sensitive Area

³ Rasmy

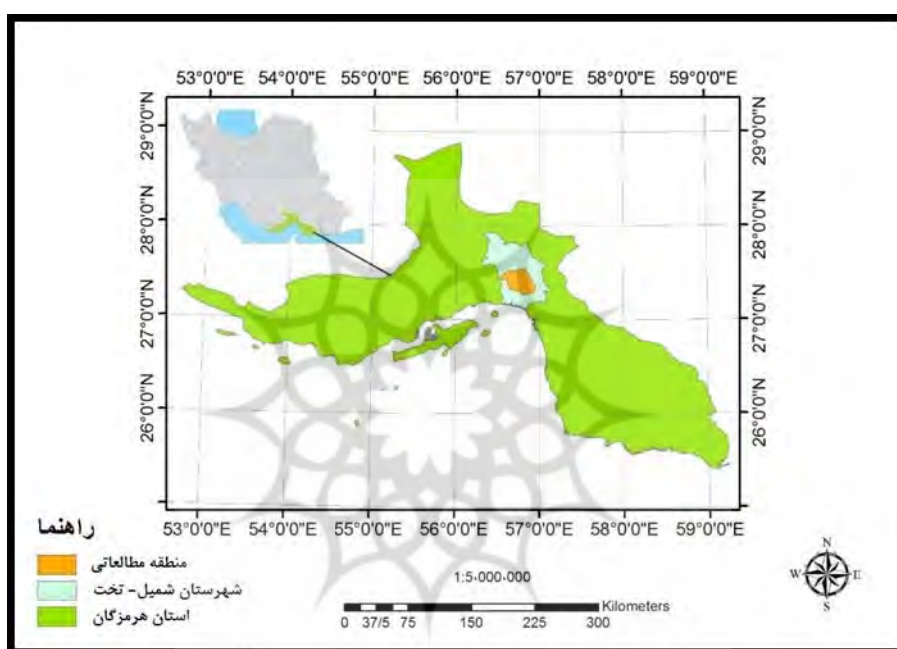
⁴ Said Mohamed

⁵ Geographic Information System

⁶ Luca Salvati

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۸۰۸۰۰ هکتار از توابع شهرستان بندرعباس در استان هرمزگان واقع در جنوب ایران است. منطقه مورد مطالعه دارای دو دهستان بنام شمیل و تخت می‌باشد که در محدوده‌ی طول $25^{\circ} 57' 56''$ و $27^{\circ} 32' 50''$ شمال شرقی و عرض جغرافیایی $30^{\circ} 30' 45''$ و $16^{\circ} 16' 16''$ جنوب غربی در ۴۰ کیلومتری شمال شرق بندرعباس قرار گرفته است (شکل ۱). متوسط بارش در این حوزه $253/6$ میلی‌متر و متوسط دمای خشک آن $26/8$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مهم‌ترین رودخانه فصلی در این منطقه جاماش می‌باشد که در قسمت شمال شرقی حوزه مطالعاتی قرار گرفته است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش کار

به منظور بررسی و تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه شمیل-تخت با توجه به نظر کارشناسی معیارهای، اقلیم، آب زیرزمینی، خاک و فرسایش بادی با شاخص‌های کلیدی براساس مدل ایرانی بیابان‌زایی IMDPA انتخاب گردیدند. قابل ذکر است که این معیارها و شاخص‌ها با توجه به شرایط منطقه تعریف شده‌اند و برای استفاده از این مدل باید معیارهای کلیدی و مناسب برای منطقه مورد نظر تعریف شود. پس از اخذ اطلاعات لازم از منطقه و مرتب‌سازی داده‌ها به منظور تهیه نقشه با کمترین خطا و بیشترین دقت برای شاخص‌های مربوط که به صورت نقطه‌ای هستند از طریق روش IDW درون‌یابی و سپس رستری شدند و در نهایت از طریق روش کلاس‌بندی، محدوده کلاس‌های بیابان‌زایی برای هر یک از شاخص‌ها مشخص شد. پس از به دست آوردن شاخص‌ها، معیار مورد نظر از میانگین هندسی شاخص‌های خود در محیط نرم‌افزار Arc Map طبق رابطه ۱ به دست آمدند (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۱).

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

که در آن:

Index - X : معیار مورد نظر

Layer : شاخص‌های هر معیار

n : تعداد شاخص‌های هر معیار

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، میانگین هندسی ارزش لایه‌ها محاسبه شدند و ارزش ۴ لایه اطلاعاتی در هم ضرب شده و ریشه چهارم آن‌ها گرفته شد. نقشه حاصل از این عملیات همان نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی است. آن‌گاه با میانگین هندسی معیارهای اصلی بر پایه رابطه ۲ نقشه شدت بیابان‌زایی (وضعیت فعلی بیابان‌زایی) منطقه تهیه شد (الرئیس و همکاران، ۱۳۹۱).

$$DM = (SQ \times CLI \times GWI \times WiEI)^{1/4}$$

رابطه (۲)

که در آن:

