

ارزیابی مدل‌های مختلف داده‌کاوی برای پیش‌بینی نقشه حساسیت فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز رباط ترک استان مرکزی

سعید جانی زاده^۱، احمد نوحه‌گر^{۲*}، محمدتقی آوند^۱، مجتبی دولت‌کردستانی^۳

۱- گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

۲- گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۵/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

چکیده

فرسایش آبکندی یکی از اشکال فرسایشی است که موجب هدر رفت مقدار زیادی خاک می‌گردد. بنابراین از این فرسایش می‌توان به عنوان یکی از علل اصلی تخریب زمین و محیط زیست نام برد. این تحقیق با هدف پهنه‌بندی حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی، مدل خطی تعمیم یافته (GLM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در حوزه آبخیز رباط ترک انجام شد. مناطق دارای فرسایش آبکندی طی بازدیدهای میدانی شناسایی و تعداد ۲۴۲ نقطه فرسایشی انتخاب گردید. ۱۲ متغیر محیطی موثر در فرسایش آبکندی، نقشه رقمی ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، شاخص همگرایی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و نقشه هم باران به منظور مدل‌سازی حساسیت فرسایش آبکندی مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده از معیارهای ROC، TSS و Kappa استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان داد که مدل GLM با مقدار ROC، Kappa و TSS به ترتیب ۰/۸۹، ۰/۷ و ۰/۷ و مدل ANN با ROC، Kappa و TSS به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۷ و ۰/۷ کارایی خیلی خوبی در مدل‌سازی مناطق حساس به فرسایش آبکندی دارند. همچنین بررسی کلی مدل‌های مورد استفاده براساس شاخص‌های ذکر شده نشان داد که مدل GLM دارای کارایی مناسب‌تری نسبت به مدل ANN در منطقه مورد مطالعه دارد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی حساسیت فرسایش آبکندی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که مناطق مرکزی حوزه دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت به فرسایش آبکندی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش آبکندی، مدل‌های داده‌کاوی، منحنی ROC، حوزه آبخیز رباط ترک.

مقدمه

فرسایش خاک یک معضل برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد و به علت اثرات دراز مدتش بر روی حاصلخیزی خاک و کشاورزی پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷). در میان انواع فرسایش آبی، فرسایش آب‌کندی یکی از مهم‌ترین رخدادهای موثر در نابودی خاک و پسرفت اراضی می‌باشد که با تخریب افق‌های سطحی و زیرین خاک، موجب تولید رسوب در حجم زیاد و نابودی بستر تولید می‌شود (Poesen et al, 2002؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۶). در زمینه‌ی به کارگیری روش‌های مختلف داده‌کاوی در انتخاب متغیرهای مؤثر در وقوع زمین لغزش مطالعاتی انجام شده است، اما استفاده از این روش‌ها برای تعیین متغیرهای مؤثر در وقوع آب‌کندها کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است و بیشتر پژوهش‌ها بر پایه‌ی سایر روش‌های آماری بوده است. داده-کاوی، استخراج دانش در پایگاه داده‌ها نامیده می‌شود و روشی برای کشف اطلاعات سودمند جدید و بالقوه از بین حجم انبوهی از اطلاعات است. مفهوم داده‌کاوی، شامل الگوریتم‌ها و روش‌هایی است که به استخراج اطلاعات از داده‌ها منجر می‌شود. پیدا کردن الگوهای مفید در داده‌ها با نام‌های مختلف (از جمله داده‌کاوی^۱)، در جوامع مختلف (به عنوان نمونه، استخراج دانش، کشف اطلاعات، برداشت اطلاعات، باستان‌شناسی داده‌ها و پردازش الگوی داده‌ها) شناخته شده است (شیرزادی و همکاران، ۱۳۹۵). برخی از مهم‌ترین الگوریتم‌های داده‌کاوی شامل درخت تصمیم^۲، جنگل تصادفی^۳، تجمیعی بوستینگ^۴، ماشین بردار پشتیبان^۵، رگرسیون لجیستیک^۶ و شبکه‌ی عصبی^۷ است (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷). پژوهش‌های مختلفی در سطح ایران و جهان در

راستای پژوهش حاضر صورت گرفته است؛ به عنوان مثال شادفر (Shadfar, 2015) در بررسی علل گسترش فرسایش آب‌کندی، عوامل حساسیت سازند، شیب، بارش، جهت دامنه‌ها، چرای مفرط دام، نوع خاک، جاده‌سازی، شخم در جهت شیب، تراکم و تیپ گیاهی و کاربری اراضی را از جمله عوامل تاثیرگذار در شکل‌گیری و گسترش فرسایش آب‌کندی می‌داند. قربانی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) در مدل‌سازی پتانسیل رخداد فرسایش آب‌کندی در منطقه سیمره با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و شاخص آماری بدین نتیجه رسیدند که دو مدل مذکور در شناسایی مناطق حساس به فرسایش آب‌کندی قابلیت بالایی دارند. همچنین براساس نتایج مدل آنتروپی شانون، عوامل سنگ‌شناسی، ارتفاع و کاربری اراضی بیشترین تاثیر را بر فرسایش آب‌کندی دارند. در پژوهشی مهم‌ترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش آب‌کندهای منطقه دشت کهور را سنگ-شناسی، شیب، تغییر کاربری اراضی، جاده‌سازی و احداث پل بیان کرده‌اند (Yamani et al, 2013). برخی تغییر کاربری را در تشکیل آب‌کندها بسیار مهم‌تر از سایر عوامل می‌دانند (Gábris et al, 2003; Galang et al, 2009; Centri et al, 2004; Grace, 2007). فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش آب‌کندی با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره در جنوب شرق استان مازندران (کیاسر)، بیشترین سهم از نظر حساسیت به آب‌کندی شدن را به فاکتورهای سنگ‌شناسی، خاک، شاخص رطوبت توپوگرافی و کاربری زمین نسبت دادند و براساس طبقه‌بندی در راستای میزان حساسیت به فرسایش آب‌کندی، بیشترین مساحت به طبقه‌ی فرسایش کم و کم‌ترین سهم، به طبقه‌ی فرسایش خیلی زیاد اختصاص یافت. کونوسنتی و همکاران

در یک منطقه با اقلیم خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و شدت بارش‌های در بعضی از ماه‌های سال بسیار زیاد می‌باشد و همچنین با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه زمین‌های کشاورزی رها شده بدون پوشش گیاهی و در معرض فرسایش شدید زیادی وجود دارد که مساعد برای فرسایش‌های از قبیل فرسایش آب‌کندی است. بنابراین توجه جدی به این منطقه لازم است. روش داده‌کاوی به استخراج اطلاعات مفید از حجم زیاد داده‌ها می‌پردازد و طبق مرور منابع، کارایی مناسبی از خود نشان داده است؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر، اولویت‌بندی عوامل محیطی مؤثر بر وقوع فرسایش آب‌کندی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، آب و هوا، کاربری اراضی، قابلیت اراضی، سنگ‌شناسی، پهنه‌های سیلابی، بارش، دما، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی و پهنه‌بندی حساسیت آن، با مدل‌های خطی تعمیم یافته (GLM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در حوزه آبخیز رباط ترک استان مرکزی می‌باشد.

