

## بررسی اثر معیار خاک‌شناسی بر پتانسیل بیابانزایی مخروط افکنه‌ها مطالعه موردی: بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه‌ی شور

امین صالح پور جم<sup>۱</sup>، استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
جمال مصفايي - استادیار پژوهشکده حفاظت آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی  
محمودرضا طباطبائی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۱۰

دریافت مقاله: 1395/11/24

### چکیده

بررسی روند بیابانزایی مستلزم درک پدیده‌هایی است که هم به‌طور منفرد و هم در کنش و واکنش بایکدیگر در یک ناحیه تغییراتی را به وجود آورده‌اند که این تغییرات منجر به بیابانزایی و تخریب اراضی شده است. به‌منظور بررسی اثر معیار خاک-شناسی بر پتانسیل بیابانزایی مخروط افکنه‌ها در بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور، نخست اقدام به تهیه نقشه‌ی 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، نقشه‌ی واحدهای کاری حاصل شد. در این تحقیق سه شاخص حساسیت‌پذیری نسبت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری خاک در نظر گرفته شد که در نهایت هر یک به‌صورت نقشه‌ای طبقه‌بندی شده مبتنی بر عبارات‌های زبانی در طیف هفت‌گانه، ارائه گردیدند. در این تحقیق از روش آزمون‌های ناپارامتریک فریدمن و رتبه‌های دلبیو کندانال به منظور تعیین پتانسیل و اولویت بندی گزینه‌ها استفاده شد، به‌طوری‌که پس از تعریف اعداد قطعی مربوط به عبارات زبانی در طیف هفت‌گانه، اقدام به محاسبه مقادیر میانگین رتبه گزینه‌ها گردید. در این تحقیق دامنه تغییرات مقادیر میانگین رتبه‌ها حاصل از آزمون‌های فریدمن و رتبه‌های دلبیو کندانال از ۷/۰۰ تا ۱۷/۳۳ متغیر است. نتایج تحقیق مبتنی بر آزمون‌های ناپارامتریک نشان داد که بیابانزایی خیلی زیاد است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که جوانترین و قدیمی‌ترین مخروط افکنه‌های منطقه به ترتیب دارای پتانسیل بیابانزایی خیلی زیاد (۷۹۸/۷۵ هکتار) و کم (۱۵۲/۲۳ هکتار) می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: حساسیت‌پذیری به فرسایش، شوری، نفوذپذیری، اولویت‌بندی، آزمون فریدمن، آزمون دلبیو کندانال.

## مقدمه

از هنگامیکه لمپری<sup>۱</sup> در کنفرانس سال ۱۹۷۵ یونسکو، نرخ پیشروی ۵ تا ۶ کیلومتر در سال بیابان صحرای بزرگ آفریقا<sup>۲</sup> در بازه زمانی ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۵ را گزارش نمود، پیشروی بیابان در محور توجه بسیاری از موسسات، دانشمندان و دولت‌ها قرار گرفت و بیابانزایی به عنوان یکی از مهمترین موضوعات تحقیقاتی خشک‌بوم‌ها در دهه‌های گذشته در سراسر جهان تبدیل شد (Wu et al., ۲۰۰۸). تخریب اراضی در هر کجا اتفاق می‌افتد، اما هنگامیکه در خشک‌بوم‌ها رخ می‌دهد، به عنوان بیابانزایی تعریف می‌گردد. این امر می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از قبیل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی باشد (UNCCD, ۲۰۱۲). 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 که هم به طور منفرد و هم در کنش و واکنش بایکدیگر در یک ناحیه تغییراتی را به وجود آورده‌اند که این تغییرات منجر به تخریب اراضی شده است.

امروزه مطالعات بسیاری در زمینه‌ی تخریب اراضی و بیابان‌زایی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته به‌وسیله فیض نیا (۱۳۷۶ الف و ب)، کاشکی (۱۳۷۶)، رجیبی آلنی (۱۳۸۰)، سرابیان (۱۳۸۱)، (۱۹۹۹ Eskandari et al., ۲۰۱۴)، (Sadeghiravesh et al., ۲۰۱۵)، (Xu et al., ۲۰۱۵)، (Vieira et al., ۲۰۱۵) و (۲۰۱۶) اشاره نمود. طهماسبی (۱۳۷۷) عوامل موثر در شور شدن آب و خاک و گسترش بیابان در حوضه رودخانه‌ی شور اشتهداد را بررسی نموده، منابع شورکننده نقطه‌ای (گنبد‌های نمکی) و پراکنده (مارن‌های تبخیری) را مشخص نموده، میزان تأثیر آن‌ها را در تخریب آب و خاک منطقه بررسی کرده است. فیض نیا (۱۳۷۴) حساسیت‌پذیری انواع واحدهای سنگی را در اقالیم مختلف مورد بررسی قرار داده، ضریب مقاومت به فرسایش واحدهای سنگی مختلف را ارائه نموده است. پل (۲۰۱۲) شوری بیش از حد خاک را مانعی برای رشد گیاهان معرفی می‌کند (Paul, ۲۰۱۲). شوری تقریباً بر تمامی جنبه‌های توسعه گیاهان از قبیل جوانه‌زنی و رشد اثر گذار است. شوری خاک بر سمیت یونی، فشار اسمزی، مواد غذایی و تنش اکسایشی گیاهان و در نهایت محدود نمودن گیرش آب به‌وسیله ریشه گیاهان موثر است (Bano and Fatima, ۲۰۰۹). صالح پورجم و همکاران (۲۰۱۶) شوری را به عنوان مهمترین عامل موثر بر بیابان‌زایی معرفی نموده‌اند (Salehpour Jam et al., ۲۰۱۶). همچنین در مورد ضریب نفوذپذیری واحدهای منفصل مطالعات بسیاری به‌وسیله (Bouwer, ۱۹۷۶)، (Walton, ۱۹۷۰) و دیگران صورت گرفته به نحوی که بائر (۱۹۷۶) ضریب نفوذپذیری انواع واحدهای سنگی منفصل را طی جدولی ارائه نموده است (Bouwer, ۱۹۷۶). فیض نیا (۱۳۸۵) اقدام به بررسی پتانسیل بیابان‌زایی انواع واحدهای سنگی در حوضه رودخانه شور با کاربرد روش منطق فازی نمود. وی تابع گامای فازی ۰/۸ را برای پهنه بندی پتانسیل بیابان‌زایی انواع واحدهای سنگی از نظر معیار زمین‌شناسی در واحدهای ژئومورفولوژیکی معرفی نمود. ون لیندن و همکاران (۲۰۰۴) کیفیت خاک را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در

