

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل MFFPI (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شفارود، استان گیلان)

موسی عابدینی^{۱*}، طیبه بابایی اولم^۲، امیرحسام پاسبان^۳

۱. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Email: Abedini@uma.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

چکیده

سیلاب‌های ناگهانی پاسخ هیدرولوژیکی عوامل فیزیوگرافی حوضه به رخداد بارش‌های سنگین است و وقوع آن‌ها سبب خسارات‌های مالی و جانی می‌گردد. همچنین به دلیل ماهیت پیچیده سیلاب ناگهانی، پیش‌بینی آن‌ها با دشواری زیادی روبه‌رو است و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز نیز نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری آن‌ها دارد. مدل MFFPI با استفاده از پارامترهای فیزیوگرافی حوضه‌ها به ارزیابی خطر سیلاب ناگهانی می‌پردازد. حوضه آبخیز شفارود به دلیل شرایط فیزیوگرافی و رخداد بارش‌های سنگین مستعد وقوع سیلاب ناگهانی است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل MFFPI در حوضه آبخیز شفارود، استان گیلان می‌باشد. در این راستا جهت دستیابی به اهداف پژوهش از ۶ پارامتر مدل MFFPI شامل پارامترهای انحناء دامنه، شیب، تراکم جریان، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی استفاده شد. بدین منظور جهت استخراج و تهیه نقشه‌های عامل از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان رضوانشهر (اخذ شده از سازمان منابع طبیعی) استفاده گردید. در گام بعد در محیط Arc Map اقدام به تولید نقشه‌های مذکور گردید. در نهایت براساس جدول امتیازدهی مدل MFFPI به هریک از نقشه‌های استخراج شده با استفاده از افزونه Raster Calculator وزن مربوط به کلاس طبقه‌بندی‌ها داده شد و لایه‌های وزنی پارامترهای انحناء دامنه، شیب، تراکم جریان، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی تولید شدند. در گام آخر نیز با تلفیق ۶ پارامتر مدل مورد مطالعه، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی برای حوضه آبخیز شفارود در ۵ کلاس (خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تهیه و تولید شد. نتایج پهنه‌بندی نهایی سیلاب نشان داد که مناطق بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی حوضه از پتانسیل خطر خیلی زیاد و زیاد برخوردار بود و در مقابل قسمت‌های مرکزی حوضه نیز از پتانسیل خطر متوسط و کم را به‌خود اختصاص داد. نتایج این پژوهش می‌تواند مدیران و مسئولان ذیربط را در جهت شناسایی و مقابله با خطرات احتمالی سیلاب در آینده به خصوص مناطق دارای پتانسیل خطر سیلاب خیلی زیاد یاری نماید تا با اتخاذ تصمیمات صحیح مانع خسارات مالی و جانی برای منطقه مورد مطالعه گردد.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، کاربری اراضی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، MFFPI، حوضه آبخیز شفارود.

