

ارزیابی کمی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس اصلاح شده، مطالعه موردی: حوزه آبخیز شاهرود-بسطام

علیرضا عرب‌عامری^{۱*}، خلیل رضایی^۲، محمدحسین رامشت^۳ و مسعود سهرابی^۴

^۱ دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ^۲ استادیار رسوب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ^۳ استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، ^۴ کارشناس ارشد عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد ارومیه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۵

چکیده

امروزه بیابان‌زایی به‌عنوان یک مشکل اساسی، بیشتر کشورهای جهان به‌خصوص کشورهای در حال توسعه را تحت تأثیر قرار داده است. پدیده بیابان‌زایی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب رخ می‌دهد و باعث کاهش پتانسیل زمین می‌شود. در این پژوهش، از مدل مدالوس اصلاح شده به‌دلیل آسانی، در دسترس بودن داده‌ها و همچنین، سازگاری با شاخص‌های موثر در تخریب اراضی برای ارزیابی کمی خطر بیابان‌زایی در حوزه شاهرود بسطام استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا منطقه مطالعاتی به پنج واحد همگن تقسیم شد و از پنج معیار کیفیت خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، مدیریت، فرسایش و ۱۳ شاخص برای ارزیابی کمی بیابان‌زایی در واحدهای همگن استفاده شد. در ابتدا، لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌های مربوط به هر یک از معیارها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس، هر یک از شاخص‌ها بر اساس روش مدالوس اصلاح شده امتیازدهی شدند و از میانگین هندسی شاخص‌های هر یک از معیارها، نقشه نهایی وضعیت هر معیار تهیه و از میانگین هندسی معیارها، نقشه حساسیت به بیابان‌زایی در هر واحد کاری تهیه شد. در نهایت، از تلفیق آن‌ها نقشه حساسیت بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد. طبق نتایج، معیارهای اقلیم و فرسایش، با متوسط وزنی ۱/۶۰۷ و ۱/۴۶۷ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته‌اند و در مقابل، پوشش گیاهی، با متوسط وزنی ۱/۳۷ دارای کمترین تأثیر بوده است. طبق نتایج، از کل منطقه مطالعاتی به مساحت ۷۷۳۷/۷۱ کیلومتر مربع ۴۰ درصد (۳۰۹۶/۳۱۱ کیلومتر مربع) در طبقه C3 و یا فرسایش بحرانی شدید قرار گرفت که نیازمند توجه بیشتر برای اعمال برنامه‌های مهار بیابان‌زایی است. نتایج این پژوهش، یک ابزار مدیریتی در دسترس برای تصمیم‌گیری در زمینه انتخاب مناطق دارای اولویت در زمینه مبارزه با بیابان‌زایی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تخریب زمین، حساسیت بیابان‌زایی، شاخص‌ها، مناطق خشک و نیمه‌خشک، میانگین هندسی

مقدمه

کشورهایست (Gargi و همکاران، ۲۰۱۵؛ Lahlaoui و همکاران، ۲۰۱۷). بیابان‌زایی مشتمل بر فرایندهایی است که در نتیجه عوامل طبیعی و عملکرد نادرست انسان ایجاد می‌شود (Masoudi و Joker، ۲۰۱۷) و در میان ۳۷ چالش مهم جهانی، به‌عنوان یکی از سه

در حال حاضر، بیابان‌زایی به‌عنوان یک معضل گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه می‌باشد. نتیجه این فرایندها، از بین رفتن منابع تجدید شونده در هر یک از این

* مسئول مکاتبات: alireza.ameri91@yahoo.com

همکاران (۲۰۱۶) و Lahlaoui و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد.

Taghipour-Javi و همکاران (۲۰۱۶) به تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی با استفاده از روش مدالوس در جنوب غرب ایران پرداخته‌اند. بدین منظور از معیارهای شاخص کیفیت خاک، شاخص کیفیت مدیریت، شاخص کیفیت اقلیم، شاخص کیفیت پوشش گیاهی و شاخص کیفیت آب کشاورزی استفاده کرده، به این نتیجه رسیدند که ۲۴ درصد از منطقه مطالعاتی دارای حساسیت بالا نسبت به بیابان‌زایی می‌باشد. Kadović و همکاران (۲۰۱۶)، به ارزیابی حساسیت زمین نسبت به بیابان‌زایی با استفاده از روش مدالوس در تپه‌های ماسه‌ای دلیلاتو در صربستان با استفاده از چهار معیار خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که ۵۶/۲۶ درصد از منطقه مطالعاتی در طبقه خطر بیابان‌زایی بحرانی قرار گرفته‌اند. Lahlaoui و همکاران (۲۰۱۷)، به ارزیابی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس در حوزه آبخیز اود در ماروکو با استفاده از معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و مدیریت پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که ۳۵ درصد از منطقه در طبقه حساسیت بالا قرار گرفته است. در ایران، Bakhshandehmehr و همکاران (۲۰۱۳)، به ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی در دشت سگری اصفهان با استفاده از روش مدالوس اصلاح شده پرداخته، بدین منظور از هفت معیار کیفی مشتعل بر اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، آب زیرزمینی، فرسایش بادی، فرسایش آبی و مدیریت و سیاست استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که دو درصد از مساحت منطقه در طبقه بیابان‌زایی متوسط، ۳۵ درصد در طبقه بیابان‌زایی شدید و ۶۳ درصد در طبقه بیابان‌زایی خیلی شدید قرار گرفته است و همچنین، معیارهای اقلیم و مدیریت و سیاست از مهمترین عوامل در ایجاد بیابان در منطقه مطالعاتی شناخته شده‌اند. Fozooni و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از روش مدالوس اصلاح شده به ارزیابی خطر بیابان‌زایی در دشت سیستان با استفاده از شش شاخص آب، اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که شاخص اقلیم با

چالش اصلی فراروی بشر در قرن ۲۱ پس از چالش‌های مهم تغییر اقلیم و کمیابی آب شیرین است (Petta و همکاران ۲۰۱۳). پدیده بیابان‌زایی در آینده بیش از ۷۸۵ میلیون نفر انسان ساکن در مناطق خشک را که معادل ۱۷/۷ جمعیت کل جهان است را تهدید می‌کند (Elsayed و همکاران، ۲۰۱۳). از این تعداد، بین ۶۰ تا ۱۰۰ میلیون نفر به‌طور مستقیم به‌علت کاهش حاصل‌خیزی اراضی و دیگر فرایندهای بیابان‌زایی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Lahlaoui و همکاران، ۲۰۱۵). بیابان‌زایی می‌تواند در همه شرایط اقلیمی به‌وقوع بپیوندد و همواره با تخریب خاک و منابع آب، پوشش گیاهی و دیگر منابع در شرایط تنش طبیعی و اکولوژیکی همراه است (Man، ۱۹۷۷؛ Babaev، ۱۹۹۹). آمار و گزارش‌ها نشان‌دهنده این موضوع است که سالانه حدود یک میلیون هکتار از اراضی کشور به سمت بیابانی شدن پیش می‌رود و گاهی برای نشان دادن عمق فاجعه آن را به‌صورت هکتار در ثانیه بیان می‌کنند. بنابراین، ملاحظه می‌شود که بخش‌هایی از کشور به اقتضای شرایط طبیعی از یک اکوسیستم بیابانی وسیع برخوردار است که در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و فعالیت‌های نادرست انسان سبب تشدید این پدیده شده است. در زمان حاضر، عوامل طبیعی، آن‌چنان نقشی در بیابان‌زایی ندارند. البته خشکسالی‌هایی که به‌وقوع می‌پیوندد، بیابان‌زایی را تشدید می‌کند ولی در ایران این عوامل انسانی هستند که بیشتر باعث بیابان‌زایی می‌شود. شاید مهمترین آن‌ها افزایش جمعیت باشد، به‌طوری که انسان را عامل اصلی تخریب اراضی و همچنین، مهمترین قربانی آن به شمار می‌برند. برای مثال، تخریب پوشش گیاهی، تخریب خاک و فرسایش، عناصر اصلی تخریب زمین در حوضه مدیرانه را تشکیل می‌دهند که تخریب ناشی از فعالیت‌های انسانی بیشتر از تأثیر آب و هوایی می‌باشد. در ارتباط با استفاده از مدل مدالوس در زمینه ارزیابی خطر فرسایش خندقی در ایران و خارج از کشور، می‌توان به تحقیقات Benabderrahmane و همکاران (۲۰۱۰)، Mokhtari و همکاران (۲۰۱۳)، Kadović و همکاران (۲۰۱۶)، Taghipour-Javi و