---

۱-Lampery

۲-Sahara

مدیریت پایدار اراضی معرفی نمودند (Van Lynden et al., ۲۰۰۴). کریم پور ریحان 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 (۲۰۰۷) Karimpour Reihan et al., فیض نیا و نصرتی (۲۰۰۷) در بررسی اثر مواد مادری و کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز طالقان، نشان دادند که فرسایش پذیری به دلیل تغییرات سنگ شناسی مختلف از بازالت به سمت رسوبات آبرفتی افزایش می‌یابد (Feiznia and Nosrati, ۲۰۰۷). ویرا و همکاران (۲۰۱۵) مناطق حساس به بیابانزایی را در شمال شرقی برزیل شناسایی کردند. نتایج تحقیقی نشان داد که این مناطق دارای پتانسیل بیابانزایی متوسط تا شدیداند (Vieira et al., ۲۰۱۵).

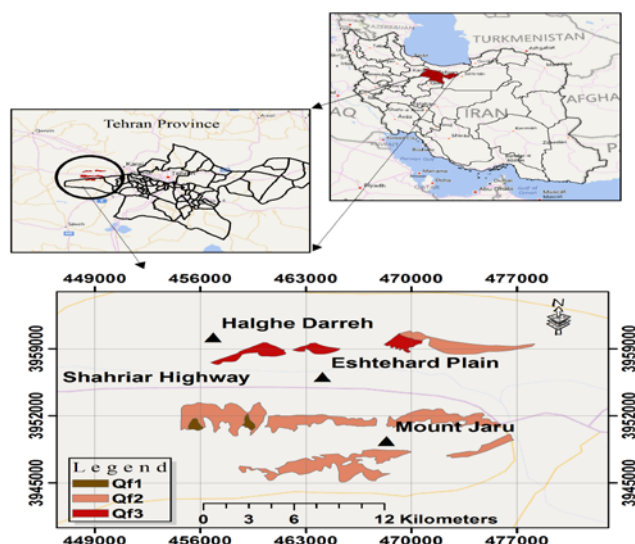
فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره با هدف تعیین پتانسیل بیابانزایی توسط محققان بسیاری استفاده گردیده که از آنجمله می‌توان به (Grau et al., ۲۰۱۰) و (Sadeghiravesh et al., ۲۰۱۴) اشاره نمود. گرو و همکاران (۲۰۱۰) از سه مدل AHP, ELECTRE و PROMETHEE به منظور رتبه بندی بهترین گزینه های طرح جامع کنترل فرسایش و بیابانزایی استفاده نمودند. نتایج تحقیق گویای کارایی هر سه مدل در رتبه بندی گزینه های بیابانزدایی بود (۲۰۱۰) Grau et al., صادقی روش و همکاران (۲۰۱۴) نیز اقدام به رتبه بندی گزینه های مقابله با بیابانزدایی با کاربرد روش AHP نمودند (Sadeghiravesh et al., ۲۰۱۴).

بررسی پتانسیل بیابانزایی مخروط افکنه های واقع در جنوب شرقی حوزه آبخیز رودخانه شور که حاصل از انواع سازندهای حساس به فرسایش از قبیل مارن‌ها می باشند، از اهمیت به خصوصی برخوردار است. هدف از این تحقیق، ارزیابی شاخص‌هایی برای مشخص شدن تأثیر معیار خاک‌شناسی در بیابانزایی و همچنین پهنه‌بندی پتانسیل یا شدت بیابان‌زایی منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس آزمون‌های ناپارامتریک است.

## داده‌ها و روش کار

### • منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه شور به وسعت تقریباً ۱۷۰۰۰ کیلومترمربع 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° ۳۰' شرقی و ۳۵° ۲۱' تا ۳۶° ۳۰' 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 ۲۰۰mm در دشت تا ۳۵۰mm 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).



