

بررسی اثر شاخص خاک بر پتانسیل بیابان‌زایی مخروط‌افکنه‌ها با کاربرد روش AHP-VIKOR، مطالعه موردی: بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور

امین صالح‌پور جم^{۱*} و امیر سررشته‌داری^۲

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۲ مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۶

چکیده

بررسی روند بیابان‌زایی مستلزم درک پدیده‌هایی است که هم به‌طور منفرد و هم در کنش و واکنش با یکدیگر در یک ناحیه تغییراتی را به‌وجود آورده‌اند که این تغییرات منجر به بیابان‌زایی و تخریب اراضی شده است. به‌منظور بررسی اثر معیار خاک‌شناسی بر پتانسیل بیابان‌زایی مخروط‌افکنه‌ها در بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور، نخست اقدام به تهیه نقشه طبقات شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی کاربردی با هدف ایجاد واحدهای همگن و تعیین خصوصیات خاک شد، به‌طوری‌که از طریق روی هم قرار دادن و تقاطع این نقشه‌ها با لایه شبکه‌ای ایجاد شده به‌وسیله برنامه جانبی ET GeoWizards در نرم‌افزار ArcGIS 10.3، نقشه واحدهای کاری حاصل شد. در این تحقیق، سه شاخص حساسیت-پذیری نسبت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری خاک در نظر گرفته شد که در نهایت هر یک به‌صورت نقشه‌ای طبقه‌بندی شده، ارائه شدند. سپس اقدام به محاسبه وزن معیارها و نیز نسبت سازگاری با کاربرد روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی شد و از شاخص ویکور به‌منظور تعیین پتانسیل و اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، دامنه تغییرات شاخص ویکور در گزینه‌ها مبتنی بر روش AHP-VIKOR از ۰/۰۰۲ تا ۱/۰۰۰ متغیر است. واحدهای V1 و V10 به‌ترتیب با دارا بودن شاخص‌های ویکور ۱/۰۰۰ و ۰/۰۰۲، بیشینه و کمینه پتانسیل بیابان‌زایی را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی منطقه تحقیق نشان‌دهنده حضور دو طبقه کم (I) و خیلی زیاد (IV) در پهنه‌بندی شدت یا پتانسیل بیابان‌زایی مخروط‌افکنه‌ها است، به‌طوری‌که ۷۴/۱۸ درصد منطقه (معادل ۴۲۴۵/۷۷ هکتار) دارای پتانسیل بیابان‌زایی کم و ۲۵/۸۲ درصد (معادل ۱۴۷۷/۶۷ هکتار) دارای پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد است.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، حساسیت‌پذیری به فرسایش، شوری، نفوذپذیری، واحدهای کاری

مقدمه

است که هم به‌طور منفرد و هم در کنش و واکنش با یکدیگر در یک ناحیه تغییراتی را به‌وجود آورده‌اند که این تغییرات منجر به تخریب اراضی شده است. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌وسیله Saaty در اواخر دهه ۱۹۷۰ رایج شد. AHP روشی بسیار انعطاف‌پذیر و

تخریب اراضی در اقلیم‌های مختلف موجب انهدام بوم‌سازگان‌های طبیعی شده، کاهش توان تولید بیولوژیک طبیعت را به همراه دارد. بررسی روند بیابان‌زایی و تخریب اراضی مستلزم درک پدیده‌هایی

است. Salehpour Jam (۲۰۰۶) اقدام به بررسی پتانسیل بیابان‌زایی انواع واحدهای سنگی در حوضه رودخانه شور با کاربرد روش منطق فازی کرد. وی تابع گامای فازی ۰/۸ را برای پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی انواع واحدهای سنگی از نظر معیار زمین‌شناسی در واحدهای ژئومورفولوژیکی معرفی کرد. Van Lynden و همکاران (۲۰۰۴)، کیفیت خاک را به‌عنوان مهمترین عامل در مدیریت پایدار اراضی معرفی نمودند. Karimpour Reihan و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی معیار خاک‌شناسی موثر بر تخریب اراضی در واحدهای سنگی کواترنر با کاربرد منطق فازی، نشان دادند که پتانسیل مخروط‌افکنه‌ها در طبقات مختلف پتانسیل بیابان‌زایی در بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور متغیر است. Feiznia و Nosrati (۲۰۰۷) در بررسی اثر مواد مادری و کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز طالقان، نشان دادند که فرسایش‌پذیری به‌دلیل تغییرات سنگ‌شناسی مختلف از بازالت به سمت رسوبات آبرفتی افزایش می‌یابد. هدف از این تحقیق، ارائه شاخص‌هایی برای مشخص شدن تأثیر معیار خاک‌شناسی در بیابان‌زایی و همچنین، پهنه‌بندی پتانسیل یا شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه بر اساس روش AHP-VIKOR است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز رودخانه شور به وسعت تقریباً ۱۷۰۰۰ کیلومتر مربع بوده که شامل بخش‌هایی از استان تهران، زنجان و نیز قسمت کوچکی از استان مرکزی است. این حوضه در محدوده جغرافیایی ۳۰° ۴۸' تا ۵۱° شرقی و ۲۱° ۳۵' تا ۳۰° ۳۶' شمالی و بین دو سامانه و ساختار زمین‌شناسی نسبتاً متفاوت البرز جنوبی و ایران مرکزی واقع شده است. این حوضه از نظر اقلیمی متوسط بارش سالانه حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر در دشت تا ۳۵۰ میلی‌لیتر در ارتفاعات را دارا است. در این تحقیق، مخروط‌افکنه‌های منتخب واقع در بخش جنوبی این حوضه (غرب استان تهران) از دیدگاه معیار خاک‌شناسی موثر بر بیابان‌زایی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).

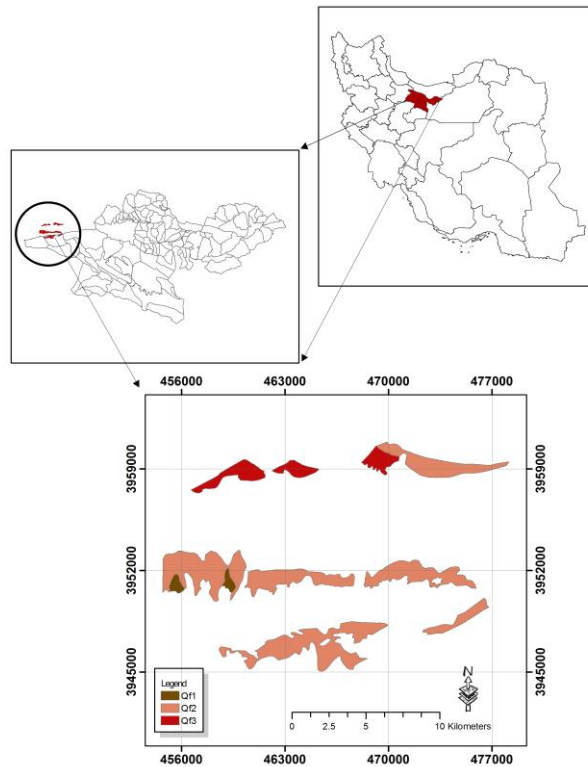
روش انجام پژوهش: به‌منظور بررسی اثر معیار

