

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۱

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶

صفحات: ۸۰ - ۶۱

مقاله علمی پژوهشی

تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

علی چراغی قلعه‌سری^۱، محمود حبیب‌نژاد روشن^{۲*}، سید حسین روشن^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه هراز آمل

۲. * استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

تهیه نقشه حساسیت سیلاب ضروری و اولین قدم در کاهش خسارت‌های ناشی از سیل می‌باشد. به علت کمبود اطلاعات در اکثر حوضه‌ها، بسیاری از تحقیقات از تکنیک‌های داده‌کاوی برای مطالعه‌های هیدرولوژی به‌ویژه سیلاب استفاده می‌کنند. هدف این پژوهش، شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) در حوضه نکارود می‌باشد. بدین منظور از ۱۲ پارامتر ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و فیزیوگرافیکی شامل مقدار شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، دما، کاربری اراضی، بارندگی، تراکم و فاصله از گسل، تراکم و فاصله از آبراهه، تراکم و فاصله از جاده می‌باشند که در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS، SAGA GIS و ENVI تهیه شدند. به‌منظور برداشت نقاط سیل‌گیر نیز از دستگاه GPS استفاده گردید. در نهایت همه متغیرها و نقاط برداشت‌شده با اندازه پیکسل یکسان (۱۲/۵ متر) با فرمت ASCII وارد نرم‌افزار R شدند. به‌منظور ارزیابی صحت مدل یادشده از محاسبه ویژگی‌های عامل نسبی (ROC) در محیط نرم‌افزار R استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل SVM دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که مناطق حساس به سیل‌گیری بیشتر در بخش‌های شمالی و شمال غرب حوزه و در مناطقی قرار گرفته‌اند که تمرکز سکونتگاه‌های انسانی بیشتر است، در حالی که مناطق مرکزی حوضه که دارای پوشش گیاهی متراکم است، حساسیت کمی نسبت به سیل‌گیری دارند. نتایج این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و محققان برای انجام اقدام‌های مناسب به‌منظور جلوگیری و کاهش خطر سیلاب در آینده کمک کند. همچنین می‌توان از آن به‌منظور شناسایی مناطق مناسب و امن برای توسعه‌های عمرانی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: نقشه حساسیت سیل، ماشین بردار پشتیبان، داده کاوی، ROC، حوضه نکارود.

مقدمه

سیل، یکی از شایع‌ترین و گسترده‌ترین بلایای طبیعی است که به‌طور فراوان در سرتاسر جهان رخ می‌دهد (پاترا و همکاران، ۲۰۱۵) و در بین خطرهای طبیعی، یکی از خطرهایی است که بیشترین خسارت‌ها، بیشترین فراوانی و پهنه اثر بالایی دارد (سانیال و لو، ۲۰۰۴). مطابق آمار تهیه‌شده توسط سازمان ملل متحد در میان بلایای طبیعی، سیل و طوفان بیشترین تلفات و خسارت‌ها را به جوامع بشری وارد آورده‌اند، به‌گونه‌ای که تنها در یک دهه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی، میزان خسارت‌های ناشی از سیل و طوفان بالغ بر ۲۱ میلیارد دلار در مقابل ۱۸ میلیارد دلار خسارت‌های ناشی از زلزله بوده است (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). این امر در کشور ما نیز صادق است و در اغلب سال‌های گذشته حدود ۷۰ درصد اعتبارهای سالانه طرح کاهش اثرهای بلایای طبیعی و ستاد حوادث غیرمترقبه صرف جبران خسارت‌های ناشی از سیل شده است. ضمن اینکه باید توجه داشت به دلیل بهبود روش‌های ساخت‌وساز و رعایت ضوابط و مقررات ایمنی، سازه‌ها و تأسیسات در مقابل خطرهایی چون زلزله افزایش می‌یابد؛ ولی متأسفانه روند طبیعی توسعه در کشورهای نظیر ایران باعث تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی شده و خسارت‌های سیل به‌طور مرتب افزایش می‌یابد (حسن‌زاده نفوقی و خواجه بافقی، ۱۳۹۵). سیل یکی از پدیده‌ها و بلایای طبیعی است که امکان وقوع آن در هر مکان و زمانی وجود دارد. به‌طور کلی سیل افزایش جریان آب رودخانه بیش‌ازحد متعارف آن است، به‌طوری‌که حجم آب از ظرفیت عبوری رودخانه بیشتر شده و آب از بستر اصلی خارج و روی دشت‌های کناری جریان یابد. در کشور ما وقوع سیل بیش از آنکه ناشی از بارش‌های تند باشد، در رابطه با برهم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی و فیزیولوژیکی منطقه می‌باشد (امیدوار، ۱۳۸۹). اندازه و تکرار رویداد سیلاب در هر منطقه، بستگی به عوامل متعددی دارد. ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز مانند: شکل، شیب، شبکه آبراهه‌ها و ناهمواری زمین همراه با ویژگی‌های هیدرولوژیکی مانند: بارش، ذخیره و تلفات برگابی و چالابی، تبخیر و تعرق و نفوذپذیری و اقدام‌های ناشی از فعالیت‌های بشری در بروز و تشدید سیلاب یا کاهش و افزایش میزان خسارت‌های ناشی از آن دخالت دارند. شناخت این عوامل و دسته‌بندی آنها در هر منطقه‌ای، از اصول اولیه مهار سیلاب و کاهش خطرهای آن است (رضوی، ۱۳۸۷). همچنین تخریب پوشش گیاهی، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و شدت بارندگی از مهم‌ترین عوامل در وقوع سیل محسوب می‌شوند (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۳). تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و حساسیت سیل^۱ و توجه به اهمیت کاهش اثرهای آن یکی از اهداف اولیه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است. نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت سیلاب‌ها و آثار آن بر اراضی دشت سیلابی ارائه می‌دهند. در پهنه‌بندی سیل برای کنترل کاربردی و توسعه اراضی، نواحی سیلاب دشت به قسمت‌هایی با خطرپذیری متفاوت تقسیم‌بندی می‌شوند (ولی‌زاده، ۱۳۸۶). برای تهیه نقشه‌های سیل‌گیر روش‌های مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی وجود دارد. در سال‌های اخیر مدل‌های آماری و احتمالاتی و همچنین روش‌های ماشین یادگیرنده^۲ زیادی برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه‌های آبخیز در سراسر دنیا بکار گرفته شده است (شفیع‌زاده مقدم و همکاران، ۲۰۱۸؛ هانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۷؛ شفاپور تهرانی و همکاران، ۲۰۱۵) و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۳ نیز به‌عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی و دست‌کاری داده‌ها به دلیل

1- Flood Susceptibility Map

2- Machine Learning Technique

3- Geographic Information System

توانایی آن در هندلینگ مقادیر زیادی از داده‌های مکانی به کار رفته است (اوه و پرادهان، ۲۰۱۱). دلال‌اوغلی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی و تهیه پهنه‌های سیل‌خیز در حوضه رودخانه آجرلوچای با استفاده از رویکرد نوین سیستم‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و مدل فازی اقدام کردند. در این مطالعه ۸ پارامتر طبیعی و انسانی شامل: بارش، کاربری اراضی، خصوصیت‌های مورفولوژیک دامنه‌ها مثل شیب دامنه، ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه‌های اصلی، تراکم شبکه زهکشی و سنگ‌شناسی برای اجرای مدل استفاده شده است. پس از وزن دهی معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش AHP، همپوشانی لایه‌ها در محیط نرم‌افزار GIS انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بالادست حوضه واقع گردیده‌اند. همچنین پهنه‌های با خطر سیل‌گیری بسیار زیاد در پایین‌دست حوضه قرار داشتند. قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه زنگمار در شهرستان ماکو با استفاده از مدل فازی پرداختند. آنها به این منظور از لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شیب، ارتفاع، انحنا، پلانیمتری، انحنا، پروفیل، کاربری اراضی، خاک، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی و شاخص NDVI استفاده کردند. نتایج نشان داد که در نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی، نواحی با خطر بسیار بالا در بالادست و شمال حوضه قرار دارند و اغلب نواحی با خطر سیل‌خیزی بسیار بالا در دامنه‌های محدب و ستیغ‌ها و در شیب‌های بین ۷-۰ درصد که اغلب مناطق کوهستانی است، قرار دارد. ژائو و همکاران (۲۰۱۷)، به منظور تهیه نقشه حساسیت سیل در مناطق کوهستانی کشور چین از داده‌های سیلاب‌های تاریخی دوره زمانی ۱۹۴۹ تا ۲۰۰۰ و مدل جنگل تصادفی^۱ استفاده کردند. آنها به این منظور ۱۲ فاکتور جغرافیایی، هواشناسی و هیدرولوژیکی را در نظر گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل جنگل تصادفی در شناسایی مناطق مستعد سیل عملکرد مؤثرتری نسبت به روش‌های شبکه عصبی مصنوعی^۲ و ماشین بردار پشتیبان (SVM) دارد. همچنین در میان ۱۲ فاکتور در نظر گرفته‌شده، عوامل جغرافیایی (ارتفاع، طول جغرافیایی و تراکم زهکشی) مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌ها در مناطق کوهستانی چین است؛ در حالی که عوامل هیدرولوژیکی (ارتفاع نسبی و شماره منحنی) دارای کمترین اهمیت می‌باشند. هانگ و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از روش فازی وزن شواهد^۳ و سایر تکنیک‌های داده کاوی^۴ اقدام به تهیه نقشه حساسیت سیل در شهرستان پویانگ در کشور چین کردند. به این منظور لایه‌های مربوط به سنگ‌شناسی، خاک، ارتفاع، درجه شیب، جهت، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان، شاخص حمل رسوب، انحنا، زمین، انحنا، دامنه و فاصله از شبکه آبراهه در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. سپس با استفاده از روش فازی وزن شواهد و تکنیک‌های داده کاوی مثل رگرسیون لجستیک^۵، جنگل تصادفی^۶ و ماشین بردار پشتیبان^۷، نقشه حساسیت سیل به دست آمد. جهت ارزیابی روش‌های استفاده شده از AUC استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل فازی وزن شواهد-ماشین بردار پشتیبان^۸ با بالاترین AUC توانایی بالایی در تهیه نقشه حساسیت سیل داشته است. هدف اصلی این پژوهش تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز نکارود در استان