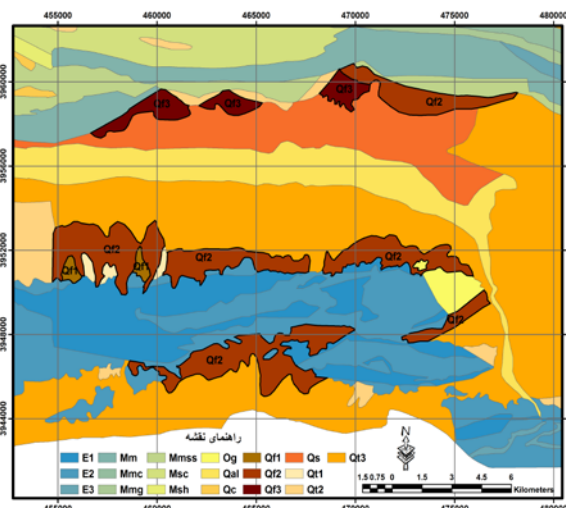
### • روش انجام تحقیق

به‌منظور بررسی اثر معیار خاک‌شناسی بر پتانسیل بیابانزایی مخروط‌افکنه‌ها در بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور، نخست اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی طبقات شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی کاربردی با هدف ایجاد واحدهای همگن و تعیین خصوصیات خاک شد، به‌طوری‌که از طریق روی هم قراردادن و تقاطع این نقشه‌ها با لایه شبکه‌ای ایجاد شده به‌وسیله برنامه جانبی ET GeoWizards در نرم افزار ArcGIS 10.3، نقشه‌ی واحدهای کاری حاصل شد. نقشه‌ی طبقات شیب منطقه‌ی 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)، 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 ارایه شده است. همچنین در این تحقیق از نقشه کاربری اراضی حاصل از "طرح اطلس آبخیز" (۲۰۰۸) پس از بررسی منطقه هدف با استفاده از تصاویر Landsat 8، Google Earth و نیز پایش میدانی استفاده شد (شکل ۲).

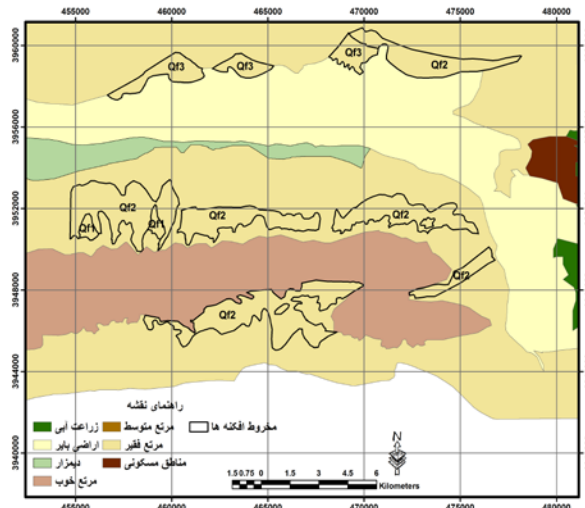
به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی هدف، نخست نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه‌های اشتهاورد و کرج اسکن و سپس از طریق نرم افزار ArcGIS 10.3 زمین مرجع شدند. با توجه به متفاوت بودن نامگذاری واحدهای سنگی در ورقه‌های کرج و اشتهاورد، پس از کنار هم قرار دادن دو ورقه مجاور، ورقه کرج مینا قرار گرفته و نامگذاری واحدهای سنگی بر اساس آن صورت پذیرفت. در راستای همسان سازی نام واحدهای سنگی یکسان با در نظر گرفتن نام واحدهای سنگی موجود در ورقه کرج به عنوان مینا، تغییر نام واحدهای سنگی اشتهاورد در جدول ۱ آورده شده است. (شکل ۳).

جدول ۱: همسان سازی نام واحدهای سنگی یکسان (با در نظر گرفتن نام واحدهای سنگی موجود در ورقه‌ی کرج به عنوان مینا)

نام واحد سنگی موجود در ورقه اشتهاورد	نام جدید واحد سنگی	مشخصات واحدهای سنگی جدید
$Q^{cu}$	$Q_3^t$	پادگانه‌های آبرفتی بسیار جوان
$M^m$	$M^{m1}$	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
$Q_2^t$	$Q_3^t$	پادگانه‌های آبرفتی بسیار جوان
$E_2^{ap}$	$E_2^{ta2}$	تراکی آندزیت آفانتیک تا مگاپورفیری و آندزیت
$E_2^{rt}$	$E_2^{t1}$	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



شکل ۳. نقشه‌ی زمین شناسی



شکل ۲. نقشه‌ی کاربری اراضی

پس از تهیه نقشه‌های واحدهای سنگی، طبقات شیب و کاربری اراضی، نقشه واحدهای کاری با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.3 و به شیوه‌ی 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 نرم افزار ArcGIS 10.3 با هدف ایجاد واحدهای کاری بیشتر ایجاد شد.

در این تحقیق به منظور اولویت بندی گزینه‌ها، از روش آزمون‌های ناپارامتریک به قرار مراحل زیر استفاده شد.

#### ۱- پهنه بندی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر شاخص‌ها

پس از تهیه نقشه‌ی واحدهای کاری اقدام به پهنه بندی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر سه شاخص حساسیت پذیری نسبت به فرسایش، شوری و نفوذ پذیری واحدهای سنگی شد. در این مرحله، منطقه تحقیق از دیدگاه مقاومت به فرسایش مبتنی بر نمونه‌های بافت خاک و ضرایب فرسایش پذیری جدول (Morgan, ۱۹۸۶) و نیز در نظر گرفتن حدود ضرایب مقاومت به فرسایش روش فیض نیا (۱۳۷۴) امتیازدهی و سپس پهنه بندی منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص مقاومت به فرسایش بر اساس اعداد قطعی مربوط به عبارتهای زبانی در طیف هفت گانه، با در نظر گرفتن هفت طبقه مقاومت به فرسایش خیلی کم (۰-۲)، کم (۲-۴)، نسبتاً کم (۴-۶)، متوسط (۶-۸)، نسبتاً زیاد (۸-۱۰)، زیاد (۱۰-۱۲) و خیلی زیاد (>۱۲)، با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.3 صورت گرفت.

به منظور پهنه بندی منطقه‌ی 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 عصاره‌ی اشباع مربوط به ۱۵۹ نمونه به وسیله دستگاه EC متر بر حسب میلی‌موس بر سانتی‌متر محاسبه شد و در نهایت طبق طبقه بندی شوری به روش (USSL, ۱۹۵۴)، اعداد قطعی مربوط به عبارتهای زبانی در طیف هفت گانه، با در نظر گرفتن هفت طبقه شوری خیلی کم (۰<ECe<۲)، کم (۲≤ECe<۴)،

نسبتا کم ( $4 \leq ECe < 6$ )، متوسط ( $6 \leq ECe < 8$ )، نسبتا زیاد ( $8 \leq ECe < 10$ )، زیاد ( $10 \leq ECe < 12$ ) و خیلی زیاد ( $ECe \geq 12$ )، پهنه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه به لحاظ شاخص شوری صورت گرفت.