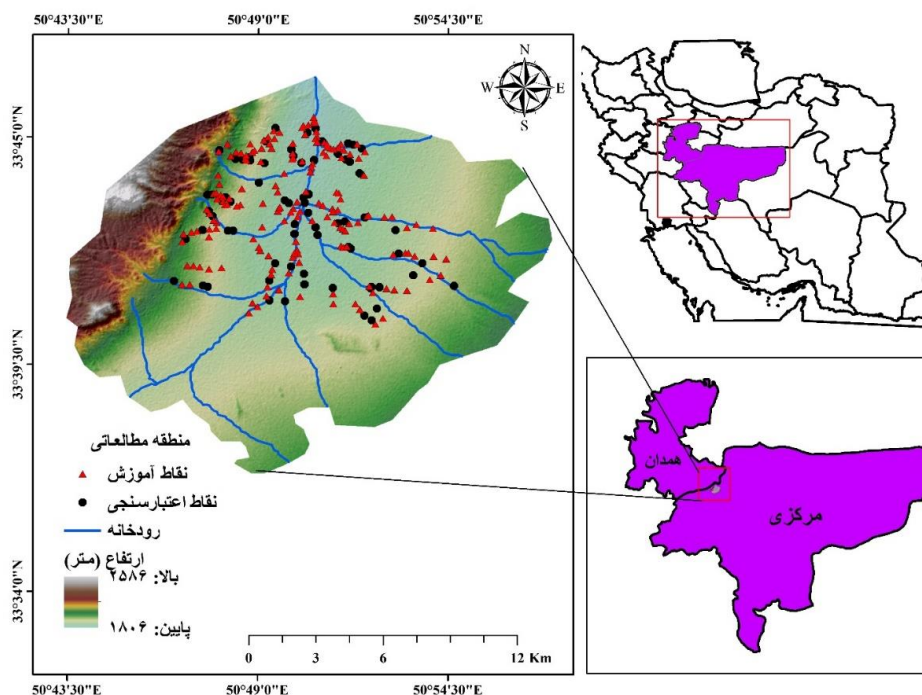
منطقه مورد مطالعه

روستای رباط ترک از نظر تقسیمات کشوری زیر مجموعه استان مرکزی، شهرستان دلیجان و دهستان هستیجان قرار دارد. این روستا از نظر موقعیت جغرافیایی در جنوب دلیجان قرار دارد. رباط ترک یکی از زیرحوضه‌های رودخانه شر می‌باشد و بین عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۲۴۲ کیلومتر مربع می‌باشد و دامنه ارتفاعی این منطقه از ۱۸۰۶ تا ۲۵۸۶ متر از سطح دریا متغیر می‌باشد (شکل ۱). با توجه به روش

(Conoscenti et al, 2014) حساسیت فرسایش آب‌کندی را با استفاده از رگرسیون لجستیک مبتنی بر GIS در سیسیل ایتالیا ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که فاکتورهای بافت خاک، انحنا کلی و جهت بر توزیع مکانی آب‌کنند در منطقه‌ی مورد مطالعه، تأثیر منفی یا صفر دارند؛ درحالی که در مقابل، انحنا، مماسی، شاخص قدرت جریان و انحنا نقشه، قدرت پیش‌بینی بالایی را نشان می‌دهد. تهرانی و همکاران (Tehrany et al, 2014) به شناسایی نقاط سیل‌گیر براساس وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای مؤثر بر وقوع آن‌ها با استفاده از روش‌های ترکیبی مانند درخت تصمیم‌گیری، رگرسیون لجستیک و ماشین بردار پشتیبان پرداختند. نتایج تحقیق آنها حاکی از آن بود که روش‌های وزن معیارها (WoF) و توابع پایه شعاعی ماشین بردار (RBF-SVM) با بیشترین صحت به ترتیب دارای سطح زیرمنحنی یا AUC ۹۶/۴۸ و ۹۵/۶۷ درصد در ارزیابی پتانسیل سیل، به عنوان روش‌های برگزیده در منطقه انتخاب شدند. دهنوی و همکاران (Dehnavi et al, 2015) زمین لغزش‌های ایران را به کمک یک مدل استنباطی شبکه عصبی - فازی در ترکیب با روش نسبت ارزیابی وزن گام به گام بررسی نمودند. نتایج آنها بیانگر افزایش صحت نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها با افزایش درصد مساحت زیر منحنی داده‌های تعلیمی و صحت‌سنجی در مدل ترکیبی ارائه شده است. یوسف و همکاران (Youssef et al, 2016) به پهنه‌بندی نقشه حساسیت به وقوع سیل شهر جدّه^۸ در عربستان سعودی با روش‌های LR و FR و ترکیب آنها پرداختند. آنها بیان نمودند که روش ترکیبی، با سطح زیرمنحنی ۹۱/۳ درصد از روش FR با سطح زیر منحنی ۸۹/۶ درصد دارای صحت و اعتبار بیشتری می‌باشد. با توجه به اینکه استان مرکزی

کوهستانی، تپه ماهور و نهشته‌های رودخانه‌ای است. پوشش غالب منطقه شامل سه نوع کشاورزی، مرتع و زمین‌های بایر می‌باشد. بیشترین مساحت این منطقه شامل زمین‌های بایر است. بیشترین فرسایش آب‌کند در بخش شمالی این منطقه یعنی جایی که زمین‌های بایر و کشاورزی زیادی قرار دارد متمرکز شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

آمبرژه اقلیم منطقه خشک و نیمه خشک و در روش دومارتن خشک تعیین شده است. میزان متوسط بارش سالیانه منطقه ۲۱۳ میلی‌متر برآورد گردیده است (شرکت آب منطقه‌ای استان مرکزی، ۱۳۹۶). منطقه مورد مطالعه در دشت و کوهستان واقع شده و نوع سازند آن از رسوبات کواترنر تشکیل شده است. وضعیت ژئومورفولوژی حوضه آبخیز رباط ترک نمایانگر وجود واحدهای