1- Random Forest

2- Artificial Neural Network

3- Fuzzy Weight of Evidence (Fuzzy-WofE)

4- Data Mining Technique

5- Logistic Regression (LR)

6- Random Forest (RF)

7- Support Vector Machines (SVM)

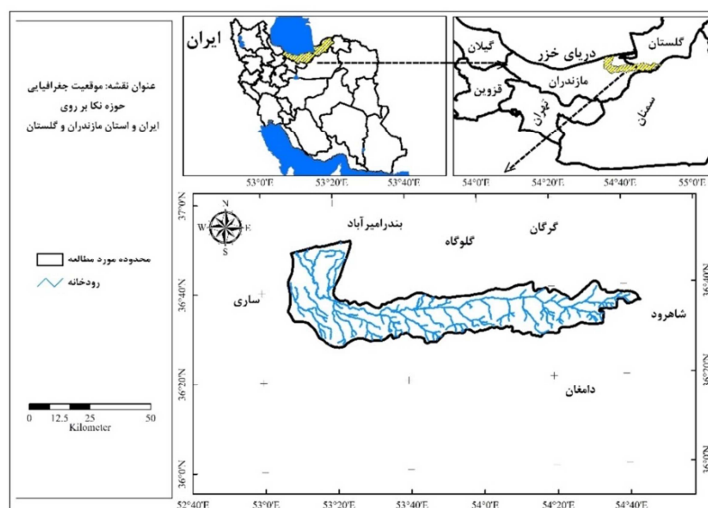
8- Fuzzy WofE-SVM Model

مازندران (به دلیل رخداد شدید و سالانه سیلاب) توسط روش ماشین بردار پشتیبان، ارزیابی کارایی این روش در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیلاب و تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در حوضه آبخیز نکارود می‌باشد. به این منظور عوامل مهم و تأثیرگذار در سیلاب در حوزه‌های آبخیز در نظر گرفته شد و در نهایت نقشه موردنظر تهیه گردید.

داده‌ها و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز نکارود در استان‌های گلستان و مازندران و بین طول ۱۷' ۵۳° تا ۴۴' ۵۴° شرقی و عرض ۲۸' ۳۶° تا ۴۲' ۳۶° شمالی واقع شده است (شکل ۱). حوضه نکارود، حوضه‌ای کشیده با وسعت نزدیک به ۱۹۹۲ کیلومترمربع است. ارتفاع بلندترین نقطه حوضه ۳۸۰۲ متر و پست‌ترین محل حوضه در نقطه خروجی (ایستگاه آبلو) حدود ۴۳ متر و در محل اتصال به دریای خزر ۲۰- متر می‌باشد. حدود ۶۱ درصد حوضه در محدوده استان مازندران و ۳۹ درصد آن در محدوده استان گلستان واقع شده است. رودخانه نکا به‌عنوان مهم‌ترین زهکش این حوضه از ارتفاعات شاه‌کوه در جنوب گرگان سرچشمه گرفته که پس از دریافت شاخه‌های فرعی دیگری پس از گذر از مرکز شهر نکا در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. طول رودخانه نکا تا ایستگاه آب‌سنجی آبلو حدود ۱۵۰ کیلومتر بوده و دارای رژیم جریان دائمی می‌باشد. رژیم این رودخانه در سراب برفی - بارانی و در میانه و پایاب بارانی - برفی تا بارانی است و به‌طور کلی سیلاب‌ها در رودخانه نکا در اثر وقوع بارندگی جریان می‌یابند. دبی سالانه نکارود ۱۵۴ میلیون مترمکعب و رسوب سالانه آن نیز ۰/۴۲۲ میلیون تن می‌باشد (عمادالدین، ۱۳۹۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه نکارود در استان‌های مازندران و گلستان و کشور

(ب) لایه‌های مورد استفاده

برای اجرای مدل‌های پیش‌بینی و تهیه نقشه حساسیت سیلاب انتخاب فاکتورهای مؤثر بر وقوع سیلاب از مهم‌ترین مراحل پژوهش می‌باشد. در این پژوهش از ۱۲ پارامتر ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و فیزیوگرافیکی به‌منظور تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل SVM استفاده گردید. این لایه‌های اطلاعاتی شامل موارد زیر می‌باشند:

۱) مقدار و جهت شیب و طبقات ارتفاعی: به‌منظور تهیه این لایه‌ها از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. این عوامل در گروه عوامل پایدار و تأثیرگذار در تولید رواناب و ایجاد سیلاب در حوزه آبخیز به شمار می‌روند.

۲) دما و بارندگی: داده‌های مربوط به بارش و درجه حرارت سالانه ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی موجود در حوزه آبخیز از اداره کل هواشناسی استان مازندران اخذ گردید. بارش مهم‌ترین عامل در تولید سیلاب در حوزه آبخیز می‌باشد.

۳) کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI استخراج گردید. تغییرهای کاربری اراضی، قطع بی‌رویه درختان جنگلی و چرای بیش‌ازحد دام‌ها کاهش پوشش گیاهی اراضی را موجب شده که در نتیجه آن قدرت نفوذپذیری آب در خاک کاهش پیدا کرده و احتمال وقوع سیلاب را افزایش می‌دهد.

۴) فاصله از گسل و تراکم گسل: تهیه این لایه‌ها با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است. فعالیت‌های تکتونیکی موجود در منطقه از جمله وجود گسل‌ها در حوزه آبخیز موجب تأثیر در شیب متوسط نیم‌رخ طولی آبراهه‌ها شده و بدین ترتیب روی سرعت جریان و کاهش زمان تمرکز و دبی اوج جریان می‌توانند تأثیرگذار باشند.

۵) فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه: برای تهیه این لایه‌ها نیز از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. تراکم بالای ساخت‌وساز در حریم رودخانه‌ها، برداشت غیراصولی و بی‌رویه مصالح از بستر رودخانه‌ها و به‌طور کلی دخل و تصرف انسان در آبراهه‌های حوزه آبخیز و رودخانه‌های آن احتمال وقوع سیل ناشی از عوامل انسانی را افزایش می‌دهد.

۶) فاصله از جاده و تراکم جاده: برای تهیه این لایه‌ها نیز از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. تراکم و گذر جاده‌ها در حاشیه رودخانه‌ها در هنگام وقوع سیلاب افزایش آسیب‌پذیری را به همراه دارد. بنابراین جاده‌هایی که در حریم رودخانه واقع‌اند و دارای تراکم بسیار بالایی نیز می‌باشند، دچار آسیب‌پذیری بالایی هستند.

ج) روش پژوهش

لایه‌های مؤثر در وقوع سیلاب در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS 10.3، ENVI 5.3، Google Earth، Map Source، SAGA GIS تهیه شدند. سپس با ترکیب لایه‌های تولیدشده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) در نرم‌افزار R Studio استفاده گردید. در نهایت نقشه حساسیت به سیلاب در حوزه آبخیز نکارود به دست آمد.

د) الگوریتم‌های داده‌کاوی

فنون داده‌کاوی، گروه نامتجانسی از علوم مختلف را شکل می‌دهند. هر تکنیکی که بتواند بینش جدیدی از داده‌ها را استخراج کند، می‌تواند داده‌کاوی به حساب آید. به‌طور خلاصه، داده‌کاوی پل ارتباطی میان علم آمار، علم کامپیوتر، هوش مصنوعی، الگو شناسی، یادگیری ماشین و بازنمایی بصری داده می‌باشد. می‌توان گفت در داده‌کاوی، تئوری‌های پایگاه داده‌ها، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و علم آمار را در هم می‌آمیزند تا زمینه کاربردی فراهم شود (اسماعیلی، ۱۳۹۱). در این پژوهش از بسته نرم‌کد نویسی SDMs یا (Spatial distributions models) که حاوی تعدادی مدل به‌عنوان گروه مدل‌های توزیع مکانی و جغرافیایی در نرم‌افزار R بعد از کد نویسی استفاده شد.