همچنین به منظور پهنه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر شاخص ضریب نفوذپذیری همانند نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری شوری عمل شد، به طوری که در هر واحد کاری دست‌کم در سه تکرار به کمک GPS نسبت به گرفتن نمونه دست نخورده اقدام شد (نمونه‌ها از ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک برداشت شدند). نمونه‌گیری به وسیله 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 نمونه‌ی دست نخورده طبق آزمایش داری بر حسب متر در روز محاسبه شد و در نهایت طبق طبقه‌بندی ضریب نفوذپذیری صورت گرفته به وسیله (Bouwer, ۱۹۷۸)، اعداد قطعی مربوط به عبارت‌های زبانی در طیف هفت‌گانه، با در نظر گرفتن هفت طبقه ضریب نفوذپذیری خیلی کم ( $0/069 < \text{cm/min}$ )، کم ( $\text{cm/min}$ )، نسبتا کم ( $0/069 - 0/900$ )، نسبتا کم ( $0/900 - 1/388$  cm/min)، متوسط ( $1/388 - 6/944$  cm/min)، نسبتا زیاد ( $\text{cm/min}$ )، زیاد ( $6/944 - 10/000$ )، و خیلی زیاد ( $> 12/500$  cm/min)، پهنه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه به لحاظ شاخص ضریب نفوذپذیری صورت گرفت.

## ۲- ایجاد ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم مبتنی بر ویژگی‌های واحدهای کاری بر اساس سه شاخص ضریب مقاومت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری ایجاد گردید ( $X_{ij}$ ).

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن:  $X_{ij}$ ، عملکرد گزینه  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) در رابطه با معیار  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) است.

## ۳- تعریف اعداد قطعی مربوط به عبارت‌های زبانی

در این مرحله، اعداد قطعی مربوط به عبارت‌های زبانی در طیف هفت‌گانه در ارتباط با هر شاخص مشخص گردیده است (جدول ۳ و ۴).

جدول ۴. اعداد قطعی هفت‌گانه مرتبط با عبارت‌های زبانی

اعداد قطعی	عبارت زبانی شاخص‌ها	
	شوری	ضریب مقاومت به فرسایش
۱	خیلی زیاد	خیلی زیاد
۲	زیاد	زیاد
۳	نسبتا زیاد	نسبتا زیاد
۴	متوسط	متوسط

نسبتا کم	نسبتا زیاد	نسبتا کم	۵
کم	زیاد	کم	۶
خیلی کم	خیلی زیاد	خیلی کم	۷

#### ۴- اجرای آزمون‌های ناپارامتریک و رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله آزمون فریدمن برای تجزیه واریانس دو طرفه از طریق رتبه بندی و همچنین مقایسه میانگین رتبه‌بندی گروه‌های مختلف با کاربرد نرم افزار SPSS به کار برده شد. به طور کلی تحلیل واریانس دو طرفه رتبه ای فریدمن، این فرضیه را می‌آزماید که  $k$  گروه همتا از توزیع پیوسته واحدی و یا از چند توزیع با میانه یکسان و یا در صورت تقارن توزیع‌ها با میانگین یکسان گرفته شده‌اند (رابطه ۱۰):

$$\chi^2 = \frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3N(k+1) \quad (10)$$

که در آن:

$K$ ، تعداد ستون‌ها یا سئوال‌ات،

$N$ ، تعداد سطرها و

$R_j$ ، حاصل جمع رتبه‌ها در ستون  $j$ ام است.

در این حالت، درجه آزادی به صورت  $k-1$  است.

در این تحقیق، همچنین از آزمون رتبه‌های دلبیو کندال، که شکل نرمال شده آزمون فریدمن است، به عنوان یک ضریب توافق، به منظور سنجش میزان توافق رتبه‌بندی‌ها در بین پاسخگویان با کاربرد نرم افزار SPSS استفاده شد. در این آزمون، هر پاسخگو به عنوان یک قضاوت‌کننده یا رتبه‌دهنده و هر گویه نیز به عنوان یک متغیر تلقی شده و در ادامه برای هر یک از این متغیرها، میانگین رتبه‌ها محاسبه می‌شود. این آزمون با مقایسه میانگین رتبه‌ها در بین متغیرها، تفاوت میانگین‌ها را بررسی می‌کند (۸).

$$W = \left( \frac{F}{N(K-1)} \right) \left( \frac{N^2 K (K^2 - 1) / 12}{N^2 K (K^2 - 1) / 12 - N \sum T / 12} \right) \quad (4)$$

$$\sum T = \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^K (t^3 - t) \quad (5)$$

$$X^2 = N(K-1)W \quad (6)$$

که در آن:

$W$ ، ضریب توافق،

$F$ ، آماره  $X^2$  فریدمن

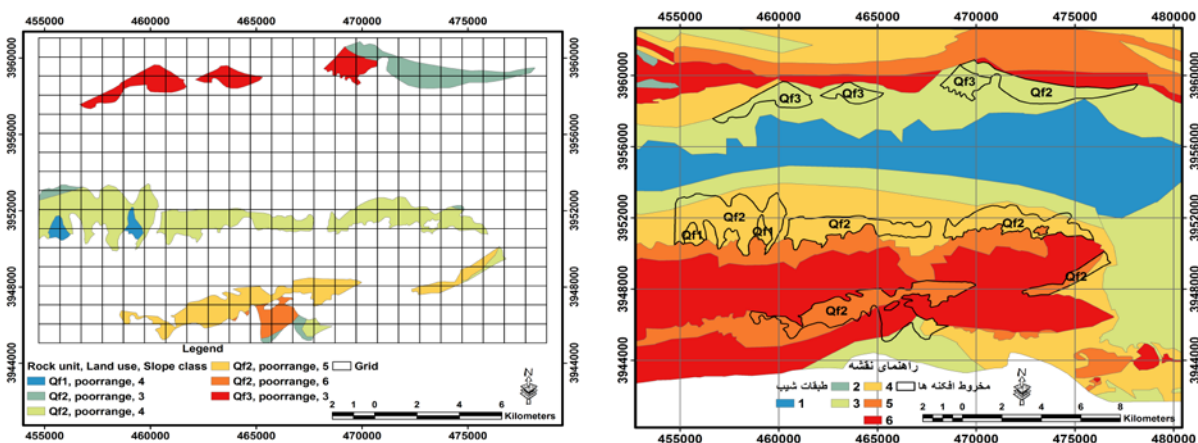
K، تعداد ستون‌ها یا سئوالات،

N، تعداد سطرها است.

در این حالت، درجه آزادی به صورت  $k-1$  است.

### شرح و تفسیر نتایج

نقشه طبقات شیب منطقه تحقیق در شکل ۴ ارائه شده است. نقشه طبقات شیب و نیز واحدهای کاری منطقه تحقیق در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج نشان دهنده حضور انواع طبقات شیب در واحدهای سنگ‌شناسی منطقه تحقیق است، به‌طوریکه ۲۸/۴۸ درصد منطقه (۱۶۳۰/۰۷ هکتار) در طبقه شیب دو تا چهار درصد، ۴۷/۴۵ درصد منطقه (۲۷۱۵/۶۶ هکتار) در طبقه شیب چهار تا هشت درصد، ۱۹/۷۲ درصد منطقه (۱۱۲۸/۴۲ هکتار) در طبقه شیب هشت تا ۱۵ درصد و ۴/۳۶ درصد منطقه (۲۴۹/۲۹ هکتار) در طبقه شیب بیش از ۱۵ درصد قرار دارد. همچنین، نقشه واحدهای کاری منطقه تحقیق در شکل ۵ ارائه شده است. بر این اساس ۱۷ واحد کاری و تقسیم‌بندی‌های ثانویه آنها مبتنی بر شبکه‌های ایجاد شده طی تلاقی با لایه شبکه‌ای با ابعاد سلولی  $۱۰۰۰*۱۰۰۰$  متر مربع با کاربرد برنامه جانبی ET GeoWizards در نرم افزار ArcGIS 10.3 ایجاد شد.



شکل ۴. نقشه‌ی طبقات شیب

شکل ۵. نقشه‌ی واحدهای کاری

کریم پور ریحان 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 (Karimpour Reihan et al., ۲۰۰۷). فیض نیا و نصرتی (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 (Feiznia and Nosrati, ۲۰۰۷). مقادیر متوسط شاخص‌ها در هر یک از واحدها در جدول ۳ ارائه شده است.

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

ردیف	مساحت (هکتار)	نفوذپذیری		شوری		ضریب مقاومت به فرسایش	
		مقدار کمی (متر در روز)	طبقه کیفی	مقدار کمی (میلی موس بر سانتیمتر)	طبقه کیفی	مقدار کمی (بدون بعد)	طبقه کیفی
۱	۶۷۹	۰/۶۱۴	خیلی کم	۱۲/۴۳۰	کم	۳	کم



۳	کم	۱۱/۲۷۰	زیاد	۰/۷۱۸	خیلی کم	۲۳۹	۲
۳	کم	۹/۴۸۰	نسبتاً زیاد	۰/۶۷۱	خیلی کم	۱۹۳	۳
۳	کم	۹/۶۴۰	نسبتاً زیاد	۰/۶۲۰	خیلی کم	۳۶۷	۴
۴	نسبتاً کم	۰/۹۰۵	خیلی کم	۱۹/۲۳۰	نسبتاً کم	۹	۵
۴	نسبتاً کم	۰/۷۴۶	خیلی کم	۵۹/۴۴۴	متوسط	۷۰۸	۶
۴	نسبتاً کم	۰/۶۸۰	خیلی کم	۶۸/۱۱۴	متوسط	۶۸۲	۷
۴	نسبتاً کم	۱/۰۰۲	خیلی کم	۱۷/۲۱۵	نسبتاً کم	۶۹	۸
۴	نسبتاً کم	۰/۹۱۸	خیلی کم	۵۱/۸۲۵	متوسط	۱۰۴۷	۹
۵	نسبتاً کم	۰/۷۳۰	خیلی کم	۷۱/۰۱۹	متوسط	۷۳	۱۰
۵	نسبتاً کم	۰/۸۸۱	خیلی کم	۶۸/۲۲۵	متوسط	۸۰	۱۱
۴	نسبتاً کم	۰/۸۰۲	خیلی کم	۵۳/۰۳۰	متوسط	۷۰	۱۲
۴	نسبتاً کم	۱/۰۳۰	خیلی کم	۶۳/۷۹۱	متوسط	۲۴۹	۱۳
۴	نسبتاً کم	۰/۷۸۳	خیلی کم	۱۲/۲۰۱	کم	۹۴۳	۱۴
۴	نسبتاً کم	۰/۸۸۰	خیلی کم	۵۹/۷۰۱	متوسط	۷۵	۱۵
۴	نسبتاً کم	۱/۰۹۶	خیلی کم	۱۳/۶۱۳	نسبتاً کم	۵۷	۱۶
۴	نسبتاً کم	۰/۸۱۷	خیلی کم	۱۱/۸۲۲	کم	۱۸۵	۱۷