توانمند در تصمیم‌گیری‌ها بوده که مبتنی بر مقایسات زوجی هر دو مقوله گزینه‌ها و معیارها عمل می‌کند. روش VIKOR در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله Opricovic و Tzeng ارائه شده و در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ این روش توسعه یافته و مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره است، مسایلی با معیارهای نامتناسب و ناسازگار را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Ataei، ۲۰۱۵). در روش ترکیبی AHP-VIKOR، اوزان به‌دست آمده از روش AHP، در ایجاد ماتریس نرمال موزون در روش VIKOR به‌کار برده می‌شوند.

امروزه مطالعات بسیاری در زمینه نقش شوری در تخریب اراضی و بیابان‌زایی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته به‌وسیله Feiznia (۲۰۰۲ و ۱۹۹۷ الف و ب)، Kashki Gorgi Anari (۱۹۹۷)، Rajabi Aleni (۲۰۰۱)، Esenov و همکاران (۱۹۹۳)، Sarabian (۲۰۰۲)، Kaushalya (۱۹۹۲) و Metternicht (۱۹۹۹)، Zinck (۱۹۹۶) اشاره کرد. Tahmasebi (۱۹۹۸) عوامل موثر در شور شدن آب و خاک و گسترش بیابان در حوضه رودخانه شور اشتهارد را بررسی کرده، منابع شورکننده نقطه‌ای (گنبد‌های نمکی) و پراکنده (مارن‌های تبخیری) را مشخص و میزان تأثیر آن‌ها را در تخریب آب و خاک منطقه بررسی کرده است. Feiznia (۱۹۹۵) حساسیت‌پذیری انواع واحدهای سنگی را در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار داده، ضریب مقاومت به فرسایش واحدهای سنگی مختلف را ارائه 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 (Fatima و Bano، ۲۰۰۹). همچنین، در مورد ضریب نفوذپذیری واحدهای منفصل مطالعات بسیاری به‌وسیله Boucher (۱۹۷۶)، Walton (۱۹۷۰) و دیگران صورت گرفته به نحوی که Boucher (۱۹۷۶) ضریب نفوذپذیری انواع واحدهای سنگی منفصل را طی جدولی ارائه کرده

روی هم قراردادن و تقاطع این نقشه‌ها با لایه شبکه‌ای ایجاد شده به وسیله برنامه جانبی ET GeoWizards در نرم‌افزار ArcGIS 10.3، نقشه واحدهای کاری حاصل شد.

خاک‌شناسی بر پتانسیل بیابان‌زایی مخروط‌افکنه‌ها در بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور، نخست اقدام به تهیه نقشه طبقات شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی کاربردی با هدف ایجاد واحدهای همگن و تعیین خصوصیات خاک شد، به طوری که از طریق



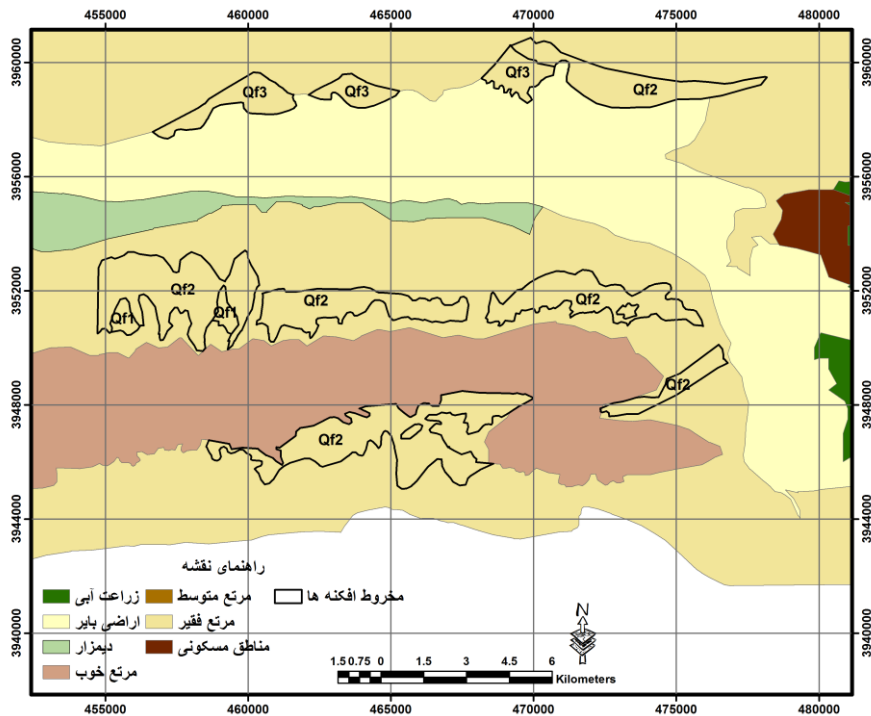
شکل ۱- نقشه منطقه تحقیق

استفاده شد (شکل ۲).

به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه هدف، نخست نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه‌های اشتهارد و کرج، اسکن و سپس از طریق نرم‌افزار ArcGIS 10.3 زمین‌مرجع شدند. با توجه به متفاوت بودن نامگذاری واحدهای سنگی در ورقه‌های کرج و اشتهارد، پس از کنار هم قرار دادن دو ورقه مجاور، ورقه کرج مبنا قرار گرفته، نامگذاری واحدهای سنگی بر اساس آن صورت پذیرفت. در راستای همسان‌سازی نام واحدهای سنگی یکسان با در نظر گرفتن نام واحدهای سنگی موجود در ورقه کرج به عنوان مبنا، تغییر نام واحدهای سنگی اشتهارد در جدول ۱ آورده شده است. (شکل ۳).