ه) مدل ماشین بردار پشتیبان^۱

ماشین بردار پشتیبانی یا به‌طور اختصار SVM، الگوریتم طبقه‌بندی بوده و به‌عنوان یکی از بهترین تکنیک‌های دسته‌بندی، پیش‌بینی و تشخیص عدم قطعیت‌ها شناخته می‌شود و برخلاف الگوریتم‌های خوشه‌بندی در دسته یادگیری با نظارت محسوب می‌شود و دو فاز آموزش و آزمون دارد (استانیکاف و همکاران ۲۰۱۱). این روش از جمله روش‌های کمابیش جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی از جمله شبکه‌های عصبی پرسپترون نشان داده است. مبنای کاری SVM دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌شود خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد (چن و همکاران ۲۰۱۷). حل معادله پیدا کردن خط بهینه برای داده‌ها به‌وسیله روش‌های QP که روش‌های شناخته‌شده‌ای در حل مسائل محدودیت‌دار هستند، صورت می‌گیرد. ماشین بردار پشتیبان نسبت به شبکه‌های عصبی تئوری قوی‌تری داشته و در مقایسه با شبکه‌های عصبی نسبت به بیش تخمینی مقاوم‌تر است. برای ذخیره مدل پیش‌بینی فضای کمتری نیاز دارد و به نتایج دقیق‌تر، قابل مفهوم و یک تفسیر هندسی دست پیدا می‌کند. الگوریتم SVM، جزو الگوریتم‌های تشخیص الگو دسته‌بندی می‌شود (استانیکاف و همکاران ۲۰۱۱).

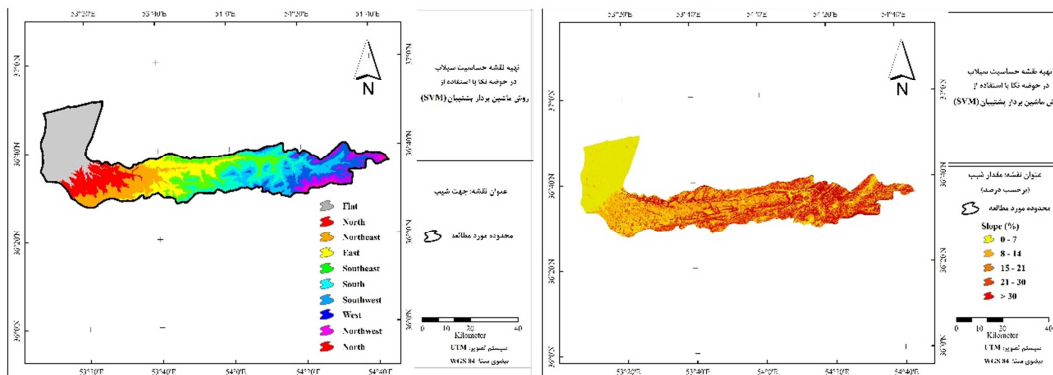
یافته‌های تحقیق

به‌طور کلی عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب‌ها را می‌توان به دو گروه عوامل اقلیمی و عوامل مربوط به حوضه طبقه‌بندی کرد. عوامل اقلیمی شامل درجه حرارت، تبخیر و تعرق و بارش می‌باشند و از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به کاربری اراضی، وضعیت زمین‌شناسی، شیب و شبکه زهکشی و به‌طور کلی عوامل مورفومتریک اشاره نمود (ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۵). نتایج مهم‌ترین عوامل مؤثر در تهیه نقشه حساسیت سیل حوضه نکارود به‌صورت زیر می‌باشند.

مقدار و جهت شیب

شیب زمین به دلیل تأثیر مستقیم بر رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در وقوع سیلاب در حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود. همچنین با افزایش شیب عمومی سطح حوزه آبخیز، فرصت لازم برای نفوذ کاهش یافته و می‌توان گفت که با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش می‌یابد. بنابراین شیب‌های زیاد باعث ایجاد اوج‌های بالا در هیدروگراف

می‌شوند. نقشه مقدار و جهت شیب با تکیه بر مدل رقومی ارتفاع^۱ در نرم‌افزار ArcMap 10.3 با استفاده از ابزار Spatial Analyst به دست آمد (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ بیشترین سطح حوزه مربوط به اراضی با شیب بالا بوده که مقدار شیب آنها بین ۱۵ تا ۳۰ درجه متفاوت است. از آنجایی که اراضی شیب‌دار نقش بسیار مهمی در تولید رواناب و سرعت آن دارند، زمان تمرکز در دامنه‌ها را کاهش داده که عامل مهمی در دبی اوج سیلاب می‌باشد. همچنین مساحت جهت‌های شمالی، شمال غرب و شمال شرق بیشتر از سایر جهت‌ها بوده است. با توجه به اینکه رطوبت خاک در شیب‌های شمالی بیشتر می‌باشد، میزان نفوذ آب در خاک نیز کاهش یافته که شرایط را برای ایجاد سیلابی شدن فراهم می‌کند. بر اساس شکل ۲، اراضی مسطح در پایین‌دست حوزه آبخیز واقع شده‌اند که رودخانه نکارود نیز از این محدوده می‌گذرد. با شروع سیلاب و بالا آمدن سطح آب در مقطع رودخانه در این محدوده، با توجه به موقعیت مناطق جمعیتی و شهرها در این سطح از حوزه آبخیز، سیلاب می‌تواند خسارت‌های جانی و مالی بسیار زیادی همراه داشته باشد.

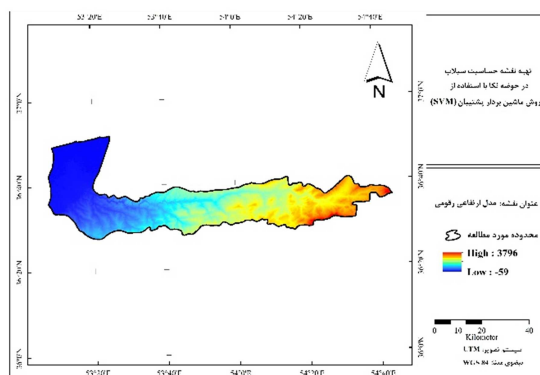


شکل ۲: نقشه مقدار و جهت شیب حوزه مورد مطالعه

الف) طبقات ارتفاعی

در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم، بارندگی‌ها بیشتر به صورت رگباری تبدیل شده است که در مدت‌زمان بسیار کمی، مقدار زیادی باران نازل گشته و به علت کمبود پوشش گیاهی، سفت شدن خاک سطحی و شیب زیاد اجازه نفوذ باران وجود ندارد و باعث جاری شدن حجم زیادی از رواناب از دامنه کوه‌ها به صورت سیل به داخل رودخانه می‌شود که در ارتفاعات پایین‌تر، در جاهایی که شیب کمتر می‌گردد سیل‌های مهیبی رخ می‌دهد. جهت تهیه نقشه طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاع و نقشه توپوگرافی منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده گردید. تهیه لایه طبقات ارتفاعی نیز با استفاده از ابزار Spatial Analyst در نرم‌افزار ArcMap 10.3 انجام گرفت (شکل ۳). بر اساس شکل ۳ بیش از نیمی از سطح حوزه آبخیز نکارود را طبقات ارتفاعی پایین در بر گرفته است. از آنجایی که سرشاخه‌های آبراه‌ها در ارتفاعات بوده و سرعت رواناب، جریان در دامنه‌ها و مقاطع رودخانه در این مناطق زیاد می‌باشد، وقتی این جریان به مناطق پایین (با طبقات ارتفاعی پایین‌تر و شیب کمتر) می‌رسد به دلیل کاهش سرعت و پر شدن

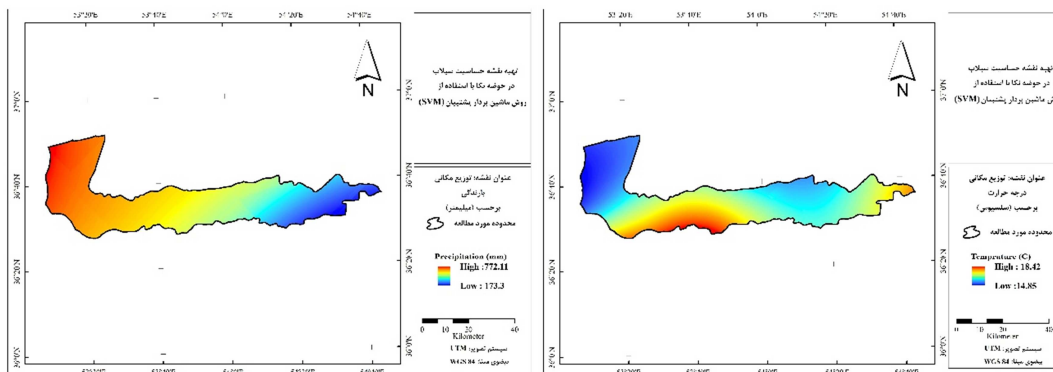
مقطع رودخانه موجب زیرآب رفتن دشت‌های سیلابی و مناطق جمعیتی در این مناطق شده و موجب ایجاد سیلاب می‌گردد.



