

بهینه‌سازی نقشه حساسیت نسبت به فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های تلفیقی آماری داده محور (مطالعه موردی: حوضه طرود- نجارآباد)

علیرضا عرب عامری^{۱*}، خلیل رضایی^۲، مجتبی یمانی^۳، کورش شیرانی^۴

۱-دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس

۲-استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

۳-استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴-استادیار مرکز تحقیقات اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۵/۱۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

چکیده

اولین و کلیدی‌ترین گام در زمینه کاهش خسارات و مدیریت فرسایش خندقی که باعث هدررفت منابع آب و خاک می‌گردد، تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی می‌باشد. در پژوهش حاضر پتانسیل وقوع فرسایش آبکندی در حوضه طرود- نجارآباد با استفاده از عدم قطعیت روش نظریه شواهد و رگرسیون چند متغیره خطی و هم‌چنین ترکیب روش‌های فوق‌الذکر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. به این منظور در ابتدا نقشه موقعیت مکانی خندق‌ها با استفاده از منابع مختلف تهیه گردید و از ۲۱۷ خندق شناسایی شده به‌طور تصادفی ۷۰ درصد (۱۵۲ خندق) برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد (۶۵ خندق) برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. در گام بعد ۱۴ پارامتر موثر در رخداد خندق در منطقه مطالعاتی شامل پارامترهای توپوگرافیک، ژئومورفومتریک، محیطی و هیدرولوژیک برای مدل‌سازی انتخاب گردید. نتایج روش رگرسیون چند متغیره نشان داد که پارامترهای کاربری اراضی، شیب و فاصله از آبراهه بیشترین تاثیر را در رخداد خندق داشته‌اند. نقشه‌های حساسیت تهیه شده به ۵ کلاس حساسیت خیلی کم تا خیلی زیاد گردید. روش‌های مساحت زیر منحنی و شاخص سطح سلول هسته به منظور اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج صحت سنجی نشان داد که مدل ترکیبی دارای مقدار مساحت زیر منحنی (AUC) بیشتر (۰/۹۳۳) نسبت به مدل‌های نظریه شواهد دمپستر-شفر (۰/۹۱۴) و رگرسیون چند متغیره (۰/۸۹۰) می‌باشد و هم‌چنین مقدار SCAI در مدل ترکیبی از حساسیت خیلی کم به سمت حساسیت خیلی زیاد دارای روند نزولی می‌باشد که بیانگر تفکیک مناسب کلاس‌های حساسیت در این مدل می‌باشد. با توجه به دقت عالی روش ترکیبی ارائه شده در این پژوهش، نتایج این پژوهش می‌تواند مورد استفاده تصمیم‌گیران و مدیران محلی به منظور کاهش خسارات و روش‌شناسی ارائه شده در این پژوهش می‌تواند در مناطق مشابه جهت تعیین مناطق حساس به فرسایش آبکندی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش آبکندی، عدم قطعیت، رگرسیون چند متغیره، نظریه شواهد دمپستر-شفر، حوضه طرود- نجارآباد.

مقدمه

فرسایش خاک توسط آب هر ساله خسارات گسترده‌ای را به انسان‌ها در سراسر جهان وارد می‌کند (عرب عامری و همکاران، ۲۰۱۸a). فرسایش آبی با توجه به اهمیت و نحوه شکل‌گیری به چهار گروه شامل فرسایش پاشماني، آبراهه‌ای، شیاری و آب‌کنندی قابل تقسیم می‌باشد (گانگ و همکاران، ۲۰۱۱). فرسایش آب‌کنندی مخرب‌ترین شکل فرسایش آبی می‌باشد که در صورت تشدید عوامل وابسته به فعالیت انسان و تغییر در تعادل ژئوسیستمی آن، می‌تواند تبدیل به یک مخاطره گردد. همچنین این نوع فرسایش باعث خسارات زیادی از جمله تخریب اراضی و هدر رفت خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، و آسیب رساندن به زیرساخت‌های انسانی مانند جاده و راه‌آهن می‌شود (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۷). از طرف دیگر این پدیده با کوتاه کردن ارتباط بین مناطق بالادست و پایین دست، باعث تشدید تخلیه رواناب سطحی در نتیجه منجر به کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردد (پوئسن و همکاران، ۲۰۰۳). آب‌کنند یک کانال با کناره‌های دارای شیب تند و یک پیشانی فرسایشی پرشیب و فعال است که بر اثر فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب حاصل از وقوع باران‌های شدید عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در دشت‌ها، دشت‌سرها، در شیب‌های کمتر از ۱۵ درجه، که استفاده از زمین و منابع آب غیر اصولی و بیشتر از توان طبیعی محیط باشد، ایجاد می‌گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ پوئسن و همکاران، ۱۹۹۶ و ۲۰۱۳؛ تجری و کاردل، ۱۳۹۴). آب‌کندها براساس شکل به سه دسته تقسیم می‌شوند که شامل ۱- آب‌کندهای U شکل، ۲- آب‌کندهای V شکل و ۳- آب‌کندهای دوزنقه‌ای می‌باشد. آب‌کندهای U شکل در مناطقی ایجاد می‌گردد که هم لایه‌های سطحی و هم لایه-

های عمقی حساس به فرسایش باشند نظیر رسوبات آبرفتی و رسوبات بادرفتی. آب‌کندهای V شکل در مناطق دارای لایه‌های سطحی حساس به فرسایش و لایه‌های عمقی نسبتاً مقاوم به فرسایش ایجاد می‌گردند. در صورتی که لایه‌های سطحی مقاوم به فرسایش و لایه‌های عمقی در مقابل فرسایش حساس باشند، آب‌کنند دوزنقه‌ای شکل می‌گیرد (فاکس و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به این که عوامل محیطی مختلفی در ایجاد فرسایش آب‌کنندی موثر می‌باشد، درک و شناخت ارتباط بین این پارامترها و رخداد آب‌کنند و تهیه نقشه حساسیت فرسایش آب‌کنندی یکی از راهکارهای مهم مدیریت منابع آب و خاک محسوب می‌گردد (شیت و همکاران، ۲۰۱۵؛ کانوستی و همکاران، ۲۰۱۳). نقشه حساسیت، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل یا بالقوه خطر از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کند. این نقشه‌ها به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه و حفاظت از منابع آب و خاک کمک بسیاری زیادی نموده و نتایج اینگونه مطالعات می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه جهت کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرار گیرد (پرادهان، ۲۰۱۱). با وجود اینکه تاثیر فرسایش آب‌کنندی در تخریب زمین نسبت به انواع دیگر فرسایش آبی چندین برابر می‌باشد، ولی تاکنون تحقیقات کمی در ایران و خارج از کشور در رابطه با تهیه نقشه حساسیت فرسایش آب‌کنندی انجام گرفته است. طی دهه‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین آماری و داده محور به همراه سامانه اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور در زمینه تهیه نقشه حساسیت فرسایش خندقی افزایش پیدا کرده است و روش‌های متنوعی مانند شاخص آماری (قربانی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶)، جنگل تصادفی

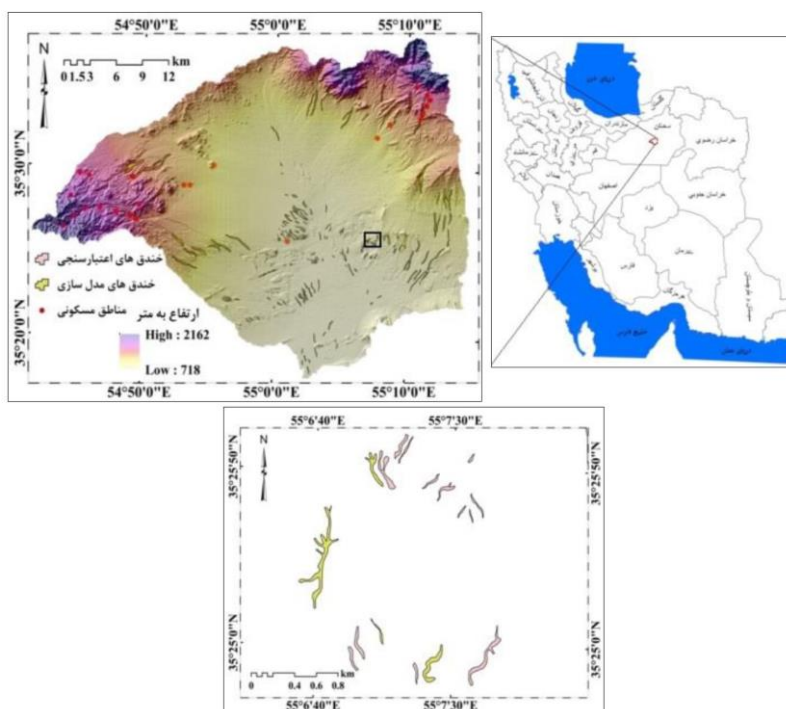
پدیده می‌باشد (عرب عامری و شیرانی، ۱۳۹۵). مهم‌ترین مزیت روش رگرسیون چند متغیره امکان محاسبه رابطه بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و میزان تاثیر متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای وابسته می‌باشد، به گونه‌ای که این روش می‌تواند میزان تاثیر پارامترها را در رخداد یک واقعه مشخص نماید و در مقابل مهم‌ترین نقطه ضعف آن عدم توانایی در محاسبه وزن طبقات و مشخص کردن میزان دخالت آنها در رخداد یک پدیده می‌باشد (شیرانی و همکاران، ۱۳۹۶). حوضه طرود- نجارآباد در استان سمنان که در یک منطقه با اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است، به دلیل ویژگی‌های اقلیمی و سنگ‌شناسی دارای حساسیت بالایی نسبت به فرسایش آبکندی می‌باشد. بارندگی در منطقه مطالعاتی به صورت رگباری می‌باشد به گونه‌ای که در بعضی از مواقع نیمی از بارندگی سالانه منطقه در طول یک روز می‌بارد. شدت بالای بارندگی و فقر پوشش گیاهی باعث کاهش نفوذپذیری گردیده و در نتیجه بیشتر بارندگی تبدیل به رواناب می‌گردد. با توجه به حساسیت بالای لایه‌های سطحی خاک و در بعضی بخش‌ها لایه‌های سطحی و عمقی خاک، این رواناب باعث ایجاد شیار و در مرحله بعد خندق در منطقه مورد مطالعه می‌گردد. فرسایش خندقی در منطقه مطالعاتی هر ساله باعث هدر رفت مقادیر زیادی خاک و هم‌چنین تخریب زیرساخت‌های انسانی مانند جاده می‌گردد. هدف اصلی این پژوهش تعیین مناطق حساس به فرسایش آبکندی و تهیه نقشه حساسیت نسبت به آن با استفاده از داده-کاوی روش‌های آماری دو متغیره دمپستر- شفر و چند متغیره خطی و تلفیق آنها به منظور ارتقاء قابلیت‌های آنها و مرتفع نمودن معایب آنها می‌باشد.