محیطی در مناطق عاری از پوشش گیاهی، جایی که امتیاز عوامل انسانی صفر است. این مسئله موجب می‌شود تا در این مناطق، تأثیر عوامل طبیعی در بیابان‌زایی و همین‌طور شدت بیابان‌زایی دو برابر برآورد شود (Mohajeri و Ekhtesasi، ۱۹۹۵). با توجه به حساسیت بالای منطقه به بیابان‌زایی و گسترش این پدیده طی سال‌های اخیر در این منطقه، ارزیابی این پدیده و شناسایی مناطق با حساسیت بیابان‌زایی بالا به‌منظور مقابله با آن ضروری می‌باشد. در این پژوهش، از مدل مدالوس اصلاح شده با توجه به کارایی بالای آن و همچنین، سازگاری آن با شاخص‌های موثر در تخریب اراضی برای ارزیابی کمی خطر بیابان‌زایی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی حوضه شاهرود-بسطام:

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوزه آبخیز شاهرود-بسطام می‌باشد که در شمال شهرستان شاهرود در استان سمنان، در دامنه‌های جنوبی و جنوب شرقی البرز شرقی واقع شده است. حوزه آبخیز شاهرود-بسطام زیرحوضه کویر نمک است. کویر نمک نیز با مساحت ۲۲۴۳۷۰ کیلومتر مربع زیرحوضه ایران مرکزی می‌باشد. حوضه ایران مرکزی سرزمین وسیعی با وسعت ۸۳۱۰۰۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود که از ویژگی‌های این حوضه گسترش کمینه‌ای شبکه‌های آبراهه‌ای به‌علت خشکی بالا است. حوزه آبخیز شاهرود-بسطام با مساحت ۷۷۳۷/۷۱ کیلومتر مربع در محدوده‌ای به عرض ۳۶ تا ۳۷ شمالی و طول ۵۴ تا ۵۷ شرقی گسترده شده است (شکل ۱).

روش پژوهش: مطالعات بررسی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه شامل سه مرحله است.

۱- مطالعات مقدماتی: این مطالعات شامل جمع‌آوری اطلاعات موجود در منطقه، نظیر اطلاعات خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی و ... و تهیه نقشه‌های مقدماتی و تفسیری و راهنمای آن‌ها می‌باشد. بر اساس گزارشات خاک-شناسی، اطلاعات بافت خاک، عمق خاک، شرایط زهکشی و درصد سنگ‌ریزه به‌دست آمد. نقشه شیب با استفاده از مدل رقومی ASTER با قدرت تفکیک

میانگین ۱/۹ و فرسایش بادی با میانگین ۱/۶۸ بیشترین تأثیر و در مقابل شاخص‌های خاک و آب کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته‌اند. Yaghmaeian Mahabadi و همکاران (۲۰۱۷)، به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر تخریب زمین با استفاده از روش مدالوس و مدالوس اصلاح شده در حوضه سیاهپوش استان اردبیل با استفاده از چهار معیار خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت و سیاست پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که معیارهای مدیریت و کیفیت اقلیم به‌ترتیب با متوسط وزنی ۱/۹۱ و ۱/۶۲ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند.

در این پژوهش، پس از بررسی روش‌های FAO-UNEP (Ekhtesasi و Ahmadi، ۲۰۰۴؛ FAO-UNEP، ۱۹۸۴)، ICD (Ekhtesasi و Mohajeri، ۱۹۹۵) و مدل مدالوس تغییر یافته (Ekhtesasi و Mohajeri، ۱۹۹۵) برای تهیه نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی در حوضه شاهرود-بسطام، مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. با این که روش FAO-UNEP یکی از مناسب‌ترین روش‌های ارزیابی شدت بیابان‌زایی است که تا کنون در جهان ارائه شده است، اما معایبی دارد که موجب می‌شود تا این روش در خیلی از کشورها از جمله در ایران چندان قابل استفاده نباشد. از معایب این روش می‌توان به ۱- عدم وجود اطلاعات کافی در کشورهای مختلف برای ارزیابی فرایندهای موجود. ۲- پیچیده بودن روش برای متخصصان اجرایی. ۳- عدم پذیرش قطعی آن در کشورهای مختلف. ۴- عدم تفکیک بیابان‌زایی طبیعی و انسانی. ۵- نادیده گرفتن شرایط خاص بیوم‌های منطقه خاورمیانه از جمله ایران (Ahmadi و Ekhtesasi، ۲۰۰۴) اشاره کرد. در روش ICD، وضعیت فعلی بیابان‌زایی از جمله امتیازهای عوامل انسانی، محیطی و شاخص‌های بیابان‌زایی حاصل می‌شود. این روش نیز اشکالاتی دارد که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

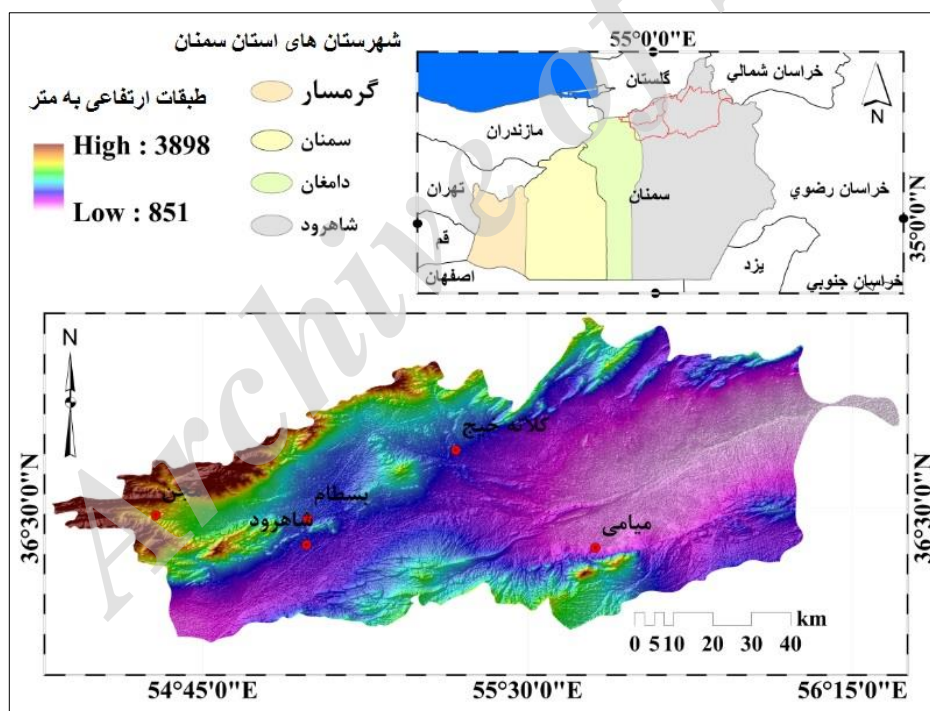
۱- ارزیابی و ارزش‌دهی به برخی از عوامل به‌صورت کاملاً کیفی انجام شده که دقت امتیازدهی را کاهش می‌دهد. ۲- دامنه امتیازهای عوامل موجود در این روش زیاد است، این مسئله موجب اختلاف نظر کارشناسان در هنگام ارزش‌دهی به این عوامل می‌شود. ۳- مشکل دیگر این مدل دو برابر کردن امتیاز عوامل

دما برای ماه نام (درجه سلسیوس)، pi بارندگی برای ماه نام (میلی‌متر)، و k برابر با نسبتی از ماه‌ها است که در آن ماه اختلاف دو برابر میانگین دمای ماهانه با بارش ماهانه بیش از صفر است. برای محاسبه معیار پوشش گیاهی از شاخص درصد پوشش گیاهی استفاده شد. بدین منظور مقادیر NDVI در منطقه مطالعاتی با استفاده از تصاویر لندست ۸ (تاریخ ۲۰۱۶/۰۴/۰۸ میلادی)، با استفاده از نرم‌افزار ENVI4.8 محاسبه شد، اعداد بزرگ‌تر از ۰/۱۱ به‌عنوان پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. برای تهیه نقشه معیار مدیریت اراضی بر اساس شدت کاربری اراضی و حساسیت‌های مدیریتی اعمال شده در منطقه مطالعاتی، با توجه به پیمایشات میدانی و مصاحبه با بومیان محلی و نقشه کاربری اراضی تهیه شد.