شکل ۳: نقشه تغییرهای طبقات ارتفاعی حوضه مورد مطالعه

ب) دما و بارش

داده‌های مربوط به متوسط درجه حرارت و بارندگی سالانه از اداره کل هواشناسی استان مازندران اخذ گردید. سپس به منظور کنترل کیفی و آزمون همگنی آنها و رفع نواقص آماری از آزمون ران تست و کلموگروف – اسمیرونوف در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. سپس لایه اطلاعاتی آنها در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 شد (شکل ۴). مطابق شکل ۴ بیشترین مقدار بارندگی را در نواحی مرکزی حوضه و پایین‌دست آن داریم که موجب تولید حجم بالایی رواناب در مناطق پایین‌دست حوزه که شیب کمی دارند، می‌شود؛ در نتیجه شرایط برای ایجاد سیلاب در این محدوده را افزایش می‌دهد.

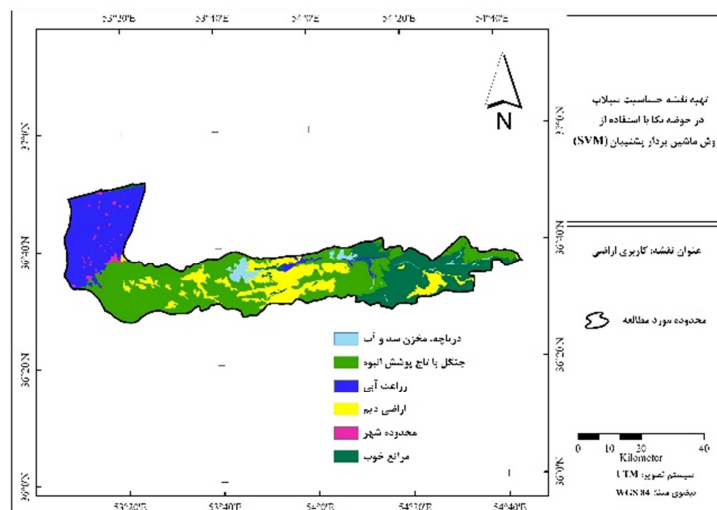


شکل ۴: توزیع مکانی درجه حرارت و بارندگی در حوضه مورد مطالعه

ج) تهیه نقشه کاربری اراضی

پوشش گیاهی نقش مهمی در جلوگیری از تبدیل بارش به رواناب دارد. از طرفی موجب کاهش سرعت جریان رواناب سطحی شده و رواناب تولیدشده با تأخیر بیشتری بر روی سطح زمین جریان دارد. بنابراین نقش پوشش گیاهی در

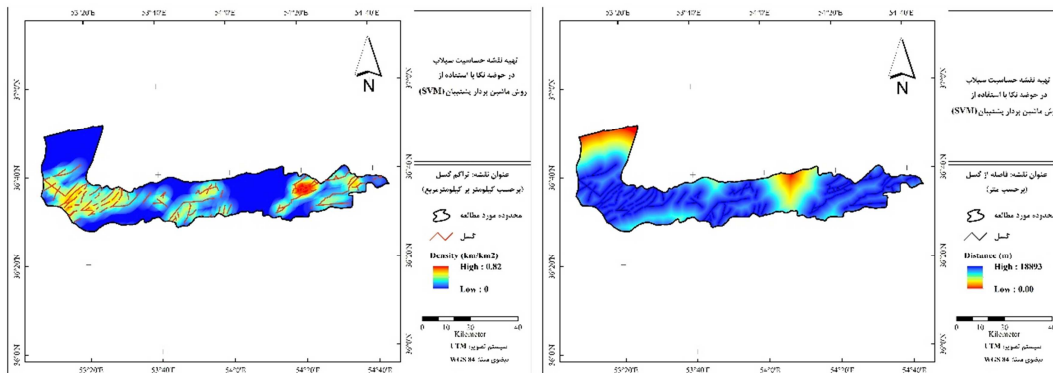
جلوگیری از ایجاد سیلاب‌ها در حوزه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت بوده و تأثیر بسزایی در کم کردن جریان سیلابی دارد. در این پژوهش، به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست^۸ استفاده شده است. به این صورت که با انجام تصحیح اتمسفری و پیش‌پردازش‌های اولیه و برداشت نقاط تعلیمی، آماده‌سازی تصاویر انجام شد. در مرحله پیش‌پردازش‌های اولیه خطاهای موجود بر روی داده‌های خام شامل خطای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره تصحیح گردید. ماهواره لندست ۸ دارای قدرت تفکیک ۳۰ متر در باندهای چند طیفی و ۱۵ متر در باند پانکروماتیک است. باندهای حرارتی که شامل باندهای ۱۰ و ۱۱ بودند کنار گذاشته شدند و پس‌ازاینکه تک‌تک باندها با هم ترکیب شدند و یک تصویر چند طیفی را ساختند عمل فیوژن با باند پانکروماتیک (باند شماره ۸) انجام شد و قدرت مکانی تصویر به ۱۵ متر افزایش پیدا کرد. برای اطمینان از دقت هندسی تصویر مورد مطالعه چند نقطه در تقاطع جاده‌ها از نقشه توپوگرافی انتخاب شدند و با تصویر ماهواره‌ای مقایسه گردیدند که خطایی مشاهده نشد. پردازش تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش در نرم‌افزار ENVI 5.0 انجام شد و سپس برای تهیه نقشه نهایی از نرم‌افزار ArcMap 10.3 بهره گرفته شد (شکل ۵). مطابق شکل ۵ سطح بالایی از حوزه آبخیز نکارود از جنگل و مرتع پوشیده شده است. بر اساس نقشه کاربری اراضی، تبدیل اراضی جنگلی به مرتع و سپس به اراضی دیم به‌وضوح در منطقه دیده می‌شود که موجب کاهش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز می‌گردد. کاهش پوشش در حوضه موجب کاهش نفوذ، افزایش رواناب و در نتیجه افزایش سیلاب می‌شود. سطح اراضی آبی و مناطق مسکونی بر طبق این نقشه در نواحی پایین دست حوضه دیده می‌شود که از جمله مناطقی هستند که در خطر سیلاب می‌باشند.



شکل ۵: نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه

(د) فاصله از گسل و تراکم گسل

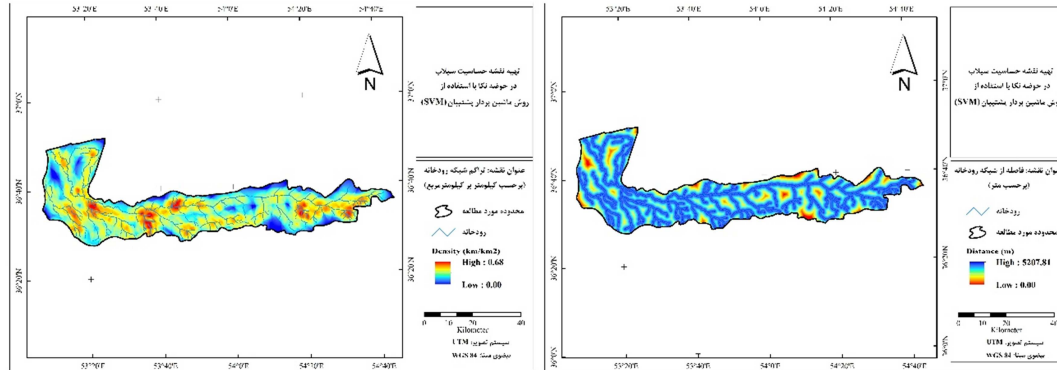
به‌طور کلی سازندهای زمین‌شناسی به دلیل تأثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری و رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در پدیده سیل در حوزه‌های آبخیز است. نقشه زمین‌شناسی حوضه نکارود از اداره کل منابع طبیعی استان مازندران اخذ گردید. به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی فاصله از گسل و تراکم گسل از این نقشه استفاده شد. به این صورت که ابتدا نقشه موردنظر به محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 وارد و با رقومی سازی گسل‌های منطقه با ابزار Editor لایه خروجی به‌صورت شیپ‌فایل تهیه گردید (شکل ۶).



