

## بررسی نقش عوامل ادافیکی در پتانسیل بیابان‌زایی با کاربرد روش بهینه‌سازی چندمعیاره و راه‌حل سازشی، مطالعه موردی: ارتفاعات حلقه دره، شهرستان اشتهارد، استان البرز

امین صالح پورجم<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا پیروان<sup>۲</sup>، محمودرضا طباطبایی<sup>۳</sup>، امیر سررشته‌داری<sup>۴</sup> و جمال مصفايي<sup>۵</sup>

<sup>۱،۳،۴</sup> استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، <sup>۲</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، <sup>۴</sup> مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۹

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۰۵

### چکیده

فرایند بیابان‌زایی با کاهش توان تولید بیولوژیک، منجر به انهدام اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود. به‌منظور بررسی پتانسیل خطر بیابان‌زایی در محدوده مراتع مشرف به اشتهارد (ارتفاعات حلقه دره)، نخست اقدام به تهیه نقشه طبقات شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی با هدف ایجاد واحدهای همگن شد، به‌طوری‌که از طریق روی هم قرار دادن و تقاطع این نقشه‌ها، نقشه واحدهای کاری حاصل شد. در این تحقیق، سه شاخص حساسیت‌پذیری نسبت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری در هر یک از واحدهای کاری در نظر گرفته شدند که در نهایت هر یک به‌صورت نقشه‌ای طبقه‌بندی شده ارائه شدند. در این تحقیق، به‌منظور پهنه‌بندی منطقه تحقیق از نظر شاخص شوری و نیز نفوذپذیری به‌ترتیب ۱۸۵ و ۱۷۹ نمونه طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ برداشت شد. سپس، اقدام به محاسبه وزن شاخص‌ها و نیز نسبت‌سازی با کاربرد روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) شد. همچنین، از روش بهینه‌سازی چندمعیاره و راه‌حل سازشی (VIKOR) به‌منظور تعیین پتانسیل خطر بیابان‌زایی استفاده شد، به‌طوری‌که پس از محاسبه ماتریس استاندارد شده موزون، اولویت‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی واحدها مبتنی بر شاخص ویکور انجام شد. دامنه تغییرات شاخص ویکور گزینه‌ها مبتنی بر روش AHP-VIKOR از ۰/۴۴۳ تا ۰/۹۶۷ متغیر است. نتایج به‌دست آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نشان داد که از دیدگاه خبرگان، مهمترین عامل موثر در بیابان‌زایی، شوری است. سایر عوامل، از قبیل حساسیت به فرسایش و نیز ضریب نفوذپذیری به‌ترتیب در رده‌های بعدی اهمیت قرار دارند. نتایج حاصل نشان‌دهنده انطباق خیلی زیاد طبقات پتانسیل خطر بیابان‌زایی حاصل از مدل AHP-VIKOR با طبقات مربوطه در نقشه شاهد بوده، به‌طوری‌که درصد انطباق و نیز عدم انطباق طبقات پتانسیل خطر بیابان‌زایی محاسباتی با نقشه شاهد به‌ترتیب ۹۲/۹۱ و ۷/۰۹ درصد است. بر این اساس، منطقه تحقیق دارای سه طبقه پتانسیل یا شدت خطر بیابان‌زایی است. به‌طوری‌که ۱۶۹/۳۹ هکتار (۵۱/۰ درصد) از منطقه دارای پتانسیل متوسط، ۲۳۳۶/۵۶ هکتار (۷/۰۶ درصد) دارای پتانسیل زیاد و ۳۰۵۸۳/۲۵ هکتار (۹۲/۴۳ درصد) دارای پتانسیل خیلی زیاد است.

**واژه‌های کلیدی:** ایده‌آل مثبت، تصمیم‌گیری، خطر بیابان‌زایی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، VIKOR

## مقدمه

بیابان‌زایی و پیامدهای آن از جمله موضوعات مهم مطرح در مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز بوده، به‌طوری‌که مدیریت آن نقش موثری را در حفظ سلامت زیست بوم‌ها ایفا می‌کند. بیابان‌زایی با کاهش توان بهره‌دهی منابع به‌وسیله یک یا مجموعه‌ای از فرایندها که بر زمین تاثیر می‌گذارند، همراه است (Ahmadi و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به تغییر اقلیم و شدت خشکسالی‌ها در کشور (Salehpour Jam و همکاران، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷؛ Salagegheh و همکاران، ۲۰۱۷)، اهمیت مدیریت این مخاطره در کشور بسیار ضروری است، زیرا حدود دو سوم مساحت ایران در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است که از نظر عرض جغرافیایی با کمربند بیابانی جهان تطبیق می‌کند که عوامل دیگری از نظر زمین‌ساخت و چینه‌شناسی شرایط را تشدید کرده و در جهت تکوین بیابان هم‌سو عمل کرده‌اند (Ahmadi، ۲۰۱۲). با توجه به نزدیکی منطقه مورد مطالعه به کلان شهر تهران و نیز کاهش شدید توان تولیدی طبیعت در منطقه، آگاهی از پتانسیل بیابان‌زایی منطقه و اتخاذ تدابیر متعاقب لازم به‌منظور افزایش توان تولیدی منطقه و جلوگیری از گسترش روزافزون سطوح مناطق بیابانی در آن از ضروریات است.

امروزه مطالعات بسیاری در زمینه تخریب اراضی و بیابان‌زایی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته به‌وسیله Feiznia (۱۹۹۷)، Kashki (۱۹۹۷)، Rajabi Aleni (۲۰۰۱)، Sarabian (۲۰۰۲)، Sadeghiravesh و همکاران (۲۰۱۴)، Xu و همکاران (۲۰۱۵)، Vieira و همکاران (۲۰۱۵) و Eskandari و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد. Tahmasebi (۱۹۹۸) عوامل موثر در شورش آب و خاک و گسترش بیابان در حوضه رودخانه شور اشتهارد را بررسی کرده، منابع شورکننده نقطه‌ای (گنبد‌های نمکی) و پهنه‌ای (مارن‌های تبخیری) را مشخص کرده، میزان تأثیر آن‌ها را در تخریب زمین بررسی کرده است. Paul (۲۰۱۲) شوری بیش از حد خاک را مانعی برای رشد گیاهان معرفی می‌کند. شوری تقریباً بر تمامی جنبه‌های توسعه گیاهان از قبیل جوانه‌زنی و رشد اثرگذار است. شوری خاک بر

سمیت یونی، فشار اسمزی، مواد غذایی و تنش اکسایشی گیاهان و در نهایت، محدود کردن گیرش آب به‌وسیله ریشه گیاهان موثر است (Bano و Fatima، ۲۰۰۹). Rączkowska و همکاران (۲۰۱۸) اقدام به بررسی علل تخریب اراضی در دو حوضه در منطقه Meghalaya هند کردند. هر دو حوضه دارای گرانیتهای به شدت هوازده و اراضی تپه‌ماهوری اما با کاربری متفاوت اراضی بودند. نتایج تحقیق، نشان‌دهنده نقش بارز فعالیت‌های انسانی در مناطق دارای تخریب اراضی است. Salvati و همکاران (۲۰۱۶) اقدام به بررسی نیم قرن حساسیت اراضی به بیابان‌زایی بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ در ایتالیا کردند. در این تحقیق، با بررسی شاخص‌های طبیعی و انسانی، اشاره به روند غیرخطی درازمدت تخریب اراضی و بیابان‌زایی در ایتالیا و افزایش سطح حساسیت شده است. Ajzaj و همکاران (۲۰۱۷) اقدام به پایش مکانی بیابان‌زایی و بررسی گسترش آن در غرب عراق با کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ کردند. نتایج تحقیق، نشان‌دهنده کاهش بیابان‌زایی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ و افزایش بیابان‌زایی طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ است.