۳۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3 استخراج شد. برای تهیه نقشه بارندگی منطقه مطالعاتی از آمار ۳۰ ساله (از تاریخ ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ هجری شمسی) ۱۶ ایستگاه هواشناسی شامل مجن، فرحزاد، بسطام، بکران، ابر، شاهرود، جیلان، کوهان، چهل دختر پادگان، سعدآباد، میامی، شیرین چشمه، بکران، جهان‌آباد، چهل دختر و کارخانه سیمان شاهرود استفاده شد. برای تهیه نقشه بارندگی سالیانه و ماهیانه از روش درون‌یابی به روش کریجینگ استفاده شد. برای تهیه نقشه خشکی، ابتدا نقشه هم‌دما و هم‌بارش ماهیانه با استفاده از روش IDW برای هر ماه به‌صورت جداگانه ترسیم و در نهایت شاخص خشکی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$BGI = \sum_{i=1}^n (2i - p_i) \times k \quad (1)$$

که در آن، BGI شاخص خشکی بگنولد گوسن، ti



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شاهرود-بسطام

۲- مطالعات صحرائی: شامل موارد کنترل واحدهای کاری در صحرا و مقایسه آن‌ها با نقشه‌های تفسیری و تصحیح آن‌ها، بررسی رخساره‌های ژئومورفولوژیکی منطقه برای تهیه نقشه ژئومورفولوژیکی، بررسی کاربری اراضی و شدت آن در منطقه مورد مطالعه،

۳- مطالعات تکمیلی و نتیجه‌گیری: شامل الف) تعیین واحدهای کاری منطقه و تهیه نقشه آن بر اساس نقشه

۲- مطالعات صحرائی: شامل موارد کنترل واحدهای کاری در صحرا و مقایسه آن‌ها با نقشه‌های تفسیری و تصحیح آن‌ها، بررسی رخساره‌های ژئومورفولوژیکی منطقه برای تهیه نقشه ژئومورفولوژیکی، بررسی کاربری اراضی و شدت آن در منطقه مورد مطالعه،

شرایط آن منطقه به کار گرفته شود. به همین دلیل، در این پژوهش، بعضی از شاخص‌ها بر اساس شرایط خاص منطقه اصلاح شده است. در این پژوهش، برای بررسی عوامل بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس شده از پنج معیار خاک (شاخص‌های بافت، عمق خاک، شیب، مواد اولیه، درصد سنگ‌ریزه)، اقلیم (بارندگی و ضریب خشکی)، پوشش گیاهی (درصد پوشش گیاهی و میزان مقاومت در برابر فرسایش)، فرسایش (فرسایش آبی و بادی) و مدیریت (سیاست‌های اجرایی و شدت کاربری اراضی) استفاده شده است (جدول ۲).

هر کدام از این معیارها و شاخص‌ها با توجه به تأثیرشان در بیابان‌زایی و وزن اخذ شده در این رابطه طبقه‌بندی شده، در طبقه‌های مختلفی قرار می‌گیرند. به هر لایه بر اساس تأثیر آن در بیابان‌زایی با توجه به بررسی منابع و استناد به مطالعات سایر محققین و با توجه به شرایط منطقه وزنی بین یک تا دو داده شده، نحوه وزن‌دهی به صورت خطی و برابر است، به طوری که ارزش یک بهترین و ارزش دو بدترین وزن می‌باشد. در شاخص مقاومت در برابر فرسایش، از آن‌جا که گونه‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه با منطقه مدیترانه بر اساس مدل مدالوس متفاوت می‌باشد، میزان مقاومت گونه‌های بومی گیاهی نسبت به فرسایش به صورت نسبی از وزن یک تا دو داده شده است. دامنه بارندگی استفاده شده در مدل مدالوس با میزان بارندگی منطقه تطابق ندارد، به همین دلیل، برای بررسی این پارامتر در منطقه مورد مطالعه بر اساس بیشینه و کمینه بارندگی در واحدهای مختلف منطقه وزنی بین یک تا دو داده شده است. برای دقت کار، ابتدا در منطقه مطالعاتی، اقدام به تعیین واحد کاری شد. بعد از تعیین واحد کاری و بررسی شاخص‌ها و معیارها در هر کدام از واحدهای کاری، شاخص‌های هر کدام از معیارها طبق چارچوب اصلی مدل مدالوس وزن‌دهی شده، بر اساس میانگین هندسی به کار برده شده در مدل (رابطه ۲)، ترکیب و هم‌پوشانی (محاسبه معیارها در هر کدام از واحدهای کاری) می‌شود.

$$Index-x = \left\{ \begin{array}{l} (Layer-1) \cdot (Layer-2) \\ \dots \cdot (Layer-n) \end{array} \right\}^{1/n} \quad (2)$$

منابع و قابلیت اراضی موجود در موسسه تحقیقات خاک و آب کشور و همچنین، نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه که ملاک تهیه نقشه واحدکاری بر اساس عوامل توپوگرافی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و اقلیمی می‌باشد که بر این اساس منطقه مطالعاتی به پنج واحد کاری همگن تفکیک شد، (ب) بررسی خصوصیات خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، اقلیمی و مدیریتی هر کدام از واحدهای کاری برای بررسی معیارهای مدل مدالوس، (ج) طبقه‌بندی و وزن‌دهی هر کدام از معیارهای مورد نظر و شاخص‌های آن‌ها طبق مدل مدالوس در هر کدام از واحدهای کاری، (د) تهیه نقشه بیابان‌زایی هر کدام از معیارها در منطقه مورد مطالعه و در نهایت تلفیق و هم‌پوشانی نقشه‌های بیابان‌زایی معیارهای استفاده شده و تهیه نقشه نهایی حساسیت خطر بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه و در انتها (ه) تحلیل نقشه‌های بیابان‌زایی معیارها و نقشه نهایی حساسیت خطر بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه است.

مدل مدالوس^۱ اصلاح شده: این مدل به وسیله کمیسیون اروپا در سال ۱۹۹۹ تحت عنوان حساسیت محیطی مناطق به بیابان‌زایی ارائه شد. این مدل با هدف انجام دادن بررسی‌های پایه‌ای در تخریب اراضی (از بین رفتن خصوصیات فیزیکی خاک از طریق فرسایش آبی) کشورهای مدیترانه‌ای در سال ۱۹۹۰ به وسیله کمیسیون اروپا پیشنهاد شد. این روش دارای مزایای بیشتری نسبت به دیگر روش‌های ارائه شده برای ارزیابی بیابان‌زایی می‌باشد و آن دقت بیشتر این مدل برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی است. در روش مدالوس اصلی به منظور پهنه‌بندی حساسیت محیطی مناطق به بیابان‌زایی از ۱۵ شاخص در غالب چهار معیار کیفیت اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و مدیریت استفاده می‌شود (جدول ۱).