شکل ۶: نقشه فاصله از گسل و تراکم آن در حوضه مورد مطالعه

ه) فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه

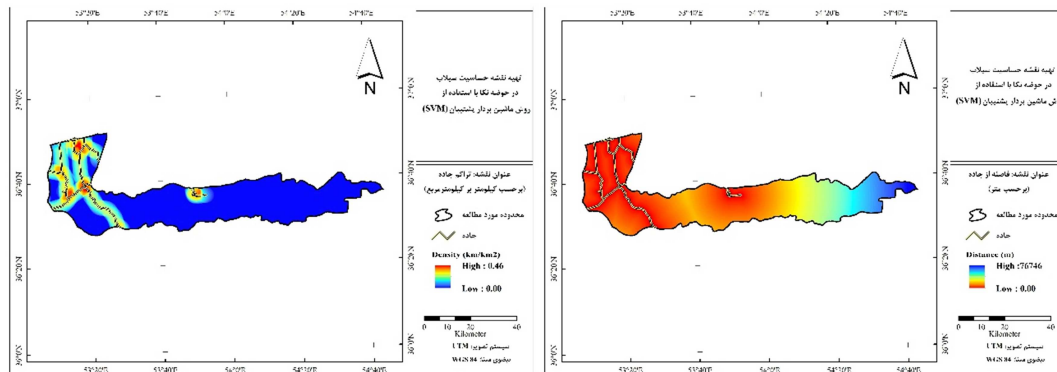
فاصله از آبراهه نقش اساسی را در پخش و بزرگی سیلاب در منطقه دارا می‌باشد. به‌طوری‌که هر چه از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها فاصله بگیریم خطر سیلاب نیز کمتر خواهد شد. برای تهیه نقشه فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه از نقشه توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده گردید به این منظور نقشه توپوگرافی به محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 فراخوانده شد با استفاده از ابزار Editor لایه آبراهه تهیه و سپس با استفاده از ابزار Multiring Buffer فاصله از آنها و تراکم برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع به دست آمد (شکل ۷). مطابق شکل ۷ محدوده فاصله از رودخانه و تراکم آن در حوضه مشخص گردید. شبکه آبراهه‌های حوضه نشان‌دهنده چگونگی تخلیه رواناب از حوضه می‌باشد. نحوه استقرار این شبکه‌ها در سطح حوضه می‌تواند در ارتباط با لیتولوژی، نفوذپذیری و ... توجه شود. مقدار تراکم زهکشی، یک شاخص مهم در تعیین شدت سیلاب‌ها، میزان بار رسوبی، بیلان آب در کل حوضه و به‌طور کلی در چگونگی فعالیت فرایندهای رواناب‌های سطحی است. با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها و رودخانه میزان خطر سیل‌گیری کاهش می‌یابد.



شکل ۷: نقشه فاصله از آبراهه و تراکم آن در حوضه مورد مطالعه

(و) فاصله از جاده و تراکم جاده

جاده‌ها به‌عنوان سطوح با ضریب نفوذپذیری خیلی کم در حوزه‌های آبخیز نقش مهمی در ایجاد رواناب دارند. وجود مناطق با ضریب نفوذپذیری زیاد در سطح حوزه آبخیز تبدیل بارش به رواناب را تسهیل کرده و شرایط را برای تشکیل جریان‌های سیلابی مهیا می‌سازند. در این پژوهش به‌منظور تهیه لایه‌های فاصله از جاده و تراکم آن در سطح حوضه نکارود از نقشه توپوگرافی استفاده گردید. به این منظور نقشه موردنظر به محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 وارد و با استفاده از ابزار Editor لایه جاده ایجاد شد. سپس لایه فاصله از جاده و تراکم آن با استفاده از ابزار Multiring Buffer تولید شد (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه فاصله از جاده و تراکم آن در حوضه مورد مطالعه

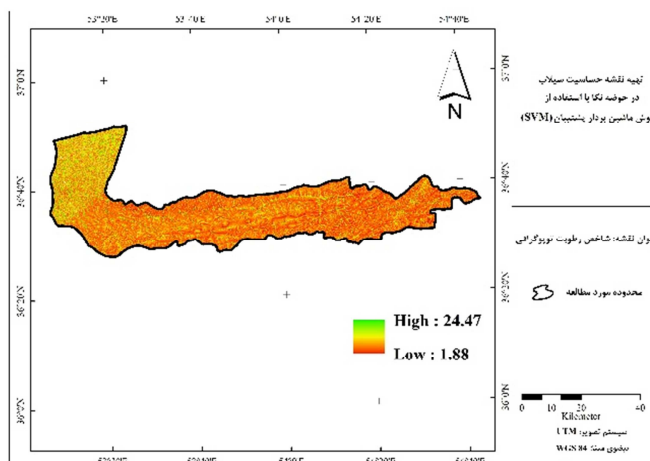
(ر) شاخص رطوبت توپوگرافی^۱ (TWI)

شاخص TWI به‌عنوان یکی از شاخص‌های تأثیرگذار بر وقوع پتانسیل سیل در حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود. این شاخص با توجه به رابطه زیر تعریف می‌شود (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲؛ شفاپورتهرانی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$TWI = Ln\left(\frac{As}{\tan\beta}\right) \quad (۱)$$

^۱ Topographic Wetness Index

که در آن A_s سطح ویژه حوضه (به صورت مساحت اراضی بالادست عرض کنتر، تقسیم بر عرض کنتر تعریف می‌گردد) و β شیب زمین (برحسب درجه) می‌باشند. این شاخص که به عنوان شاخص مرتبط با آب مشهور و شناخته شده است (Nampak و همکاران، ۲۰۱۴). برای استخراج نقشه این شاخص از نرم افزار SAGA GIS 2 استفاده گردید (شکل ۹). این شاخص به عنوان یک شاخص فیزیکی، مکان مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک را تقریب می‌زند و برای تعیین مناطق جمع‌آوری آب پتانسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان‌طور در شکل ۹ مشخص است، مناطق مرطوب می‌توانند از مساحت‌های زهکشی بزرگ در بالادست یا از سطوح خیلی هموار و بدون شیب به وجود آیند، درحالی‌که مناطق خشک‌تر با مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی کمتر، یا از شیب‌های تندتر و یا از مناطق زهکشی کوچک در بالادست ناشی می‌شوند. همان‌طور که در نقشه پیداست مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی در مسیر آبراهه‌ها دارای مقدار بالایی است و با آنچه در طبیعت و واقعیت رخ می‌دهد، همخوانی دارد. مناطق دارای مقدار TWI یکسان، به لحاظ شرایط رطوبتی کمابیش یکسان‌اند و بنابراین این مناطق در اشباع شدن آنها در طول وقایع بارندگی می‌تواند موجب ایجاد رواناب و سیلاب شود.



شکل ۹: نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی در حوضه مورد مطالعه

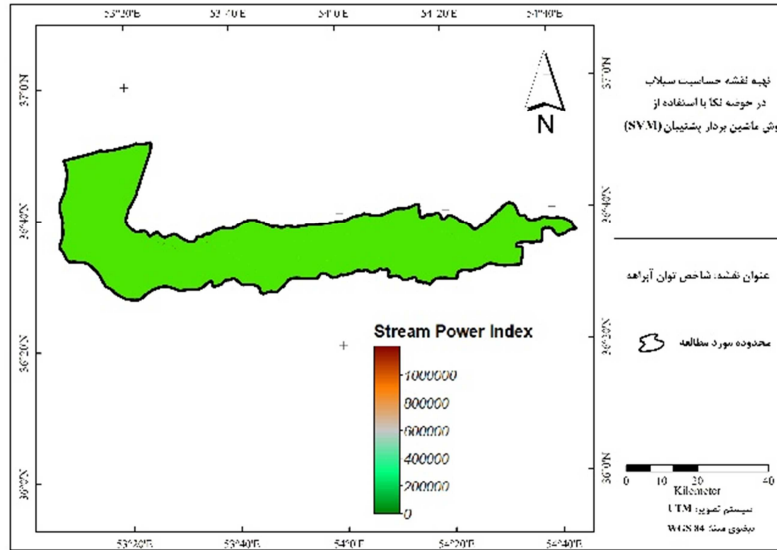
ح) شاخص توان آبراهه^۱ (SPI)

شاخص مهم دیگری که در پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز مؤثر می‌باشد، شاخص توان آبراهه است. این شاخص با استفاده رابطه زیر قابل محاسبه است (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲؛ شفاپورتهرانی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (2)$$

برای تهیه این شاخص SPI نیز از نرم‌افزار SAGA GIS 2 استفاده گردید (شکل ۱۰). شاخص توان آبراهه بیان‌کننده قدرت جریان آب به لحاظ فرسایش است و مناطق دارای تجمع رطوبت را نیز نشان می‌دهد. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد رطوبت بیشتر بوده و با توجه به نقشه مناطق زیادی در تولید رواناب و سیلاب دخیل هستند.