در این تحقیق، شاخص‌های ضریب مقاومت به فرسایش، شوری و نفوذپذیری به ترتیب باعث کاهش، افزایش و کاهش مقدار تابع مطلوبیت گردیده و به عنوان شاخص‌های منفی، مثبت و منفی در نظر گرفته شده‌اند. نتایج حاصل از اجرای آزمون فریدمن برای تجزیه واریانس دو طرفه از طریق رتبه بندی و همچنین مقایسه میانگین رتبه بندی گروه‌های مختلف در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از رتبه‌بندی واحدها با کاربرد آزمون‌های فریدمن و رتبه‌های دلبیو کندال

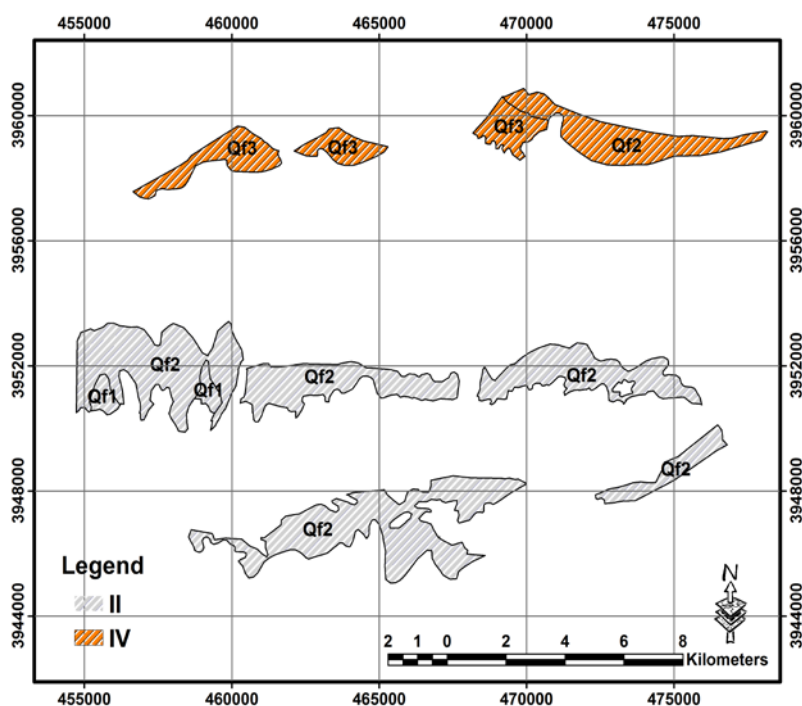
Asymp. Sig.	درجه آزادی	ضریب توافق کندال	کای اسکوئر	تعداد	انحراف معیار	میانگین رتبه	واحد
					۰/۵۷۷	۱۷/۳۳	V1
					۰/۵۷۷	۱۶/۸۳	V2
					۱/۰۰۰	۱۶/۳۳	V3
					۱/۰۰۰	۱۶/۳۳	V4
					۲/۳۰۹	۸/۸۳	V5
					۲/۰۸۲	۷/۰۰	V6
					۲/۰۸۲	۷/۰۰	V7
					۲/۳۰۹	۸/۸۳	V8
۰/۰۰۰	۱۶	۰/۸۹۶	۴۸/۳۹۰	۳	۲/۰۸۲	۷/۰۰	V9
					۲/۰۸۲	۷/۰۰	V10
					۲/۰۸۲	۷/۰۰	V11
					۲/۰۸۲	۷/۰۰	V12
					۲/۰۸۲	۷/۰۰	V13
					۲/۶۴۶	۹/۶۷	V14
					۲/۰۸۲	۷/۰۰	V15
					۲/۳۰۹	۸/۸۳	V16
					۲/۶۴۶	۹/۶۷	V17

در این تحقیق دامنه تغییرات مقادیر میانگین رتبه‌ها حاصل از آزمون‌های فریدمن و رتبه‌های دبلیو کندال از ۷/۰۰ تا ۱۷/۳۳ متغیر است. نتایج حاصل از رتبه‌بندی واحدها مبتنی بر آزمون فریدمن نشان‌دهنده تفاوت پتانسیل بیابان‌زایی واحدها از نظر معیار خاک‌شناسی در مخروط افکنه‌های منطقه تحقیق مبتنی بر کوچکتر بودن سطح معنی داری از سطح خطای کوچکتر از ۰/۰۱ است. همچنین در آزمون رتبه‌های دبلیو کندال، با استناد به نتایج حاصل از مقدار آزمون کای اسکور (۵۰/۷۴۱)، که در سطح خطای کوچکتر از ۰/۰۱ معنی‌دار است، با اطمینان ۹۹ درصد رتبه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی واحدها از نظر معیار خاک‌شناسی در مخروط افکنه‌های منطقه تحقیق متفاوت بوده و به عبارت دیگر، واحدها مبتنی بر میانگین رتبه خویش قادر به رتبه‌بندی‌اند.

همچنین، طبقه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی واحدها از نظر معیار خاک‌شناسی در مخروط افکنه‌های منطقه تحقیق در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.4 مبتنی بر شاخص میانگین رتبه‌ها ( $U_i$ ) و حدود طبقات مندرج در جدول ۶ صورت گرفت که نتایج در شکل ۶ ارایه شده است.