با توجه به این‌که عوامل بیابان‌زایی و نوع و شدت آن در منطقه مورد مطالعه با مناطق دیگر متفاوت است، باید معیارها و شاخص‌های مدل با توجه به شرایط خاص منطقه مورد مطالعه اصلاح شود و متناسب با

¹ MEDALUS (Desertification and Land Use Mediterranean)

که در آن، $Index-x$ معیار مورد نظر، $Layer$ می‌باشد. بعد از محاسبه هر معیار، هر کدام از معیارها شاخص‌های هر معیار و N تعداد شاخص‌های هر معیار بر پایه جدول ۲، طبقه‌بندی شدند.

جدول ۱- شاخص‌های استفاده شده در مدل مدالوس برای پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی

شاخص	معیار
بافت خاک، زهکشی، شیب به درجه، عمق خاک به سانتی‌متر و سنگ‌ریزه سطحی	کیفیت خاک
شاخص خشکی بگنولد-گوسن، بارندگی سالیانه و جهت شیب	کیفیت اقلیم
درصد پوشش، مقاومت به خشکسالی، حفاظت خاک در برابر فرسایش، خطر آتش‌سوزی	کیفیت پوشش گیاهی
شدت کاربری اراضی و سیاست‌های اجرایی	کیفیت مدیریت اراضی

جدول ۲- شاخص‌های استفاده شده در مدل اصلاح شده مدالوس برای پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه

پارامتر	شاخص
بافت خاک، عمق، شیب، مواد اولیه، درصد سنگ‌ریزه	خاک
بارندگی و ضریب خشکی	اقلیم
درصد پوشش گیاهی و میزان مقاومت در برابر فرسایش	پوشش گیاهی
شدت کاربری اراضی و سیاست‌های اجرایی	مدیریت
فرسایش آبی و فرسایش بادی	فرسایش

جدول ۲- طبقه‌بندی و وزندهی معیارهای بیابان‌زایی به روش مدل مدالوس اصلاح شده (Kosmas, ۱۹۹۰)

دامنه	توضیح	طبقه	معیارها
۱/۰۳ - ۱/۲	کیفیت بالا	۱	خاک
۱/۲ - ۱/۵	کیفیت متوسط	۲	
۱/۵ - ۱/۷	کیفیت پایین	۳	
۱	نیمه مرطوب	۱	اقلیم
۱ - ۱/۴	نیمه خشک	۲	
۱/۴ - ۲	خشک	۳	
۱	کیفیت بالا	۱	پوشش گیاهی
۱ - ۱/۷	کیفیت متوسط	۲	
> ۱/۷	کیفیت پایین	۳	
۱	کیفیت بالا	۱	فرسایش
۱ - ۱/۴	کیفیت متوسط	۲	
۱/۴ - ۲	کیفیت پایین	۳	
۱ - ۱/۳	خوب	۱	مدیریت
۱/۳ - ۱/۵	متوسط	۲	
۱/۵ - ۱/۸	ضعیف	۳	

شود.

$$ESA = (SQI \times CQI \times VQI \times EQI \times MQI)^{1/5} \quad (3)$$

که در آن، SQI معیار خاک، CQI معیار اقلیم، VQI معیار پوشش گیاهی، EQI معیار فرسایش، MQI معیار مدیریت و ESA حساسیت محیطی به بیابان‌زایی می‌باشد.

با محاسبه معیارهای موثر در پدیده بیابان‌زایی و ترسیم نقشه بیابان‌زایی هر یک از معیارها (با استفاده از رابطه ۳)، این لایه‌ها با هم ترکیب شده که نقشه حساسیت خطر بیابان‌زایی تهیه می‌شود. در نهایت، نقشه تهیه شده از معیارها بر طبق جدول ۳ طبقه‌بندی شده، تا منطقه مورد مطالعه هم از نظر شدت خطر بیابان‌زایی و نوع بیابان‌زایی پهنه‌بندی

جدول ۳- انواع حساسیت محیطی به بیابان‌زایی و دامنه شاخص‌های تعیین شده

نوع خطر بیابان‌زایی	شدت خطر بیابان‌زایی	دامنه ESA
بحرانی (Critical)	زیاد (C3)	>۱/۵۳
بحرانی (Critical)	متوسط (C2)	۱/۴۳-۱/۵۳
بحرانی (Critical)	کم (C1)	۱/۳۸-۱/۴۳
شکندنه (Fragile)	شدید (F3)	۱/۳۳-۱/۳۸
شکندنه (Fragile)	متوسط (F2)	۱/۲۷-۱/۳۳
شکندنه (Fragile)	کم (F1)	۱/۲۳-۱/۲۷
Potential	P	۱/۱۷-۱/۲۳
Non affected	N	<۱/۱۷
استخرهای آب و مناطق شهری	U	.

نتایج و بحث

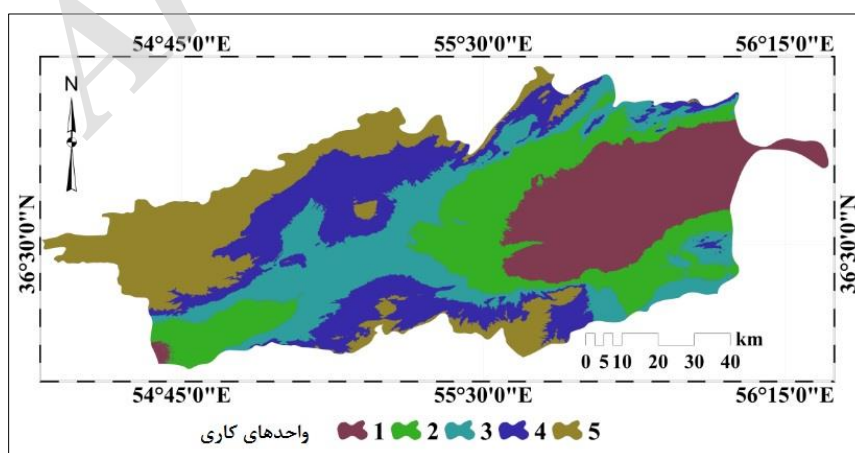
مواد حساس به فرسایش و کمترین تأثیر آن در واحد کاری ۴ به‌علت وجود خاک‌های عمیق تکامل‌یافته و حاصل‌خیز با شیب ملایم و بافت سنگین است. اقلیم منطقه مطالعاتی گرم و خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و کم باران می‌باشد. این خشکی به سمت جنوب شدیدتر شده به طوری که میزان بارندگی سالانه در واحد کاری ۱ به کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد.

نتایج ارزیابی معیار اقلیم در واحدهای کاری منطقه نشان داد که بیشترین تأثیر عامل اقلیمی در بیابان‌زایی منطقه، در واحد کاری ۱، با میانگین وزنی ۱/۸۸۵، که دارای بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر و ضریب خشکی ۲/۹، و کمترین تأثیر آن در واحد کاری ۴ است. این عامل بر اساس روش دومارتن محاسبه شده است.