¹ - Stream Power Index

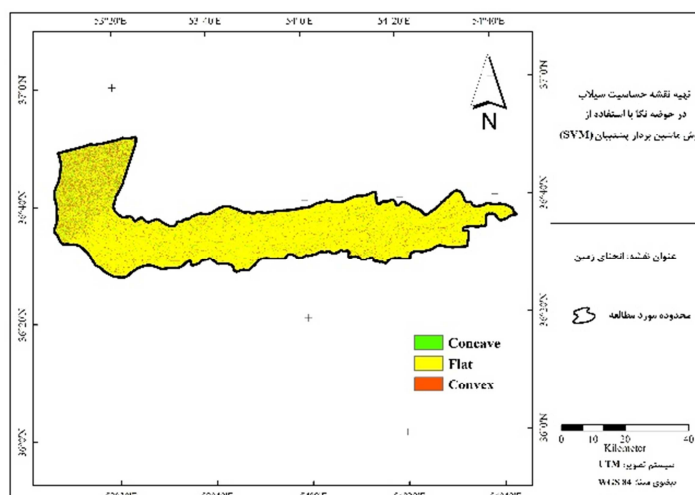


شکل ۱۰: نقشه شاخص توان آبراهه در حوضه مورد مطالعه

ط) لایه انحنای زمین^۱

انحنای زمین یکی از پارامترهای مکانی مورد استفاده در تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل حوزه‌های آبخیز می‌باشد (شفاپورتهرانی و همکاران، ۲۰۱۵). در این پژوهش نقشه انحنای زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع و در نرم‌افزار ArcMap 10.3 تهیه شد. نقشه انحنای زمین در سه طبقه انحنای مقعر، انحنای محدب و بدون انحنای (تخت) تقسیم‌بندی می‌شود (شکل ۱۱). بر طبق نقشه انحنای زمین، بیشترین سطح مربوط به طبقه انحنای مسطح است و انحنای مقعر و محدب در پایین‌دست حوزه آبخیز تمرکز بیشتری دارند. به دلیل کوهستانی بودن در مناطق بالادست و همچنین شیب زیاد، رواناب به سرعت تشکیل شده و در طبقات ارتفاعی پایین‌تر که بیشتر محل تمرکز مناطق مسکونی و کشاورزی می‌باشد و از نظر انحنای نیز مسطح هستند، احتمال رخداد سیل بیشتری را موجب می‌گردد.

^۱ - Curvature



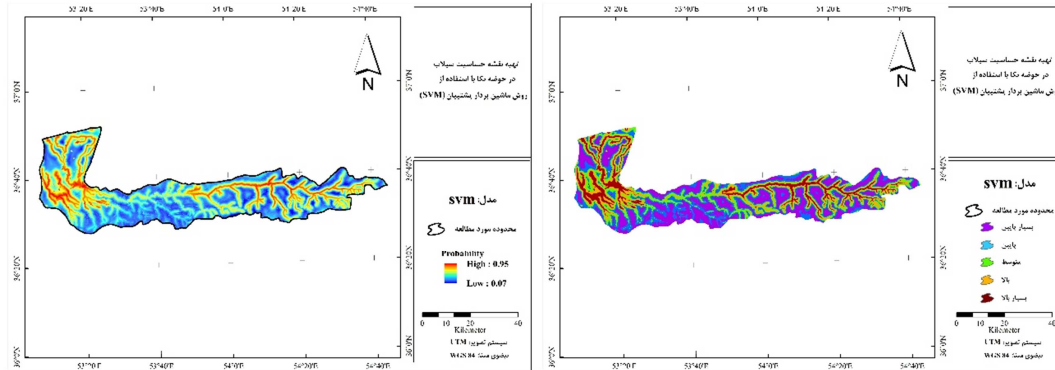
شکل ۱۱: نقشه انحنای زمین در حوضه مورد مطالعه

ی) برداشت نقاط سیل گیر با استفاده از GPS

به منظور پیش بینی و تهیه نقشه حساسیت سیلاب برداشت و تجزیه و تحلیل مناطق مناسب از نظر سیل گیر بودن با استفاده از دستگاه GPS ضروری بود. بنابراین تعداد ۱۹۰ نقطه (با توجه به وقت و هزینه) (۱۰۰ منطقه به عنوان نقاط سیل گیر و ۹۰ منطقه به عنوان نقاط که سیل گیر نبودند) در منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی در طول فصول مختلف سال تهیه گردید. این مجموعه به صورت تصادفی به یک گروه متشکل از ۱۳۳ نقطه (۷۰٪) برای واسنجی و یک گروه متشکل از ۵۷ نقطه (۳۰٪) برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. در این پژوهش دستگاه GPS مدل Garmin-76CSx برای تعیین مختصات نقاط و نرم افزار Arc GIS 10.3 به منظور تهیه خروجی های مورد نظر استفاده شدند. شایان ذکر است که بعد از تهیه تمامی متغیرهای یاد شده در بالا (اعم از متغیرهای اقلیمی، هیدرولوژیکی، فیزیوگرافی) و نقاط برداشت شده از منطقه مورد مطالعه و با اندازه پیکسل یکسان و برای تمامی آنها (۱۲/۵ متر) اقدام به آماده سازی آنها جهت ورود به نرم افزار R شد. بدین صورت که تمامی لایه مورد نظر با فرمت ASCII وارد نرم افزار R شدند تا بدین وسیله مقدمات تهیه نقشه های توزیع مکانی و جغرافیایی با استفاده از مدل های توزیع مکانی فراهم شود.

ط) نقشه نهایی حساسیت سیلاب در حوضه نکارود

پس از تهیه عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در محیط نرم افزارهای نامبرده، با ترکیب این لایه ها در محیط نرم افزار R تحت دستور روش ماشین بردار پشتیبان نقشه نهایی مناطق حساسیت به سیل با مشخص کردن مناطق دارای خطر مختلف به دست آمد (شکل ۱۲). همان طور که مشاهده می شود فاصله از رودخانه دارای بیشترین خطر وقوع سیلاب در فواصل کمتر از ۲۰۰ متر می باشد که دلیل این امر تأثیر فواصل نزدیک به رودخانه بر گستره و اندازه سیلاب است.



شکل ۱۲: نقشه حساسیت به سیل در حوزه آبخیز نکارود با استفاده از مدل SVM

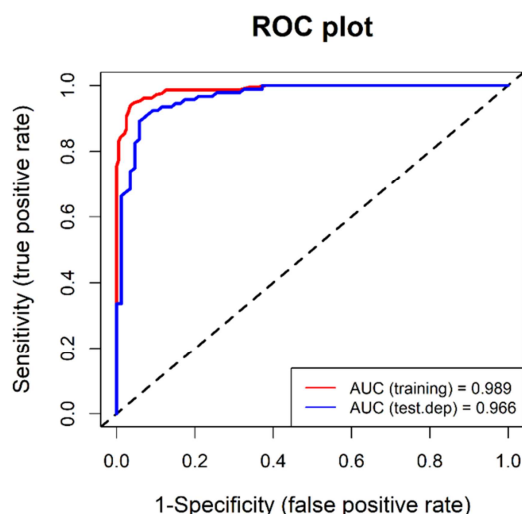
ی) صحت‌سنجی نقشه حساسیت سیل تهیه‌شده از مدل SVM

پس از آنکه نقشه توزیع مکانی حساسیت به سیلاب در حوزه آبخیز نکارود با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان تهیه گردید؛ به منظور ارزیابی صحت مدل موردنظر از روش محاسبه ویژگی‌های عامل نسبی (ROC) در محیط نرم-افزار R استفاده شد (اوه و همکاران، ۲۰۱۱؛ نفیسلو اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸؛ رگمی و همکاران، ۲۰۱۰). این منحنی کارآمدترین روش در پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (سویتز، ۱۹۸۸). در روش ROC، مساحت زیر منحنی (AUC) مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ دارد (ازدمیر، ۲۰۱۱). هر چقدر مقدار AUC به (۱) نزدیک‌تر شود، دقت مدل بیشتر است. همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین در جدول ۱ ارائه شده است (غلامی و اجل‌لوئیان، ۱۳۹۶؛ Gee، ۱۹۹۲؛ Wang و Zhu، ۲۰۰۹).