DM^۱: نقشه شدت بیابان‌زایی

SQ^۲: معیار خاک

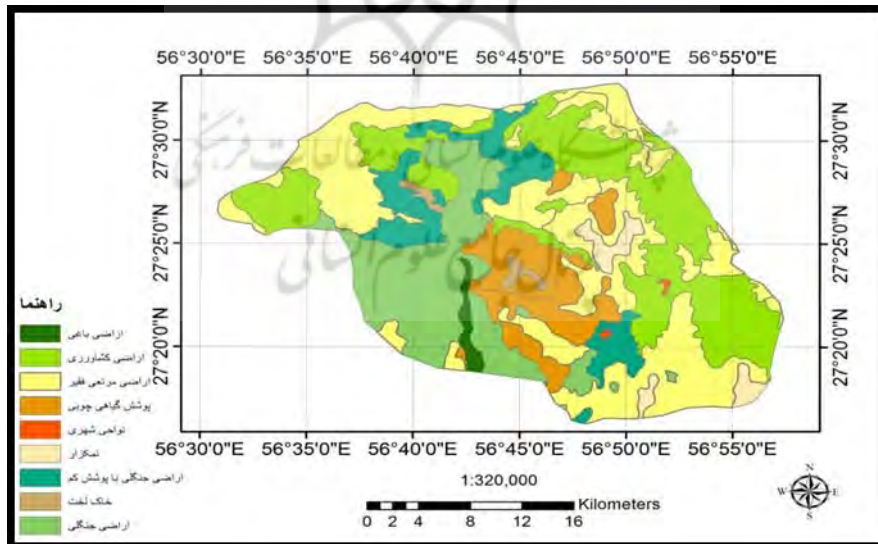
CLI^۳: معیار اقلیم

GWI^۴: معیار آب زیرزمینی

WiEI^۵: معیار فرسایش بادی

ابتدا به منظور انجام عملیات صحرایی و آزمایشگاهی تعداد ۹ نمونه خاک براساس روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی شده تصادفی بر مبنای واحد کاری (کاربری اراضی) انتخاب گردید. در مرحله بعد پارامترهای معیار خاک در آزمایشگاه خاک‌شناسی اندازه‌گیری و مقادیر هر یک به تفکیک واحدهای کاری منطقه به دست آمد. پارامترهای آب و اقلیم نیز با استفاده از شرکت آب منطقه‌ای و اداره کل هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای فرسایش بادی براساس انجام عملیات صحرایی و پرسشنامه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

در این تحقیق استفاده از داده‌های گوگل ارث، کنترل صحرایی منطقه، نقشه ژئومورفولوژی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ به‌عنوان نقشه پایه (نقشه واحد کاری) در نظر گرفته شد (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه واحد کاری منطقه مورد مطالعه

¹ Desertification mapping

² Soil Quality Index

³ Climate Index

⁴ Ground Water Index

⁵ Wind Erosion Index

معیار اقلیم

در این تحقیق به منظور کمی‌سازی اطلاعات اقلیمی از سه شاخص بارش سالانه، شاخص خشکی و خشکسالی استفاده گردید. از آمار بارش ۵ ایستگاه داخل حوزه استفاده گردید. جهت بررسی شاخص خشکی از شاخص ضریب گزروترمیک استفاده گردیده است. که براساس رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$WD=365- BGI$$

رابطه (۳)

در این رابطه BGI ضریب گزروترمیک یا ضریب بانیول- گسن و ^۱WD تعداد روزهای مرطوب است (زهتابیان و همکاران، ۱۳۹۳).

برای به دست آوردن شاخص خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. برای ارزیابی تداوم خشکسالی از روش توالی خشکسالی‌ها بهره‌گیری شده است. به این منظور یک دوره آماری بیست‌ساله از سال ۷۳-۹۳ در نظر گرفته شد. شاخص‌های مذکور براساس جدول ۱ امتیازدهی گردیدند و در نهایت با استفاده از معادله ۱ نقشه معیار اقلیم حاصل از میانگین هندسی سه شاخص مذکور به دست آمد. به هر لایه براساس تأثیر آن در بیان‌زایی با توجه به بررسی منابع و استناد به کار سایر محققین و با توجه به شرایط منطقه وزنی بین ۱ تا ۴ داده شد. طوری که ارزش ۱، بهترین و ارزش ۴ بدترین بوده است (زهتابیان و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۱. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار اقلیم در مدل IMDPA

شاخص	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزیابی	امتیاز	۱-۱/۵	۱/۵۱-۲/۵	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
بارش سالانه		>۲۸۰	۱۵۰-۲۸۰	۷۵-۱۵۰	<۷۵
شاخص خشکی		>۱۸۰	۱۲۰-۱۵۰	۹۰-۱۲۰	۰-۹۰
شاخص خشکسالی		۳-۴ سال	۵-۶ سال	۶-۷ سال	>۷ سال

معیار آب

جهت بررسی وضعیت کیفیت آب منطقه شمیل- تخت شاخص‌های CL، EC، SAR انتخاب گردید. در ابتدا با توجه به اطلاعات موجود، موقعیت کلیه چاه‌های موجود در منطقه ترسیم گردید. سپس به منظور شناخت وضعیت کیفی آب و بررسی افت سفره با توجه به اطلاعات موجود اقدام به مطالعه گردید. جهت محاسبه شیوه آبیاری با توجه به بازدید صحرایی و پرسش از کاربران اراضی استفاده شد. شاخص‌های مذکور براساس جدول ۲ امتیازدهی گردیدند و در نهایت نقشه شدت بیان‌زایی معیار آب براساس معادله ۱ به دست آمد.