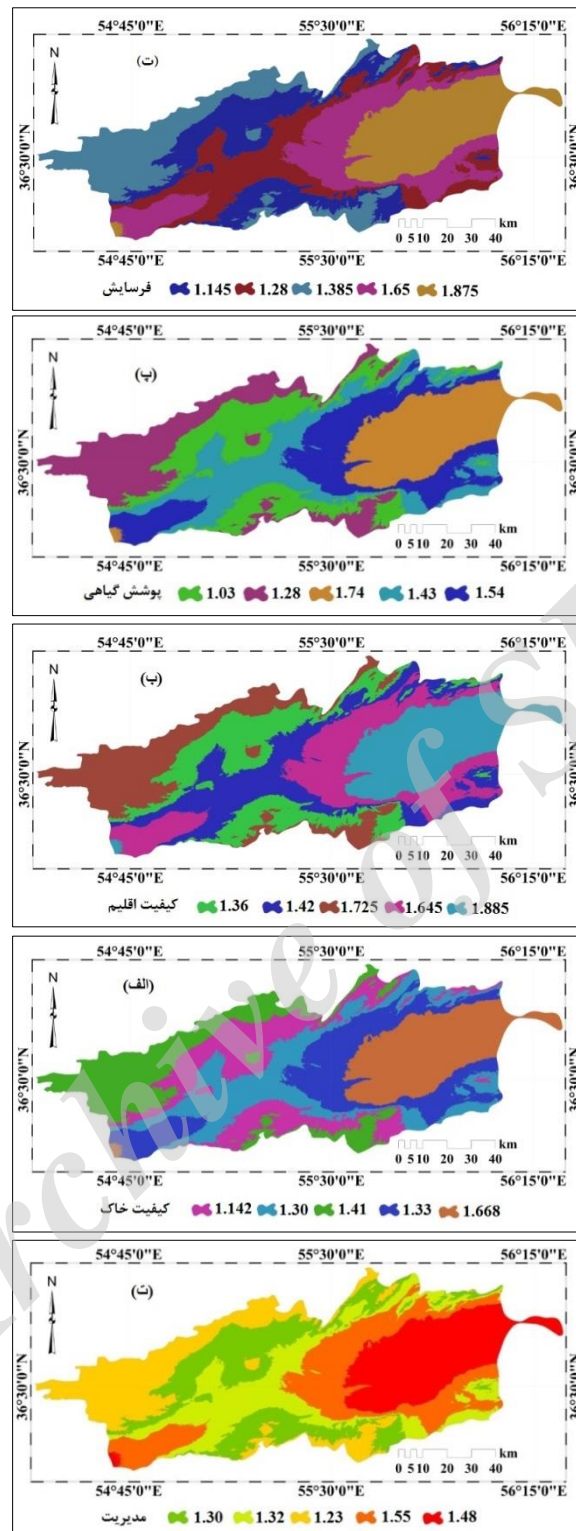
در پژوهش حاضر به‌منظور افزایش دقت کار، در ابتدا اقدام به تعیین واحدهای کاری شد و منطقه مورد مطالعه به پنج واحد همگن تقسیم‌بندی شد (شکل ۲). سپس، هر یک از معیارها و شاخص‌های آن‌ها برای هر یک از واحدهای همگن امتیازدهی شدند.

پس از امتیازدهی به هر یک از معیارها و شاخص‌های آن‌ها و محاسبه میانگین هندسی آن‌ها، نقشه‌های پنج معیار کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، پوشش گیاهی، مدیریت و فرسایش تهیه شد. در شکل ۳، نقشه معیارهای مورد استفاده و در جدول ۴، مقادیر متوسط وزنی هر یک از معیارها و شاخص‌های آن‌ها در هر یک از واحدهای کاری نشان داده شده است.

بر طبق جدول ۴، بیشترین تأثیر عامل خاک در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۱ به‌علت شیب کم و



شکل ۲- نقشه واحدهای کاری



شکل ۳- نقشه معیارهای مورد مطالعه در مدلوس اصلاح شده

بسیار اندک می‌باشد و کمترین آن در واحد کاری ۴ با میانگین وزنی $1/03$ است که به‌علت وجود خاک‌های تکامل یافته عمیق و حاصل‌خیز که عموماً تحت کشت زراعت آبی و باغات می‌باشد. این واحد تنها واحدی است که بیشتر از ۴۵ درصد پوشش گیاهی دارد. نتایج

نتایج ارزیابی معیار پوشش گیاهی در واحدهای کاری منطقه نشان داد که بیشترین تأثیر عامل پوشش گیاهی در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۱، با میانگین وزنی $1/74$ است، که به‌علت وجود خاک‌های شور با قلیائیت زیاد دارای پوشش گیاهی با تراکم

Abbasi و همکاران (۲۰۱۴)، Khanamani و همکاران (۲۰۱۳) و Yaghmaeian Mahabadi و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. Bakhshandemehr و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اصلاح مدل مدالوس در دشت سگزی اصفهان با استفاده از هفت پارامتر اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، آب زیرزمینی، فرسایش آبی، فرسایش بادی و مدیریت و سیاست پرداخته، به این نتیجه رسیدند که معیارهای اقلیم و مدیریت و سیاست از عوامل مهمی هستند که موجب فرایند بیابان‌زایی در این منطقه شده‌اند. Farajzadeh و Egbal (۲۰۰۷) به ارزیابی مدل مدالوس در تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی در دشت سگزی اصفهان پرداخته و به این نتیجه رسیدند که عامل اقلیم نقش مهمی در بیابان‌زایی دارد. Abbasi و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی کمی وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس و سامانه اطلاعات جغرافیایی در دشت شمیل در استان هرمزگان پرداخته، به این نتیجه رسیدند که معیار اقلیم بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه داشته است. Yaghmaeian Mahabadi و همکاران (۲۰۱۷) به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر تخریب اراضی با استفاده از مدل مدالوس در حوضه سیاهپوش استان اردبیل پرداخته، به این نتیجه رسیدند که معیارهای اقلیم و مدیریت بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته است. در مقابل، معیارهای خاک و پوشش گیاهی با کمترین وزن (۱/۳۷۱ و ۱/۳۷۸) کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند که با نتایج Yaghmaeian Mahabadi و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. نتایج حاصل از تأثیر شاخص‌های هر یک از معیارها در واحدهای کاری در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از این جدول، در واحد کاری ۱، شاخص میزان مقاومت در برابر فرسایش با بیشترین وزن (۱/۹۴) بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته است. در واحد کاری ۲، بارندگی (۱/۷۵) نسبت به دیگر شاخص‌ها تأثیر بیشتری در بیابان‌زایی داشته است. شاخص بارندگی در واحد کاری ۳ نیز با بالاترین امتیاز (۱/۵۴) بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی داشته است. در واحدهای کاری ۴ و ۵ نیز شاخص‌های شدت کاربری

ارزیابی معیار فرسایش در واحدهای کاری منطقه نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر عامل فرسایش به‌ویژه فرسایش بادی، در بیابان‌زایی منطقه، در واحد کاری ۱ با میانگین وزنی ۱/۸۷۵ و به‌علت شرایط آب و هوایی خشک و وزش بادهای شدید و همچنین، لخت بودن منطقه و حساسیت شدید خاک‌های منطقه به فرسایش وجود دارد و کمترین آن در واحدهای کاری ۴ با ارزش ۱/۱۴۵ می‌باشد که به‌علت پوشش گیاهی تراکم در منطقه است. بر طبق نتایج حاصل از معیار مدیریت، بیشترین تأثیر عامل مدیریت (انسانی) در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۲ با ارزش ۱/۵۵ می‌باشد. در این واحد، به‌دلیل تراکم زیاد جمعیت، اغلب اراضی مستعد کشاورزی تحت کشت وسیع کشاورزی و باغات بوده که بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را در پی داشته است. شیوه کشاورزی در این واحد، اغلب به‌صورت نظام‌های سنتی کشاورزی بوده که باعث از بین رفتن منابع خاک و آب شده‌اند. بهره‌برداری ناصحیح و بیش از حد از اراضی و مراتع به‌وسیله کشاورزان باعث از بین رفتن بقایای گیاهی در سطح خاک شده است. با از بین رفتن بقایای گیاهی سطح خاک و با بهره‌برداری بیش از حد از زمین‌های زراعی، فرسایش در منطقه تشدید شده است. کمترین تأثیر عامل مدیریت در بیابان‌زایی منطقه در واحد کاری ۵ بوده که به‌علت شرایط نامساعد اقلیمی دارای کمترین تراکم جمعیت می‌باشد. در این واحد کاربری اراضی مرتبط با فعالیت‌های انسانی محدود بوده است.