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

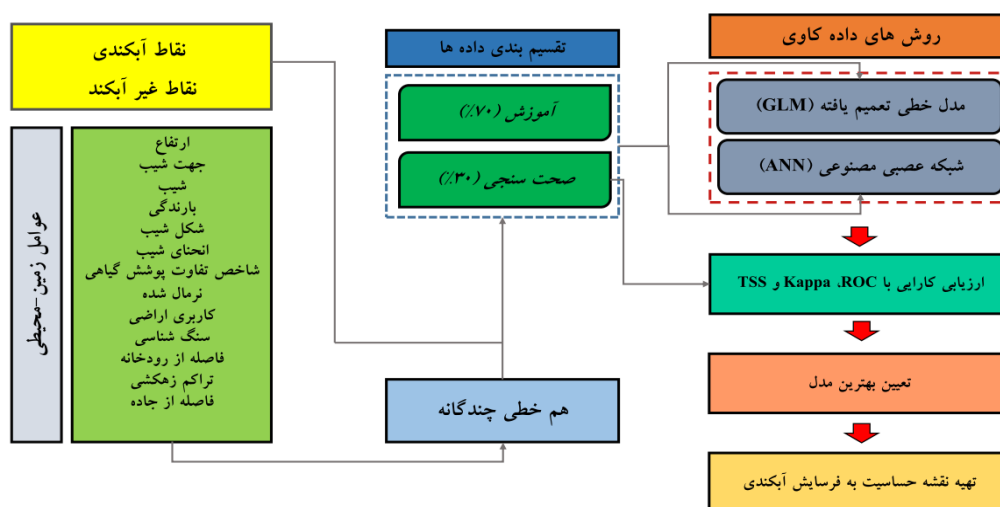
مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر و تهیه نقشه توزیع مناطق دارای فرسایش آب‌کند در این حوضه، از اطلاعات ۲۴۲ آب‌کند که در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده بودند، استفاده شد. تعداد ۲۴۲ نقطه نیز به عنوان مناطق غیر آب‌کندی شناسایی گردید. از الگوریتم تصادفی به منظور جدا کردن نقاط آموزشی و اعتبار سنجی استفاده شد (Lee et al, 2012; Naghibi et al, 2014; Golkarian et al, 2018). به منظور مدل‌سازی داده‌ها به دو دسته آموزش و اعتبار سنجی تقسیم شد، به طوری که ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها به عنوان اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفت. (Cama et al, 2017; Rahmati et al, 2017; Angileri et al, 2016 (شکل ۲).

پژوهش‌های دانش زمین



شکل ۲: تصویر دو آبکند موجود در این منطقه



شکل ۳: نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش

داده‌های مورد استفاده

با توجه به این که فرایند فرسایش آبکندی به وسیله فرسایندهای رواناب‌های سطحی و فرسایش پذیری خاک کنترل می‌گردد، چندین متغیر محیطی موثر در فرسایش آبکندی باید مورد بررسی قرار گیرد. براساس پیشینه پژوهش فاکتورهای هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب، جهت، شاخص همگرایی، شکل شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از راه، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بارش سالانه و NDVI انتخاب و مهم‌ترین عوامل موثر بر فرسایش آبکندی شناسایی شدند (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷؛ Zakerinejad and Maerker 2015). نقشه DEM منطقه مورد مطالعه با دقت مکانی ۱۲/۵*۱۲/۵

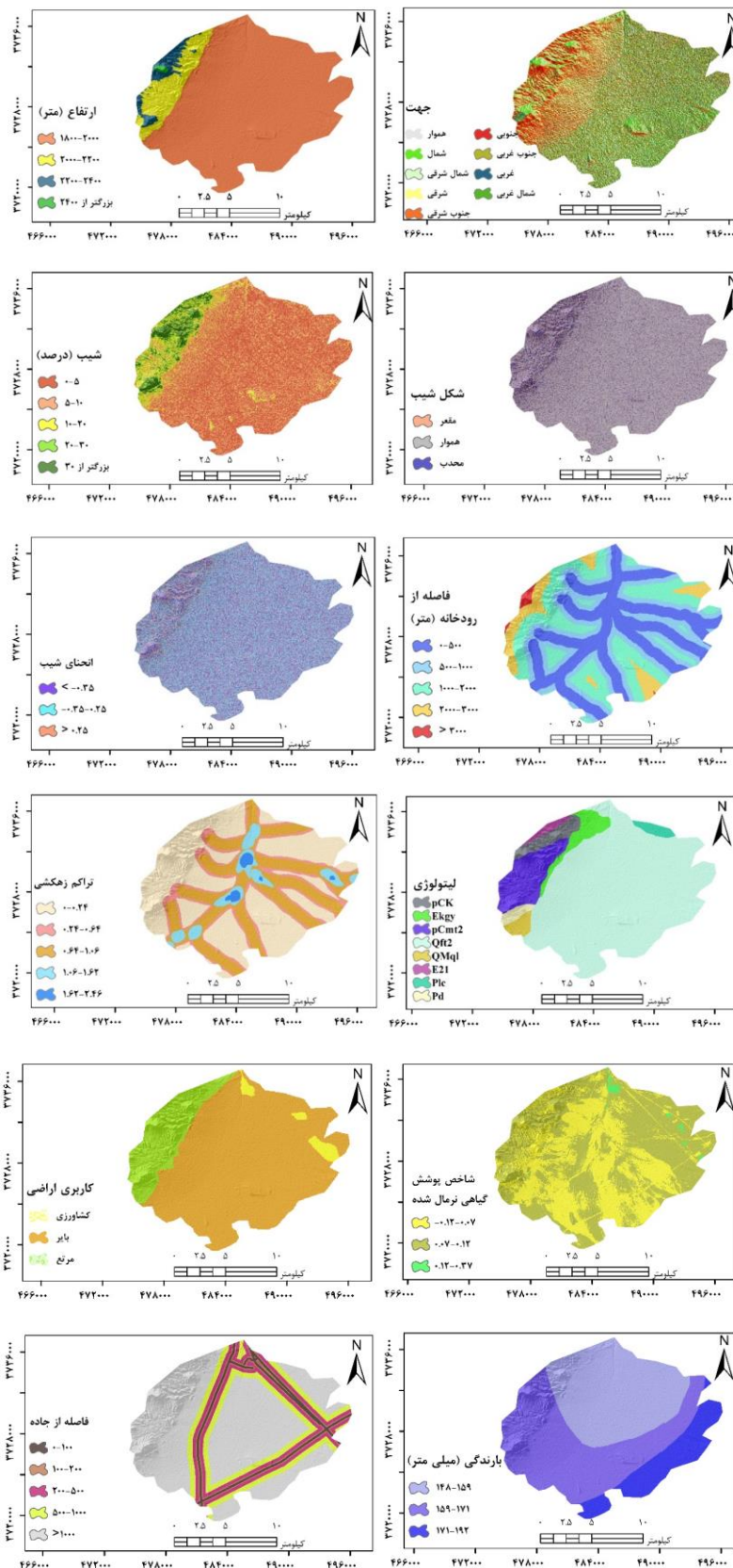
متر از یک مدل رقومی ارتفاعی، InSAR (روش رادیویی دیافراگم مصنوعی) و ماهواره ALOS PALSAR تهیه شد. لایه‌های شیب، جهت، شکل شیب و شاخص همگرایی با استفاده از ALOS PALSAR DEM ایجاد شدند و بقیه فاکتورها با استفاده از نرم افزار SAGA-GIS تهیه شدند. شیب یک پارامتر تاثیرگذار بر فرسایش آبکند می‌باشد، زیر بر جریان سطحی و تراکم زهکشی تاثیر می‌گذارد و سبب توسعه آبکند می‌شود (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷). شیب به ۵ کلاس ۰-۵، ۵-۱۲، ۱۲-۲۰، ۲۰-۳۰ و بیشتر از ۳۰ درصد تقسیم شد (Zabihi et al, 2018). جهت نیز به دلیل تاثیری که بر نوع پوشش، رطوبت، تابش و تبخیر دارد به‌طور غیرمستقیم بر فرسایش آبکند تاثیر می‌گذارد. طبقات جهت شامل (تا ۱ درجه)