جدول ۲. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار آب در مدل IMDPA

شاخص	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزیابی	امتیاز	۱-۱/۵	۱-۵۱-۲/۵	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
SAR		<۱۵	۱۵-۲۶	۲۶-۳۲	>۳۲
EC		<۷۵۰	۷۵۰-۲۲۵۰	۲۲۵۰-۵۰۰۰	>۵۰۰۰
cl		<۵۰۰	۵۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	>۳۰۰۰
افت آب زیرزمینی		<۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۵۰	>۵۰
سیستم آبیاری	تحت فشار	ستنی مدرنیزه	ستنی بدون طراحی بهینه	ستنی با طراحی بهینه	ستنی بدون طراحی بهینه

¹ Wet Days

معیار خاک

برای دستیابی به نقشه کیفیت خاک در محدوده مورد مطالعه چهار شاخص عمق خاک، بافت خاک، درصد سنگ و سنگریزه سطحی و میزان هدایت الکتریکی خاک در نظر گرفته شد و براساس جدول ۳ امتیازدهی شدند. برای دستیابی به مشخصات فیزیکی-شیمیایی خاک‌ها، از افق‌های ژنتیکی ۹ پروفیل تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد و پارامترهای هدایت الکتریکی، بافت خاک و درصد سنگ و سنگریزه اندازه‌گیری شد و در نهایت معیار خاک از میانگین هندسی چهار شاخص مذکور براساس معادله ۱ به دست آمد.

جدول ۳. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار خاک در مدل IMDPA

شاخص	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزیابی	امتیاز	۱-۱/۵	۱-۵۱-۲/۵	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
عمق مؤثر		>۸۰	۸۰-۵۰	۵۰-۲۰	<۲۰
بافت خاک		رسی-رسی شنی-سیلتی رسی	سیلتی لومی-لومی-سیلتی رسی لومی-شنی رسی لومی	شنی لومی-شنی لومی	شنی، رس < ۶۰٪
سنگ و سنگریزه		<۱۵	۳۵-۱۵	۶۵-۳۵	>۶۵
هدایت الکتریکی		<۴	۸-۴	۱۶-۸	>۱۶

معیار فرسایش بادی

برای دستیابی به نقشه معیار فرسایش بادی در محدوده مورد مطالعه سه شاخص شدت فرسایش، تراکم پوشش‌زنده و غیرزنده در سطح خاک و شاخص روزهای طوفانی گردو خاک در نظر گرفته شد و براساس جدول ۴ امتیازدهی شدند. برای دستیابی به مشخصات شدت فرسایش، از مدل‌های تجربی اریفر ۱ و ۲ استفاده شد. به منظور تعیین تأثیر عوامل مربوط به پوشش‌زنده در حفاظت خاک از روش اندازه‌گیری به وسیله ترانسکت و پلات در هر تپه‌ای از پوشش گیاهی استفاده شد و برای پوشش غیرزنده از ۱۰ پلات ۱*۱ استفاده شد. همچنین برای شاخص تعداد روزهای طوفانی همراه با گردو خاک از فرمول DSI براساس رابطه ۴ استفاده شد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹).

$$\text{رابطه (۴)} \quad 20 / (\text{تعداد روزهایی با دید بیشتر از } 1000 + \text{تعداد روزهایی با دید بین } 200 - 1000 + \text{تعداد روزهایی با دید کمتر از } 200 * 5) = \text{DSI}$$

شاخص‌های مذکور براساس جدول ۴ امتیازدهی گردیدند و در نهایت با استفاده از معادله ۱ نقشه معیار فرسایش بادی حاصل از میانگین هندسی سه شاخص مذکور به دست آمد.

جدول ۴. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار فرسایش بادی در مدل IMDPA

شاخص	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزیابی	امتیاز	۱-۱/۵	۱-۵۱-۲/۵	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
تعیین شدت فرسایش		بدون آثار و اشکال فرسایش بادی و آشفستگی خاک در طول سال	دارای آثار بادبردگی محدود در سطح خاک -سطوح شلجمی و پراکنده -تشکیل سنگفرش بیابان تراکم	-پهنه ماسه‌ای -کلوتک پراکنده -شلجمی متراکم تشکیل سنگفرش کم تراکم	-تپه ماسه‌ای فعال -کلوتک‌های متراکم و نزدیک به هم
درصد پوشش زنده غیرزنده		۸۰ < MC ۴۰ < PC	۴۰ < MC < ۸۰ ۲۰ < PC < ۴۰	۲۰ < MC < ۴۰ ۲۰ < PC < ۴۰	MC < ۲۰ PC < ۱۰
تعداد روزهای طوفانی		<۱۰	۳۰-۱۰	۶۰-۳۰	>۶۰

جدول ۵. توزیع فراوانی کلاس‌های شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی

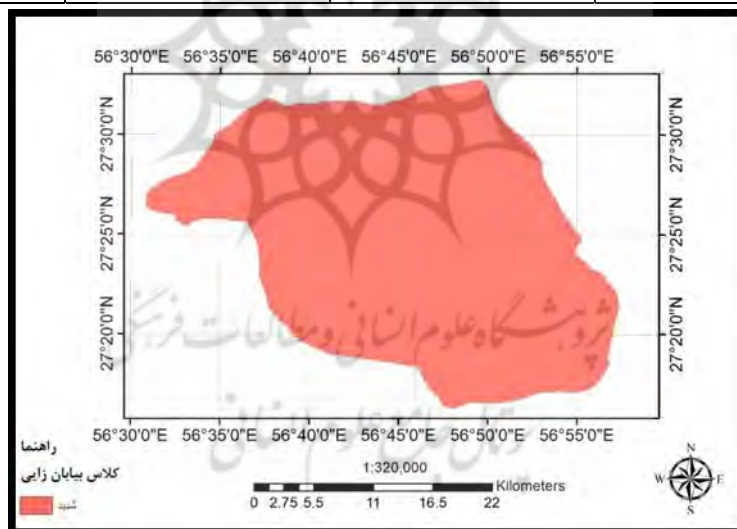
دامنه ارزش عددی	علامت	طبقه‌بندی کیفی شدت بیابان‌زایی
۱/۵-۱	۱	ناچیز و کم
۲/۵-۱/۵۱	۲	متوسط
۳/۵-۲/۵۱	۳	شدید
۴-۳/۵۱	۴	بسیار شدید

نتایج

بررسی‌های انجام‌شده بر روی متوسط وزنی ارزش‌های کمی عوامل مؤثر بر معیار اقلیم نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه شاخص خشکسالی با کلاس شدید، بسیار شدید و شاخص خشکی با کلاس شدید مؤثرترین عامل در افزایش بیابان‌زایی منطقه می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان جدول ۶ را برای کلیه شاخص‌های مؤثر بر اقلیم ارائه نمود. شکل ۳ نشان‌دهنده وضعیت معیار اقلیم منطقه می‌باشد. معیار اقلیم برای کل منطقه در کلاس شدید قرار دارد.

جدول ۶. متوسط وزنی ارزش کمی شاخص‌های مؤثر در اقلیم

ردیف	شاخص	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
۱	میزان بارش	۲/۵	متوسط
۲	خشکسالی	۳/۷-۳	شدید- بسیار شدید
۳	شاخص خشکی	۳/۵-۳	شدید

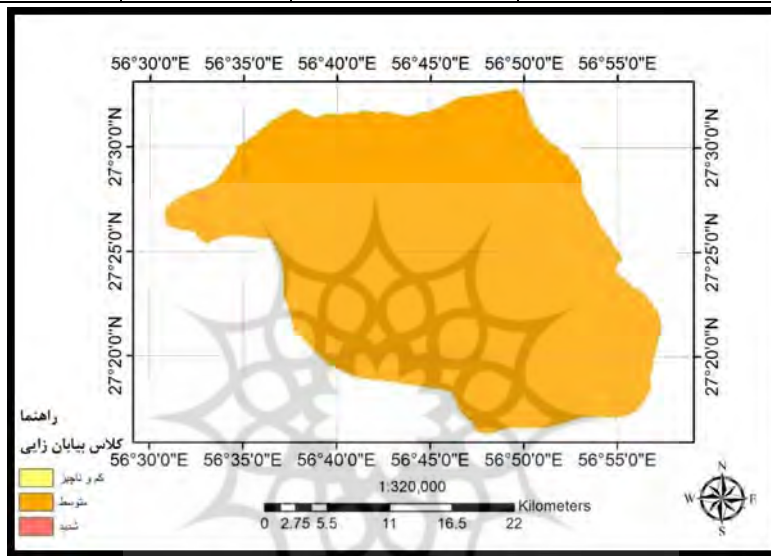


شکل ۳. نقشه وضعیت اقلیم منطقه مطالعاتی

بررسی انجام‌شده بر روی متوسط وزنی ارزش‌های کمی شاخص مؤثر بر تخریب آب نشان می‌دهد که در بین پنج شاخص مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه شاخص هدایت الکتریکی، سیستم آبیاری و افت آب زیرزمینی بیشترین نقش را در بیابان‌زایی و افزایش کلاس تخریب آب دارد. به‌طور کلی می‌توان جدول ۷ را برای کلیه شاخص‌های مؤثر بر آب ارائه نمود. شکل ۴ نشان‌دهنده وضعیت آب منطقه می‌باشد. ۰/۰۸ درصد از کل منطقه در کلاس کم و ناچیز، ۹۹/۹ درصد از منطقه در کلاس متوسط و ۰/۰۲ درصد در کلاس شدید قرار گرفته است.

جدول ۷. متوسط وزنی ارزش کمی شاخص‌های مؤثر در آب

ردیف	شاخص	متوسط ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
۱	هدایت الکتریکی $\mu\text{mho/cm}$	۴۸۷۸ - ۸۹۰	متوسط-شدید
۲	میزان کلر mg/lit	۶۳	تغییر غیرقابل ملاحظه
۳	میزان SAR	۲۰	متوسط
۴	فت آب زیرزمینی (سانتی متر در سال)	۲۲۲-۲	ناچیز-بسیار شدید
۵	سیستم آبیاری	سنتی مدرنیزه - سنتی با طراحی بهینه	متوسط-شدید