(اکبری و همکاران، ۱۳۹۶)، دمپستر شيفر (چناری و همکاران، ۱۳۹۵)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴)، منطق فازی (شادفر، ۱۳۹۳)، ماشین‌های بردار پشتیبان (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۷)، رگرسیون لجستیک (دوب و همکاران، ۲۰۱۴)، شواهد وزن قطعی (عرب عامری و همکاران، ۲۰۱۸b)، الگوریتم تجمیعی بوستینگ (عرب عامری و همکاران، ۲۰۱۸c)، شاخص آنتروپی (عرب عامری و همکاران، ۲۰۱۸b)، رگرسیون چند متغیره اسپیلاین (کانوستی و همکاران، ۲۰۱۸)، و نسبت فراوانی (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌کاوی مجموعه‌ای از روش‌ها در فرآیند کشف دانش است که برای تشخیص الگوهای معتبر و رابطه‌های نامعلوم در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (فیاد و همکاران، ۱۹۹۶). روش‌های آماری به دو دسته دو متغیره و چند متغیره قابل تقسیم می‌باشد. در روش‌های دو متغیره با استفاده از روابط آماری بین طبقات فاکتورهای موثر در رخداد یک پدیده و توزیع فضایی آن پدیده، ارزش وزنی هر یک از طبقات محاسبه می‌گردد (ون وسترن، ۱۹۹۴). و در مقابل در روش‌های چند متغیره وزن مربوط به هر پارامتر محاسبه می‌گردد که بیانگر میزان دخالت آن فاکتور در وقوع یک رخداد می‌باشد، علاوه بر این اثرات متقابل پارامترهای مختلف در وقوع یک رخداد نیز در نظر گرفته می‌شود (سوزن و دیوران، ۲۰۰۴). مهم‌ترین مزایای روش دمپستر- شفر عدم نیاز به داده‌های زیاد، قابلیت استفاده در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف، انعطاف‌پذیری و سهولت درک خروجی مدل در مقایسه با مدل‌های تجربی و فیزیکی می‌باشد، در مقابل مهم‌ترین ضعف این روش عدم محاسبه وزن معیارها و ناتوانی در تعیین میزان تاثیر هر یک از معیارها در وقوع یک

محدوده مورد مطالعه

حوضه طرود- نجارآباد با مساحت ۱۱۰۳/۵۹ کیلومتر مربع در شمال شرق استان سمنان و در قسمت جنوب شرقی شاهرود بین مختصات جغرافیایی "۳۸' ۴۱" ۵۴° تا "۴۴' ۱۴" ۵۵° طول شرقی و "۳۹' ۱۷" ۳۵° تا "۵۴' ۳۷" ۳۵° عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع منطقه مطالعاتی بین ۷۱۸ تا ۲۱۶۲ متر بالاتر از سطح دریا متغیر می‌باشد و میانگین ارتفاع منطقه ۱۰۱۸ متر می‌باشد. توپوگرافی قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه هموار با شیب ملایم می‌باشد در حالی که قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و غربی دارای توپوگرافی کوهستانی و تپه ماهوری می‌باشد (شکل ۱). شیب منطقه بین ۰ تا ۶۶/۸۲ درجه متغیر می‌باشد و میانگین شیب منطقه ۴/۶۵ درجه می‌باشد که این موضوع بیانگر وجود توپوگرافی هموار با شیب کم در بیشتر مناطق منطقه می‌باشد. مقادیر بارندگی در منطقه بین

حداقل ۸۸/۷۲ میلی متر در قسمت‌های جنوبی تا حداکثر ۲۳۸/۹ میلی‌متر در قسمت‌های شمال شرقی و غربی منطقه متغیر می‌باشد. از مهم‌ترین سکونتگاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی می‌توان به طرود، چشمه سفید، شش، مهابیا، رزوه، چاه موسی، باغ دوست، کلوی، کلاته درویش، سندار، تنگه قلی و سالاران اشاره نمود. ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع مهم‌ترین واحد لیتولوژی موجود در منطقه مطالعاتی می‌باشد که در حدود ۳۲/۲۷ درصد از منطقه مطالعاتی را شامل می‌گردد. ۶۶/۴۷ درصد از منطقه مطالعاتی پوشیده از مرتع می‌باشد. خاک‌های منطقه مطالعاتی عمدتاً از نوع اریدی سول و آنتی سول می‌باشد. ۴۵/۲۸ درصد از منطقه مطالعاتی دارای توپوگرافی هموار، ۳۵/۱۱ درصد مقعر و ۱۹/۶۰ درصد دارای توپوگرافی محدب می‌باشد.

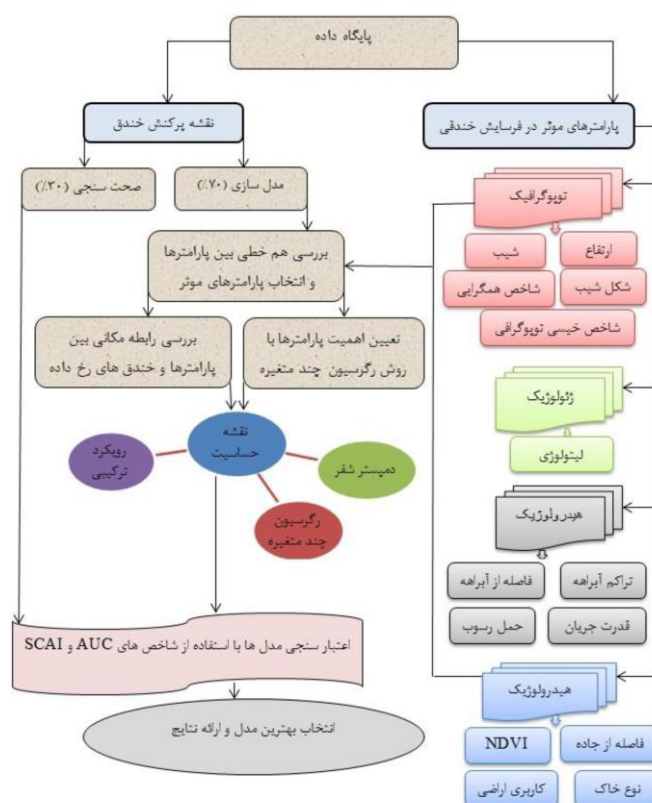


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه خندق‌ها

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر شامل ۳ مرحله اصلی (شکل ۲) می‌باشد که شامل ۱- جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل پایگاه داده شامل موقعیت مکانی خندق‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی و پارامترهای موثر در رخداد خندق، ۲- مدل‌سازی و اجرای مدل‌ها، و ۳- صحت‌سنجی نتایج و ارائه پیشنهادها. به منظور صحت‌سنجی نتایج از دو شاخص مساحت

زیر منحنی و شاخص سطح سلول هسته استفاده گردید. به منظور تشکیل پایگاه داده از منابع مختلفی مانند نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر لندست ۸، مدل رقومی ALOS با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، و پیمایش‌های میدانی گسترده با GPS استفاده گردید.



شکل ۲: روش‌شناسی تحقیق

از آنجایی که نتایج مدل‌های داده‌کاوی از داده‌های ورودی به آنها حاصل می‌گردد، دقت و قابلیت اعتماد داده‌های ورودی بسیار مهم می‌باشد (مک کلوסקی و همکاران، ۲۰۱۶؛ گیو لیانگ و همکاران، ۲۰۱۷). در این پژوهش با استفاده از گزارشات اولیه، داده‌های خندق مربوط به طرح مرفوکلیماتیک خندق‌ها در بخش حفاظت خاک

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، استفاده از تصاویر ماهواره-ای Google Earth و عملیات میدانی گسترده با استفاده از GPS اقدام به تهیه نقشه پراکنش خندق در منطقه مطالعاتی گردید. در مجموع تعداد ۲۱۸ خندق در منطقه مطالعاتی شناسایی گردید که به‌طور تصادفی ۷۰ درصد (۱۵۴ خندق)

پارامتر به منظور مدل‌سازی انتخاب گردید. این پارامتر شامل: ارتفاع، شیب، شکل شیب، شاخص خیزی توپوگرافی (TWI)، شاخص قدرت آبراهه (SPI)، شاخص حمل رسوب (STI)، شاخص همگرایی جریان، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، کاربری اراضی، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، لیتولوژی، نوع خاک، و فاصله از جاده می‌باشد (شکل ۳).

برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد (۶۴ خندق) برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶). نمونه‌ای از خندق‌های منطقه مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است. به منظور انتخاب پارامترهای موثر در فرسایش آب‌کندی از منابع مختلفی مانند مطالعه ادبیات تحقیق، ویژگی‌های محیطی منطقه، و آزمون هم-بستگی خطی استفاده گردید و در نهایت ۱۴



شکل ۳: نمونه‌ای از خندق‌ها در منطقه مطالعاتی. (الف) خندق U شکل، (ب) خندق V شکل

رابطه ۲)

$$TWI = \ln(A_S / \tan\beta)$$

رابطه ۳)

$$SPI = A_S \times \tan\beta$$

که در آن A_S مساحت ویژه حوضه (M^2/M) و β گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد. برای محاسبه فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه در ابتدا شبکه آبراهه از مدل رقومی PALSAR در محیط نرم‌افزار Arc Hydro استخراج گردید. بدین منظور آستانه سلولی ۱۰۰ در نظر گرفته شد. پس از استخراج شبکه آبراهه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه با استفاده از ابزارهای distance و density محاسبه گردیدند. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر لندست ۸ در محیط نرم‌افزار ENVI 4.8 استفاده

به منظور تهیه مدل رقومی ارتفاعی از داده‌های فرکانس پایین راداری PALSAR در باند L استفاده گردید و مدل رقومی با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر تهیه گردید. پارامترهای توپوگرافی و ژئومورفومتریک منطقه مطالعاتی مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل شیب، طول شیب، شاخص‌های خیزی توپوگرافی، قدرت جریان، حمل رسوب، و شاخص همگرایی، در محیط نرم افزارهای ArcGIS10.5 و SAGA GIS6.2.0 تهیه گردید. برای محاسبه شاخص‌های ژئومورفومتریک حمل رسوب، خیزی توپوگرافی، و قدرت جریان به ترتیب از روابط ۱ تا ۳ استفاده گردید (مور و همکاران، ۱۹۹۳):

رابطه ۱)

$$STI = \left(\frac{A_S}{22.13}\right)^{0.6} \times \left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^{1.3}$$

مربوط به سازمان زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ رقومی گردید و با توجه به میزان حساسیت آنها به فرسایش به ۱۴ گروه واحد تقسیم گردید. اطلاعات مربوط به واحدهای زمین شناسی منطقه مطالعاتی در جدول ۱ نشان داده شده است. لایه نوع خاک از بخش حفاظت خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان تهیه گردید و به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. برای محاسبه لایه فاصله از جاده در ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر Google Earth لایه جاده‌های منطقه مطالعاتی استخراج گردید و در گام بعد در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 و با استفاده از ابزار distance لایه فاصله از جاده تهیه گردید (جدول ۱) (شکل ۴).