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

طبقه	حدود تغییرات $U_i$	میانگین مقادیر $U_i$	پتانسیل کمی بیابان‌زایی	پتانسیل کیفی بیابان‌زایی
I	-	-	< ۵/۰۰	کم
II	۷/۰۰ - ۹/۶۷	۷/۸۳	۵/۰۰ - ۱۰/۰۰	متوسط
III	-	-	۱۰/۰۰ - ۱۵/۰۰	زیاد
IV	۱۶/۳۳ - ۱۷/۳۳	۱۶/۷۱	> ۱۵/۰۰	خیلی زیاد



شکل ۶. نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی مخروط افکنه‌ها

نتایج تحقیق مبتنی بر آزمون‌های ناپارامتریک نشان داد که واحدهای V5 تا V17 در طبقه پتانسیل بیابان‌زایی متوسط و نیز واحدهای V1 تا V4 در طبقه پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد قرار دارند. همچنین تقاطع و روی هم‌گذاری نقشه پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی مخروط افکنه‌ها با نقشه زمین‌شناسی منطقه، پتانسیل بیابان‌زایی مخروط افکنه‌های منطقه را مشخص نمود (جدول ۷).

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 (هکتار)	مساحت طبقه (درصد)
II	متوسط	$Q_1^f$	۷۲/۵۷	۱/۲۷	۴۲۴۵/۷۷	۷۴/۱۸
		$Q_1^f$	۷۹/۶۵	۱/۳۹		
		$Q_2^f$	۶۸۲/۲۸	۱۱/۹۲		
		$Q_2^f$	۷۰۷/۸۶	۱۲/۳۷		
		$Q_2^f$	۶۹/۹۸	۱/۲۲		
		$Q_2^f$	۷۵/۱۵	۱/۳۱		
		$Q_2^f$	۱۰۴۶/۵۷	۱۸/۲۹		
		$Q_2^f$	۲۴۹/۲۹	۴/۳۶		
		$Q_2^f$	۹۴۳/۰۱	۱۶/۴۸		
		$Q_2^f$	۱۸۵/۴۱	۳/۲۴		
		$Q_2^f$	۸/۶۳	۰/۱۵		
		$Q_2^f$	۶۸/۶۲	۱/۲۰		
$Q_2^f$	۵۶/۷۴	۰/۹۹				
IV	خیلی زیاد	$Q_3^f$	۱۹۲/۷۱	۳/۳۷	۱۴۷۷/۶۷	۲۵/۸۲
		$Q_3^f$	۳۶۶/۸۲	۶/۴۱		
		$Q_3^f$	۲۳۹/۲۲	۴/۱۸		
		$Q_2^f$	۶۷۸/۹۲	۱۱/۸۶		

نتایج تحقیق مبتنی بر آزمون‌های ناپارامتریک نشان داد که ۷۴/۱۸ درصد (۴۲۴۵/۷۷ هکتار) از منطقه دارای پتانسیل بیابان‌زایی متوسط و ۲۵/۸۲ درصد (۱۴۷۷/۶۷ هکتار) دارای پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که جوانترین مخروط افکنه‌ها ( $Q_3^f$ ) و نیز قدیمی‌ترین مخروط افکنه‌ها ( $Q_1^f$ ) در منطقه به ترتیب دارای پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد (۷۹۸/۷۵ هکتار) و کم (۱۵۲/۲۳ هکتار) می‌باشند.

هرچند که آزمون‌های ناپارامتریک آماری بیشترین شباهت را با روش‌های ریاضیاتی فازی از قبیل FUZZY SAW، FUZZY TOPSIS و دیگر روش‌های فازی دارند، اما استفاده از دیگر روش‌های قطعی ریاضیاتی رتبه بندی از قبیل VIKOR، ELECTRE، TOPSIS، SAW و دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره به منظور بررسی نقش معیار خاک‌شناسی در پتانسیل بیابان‌زایی واحدها پیشنهاد می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد تا از روش آزمون‌های ناپارامتریک در اولویت‌بندی راه‌کارهای موثر بر بیابان‌زدایی مناطق نیز استفاده گردد. صادقی روش و همکاران (۲۰۱۴) از روش AHP-ELECTRE به منظور اولویت بندی راه‌کارهای بیابان‌زدایی منطقه خضر آباد در استان یزد استفاده

نمودند (Sadeghiravesh et al., ۲۰۱۴).

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پهنه‌بندی منطقه تحقیق با کاربرد آزمون‌های ناپارامتریک نشان‌دهنده حضور طبقات مختلف پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه تحقیق است، به طوری‌که حضور دو طبقه متوسط (II) و خیلی زیاد (V) در پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی مخروط‌افکنه‌ها از نظر معیار خاک‌شناسی با کاربرد آزمون‌های فریدمن و رتبه‌های دلبیو کندال به چشم می‌خورد.

مبتنی بر تقاطع و روی‌هم‌گذاری نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه‌ی تحقیق حاصل از آزمون‌های ناپارامتریک با نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، مشخص شد که خاک‌های واقع در مخروط‌افکنه‌های مشرف به تشکیلات مارنی ( $Q_2^f$  و  $Q_3^f$ ) دارای بیشینه پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه‌ی تحقیق‌اند، به طوری‌که از پتانسیل بیابان‌زایی خیلی زیاد برخوردارند. بررسی‌های میدانی و مطالعاتی نشان داد 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 و آن‌ها را در طول زمان تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. فیض‌نیا (۱۳۸۵) تابع گامای فازی ۰/۸ را برای پهنه‌بندی پتانسیل بیابان‌زایی انواع واحدهای سنگی از نظر معیار زمین‌شناسی در واحدهای ژئومورفولوژیکی معرفی نمود. 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 ارتفاعات حلقه دره دارای بیشینه پتانسیل بیابان‌زایی در حوزه آبخیز رودخانه شور بوده، همچنین مخروط‌افکنه‌های مشرف به کوه جبارو از پتانسیل کم بیابان‌زایی و تخریب اراضی برخوردار بوده‌اند.