زیادی در ثبات ژئومورفولوژیکی شیب و رخداد فرسایش آبکندی دارد. به‌طور کلی مناطق بایر و مناطق با پوشش گیاهی پراکنده حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش دارند. برای تهیه نقشه کاربری اراضی، پوشش سطحی از تصاویر ماهواره-ای لندست ۸ در نرم افزار ENVI استفاده گردید. مهم‌ترین کاربری‌های شناسایی شده در این منطقه شامل کشاورزی، بایر و مراتع بودند. برای تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی از تصاویر لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۳/۰۶/۱۵ استفاده گردید و نقشه NDVI پس از تهیه به ۳ کلاس طبقه‌بندی گردید. نقشه فاصله از جاده نیز از متغیرهای موثر در فرسایش آبکندی می‌باشد که با استفاده از دستور Euclidean در نرم افزار ArcGIS تهیه شد (Wang et al, 2011; Janizadeh et al, 2019). به منظور تهیه نقشه بارندگی از داده‌های بارندگی ۸ ایستگاه باران سنج (در داخل و خارج از حوضه) در دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۴ استفاده شده. پس از بررسی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1، نقشه توزیع میانگین بارندگی سالانه حوزه آبخیز رباط ترک براساس روش IDW تهیه شد. متغیرهای تاثیرگذار مورد استفاده در تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی در شکل ۴ نشان داده شده است.

بدون جهت، (۳۳۷/۵-۳۶۰، ۲۲/۵-۰ درجه) شمال شرقی (Jaafari et al, 2014). ویژگی‌های توپوگرافی مانند ارتفاع بر روی نوع پوشش گیاهی و ویژگی‌های بارش تاثیر می‌گذارد، در نتیجه فرایند فرسایش آبکندی را کنترل می‌کند. تاثیر شکل شیب بر فرسایش آبکندی به صورت همگرایی و واگرایی جریان آب در طول شیب است. نقشه شکل شیب پس از استخراج از مدل رقومی در ArcGIS به سه کلاس محدب، همگرا و مقعر تقسیم‌بندی گردید. به منظور تاثیر شبکه زهکشی، متغیر فاصله از آبراهه مورد بررسی قرار گرفت. الگوی زهکشی یک منطقه به وسیله متغیرهای متعددی مانند طبیعت و ساختار سازندهای زمین‌شناسی، ویژگی‌های خاک، شرایط پوشش گیاهی، نرخ نفوذ و درجه شیب تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تراکم زهکشی بالا باعث نرخ رواناب سطحی بالا می‌گردد و در نتیجه فرسایش آبکندی را افزایش می‌دهد (Rahmati et al, 2016; Pourghasemi et al, 2017). متغیر لیتولوژی به عنوان یک متغیر مهم در آنالیز خطرات طبیعی است. فرسایش آبکندی وابسته به ویژگی‌های لیتولوژیکی مواد سطح زمین و نزدیک سطح زمین است. برای تهیه نقشه لیتولوژی از نقشه زمین‌شناسی کشوری استفاده گردید و به ۸ کلاس تقسیم‌بندی گردید. مدیریت کاربری اراضی تاثیر

جدول ۱: لیتولوژی حوزه مورد مطالعه

کد	سنگ‌شناسی	سن زمین‌شناسی
Qft2	رسوبات تراس دره‌ای و دشت مخروط افکنه‌ای با سطح پایین	کواترنری
Plc	پلی میکتیک ماسه سنگ و کنگلومرا	پلوسن
pCk	شیل‌های نمکی خاکستری سبز با جابجایی ماسه سنگ کوارتزیتی (سازند کهر، سازندهای سری مراد و کلمراد)	پرکامبرین
Ekyg	گچ	قبل از انوسن
E2l	نومولیتیک سنگ آهک	انوسن
pCmt2	سنگ‌های دگرگونی منطقه‌ای با درجه پایین (رخساره شیبست سبز)	پرکامبرین
OMql	سنگ آهک بستر توده‌ای و ضخیم	الیگوسن و میوسن
Pd	ماسه سنگ و شیل قرمز با سنگ آهک شنی (سازند دورود)	پرمنین



شکل ۴: نقشه‌های مربوط به فاکتورهای موثر بر فرسایش آبکندی در منطقه مورد نظر

شبکه عصبی مصنوعی (ANN^۹)

شبکه عصبی مصنوعی، یکی از روشهای محاسباتی است که به کمک فرآیند یادگیری و با استفاده از پردازشگرهایی بنام نرون تلاش می‌کند با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان فضای ورود (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته به نام نرون تشکیل شده که برای حل یک مسأله با هم هماهنگ عمل می‌کند. هر شبکه عصبی از سه لایه ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده است. در هر لایه تعدادی پردازشگر به نام نرون وجود دارد. لایه یا لایه‌های مخفی، اطلاعات دریافت شده از لایه ورودی را پردازش کرده و در اختیار لایه خروجی قرار می‌دهند (Dayhoff, 1990). تابع انتقال بیان‌کننده پاسخ هر نرون به سیگنال ورودی آن نرون است. توابع انتقال معمول مورد استفاده در شبکه‌های عصبی مصنوعی تابع سیگموئید و تانژانت هیپربولیک می‌باشد. هر شبکه با دریافت مثال‌هایی آموزش می‌بیند. آموزش فرآیندی است که در نهایت منجر به یادگیری می‌شود. یادگیری شبکه، زمانی انجام می‌شود که وزن‌های ارتباطی بین لایه‌ها چنان تغییر کند که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و محاسبه شده در حد قابل قبولی باشد. با توجه به ساختار شبکه عصبی مصنوعی، ویژگی‌های عمده آن، سرعت بالای پردازش، توانایی یادگیری الگو به روش اراده الگو، توانایی تعمیم دانش پس از یادگیری، انعطاف‌پذیری در برابر خطاهای ناخواسته و عدم ایجاد اختلال قابل توجه در صورت بروز اشکال در بخشی از اتصال‌ها به دلیل توزیع وزن‌های شبکه است (Khanna, 1990). برای تهیه نقشه حساسیت فرسایش آب‌کندی در منطقه مورد

مطالعه با استفاده از این مدل از نرم‌افزار آماری R و پکیج biomod استفاده گردید.