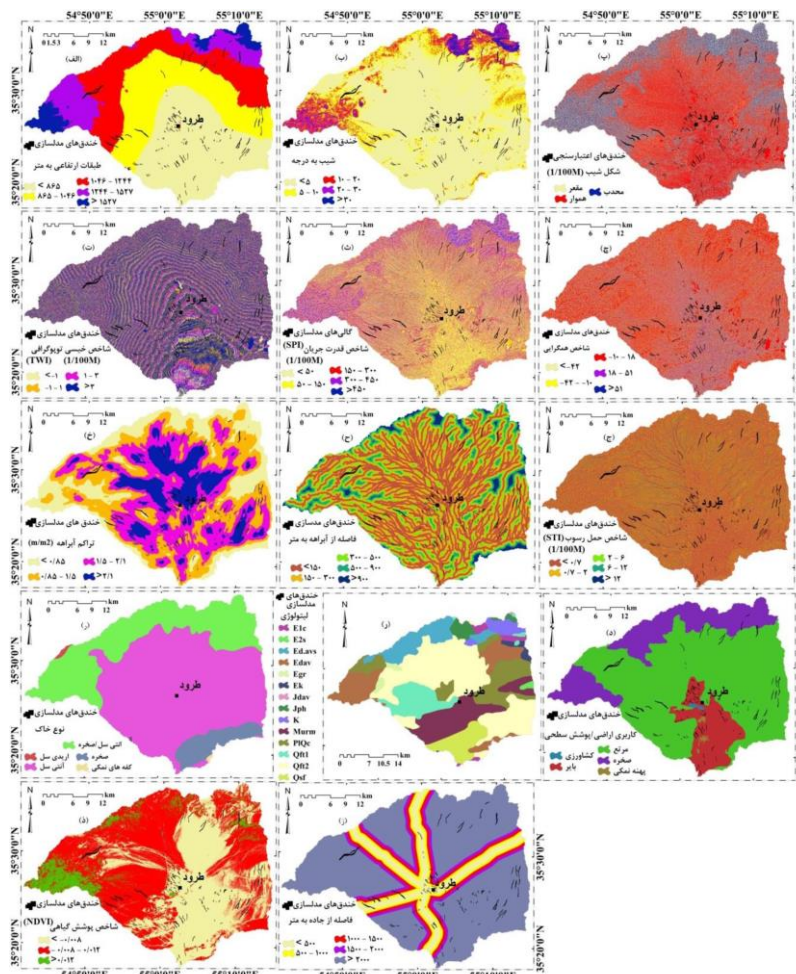
گردید و با استفاده از روش نظارت شده و الگوریتم حداکثر شباهت، نقشه کاربری اراضی تهیه گردید. برای صحت سنجی نقشه تهیه شده از ۲۹۷ نقطه کنترل زمینی استفاده گردید و مقدار ضریب کاپا برای نقشه تهیه شده ۰/۹۷۶ بدست آمد که بیانگر دقت بالای نقشه تهیه شده می‌باشد. برای محاسبه شاخص نرمال شده پوشش گیاهی از باندهای ۴ (باند قرمز) و ۵ (باند مادون قرمز) تصویر لندست ۸ در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 استفاده گردید و با استفاده از رابطه ۴ نقشه NDVI محاسبه گردید (ناسا، ۲۰۰۰):

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

که در آن IR بخش مادون قرمز طیف الکترومغناطیس و R بخش قرمز طیف الکترومغناطیس می‌باشد. نقشه سنگ‌شناسی منطقه مطالعاتی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی

جدول ۱: ویژگی‌های لیتولوژیک منطقه مطالعاتی

کد	لیتولوژی	عهد	دوران	مساحت
Qft2	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع	کواترنر	سنوزوئیک	355.818
Jph	فیلیت، نمک و ماسه سنگ با منشا دگرگونی (فیلیت همدان)	ژوراسیک	مزوزوئیک	25.090
Jdav	گدازه های آندزیتی	ژوراسیک	مزوزوئیک	0.521
Qft1	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای قدیمی	کواترنر	سنوزوئیک	93.087
PIQc	کنگلومرای پلی ژنیک سست	پالئوسن - کواترنر	سنوزوئیک	135.121
Ek	شیل تیره توف دار با میان لایه هایی از توف (عضو زیرین توف)	ائوسن	سنوزوئیک	11.628
K	سنگهای غیر متداول کرتاسه	کرتاسه	مزوزوئیک	30.100
Ed.avs	رسوبات آتشفشانی آندزیتی	ائوسن	سنوزوئیک	93.647
E1c	کنگلومرای پلی ژنیک قرمز و ماسه سنگ	پالئوسن - ائوسن	سنوزوئیک	15.523
Edav	رسوبات آتشفشانی داسیتی	ائوسن	سنوزوئیک	119.986
Murm	مارن و مارن ژیبس دار، با میان لایه های ماسه سنگ	میوسن	سنوزوئیک	139.586
Egr	گرانیت	ائوسن	سنوزوئیک	10.214
E2s	ماسه سنگ، مارن و سنگ آهک	ائوسن	سنوزوئیک	4.627
Qsf	کفه های نمکی	کواترنر	سنوزوئیک	67.677



شکل ۴: پارامترهای موثر در فرسایش آبکندی

نظریه شواهد دمپستر-شفر

این نظریه در سال ۱۹۶۸ توسط دمپستر در تشریح اصول محاسباتی احتمالات بالایی و پایینی ارائه شد (دمپستر، ۱۹۶۷)، اندکی بعد توسط شافر با تئوری ریاضی باور گسترش یافت (شافر و همکاران، ۱۹۷۶). از مهم‌ترین مزیت‌های نظریه شواهد دمپستر-شفر این است که با استفاده از آن می‌توان عدم قطعیت را بررسی و کمی کرد، به عبارت دیگر این مدل یکی از راه‌های معنی‌دار اندازه‌گیری مقدار عدم قطعیت در مجموعه متناهی از شواهد به وسیله تابع توزیع احتمال آنها بوده و می‌توان ناسازگاری میان توزیع‌های احتمال منابع شواهد را به وسیله آن بیان نمود (زانگ و

همکاران، ۲۰۱۱). به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از روش نظریه شواهد دمپستر-شفر از روابط ۵ تا ۹ استفاده گردید (میلاقاردان و همکاران، ۲۰۱۵؛ اولتینو-ریموند و همکاران، ۲۰۱۵).

رابطه ۵)

$$m(\theta)_{Eij} = 1 - m(S_p)_{Eij} - m(\overline{S_p})_{Eij}$$

رابطه ۶)

$$m(S_p)_{Eij} = \frac{\lambda(S_p)_{Eij}}{\sum_j \lambda(S_p)_{Eij}}$$

رابطه ۷)

$$m(\overline{S_p})_{Eij} = \frac{\lambda(\overline{S_p})_{Eij}}{\sum_j \lambda(\overline{S_p})_{Eij}}$$

رابطه ۸)

$$\lambda(S_p)_{Eij} = \frac{N(L \cap E_{ij}) / N(L)}{N(E_{ij}) - N(L \cap E_{ij}) / N(A) - N(L)}$$

(رابطه ۹)

$$\lambda(\overline{Sp})_{Eij} =$$

$$\frac{N(L) - N(L \cap E_{ij}) / N(L)}{N(A) - N(L) - N(E_{ij}) + N(L \cap E_{ij}) / N(A) - N(L)}$$

که در آن $m(\theta)_{Eij}$ بیانگر عدم قطعیت و وزن نهایی مدل می‌باشد و هر چه مقادیر این تابع در کلاس‌ها کمتر باشد بیانگر حساسیت بیشتر آن کلاس می‌باشد، $m(Sp)_{Eij}$ بیانگر احتمال رخداد فرسایش آبکندی در منطقه (تابع باور)، $m(\overline{Sp})_{Eij}$ بیانگر احتمال عدم رخداد فرسایش آبکندی (تابع ناباوری)، $N(L)$ مساحت کل خندق‌های رخ داده در منطقه، $N(L \cap E_{ij})$ مساحت خندق‌ها در زیرکلاس Z از پارامتر i می‌باشد، $N(A)$ برابر با تعداد کل پیکسل‌ها در منطقه مطالعاتی، $N(E_{ij})$ تعداد پیکسل‌ها در زیرکلاس Z از پارامتر i می‌باشد. پس از به‌دست آوردن وزن نهایی (مقادیر عدم قطعیت) هر یک از زیرکلاس‌ها، این وزن‌ها به لایه‌های اطلاعاتی اضافه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 و با استفاده از ابزار Weighted Sum نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی به‌دست می‌آید. در نقشه نهایی هر چه مقدار وزن‌های به‌دست آمده در یک طبقه کمتر باشد بیانگر حساسیت بالاتر آن طبقه نسبت به فرسایش می‌باشد.