مقدمه

بی‌شک یکی از مهم‌ترین، گسترده‌ترین، اشکال مخاطرات طبیعی کشورمان سیلاب می‌باشد و شناخت نواحی مستعد وقوع سیلاب، از اقدامات مهم و اساسی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه می‌باشد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱). سیل یک پدیده جهانی است که باعث خسارات گسترده اقتصادی و تلفات انسانی می‌شود و زمانی رخ می‌دهد که آب از بستر رودخانه ناشی از سیلاب‌های ناگهانی با دامنه بالا فراتر رود. همچنین به دلیل افزایش آب‌های زیرزمینی یا اشباع بیش از حد سیستم‌های زهکشی اتفاق می‌افتد (Tincu et al., 2018). یکی از بزرگ‌ترین و رایج‌ترین اشکال مخاطرات طبیعی سیلاب می‌باشد و شناخت نواحی مستعد وقوع سیلاب، از اقدامات اساسی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای محسوب می‌گردد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲). سیل ناگهانی عبارت است از جاری شدن سریع آب بر روی زمین ناشی از باران شدید یا رهاسازی ناگهانی آب اشباع‌شده (مثل شکستن سد یا خاکریز) در مدت زمان کوتاه (معمولاً در عرض چند دقیقه تا چند ساعت، مقیاس زمانی که آن را از سیلاب‌های رودخانه‌ای متمایز می‌سازد) (Hong et al., 201). سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که جامعه معاصر در معرض آن قرار دارد و باعث خسارات انسانی، اقتصادی و زیست محیطی در سطح جهانی را به همراه دارد. همچنین یکی از رایج‌ترین انواع بلایای طبیعی است (Yassin et al., 2023) که تقریباً یک سوم خسارات اقتصادی در اروپا ناشی از این پدیده است (EEA, 2016). اگرچه عامل اصلی ایجاد سیل یک عامل اقلیمی (بارندگی) و پاسخ هیدرولوژیکی بسیار متفاوت است اما بسته به ویژگی‌های فیزیوگرافی (شیب، بافت خاک، پوشش زمین، نفوذپذیری سنگ‌ها و انحنای نیم رخ) منطقه آسیب‌دیده است. آمارهای مختلف نشان می‌دهد که خطر سیل در طول زمان در حال افزایش است، طبق پایگاه داده حوادث اضطراری (EM-DAT) سیلاب ۴۴/۲۸ درصد از ۷۳۴۸ رویداد فاجعه بار در جهان را تشکیل می‌دهند که در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی باعث خسارت ۲/۹۷ تریلیون دلاری و مرگ ۷ میلیون نفر شده است (Wang et al., 2023). این مبلغ می‌تواند به ۱ تریلیون دلار خسارت در هر سال تا سال ۲۰۵۰ برسد و در میان انواع سیلاب‌ها، سیل‌های ناگهانی در نتیجه بارندگی شدید و به دلیل تجمع و انتشار ناگهانی رواناب از بالادست به پایین دست به وجود می‌آیند (Yao et al., 2016). وقوع این نوع سیلاب‌ها معمولاً در بهار و تابستان به دلیل برهم‌کنش سریع هیدرولیکی حوضه آبخیز با بارندگی شدید رخ می‌دهد که منشأ بسیاری از سیلاب‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک رگبارهای با شدت زیاد و تداوم نسبتاً کوتاه (بدری و همکاران، ۱۳۹۵) و از طرفی دیگر به دلیل تعامل ویژگی‌های توپوگرافی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی است (Abuzied et al., 2016). آمار سیل‌های ناگهانی حاکی از آن است که طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، ۶۹۵ مورد سیل در سراسر جهان اتفاق افتاده است که منجر به کشته شدن ۵۷۰۰ نفر و ۶۶/۹ میلیارد دلار خسارت اقتصادی شده است (Yao et al., 2016). در ایران نیز وقوع سیلاب‌های ناگهانی در مارس ۲۰۱۹ باعث کشته شدن ۷۸ نفر، مجروح شدن ۱۰۷۶ نفر و آواره شدن ۳۰۰ هزار نفر شد (شهابی و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین آنچه بر اهمیت وقوع رخداد سیلاب می‌افزاید قرار گرفتن مراکز انسانی در محدوده‌های سیلابی است، وجود چنین مراکزی در حوضه‌های سیلابی علاوه بر افزایش تولید رواناب سطحی، خطرات زیادی را نیز به همراه دارد و زمانی می‌توان خسارت سیل را به عنوان یک مشکل طبیعی به حداقل رساند که قبل از وقوع اقدامات اساسی و برنامه‌ریزی شده برای پیشگیری و کنترل آن انجام شود (محمدی و همکاران، ۱۴۰۱). از این‌رو اسمیت روشی (FFPI) را برای شناسایی مناطق با پتانسیل انتقال سیلاب‌های ناگهانی، توسعه داده است. روش FFPI توسط اسمیت (Smith, 2018)