جدول ۱: همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی (AUC) در روش ROC

کیفی	عالی	خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف
کمی	۰/۹ تا ۱	۰/۸ تا ۰/۹	۰/۷ تا ۰/۸	۰/۶ تا ۰/۷	۰/۵ تا ۰/۶

جهت به‌کارگیری این روش در رابطه با مدل ماشین بردار پشتیبان از اطلاعات نقاط برداشت‌شده GPS در مورد مطالعه استفاده شده است. برای این منظور از ۳۰ درصد نقاط (۵۷ نقطه) در منطقه مورد مطالعه که از ابتدا جهت تست مدل انتخاب شده بود، استفاده شده است. نتایج ارزیابی مدل با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی برای مدل مورد استفاده در مرحله آموزش و تست در شکل ۱۳ و جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱۳: نتایج صحت‌سنجی مدل SVM با استفاده از منحنی ROC

جدول ۲: نتایج صحت‌سنجی مدل مورد استفاده

ROC-AUC		مدل
Testing	Training	نام مدل
۰/۹۶۶	۰/۹۸۹	SVM

نتیجه‌گیری

سیل، پر خسارت‌ترین عارضه مصیبت‌بار در جهان می‌باشد که تهدیدی جدی برای زندگی می‌باشد. مشخص کردن مناطق حساس به وقوع سیل ضروری و یکی از گام‌های اولیه در کاهش خسارت می‌باشد و به‌علاوه آنالیز حساسیت به وقوع سیل یکی از مهم‌ترین موضوع‌ها در ارتباط با کاهش خسارت سیل می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های احتمال وقوع سیل، می‌توان به‌راحتی مناطقی را که دارای احتمال خطر بالا هستند شناسایی کرد تا از وقوع خسارت‌ها جلوگیری نمود. برای این کار تعداد ۱۹۰ نقطه (۱۰۰ منطقه به‌عنوان نقاط سیل‌گیر و ۹۰ منطقه به‌عنوان نقاطی که سیل‌گیر نبودند) در منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی در طول فصول مختلف سال تهیه گردید. حوزه آبخیز نکارود به دلیل کوهستانی بودن و همچنین شیب زیاد، رواناب به‌سرعت تشکیل شده و در ارتفاعات پایین‌تر به داخل رودخانه نکارود ریخته و در جاهایی که توپوگرافی اجازه دهد سطح وسیعی را به‌صورت سیل در بر می‌گیرد. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که دقت مدل SVM (ماشین بردار پشتیبان) در شناسایی مناطق دارای استعداد سیل‌گرفتگی حوزه آبخیز نکا در استان مازندران ۹۶/۶ درصد است. بیشتر مناطق مسکونی و کشاورزی داخل حوضه، در مناطقی احداث شده است که دارای شیب کم و از نظر انحاء، مسطح هستند. به همین خاطر در صورت وقوع سیل موجب خسارت‌های زیادی می‌شود. مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع سیل طبق روش ماشین بردار پشتیبان عوامل فاصله از رودخانه، دما، بارندگی، تراکم رودخانه، شاخص توان آبراهه و کاربری اراضی به ترتیب ۰/۳۵۵، ۰/۱۰۸، ۰/۱۰۹، ۰/۰۸،

۰/۰۵ و ۰/۰۴ در منطقه مطالعاتی داشته‌اند. این نتایج با نتایج عرب عامری وهمکاران (۱۳۹۶) با عنوان پهنه‌بندی سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بیزین-فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای حوزه آبخیز نکا مطابقت کامل داشته است. برای فاکتور فاصله، درکل، با افزایش فاصله از رودخانه احتمال رخداد وقوع سیل کمتر می‌گردد. انتخاب ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در وقوع سیل آن است که سیل در ارتفاعات پایین‌تر از سطح دریا اتفاق می‌افتد و در ارتفاعات بالا احتمال رخداد سیل بسیار کم می‌باشد. با بررسی فاکتور بارندگی می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش ارتفاع، احتمال بارندگی بیشتر می‌گردد (که توسط روی هم انداختن لایه بارندگی با توپوگرافی نیز این نتیجه حاصل می‌شود) و از طرف دیگر احتمال وقوع سیل در ارتفاعات بالا کمتر رخ می‌دهد. فاکتور تراکم رودخانه، درکل، با افزایش این شاخص احتمال رخداد وقوع سیل بیشتر می‌گردد. کاربری اراضی از دیگر فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل می‌باشد، زیرا نوع کاربری اراضی بر روی نفوذ رواناب و یا تشدید سرعت آن مؤثر می‌باشد. به دنبال تغییر پارامتر کاربری اراضی توسط فعالیت‌های انسانی، توان آبراهه نیز کم شده است و در نتیجه به-عنوان پارامتر مهمی در وقوع سیل دخالت دارد. این نتایج با نتایج تهرانی وهمکاران (۲۰۱۳) و یوسف وهمکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل SVM دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که مناطق حساس به سیل‌گیری، بیشتر در بخش‌های شمالی و شمال غرب حوزه و در مناطقی قرار گرفته است که تمرکز سکونتگاه‌های انسانی بیشتر است؛ درحالی‌که مناطق مرکزی حوزه که دارای پوشش گیاهی متراکم است، حساسیت کمی نسبت به سیل‌گیری دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و محققان برای انجام اقدام‌های مناسب به‌منظور جلوگیری و کاهش خطر سیل‌گیری در آینده کمک کند. همچنین می‌توان از آن به‌منظور شناسایی مناطق مناسب و امن برای توسعه‌های عمرانی استفاده کرد.

منابع

- اسماعیلی مهدی (۱۳۹۱)، مفاهیم و تکنیک‌های داده کاوی، انتشارات دانشجو، چاپ اول، ۳۱۵ صفحه.
- امیدوار کمال، کیان‌فر آمنة، عسکری شمس‌الله (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز کنجانچم، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۷۲، صص ۷۳-۹۰.
- امیراحمدی ابوالقاسم، بهنیافر ابوالفضل، ابراهیمی مجید (۱۳۹۱)، ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۵، شماره ۱۶، صص ۱۷-۳۲.
- ثروتی محمدرضا، رستمی اکبر، خدادادی فاطمه (۱۳۹۳)، امکان‌سنجی وقوع سیل در حوزه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) به روش CN، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هفتم، شماره ۲۵، صص ۱۳-۲۶.
- ثقفی بهرام، فرازجو حسن، سپهر عادل، نجفی‌نژاد علی (۱۳۸۵)، بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوزه آبریز سد گلستان، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۲، شماره ۱، صص ۱۸-۲۸.
- حسن‌زاده نفوتی محمد، خواجه‌بافقی حبیب‌الله (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطان بافق)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره هفتم، شماره ۱۴، صص ۲۹-۳۷.
- دلایل‌اوغلی علی، فتحی محمد، خوشدل کاظم (۱۳۹۶)، کاربرد روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندشاخصه در برآورد پتانسیل سیل‌خیزی با تأکید بر عوامل ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوزه رودخانه آجرلوچای)، فضای جغرافیایی، دوره ۱۷، شماره ۵۹، صص ۶۷-۸۲.

رضوی احمد (۱۳۸۷)، اصول تعیین حریم منابع آب، انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، چاپ اول، ۳۳۶ صفحه.
عرب عامری علیرضا، پورقاسمی حمیدرضا، شیرانی کورش (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بی‌زین - فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا- استان مازندران)، اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۲، صص ۴۴۷-۴۶۲.

عمادالدین سمیه (۱۳۹۲)، بررسی تغییر سطح اساس نکارود تحت تأثیر نوسانات سطح دریای خزر و زمین‌ساخت البرز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۳، شماره ۱۰، صص ۸۱-۶۶.

غلامی محسن، اجل‌لوئیان رسول (۱۳۹۶)، مقایسه‌ی روش‌های انتخابی تجربی و روش‌های آماری و شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی در مخزن سد بهشت‌آباد)، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۲، صص ۳۷۸-۳۶۳.

قلی‌زاده ایلا، قنواتی عزت‌الله، افشارمنش حمیده، امان‌اله‌پور حجت (۱۳۹۶)، کارایی مدل فازی در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنگمار، فضای جغرافیایی، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص ۲۴۵-۲۲۷.

ولی‌زاده کیوان (۱۳۸۶)، کاربرد GIS در پهنه‌بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود لیقوان)، فضای جغرافیایی، سال ۷، شماره ۲۰، صص ۱۶۹-۱۵۳.

Chen, W., Pourghasemi, H.R., Kornejady, A., Zhang, N., (2017). Landslide spatial modeling: Introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning technique, *Geoderma*, 305(1), 314-327.

Gee, M.D., (1992), Classification of Landslide Hazard Zonation Methods, and a Test of Predictive Capability, 6th International Symposium on Landslides: Christchurch, New Zealand, 947- 952.

Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A., Chen, W., (2018). Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China, *Science of the Total Environment*, 625: 575-588.

Nampak, H., Pradhan, B., Manap, M.A., (2014). Application of GIS-based data-driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation, *Journal of Hydrology*, 513: 283-300.

Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea Region of Turkey). *Geomorphology*, 94: 401-418.

Oh, H.J., Pradhan, B., (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, *Computer & Geosciences*, 37: 1264-1276.

Patra, J.P., Kumar, R., Mani, P., (2015). Combined fluvial and pluvial flood inundation modeling for a project site, *Procedia Technology*, 24: 93-100.

Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi, S.M., Aghda, C., Pradhan, B., (2012). GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran), *Arabian Journal of Geosciences*, 7: 1857-1878.

Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., (2010), Modeling Susceptibility to Landslides Using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, 115: 172-187.

Sanyal, J., Lu, X.X., (2004). Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review, *Natural Hazards*, 33: 283-301.