رگرسیون چند متغیره خطی

تجزیه رگرسیون روشی آماری برای بررسی و مدل‌سازی ارتباط بین متغیرهاست (محمود آبادی، ۱۳۹۶). در مدل‌های رگرسیونی خطی، پارامترهای مدل خطی هستند و الزاماً متغیر وابسته تابع خطی از متغیر مستقل (X) نمی‌باشد. مدل‌های زیادی وجود دارند که متغیر وابسته را به صورت غیر خطی به متغیرهای مستقل ارتباط می‌دهند و تا زمانی که معادله از نظر β ها خطی باشد، با مدل‌های رگرسیون خطی بیان نمود. این مدل‌ها اگر تنها دارای یک متغیر مستقل باشند، ساده

(رابطه ۱۰) و اگر بیش از یک متغیر مستقل باشند (رابطه ۱۱) چند متغیره نامیده می‌شوند (محمود آبادی، ۱۳۹۶).

(رابطه ۱۰)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + e$$

(رابطه ۱۱)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e$$

که در آن Y متغیر وابسته، $X_1 \dots X_n$ متغیرهای مستقل، و $\beta_0 \dots \beta_n$ پارامترهای مدل هستند (محمود آبادی، ۱۳۹۶). در این پژوهش به منظور اجرا و تهیه مدل رگرسیون خطی چند متغیره ابتدا برای هر یک از ۱۴ عامل موثر در فرسایش آبکندی براساس حاصل جمع تابع باور و ناباوری مدل دمپستر مقادیر نقشه‌های وزنی کلاس‌های هر عامل از ۱۴ عامل مشخص شد. در مرحله بعد به تعداد نقاط حضور یا رخداد گالی (۲۱۷ رخداد)، نقاط عدم حضور یا عدم رخداد گالی (۲۱۷ عدم رخداد) به صورت تصادفی با استفاده از الگوریتم Create random Points در محیط ArcGIS10.5 ایجاد می‌شود. سپس برای هر ۴۳۴ نقشه حضور و عدم حضور (به‌عنوان متغیر وابسته) مقادیر اوزان تمام ۱۴ لایه وزنی (متغیرهای مستقل) با استفاده از دستور Extract value to point استخراج می‌شود. جدول مقادیر متغیر وابسته و ۱۴ عامل موثر به محیط نرم‌افزار اکسل منتقل می‌شود. فایل تکمیل شده اکسل به محیط نرم‌افزار SPSS برای اجرای روش رگرسیون خطی چند متغیره وارد می‌شود. در محیط SPSS روش رگرسیون خطی چند متغیره با مقادیر ستون حضور و عدم حضور گالی به عنوان متغیر وابسته و مقادیر ستون‌های ۱۴ عامل موثر به عنوان متغیر مستقل در قالب ۴۳۴ تکرار با روش ورود تمام داده‌ها (ENTER) در سطح اطمینان ۹۵ درصد اجرا می‌گردید.

نتایج

نتایج آزمون چند خطی

قبل از اجرای روش‌های نظریه شواهد دمپستر-شفر، رگرسیون چند متغیره خطی، و روش ترکیبی انجام آنالیز هم خطی به منظور اجتناب از هم خطی بین پارامترها ضروری می‌باشد. در این پژوهش شاخص‌های ضریب تحمل (TOL) و عامل افزایش واریانس (VIF) برای بررسی هم خطی بین پارامترها مورد استفاده قرار گرفت. در صورتی که ضریب تحمل کمتر از ۰/۱ و عامل افزایش

واریانس بیشتر از ۱۰ باشد بیانگر وجود هم خطی بین پارامترها می‌باشد (عرب عامری و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج حاصل از تست هم خطی بین پارامترها در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق نتایج از بین ۱۹ پارامتر اولیه، پارامترهای جهت شیب، انحنای کلی، فاصله از گسل، انحنای مقطع، و بارندگی دارای هم خطی بوده و در نتیجه از جریان مدل‌سازی حذف و مدل‌سازی با ۱۴ پارامتر انجام گرفت.

جدول ۲: تست هم خطی بین پارامترها

پارامتر	تست هم خطی		پارامترها	تست هم خطی	
	ضریب تحمل	عامل افزایش واریانس		ضریب تحمل	عامل افزایش واریانس
مقدار ثابت	-	-	شکل شیب	۰/۲۶۷	۳/۷۵
نوع خاک	۰/۵۷۳	۱/۷۴	انحنای مقطع	۰/۰۴۱	۱۲/۴
کاربری اراضی	۰/۶۶۰	۱/۵۱	بارندگی	۰/۰۷۱	۱۳/۶۹
لیتولوژی	۰/۴۶۰	۲/۱۷	فاصله از جاده	۰/۳۳۷	۲/۹۶
جهت شیب	۰/۰۸۹	۱۱/۱۲	شیب	۰/۲۳۱	۴/۳۲
انحنای کلی	۰/۰۲۶	۱۳/۷۶	SPI	۰/۷۷۳	۱/۲۹
تراکم آبراهه	۰/۴۹۲	۲/۰۳	STI	۰/۷۷۷	۱/۲۸
فاصله از آبراهه	۰/۷۴۵	۱/۳۴	TWI	۰/۸۹۴	۱/۱۱
فاصله از گسل	۰/۰۶۰۲	۱۴/۹۵	شاخص همگرایی	۰/۶۹۲	۱/۴۴
NDVI	۰/۵۰۸	۱/۹۶	ارتفاع	۰/۷۵۴	۱/۳۲

نتایج حاصل از روش چندمتغیره خطی: با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره، برای تمامی عوامل ضریب معنی‌داری بالاتر از ۹۵ درصد به دست آمد که نشان دهنده آن است که از نظر آماری رابطه قوی با رخداد

گالی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. جدول ۳ نتیجه نهایی حاصل از تجزیه و تحلیل آماری به-دست آمده با R2 معادل ۰/۷۱ در سطح اطمینان ۹۹ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ضریب هم‌بستگی مدل آماری رگرسیون چند متغیره

Model	R Square Change	F Change	Change Statistics		
			df1	df2	Sig. F Change
رگرسیون چند متغیره	۰/۷۱۳	۱۲/۶۹	۱۵	۴۱۷	۰/۰۰۰

هم‌چنین ضرایب یا به عبارت دیگر اوزان هر متغیر مستقل در قالب جدول ۴ مشخص گردید. همان-طور که در جدول ۴ نشان داده شده است سطح اطمینان تمام عوامل موثر بالاتر از ۹۵ درصد می-باشد. طبق نتایج حاصل از جدول ۴ پارامترهای

کاربری اراضی، شیب و فاصله از آبراهه با کسب امتیازات (۰/۴۸۸، ۰/۱۴۱ و ۰/۱۲۴) بیشترین تاثیر را در وقوع فرسایش آبکندی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند که با نتایج تحقیقات (چناری و همکاران، ۱۳۹۵؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۴؛ دوب

جاده در رتبه‌های ۴ تا ۱۴ قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب با توجه به ضرایب جدول ۴ رابطه ۱۲ برای محاسبه شاخص حساسیت نسبت به فرسایش آبکندی تعیین گردید:

و همکاران، ۲۰۱۴؛ رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶) مطابق دارد. پارامترهای شکل شیب، جنس خاک، شاخص همگرایی، SPI، تراکم آبراهه، شاخص حمل رسوب، شاخص خیزی توپوگرافی، NDVI، سنگ‌شناسی، طبقات ارتفاعی و فاصله از

جدول ۴: نتایج تجزیه تحلیل آماری رگرسیون چند متغیره

معنی داری	ضرایب	علامت	پارامتر	معنی داری	ضرایب	علامت	پارامتر
۰/۰۳۸	۰/۰۱۸	X _{spl}	SPI	۰/۰۰۰	-۰/۱۵۲	X _{rod}	فاصله از جاده
۰/۰۱۴	۰/۰۲۹	X _{convergence}	شاخص همگرایی	۰/۰۲۶	-۰/۱۰۲	X _{hypso}	طبقات ارتفاعی
۰/۰۲۷	۰/۰۳۵	X _{soil}	جنس خاک	۰/۰۵۰	-۰/۰۸۲	X _{lith}	سنگ شناسی
۰/۰۱۸	۰/۰۵۶	X _{plncurv}	شکل شیب	۰/۰۳۹	-۰/۰۱۹	X _{NDVI}	NDVI
۰/۰۰۳	۰/۱۲۴	X _{drn}	فاصله از آبراهه	۰/۰۴۳	-۰/۰۱۵	X _{twi}	TWI
۰/۰۰۲	۰/۱۴۱	X _{slp}	شیب	۰/۰۴۹	-۰/۰۱۳	X _{sti}	STI
۰/۰۰۰	۰/۴۸۸	X _{lus}	کاربری اراضی	۰/۰۴۸	-۰/۰۰۲	X _{drndens}	تراکم آبراهه

رابطه ۱۲)

$$Y_{gully} = (-0.152 \times X_{rod}) + (-0.102 \times X_{hypso}) + (-0.082 \times X_{lith}) + (-0.019 \times X_{NDVI}) + (-0.015 \times X_{twi}) + (-0.013 \times X_{sti}) + (-0.02 \times X_{drndens}) + (0.018 \times X_{spi}) + (0.029 \times X_{convergence}) + (0.035 \times X_{soil}) + (0.056 \times X_{plncurv}) + (0.124 \times X_{drn}) + (0.141 \times X_{slp}) + (0.488 \times X_{lus})$$

استفاده از روش نظریه شواهد دمپستر- شفر منطقه مطالعاتی در جدول ۵ نشان داده شده است. هر چه مقدار عدم قطعیت در طبقات کمتر باشد بیانگر اهمیت بیشتر آن در رخداد فرسایش آبکندی می‌باشد. طبق نتایج جدول ۵، براساس پارامتر لیتولوژی، واحد E2s (ماسه سنگ، مارن و سنگ آهک) با کمترین میزان عدم قطعیت (۰/۶۷۳) بیشترین ارتباط را با رخداد خندق در منطقه مطالعاتی داشته است. ارتباط آماری بین نوع خاک و رخداد خندق نشان داد که مناطق با خاک‌های از نوع آریدی سل و انتی سل دارای حساسیت بالایی نسبت به فرسایش می‌باشند به گونه‌ای که دارای کمترین مقدار عدم قطعیت (۰/۳۲۷) می‌باشند. نتایج مدل نظریه شواهد دمپستر-شفر نشان داد که براساس پارامتر شاخص قدرت جریان، کلاس بیشتر از ۴۵۰ با کمترین مقدار عدم قطعیت (۰/۵۱۷) بیشترین ارتباط را با