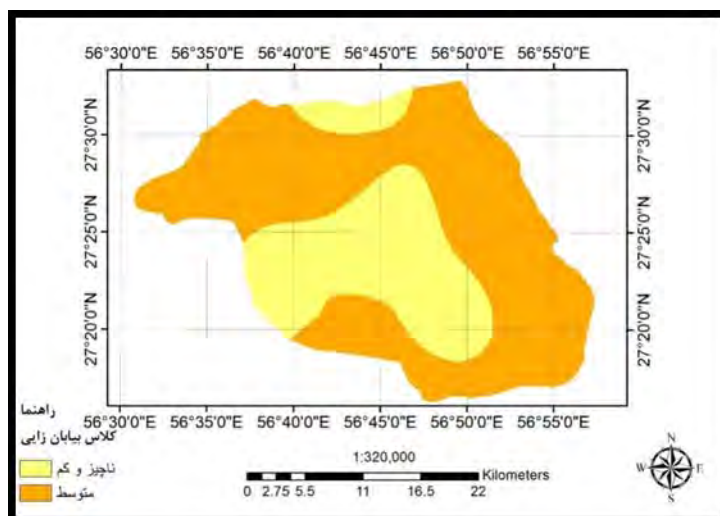


شکل ۴. نقشه وضعیت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی

بررسی انجام شده بر روی متوسط وزنی ارزش‌های کمی شاخص‌های مؤثر بر تخریب خاک نشان می‌دهد که در بین چهار شاخص مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه شاخص بافت خاک بیشترین نقش را در بیابان‌زایی و افزایش کلاس تخریب خاک دارد. به‌طور کلی می‌توان جدول ۸ را برای کلیه شاخص‌های مؤثر بر خاک ارائه نمود. شکل ۵ نشان‌دهنده وضعیت خاک منطقه می‌باشد. معیار خاک برای کل منطقه $33/74$ درصد در کلاس ناچیز و کم و $66/26$ درصد در کلاس متوسط قرار دارد.

جدول ۸. متوسط وزنی ارزش کمی شاخص‌های مؤثر در خاک

ردیف	شاخص	متوسط ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
۱	عمق مؤثر خاک (سانتی متر)	۱۲۰	کم
۲	بافت خاک	شنی لومی - لومی شنی	شدید
۳	سنگ و سنگریزه (درصد)	۲۰ درصد	متوسط
۴	هدایت الکتریکی (ds/m)	۱/۸۸	کم

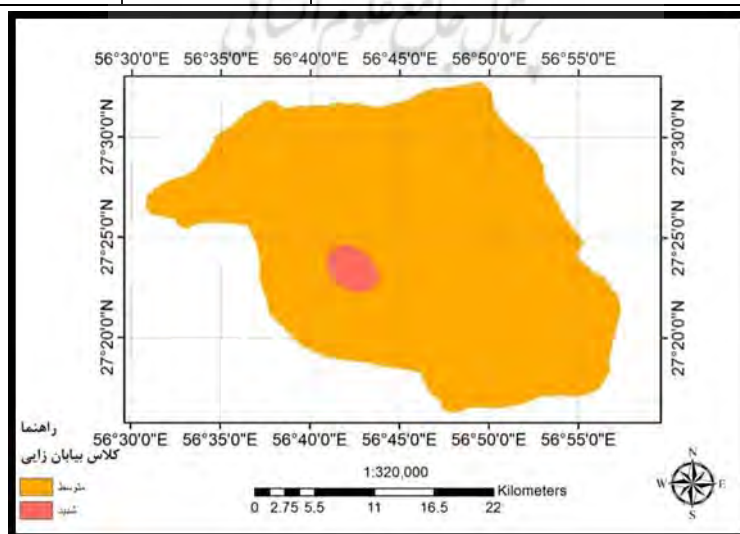


شکل ۵. نقشه وضعیت خاک منطقه مطالعاتی

بررسی انجام شده بر روی متوسط وزنی ارزش‌های کمی شاخص‌های مؤثر بر فرسایش بادی نشان می‌دهد که در بین سه شاخص مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه شاخص درصد پوشش زنده و غیرزنده در سطح خاک (MC, PC) بیشترین نقش را در بیابان‌زایی و افزایش کلاس دارد. به‌طور کلی می‌توان جدول ۹ را برای کلیه شاخص‌های مؤثر بر فرسایش بادی ارائه نمود. شکل ۶ نشان‌دهنده وضعیت فرسایش بادی منطقه می‌باشد. معیار فرسایش بادی برای بیشتر منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی و تنها ۴٪ از منطقه در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار دارد.

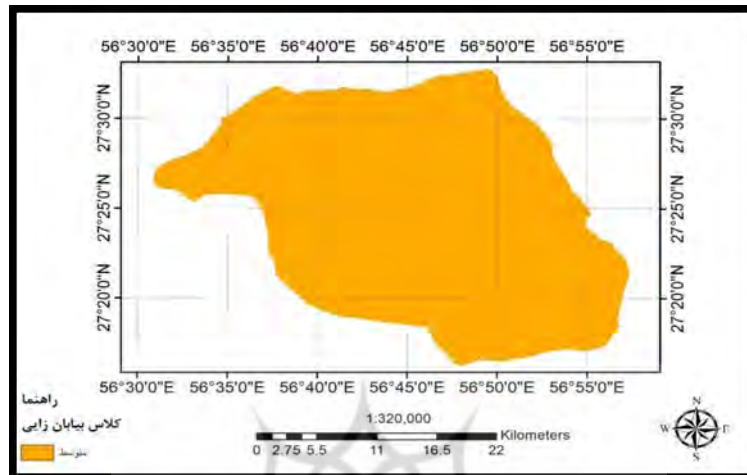
جدول ۹. متوسط وزنی ارزش کمی شاخص‌های مؤثر در فرسایش بادی