به‌منظور محاسبه متوسط وزنی نهایی معیارها میانگین این معیارها در پنج واحد کاری محاسبه شد (جدول ۵). همان‌گونه که در جدول ۵ نشان داده شده است، معیارهای اقلیم و فرسایش به‌ترتیب با مقادیر متوسط وزنی ۱/۶۰۷ و ۱/۴۶۷ دارای بالاترین امتیاز بوده، بیشترین تأثیر را در ایجاد و گسترش بیابان نسبت به بقیه معیارها در منطقه مطالعاتی داشته‌اند که از عمده دلایل آن توپوگرافی و شرایط آب و هوایی موجود در منطقه و همچنین، استفاده غیر اصولی انسان از زمین در این منطقه می‌باشد. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات Bakhshandemehr و همکاران (۲۰۱۳)، Farajzadeh و Egbal (۲۰۰۷)،

اراضی و بارندگی بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته‌اند. به‌منظور محاسبه تأثیر هر یک از شاخص‌های معیارها در بیابان‌زایی کل منطقه مطالعه، میانگین مقادیر این شاخص‌ها در پنج واحد کاری محاسبه شد (جدول ۵).

جدول ۴- محاسبه متوسط وزنی معیارها و شاخص‌های مربوطه در واحدهای کاری

واحد کاری	معیار	متوسط وزنی	شاخص	متوسط وزنی
۱	خاک	۱/۶۶۸	بافت خاک	۱/۸۶
			عمق خاک	۱/۶۷
			شیب	۱/۲۳
			مواد اولیه	۱/۸۳
			درصد سنگ‌ریزه	۱/۷۵
	اقلیم	۱/۵۸۵	بارندگی	۱/۳۴
			درصد خشکی	۱/۸۳
	پوشش گیاهی	۱/۷۴	درصد پوشش گیاهی	۱/۵۴
			میزان مقاومت در برابر فرسایش	۱/۹۴
			شدت کاربری اراضی	۱/۱۲
مدیریت	۱/۴۸	سیاست‌های اجرایی	۱/۸۴	
		فرسایش آبی	۱/۹۳	
فرسایش	۱/۸۷۵	فرسایش بادی	۱/۸۲	
۲	خاک	۱/۳۳	بافت خاک	۱/۲۳
			عمق خاک	۱/۵۴
			شیب	۱/۳۲
			مواد اولیه	۱/۲۶
			درصد سنگ‌ریزه	۱/۳۲
	اقلیم	۱/۶۴۵	بارندگی	۱/۷۵
			درصد خشکی	۱/۵۴
	پوشش گیاهی	۱/۵۴	درصد پوشش گیاهی	۱/۴۳
			میزان مقاومت در برابر فرسایش	۱/۶۵
			شدت کاربری اراضی	۱/۶۳
مدیریت	۱/۵۵۵	سیاست‌های اجرایی	۱/۴۸	
		فرسایش آبی	۱/۶۱	
فرسایش	۱/۶۵	فرسایش بادی	۱/۶۹	
۳	خاک	۱/۳۰۶	بافت خاک	۱/۵۳
			عمق خاک	۱/۲۱
			شیب	۱/۳۸
			مواد اولیه	۱/۱۸
			درصد سنگ‌ریزه	۱/۲۳
	اقلیم	۱/۴۲	بارندگی	۱/۵۴
			درصد خشکی	۱/۳۲
	پوشش گیاهی	۱/۴۳۵	درصد پوشش گیاهی	۱/۳۴
			میزان مقاومت در برابر فرسایش	۱/۵۳
			شدت کاربری اراضی	۱/۲۶
مدیریت	۱/۳۲	سیاست‌های اجرایی	۱/۳۸	
		فرسایش آبی	۱/۳۲	
فرسایش	۱/۲۸	فرسایش بادی	۱/۲۴	

ادامه جدول ۴ - محاسبه متوسط وزنی معیارها و شاخص‌های مربوطه در واحدهای کاری

واحد کاری	معیار	متوسط وزنی	شاخص	متوسط وزنی	
۴	خاک	۱/۱۴۲	بافت خاک	۱	
			عمق خاک	۱	
			شیب	۱/۴	
			مواد اولیه	۱/۰۸	
	اقلیم	۱/۳۶	۱/۳۶	درصد سنگ‌ریزه	۱/۲۳
				بارندگی	۱/۶
				درصد خشکی	۱/۱۲
				درصد پوشش گیاهی	۱/۰۶
	پوشش گیاهی	۱/۰۳	۱/۰۳	میزان مقاومت در برابر فرسایش	۱
				شدت کاربری اراضی	۱/۴۵
				سیاست‌های اجرایی	۱/۱۶
				فرسایش آبی	۱/۱۶
فرسایش	۱/۱۴۵	۱/۱۴۵	فرسایش بادی	۱/۱۳	
			بافت خاک	۱/۳۴	
			عمق خاک	۱/۴۵	
			شیب	۱/۸۶	
۵	خاک	۱/۴۱	مواد اولیه	۱/۲۸	
			درصد سنگ‌ریزه	۱/۱۲	
			بارندگی	۱/۸۹	
			درصد خشکی	۱/۵۶	
	اقلیم	۱/۷۲۵	۱/۷۲۵	درصد پوشش گیاهی	۱/۴۹
				میزان مقاومت در برابر فرسایش	۱/۰۸
				شدت کاربری اراضی	۱/۳۴
				سیاست‌های اجرایی	۱/۱۲
	مدیریت	۱/۲۳	۱/۲۳	فرسایش آبی	۱/۶۵
				فرسایش بادی	۱/۱۲
				بافت خاک	۱/۳۴
				عمق خاک	۱/۴۵

جدول ۵ - محاسبه متوسط وزنی معیارها و شاخص‌های مربوطه در کل منطقه

واحد کاری	معیار	متوسط وزنی	شاخص	متوسط وزنی	
کل منطقه مطالعاتی	خاک	۱/۳۷۱	بافت خاک	۱/۳۹۲	
			عمق خاک	۱/۳۷۴	
			شیب	۱/۴۳۸	
			مواد اولیه	۱/۳۲۶	
	اقلیم	۱/۶۰۷	۱/۶۰۷	درصد سنگ‌ریزه	۱/۳۳
				بارندگی	۱/۷۴۴
				درصد خشکی	۱/۴۷۴
				درصد پوشش گیاهی	۱/۳۷۲
	پوشش گیاهی	۱/۳۷	۱/۳۷	میزان مقاومت در برابر فرسایش	۱/۴۶
				شدت کاربری اراضی	۱/۳۶
				سیاست‌های اجرایی	۱/۳۹۶
				فرسایش آبی	۱/۵۱۴
مدیریت	۱/۴۰۶	۱/۴۰۶	فرسایش بادی	۱/۴	
			فرسایش	۱/۴۶۷	
			بافت خاک	۱/۳۴	
			عمق خاک	۱/۴۵	

معیار خاک، شیب و بافت خاک به ترتیب با متوسط

بر طبق جدول ۵، در بین شاخص‌های مربوط به

اساس معیار فرسایش، منطقه مطالعاتی در دو سطح کیفیت مناسب و پایین قرار گرفته است.

پس از تعیین متوسط وزنی معیارها و شاخص‌های آن‌ها در کل منطقه مطالعاتی، اقدام به تهیه نقشه حساسیت بیابان‌زایی شد (شکل ۴). با توجه به نقشه حساسیت به بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی، مشخص شد که حوضه شاهرود-سپتام از نظر حساسیت به بیابان‌زایی در طبقه بحرانی قرار گرفته است. مقادیر شاخص بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۳۵۲ تا ۱/۷۲۹ قرار گرفته است که بیانگر وضعیت بحرانی بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی می‌باشد. تنها واحد کاری ۴، از نظر بیابان‌زایی در وضعیت مطلوبی قرار دارد. طبق نتایج، از کل منطقه مطالعاتی به مساحت ۷۷۳۷/۷۱ کیلومتر مربع ۴۰ درصد (۳۰۹۶/۳۱۱) بیابان‌زایی در طبقه C3 یعنی بحرانی شدید قرار دارد و ۱۹/۹۴ درصد (۱۵۴۳/۱۷۲) کیلومتر مربع در طبقه C2 و یا بحرانی متوسط، ۲۰/۰۲۵ درصد (۱۵۴۹/۴۹) کیلومتر مربع در طبقه F3 و یا شکننده شدید و ۲۰/۰۱۵ درصد (۱۵۴۸/۷۲) کیلومتر مربع در طبقه F و یا فرسایش ناچیز قرار گرفته است. طبق نتایج، طبقه بیابان‌زایی بحرانی شدید در منطقه مطالعاتی غالب می‌باشد و ۴۰ درصد از منطقه را تحت پوشش خود قرار داده است که اغلب در مناطق شرقی به سمت مرکز پراکنده شده‌اند.