که در آن Y_{gull} عامل متغیر وابسته حساسیت نسبت به فرسایش آبکندی و ۱۴ متغیر مستقل (X) عوامل موثر مطابق با جدول ۴ می‌باشند. بعد از به دست آمدن رابطه ۱۲، این رابطه در محیط ArcGIS10.5 بر روی ۱۴ عامل موثر اعمال گردید و سپس نقشه به دست آمده از نظر حساسیت به فرسایش آبکندی به پنج کلاس از خطر بسیار کم تا بسیار زیاد براساس نقاط شکست طبیعی فراوانی پیکسل‌ها (توزیع آماری فراوانی پیکسل‌ها نرمال می‌باشد) تقسیم‌بندی گردید. شکل ۷ الف نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی حوضه طرود-نجا آباد با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره خطی را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از روش دو متغیره نظریه شواهد دمپستر-شفر

نتایج حاصل از رابطه آماری بین پارامترهای موثر در فرسایش آبکندی و خندق‌های رخ داده با

کمترین مقدار عدم قطعیت (۰/۳۲۰) دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش آب‌کندی می‌باشند و سطوح هموار با عدم قطعیت (۰/۳۳۴) در رتبه دوم قرار دارد که این نتایج با نتایج تحقیقات (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶؛ کانفورتی و همکاران، ۲۰۱۰) مطابقت دارد. طبق نتایج پارامتر فاصله از جاده، کلاس ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر با کمترین مقدار عدم قطعیت (۰/۵۳۸) بیشترین مقدار هم‌بستگی را با رخداد فرسایش آب‌کندی نسبت به بقیه کلاس‌ها داشته است و در مقابل کلاس ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر با بیشترین مقدار عدم قطعیت (۰/۶۳۳) کمترین تاثیر را در رخداد خندق داشته‌اند. بر اساس پارامتر شیب، مناطق با شیب‌های ۵ تا ۱۰ درجه بیشترین پتانسیل برای وقوع فرسایش آب‌کندی را داشته‌اند و در مقابل با افزایش مقدار شیب، مقادیر عدم قطعیت نیز افزایش پیدا کرده است به گونه‌ای که مناطق با شیب‌های بیشتر از ۳۰ درجه دارای بیشترین مقدار عدم قطعیت می‌باشند (۰/۷۹۳) و در نتیجه احتمال رخداد خندق در این مناطق از بقیه مناطق کمتر می‌باشد. این نتایج با نتایج تحقیقات (تجری و کاردل، ۱۳۹۴) مطابقت دارد. طبق نتایج حاصل از کاربری اراضی، زمین‌های بایر با کمترین مقدار عدم قطعیت (۰/۲۷۸) بیشترین پتانسیل برای ایجاد خندق را دارا می‌باشند و در مقابل زمین‌های کشاورزی با بیشترین میزان عدم قطعیت (۰/۷۷۴) در مقایسه با دیگر کلاس‌ها در مقابل ایجاد فرسایش آب‌کندی مقاوم‌تر می‌باشند که این موضوع بیانگر نقش پوشش گیاهی در حفاظت خاک در مقابل فرسایش آبی می‌باشد. بر اساس پارامتر شاخص حمل رسوب، کلاس ۷۰ تا ۸۵ کمترین مقدار عدم قطعیت (۰/۶۵۰) دارای بیشترین احتمال رخداد فرسایش آب‌کندی می‌باشد و در نهایت بر اساس پارامتر شاخص همگرایی،

خندق‌های منطقه مطالعاتی داشته است. بر اساس پارامتر شاخص خیزی توپوگرافی، کلاس >3 با عدم قطعیت کمتر نسبت به بقیه کلاس‌ها (۰/۳۵۶) دارای احتمال بیشتر فرسایش آب‌کندی نسبت به بقیه کلاس‌ها می‌باشد. بر اساس پارامتر طبقات ارتفاعی، کلاس ۱۲۴۴-۱۰۴۶ بیشترین ارتباط را با رخداد فرسایش آب‌کندی داشته‌اند و در مقابل طبقات ارتفاعی بالاتر از ۱۵۲۷ متر با بیشترین مقدار عدم قطعیت (۰/۷۸۸) کمترین تاثیر را در وقوع فرسایش آب‌کندی داشته است که با نتایج تحقیقات تجری و کاردل ۱۳۹۴ مطابقت دارد. بر اساس نتایج پارامتر تراکم آبراهه، کلاس کمتر از ۰/۸۵ متر در متر مربع، با کمترین مقدار تراکم آبراهه دارای بیشترین مقدار عدم قطعیت (۰/۶۲۹) بوده و در نتیجه کمترین تاثیر را در وقوع فرسایش آب‌کندی داشته است که با نتایج رحمتی و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. بر اساس پارامتر فاصله از آبراهه هر چه فاصله از آبراهه بیشتر می‌شود مقدار عدم قطعیت نیز افزایش پیدا می‌کند، به عبارت دیگر با افزایش فاصله از آبراهه، احتمال رخداد فرسایش آب‌کندی کاهش پیدا می‌کند که این موضوع بیانگر نقش قابل توجه آبراهه در رخداد فرسایش آب‌کندی می‌باشد که با نتایج تحقیقات کانوستی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. نتایج عدم قطعیت حاصل از پارامتر تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی نشان داد که با افزایش مقادیر NDVI، مقادیر عدم قطعیت نیز افزایش پیدا می‌کند به گونه‌ای که در کلاس بیشتر از ۰/۱۲، با بیشترین مقدار NDVI، دارای بیشترین مقدار عدم قطعیت (۰/۳۹۴) می‌باشد که این موضوع بیانگر نقش پوشش گیاهی در کاهش احتمال فرسایش آب‌کندی می‌باشد که با نتایج تحقیقات اگنسی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. بر اساس پارامتر شکل شیب، سطوح مقعر با

ArcGIS10.5 به نقشه‌ها اضافه گردید و با استفاده از رابطه ۱۳ و ابزار Weighted Sum نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با روش نظریه شواهد دمپستر-شفر حاصل گردید و براساس شکست‌های طبیعی به ۵ کلاس شامل حساسیت خیلی زیاد، تا خیلی کم طبقه‌بندی گردید (شکل ۷ ب).

$$SESM(elevation_{m(\theta)}) + (lithology_{m(\theta)}) + (slope\ degree_{m(\theta)}) + (plan\ curvature_{m(\theta)}) + (distance\ to\ stream_{m(\theta)}) + (NDVI_{m(\theta)}) + (SPI_{m(\theta)}) + (TWI_{m(\theta)}) + (STI_{m(\theta)}) + (soil\ type_{m(\theta)}) + (drainage\ density_{m(\theta)}) + (convergence\ index_{m(\theta)}) + (land\ use_{m(\theta)}) + (distance\ to\ road_{m(\theta)})$$

۱۴ نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با رویکرد ترکیبی حاصل گردید و براساس شکست‌های طبیعی به ۵ کلاس شامل حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی گردید (شکل ۷ پ).

کلاس کمتر از ۴۲- با کمترین مقدار عدم قطعیت (۰/۵۷۴) دارای بیشترین تاثیر در وقوع فرسایش آبکندی در منطقه مطالعاتی بوده است. پس از تعیین ارتباط بین پارامترهای موثر و خندق‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی، وزن‌های هر یک از کلاس‌ها در محیط نرم‌افزار رابطه (۱۳)

مدل تلفیقی حاصل از روش دو متغیره نظریه

شواهد دمپسترشفر و چندمتغیره خطی

پس از تعیین وزن معیارها با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و وزن کلاس‌های عوامل با روش نظریه شواهد دمپستر-شفر، به منظور افزایش کارایی مدل‌ها و برطرف کردن معایب آنها اقدام به ترکیب آنها گردید و با استفاده از رابطه رابطه (۱۴)

$$GESM = (-0.152 \times distance\ to\ road_{m(\theta)}) + (-0.102 \times elevation_{m(\theta)}) + (-0.082 \times lithology_{m(\theta)}) + (-0.019 \times NDVI_{m(\theta)}) + (-0.015 \times TWI_{m(\theta)}) + (-0.013 \times STI_{m(\theta)}) + (-0.02 \times drainage\ density_{m(\theta)}) + (0.018 \times SPI_{m(\theta)}) + (0.029 \times convergence\ index_{m(\theta)}) + (0.035 \times soil\ type_{m(\theta)}) + (0.056 \times plan\ curvature_{m(\theta)}) + (0.124 \times distance\ to\ stream_{m(\theta)}) + (0.141 \times slope\ degree_{m(\theta)}) + (0.488 \times land\ use_{m(\theta)})$$

حساسیت خیلی کم تا خیلی زیاد می‌باشد (شکل ۶). براساس شکل ۶، در روش ترکیبی از کل مساحت خندق‌های مدل‌سازی، ۳۰/۷۷ درصد در کلاس حساسیت خیلی زیاد، و ۵۴/۳۹ درصد در کلاس حساسیت زیاد قرار گرفته است و در مقابل ۰/۲۰۵ درصد در کلاس حساسیت خیلی کم و ۳/۷۵ درصد در کلاس حساسیت کم قرار گرفته است، به عبارت دیگر ۸۵/۱۷ درصد از مساحت گالی‌های مدل‌سازی در کلاس حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است که این مقدار برای روش نظریه شواهد دمپستر-شفر و رگرسیون چند

براساس نتایج حاصل از مدل ترکیبی، ۶/۵۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس حساسیت خیلی کم و ۱۴/۲۶ درصد در کلاس حساسیت کم قرار گرفته است و در مقابل ۱۳/۶۵ درصد در کلاس حساسیت خیلی زیاد، ۵۳/۱۷ درصد در کلاس حساسیت زیاد و ۱۲/۳۳ درصد در کلاس حساسیت متوسط قرار گرفته است. این مقادیر براساس روش نظریه شواهد و در روش رگرسیون چند متغیره به ترتیب (۱۴/۱۶، ۷/۰۴، ۱۵/۸۴، ۵۰/۶۳ و ۱۲/۳۱ درصد) و (۱۱/۰۴، ۱۰، ۴۰/۰۵، ۲۷/۴۵ و ۱۱/۴۴ درصد) برای کلاس‌های

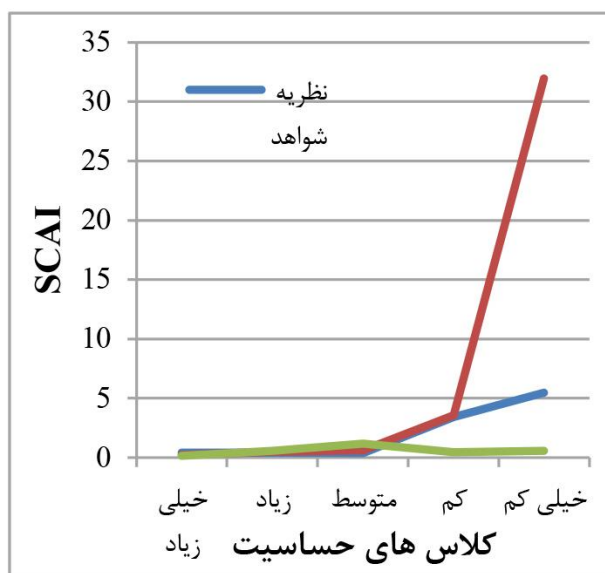
متغیره به ترتیب ۷۳/۹۶ و ۷۱/۴۴ درصد می‌باشد. حساسیت خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته اند که این طبق شکل در روش ترکیبی از کل مساحت خندق‌های اعتبارسنجی، ۹۰/۱۷ درصد در کلاس رگرسیون چند متغیره ۸۰/۰۴ می‌باشد.