نقشه طبقات شیب منطقه هدف با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی^۱ 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)، چهار تا هشت درصد (طبقه ۴)، هشت تا ۱۵ درصد (طبقه ۵) و بیش از ۱۵ درصد (طبقه ۶) تهیه شد که در شکل ۴ ارائه شده است. همچنین، در این تحقیق از نقشه کاربری اراضی حاصل از "طرح اطلس آبخیز" (۱۳۸۷) پس از بررسی منطقه هدف با استفاده از تصاویر Landsat 8، Google Earth و نیز پایش میدانی

^۱ DEM (Digital Elevation Model)



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی منطقه تحقیق

جدول ۱- همسان‌سازی نام واحدهای سنگی یکسان (با در نظر گرفتن نام واحدهای سنگی موجود در ورقه‌ی کرج به‌عنوان مبنا)

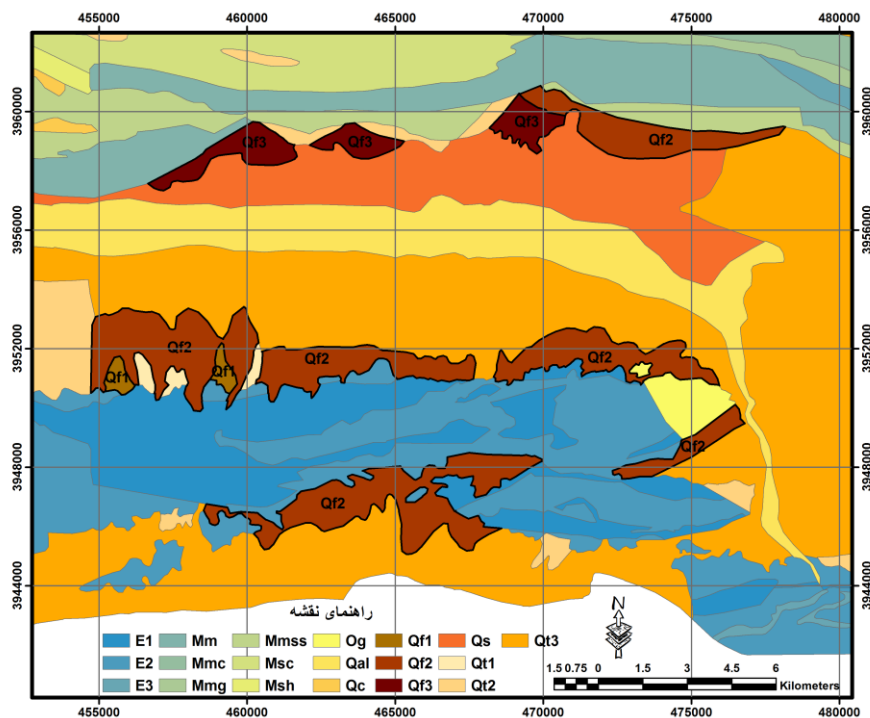
نام واحد سنگی موجود در ورقه اشتهارد	نام جدید واحد سنگی	مشخصات واحدهای سنگی جدید
Q^{cu}	Q_3^c	پادگانه‌های آبرفتی بسیار جوان
M^m	M^{ml}	تناوب مارن کرم تا خاکستری با میان لایه‌های مارن قهوه‌ای حاوی شن
Q^{sl}	Q^s	کفه‌های نمکی
Q^{fp}	Q^{al}	آبرفت‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی
Q_2^c	Q_3^c	پادگانه‌های آبرفتی بسیار جوان
E_2^{ap}	E_2^{al}	تراکی آندزیت آفانتیک تا مگاپورفیری و آندزیت
E_2^{rt}	E_2^{r1}	توف سبز تراکیتی و برش
$M^{m,g}$	M^m	مارن گچ‌دار و گل سنگ با میان لایه‌های ماسه سنگی و گچ
$M^{s,g}$	M^{sc}	ماسه سنگ توده‌ای سخت نشده، کنگلومرا، سیلت سنگ و گچ
M^{rsh}	M^{mss}	مارن، نمک، سیلت سنگ با میان لایه‌های گچ

پس از تهیه نقشه‌های واحدهای سنگی، طبقات شیب و کاربری اراضی، نقشه واحدهای کاری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و به شیوه روی هم-گذاری و تقاطع لایه‌ها با کاربرد تابع Union ایجاد شد. همچنین، شبکه‌ای با ابعاد سلولی ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر مربع در منطقه تحقیق با کاربرد برنامه جانبی ET GeoWizards در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 با هدف ایجاد واحدهای کاری بیشتر ایجاد شد (شکل ۵).

پس از تهیه نقشه‌های واحدهای سنگی، طبقات شیب و کاربری اراضی، نقشه واحدهای کاری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و به شیوه روی هم-گذاری و تقاطع لایه‌ها با کاربرد تابع Union ایجاد شد. همچنین، شبکه‌ای با ابعاد سلولی ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر مربع در منطقه تحقیق با کاربرد برنامه جانبی ET GeoWizards در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 با هدف ایجاد واحدهای کاری بیشتر ایجاد شد (شکل ۵).

از نظر شاخص مقاومت به فرسایش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 صورت گرفت (شکل ۶).

مقاومت به فرسایش روش Feiznia (۱۹۹۵) طبقه‌بندی شد. سپس پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه تحقیق

(نمونه‌ها از ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک برداشت شدند). 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 آزمایشگاه منتقل شده، ضریب نفوذپذیری آن‌ها طبق آزمایش داری تعیین شد. بدین منظور ضریب نفوذپذیری مربوط به ۱۷۴ نمونه دست نخورده طبق آزمایش داری بر حسب متر در روز محاسبه شد و در نهایت طبق طبقه‌بندی ضریب نفوذپذیری صورت گرفته به‌وسیله Bouwer (۱۹۷۸)، با در نظر گرفتن چهار طبقه ضریب نفوذپذیری خیلی کم ($0.069 < K < 1/388$ - سانتی‌متر بر دقیقه)، متوسط ($1/388 - 6/944$ سانتی‌متر بر دقیقه) و زیاد ($6/944 > K$ سانتی‌متر بر دقیقه) پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه به لحاظ شاخص ضریب نفوذپذیری صورت گرفت (شکل ۸). در این مرحله، به‌منظور مشخص نمودن اوزان معیارهای مختلف، از روش فرایند تحلیل سلسله

به‌منظور پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص شوری، نخست نمونه‌گیری تصادفی از واحدهای کاری صورت پذیرفت و دست‌کم در هر واحد کاری سه نمونه گرفته شد (نمونه‌ها از ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک برداشت شدند). بدین منظور هدایت الکتریکی عصاره اشباع مربوط به ۱۵۹ نمونه به‌وسیله دستگاه EC متر بر حسب میلی‌موس بر سانتی‌متر (دسی زیمنس بر متر) محاسبه شد و در نهایت طبق طبقه‌بندی شوری به روش USSSL (۱۹۵۴)، با در نظر گرفتن چهار طبقه شوری کم ($0 \leq EC_e < 2$)، متوسط ($2 \leq EC_e < 4$)، زیاد ($4 \leq EC_e < 8$) و خیلی زیاد ($8 \leq EC_e$) پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه به لحاظ شاخص شوری صورت گرفت (شکل ۷).

همچنین، به‌منظور پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص ضریب نفوذپذیری همانند نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری شوری عمل شد، به‌طوری‌که در هر واحد کاری دست‌کم در سه تکرار به کمک GPS، نسبت به گرفتن نمونه دست نخورده اقدام شد

است.