روش VIKOR در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله Opricovic و Tzeng ارائه شده و در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ این روش توسعه یافته است. این روش که مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسایل تصمیم‌گیری چندمعیاره است، مسایلی با معیارهای نامتناسب و ناسازگار را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Ataei، ۲۰۱۵). همچنین، روش تحلیل سلسله مراتبی نیز از دیگر روش‌های پرکاربرد فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده که به‌وسیله Saaty (۱۹۸۰) ارائه شده است. تا کنون مطالعات زیادی با کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی و نیز روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در منابع طبیعی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به Pishyar و همکاران (۲۰۱۶)، Grau و همکاران (۲۰۱۰)، Zucca و همکاران (۲۰۱۲)، Sadeghiravesh و همکاران (۲۰۱۴)، Lamchin و همکاران (۲۰۱۷) و Salehpour Jam و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد. Sepehr و Zucca

فرایند بیابان‌زایی با حذف پوشش گیاهی، منجر به ایجاد آثار نامطلوبی از قبیل فرسایش، کاهش توان تولیدی طبیعت و نیز تشدید سیلاب‌ها شده، پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی را به دنبال دارد. هدف از این تحقیق، اولویت‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی واحدهای اراضی با کاربرد شاخص‌های ادافیکی موثر بر رخداد بیابان‌زایی در قالب مدل AHP-VIKOR است.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز رودخانه شور، در محدوده مراتع مشرف به اشتهاورد (ارتفاعات حلقه دره) بوده، مساحت ۵۴۹۷۵/۹ هکتار را داراست. موقعیت جغرافیایی منطقه از ۴۳°۹۴' تا ۵۰°۱۰'۶۹' طول شرقی و ۳۵° تا ۴۹°۴۸' عرض شمالی گسترده شده است. آبخیز رودخانه شور شامل حوضه‌های فرعی رودخانه‌های کردان، خررود، ابهررود، حاجی‌عرب و تعدادی رودخانه‌های کوچک است که غالباً از شمال دشت قزوین به آن می‌پیوندند (شکل ۱). متوسط بارش سالانه منطقه ۲۳۰ میلی‌متر بوده، واحدهای سنگ‌شناسی مختلف مربوط به دوران سنوزوئیک (دوره‌های کواترنر و ترسیر) در این منطقه دیده می‌شوند.

**روش پژوهش:** در این تحقیق، به‌منظور تعیین پتانسیل بیابان‌زایی در محدوده مراتع مشرف به اشتهاورد، نخست اقدام به تهیه نقشه طبقات شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی با هدف ایجاد واحدهای همگن شد، به طوری که از طریق روی هم قرار دادن و تقاطع این نقشه‌ها در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.3، نقشه واحدهای کاری حاصل شد. در این تحقیق، سه شاخص حساسیت‌پذیری نسبت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری در هر یک از واحدهای کاری در نظر گرفته شدند. سپس، اقدام به محاسبه وزن معیارها و نیز نسبت سازگاری با کاربرد روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) شد. در این تحقیق، از روش VIKOR به‌منظور تعیین پتانسیل و اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شد. به طوری که پس از محاسبه ماتریس استاندارد شده موزون و نیز ایده‌آل‌های مثبت و منفی،

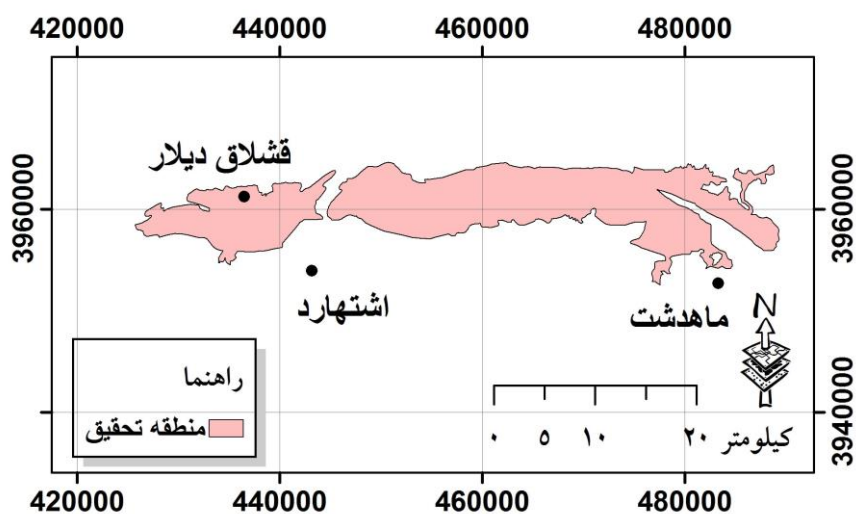
(۲۰۱۲) اقدام به انتخاب و ادغام شاخص‌های بیابان‌زایی با کاربرد مدل تصمیم‌گیری TOPSIS کردند. در این تحقیق، انتخاب بهترین مجموعه شاخص‌ها با هدف پایش تخریب اراضی به‌وسیله سنجش از دور در سه کشور متفاوت برزیل، موزامبیک و پرتغال با کاربرد روش TOPSIS به انجام رسید. Negarehsh و همکاران (۲۰۱۶) اقدام به ارزیابی بیابان‌زایی در جنوب شرقی ایران با کاربرد روش AHP پرداختند. نتایج حاصل در قالب نقشه پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی استان سیستان و بلوچستان مشتمل بر پنج طبقه خطر ارایه شد. Salehpour Jam و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که روش بهینه‌سازی چندمعیاره و راه‌حل‌سازشی، روشی مناسب در تعیین پتانسیل بیابان‌زایی عرصه‌هاست. همچنین، Onagh (۲۰۰۹) اقدام به ارزیابی شدت تخریب اراضی و برنامه‌های مدیریتی با کاربرد مدل‌های موضوعی و روش تحلیل سلسله مراتبی در گرگان کرد. نتایج تحقیق، نشان‌دهنده چهار طبقه شدت تخریب اراضی در عرصه جنگلی مورد تحقیق می‌باشد. در این تحقیق، بر مدیریت اراضی هم‌خوان با طبقات شدت تخریب اراضی تاکید شده است.

همچنین، فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره در اولویت‌بندی اجرایی گزینه‌ها در طرح‌های کنترل فرسایش و مدیریت بیابان و نیز آبخیزداری دارای کاربرد هستند. به‌طور نمونه، Grau و همکاران (۲۰۱۰) از روش‌های MCDM به‌منظور رتبه‌بندی بهترین گزینه‌های طرح جامع کنترل فرسایش و بیابان‌زایی استفاده کردند. نتایج تحقیق، گویای کارایی مدل‌ها در رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریت بیابان بود. Sadeghiravesh و همکاران (۲۰۱۴) نیز اقدام به رتبه‌بندی گزینه‌های مقابله با بیابان‌زایی با کاربرد روش AHP نمودند. همچنین، Asadi Nalivan و همکاران (۲۰۱۵) اقدام به اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز زیدشت طالقان با کاربرد روش TOPSIS کردند. در این تحقیق ۱۰ شاخص حفاظت خاک، تنوع گونه‌ای، فرسایش و رسوب، طبقه سنی، ترکیب گیاهی، گیاهان سمی، تولید علوفه، ظرفیت چرا، کمیت آب و تبخیر و تعرق در نظر گرفته شد و اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری صورت گرفت.