Shafapour Tehrany, M., Pradhan, B., Mansor, Sh., Noordin, A., (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types, *Catena*, 125: 91-101.

Shafapour Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using a rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS, *Journal of Hydrology*, 504: 69-79.

Shafapour Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, S., Ahmad, N., (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types, *Catena*, 125: 91-101.

Shafizadeh-Moghadam, H., Valavi, R., Shahabi, H., Chapi, K., Shirzadi, A., (2018). Novel forecasting approaches using combination of machine learning and statistical models for flood susceptibility mapping, *Journal of Environmental Management*, 217(1): 1-11.

Statnikov, A., Hardin, D., Guyon, I., Aliferis, C.F., (2011). A Gentle Introduction to Support Vector Machines in Biomedicine, Volume 1: Theory and Methods, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 179 pp.

Swets, J.A., (1988), Measuring the accuracy of diagnostic systems, *Science*, 240: 1285-1293.

Xiao, Y., Yi, Sh., Tang, Zh., (2017). Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference, *Science of the Total Environment*, 599-600: 1034-1046.

Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S., Al- Katheri, M.M., (2016). Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia, *Landslides*, 13(5): 839-856.

Zhu, C., Wang. X., (2009). Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area, International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 187: 342- 346.

Research Article

Flood Susceptibility Mapping Using a Support Vector Machine Models (SVM) and Geographic Information System (GIS)

Ali Cheraghi Ghalehsari¹, Mahmoud Habibnejad Roshan^{2*}, Sayed Hussein Roshun³

1. M.Sc. Graduate in Water Engineering, Aban Haraz Institute of Higher Education, Amol, Iran

2*. Professor of Watershed Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3. Ph.D. candidate in Watershed Engineering and Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 23-07-2019

Final Revised: 07-06-2020

Accepted: 06-07-2020

Abstract

Preparing a flood susceptibility map is necessary and the first step in reducing the damage caused by floods. Due to a lack of information in most of the basins, many researches use data mining techniques for hydrological studies, especially floods. The aim of the study is to identify areas with flood susceptibility using a support vector machine (SVM) in the Nekaroud basin. For this purpose, 12 geomorphologic, hydrological and physiographic parameters including slope, aspect, elevation classes, temperature, land use, rainfall, density and distance from the fault, density and distance from the drainages, density and distance from the road, which are provided in the ArcGIS, SAGA GIS and ENVI software's environments are applied. The GPS device was also used to acquire flood points. Finally, all variables and flood points were entered into the R software in ASCII format with the same pixel size (12.5 m). To evaluate model accuracy, ROC was used in the R software environment. The results of the evaluation showed that the SVM model has a good accuracy in identifying flood susceptibility areas in the study area. In addition, the results of this study showed that flood susceptibility areas are more in the northern and northwest regions of the basin and in portions where the concentration of human settlements is higher, while the central regions of the basin with dense vegetation have a low sensitivity to flooding. The results of this study can help planners and researchers to do appropriate actions to prevent and reduce future flood risks. It can also be used to identify suitable and safe areas for construction development.

Keywords: Flood Susceptibility Map, Support Vector Machine, Data Mining, ROC, Nekaroud basin.

* Corresponding Author Email: m.habibnejad@sanru.ac.ir

References

References (in Persian)

- Amir Ahmadi, A., Behnifeer, A., Ebrahimi, M., (2012). Micro-zoning of flood risk in the city of Sabzevar in line with urban sustainable development. *Journal of Environmental Monitoring*, 5(16), pp.17-32. [In Persian]
- Arab Ameri, A., Pourghasemi, H.R., Shirani, K., (2017). Flood susceptibility zonation using new ensemble Bayesian-AHP methods (Case study: Neka Watershed, Mazandaran Province), *Eco Hydrology*, 4(2), pp.447-462. [In Persian]
- Cervati, M.R., Rostami, A., Khodadadi, F., 9 (2014). Feasibility study of flood occurrence in Lilanchay watershed (Maragheh) using CN method, *Journal of Natural Geographic*, the seventh year, issue 25, pp.26-13. [In Persian]
- Dalal Ughli, A., Fathi, M., Khoshdel, K., (2017). Application of new multi-criteria decision-making methods for the estimation of flooding potential with emphasis on geomorphic factors (Case Study: Ajarlu Basin), *Geographic Space*, 17(59), pp.67-82. [In Persian]
- Emadodin, S., (2014). A Study of Base Level Change of Neka Road affected by the Caspian Sea and Alborz Tectonics Level of Fluctuations, *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 3(10), pp.66-81. [In Persian]
- Gholami, M., Ajalloeian, R., (2017). Comparison between Selected Experimental Methods and Statistical and Artificial Neural Network for Landslide Hazard Zonation Case Study: Behesht Abad Dam Reservoir, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 49(2), pp.363-378. [In Persian]
- Gholizadeh, A., Ghanavati, E., Afsharmanesh, H., Amanullahpour, H., (2018). Fuzzy Model Efficiency on Flooding Potential in the Basin of Zangmar, *Geographic Space*, 17(60), pp.227-245. [In Persian]
- Hassanzadeh Nafooti, M., Khajebafghi, H., (2016). Flood Hazard Zoning Using Multiple Criteria Decision Analysis System (Case Study: Sheytoor Watershed in Bafgh), *Journal of Watershed Management Research*, 17(14), pp.29-37. [In Persian]
- Ismaili, M., (2012), *Data Mining Concepts and Techniques*, Daneshjoo Publications, First Edition, 315 pages. [In Persian]
- Omidvar, K., Kianfar, A., Asgari, Sh., (2010). Zoning the Flood-Producing Potentials of Konjancham Basin, *Physical Geography Research*, 42(72), pp.73-90. [In Persian]
- Razavi, A., (2008). *Principles of Resource Determination*, Water and Power Industry University (Shahid Abbaspour) Publication, First Edition, 336 Pages. [In Persian]
- Saghafian, B., Farazjoo, H., Sepehry, A., Najafinejad, A., (2006). Effects of Land Use Change on Floods in Golestan Dam Drainage Basin, *Iran-Water Resources Research*, 2(1), pp.18-28. [In Persian]
- Valizadeh, K., (2007). Application of GIS in flood hazard zonation (Case study: Lighvan River Basin), *Geographic Space*, 7(20), pp.153-169. [In Persian]

References (in English)

- Chen, W., Pourghasemi, H.R., Kornejady, A., Zhang, N., (2017). Landslide spatial modeling: Introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning technique, *Geoderma*, 305(1), 314-327.
- Gee, M.D., (1992), Classification of Landslide Hazard Zonation Methods, and a Test of Predictive Capability, 6th International Symposium on Landslides: Christchurch, New Zealand, 947- 952.
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilija, I., Liu, J., Zhu, A., Chen, W., (2018). Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China, *Science of the Total Environment*, 625: 575-588.
- Nampak, H., Pradhan, B., Manap, M.A., (2014). Application of GIS-based data-driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation, *Journal of Hydrology*, 513: 283-300.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea Region of Turkey). *Geomorphology*, 94: 401-418.
- Oh, H.J., Pradhan, B., (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, *Computer & Geosciences*, 37: 1264-1276.
- Patra, J.P., Kumar, R., Mani, P., (2015). Combined fluvial and pluvial flood inundation modeling for a project site, *Procedia Technology*, 24: 93-100.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi, S.M., Aghda, C., Pradhan, B., (2012). GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran), *Arabian Journal of Geosciences*, 7: 1857-1878.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., (2010), Modeling Susceptibility to Landslides Using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, 115: 172–187.
- Sanyal, J., Lu, X.X., (2004). Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review, *Natural Hazards*, 33: 283-301.
- Shafapour Tehrani, M., Pradhan, B., Mansor, Sh., Noordin, A., (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types, *Catena*, 125: 91-101.
- Shafapour Tehrani, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using a rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS, *Journal of Hydrology*, 504: 69-79.

- Shafapour Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, S., Ahmad, N., (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types, *Catena*, 125: 91-101.
- Shafizadeh-Moghadam, H., Valavi, R., Shahabi, H., Chapi, K., Shirzadi, A., (2018). Novel forecasting approaches using combination of machine learning and statistical models for flood susceptibility mapping, *Journal of Environmental Management*, 217(1): 1-11.
- Statnikov, A., Hardin, D., Guyon, I., Aliferis, C.F., (2011). *A Gentle Introduction to Support Vector Machines in Biomedicine, Volume 1: Theory and Methods*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 179 pp.
- Swets, J.A., (1988), Measuring the accuracy of diagnostic systems, *Science*, 240: 1285-1293.
- Xiao, Y., Yi, Sh., Tang, Zh., (2017). Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference, *Science of the Total Environment*, 599-600: 1034-1046.
- Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S., Al- Katheeri, M.M., (2016). Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia, *Landslides*, 13(5): 839-856.
- Zhu, C., Wang. X., (2009). Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area, *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 187: 342- 346.