۳. 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.

۴. تعیین ایده‌آل مثبت و منفی شاخص‌ها (روابط

۵ و ۶).

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

که در آن، f_{ij} ارزش گزینه مورد نظر برای هر معیار

در ماتریس نرمال وزنی است.

۵. محاسبه مقدار سودمندی (S_j) و تأسّف

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.

۶. 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

۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

۷. رتبه‌بندی گزینه‌ها مبتنی بر شاخص ویکور

نتایج و بحث

نقشه طبقات شیب و نیز واحدهای کاری منطقه

تحقیق در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

همچنین، نتایج حاصل از پهنه‌بندی منطقه مورد

مطالعه از نظر شاخص‌های مقاومت به فرسایش، شوری

و ضریب نفوذپذیری به ترتیب در شکل‌های ۶ تا ۸ ارائه

شده است.

مقادیر متوسط شاخص‌ها در هر یک از واحدها در

جدول ۳ ارائه شده است.

مراتبی (AHP) به قرار مراحل زیر استفاده شد.

۱. ایجاد ماتریس مقایسات زوجی: مقایسه‌های

میان هر معیار با استفاده از مقیاس اندازه‌گیری ارایه

شده به‌وسیله Saaty (۱۹۸۰) صورت گرفت، به-

طوری که مقادیر عددی یک تا نه بسته به اهمیت

نسبی معیارها به‌کاربرده شده است. در این تحقیق

نخست پرسشنامه فرایند تحلیل سلسله مراتبی

مبتنی بر مقایسات زوجی معیارها، تهیه و سرانجام از

۲۴ کارشناس نظرسنجی صورت گرفت.

۲. ایجاد ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده

۳. محاسبه اوزان معیارها

۴. محاسبه نسبت سازگاری^۱ (CR) (رابطه ۱)

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

که در آن، RI نمایه ناسازگاری تصادفی است که از

جدول ۲ به‌دست آمده و CI نمایه سازگاری است که

از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

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

که در آن، N تعداد گزینه‌ها در ماتریس تصمیم

(رتبه ماتریس) و λ_{\max} میانگین بردار پایستگی است.

در این تحقیق، به‌منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها، از

روش VIKOR به قرار مراحل زیر استفاده شد. توضیح

این‌که اوزان به‌دست آمده از روش AHP در ایجاد

ماتریس نرمال موزون (رابطه ۴) در روش VIKOR

به‌کار برده می‌شوند.

۱. ایجاد ماتریس تصمیم: مبتنی بر ویژگی‌های

واحدهای کاری بر اساس سه شاخص ضریب مقاومت

به فرسایش، شوری و نفوذپذیری است (جدول ۳).

۲. بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم (n_{ij}) (رابطه

۳)

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad \text{for } i \in I = \{1, 2, \dots, m\}$$

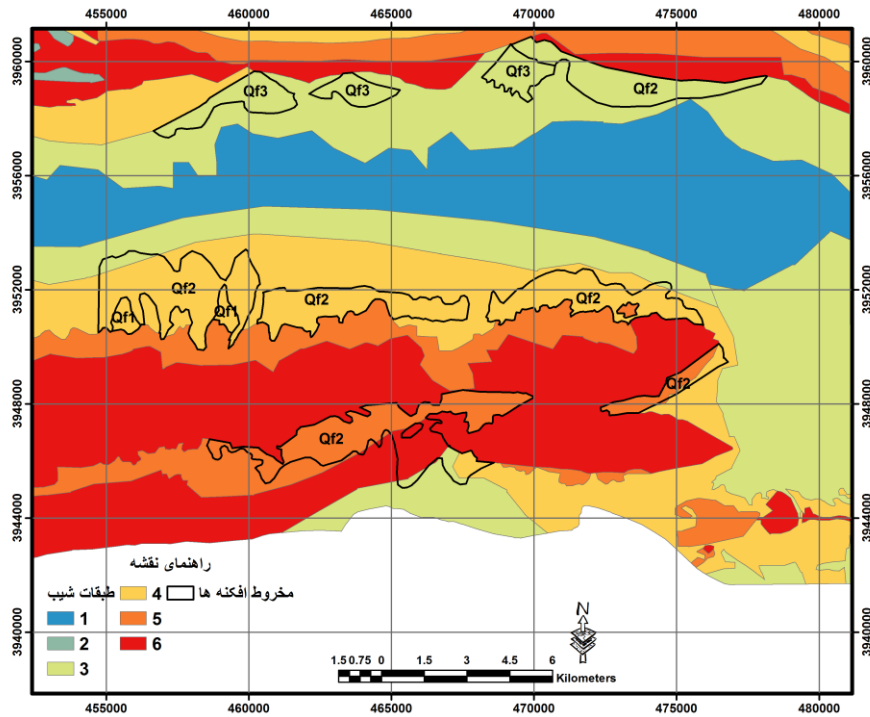
$$\text{and } j \in J = \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

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

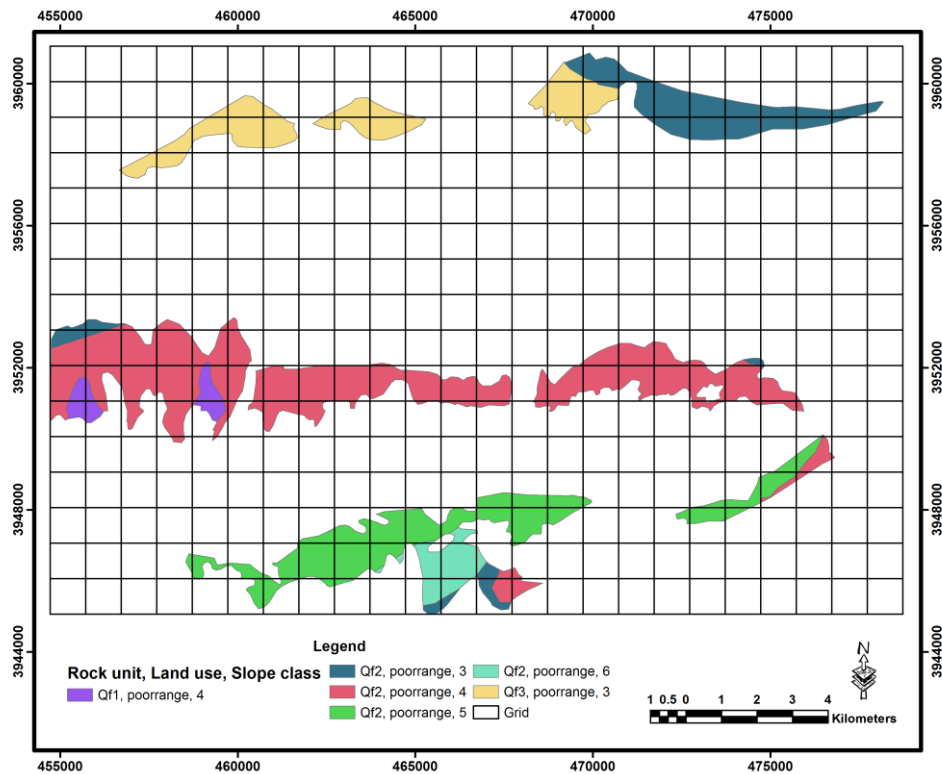
^۱ Consistency Ratio

جدول ۲- نمایه‌های ناسازگاری تصادفی (Saaty، ۱۹۸۰)