چهار تا هشت درصد (طبقه ۴)، هشت تا ۱۵ درصد (طبقه ۵) و شیب ۱۵ و بیش از ۱۵ درصد (طبقه ۶) تهیه شد. در این تحقیق، از نقشه کاربری اراضی حاصل از طرح اطلس آبخیز کشور (۲۰۰۸) استفاده شد. همچنین، به منظور تهیه نقشه واحدهای سنگی منطقه تحقیق، ابتدا نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه‌های اشتهارد و کرج اسکن شدند، سپس، از طریق نرم‌افزار ArcGIS 10.3 اقدام به زمین‌مرجع‌سازی و رقومی‌سازی آن‌ها شد. با توجه به متفاوت بودن نامگذاری واحدهای سنگی در ورقه‌های کرج و اشتهارد، پس از کنار هم قراردادن دو ورقه مجاور، ورقه کرج مبنا قرار گرفته و نام‌گذاری واحدهای سنگی بر اساس آن صورت پذیرفت.

اولویت‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی واحدها انجام پذیرفت. در این ارتباط، مراحل زیر به‌عنوان گام‌های تحقیق در نظر گرفته شد.

۱) تهیه لایه‌های اطلاعاتی مشتمل بر نقشه شیب و طبقات شیب منطقه مورد مطالعه، تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، رقومی‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه‌های اشتهارد و کرج و تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه. توضیح این‌که نقشه طبقات شیب منطقه هدف با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی سازمان نقشه‌برداری کشور در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.3 با در نظر گرفتن حدود طبقات شیب صفر تا یک درصد (طبقه ۱)، یک تا دو درصد (طبقه ۲)، دو تا چهار درصد (طبقه ۳)،



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

تصادفی گرفته شد. بدین‌منظور، هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه EC متر بر حسب میلی‌موس بر سانتی‌متر (دسی‌زیمنس بر متر) محاسبه شد. همچنین، به منظور پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص ضریب نفوذپذیری همانند نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری شوری عمل شد. به طوری‌که در هر واحد کاری دست‌کم در سه تکرار به کمک GPS نسبت به گرفتن نمونه دست‌نخورده از واحد کاری اقدام شد. نمونه‌گیری به‌وسیله استوانه‌ها و یا حلقه‌های برنجی مخصوص (دارای قطر داخلی ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر) صورت گرفت. نمونه‌های گرفته شده در پایان هر روز به

۲) ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی و ایجاد نقشه واحدهای کاری. توضیح این‌که از تقاطع لایه زمین‌شناسی با لایه‌های طبقات شیب و کاربری اراضی، ایجاد ۴۵ واحد کاری شد. به طوری‌که این واحدهای همگن به‌عنوان گزینه‌های مدل تصمیم‌گیری در فرایند اولویت‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی در نظر گرفته شدند.

۳) نمونه‌گیری از واحدها و مشخص کردن شاخص‌های ضریب نفوذپذیری و شوری. به منظور پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص شوری نخست نمونه‌گیری از واحدهای کاری صورت پذیرفت و دست‌کم در هر واحد کاری سه نمونه به‌صورت

پس از ایجاد ماتریس تصمیم و استاندارد کردن آن، اقدام به محاسبه اوزان مبتنی بر نظرات کارشناسان (۲۴ کارشناس) شد. همچنین، در این مرحله نرخ ناسازگاری نیز مبتنی بر رابطه (۱) مورد سنجش قرار گرفت.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

که در آن،  $RI$  نمایه ناسازگاری تصادفی است که از جدول ۱ به دست آمده و  $CI$  نمایه سازگاری است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

که در آن،  $N$  تعداد گزینه های ماتریس تصمیم و  $\lambda_{max}$  میانگین مقادیر بردار سازگاری است.

آزمایشگاه منتقل شده، ضریب نفوذپذیری آن‌ها طبق آزمایش دارسی تعیین شد. توضیح این‌که در این تحقیق، به منظور پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص شوری و نیز نفوذپذیری به ترتیب ۱۸۵ و ۱۷۹ نمونه برداشت شد و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها به وسیله کارشناسان آزمایشگاه خاک‌شناسی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد.

(۴) تعیین حساسیت‌پذیری واحدها به فرسایش در منطقه مورد مطالعه. بدین منظور اقدام به تعیین حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی مبتنی بر روش Shariat Jafari و Peyrowan (۲۰۱۳) شد.

(۵) تعیین وزن عوامل تاثیرگذار بر پهنه‌بندی مبتنی بر فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). در این مرحله

جدول ۱- نمایه‌های ناسازگاری تصادفی (Saaty, ۱۹۸۰)

| تعداد شاخص | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    | ۱۰   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI         | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۵۸ | ۰/۹۰ | ۱/۱۲ | ۱/۲۴ | ۱/۳۲ | ۱/۴۱ | ۱/۴۶ | ۱/۴۹ |

$$f_i^* = \max_j f_{ij}; \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (5 \text{ و } 6)$$

که در آن،  $f_{ij}$  ارزش گزینه مورد نظر برای هر معیار در ماتریس نرمال وزنی است.

V. محاسبه مقدار سودمندی ( $S_j$ ) و تاسف شاخص‌ها ( $R_j$ ) (روابط ۷ و ۸).

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \quad (7)$$

$$R_j = \max_i \left[ w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \right] \quad (8)$$

که در آن،  $f_i^*$  بزرگ‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون،  $f_i^-$  کوچک‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون و  $f_{ij}$  ارزش گزینه مورد نظر برای هر معیار در ماتریس نرمال وزنی است.

VI. محاسبه شاخص ویکور ( $Q_j$ ) (رابطه ۹).

$$Q_j = v \cdot \frac{S_j - S^-}{S^* - S^-} + (1-v) \cdot \frac{R_j - R^-}{R^* - R^-} \quad (9)$$

که در آن،  $S^-$  بیشینه میزان  $S_j$ ،  $S^*$  کمینه میزان  $S_j$ ،  $R^-$  بیشینه میزان  $R_j$ ،  $R^*$  کمینه میزان  $R_j$  و  $v$  برابر

(۶) اولویت‌بندی واحدها مبتنی بر روش VIKOR. در این مرحله ضمن به‌کارگیری اوزان به دست آمده طی روش AHP، اقدام به اولویت‌بندی گزینه‌ها مبتنی بر مراحل زیر شد.

I. ایجاد ماتریس تصمیم مبتنی بر ویژگی‌های واحدهای کاری بر اساس سه شاخص ضریب مقاومت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری ارایه شده در جدول ۳.

II. بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم ( $n_{ij}$ ) (رابطه ۳).

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \text{ for } i \in I = \{1, 2, \dots, m\} \text{ and } j \in J = \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

که در آن،  $x_{ij}$  مقادیر هر معیار برای هر گزینه است.

III. ایجاد ماتریس نرمال موزون ( $v_{ij}$ ) (رابطه ۴).

$$v_{ij} = w_j n_{ij}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J. \quad (4)$$

که در آن،  $w_j$  وزن هر معیار است.