### منابع

- رجبی آئی، محمد. ۱۳۸۰. بررسی نقش زمین‌شناسی در بیابان‌زایی حوزه‌ی آبخیز مند. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- سرابیان، لیلا. ۱۳۸۱. بررسی علل شور شدن آب و خاک در دشت گنبد - آلاگل. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی بیابان‌زایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- شریفی، فرود. ۱۳۸۶. اطلس سیمای حوزه‌های آبخیز کشور. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره گزارش: ۵۰۵۱۸، ۱۴۰ صفحه.
- طهماسبی، اصغر. ۱۳۷۷. بررسی عوامل مؤثر در شور شدن آب و خاک و گسترش بیابان در حوزه‌ی رودخانه‌ی شور اشتهارد، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی بیابان‌زایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- فیض‌نیا، سادات. ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران. مجله‌ی منابع طبیعی/ایران، ۴۷: ۹۵-۱۱۶.
- فیض‌نیا، سادات. ۱۳۷۶- الف. بیابان‌زایی ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی ایران، مطالعه‌ی موردی (گنبد‌های نمکی). مجله‌ی بیابان، ۴: ۴۷-۵۸.

- فیض نیا، سادات. ۱۳۷۶- ب. اثر گنبدهای نمکی ایران در تخریب منابع طبیعی، گسترش اراضی شور و بیابان زایی، مطالعه‌ی موردی حبله رود گرمسار. مجموعه مقالات دومین همایش بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان زدایی، کرمان، موسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، شماره‌ی انتشار ۷۵-۱۳۷۶. صفحات ۱۹۲-۱۸۵.
- فیض نیا، سادات؛ امین صالح پورجم، حسن احمدی و جمال قدوسی. ۱۳۸۵. بررسی معیار زمین شناسی موثر بر تخریب اراضی در واحدهای ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: بخش شرقی حوزه آبخیز رودخانه شور)، *مجله منابع طبیعی ایران*، (۳): ۶۱-۵۸۷-۵۷۱.
- کاشکی، محمدتقی. ۱۳۷۶. بررسی روند شور شدن اراضی فاریاب حاشیه پلایا، منطقه‌ی روداب سبزوار. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مدیریت مناطق بیابانی، مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، دانشگاه تهران.
- Bano, A. and M. Fatima. ۲۰۰۹. Salt tolerance in zea mays (L.) following inoculation with rhizobium and pseudomonas. *Fertility Soils*, ۴۵: ۴۰۵-۴۱۳.
- Bouwer, H. ۱۹۷۶. *Groundwater hydrology*. McGraw-Hill Inc, New York.
- Esenov, P.E. and K.R. Redjepbaeu. ۱۹۹۹. *Desert problems and desertification in central Asia, the reclamation of saline soils*. Springer, London.
- Eskandari, H.; M. Borji, H. Khosravi and T. Mesbahzadeh. ۲۰۱۶. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth*, ۷(۳): ۹۰۵-۹۱۵.
- Feiznia, S. and K. Nosrati. ۲۰۰۷. The effect of parent material and land use on soil erosion: a case study of the Taleghan drainage basin, Iran. *IAHS Publication*, ۱: ۳۰۰-۳۱۴.
- Grau, J.B.; A. Corrales, A.M. Tarquis Alfonso, F. Colombo, L.D.L. Rios and J.M. Cisneros. ۲۰۱۰. 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*, ۷(۲): ۲۶۰۱-۲۶۳۰.
- Karimpour Reihan, M.; A. Salehpourjam, M.K. Kianian and D. Jahani. ۲۰۰۷. Investigation of pedological criterion on land degradation in quaternary rock units, Case Study: Rude-Shoor watershed area. *Desert*, ۱۲: ۷۷-۸۴.
- Morgan, R. P. C. ۱۹۸۶. *Soil Erosion and Conservation*. Longman Group limited, UK.
- Paul, D. ۲۰۱۲. Osmotic stress adaptations in rhizobacteria. *Basic Microbiol Journal*. ۵۲: ۱-۱۰.
- Sadeghiravesh, M.H.; G. Zehtabian and H. Khosravi. ۲۰۱۴. Application of AHP and ELECTRE models for assessment of dedesertification alternatives. *Desert*, ۱۹(۲): ۱۴۱-۱۵۳.
- Saaty, T. ۱۹۸۰. *The Analytical hierarchy process, planning, priority, Resource Allocation*. Rws pub, USA.
- Salehpourjam, A. and M. Karimpour Reihan. ۲۰۱۶. Investigation of pedological criterion affecting on desertification in alluvial fans using AHP-TOPSIS technique (Case Study: South East of Roudesh-shoor Watershed). *Desert*, ۲۱(۲): ۱۸۱-۱۹۲.
- UNCCD. ۲۰۱۲. Africa, Bonn: UNCCD, available from: <http://www.unccd.int/en/regional-access/Pages/countries.aspx>, accessed: ۵th May ۲۰۱۳.

- U.S. Salinity Laboratory (USSL). ۱۹۵۴. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook ۶۰*. USAD, Washington, D.C.
- Van Lynden, G.; S. Mantel and A. Van Ostrum. ۲۰۰۴. *Guiding principles for the qualitative assessment of soil degradation: with a focus on salination, nutrient decline and soil pollution*. FAO.
- 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 S.B.P. De Oliveira. ۲۰۱۵. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, ۶(۱): ۳۴۷-۳۶۰.
- Walton, C.W. ۱۹۷۰. *Groundwater resources evaluation*. MC-Graw. Hill, Inc., Kogakusha.
- Wu, W.; E. De Pauw and C. Zucca. ۲۰۰۸. Land degradation monitoring in the west Muus, China, The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ۲۵: ۸۴۶-۸۵۸.
- Xu, E.Q.; H.Q. Zhang and M.X. Li. ۲۰۱۵. Object-based mapping of karst rocky desertification using a support vector machine. *Land Degradation and Development*, ۲۶(۲): ۱۵۸-۱۶۷.