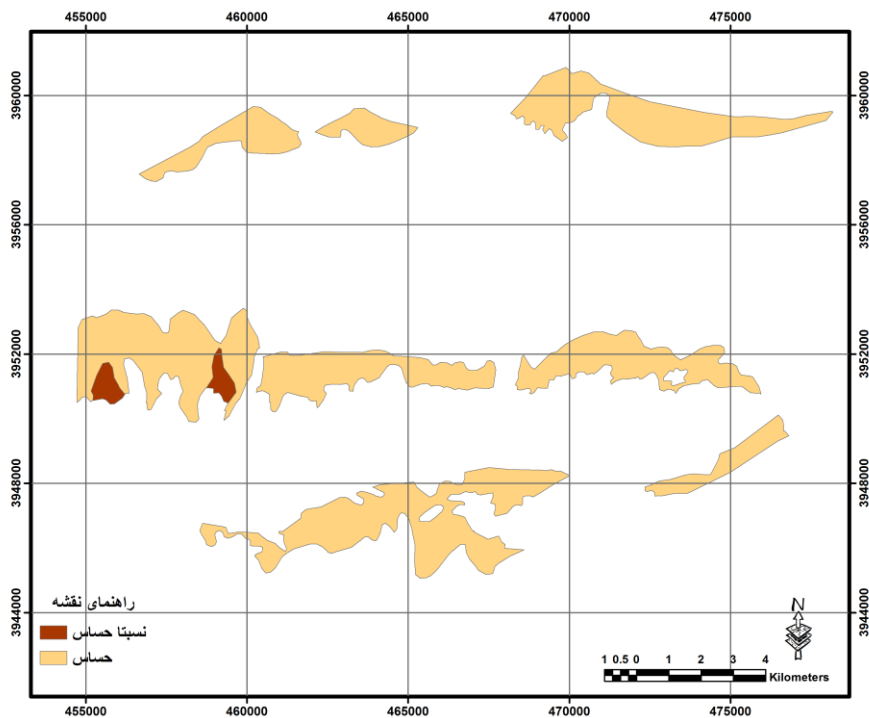
N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۶	۱/۴۹



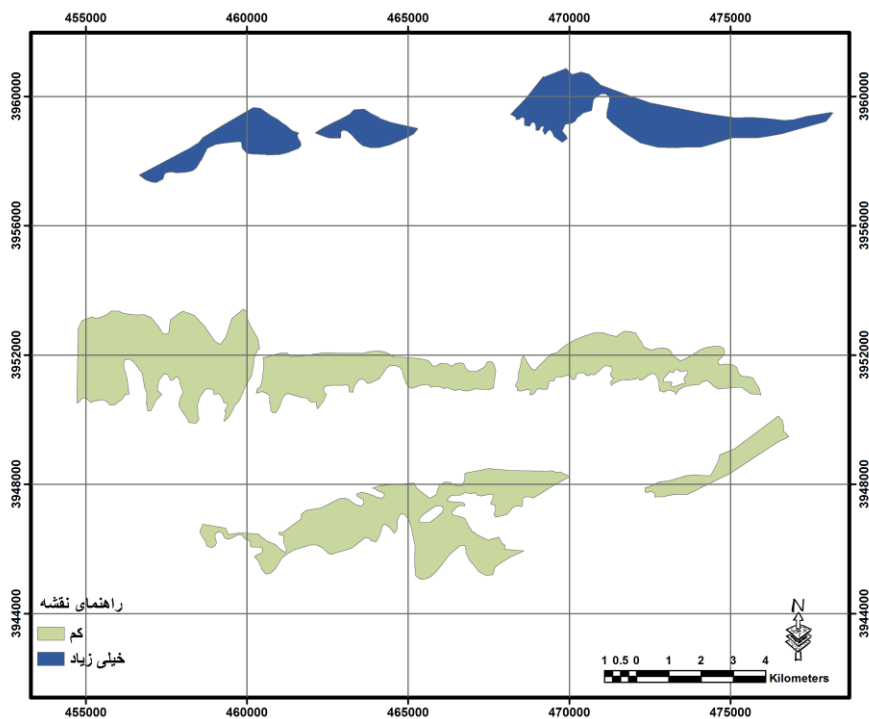
شکل ۴- نقشه طبقات شیب منطقه تحقیق



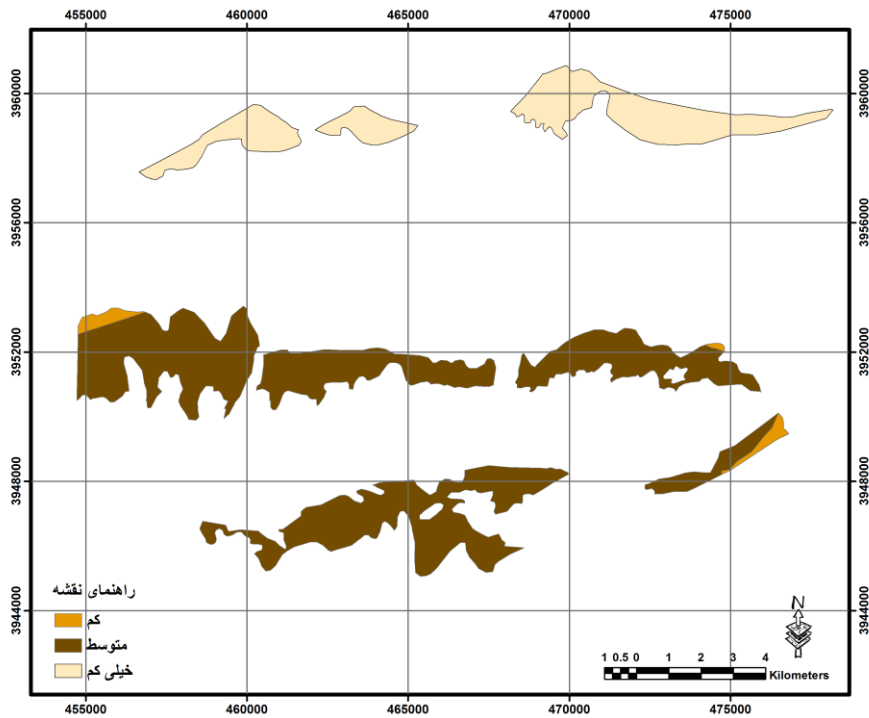
شکل ۵- نقشه واحدهای کاری منطقه تحقیق



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی مقاومت به فرسایش در منطقه تحقیق