نتیجه‌گیری

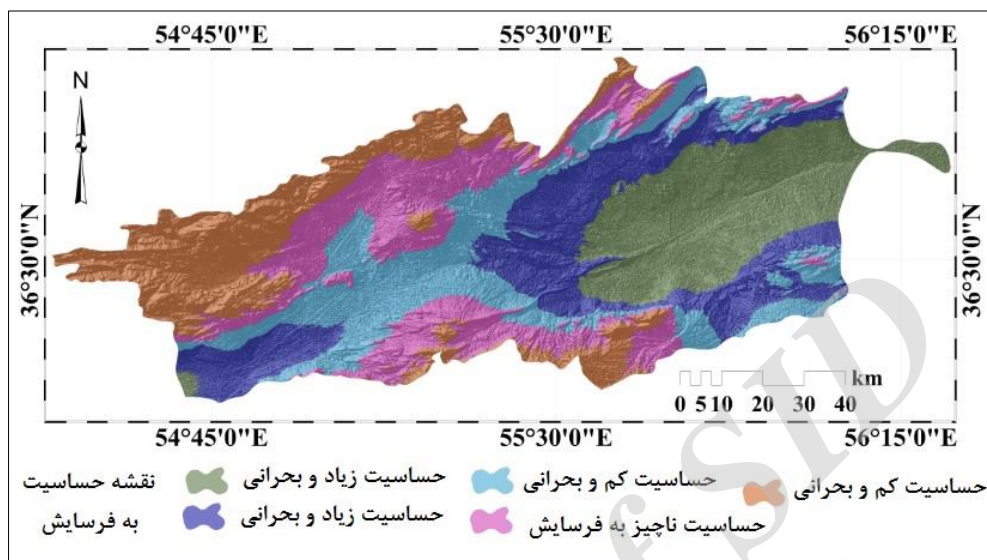
عوامل انسانی و محیطی مختلفی بر پدیده بیابان‌زایی تأثیر دارند که معیار اقلیم به‌عنوان مهمترین عامل تأثیرگذار در پدیده بیابان‌زایی در مناطق دارای اقلیم مدیترانه‌ای می‌باشد. دلیل این امر، بالا بودن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین، کم بودن توزیع نامناسب زمانی بارندگی می‌باشد. بالا بودن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل باعث می‌شود تا املاح شوری از اعماق خاک به سطح آمده، باعث شور شدن خاک شود که در نتیجه بافت خاک سبک شده و به راحتی به وسیله انواع فرسایش بادی و آبی از منطقه خارج شود. میزان شوری و درصد گچ خاک از مهمترین شاخص‌های خاک هستند که بر پدیده بیابان‌زایی تأثیر می‌گذارند. این عامل باعث شکننده

وزنی ۱/۴۳۸ و ۱/۳۹۲ بیشترین تأثیر و در مقابل شاخص درصد سنگ‌ریزه کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی داشته است. بر طبق نقشه معیار خاک، منطقه مطالعاتی با دامنه وزنی ۱/۴۱ تا ۱/۶۶ در دو گروه کیفیت متوسط و پایین قرار گرفته است. انطباق نقشه کیفیت خاک و شاخص‌های مربوط به آن نشان داد که پایین‌ترین کیفیت خاک در مناطق با شیب کم، مواد مادری حساس به فرسایش، درصد سنگ‌ریزه پایین و همچنین، عمق خاک زیاد می‌باشد.

در بین شاخص‌های مربوط به اقلیم، شاخص بارندگی با متوسط وزنی ۱/۷۴۴ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته است و می‌توان گفت که کمبود بارندگی و در نتیجه ایجاد وضعیت خشکی باعث حساسیت‌پذیری بیشتر منطقه نسبت به فرسایش شده است. بر اساس نقشه معیار کیفیت اقلیم، واحد کاری ۴ با ۱/۳۶ و واحد کاری ۱ با ۱/۸۸۵ دارای کمترین و بیشترین وزن بوده‌اند و کل منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک هستند. در میان شاخص‌های پوشش گیاهی، درصد پوشش گیاهی با متوسط وزنی ۱/۴۶ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته است. وجود پوشش گیاهی با تراکم بالا در واحد کاری ۴ باعث شده است. این واحد کاری از لحاظ بیابان‌زایی در وضعیت خوبی قرار دارد، به این دلیل که پوشش گیاهی مانع خوبی برای تخریب زمین و فرسایش خاک می‌باشد و در مقابل واحد کاری ۱، به دلیل تراکم پایین پوشش گیاهی باعث شده است تا در مقابل فرسایش حساسیت بیشتری از خود نشان دهد. Yaghmaeian Mahabadi و همکاران (۲۰۱۷) و Sepehr و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی تأثیر زیادی در بیابان‌زایی دارد. بر اساس نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، در دو سطح کیفیت متوسط و پایین قرار گرفته است. در شاخص‌های معیار مدیریت، شاخص سیاست‌های اجرایی با متوسط وزنی ۱/۳۹۶ تأثیر زیادی در بیابان‌زایی داشته است. نقشه مدیریت منطقه مطالعاتی نشان داد که منطقه مطالعاتی در وضعیت مدیریتی خوب و متوسط قرار دارد. بر اساس معیار فرسایش، شاخص فرسایش آبی با متوسط وزنی ۱/۵۱۴ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی داشته است. بر

پوشش گیاهی باشد، رطوبت خود را سریع‌تر از دست دهد، سرعت باد بسیار بالا رود و در نتیجه میزان فرسایش بالا رود (Moghadam, ۲۰۰۵).

شدن ساختمان و سبک شدن بافت خاک می‌شود که در نتیجه فرسایش خاک را افزایش می‌دهد. این شاخص‌ها همچنین، بر روی رشد گیاهان نیز تأثیر می‌گذارند که باعث می‌شود، سطح خاک عاری از



شکل ۴- نقشه حساسیت به بیابان‌زایی با روش مدالوس اصلاح شده

صنایع، معادن و تاسیسات، تخریب پوشش گیاهی و بوته‌کنی از سوی دیگر باعث نابودی مراتع و منابع طبیعی و تسریع روند بیابان‌زایی در منطقه شده است. بررسی کمی ارزیابی معیارها و شاخص‌های موثر بیابان‌زایی در دشت شاهرود-بسطام با استفاده از مدل مدالوس اصلاح شده نشان داد که در مناطقی کوهستانی که دارای شیب زیاد می‌باشد، بر اثر فرسایش شدید آبی، خاک فرسایش یافته که مهمترین عامل موثر در بیابان‌زایی این مناطق بوده، در حالی که در مناطق کوهپایه‌ای منطقه مطالعاتی، بیشتر عوامل موثر انسانی، به‌ویژه شدت کاربری اراضی (کشاورزی وسیع و بهره‌برداری شدید از آب‌های زیرزمینی) باعث تشدید فرسایش شده است. به‌طوری که می‌توان گفت مهمترین عامل بیابان‌زایی در این مناطق، مداخلات غلط انسانی می‌باشد. به تدریج به سمت جنوب منطقه با تشدید شدن شرایط اقلیمی، میزان پوشش گیاهی و همچنین، کاربری اراضی کاسته شده، عوامل طبیعی به‌ویژه فرسایش بادی و وجود خاک‌های شور بر عوامل انسانی مسلط شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، می‌توان گفت که در بین عوامل