IV. تعیین ایده‌آل مثبت و منفی شاخص‌ها (روابط ۵ و ۶).

پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. همچنین به‌منظور تعیین سیمای فرسایش منطقه، از تصاویر گوگل ارث همگام با پیمایش میدانی استفاده شد. در این مرحله، میزان تطابق نقشه پهنه‌بندی شده با واقعیت زمینی آن مورد بررسی قرار گرفت. به‌طوری‌که از طریق روی هم‌گذاری و تقاطع نقشه حاصل از پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی منطقه تحقیق با کاربرد مدل AHP-VIKOR با نقشه شاهد در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.3 اقدام به مشخص کردن هم‌پوشانی طبقات و محاسبه درصد انطباق و عدم انطباق طبقات مختلف پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق مبتنی بر برون‌داد مدل AHP-VIKOR و نقشه شاهد شد.

### نتایج و بحث

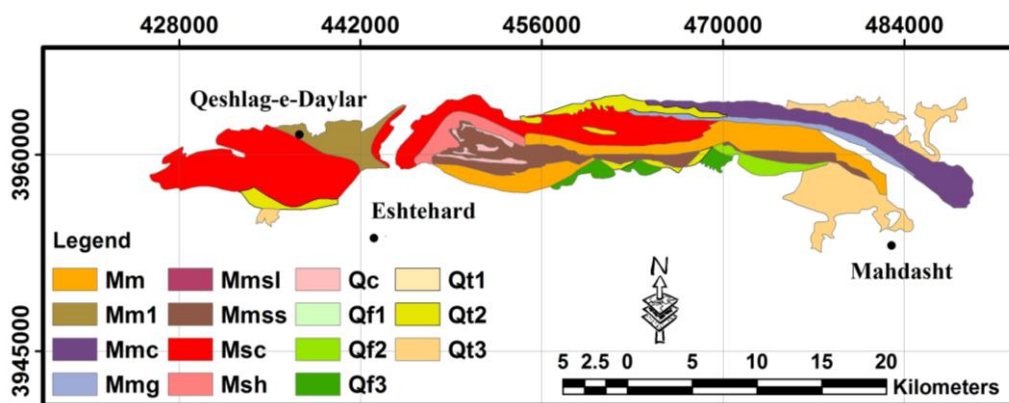
نقشه زمین‌شناسی، کاربری اراضی و طبقات شیب منطقه تحقیق در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است.

۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

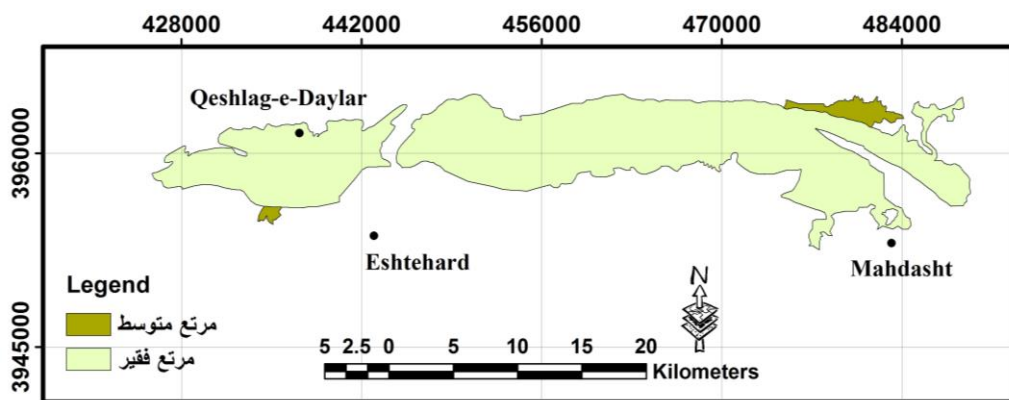
VII. رتبه‌بندی گزینه‌ها مبتنی بر شاخص ویکور.

VIII. تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی منطقه

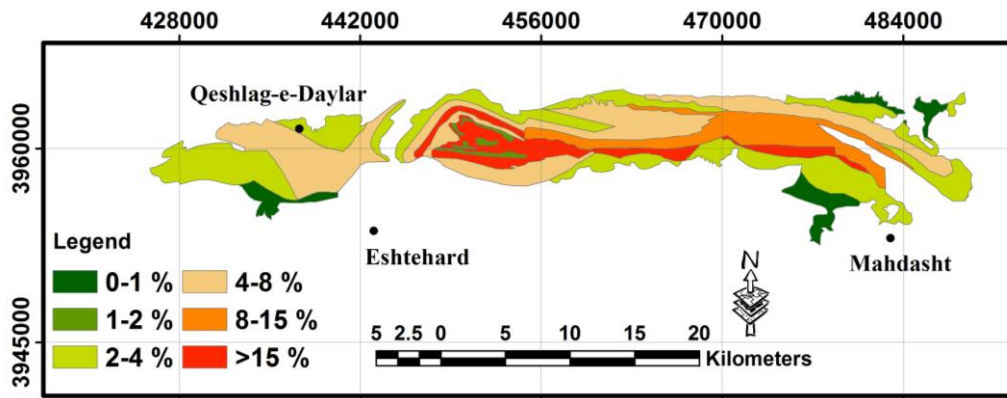
IX. صحت‌سنجی نقشه تهیه شده با استفاده از نقشه مشاهداتی حاصل از پیمایش. توضیح این‌که نقشه شاهد نشان‌دهنده پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه بوده، مبتنی بر میزان حضور پوشش گیاهی با کاربرد روش تصادفی-سیستماتیک ترانسکت پلات (تعیین طبقات درصد تاج پوشش گیاهی کمتر از ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد و بیشتر از ۷۵ درصد) و نیز توجه به سیمای فرسایشی منطقه در واحدهای کاری تهیه شد. لازم به بیان است که در سیمای فرسایشی منطقه از فرسایش سطحی تا فرسایش هزاردره به چشم می‌خورد، به‌طوری‌که آن دسته از واحدهایی که دارای فرسایش هزار دره هستند، به‌دلیل دارا بودن درصد تاج پوشش گیاهی کمتر از ۲۵ درصد، در طبقه



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه تحقیق



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی منطقه تحقیق



شکل ۴- نقشه طبقات شیب منطقه تحقیق

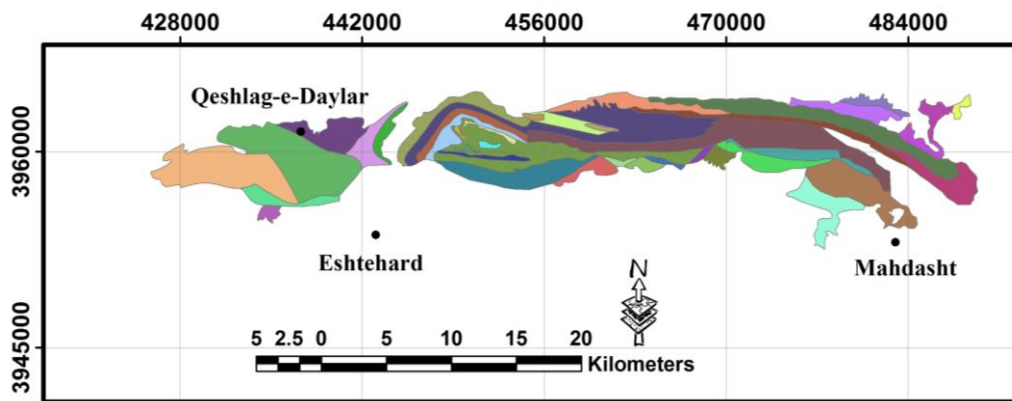
جدول ۲ ارایه شده است. بر این اساس، واحدهای سنگی منطقه در دو رده حساسیت به فرسایش زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. همچنین، مقادیر متوسط شوری و نیز ضریب نفوذپذیری در واحدهای کاری منطقه تحقیق در شکل‌های ۶ و ۷ ارایه شده است.