شکل ۷- پهنه‌بندی شوری در منطقه تحقیق



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی ضریب نفوذپذیری در منطقه تحقیق

جدول ۳- ویژگی‌های واحدهای کاری بر اساس سه شاخص ضریب مقاومت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری

شماره واحد کاری	مساحت (هکتار)	نفوذپذیری		شوری		ضریب مقاومت به فرسایش	
		طبقه کیفی	مقدار کمی (متر در روز)	طبقه کیفی	مقدار کمی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	طبقه کیفی	مقدار کمی (بدون بعد)
۱	۶۷۹	خیلی کم	۰/۶۱۴	خیلی زیاد	۱۲/۴۳۰	حساس	۳
۲	۲۳۹	خیلی کم	۰/۷۱۸	خیلی زیاد	۱۱/۲۷۰	حساس	۳
۳	۱۹۳	خیلی کم	۰/۶۷۱	خیلی زیاد	۹/۴۸۰	حساس	۳
۴	۳۶۷	خیلی کم	۰/۶۲۰	خیلی زیاد	۹/۶۴۰	حساس	۳
۵	۹	کم	۱۹/۲۳۰	کم	۰/۹۰۵	حساس	۴
۶	۷۰۸	متوسط	۵۹/۴۴۴	کم	۰/۷۴۶	حساس	۴
۷	۶۸۲	متوسط	۶۸/۱۱۴	کم	۰/۶۸۰	حساس	۴
۸	۶۹	کم	۱۷/۲۱۵	کم	۱/۰۰۲	حساس	۴
۹	۱۰۴۷	متوسط	۵۱/۸۲۵	کم	۰/۹۱۸	حساس	۴
۱۰	۷۳	متوسط	۷۱/۰۱۹	کم	۰/۷۳۰	نسبتاً حساس	۵
۱۱	۸۰	متوسط	۶۸/۲۲۵	کم	۰/۸۸۱	نسبتاً حساس	۵
۱۲	۷۰	متوسط	۵۳/۰۳۰	کم	۰/۸۰۲	حساس	۴
۱۳	۲۴۹	متوسط	۶۳/۷۹۱	کم	۱/۰۳۰	حساس	۴
۱۴	۹۴۳	کم	۱۲/۲۰۱	کم	۰/۷۸۳	حساس	۴
۱۵	۷۵	متوسط	۵۹/۷۰۱	کم	۰/۸۸۰	حساس	۴
۱۶	۵۷	کم	۱۳/۶۱۳	کم	۱/۰۹۶	حساس	۴
۱۷	۱۸۵	کم	۱۱/۸۲۲	کم	۰/۸۱۷	حساس	۴

جدول ماتریس استاندارد شده موزون، مقادیر سودمندی و تأسف شاخص‌ها و مقادیر محاسباتی شاخص ویکور در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که واحدهای V1 و V10 به ترتیب با دارا بودن شاخص‌های ویکور ۱/۰۰۰ و ۰/۰۰۲ بیشینه و کمینه پتانسیل بیابان‌زایی را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۹).

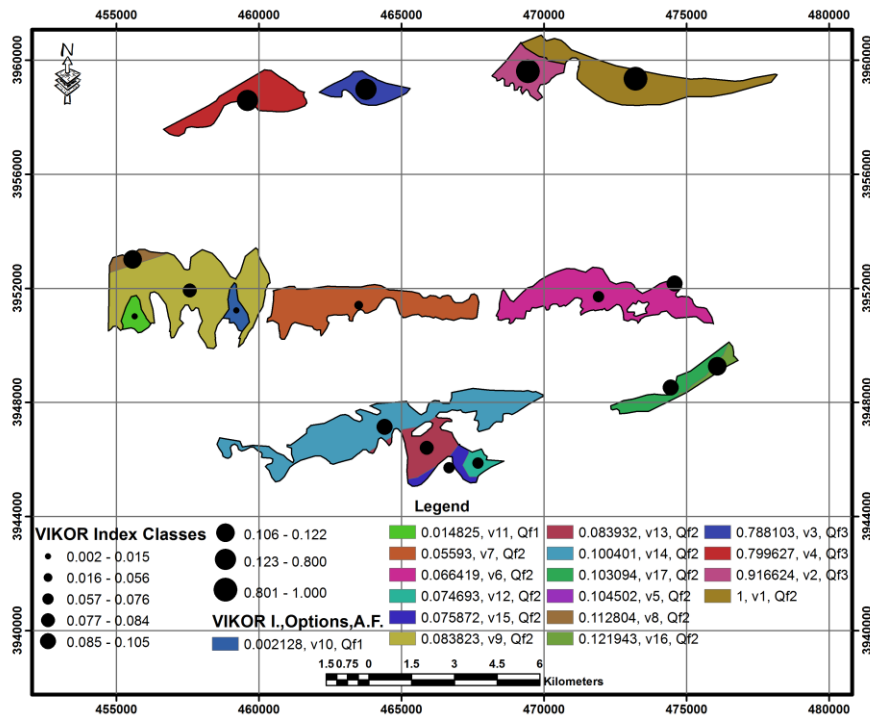
اوزان و نسبت سازگاری معیارها مبتنی بر روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به این که نسبت سازگاری کمتر از ۰/۱ است ($CR \leq 0.1$)، در این تحقیق سازگاری مورد قبول است. دامنه تغییرات شاخص ویکور گزینه‌ها مبتنی بر روش AHP-VIKOR از ۰/۰۰۲ تا ۱/۰۰۰ متغیر است.