جدول ۵: رابطه آماری بین پارامترهای موثر در فرسایش خندق و خندق‌ها با روش نظریه شواهد

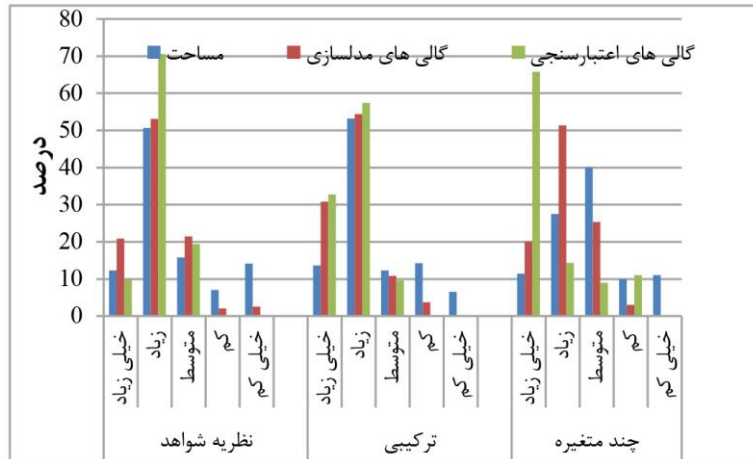
عامل	کلاس	تعداد کل پیکسل‌ها	پیکسل‌های خندق	$m(Sp)_{Eij}$	$m(\bar{Sp})_{Eij}$	$m(\theta)_{Eij}$
ارتفاع	<۸۶۵	۴۲۷۵۸۹	۳۱۵۸	۰/۲۷۰	۰/۱۹۰	۰/۵۳۸
	۸۶۵ - ۱۰۴۶	۳۱۹۸۵۱	۲۰۴۶	۰/۲۳۴	۰/۲۰۴	۰/۵۶۰
	۱۰۴۶ - ۱۲۴۴	۲۷۹۷۹۹	۲۳۷۳	۰/۳۱۱	۰/۱۸۵	۰/۵۰۳
	۱۲۴۴ - ۱۵۲۷	۱۳۹۱۲۱	۶۹۸	۰/۱۸۳	۰/۲۰۷	۰/۶۸
	>۱۵۲۷	۵۹۸۴۹	۰	۰	۰/۲۱۱	۰/۷۸۸
شیب	<۵	۹۴۲۳۳۸	۶۵۲۵	۰/۲۹۹	۰/۱۸۵	۰/۵۱۵
	۵ - ۱۰	۱۲۴۰۷۶	۱۲۰۴	۰/۴۲۰	۰/۱۹۲	۰/۳۸۶
	۱۰ - ۲۰	۹۰۱۶۸	۴۹۹	۰/۲۳۸	۰/۲۰۵	۰/۵۵۵
	۲۰ - ۳۰	۴۸۲۳۵	۴۷	۰/۰۴۱	۰/۲۰۹	۰/۷۴۸
	>۳۰	۲۱۳۹۱	۰	۰	۰/۲۰۶	۰/۷۹۳
شکل شیب	مقعر	۴۳۰۵۷۰	۳۱۳۰	۰/۳۶۰	۰/۳۱۹	۰/۳۲۰
	هموار	۵۵۵۲۹۷	۳۵۹۹	۰/۳۲۱	۰/۳۴۴	۰/۳۳۴
	محدب	۲۴۰۳۴۱	۱۵۴۶	۰/۳۱۸	۰/۳۳۶	۰/۳۴۴
	<-۱	۳۱۵۰۳۵	۱۸۰۱	۰/۱۷۹	۰/۲۵۹	۰/۵۶۱
TWI	-۱ - ۱	۶۳۹۸۴۶	۳۹۷۲	۰/۱۹۴	۰/۲۶۶	۰/۵۳۸
	۱ - ۳	۲۵۹۶۹۶	۱۷۲۳	۰/۲۰۸	۰/۲۴۸	۰/۵۴۳
	>۳	۱۰۹۴۷۷	۱۴۴۶	۰/۴۱۷	۰/۲۲۵	۰/۳۵۶
SPI	<۵۰	۶۰۴۳۱۵	۳۹۰۲	۰/۱۷۷	۰/۲۰۶	۰/۶۱۵
	۵۰ - ۱۵۰	۱۹۹۰۸۷	۱۱۶۶	۰/۱۶۱	۰/۲۰۴	۰/۶۳۴
	۱۵۰ - ۳۰۰	۲۷۷۰۴۴	۲۰۵۱	۰/۲۰۳	۰/۱۹۴	۰/۶۰۱
	۳۰۰ - ۴۵۰	۱۹۶۵۸۰	۱۱۹۴	۰/۱۶۷	۰/۲۰۲	۰/۶۳۰
	>۴۵۰	۸۴۷۴۱	۸۹۱	۰/۲۹۰	۰/۱۹۲	۰/۵۱۷
STI	<۱۵	۳۲۷۴۶۷	۲۲۳۴	۰/۱۷۲	۰/۱۶۶	۰/۶۶۱
	۱۵ - ۳۰	۱۸۷۳۸۴	۱۳۲۴	۰/۱۷۸	۰/۱۶۵	۰/۶۵۶
	۳۰ - ۵۵	۱۸۰۹۲۰	۱۱۵۴	۰/۱۶۱	۰/۱۶۸	۰/۶۷۰
	۵۵ - ۷۰	۲۳۴۸۱۲	۱۵۹۱	۰/۱۷۱	۰/۱۶۶	۰/۶۶۲
	۷۰ - ۸۵	۲۰۳۵۸۶	۱۴۹۶	۰/۱۸۵	۰/۱۶۳	۰/۶۵۰
	>۸۵	۹۲۰۳۹	۴۷۶	۰/۱۳	۰/۱۶۹	۰/۶۹۹
شاخص همگرایی	<-۴۲	۱۴۵۴۳۸	۱۱۵۱	۰/۲۳۰	۰/۱۹۴	۰/۵۷۴
	-۴۲ - -۱۰	۳۰۹۷۰۷	۲۲۴۰	۰/۲۱۰	۰/۱۹۴	۰/۵۹۴
	-۱۰ - ۱۸	۴۴۲۳۰۰	۲۷۷۱	۰/۱۸۲	۰/۲۰۷	۰/۶۰۹
	۱۸ - ۵۱	۲۵۰۰۵۷	۱۵۹۷	۰/۱۸۵	۰/۲۰۲	۰/۶۱۱
	>۵۱	۷۸۷۰۷	۵۱۶	۰/۱۹۰	۰/۲۰۰	۰/۶۰۹
تراکم آبراهه	< ۰/۱۸۵	۲۶۱۴۱۳	۴۳۳	۰/۰۶۶	۰/۳۰۴	۰/۶۲۹
	۰/۱۸۵ - ۱/۵	۳۸۶۹۶۳	۳۳۰۶	۰/۳۴۵	۰/۲۲۱	۰/۴۳۳
	۱/۵ - ۲/۱	۳۹۲۷۹۵	۳۴۸۸	۰/۳۵۹	۰/۲۱۴	۰/۴۲۶
	>۱/۲	۱۸۴۹۸۶	۱۰۴۸	۰/۲۲۸	۰/۲۵۹	۰/۵۱۱
فاصله از آبراهه	< ۱۵۰	۵۲۴۷۶۶	۵۸۶۴	۰/۵۲۷	۰/۱۰۴	۰/۳۶۷
	۱۵۰ - ۳۰۰	۳۶۰۵۹۵	۱۴۴۳	۰/۱۸۷	۰/۲۴۰	۰/۵۷۱
	۳۰۰ - ۵۰۰	۲۰۸۰۷۰	۶۹۴	۰/۱۵۶	۰/۲۲۷	۰/۶۱۶
	۵۰۰ - ۹۰۰	۹۹۹۹۸	۲۷۴	۰/۱۲۸	۰/۲۱۶	۰/۶۵۵
کاربری	> ۹۰۰	۳۲۷۲۸	۰	۰	۰/۲۱۱	۰/۷۸۸
	پهنه نمکی	۴۰۸۸	۲	۰/۰۲۲	۰/۲۰۶	۰/۷۷۰