مدل خطی تعمیم یافته (GLM^{۱۰})

مدل خطی تعمیم یافته، یک مدل پارامتری بوده و بسط مدل‌های خطی می‌باشد. در مدل خطی تعمیم یافته فرمول ارائه می‌گردد و رابطه‌ی بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به وسیله‌ی پارامتر برآورد شده رگرسیون به اضافه‌ی فواصل اطمینان سنجش می‌شود. مدل‌های خطی تعمیم یافته برای مواقعی که مشاهدات به‌طور نرمال توزیع نیافته‌اند و زمانی که سایر روش‌های مدل رگرسیون مناسب نمی‌باشند، ابداع شدند. این مدل، در بین روش‌های مدل سازی دارای عملکرد خوبی است (He et al, 2007). مدل GLM به‌طور آماری از کم‌ترین مربعات استفاده نمی‌کند، بلکه از حداکثر احتمال استفاده می‌کند. مدل‌های خطی تعمیم یافته دارای ویژگی‌های کلی زیر هستند:

متغیرهای پاسخ $Y_i, i = 1, \dots, n$ مستقل با میانگین‌های μ_1, \dots, μ_n و واریانس‌های $\sigma_1, \dots, \sigma_n$ می‌باشند. متغیر Y_i دارای توزیعی از خانواده نمایی است. قسمت پیش‌گوئی‌کننده خطی مدل به صورت $\theta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$ تعریف می‌شود که شامل متغیرهای توضیحی x_1, \dots, x_k می‌باشد. در واقع متغیرهای توضیحی را که به عنوان پیش‌گو کننده‌ها در مدل به کار رفته‌اند، مشخص می‌کند (Turner, 2008).

اعتبارسنجی مدل با استفاده از منحنی (ROC^{۱۱})

به منظور تعیین دقت نقشه حساسیت فرسایش آب‌کندی در این پژوهش، مقدار ROC مورد استفاده قرار گرفت (Pourghasemi et al, 2017). مساحت زیر منحنی ROC کیفیت پیش‌بینی سیستم را با استفاده از ارائه توانایی در مدل کردن

وقوع و عدم وقوع وقایع از پیش تعیین شده، نشان می‌دهد (Naghbi et al, 2014). در آنالیز منحنی ROC، مدل ایده‌آل دارای مقدار AUC برابر با یک است، در حالی که مقادیر AUC نزدیک به ۰/۵ بیانگر عدم دقت مدل پیش‌بینی کننده می‌باشد (Rahmati et al, 2016). طبق تحقیقات قبلی ارتباط کمی - کیفی بین مقادیر AUC و دقت پیش‌بینی مدل به صورت زیر قابل تقسیم‌بندی می‌باشد: ۰/۵-۰/۶ ضعیف، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب و ۰/۹-۱ عالی (Yesilnacar, 2005). در این پژوهش با استفاده از منحنی ROC نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی به منظور ارزیابی دقت و توانایی پیش‌بینی مدل محاسبه گردید. برای نرخ موفقیت از داده‌های آ‌ب‌کند که در جریان مدلسازی استفاده شده است و برای محاسبه نرخ پیش‌بینی از داده‌های اعتبار سنجی استفاده گردید. نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی پرش‌هاست، به عبارت دیگر این دو شاخص درصد سلول‌ها یا واحدهای ناپایدار که به درستی به وسیله مدل پیش‌بینی شده‌اند (Sensitivity) را در برابر درصد سلول‌های ناپایدار پیش‌بینی شده نسبت به کل (1- Sensitivity) رسم می‌کنند. این مقادیر توانایی مدل را نسبت به تمایز درست بین مشاهدات مثبت و منفی در نمونه اعتبارسنجی بیان می‌کند. حساسیت بالا بیانگر شمار بالای پیش‌بینی‌های درست است، در حالی که ویژگی بالا (1- Sensitivity) بیانگر عدد کم و نبود مثبت‌های غیرحقیقی است.

وقوع و عدم وقوع وقایع از پیش تعیین شده، نشان می‌دهد (Naghbi et al, 2014). در آنالیز منحنی ROC، مدل ایده‌آل دارای مقدار AUC برابر با یک است، در حالی که مقادیر AUC نزدیک به ۰/۵ بیانگر عدم دقت مدل پیش‌بینی کننده می‌باشد (Rahmati et al, 2016). طبق تحقیقات قبلی ارتباط کمی - کیفی بین مقادیر AUC و دقت پیش‌بینی مدل به صورت زیر قابل تقسیم‌بندی می‌باشد: ۰/۵-۰/۶ ضعیف، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب و ۰/۹-۱ عالی (Yesilnacar, 2005). در این پژوهش با استفاده از منحنی ROC نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی به منظور ارزیابی دقت و توانایی پیش‌بینی مدل محاسبه گردید. برای نرخ موفقیت از داده‌های آ‌ب‌کند که در جریان مدلسازی استفاده شده است و برای محاسبه نرخ پیش‌بینی از داده‌های اعتبار سنجی استفاده گردید. نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی پرش‌هاست، به عبارت دیگر این دو شاخص درصد سلول‌ها یا واحدهای ناپایدار که به درستی به وسیله مدل پیش‌بینی شده‌اند (Sensitivity) را در برابر درصد سلول‌های ناپایدار پیش‌بینی شده نسبت به کل (1- Sensitivity) رسم می‌کنند. این مقادیر توانایی مدل را نسبت به تمایز درست بین مشاهدات مثبت و منفی در نمونه اعتبارسنجی بیان می‌کند. حساسیت بالا بیانگر شمار بالای پیش‌بینی‌های درست است، در حالی که ویژگی بالا (1- Sensitivity) بیانگر عدد کم و نبود مثبت‌های غیرحقیقی است.

ضریب Kappa

به منظور حذف توافق اتفاقی از صحت کلی و فراهم آوردن امکان مقایسه طبقه‌بندی‌های مختلف با یکدیگر، کنگلتون و همکاران

صفر عدم توافق را نشان می‌دهد.

رابطه (۱)

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2}$$

در این رابطه، K، ضریب کاپا، θ_1 صحت کلی و θ_2 توافق اتفاقی می‌باشد.

بررسی رابطه هم‌خطی بین متغیرهای مستقل

هم‌خطی^{۱۲} پدیده‌ای است که به بیان وضعیت می‌پردازد که یک متغیر توصیفی در رگرسیون چندگانه با یک یا چند متغیر دیگر دارای رابطه خطی است به طوری که می‌توان آن را به صورت ترکیب خطی از دیگر متغیرها در نظر گرفت. به این ترتیب هم‌خطی چندگانه^{۱۳} نیز وضعیتی را نشان می‌دهد که بین چندین متغیر توصیفی رابطه خطی وجود داشته باشد و بتوان آن‌ها را به صورت ترکیب خطی از یکدیگر نوشت (Avand et al, 2019). در این مطالعه به منظور شناسایی هم‌خطی بین متغیرها از عامل تورم واریانس^{۱۴} (VIF) استفاده گردید و معادله آن به شرح رابطه ۲ می‌باشد.