ردیف	شاخص	متوسط ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
۱	تعیین شدت فرسایش (امتیاز مدل فرسایش بادی اریفر IRIFR و E.A و ۲)	۳-۲	متوسط-شدید
۲	درصد پوشش غیرزنده (سنگریزه بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) در سطح خاک (MC) و درصد پوشش گیاهی (PC)	۳/۷-۲	متوسط - بسیار شدید
۳	تعداد روزهای طوفانی با شاخص گردو خاک (DSI)	۱۸	متوسط



شکل ۶. نقشه وضعیت فرسایش بادی منطقه مطالعاتی

برای دستیابی به نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی محدوده، از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی چهار معیار آب، اقلیم، خاک و فرسایش‌بادی براساس رابطه ۲ محاسبه شد و در محیط ARC MAP از طریق روش Raster calculator نقشه نهایی وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه به دست آمد و براساس جدول ۵ امتیازدهی شد (شکل ۷). پس از انجام محاسبه، منطقه مورد مطالعه با ارزش عددی ۱/۹ تا ۲/۳ در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفت



شکل ۷. وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

این مدل بر پایه روش مدالوس تدوین شده است و مزایای خاص این روش چون استفاده محدودتر از نظرات کارشناسی (در مقایسه با سایر روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی)، استفاده از میانگین هندسی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در سطوح مختلف ارزیابی موجب افزایش دقت و صحت ارزیابی می‌شود. مدل، انعطاف‌پذیری لازم جهت انطباق با شرایط ویژه هر منطقه به شکل افزودن، حذف، تغییر حدود امتیازدهی شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی را دارا می‌باشد (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۷). روش پیشنهادی با در نظر گرفتن شاخص‌های مناسب و تعداد نسبتاً کافی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب و به علت سادگی و مرحله‌ای بودن آن، روش خاص وزن دادن به شاخص‌ها، کالیبره شدن آن برای شرایط ایران روش مناسبی است و می‌تواند در مناطق مشابه مورد مطالعه، برای تعیین شدت تخریب یا بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گیرد و در صورت لزوم شاخص‌ها و کلاس‌های آن اصلاح گردد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰). تجزیه و تحلیل انجام شده بر روی متوسط وزنی ارزش‌های کمی عوامل مؤثر بر معیارها نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه عوامل اقلیمی بیشترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه ایفا می‌کند که به ترتیب شاخص خشکسالی و خشکی مؤثرترین شاخص‌ها در افزایش شدت بیابان‌زایی دشت شمیل - تخت هستند. میانگین متوسط وزنی معیار اقلیم ۲/۸ بوده که صد درصد منطقه از لحاظ معیار اقلیم در کلاس شدید بیابان‌زایی طبقه‌بندی می‌گردد. پس از معیار اقلیم، معیار فرسایش‌بادی با متوسط وزنی ۲/۳ در رتبه بعدی قرار دارد. بررسی انجام شده بر روی متوسط هندسی ارزش‌های کمی شاخص‌های بیابان‌زایی مورد بررسی نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های خشکسالی با ارزش عددی ۳-۳/۷، خشکی با ارزش عددی ۳-۳/۵، بافت خاک با ارزش عددی ۳/۳، درصد پوشش‌زنده و غیرزنده در سطح خاک با ارزش عددی ۲-۳/۷، مقدار بارش سالانه با ارزش عددی ۲-۳/۱، شدت فرسایش بادی با ارزش عددی ۲-۳، افت آب با ارزش عددی ۱-۳/۹، هدایت الکتریکی آب با ارزش عددی ۲/۲-۲/۹ و سیستم آبیاری با ارزش عددی ۲-۲/۹ بیشترین درصد وزنی را به خود اختصاص داده‌اند و شاخص عمق مؤثر، هدایت الکتریکی خاک، میزان کلر، SAR و درصد سنگ و سنگریزه کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند.

براساس نقشه وضعیت بیابان‌زایی منطقه، ارزش عددی منطقه بین ۱/۹ تا ۲/۳ قرار گرفت و در مجموع کل منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفت. با مطالعات میدانی و بازدید صحرایی انجام‌شده و قرار گرفتن منطقه در اقلیم خشک، روش ارزیابی مذکور برای منطقه مورد مطالعه مناسب و از کارایی خوبی برخوردار می‌باشد.