خصوصیات سنگ‌شناسی واحدهای سنگی در جدول ۲ ارایه شده است. همچنین، نقشه واحدهای کاری منطقه تحقیق در شکل ۵ ارایه شده است. بر این اساس، تعداد ۴۵ واحد کاری حاصل شد. ضریب حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش در

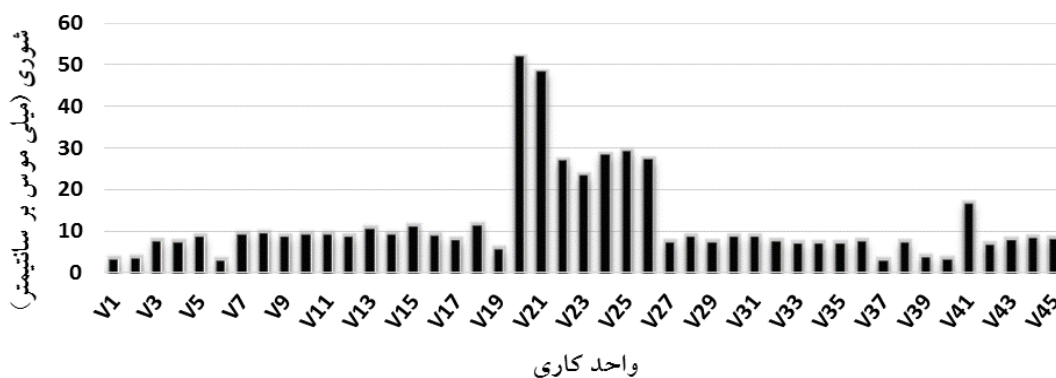
جدول ۲- ضریب حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش

| رده حساسیت به فرسایش | ضریب حساسیت به فرسایش | خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه  | علامت     | سن    |       |
|----------------------|-----------------------|--|-----------|-------|-------|
|                      |                       |  |           | دوره  | دوران |
| حساسیت خیلی زیاد     | ۹/۰                   | کفه‌های رسی  | $Q^c$     | پدیده | پدیده |
|                      | ۸/۵                   | پادگانه‌های آبرفتی بسیار جوان  | $Q_3^t$   |       |       |
|                      | ۸/۵                   | مخروط‌افکنه‌های بسیار جوان   | $Q_3^f$   |       |       |
|                      | ۸/۰                   | پادگانه‌های آبرفتی جوان  | $Q_2^t$   |       |       |
|                      | ۸/۰                   | مخروط‌افکنه‌های جوان   | $Q_2^f$   |       |       |
|                      | ۶/۰                   | پادگانه‌های آبرفتی مرتفع و قدیمی   | $Q_1^t$   |       |       |
| حساسیت زیاد          | ۶/۰                   | مخروط‌افکنه‌های قدیمی  | $Q_1^f$   | پدیده |       |
|                      | ۸/۰                   | مارن قرمز با میان لایه‌های ژیبس و نمک، ماسه‌سنگ و سیلت سنگ سبز آهک نازک لایه | $M^{msl}$ |       |       |
| حساسیت زیاد          | ۶/۰                   | مارن، گل‌سنگ و کنگلومرا  | $M^{mc}$  |       |       |
|                      | ۷/۰                   | مارن قرمز گچ‌دار با میان لایه‌های سیلت و گچ                                  | $M^{mg}$  |       |       |
|                      | ۷/۵                   | تناوب مارن کرم تا خاکستری با میان لایه‌های مارن قهوه‌ای حاوی شن              | $M^{ml}$  |       |       |
|                      | ۶/۵                   | ماسه‌سنگ توده‌ای سخت نشده  | $M^{sc}$  |       |       |
|                      | ۷/۰                   | مارن گچ‌دار و گل‌سنگ با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و گچ                         | $M^m$     |       |       |
|                      | ۶/۰                   | شیل قرمز   | $M^{sh}$  |       |       |
|                      | ۷/۵                   | مارن، نمک، سیلت سنگ، با میان لایه‌های گچ                                     | $M^{mss}$ |       |       |

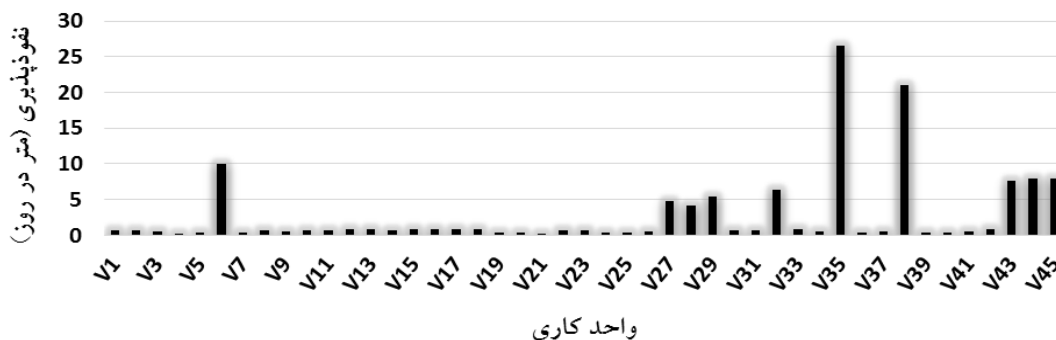
سنگ‌شناسی



شکل ۵- نقشه واحدهای کاری منطقه تحقیق



شکل ۶- مقادیر متوسط شوری در واحدهای کاری



شکل ۷- مقادیر متوسط ضریب نفوذپذیری در واحدهای کاری

اوزان و نسبت سازگاری معیارها مبتنی بر روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به کم‌تر بودن نسبت سازگاری از میزان  $0/1 (CR \leq 0.1)$ ، پذیرش سازگاری مورد تایید است.

جدول ۳- وزن معیارها و نسبت سازگاری

| وزن   | نمایه سازگاری (CI) | نمایه ناسازگاری تصادفی (RI) | نسبت سازگاری (CR) | معیار            |
|-------|--------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|
| ۰/۲۳۴ |                    |                             |                   | حساسیت به فرسایش |
| ۰/۶۸۸ | ۰/۰۳۹              | ۰/۵۸۰                       | ۰/۰۶۷             | شوری             |
| ۰/۰۷۸ |                    |                             |                   | نفوذپذیری        |

دامنه تغییرات شاخص ویکور گزینه‌ها مبتنی بر روش AHP-VIKOR از ۰/۴۴۳ تا ۰/۹۶۷ متغیر است.



سه شاخص حساسیت نسبت به فرسایش، میزان شوری و سرعت نفوذپذیری آب در هر یک از واحدهای کاری، به عنوان واحدهای همگن اراضی، جمعاً مشتمل بر ۴۵ واحد و با در نظر گرفتن مقادیر حدی شاخص‌ها برای ویژگی‌های سه‌گانه ذکر شده، اقدام به تعیین و مشخص کردن شدت یا پتانسیل بیابان‌زایی با توجه به ترکیب‌های متفاوت با کاربرد مقادیر شاخص ویکور حاصل از روش AHP- VIKOR و حدود طبقات مندرج در جدول ۴ شد.