رابطه (۲)

$$Tolerance = 1 - R_j^2, VIF = \frac{1}{Tolerance}$$

در این رابطه منظور از R_j^2 ضریب تعیین (R Square) مدل رگرسیونی روی متغیر توصیفی زام به عنوان متغیر پاسخ با متغیرهای توصیفی دیگر به عنوان متغیرهای مستقل است.

نتایج

رابطه فضایی بین رخدادهای فرسایش آب‌کندی و کلاس‌های ارتفاعی نشان داد که تمرکز فرسایش آب‌کندی در کلاس ارتفاعی ۱۸۰۰-۲۰۰۰ متر نسبت به کلاس‌های دیگر بیشتر می‌باشد. در متغیر شیب، کلاس شیب ۵-۰ درصد بیشترین تمرکز نقاط فرسایش آب‌کندی را دارا می‌باشد. همچنین نقشه مربوط به زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بیانگر تمرکز بالای نقاط فرسایش بر روی سازندهای دوران سوم (کواترنری Qft) می‌باشد. در خصوص فاصله از رودخانه نیز مناطق نزدیک به شبکه رودخانه (۵۰۰-۰) دارای پتانسیل فرسایش آب‌کندی بیشتری نسبت به مناطق با فاصله بیشتر می‌باشد. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه نشان دهنده افزایش فرسایش آب‌کندی در مناطق بایر و عاری از پوشش گیاهی می‌باشد. جاده نیز از دیگر عوامل موثر بر فرسایش آب‌کندی است به طوری که مناطق نزدیک به جاده

(۱۰۰-۰) دارای فرسایش بیشتری است. فرسایش آب‌کندی در کلاس بارشی ۱۴۸-۱۵۹ بیشتر از مناطق دیگر است. شکل شیب نیز از عوامل موثر بر فرسایش آب‌کندی است به طوری که در مناطق با شکل هموار فرسایش بیشتر است. به منظور انتخاب متغیرهای مستقل جهت مدل‌سازی از آزمون هم‌خطی استفاده می‌گردد. این آزمون هم‌خطی و همبستگی بین متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد. در صورتی که هم‌خطی بین متغیرها زیاد باشد (بزرگتر از ۵) دقت مدل کاهش پیدا می‌کند. به منظور تعیین هم‌خطی بین متغیرهای مستقل از معیار عامل تورم واریانس (VIF) در بسته usdm در برنامه R استفاده گردید (Avand et al, 2019). نتایج حاصل از هم‌خطی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد که متغیرهای انتخاب شده دارای هم‌خطی پایینی بوده بنابراین به عنوان ورودی مدل استفاده شدند.

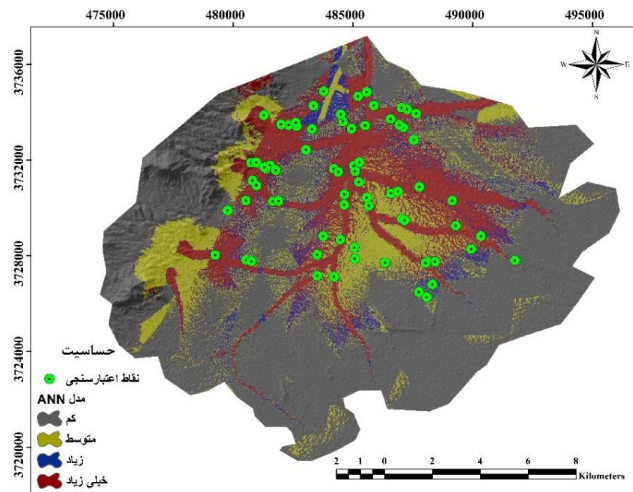
جدول ۲: نتایج هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل

شماره	فاکتورها	VIF
۱	ارتفاع	۱/۲۲
۲	شیب	۱/۰۵
۳	جهت	۱/۰۱
۴	سنگ‌شناسی	۱/۱۵
۵	NDVI	۱/۰۲
۶	کاربری اراضی	۲/۵۲
۷	شکل شیب	۱/۵۳
۸	شاخص همگرایی	۱/۵۳
۹	فاصله از جاده	۲/۱۸
۱۰	بارندگی	۱/۰۵
۱۱	تراکم زهکشی	۲/۴۰
۱۲	فاصله از رودخانه	۲/۸۸

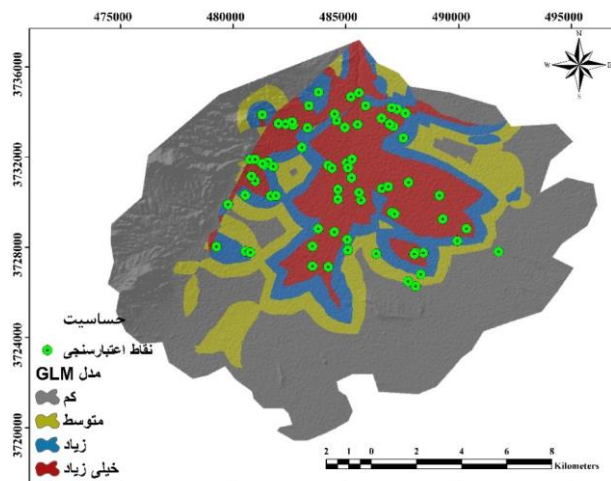
برای تعیین مناطق حساس به فرسایش آب‌کندی از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل خطی تعمیم یافته در محیط برنامه R استفاده گردید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی فرسایش آب‌کندی در حوزه آبخیز رباط ترک

بررسی کارایی مدل‌های مورد استفاده از نظر معیارهای آماری TSS، ROC و Kappa در جدول ۳ نشان داده شده است (شکل ۵ و ۶).

در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. نقشه پهنه-بندی فرسایش آبکندی به ۴ کلاس حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. هم‌چنین



شکل ۵: نقشه حساسیت فرسایش آبکندی براساس مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)



شکل ۶: نقشه حساسیت فرسایش آبکندی براساس مدل خطی تعمیم یافته (GLM)

جدول ۳: ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌های ANN و GLM

مدل	معیار ارزیابی	آزمون	حساسیت	Specificity
GLM	TSS	۰/۷	۹۵/۳۴	۷۴/۴۱
	ROC	۰/۸۹	۹۷/۶۷	۷۲/۰۹
	KAPPA	۰/۷	۹۵/۳۴	۷۴/۴۱
ANN	TSS	۰/۷	۹۰/۶۹	۹۷/۰۷
	ROC	۰/۸۸	۹۳/۰۲	۷۶/۷۴
	KAPPA	۰/۷	۶۹/۹۰	۷۹/۰۷