نتیجه مذکور با نتیجه مبنی و همکاران (۱۳۹۴)، که در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی وضعیت بالفعل بیابان‌زایی، با تأکید بر معیار آب، اقلیم و خاک با استفاده از مدل IMDPA در منطقه دشت عباس معیار اقلیم بالارزش عددی ۲/۶ مؤثرترین معیار در افزایش شدت بیابان‌زایی منطقه دانسته‌اند همسویی دارد. همچنین براساس مشاهدات انجام‌شده ارزش کمی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه در طبقه متوسط قرار گرفته است. لازم به ذکر است که سایر تحقیقات انجام‌گرفته در رابطه با تعیین شاخص‌ها و معیارهای مربوط به هر منطقه و ارزیابی شدت بیابان‌زایی آن‌ها در ایران می‌توان به تحقیق بحرینی و همکاران (۱۳۹۱) اشاره نمود. در تحقیق خود به اولویت‌بندی تخریب اراضی با استفاده از مدل IMDPA در منطقه بردخون بوشهر با تأکید بر معیار اقلیم و فرسایش بادی به این نتیجه رسیدند که شاخص خشکی از معیار اقلیم و شاخص تراکم پوشش غیرزنده از معیار فرسایش بادی مهم‌ترین عواملی بودند که سبب فرآیند بیابان‌زایی در منطقه شده‌اند. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیق خود با عنوان ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با تأکید بر چهار معیار اقلیم، خاک، فرسایش بادی و پوشش گیاهی معیار فرسایش‌بادی را مؤثرترین عامل در افزایش بیابان‌زایی منطقه دانستند.

الرئسی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی با عنوان ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در مناطق بیابانی ساحلی معیار خاک را مؤثرترین عامل در بیابان‌زایی منطقه دانستند. بنابراین مشخص می‌شود معیار غالب در مناطق مختلف بسته به شرایط محیط متفاوت می‌باشد و در نتیجه روش پیشنهادی مانند اکثر روش‌های تعیین بیابان‌زایی، منطقه‌ای بوده و براساس شرایط منطقه مورد مطالعه، معیارها و شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی متفاوت می‌باشد.

وجود تعداد نسبتاً کافی از معیارها و شاخص‌های منطبق با شرایط منطقه موجب گردیده است تا برآورد دقیقی از شدت و وضعیت بیابان‌زایی منطقه صورت گیرد. به عبارت دیگر با مطالعه معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی، شدت بیابان‌زایی و اشکال آن میسر می‌گردد که در این تحقیق به آن توجه شده است این در حالی است که بدون در نظر گرفتن این پارامترها نمی‌توان برآورد دقیقی از بیابان‌زایی منطقه انجام داد.

البته این مدل دارای نقص اساسی می‌باشد و آن این است که در نقشه بیابان‌زایی تهیه‌شده، پس از ضرب معیارها در یکدیگر، تأثیر مناطق با بیابان‌زایی بسیار ناچیز و یا مناطق با بیابان‌زایی بسیار شدید از بین می‌رود، و نقشه نهایی بیابان‌زایی حاصل از ضرب معیارها از جنبه مدیریتی چندان کاربردی ندارد (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین از دیگر مشکلات مدل مذکور این است که در ارزش‌گذاری شاخص‌ها، تنها ارزش مطلق هر شاخص در نظر گرفته می‌شود و اولویت آن‌ها نسبت به هم در ایجاد شرایط بحرانی در نظر گرفته نمی‌شود که این امر منجر به دستیابی نتایج غیرواقعی می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین پیشنهاد می‌شود که به منظور برآورد درجه اهمیت و اولویت معیارها به صورت سیستماتیک و نظام‌مند و با در نظر گرفتن تمامی عوامل مؤثر در انتخاب معیارها و شاخص‌های بهینه از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شود و بعداً آن به ارزیابی پرداخته شود و این مدل از این لحاظ نسبت به مدل IMDPA دارای مزیت می‌باشد (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۱).

منابع

- آرامی، ع.، م. اونق، و. شیخ. ۱۳۹۳. ارزیابی خطر بیابان‌زایی با مدل ۹ معیاری IMDPA در منطقه نیمه‌خشک آق‌بند، استان گلستان، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد بیست و یکم، شماره دوم: ۱۵۳-۱۷۲.