نتایج این تحقیق، نشان می‌دهد که واحدهای V67 و V40 به ترتیب با دارا بودن شاخص‌های ویکور ۰/۴۴۳ و ۰/۹۶۷ کمینه و بیشینه پتانسیل بیابان‌زایی را به خود اختصاص داده‌اند. بر این اساس، اولویت‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی واحدها از کمینه به بیشینه در شکل ۸ ارائه شده است. با توجه به تعیین و مشخص کردن مقادیر کمی



شکل ۸- اولویت‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی واحدهای کاری در منطقه تحقیق

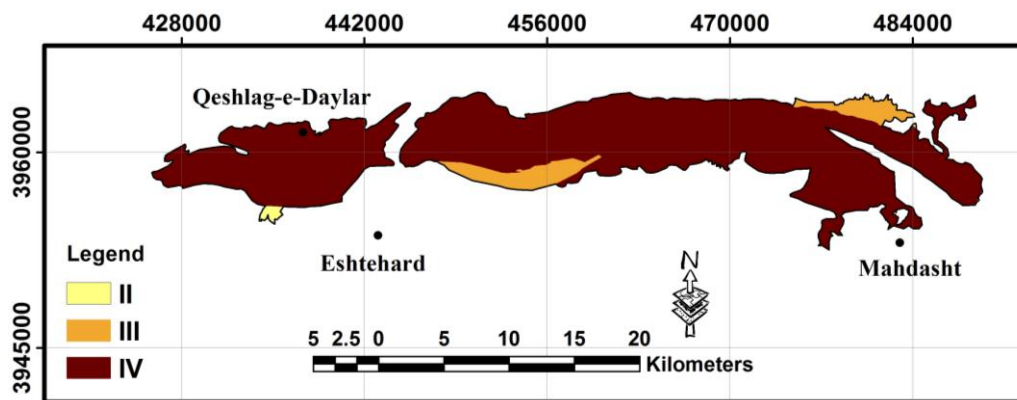
جدول ۴- خلاصه نتایج تلفیقی طبقه پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق

| طبقه | پتانسیل بیابان‌زایی / طبقه کیفی | شدت یا پتانسیل کمی بیابان‌زایی | حدود تغییرات مقادیر شاخص ویکور | میانگین مقادیر شاخص ویکور |
|------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| I    | کم                              | ۰/۲۵ - ۰/۱۰۰                   | -                              | -                         |
| II   | متوسط                           | ۰/۵۰ - ۰/۲۵                    | ۰/۴۴۳ - ۰/۴۵۲                  | ۰/۴۴۸                     |
| III  | زیاد                            | ۰/۷۵ - ۰/۵۰                    | ۰/۵۰۱ - ۰/۷۳۸                  | ۰/۵۶۹                     |
| IV   | خیلی زیاد                       | ۱/۰۰ - ۰/۷۵                    | ۰/۸۴۶ - ۰/۹۶۷                  | ۰/۹۱۰                     |

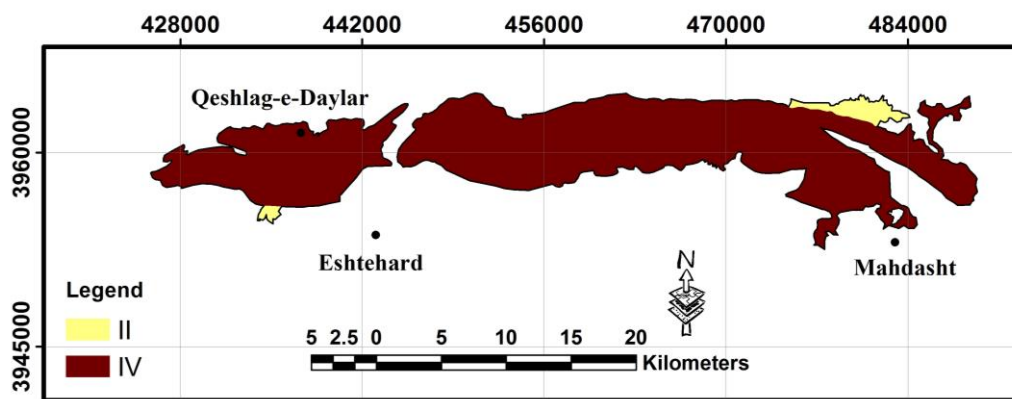
دارای پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد (کد IV) است. سپس، از طریق روی هم‌گذاری و تقاطع نقشه حاصل از پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی منطقه تحقیق با کاربرد مدل AHP-VIKOR (شکل ۹) با نقشه شاهد که وضعیت موجود منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۱۰)، در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.3 اقدام به مشخص کردن هم‌پوشانی طبقات و محاسبه خطای نسبی مبتنی بر رابطه (۱۰) شد. همچنین، در این تحقیق، اقدام به محاسبه درصد انطباق و عدم انطباق طبقات و نیز محاسبه مقادیر متوسط درصد انطباق و عدم انطباق طبقات مختلف پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق مبتنی بر برون‌داد مدل AHP-VIKOR و نقشه وضعیت موجود منطقه شد (جدول ۵).

نقشه طبقه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی منطقه تحقیق در شکل ۹ ارائه شده است. بر این اساس، منطقه تحقیق دارای سه طبقه پتانسیل یا شدت بیابان‌زایی است. به طوری که ۱۶۹/۳۹ هکتار (۰/۵۱ درصد) از منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی متوسط، ۲۳۳۶/۵۶ هکتار (۷/۰۶ درصد) از منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی زیاد و ۳۰۵۸۳/۲۵ هکتار (۹۲/۴۳ درصد) از منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد است.

به منظور ارزیابی مدل، نخست اقدام به تهیه نقشه وضعیت موجود منطقه (نقشه مشاهداتی) شد (شکل ۱۰). این نقشه، شامل دو پهنه بوده که به صورت پهنه دارای پتانسیل بیابان‌زایی متوسط (کد II) و پهنه



شکل ۹- نقشه پیش‌بینی شده پتانسیل تخریب اراضی حاصل از مدل AHP-VIKOR



شکل ۱۰- نقشه وضعیت موجود

جدول ۵- میزان هم‌پوشانی نقشه‌ها و محاسبات ارزیابی

| عدم انطباق طبقات (درصد) | انطباق طبقات (درصد) | مساحت با طبقه غیرهمسان (هکتار) | مساحت با طبقه همسان (هکتار) | شاهد               |      | مدل                |      |
|-------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|------|--------------------|------|
|                         |                     |                                |                             | مساحت طبقه (هکتار) | طبقه | مساحت طبقه (هکتار) | طبقه |
|                         |                     |                                |                             | ۱۶۰/۶۵             | II   | ۱۶۹/۳۹             | II   |
|                         |                     |                                |                             | ۸/۷۵               | IV   |                    |      |
| ۷/۰۹                    | ۹۲/۹۱               | ۲۳۴۵/۳۱                        | ۳۰۷۴۳/۹۴                    | ۹۱۷/۰۸             | II   | ۲۳۳۶/۵۶            | III  |
|                         |                     |                                |                             | ۱۴۱۹/۴۸            | IV   |                    |      |
|                         |                     |                                |                             | ۳۰۵۸۳/۳۰           | IV   | ۳۰۵۸۳/۲۵           | IV   |

### نتیجه‌گیری

تعیین پتانسیل بیابان‌زایی مناطق از جمله مواردی است که می‌بایست در مقوله مدیریت اراضی، به‌خصوص در مدیریت یکپارچه و پایدار سرزمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته شود. در تعیین پتانسیل بیابان‌زایی، علاوه بر کاربرد شاخص‌های سنجش از دور مرتبط با آثار تخریب اراضی در منطقه Sepehr و Zucca، ۲۰۱۲؛ Ajaj و همکاران، ۲۰۱۷؛

نتایج حاصل نشان‌دهنده انطباق خیلی زیاد طبقات پتانسیل بیابان‌زایی حاصل از مدل AHP-VIKOR با طبقات مربوطه در نقشه شاهد بوده، به‌طوری‌که درصد انطباق و نیز عدم انطباق طبقات پتانسیل بیابان‌زایی محاسباتی با نقشه شاهد به ترتیب ۹۲/۹۱ و ۷/۰۹ درصد بوده، به‌طوری‌که انطباق طبقات پتانسیل بیابان‌زایی در طبقه انطباق خیلی زیاد (۷۵ تا ۱۰۰ درصد) قرار دارد.