جدول ۴- وزن معیارها و نسبت سازگاری

وزن	نمایه سازگاری (CI)	نمایه ناسازگاری تصادفی (RI)	نسبت سازگاری (CR)	معیار
۰/۲۲۱				ضریب مقاومت به فرسایش
۰/۶۸۵	۰/۰۲۷	۰/۵۸۰	۰/۰۴۷	شوری
۰/۰۹۳				نفوذپذیری

جدول ۵- ماتریس تصمیم استاندارد شده موزون و شاخص ویکور

گزینه‌ها																معیارها	
V17	V16	V15	V14	V13	V12	V11	V10	V9	V8	V7	V6	V5	V4	V3	V2		V1
۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	ضریب مقاومت به فرسایش
۰/۰۲۶	۰/۰۳۴	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۲۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰۳	۰/۰۲۹۸	۰/۰۳۵۴	۰/۰۳۹۱	شوری
۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۳۱	۰/۰۰۶	۰/۰۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۳۷	۰/۰۲۷	۰/۰۰۹	۰/۰۳۵	۰/۰۳۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	نفوذپذیری
۰/۰۸۰۲	۰/۰۷۸۸	۰/۰۸۶۲	۰/۰۸۰۵	۰/۰۸۵۹	۰/۰۸۵۸	۰/۰۹۸۴	۰/۰۹۹۶	۰/۰۸۴۹	۰/۰۷۹۹	۰/۰۸۸۵	۰/۰۸۶۹	۰/۰۸۰۷	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۷۲	۰/۰۶۸	۰/۰۰۰	S _j
۰/۰۶۷۷	۰/۰۶۶۱	۰/۰۶۷۳	۰/۰۶۷۹	۰/۰۶۶۵	۰/۰۶۷۸	۰/۰۶۷۳	۰/۰۶۸۲	۰/۰۶۷۱	۰/۰۶۶۶	۰/۰۶۸۵	۰/۰۶۸۱	۰/۰۶۷۲	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۷۳	۰/۰۶۸	۰/۰۰۰	R _j
۰/۰۰۲	۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۸۴	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۵	۰/۰۸۰۰	۰/۰۷۸۸	۰/۰۹۱۷	۱/۰۰۰	شاخص ویکور



شکل ۹- نقشه شاخص ویکور در مخروط افکنه‌های منطقه تحقیق

روش AHP-VIKOR است، به طوری که ۷۴/۱۸ درصد منطقه (معادل ۴۲۴۵/۷۷ هکتار) دارای پتانسیل تخریب اراضی کم و ۲۵/۸۲ درصد منطقه (معادل ۱۴۷۷/۶۷ هکتار) دارای پتانسیل تخریب اراضی خیلی زیاد هستند. Karimpour Reihan و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی معیار خاک‌شناسی موثر بر تخریب اراضی در واحدهای سنگی کواترنر با کاربرد منطق فازی، نشان دادند که پتانسیل مخروط افکنه‌ها در طبقات مختلف پتانسیل بیابان‌زایی در بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور متغیر است. Nosrati و Feiznia (۲۰۰۷) در بررسی اثر مواد مادری و کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز طالقان، نشان دادند که فرسایش‌پذیری به دلیل تغییرات سنگ‌شناسی مختلف از بازالت به سمت رسوبات آبرفتی افزایش می‌یابد.

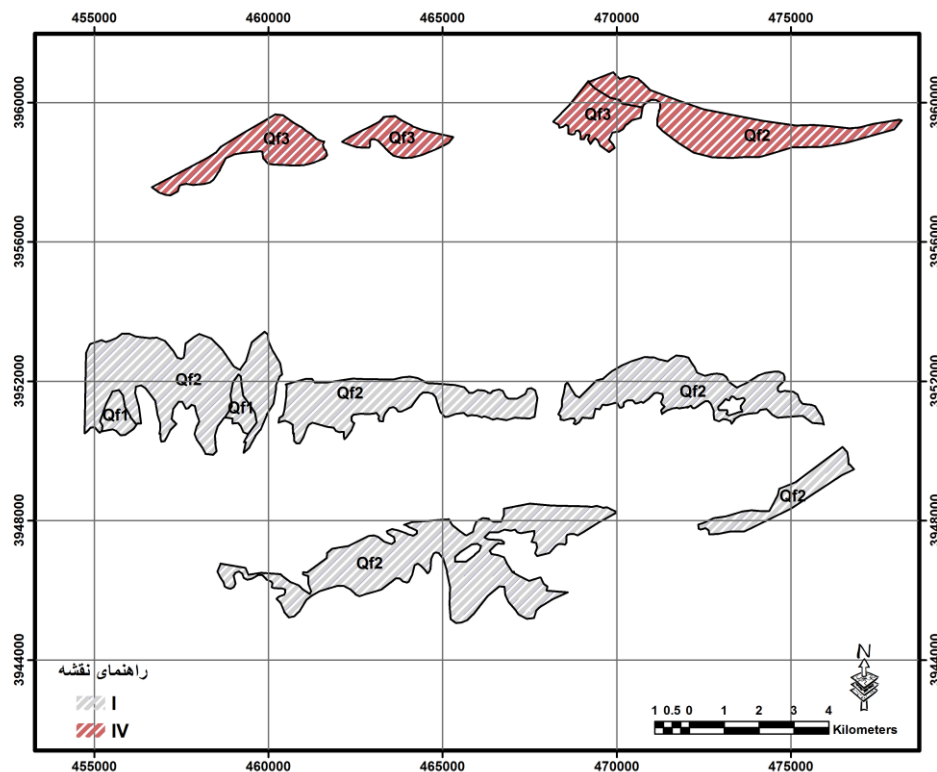
همچنین، طبقه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی مخروط-افکنه‌ها در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.3 مبتنی بر شاخص ویکور (Qj) و حدود طبقات مندرج در جدول ۶ صورت گرفت که نتایج در شکل ۱۰ ارایه شده است. همچنین، تقاطع و روی هم‌گذاری نقشه پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی مخروط افکنه‌ها با نقشه زمین-شناسی منطقه، پتانسیل بیابان‌زایی خاک منطقه را نشان می‌دهد (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پهنه‌بندی منطقه تحقیق نشان‌دهنده حضور دو طبقه کم (I) و خیلی زیاد (IV) در پهنه‌بندی شدت یا پتانسیل تخریب اراضی مخروط افکنه‌ها از نظر معیار خاک‌شناسی با کاربرد

جدول ۶- خلاصه نتایج تلفیقی طبقه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق

طبقه	حدود تغییرات امتیازات	میانگین امتیازات (Qj)	شدت یا پتانسیل کمی بیابان‌زایی	شدت یا پتانسیل کیفی بیابان‌زایی
I	۰/۱۲۲ - ۰/۰۲	۰/۰۷۷	۰/۰۰ - ۰/۲۵	کم
II	-	-	۰/۲۵ - ۰/۵۰	متوسط
III	-	-	۰/۵۰ - ۰/۷۵	زیاد
IV	۰/۷۸۸ - ۱/۰۰	۰/۸۷۶	۰/۷۵ - ۱/۰۰	خیلی زیاد



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل بیابانزایی مخروط افکنه‌ها در منطقه تحقیق با کاربرد روش AHP-VIKOR