- الرئیس، ع.، غ. ر. زهتابیان، ح. احمدی، ح. خسروی، م. دستورانی، ۱۳۹۱. ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در مناطق بیابانی ساحلی با استفاده از معیارهای بیوفیزیک مدل *IMDPA* (بررسی موردی: منطقه کهیر کنارک، چابهار)، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۷: ۴۳-۵۱.
- بحرینی، ف.، ا. پهلوانروی، ع. ر. مقدم نیا، غ. ر. راهی. ۱۳۹۱. اولویت‌بندی مکانی تخریب اراضی با استفاده از مدل بیابان‌زایی *IMDPA* با تأکید بر فرسایش بادی و اقلیم (مطالعه موردی: منطقه بردخون بوشهر)، نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۴: ۸۹۷-۹۰۷.
- بخشنده مهر، ل.، س. سلطانی، ع. سپهر. ۱۳۹۱. ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اصلاح مدل مدالوس در دشت سگزی اصفهان، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۲، شماره ۱: ۲۸-۴۱.
- پهلوانروی، ا.، ع. ر. مقدم نیا، ز. هاشمی، م. ر. جوادی، ع. میری. ۱۳۹۱. ارزیابی شدت بیابان‌زایی با معیار فرسایش بادی با استفاده از مدل‌های *FAO-UNEP* و *MICD* در منطقه زهک سیستان، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران جلد ۱۹، شماره ۴: ۶۲۴-۶۳۹.
- حبیبی پور، ا.، ح. اکبری و ع. طالبی. ۱۳۹۳. بررسی وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از مدل *IMDPA* با تأکید بر معیار فرسایش آبی و بادی (مطالعه موردی: بهاباد استان یزد)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی سال ۲۵، پیاپی ۵۴، شماره ۲: ۱۵۱-۱۶۸.
- حسینی، س. م.، ح. قره داغی، ا. امیری. ۱۳۸۹. ارزیابی و تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس تغییر یافته (مطالعه موردی: سیستان)، مجله اکولوژیکی گیاهی، سال دوم: ۸۶-۱۰۱.
- خسروی، ح. ۱۳۸۳. کاربرد مدل مدالوس در بررسی بیابان‌زایی منطقه کاشان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران: ۱-۱۳۶.
- ذوالفقاری، ف.، ع. ر. شهریاری، ا. فخریه، ع. ر. راشکی، س. نوری، ح. خسروی، ۱۳۹۰. ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل *IMDPA*، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۱: ۹۷-۱۰۷.
- زهتابیان، غ.، ر.، ح. خسروی و ر. مسعودی. ۱۳۹۳. مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی، انتشارات دانشگاه تهران: ۱-۲۵۸.
- زهتابیان، غ. ر. احمدی، ح. اختصاصی. م، ر و خسروی، ح. ۱۳۸۷. واسنجی مدل مدالوس جهت ارائه یک مدل منطقه‌ای برآورد شدت بیابان‌زایی در منطقه کاشان، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۶۰، شماره ۳: ۷۲۷-۷۴۴.
- سیلاخوری، ا.، م. اونق و ا. سعیدالدین. ۱۳۹۳. ارزیابی و خطر ریسک بیابان‌زایی منطقه سبزوار با استفاده از مدل *MICD*، دوفصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت بهران، شماره پنجم: ۸۹-۹۹.
- شکوهی، ا.، غ. ر. زهتابیان، و ع. طویلی، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی وضعیت بیابان‌زایی منطقه خضرآباد- اله آباد دشت یزد با استفاده از مدل *IMDPA* و با تأکید بر معیارهای آب‌وخاک، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۵، شماره ۴: ۵۱۷-۵۲۸.
- صادقی روش، م. ح.، غ. ر. زهتابیان و م. طهمورث، ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب‌پذیری زیست‌محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد)، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۶: ۷۵-۸۷.
- فتاحی، م. م.، م. درویش، ح. ر. جاویدکیا، س. م. ادنانی. ۱۳۸۹. ارزیابی و تهیه نقشه خطر کل بیابان‌زایی با روش فائو-یونپ (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قمرود)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۴: ۵۷۵-۵۸۸.

- مصباح‌زاده، ط.، ح. احمدی، غ. ر. زهتابیان، ف. سرمیدیان، ف. مقیمی نژاد. ۱۳۸۹. واسنجی مدل *IMDPA* با توجه به معیارهای زمین به‌منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برآورد شدت بیابان‌زایی (مطالعه موردی: ابوزید کاشان)، نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۶ شماره ۳: ۴۶۹-۴۷۶.
- ممبئی، م.، ع. کرمانشاهی، پ. گرای، ف. آزادنی، ح. خسروی. ۱۳۹۴. ارزیابی وضعیت بالفعل بیابان‌زایی با تأکید بر معیار آب، اقلیم و خاک با استفاده از مدل *IMDPA* (مطالعه موردی: دشت عباس)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و خاک، سال نوزدهم، شماره ۷۲: ۳۴۹-۳۵۹.
- ناطقی، س.، غ. ر. زهتابیان، ح. احمدی. ۱۳۸۸. ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سگزی با بهره‌گیری از مدل *IMDPA*، مجله مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، دوره ۶۲ شماره ۳: ۴۱۹-۴۳۰.
- هنردوست، فرهاد، اونق، مجید، بردی شیخ، واحد. ۱۳۹۰. ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی دشت صوفیکم- منگالی در شمال غربی استان گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک جلد هجدهم، شماره سوم: ۲۱۳-۲۱۹.
- Diallo, Hama Arba., 2001. *On the occasion of a Conference on Desertification at the Ciudad de las Artes Ylas Ciencias- Valencia, Spain, 30 November (2007): 217-229.*
- Feoli, E., L. G. Vuerich and W. Zerihun. 2003. *Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socio-economic factors. Agriculture, Ecosystems and Environment 91:313-325.*
- Giordano L., Giordano, F., Grauso, S. and Ianntta, M., 2000, *Identification of areas sensitive to desertification in Sicily region, Capri, Italy, Sisil. 13(2010): 101-111*
- Salvati, L., A. Ferrara 2015. *Validation of MEDALUS Fire Risk Index using Forest Fires Statistics through a multivariate approach. Ecological Indicators 48 365-369.*
- Mohamed., Elsayed Said. 2013. *Spatial assessment of desertification in north Sinai using modified MEDALUS model. Arab J GeoSci. No6. Page: 4647-4659.*
- Rasmy, M., A. Gad, H. Abdelsalam and M. Siwailam. 2010. *A dynamic simulation model of desertification in Egypt, the Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences (NARSS), P.o. Box.1564, Alf. Maskan, Cairo, Egypt, Pages101-111.*
- Yang, X., K. Zhang and B. Ci. 2005. *Desertification assessment in China: An overview. Journal of Arid Environments 63: 517-531.*
- Xu, D.Y, Kang, X.W., Zhuang, D.F., and Pan, J.J. 2010. *Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification (a case study of the Ordos Plateau, China). Journal of Arid Environments (74): 498-507.*