بیابان‌زایی را در منطقه تحقیق به خود اختصاص داده‌اند. بررسی‌های میدانی و مطالعاتی نشان داد که از جمله دلایل مهم پتانسیل بالای بیابان‌زایی مخروط-افکنه‌های مشرف به ارتفاعات حلقه دره، حضور سازندهای مارنی و شور در سراب آن‌ها است که به‌عنوان منشأ تشکیل این مخروط‌افکنه‌ها در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی بوده، آن‌ها را در طول زمان تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. Salehpour Jam (۲۰۰۶) تابع گامای فازی ۰/۸ را به‌منظور تعیین شدت بیابان‌زایی واحدهای ژئومورفولوژیکی معرفی کرد. نتایج تحقیق وی، نشان داد که مبتنی بر نتایج عملگر ۰/۸ از مدل منطق فازی، مخروط‌افکنه‌های واقع در جنوب ارتفاعات حلقه دره دارای بیشینه پتانسیل بیابان‌زایی در حوزه آبخیز رودخانه شور بوده، همچنین، مخروط-افکنه‌های مشرف به کوه جارو از پتانسیل کم بیابان‌زایی و تخریب اراضی برخوردار بوده‌اند.

همچنین، نتایج به‌دست آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نشان داد که از دیدگاه خبرگان، مهمترین عامل موثر در تخریب اراضی و بیابان‌زایی، شوری است. سایر عوامل از قبیل حساسیت به فرسایش و نیز ضریب نفوذپذیری به‌ترتیب در رده‌های بعدی اهمیت قرار دارند. همچنان‌که، میزان شوری افزایش می‌یابد، گیاهان با مشکل جذب آب و مواد غذایی از خاک مواجه شده، حساس به افزایش مقادیر یون‌های سمی از قبیل سدیم و کلر می‌شوند. بنابراین، خاک‌های شور برای بسیاری از کاربری‌های کشاورزی مناسب نبوده، پوشش گیاهی را کاهش می‌دهند (Neave و Rayburg, ۲۰۰۶). همچنین، حضور سدیم در خاک از طریق پراکنش ذرات خاک و به‌هم‌زدن ساختمان خاک، موجبات انتقال ذرات خاک را طی رواناب جاری فراهم آورده، به‌عبارت بهتر، موجب فرسایش بیشتر خاک می‌شود (Agassi و همکاران، ۱۹۹۴).

### پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود تا در تحقیقات آتی، کاربرد و دامنه توانایی سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره از قبیل SAW و ELECTRE در پهنه‌بندی پتانسیل

Masoudi و همکاران، ۲۰۱۸) می‌توان از فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره و تعیین شاخص‌های موثر در رخداد تخریب اراضی و بیابان‌زایی نیز استفاده کرد (Yuniwati, ۲۰۱۶).

نتایج حاصل از پهنه‌بندی منطقه تحقیق با کاربرد روش AHP-VIKOR نشان‌دهنده حضور طبقات مختلف پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق است. بر این اساس، منطقه تحقیق دارای چهار طبقات خطر پتانسیل یا شدت بیابان‌زایی است، به‌طوری‌که ۰/۵۱ درصد از منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی متوسط، ۷/۰۶ درصد از منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی زیاد و ۹۲/۴۳ درصد از منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد است. Karimpour Reihan و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی معیار خاک‌شناسی موثر بر تخریب اراضی در واحدهای سنگی کواترنر با کاربرد روش گامای فازی، نشان دادند که پتانسیل مخروط‌افکنه‌ها در طبقات مختلف پتانسیل بیابان‌زایی در بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور متغیر است. همچنین، Feiznia و Nosrati (۲۰۰۷) در بررسی نقش مواد مادری بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز طالقان، نشان دادند که فرسایش‌پذیری به‌دلیل تغییرات سنگ‌شناسی مختلف از بازالیت به سمت رسوبات آبرفتی افزایش می‌یابد.

شناسایی و محاسبه شاخص‌های زمین‌شناسی موثر بر بیابان‌زایی و نیز تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوطه مبتنی بر فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره و اولویت‌بندی واحدها از اهداف اصلی این تحقیق است. مبتنی بر تقاطع و روی‌هم‌گذاری نقشه پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق، حاصل از روش AHP-VIKOR با نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که مخروط‌افکنه‌های کهن و جوان و نیز پادگانه‌های آبرفتی کهن (مرتفع)، جوان و بسیار جوان مشرف به کوه جارو در جنوب منطقه تحقیق دارای کمینه پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق‌اند. این در حالی است که مارن‌های منطقه، مخروط‌افکنه‌های جوان و بسیار جوان مشرف به تشکیلات مارنی ارتفاعات حلقه دره و نیز پادگانه‌های آبرفتی جوان و بسیار جوان ارتفاعات حلقه دره، بیشینه پتانسیل

### سپاسگزاری

این تحقیق، در قالب پروژه تحقیقاتی با کد ۹۵۱۱۵-۲۹-۲-۲ و با استفاده از اعتبارات مالی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است و نویسندگان بدین‌وسیله از تمامی دست‌اندرکاران و به‌ویژه از پرسنل آزمایشگاه خاک-شناسی این پژوهشکده صمیمانه قدردانی می‌کنند.

بیابان‌زایی واحدها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود تا نقشه ریسک نیز علاوه بر نقشه خطر مبتنی بر درجات مختلف آسیب‌پذیری تهیه شود. همچنین، به‌کارگیری نقشه پتانسیل بیابان‌زایی و نیز اولویت‌بندی مربوطه می‌تواند در اجرای عملیات احیای طبیعت و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در عرصه‌های بیابانی سودمند باشد.