ادامه جدول ۵

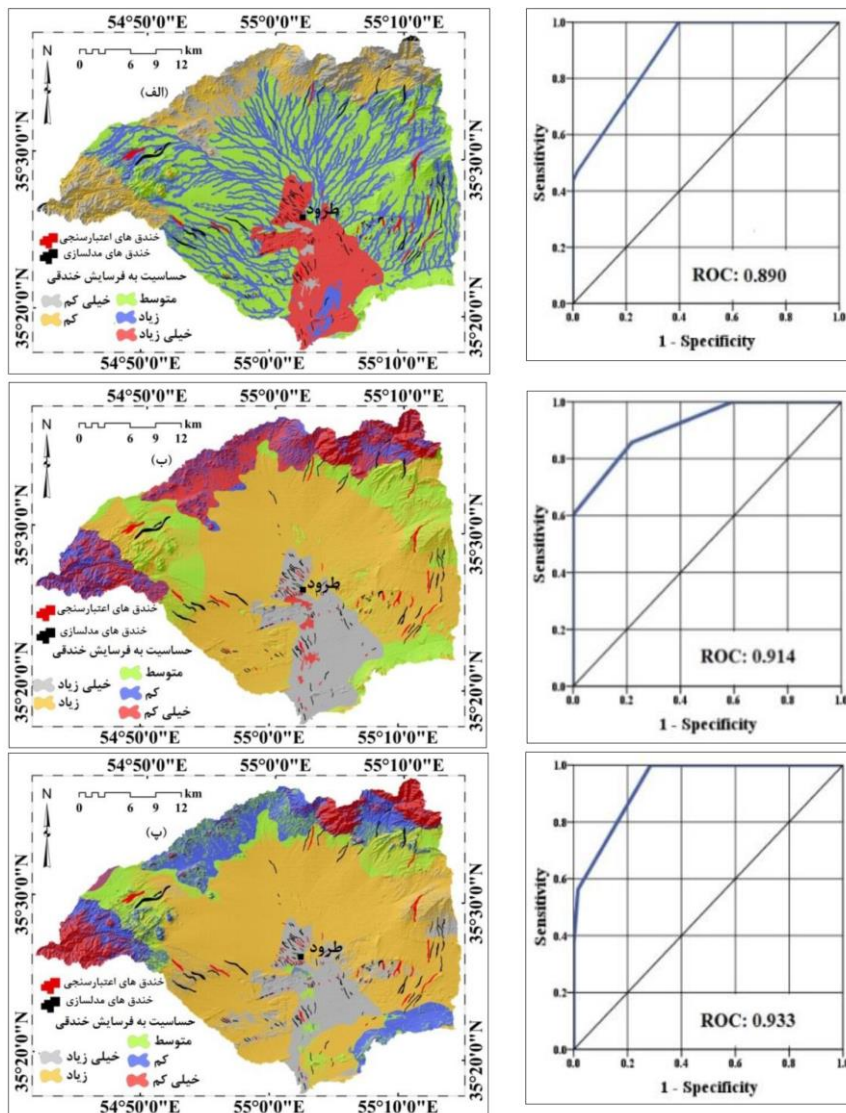
اراضی	کشاورزی	۲۳۵۱	۱	۰/۰۱۹	۰/۲۰۵	۰/۷۷۴
	صخره	۲۵۳۵۹۲	۳۵۶	۰/۰۶۵	۰/۲۴۳	۰/۶۸۵
NDVI	زمین بایر	۱۵۰۶۹۳	۱۷۰۹	۰/۵۳۶	۰/۱۸۵	۰/۲۷۸
	مرتع	۸۱۴۴۷۱	۶۱۵۰	۰/۳۵۵	۰/۱۵۴	۰/۴۹۰
	< -۰/۰۰۸	۷۲۷۷۳۵	۸۲۴۱	۰/۴۸۵	۰/۲۹۲	۰/۲۲۱
	-۰/۰۰۸ -۰/۰۱۲	۲۳۵۹۸۰۴	۱۶۳۹۸	۰/۲۹۶	۰/۳۱۹	۰/۳۸۳
	> ۰/۰۱۲	۲۳۴۷۳۵۰	۱۱۹۶۱	۰/۲۱۷	۰/۳۸۸	۰/۳۹۴
	Qft2	۳۹۵۳۷۱	۲۱۷۴	۰/۰۴۱	۰/۰۷۷	۰/۸۸۰
	Jph	۲۷۸۶۹	۹۶	۰/۰۲۶	۰/۰۷۲	۰/۹۰۱
	Jdav	۵۸۴	۰	۰	۰/۰۷۱	۰/۹۲۸
	Qft1	۱۰۳۴۱۰	۱۷۰۸	۰/۱۲۶	۰/۰۶۱	۰/۸۱۱
	PIQc	۱۵۰۱۳۵	۱۰۹۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷۰	۰/۸۷۴
لیتولوژی	Ek	۱۲۹۲۰	۱۶۳	۰/۰۹۶	۰/۰۷۰	۰/۸۳۲
	K	۳۳۴۳۱	۱۱۵	۰/۰۲۶	۰/۰۷۲	۰/۹۰۱
	Ed.avs	۱۰۴۰۸۰	۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۷۷	۰/۹۲۰
	E1c	۱۷۲۴۸	۲۰۷	۰/۰۹۱	۰/۰۷۰	۰/۸۳۷
	Edav	۱۳۳۳۵۲	۶۶۱	۰/۰۳۷	۰/۰۷۳	۰/۸۸۸
	Murm	۱۵۵۰۹۴	۱۳۷۸	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۸۶۴
	Egr	۱۱۳۴۵	۲۲۲	۰/۱۵۰	۰/۰۷۰	۰/۷۷۹
	E2s	۵۱۴۲	۱۶۹	۰/۲۵۶	۰/۰۷۰	۰/۶۷۳
	Qsf	۷۵۲۱۴	۲۰۶	۰/۰۲۰	۰/۰۷۴	۰/۹۰۵
	اریدی سل	۳۲۸۸	۰	۰	۰/۲۰۷	۰/۷۹۲
نوع خاک	انتهی سل/اریدی سل	۷۵۳۳۸۳	۶۱۵۹	۰/۵۳۷	۰/۱۳۴	۰/۳۲۷
	انتهی سل/صخره	۳۸۸۴۱۹	۱۸۸۷	۰/۳۱۸	۰/۲۳۳	۰/۴۴۷
	کفه های نمکی	۱۳۳۵	۰	۰	۰/۲۰۷	۰/۷۹۲
	صخره	۷۸۴۷۰	۱۷۲	۰/۱۴۳	۰/۲۱۶	۰/۶۳۹
	< ۵۰۰	۱۱۰۰۹۲	۹۱۸	۰/۲۱۸	۰/۱۹۰	۰/۵۹۰
فاصله از جاده	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۳۴۵۶	۶۹۴	۰/۱۷۵	۰/۱۹۵	۰/۶۲۹
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۸۱۴۶۵	۸۴۹	۰/۲۷۳	۰/۱۸۷	۰/۵۳۸
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۸۵۶۹۸	۵۶۰	۰/۱۷۰	۰/۱۹۵	۰/۶۳۳
	> ۲۰۰۰	۸۴۵۴۲۸	۵۲۵۴	۰/۱۶۲	۰/۲۳۰	۰/۶۰۷



شکل ۵: مقادیر شاخص SCAI



شکل ۶: مقادیر مساحت کل و مساحت گالی‌ها در هر یک از کلاس‌ها



شکل ۷: نقشه حساسیت فرسایش آبکندی به همراه منحنی ROC (الف) مدل چند متغیره، (ب) روش وزن شاهد، (پ) روش ترکیبی.

نتیجه گیری

با توجه به نگرانی‌های موجود در رابطه با فرسایش آبکندی و آثار مخرب آن، شناسایی مناطق حساس به این رویداد از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این پژوهش به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی و هم‌چنین بررسی دقیق تاثیر عدم اطمینان مکانی در نتایج از روش‌های نظریه شواهد دمپستر-شفر و رگرسیون چند متغیره مکانی و هم‌چنین به منظور برطرف کردن معایب روش‌های انفرادی فوق‌الذکر و بالا بردن مزایای آنها از ترکیب این دو روش نیز استفاده گردید. بدین منظور در ابتدا نقشه پراکنش فرسایش آبکندی با استفاده از منابع مختلف تهیه گردید و به صورت تصادفی به دو گروه مدل‌سازی و صحت سنجی تقسیم گردید. با استفاده از بررسی منابع، و ویژگی‌های منطقه مطالعاتی در ابتدا ۱۹ پارامتر موثر در رخداد فرسایش آبکندی در منطقه مطالعاتی تعیین گردید و پس از انجام آزمون هم خطی، ۱۴ پارامتر شامل ارتفاع، شیب، شکل شیب، شاخص خیزی توپوگرافی (TWI)، شاخص قدرت آبراهه (SPI)، شاخص حمل رسوب (STI)، شاخص همگرایی جریان، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، کاربری اراضی، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)، لیتولوژی، نوع خاک، و فاصله از جاده برای مدل‌سازی انتخاب گردید. نتایج حاصل از تعیین وزن پارامترها با روش رگرسیون چند متغیره خطی نشان داد که پارامترهای کاربری اراضی، شیب و فاصله از آبراهه بیشترین تاثیر را در ایجاد فرسایش آبکندی داشته‌اند. اعتبار سنجی نقشه‌های حساسیت حاصل از روش‌های نظریه شواهد دمپستر-شفر، رگرسیون چند متغیره و روش ترکیبی با روش‌های AUC و SCAI نشان داد که روش ترکیبی دارای دقت پیش‌بینی عالی

از آنجایی که در اعتبار سنجی مدل‌ها نمی‌توان از خندق‌هایی استفاده کرد که در تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی استفاده شده است، از بین کل پهنه‌های آبکندی در منطقه مطالعاتی ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد و با استفاده از آن داده‌ها اعتبار سنجی گردید (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶؛ پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۷). با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC) و سطح زیر منحنی آن (AUC) قدرت پیش‌بینی مدل‌ها و با استفاده از شاخص سطح سلول هسته قدرت تفکیک بین طبقات در مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت (سوزان و دیوران، ۲۰۰۴). نتایج حاصل از اعتبار سنجی مدل‌ها براساس مساحت زیر منحنی (ROC) در شکل ۷ و براساس شاخص SCAI در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس شکل ۷، مدل ترکیبی با مقدار مساحت زیر منحنی ۰/۹۳۳ دارای دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به مدل‌های انفرادی رگرسیون چند متغیره (۰/۸۹۰) و روش نظریه شواهد (۰/۹۱۴) می‌باشد که این موضوع بیانگر قدرت پیش‌بینی بالاتر مدل ترکیبی نسبت به مدل‌های انفرادی می‌باشد که با نتایج تحقیقات (اومار و همکاران، ۲۰۱۴؛ پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۷؛ عرب عامری و همکاران، ۲۰۱۷) مطابقت دارد. نتایج شاخص SCAI نیز نشان داد که مدل ترکیبی نسبت به مدل‌های انفرادی دارای نتایج بهتری بوده و با دقت بالاتری به تفکیک بین طبقات پرداخته است به گونه ای که مقادیر SCAI در کلاس‌های حساسیت خیلی کم و کم، زیاد و در کلاس‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد، کم می‌باشد و دارای روند صعودی از کلاس حساسیت خیلی زیاد به سمت کلاس خیلی کم می‌باشد.