جدول ۷- پتانسیل بیابانزایی مخروط افکنه‌ها

طبقه	شدت یا پتانسیل کیفی بیابانزایی	نام واحد سنگی	مساحت واحد سنگی (هکتار)	مساحت واحد سنگی (درصد)	مساحت طبقه (درصد)	مساحت طبقه (هکتار)
I	کم	Q _f ¹	۷۲/۵۷	۱/۲۷	۷۴/۱۸	۴۲۴۵/۷۷
		Q _f ²	۷۹/۶۵	۱/۳۹		
		Q _f ³	۶۸۲/۲۸	۱۱/۹۲		
		Q _f ⁴	۷۰۷/۸۶	۱۲/۳۷		
		Q _f ⁵	۶۹/۹۸	۱/۲۲		
		Q _f ⁶	۷۵/۱۵	۱/۳۱		
		Q _f ⁷	۱۰۴۶/۵۷	۱۸/۲۹		
		Q _f ⁸	۲۴۹/۲۹	۴/۳۶		
		Q _f ⁹	۹۴۳/۰۱	۱۶/۴۸		
		Q _f ¹⁰	۱۸۵/۴۱	۳/۲۴		
IV	خیلی زیاد	Q _f ¹¹	۸/۶۳	۰/۱۵	۲۵/۸۲	۱۴۷۷/۶۷
		Q _f ¹²	۶۸/۶۲	۱/۲۰		
		Q _f ¹³	۵۶/۷۴	۰/۹۹		
		Q _f ¹⁴	۱۹۲/۷۱	۳/۳۷		
		Q _f ¹⁵	۳۶۶/۸۲	۶/۴۱		
		Q _f ¹⁶	۲۳۹/۲۲	۴/۱۸		
		Q _f ¹⁷	۶۷۸/۹۲	۱۱/۸۶		

ارتفاعات حلقه دره دارای بیشینه پتانسیل شدت یا پتانسیل بیابان‌زایی در حوزه آبخیز رودخانه شور بوده، همچنین، مخروط‌افکنه‌های مشرف به کوه جارو از پتانسیل کم بیابان‌زایی و تخریب اراضی برخوردار بوده‌اند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق جاری، استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره از قبیل TOPSIS و ELECTRE به‌منظور بررسی نقش معیار خاک‌شناسی در پتانسیل بیابان‌زایی واحدها پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

در پایان از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند دکتر مهدی شرفاء، مهندس محمدکیا کیانیان، مهندس منصور حدادان، مهندس شهرام یوسفی، جناب آقای مجید خراسانی، جناب آقای رحمانی و جناب آقای نظرزاده و کادر آموزش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

مبتنی بر تقاطع و روی هم‌گذاری نقشه پهنه‌بندی پتانسیل یا شدت بیابان‌زایی در منطقه تحقیق حاصل از روش AHP-VIKOR (شکل ۱۰) با نقشه زمین-شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۳)، مشخص شد که خاک‌های واقع در مخروط‌افکنه‌های مشرف به تشکیلات مارنی (Q_2^f و Q_3^f) دارای بیشینه پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق‌اند. بررسی‌های میدانی و مطالعاتی نشان می‌دهد که از جمله دلایل مهم پتانسیل بالای تخریب اراضی مخروط‌افکنه‌های 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 برای پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی انواع واحدهای سنگی از نظر معیار زمین‌شناسی در واحدهای ژئومورفولوژیکی معرفی کرد. نتایج تحقیق وی نشان داد که مبتنی بر نتایج عملگر ۰/۸ از مدل منطق فازی، واحدهای سنگی Q_2^f و Q_3^f واقع در جنوب

منابع مورد استفاده

- Asghar Pour, J. 1998. Multiple criteria decision making. 14th ed., University of Tehran Press, 456 pages (in Persian).
- Ataei, M. 2015. Multi-criteria decision making. University of Shahrood Press, 342 pages (in Persian).
- 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.
- Bouwer, H. 1976. Groundwater hydrology. McGraw-Hill Inc. New York, 480 pages.
- Esenov, P.E. and K.R. Redjepbaeu. 1999. Desert problems and desertification in central Asia. *The Reclamation of Saline Soils*, Springer Publishers, 310 pages.
- Feiznia, S., 1995. Resistance of rocks to erosion in different climates of Iran. *Journal of Natural Resources*, 47: 95-116.
- Feiznia, S. 1997a. Desertification in consequence of geological characteristics of Iran, case study: salt domes. *Desert*, 2: 47-58.
- Feiznia, S. 1997b. Effect of salt domes of Iran on natural resources degradation, spread of salt land and desertification, case study: Hable-Rood of Garmsar. *Proceedings of the Second Conference of Desertification and Kinds of Methods of Desert Combating*, Kerman, Institute of Forests and Rangelands Researches, pp. 185-192.
- 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*. International Association of Hydrological Sciences, 310 pages.
- Figueira, J., S. Greco and M. Ehrgott. 2004. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. Springer, New York, 1356 pages.
- Gorgi Anari, M. 1993. Determining erodibility of parts of Rude-Ajichay watershed area and its role on surface water salinity. MSc Thesis, University of Tehran, 245 pages (in Persian).
- 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, University of Tehran, 220 pages (in Persian).
14. Kaushalya Ramach, R. 1992. Monitoring the impact of desertification in western Rajasthan using remote sensing. *Journal of Arid Environments*, 22: 293-304.
15. Metternicht, G. and A. Zinck. 1996. Modelling salinity alkalinity classes for mapping salt-affected top soils in the semi-arid valleys of Coch Abamba, Bolivia. *ITC Journal*, 12: 64-73.
16. Morgan, R.P.C. 1986. Soil erosion and conservation. Longman Group limited, UK, 316 pages.
17. Mostafaei, J. 2001. Bilateral acquaintance estimator on the basis of site independence criterion. MSc Thesis, University of Tarbiat Modarres, 214 pages (in Persian).
18. Paul, D. 2012. Osmotic stress adaptations in rhizobacteria. *Basic Microbiol Journal*, 52: 1-10.
19. Rajabi Aleni, M. 2001. Investigation of geological role on desertification, case study: Mond watershed area. MSc thesis, University of Tehran, 165 pages (in Persian).
20. Saaty, T. 1980. The analytical hierarchy process, planning, priority, resource allocation. RWS Publications, USA, 120 pages.
21. Salehpour Jam, A. 2006. Investigation of geological criterion on land degradation in geomorphological units, Rude-Shoor watershed area. MSc Thesis, University of Tehran, 191 pages (in Persian).
22. Sarabian, L. 2002. Investigation of cause of salinization of water and soil in Gonbad plain, desert combating. MSc Thesis, University of Tehran, 179 pages (in Persian).
23. Tahmasebi, A. 1998. Investigation of influence causes on salinization of water and soil and desert spreading in Rude-Shoor watershed area, Eshtehard. MSc Thesis, University of Tehran, 205 pages (in Persian).
24. U.S. Salinity Laboratory (USSL). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook 60*. USAD, Washington, D.C.
25. Van Lynden, G., S. Mantel and A. Van Ostrum. 2004. Guiding principles for the qualitative assessment of soil degradation: with a focus on salination, nutrient decline and soil pollution. FAO.
26. Walton, C.W. 1970. Groundwater resources evaluation. MC-Graw. Hill, Inc., Kogakusha, 664 pages.