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، معیارهای اقلیم و فرسایش بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی حوضه شاهرود-بسطام داشته‌اند و در مقابل معیارهای خاک و پوشش گیاهی دارای کمترین تأثیر بوده‌اند. طبق بررسی‌های انجام شده و نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی حساسیت بیابان‌زایی، منطقه مطالعاتی از نظر خطر بیابان‌زایی، دو منطقه بیابان‌زایی با وضعیت بحرانی و شکننده و از نظر طبقه شدت بیابان‌زایی به سه طبقه شامل بحرانی با درجه شدت زیاد، بحرانی با درجه شدت کم و حساسیت ناچیز به فرسایش را نشان می‌دهد. منطقه مطالعاتی بر طبق تعریف ارائه شده از بیابان‌زایی، دارای هر دو شرایط بیابان‌زایی طبیعی و انسانی است. عوامل طبیعی چون شرایط نامساعد اقلیمی (کمبود ریزش‌های جوی، تبخیر زیاد، وزش بادهای شدید، خشکسالی‌های پیاپی، ...)، دوری از منابع رطوبتی، محدودیت منابع آبی، وجود مناطق کویری و همچنین، خاک‌های شور با قلیائیت زیاد از یک‌سو و عوامل مخرب انسانی از جمله نظام سنتی کشاورزی، چرای بی‌رویه دام، بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی،

افزایش جریان سطحی و خطر بروز سیل، نابودی پوشش گیاهی و منابع تولید علوفه، نابودی حیات وحش، افت سطح آب‌های زیرزمینی، افزایش پدیده مهاجرت در منطقه، افزایش آلودگی هوا و مشکلات ناشی از آن و تخریب راه‌های ارتباطی اشاره کرد. از جمله راه‌های مقابله با بیابان‌زایی در منطقه، می‌توان به تثبیت ماسه‌های روان از طریق کشت گیاهان مقاوم در برابر خشکی مانند تاغ و گز، بهره‌برداری اصولی از چراگاه‌ها با توجه به ظرفیت آن‌ها در زمان مناسب و ایجاد بادشکن برای تثبیت ماسه‌های روان اشاره کرد.

بیابان‌زایی منطقه، عامل اقلیم به‌ویژه کمبود نزولات جوی، خشکسالی‌های پیاپی، تبخیر زیاد و وزش بادهای شدید، مهمترین عامل موثر در بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی است. عامل مدیریت (انسانی) به‌ویژه روش‌های سنتی کشاورزی، تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی، چرای بی‌رویه دام و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، نیز از عوامل مهم موثر در بیابان‌زایی دشت شاهرود-سپتام می‌باشد. از جمله پیامدهای بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه، می‌توان به افزایش درجه شوری و کاهش حاصل‌خیزی خاک،

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, A.P., H. Amani and M. Zareian. 2014. Quantitative assessment of desertification status using MEDALUS model and GIS, case study: Shamil Plain, Hormozgan Province. *RS and GIS for Natural Resource*, 5(1): 87-97.
2. Benabderrahmane, M.C. and H. Chenchouni. Assessing environmental sensitivity areas to desertification in eastern Algeria using MEDITERRANEAN DESERTIFICATION AND LAND USE "MEDALUS" Model. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 2010(1): 5-10.
3. Babaev, G.A. 1999. Desert problems and desertification in central Asia. The Researches of the Desert Institute Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
4. Bakhshandemehr, L., S. Soltani and A. Sepehr. 2013. Assessment of present status of desertification and modifying the MEDALUS model in Segzi Plain, Isfahan. *Journal of Range Management*, 66(1): 27-41.
5. Ekhtesasi, M.R. and S. Mohajeri. 1995. Classification of type and intensity of desertification in Iran.
6. Ekhtesasi, M.R. and H. Ahmadi. 2004. Methodology for drafting a comprehensive description of the descriptive criteria and indices of desertification assessment in Iran.
7. Elsayed, S.M. Spatial assessment of desertification in north Sinai using modified MEDLAUS model. *Arabian Journal of Geosciences*, 2013(6): 4647-4659.
8. Farajzadeh, M. and M.N. Egbal. 2007. Evaluation of MEDALUS model for desertification hazard zonation using GIS, study area: Iyzad Khast Plain, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16: 2622-2630.
9. Fozooni, L., A. Fakhrieh and M.R. Ekhtesasi. 2012. Assessment of desertification using of modify MEDALUS model in Sistan Plain (the east of IRAN). *Elixir International Journal*, 47: 8950-8955.
10. Gargi, C. Evaluating environmental sensitivity of arid and semiarid regions in north-eastern Rajasthan, India. *Geographical Review*, 2015(105): 441-461.
11. Kadović, R., Ali Mansour Y. Bohajar, V. Perović, S. Belanović Simić, M. Todosijević, S. Tošić, M. Anđelić, D. Mladan and U. Dovezenski. 2016. Land sensitivity analysis of degradation using MEDALUS model, case study: Deliblato Sands, Serbia. *Archives of Environmental Protection*, 42(4): 114-124.
12. Khakiki, A. 1992. Proceedings of the seminar on the issues of desert and desert regions of Iran-Yazd. Volume I, Tehran. Desert and Desert Research Center of Iran Affiliated to Tehran University, 14-32.
13. Khanamani, A., H.R. Karimzadeh, R. Jafari and A. Golshahi. 2013. Quantitative assessment of current desertification using MEDALUS model, case study: Segzi Plain. *RS and GIS for Natural Resource*, 4(1): 13-25.
14. Lahlaoui, H., H. Rhinane, A. Hilali, S. Lahssini and S. Moukrim. 2017. Desertification assessment using MEDALUS model in watershed Oued El Maleh, Morocco. *Geosciences*, 7(50): 1-16.
15. Sen, A.K. and K.D. Sharma. 1995. Causative agents' indicators of monitoring and desertification in ASIA and the pacific region. Scientific Publishers Jodhpur (INDIA), 41-58.
16. Sepehr, A., A.M. Hassanli, M.R. Ekhtesasi and J.B. Jamal. 2007. Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 134(1-3): 243-254.
17. Mokhtari, N., R. Bouabid, L. Bock and R. Paul. 2013. Application of approach MEDALUS for assessing desertification sensitivity of Moulouya Watershed, Morocco. *Science Education*, 2013(5):

107-127.

18. Moghadam, M.R. 2005. Pasture and range. Tehran University Press, 402 pages.
19. Masoudi, M. and P. Jokar. 2017. A New model for desertification assessment using Geographic Information System (GIS), a case study: Runiz Basin, Iran. *Ecology*, 2: 236-246.
20. Petta, R., L. Carvalho, S. Erasmi and C. Jones. 2013. Evaluation of desertification processes in Seridó region (NE Brazil). *International Journal of Geosciences*, 2013(4): 12-17.
21. Lahlaoui, H., H. Rhinane, A. Hilali, S. Lahssini and L. Khalile. 2015. Potential erosion risk calculation using remote sensing and GIS in Oued El Maleh Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, 2015(7): 128-139.
22. Statistics Center of Iran. 2002. Statistics of the country, Tehran. *Iranian Journal of Statistics, Organization and Planning of the Country*. 8: 48-68.
23. Taghipour-Javi, S., A. Fazeli and B. Kazemi. 2016. A case study of desertification hazard mapping using the MEDALUS (ESAs) methodology in south-west Iran. *Journal of Natural Resources and Development*, 06: 01- 08.
24. Yaghmaeian Mahabadi, N., H. Asadi and S. Rezaei. 2017. Mapping and assessment of land degradation risk using MEDALUS model in Siyahpoush Catchment, Ardabil Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(1): 173-187.

Archive of SID