شیب ملایم، تراکم بالای آبراهه، فقدان پوشش گیاهی، و داشتن رسوبات مارنی و آهکی دارای حساسیت خیلی زیاد نسبت به فرسایش آبکندی می‌باشد. با توجه به قرار گرفتن مناطق مسکونی و تاسیسات زیربنایی مانند جاده و خطوط انتقال برق در این منطقه پیشنهاد می‌گردد اقداماتی مدیریتی مانند احیاء پوشش گیاهی و ایجاد قرق-های موقت چند ساله به منظور تقویت پوشش گیاهی به همراه استفاده از سازه‌های مکانیکی به منظور حفاظت از خاک در مقابل فرسایش آبی به عنوان اقدامات عملی در جهت کاهش فرسایش خاک و مهار فرسایش آبکندی در منطقه صورت گیرد.

-شادفر، ص.، ۱۳۹۳. کاربرد منطق فازی در بررسی فرسایش خندقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه طرود)، اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۳، شماره ۹۲، ص ۳۵ - ۴۲.

-صابری چناری، ک.، بهره مند، ع.ا.، بردی شیخ، و. و بایرام کمکی، ج.، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپستر-شفر در حوضه آبخیز قرناوه، استان گلستان، مجله اکو هیدرولوژی، سال سوم، شماره ۲، ص ۲۱۹-۲۳۱.

-صفاری، ا.، احمدی، م. و رحیمی هرآبادی، س.، ۱۳۹۴. پهنه‌بندی فرسایش خندقی به وسیله مدل‌های AHP و ANP در حوضه دشت کهور-استان فارس، پژوهش‌های دانش زمین، سال ۶، شماره ۲۴، ص ۹۴ - ۱۱۰.

-عرب عامری، ع.ر. و شیرانی، ک.، ۱۳۹۵. اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از تئوری احتمالاتی دمپستر شفر، مطالعه موردی: حوضه ونک، استان

۰/۹۳۳ (۰/۹۳/۳) بوده و نسبت به روش‌های دمپستر شفر ۰/۹۱۴ (۰/۹۱/۴) و رگرسیون چند متغیره ۰/۸۹۰ (۰/۸۹) دارای توانایی بالاتری در شناسایی مناطق حساس به فرسایش آبکندی می‌باشد. طبق نقشه حاصل از روش ترکیبی، ۶۲/۹۴ درصد از منطقه مطالعاتی دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد که عمدتاً در قسمت‌های مرکزی منطقه مطالعاتی قرار گرفته است. این موضوع بیانگر حساسیت بالای منطقه نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد و در مقابل ۲۰/۸۲ درصد دارای حساسیت کم و خیلی کم نسبت به فرسایش خندقی می‌باشند. قسمت-های مرکزی منطقه مطالعاتی به دلیل داشتن

منابع

-اکبری، م.، بشیری، م. و رنگ آور، ع.ا.، ۱۳۹۶. کاربرد الگوریتم‌های داده‌کاوی در تحلیل حساسیت و پهنه‌بندی مناطق مستعد به فرسایش آبکندی در حوضه‌های شاخص استان خراسان رضوی، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال ۷، شماره ۲، ص ۱۶ - ۴۲.

-تجری، ع.ر. و کاردل، ف.، ۱۳۹۴. تاثیر فرسایش خندقی بر رطوبت خاک در دو کاربری مرتع و زراعت دیم رها شده در زمین‌های لسی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کال شور استان گلستان)، مدیریت خاک و تولید پایدار، سال ۵، شماره ۲، ص ۱۸۱ - ۱۹۵.

-شیرانی، ک.، حیدری، ف. و عرب عامری، ع.ر.، ۱۳۹۶. مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مطالعه موردی: حوضه ونک، استان اصفهان، مهندسی و مدیریت آبخیز، سال ۹، شماره ۴، ص ۴۵۱ - ۴۶۴.

- اصفهان، مهندسی و مدیریت آبخیز، سال ۸، شماره ۱، ص ۹۳-۱۰۶.
- قربانی نژاد، س.، رحمتی، ا. و نورمحمدی، ف.، ۱۳۹۶. مدل‌سازی پتانسیل رخداد فرسایش‌های آبکندی در منطقه سیمره با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و شاخص آماری، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال ۷، شماره ۱، ص ۶۹ - ۸۹.
- Arabameri, A.R., Pourghasemi, H.R. and Cerda, A., 2018a. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, *Science of the Total Environment*, v. 613-614, p. 1385-1400.
- Arabameri, A., Pradhan, B., Rezaei, K., Yamani, M., Pourghasemi, H.R. and Lombardo, L., 2018b. Spatial modelling of gully erosion using Evidential Belief Function, Logistic Regression and a new ensemble EBF-LR algorithm, *Land Degradation and Development*, v. 29(11), p. 4035-4049.
- Arabameri, A., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Rezaei, K. and Kerle, N., 2018c. Spatial Modelling of Gully Erosion Using GIS and R Programing: A Comparison among Three Data Mining Algorithms, *Applied sciences*, v. 8(8), p. 751-769.
- Arabameri, A., Rezaei, K., Pourghasemi, H.R., Lee, S. and Yamani, M., 2018d. GIS-based gully erosion susceptibility mapping: a comparison among three data-driven models and AHP knowledge-based technique, *Environmental Earth Sciences*, v. 77, p. 435-452.
- Arabameri, A.R., Pourghasemi, H.R. and Yamani, M., 2017. Applying different scenarios for landslide spatial modeling using computational intelligence methods, *Environmental Earth Sciences*, v. 76, p. 137-149.
- Agnesi, V., Angileri, S., Cappadonia, C., Conoscenti, C. and Rotigliano, E., 2011. Multi-parametric GIS analysis to assess gully erosion susceptibility: a test in southern Sicily, Italy, *Landf Anal*, v. 7, p. 15-20.
- Conoscenti, C., Agnesi, V., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E. and Marker, M., 2013. A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy, *Environmental earth sciences*, v. 70(3), p. 1179-1195.
- Conoscenti, C., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesi, V. and Marker, M., 2014. Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: a case of Sicily (Italy), *Geomorphology*, v. 204(1), p. 399-411.
- Conforti, M., Aucelli, P.P., Robustelli, G. and Scarciglia, F., 2011. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy), *Natural hazards*, v. 56(3), p. 881-898.
- Conoscenti, C., Agnesi, V., Cama, M., Alamaru Caraballo-Arias, N. and Rotigliano, E., 2018. Assessment of Gully Erosion Susceptibility Using Multivariate Adaptive Regression Splines and Accounting for Terrain

- Connectivity, Land Degradation and Development, v. 29 (3), p. 724-736.
- Dempster, A.P., 1967. Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping, *Annals of Mathematical Statistics*, v. 38, p. 325-339.
- Dube, F., Nhapi, I., Murwira, A., Gumindoga, W., Goldin, J. and Mashauri, D.A., 2014. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District-Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 67, p. 145-152.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G. and Smyth, P., 1996. From data mining to knowledge discovery in databases, *Artificial Intelligence magazine*, v. 17(3), p. 37-54.
- Fox, G.A., Sheshukov, A., Cruse, R., Kolar, R.L., Guertault, L., Gesch, K.R. and Dutnell, R.C., 2016. Reservoir sedimentation and upstream sediment sources: perspectives and future research needs on streambank and gully erosion, *Environmental Management*, v. 57 (5), p. 945-955.
- Gong, J.G., Jia, Y.W., Zhou, Z.H., Wang, Y., Wang, W.L. and Peng, H., 2011. an Experimental Study on Dynamic Processes of Ephemeral Gully Erosion in Loess Landscapes, *Geomorphology*, v. 125, p. 203-213.
- Guo-liang, D., Yong-shuang, Z., Javed, I. and Xin, Y., 2017. Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu Province, China, *J Mt Sci*, v. 14(2), p. 249-268.
- NASA Earth Observatory, 2000. Measuring Vegetation.
- Mendel, J.M., 1995. Fuzzy Logic Systems for Engineering, *Proceedings of IEEE*, v. 83, p. 345-377.
- McCloskey, G.L., Wasson, R.J., Boggs, G.S. and Douglas, M., 2016. Timing and causes of gully erosion in the riparian zone of the semi-arid tropical Victoria River, Australia, management implications, *Geomorphology*, v. 266, p. 96-104.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A. and Peterson, G.A., 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis, *Soil Science Society of America Journal*, v. 57(2), p. 443-452.
- Milaghardan, A.H., Delavar, M. and Chehrehghan, A., 2016. Uncertainty in landslide occurrence prediction using Dempster-Shafer theory, *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 2, p. 188.
- Olteanu-Raimond, A.M., Mustiere, S. and Ruas, A., 2015. Knowledge formalization for vector data matching using belief theory, *J Spatial Inf Sci*, v. 4, p. 21-46.
- Pourghasemi, H.R. and Kerle, N., 2016. Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran Province, Iran, *Environol Earth Sciences*, v. 75, p. 185.
- Pourghasemi, H.R., Yousefi, S., Kornejady, A. and Cerdà, A., 2017. Performance assessment of individual and ensemble data-mining techniques for gully erosion modeling, *Science of the Total Environment*, v. 609, p. 764-775.
- Pradhan, B., 2011. An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps, *Journal of Data Science*, v. 9, p. 65-81.
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H.R. and Feizizadeh, B., 2017. Evaluation of different machine learning models for predicting and mapping the

- susceptibility of gully erosion, *Geomorphology*, v. 298, p. 118-137.
- Rahmati, O., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H.R. and Noormohamadi, F., 2016. Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS based bivariate statistical models and their comparison, *Nat Hazards*, v. 82, p. 1231-1258.
- Shit, P.K., Paira, R., Bhunia, G. and Maiti, R., 2015. Modeling of potential gully erosion hazard using geo-spatial technology at Garbheta block, West Bengal in India, *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 1(1-2), p. 1-16.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate, *Environmental Geology*, v. 45(5), p. 665-679.
- Shafer, G., 1976. *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, NJ.
- Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Neamah Jebur, M. and Tehrany, M.S., 2014. Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province, Indonesia, *Catena*, v. 118, p. 124-135.
- Van Westen, C.J., 1994. GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price MF, Heywood DI, Mountain environments and geographic systems, Taylor and Francis publishers, p. 135-165.
- Zaman, K., Rangavajhala, S., McDonald, M.P. and Mahadevan, S.A., 2011. Probabilistic Approach for Representation of Interval Uncertainty. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 96, p. 117-130.