### منابع مورد استفاده

1. Agassi, M., D. Bloem and M. Ben Hur. 1994. Effect of drop energy and soil and water chemistry on infiltration and erosion. *Water Research*, 30(1): 1187-1193.
2. Ahmadi, H. 2012. *Applied geomorphology*, Vol. 1 (water erosion). University of Tehran Press, Tehran, 714 pages (in Persian).
3. Ahmadi, H., B. Peimaninejad, A. Kosar and M. Mahdavi. 2010. A dictionary of agriculture and natural resources. Vol. 12, University of Tehran Press, Tehran, 202 pages (in Persian).
4. Ajaj, Q.M., B. Pradhan, A.M. Noori and M.N. Jebur. 2017. Spatial monitoring of desertification extent in western Iraq using Landsat images and GIS. *Land Degradation and Development*, 28(8): 2418-2431.
5. Asadi Nalivan, O., M. Rostami Khalaj, M. Mohseni Saravi and A. Sour. 2015. Prioritizing of watershed management planning using TOPSIS method in the watershed, case study: Zydasth, Taleghan. *Journal of Watershed Management Research*, 6(12): 98-107 (in Persian).
6. Bano, A. and M. Fatima. 2009. Salt tolerance in Zea mays (L.) following inoculation with rhizobium and pseudomonas. *Biology and Fertility of Soils*, 45: 405-413.
7. Eskandari, H., M. Borji, H. Khosravi and T. Mesbahzadeh. 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran Province, affected by climate change. *Solid Earth*, 7(3): 905-915 (in Persian).
8. Feiznia, S. 1997. Effect of salt domes of Iran on natural resources degradation, spread of salt land and desertification, case study: Hable-Rood of Garmsar. *Proceedings of Second Conference of Desertification and Kinds of Methods of Desert Combating*, Kerman, Institute of Jungles and Rangelands Researches, 185-192 (in Persian).
9. Feiznia, S. and K. Nosrati. 2007. The effect of parent material and land-use on soil erosion, case study of the Taleghan Drainage Basin, Iran. *Proceedings of Symposium HS2005 at IUGG2007, Perugia, Water Quality and Sediment Behavior of the Future: Predictions for the 21st Century*, IAHS Publication, Perugia, Italy, 310 pages.
10. Grau, J.B., A. Corrales, A.M. Tarquis Alfonso, F. Colombo, L.D.L. Rios and J.M. Cisneros. 2010. Mathematical model to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control for the chaco area in Salta Province, Argentine. *Biogeosciences*, 7(2): 2601-2630.
11. Hwang, C.L. and K. Yoon. 1981. *Multiple attributes decision making methods and applications*. Springer, Berlin Heidelberg, 269 pages.
12. Karimpour Reihan, M., A. Salehpour Jam, M.K. Kianian and D. Jahani. 2007. Investigation of pedological criterion on land degradation in quaternary rock units, case study: Rude-Shoor watershed area. *Desert*, 12: 77-84.
13. Kashki, M.T. 1997. Investigation of salinization trend of Playa wetlands, case study: Roodab, Sabzevar. MSc Thesis, Desert Research Institute, University of Tehran, 248 pages (in Persian).
14. Lamchin, M., W.K. Lee, S.W. Jeon, J.Y. Lee, C. Song, D. Piao, C.H. Lim, A. Khaulenbek and I. Navaandorj. 2017. Correlation between desertification and environmental variables using remote sensing techniques in Hogno Khaan, Mongolia. *Sustainability*, 9(4): 581-594.
15. Masoudi, M., P. Jokar and B. Pradhan. 2018. A new approach for land degradation and desertification assessment using geospatial techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(4): 1133-1140.
16. Negarehsh, H., Z. Rakhshani, F. Firoozi and H. Alinia. 2016. Desertification assessment using the analytic hierarchy process and GIS in south-east Iran. *Geografiska Annaler*, 1: 1-14.
17. Neave, M. and S. Rayburg. 2006. *Salinity and erosion: a preliminary investigation of soil erosion on a salinized hillslope*. IAHS Publication, 531 pages.
18. Paul, D. 2012. Osmotic stress adaptations in rhizobacteria. *Basic Microbiol Journal*, 52: 1-10.
19. Peyrowan, H.R. and M. Shariat Jafari. 2013. Presentation of a comprehensive method for determining

- erodibility rate of rock units with a review on Iranian geology. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(3): 199-213 (in Persian).
20. Pishyar, S., H. Khosravi, A. Tavili and A. Malekian. 2016. Ranking effective desertification indices using TOPSIS and analytic hierarchy process. *Journal of Environmental Hazards*, 5(8): 83-96 (in Persian).
  21. Rączkowska, Z., A. Bucala-Hrabia and P. Prokop. 2018. Geomorphological and sedimentological indicators of land degradation (M. Eghalaya, P. Lateau, N.E. India). *Land Degradation and Development*, 29(8): 2746-2759.
  22. Rajabi Aleni, M. 2001. Investigation of geological role on desertification, case study: Mond watershed area. MSc Thesis, Arid Mountain Zone Reclamation Group, University of Tehran, 215 pages (in Persian).
  23. Saaty, T. 1980. *The analytical hierarchy process, planning, priority, resource allocation*. McGraw-Hill, 287 pages.
  24. Sadeghiravesh, M.H., G. Zehtabian and H. Khosravi. 2014. Application of AHP and ELECTRE models for assessment of dedesertification alternatives. *Desert*, 19(2): 141-153.
  25. Salagegheh, A., S.E. Rafiei, A. Moghadammia, A. Malekian, Sh. Araghinejad, Sh. Khalighi Sigaroudi and A. Salehpour Jam. 2017. Performance assessment of LARS-WG and SDSM downscaling models in simulation of precipitation and temperature. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2): 253-262 (in Persian).
  26. Salehpour Jam, A. 2006. Investigation of geological criterion on land degradation in geomorphological units, Rude-Shoor watershed area. MSc Thesis, Arid and Mountain Zones Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 191 pages (in Persian).
  27. Salehpour Jam, A., M. Karimpour Reihan, M. Mohseni Saravi, J. Bazrafshan and Sh. Khalighi Sigaroudi. 2017. Investigation of climate change effect on drought characteristics in the future period using the HadCM3 model, case study: Khoy Station, north-west of Iran. *Desert*, 22(1): 43-50.
  28. Salehpour Jam, A., M. Mohseni Saravi, J. Bazrafshan and Sh. Khalighi Sigaroudi. 2015. Investigation of climate change effect on drought characteristics in the future period using the HadCM3 model, case study: north-west of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 67(4): 537-545 (in Persian).
  29. Salehpour Jam, A. and A. Sarreshtehdari. 2019. Investigation of soil index affecting on desertification in alluvial fans using AHP-VIKOR technique, case study: south of Rude-Shoor watershed area. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(3): 711-726 (in Persian).
  30. Salvati, L., M. Zitti and L. Perini. 2016. Fifty years on: long-term patterns of land sensitivity to desertification in Italy. *Land Degradation and Development*, 27(2): 97-107.
  31. Sarabian, L. 2002. Investigation of cause of salinization of water and soil in Gonbad Plain, desert combating. MSc Thesis, Arid and Mountain Zones Reclamation, Faculty of Natural resources, University of Tehran, 176 pages (in Persian).
  32. Sepehr, A. and C. Zucca. 2012. Ranking desertification indicators using TOPSIS algorithm. *Natural Hazards*, 62(3): 1137-1153.
  33. Tahmasebi, A. 1998. Investigation of influence causes on salinization of water and soil and desert spreading in Rude-Shoor area, Eshtehard. MSc. Thesis, Desert Combating, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 147 pages (in Persian).
  34. Topping, J. 2012. *Errors of observation and their treatment (Vol. 62)*. Springer Science and Business Media, 119 pages.
  35. Vieira, R.M.S.P., J. Tomasella, R.C.S. Alvalá, M.F. Sestini, A.G. Affonso, D.A. Rodriguez, A.A. Barbosa, A.P.M.A. Cunha, G.F. Valles, E. Crepani and De S.B.P. Oliveira. 2015. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian Northeast. *Solid Earth*, 6(1): 347-360.
  36. Xu, E.Q., H.Q. Zhang and M.X. Li. 2015. Object-based mapping of karst rocky desertification using a support vector machine. *Land Degradation and Development*, 26(2): 158-167.
  37. Yuniwati, I. 2016. Correlation test application of supplier's ranking using TOPSIS and AHP-TOPSIS method. *Cauchy*, 4(2): 65-73.