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پهنه‌بندی فرسایش آبکندی نشان داد که مناطق مرکزی حوزه دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت به فرسایش آبکندی می‌باشند. با توجه به اینکه قسمت عمده اراضی موجود در بخش مرکزی حوزه دارای کاربری بایر و کشاورزی می‌باشد، بررسی نقشه حساسیت منطقه به فرسایش آبکندی نشان داد که بیش‌ترین محدوده حساسیت به فرسایش آبکندی با حساسیت زیاد و خیلی زیاد در کاربری بایر تشکیل شده است. به‌طور کلی اراضی بدون پوشش و لخت نسبت به اراضی دارای پوشش نقش بیش‌تری در ایجاد فرسایش دارند (Dai et al, 2001). در ارتباط با اثرگذاری طبقات مختلف ارتفاعی و شیب در منطقه مورد مطالعه در حساسیت به فرسایش آبکندی بایستی بیان نمود که طبقه ارتفاعی ۱۸۰۰-۲۰۰۰ متر و شیب ۰-۱۲ درصد بیش‌ترین سهم را در حساسیت فرسایش آبکندی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند علت این امر را می‌توان به دلیل وجود تراکم خاک بالاتر در این طبقات نسبت به طبقات دیگر که احتمال نفوذ آب در خاک بیش‌تر و احتمال انحلال مواد و ایجاد پایپینگ را افزایش می‌دهد. همچنین در طبقات شیب ۰-۱۲ درصد به علت برخورداری از شیب کافی و متعاقب با آن تولید رواناب بیشتر و نیز وجود خاک و رسوبات با ضخامت مناسب و در اختیار بودن زمان کافی برای جریان‌های سطحی جهت نفوذ به داخل خاک و ایجاد مراحل اولیه تشکیل فرسایش آبکندی، حساسیت به فرسایش آبکندی در این مناطق بالاتر از مناطق دیگر است. اثرات ارتفاع، شیب و جنبه آن بر روی پوشش گیاهی، خاک و گسترش فرسایش، در مطالعات مختلفی گزارش شده است (Wang et al, 2011; Pelletier et al, 2013;)

(Beullens et al, 2014; Moradi et al, 2019). تراکم آبراهه بر فرسایش آبکندی دارای رابطه مستقیم می‌باشد که با افزایش تراکم آبراهه احتمال فرسایش آبکندی افزایش می‌یابد که با نتایج رحمتی (Rahmati et al, 2017) مطابقت دارد. همچنین مناطق مخروط افکنه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی بیش‌ترین ارتباط را فرسایش خندقی دارند که از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به وجود املاح گچی و نمکی در آن، وجود رسوبات ریزدانه کواترن متشکل از ذرات ریزدانه ماسه، سیلت و رس، پایداری کم خاک، ساختمان ضعیف خاکدانه و همچنین کمبود موادآلی در آن اشاره کرد. نتایج اعتبار سنجی (جدول ۲) نشان داد که مدل خطی تعمیم یافته و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب با ROC ۰/۸۹ و ۰/۸۸ کارایی خیلی خوبی در پهنه‌بندی حساسیت فرسایش آبکندی در منطقه مورد مطالعه دارند. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد آنها نیز در بررسی کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی مصنوعی کارایی خیلی خوبی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دارد. فرسایش آبکندی یکی از فرآیندهای فرسایشی است که به‌طور گسترده‌ای بر شکل ظاهری زمین اثر می‌گذارد. توسعه آبکنند سبب هدر رفت مقدار زیادی خاک می‌شود و به دلیل ویژگی‌های مخاطره آمیزی که دارد، محققین و مدیران منابع طبیعی بر روی ارزیابی خطرات فرسایش آبکندی و تهیه نقشه حساسیت آن تمرکز کرده‌اند. در این پژوهش به منظور ارزیابی تاثیر متغیرهای محیطی موثر در فرسایش آبکندی و همچنین شناسایی مناطق مستعد فرسایش آبکندی از مدل‌های خطی تعمیم یافته و شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. بدین منظور ۱۲

گسترش کشاورزی و مناطق مسکونی به سمت مناطق فرسایشی جلوگیری گردد. استفاده از روش‌های داده‌کاوی در مناطق مطالعاتی دیگر با شناسایی شرایط زمین‌شناختی و عوامل محیطی موثر در فرسایش آبکندی می‌تواند به دلیل صرفه‌جویی در وقت و هزینه به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی مورد استفاده قرار گیرد. نقشه حساسیت تهیه شده ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی پایدار به منظور اقدامات پیشگیرانه و حفاظت از زمین در مقابل فرآیندهای فرسایش آبکندی می‌باشد، بنابراین مدل‌های مورد استفاده می‌تواند به منظور ارزیابی فرسایش آبکندی در بقیه مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

متغیر و ۲۴۲ نقطه فرسایش آبکندی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارزیابی مدل‌های از آماره‌های ROC، TSS و KAPPA استفاده گردید. نتایج ارزیابی و اعتبار سنجی مدل‌های مورد استفاده نشان داد که هر دو مدل کارایی خیلی خوبی در پهنه‌بندی حساسیت منطقه به فرسایش آبکندی دارند. شناسایی و پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش آبکندی می‌تواند در کاهش اثرات تخریبی این نوع فرسایش و جلوگیری از پیشرفت آن در آینده باشد و کمک قابل توجهی به مردم منطقه مورد مطالعه باشد. با توجه به اینکه اکثر آبکندها در قسمت مرکزی منطقه مطالعاتی و در نزدیکی روستای رباط ترک ایجاد شده است، باید اقدامات حفاظتی در این قسمت‌ها افزایش یافته و از

پانوش

- 1-Data Mining
- 2-Decision tree
- 3-Random Forest
- 4-Boosting
- 5-Support Vector Machine
- 6-Logistic Regression
- 7-Neural Network
- 8-Jaddah

- 9-Artificial neural network
- 10-Generalized Linear Model
- 11-Receiver Operating characteristic
- 12-Collinearity
- 13-Multicollinearity
- 14-Variance Inflation Factor

منابع

- رضایی مقدم، م.ح.، نیکجو، م.ر.، ولی زاده، خ.، بلوآسی، ا.ع. و بلوآسی، م.، ۱۳۹۶. کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۱، شماره ۵۹، ص ۸۹-۱۱۱.
- عرب‌عامری، ع.، رضایی، خ. و یمانی، م.، ۱۳۹۷. تحلیل متغیرهای محیطی به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی در حوضه طرود با روش شواهد وزن قطعی، مجله مرتع و آبخیزداری، دوره ۷۱، شماره ۱، ص ۹۷-۱۱۴.
- شیرزادی، ع.، سلیمانی، ک.، حبیب‌نژاد، م.، کاویان، ع. و چپی، ک.، ۱۳۹۵. معرفی یک مدل
- اکبری، م.، بشیری، م. و رنگ‌آور، 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، شماره ۷: ۲ (۲۶)، ص ۱۶-۴۲.
- حسین‌زاده، م.م.، نصرتی، ک.، خلجی، س. و درفشی، خ.، ۱۳۹۵. گسترش فرسایش خندقی و طبقه‌بندی آن در حوضه آبخیز رباط ترک دلیجان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۵، شماره ۲، ص ۱۴۱-۱۶۰.

- جدید ترکیبی الگوریتم مینا به منظور پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش‌های سطحی اطراف شهر
- بیجار، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۶، ص ۲۲۵-۲۴۶.
- Angileri, S.E., Conoscenti, C. and Hochschild, V., 2016. Water erosion susceptibility mapping by applying stochastic gradient treeboost to the imera Meridionale River basin (Sicily, Italy): *Geomorphology*, DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.03.018 .
- Avand, M., Janizadeh, S., Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R., Khosrobeigi Bozchaloei, S. and Blaschke, T., 2019. A Comparative Assessment of Random Forest and k-Nearest Neighbor Classifiers for Gully Erosion Susceptibility Mapping: *Water*, v. 11, p. 2076.
- Arabameri, A., Rezaei, K., Pourghasemi, H.R., Lee, S. and Yamani, M., 2018. GIS-based gully erosion susceptibility mapping: a comparison among three data-driven models and AHP knowledge-based technique: *Environal Earth Science*, v. 77, p. 1-22.
- Arabian Ameri, A., Rezaei, J. and Yamani, M., 2018. Analysis of environmental variables in terms of the sensitivity map of gully erosion in the Troud basin by means of definitive weight evidence: *Journal of Range and Watershed Management*, v. 71, p. 97-114.
- Beullens, J., Van de Velde, D. and Nyssen, J., 2014. Impact of slope aspect on hydrological rainfall and on the magnitude of rill erosion in Belgium and northern France: *Catena*, v. 114, p. 129-139.
- Cama, M., Lombardo, L., Conoscenti, C. and Rotigliano, E., 2017. Improving transferability strategies for debris flow susceptibility assessment Application to the Saponara and Itala catchments (Messina, Italy): *Geomorphology*, v. 288, p. 52-65.
- Centeri, C.S., Herczeg, E., Vona, M., Balázcz, K. and Penksza, K., 2009. The effect of land use change on plant-soil-erosion relations, Nyereg hill, Hungary: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 172, p. 586-592.
- Conoscenti, C., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesi, V. and Märker, M., 2014. Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: A case of Sicily (Italy): *Geomorphology*, v. 204, p. 399-411.
- 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, p. 1179-1195.
- Dai, F.C., Lee, C.F. and Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantua sland, Hong Kong: *Environment Geology*, v. 40, p. 381-391
- Dayhoff, J.E., 1990. *Neural Network Principles*, Prentice-Hall International, U.S.A. 197 p.
- Dehnavi, A., Aghdam, I.N., Pradhan, B. and Varzandeh, M.H.M., 2015. A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran: *Catena*, v. 135, p. 122-148.
- Gábris, G.Y., Kertész, Á. and Zábó, L., 2003. Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment: *Catena*, v. 50, p. 151-164.
- Galang, M.A., Markewitz, D., Morris, L.A. and Busseli, P., 2007. Land use change and gully erosion in the

- Piedmont region of South Carolina: *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 62, p. 122-129.
- Golkarian, A., Naghibi, S.A., Kalantar, B. and Pradhan, B., 2018. Groundwater potential mapping using C5.0, random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS: *Environmental monitoring and assessment*, v.190, p. 149-167.
- Grace, J.M., 2004. Soil erosion following forest operations in the Southern Piedmont of central Alabama: *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 59, p. 180-185.
- He, M.Z., Zheng, J.G., Li, X.R. and Qian, Y.L., 2007. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China: *Journal of Arid Environment*, v. 69, p. 473-489.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J. and Sattarian, A., 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran: *International Journal of Environmental Science Technology*, v. 11, p. 909-926.
- Janizadeh, S., Avand, M., Jaafari, A., Phong, T.V., Bayat, M., Ahmadisharaf, E. and Lee, S., 2019. Prediction Success of Machine Learning Methods for Flash Flood Susceptibility Mapping in the Tafresh Watershed, Iran: *Sustainability*, v. 11, p. 54-72.
- Khanna, T., 1990. *Foundation of neural networks*, Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A., 327 p.
- Lee, S., Park, I. and Choi, J.K., 2012. Spatial prediction of ground subsidence susceptibility using an artificial neural network: *Environment Management*, v. 49, p. 347-358.
- Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S. and Rezaei, A., 2014. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran: *Earth Science Information*.
- Pelletier, J.D., Barron-Gafford, G.A., Breshears, D.D., Brooks, P.D., Chorover, J., Durcik, M., Harman, C.J., Huxman, T.E., Lohse, K.A. and Lybrand, R., 2013. Coevolution of nonlinear trends in vegetation, soils, and topography with elevation and slope aspect: A case study in the sky islands of southern Arizona: *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, v. 118, p. 741-758.
- Poesen, J., Vandekerckhove, L., Nachtergaele, J., Oostwoud Wijdenes, D., Verstraeten, G. and Wesemael, B., 2002. *Gully erosion in dryland environments*: Wiley, Chichester, UK, p. 229-262.
- 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.
- 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: *Natural Hazards*, v. 82, p. 1231-1258.
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., Reza, H. and Feizizadeh, B., 2017. Geomorphology Evaluation of different machine learning models for predicting and mapping the susceptibility of gully erosion: *Geomorphology*, v. 298, p. 118-137.
- Shadfar, S., 2015. Application of Fuzzy Logic operators for investigation of gully erosion using GIS (Case Study: Troud basin): *Journal of Geographical Information*, v. 23, p. 35-42.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B. and Jebur, M.N., 2014. Flood susceptibility

- mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS: *Journal of Hydrology*, v. 512, p. 332-343.
- Turner, H., 2008. Introduction to Generalized Linear Models, Department of Statistics University of Warwick, UK, 375 p.
- Wang, L., Wei, S., Horton, R. and Shao, M., 2011. Effects of vegetation and slope aspect on water budget in the hill and gully region of the Loess Plateau of China: *Catena*, v. 87, p. 90-100.
- Water Resources Company of Markazi (WRCM), 2017. Precipitation and temperature reports. <http://www.marw.ir/>
- Yamani, S., Zamanzadeh, M. and Ahmadi, M., 2013. Analysis of factors affecting the formation and development of gully erosion: a case study of Kahoor plain in Fars Province: *Geographical Exploration Desert*, v. 1, p. 53-84.
- Yesilnacar, E.K., 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, Ph.D Thesis Department of Geomatics the University of Melbourne, 423 p.
- Youssef, A.M., Pradhan, B. and Hassan, A.M., 2011. Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery: *Environmental Earth Science*, v. 62, p. 611-623.
- Zabihi, M., Mirchooli, F., Motevalli, A., Khaledi Darvishan, A., Pourghasemi, H.R., Zakeri, M.A. and Sadighi, F., 2018. Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran: *Catena*, v. 161, p. 1-13.
- Zakerinejad, R. and Maerker, M., 2015. An integrated assessment of soil erosion dynamics with special emphasis on gully erosion in the Mazayjan basin, southwestern Iran: *Natural Hazards*, v. 79, p. 25-50.