در پروژه سیلاب ناگهانی در منطقه غربی ایالات متحده آمریکا آغاز و برای مطالعات سایر مناطق در ایالات متحده به کار برد. هدف از مدل FFPI توصیف کمی خطر سیل ناگهانی برای یک منطقه معین بر اساس ویژگی‌های فیزیوگرافی آن مانند شیب، پوشش زمین، کاربری زمین و نوع بافت خاک منطقه مورد مطالعه است. بنابراین مدل FFPI به کاربر این امکان را می‌دهد تا ببیند کدام زیرحوضه‌ها نسبت به سایرین مستعد سیل ناگهانی هستند. بنابراین، FFPI را می‌توان به ابزارهای آگاهی موقعیتی اضافه کرد که می‌تواند برای ارزیابی خطر سیل ناگهانی استفاده شود (Zogg and Deitsch, 2018). تاکنون مطالعات زیادی در خصوص پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل MFFPI در خارج و دخل کشور انجام شده است برای مثال، مینیا^۱ در بررسی حوضه آبریز باسکا در رومانی با FFPI به این نتیجه رسید که بیشترین خطر سیلاب در قسمت‌های پایین دست حوضه با تراکم جمعیت بالاست. برکن و ریتگن^۲ (۲۰۱۶)، در پژوهشی در حوضه آبریز تلیجن با مدل FFPI نشان دادند که بیشترین خطر سیلاب منطبق بر مناطق با پوشش گیاهی کم است. بیشت^۳ و همکاران (۲۰۱۸)، در پراداش هند با بهره‌گیری از GIS and RS دریافتند که بخش وسیعی از حوضه مستعد خطر زیاد سیلاب است. پوپا^۴ و همکاران (۲۰۲۰)، در حوضه آبریز مولدوا به روش FFPI نشان دادند که مناطق با تغییر کاربری اراضی آن‌هم از نوع جنگل زدایی بیشترین خطر سیلاب ناگهانی را دارند. همچنین در دیگر نقاط جهان محققانی همچون اوسای^۵ و همکاران (۲۰۲۱) در کشور غنا، السود و عثمان^۶ (۲۰۲۲) در مکه، و یاسین^۷ و همکاران (۲۰۲۳) در مالزی از جمله پژوهشگرانی هستند که با استفاده از مدل MFFPI و استفاده از مدل‌های وزنی و تکنیک‌های GIS در محدوده مورد مطالعه به نتایج یکسانی دست یافتند. در داخل نیز، پروین (۱۳۹۸)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی بر اساس مدل MFFPI در حوضه اسلام‌آباد غرب پرداخت. نتایج ایشان نشان داد که نقشه نهایی پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی در مرحله اول نشان می‌دهد که ۴۵ درصد مساحت حوضه مورد مطالعه در پهنه پتانسیل خطر قرار دارد. عابدینی و بهشتی جاوید (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز ليقوان چای را با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که بخش‌های جنوبی حوضه با قرارگیری در پهنه‌های با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد، به‌عنوان سیل‌خیزترین بخش‌های حوضه معرفی شده‌اند و به ترتیب ۱۱ و ۲۳/۶ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شوند. عابدینی و همکاران (۱۳۹۶) با هدف پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین‌شهر مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که عامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به ترتیب بیشترین تاثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند. یمانی و عباسی (۱۳۹۹)، به منظور ارزیابی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبریز گدارچای بر اساس پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در روش پتانسیل سیل‌خیزی که بر اساس ۱۲ پارامتر مورفومتری محاسبه شده زیر حوضه‌های شیخان‌چای و صوفیان‌چای پتانسیل زیاد سیل‌خیزی زیر حوضه چشمه دول پتانسیل متوسط و زیر حوضه‌های گدارچای و نهر نلیوان پتانسیل کمی برای سیل‌خیزی دارند. پروین (۱۳۹۹)، ارزیابی و

1- Minea

2- Borcan and Retegan

3- Bisht

4- Popa

5- Osei

6- El-Saoud and Othman

7- Yassin

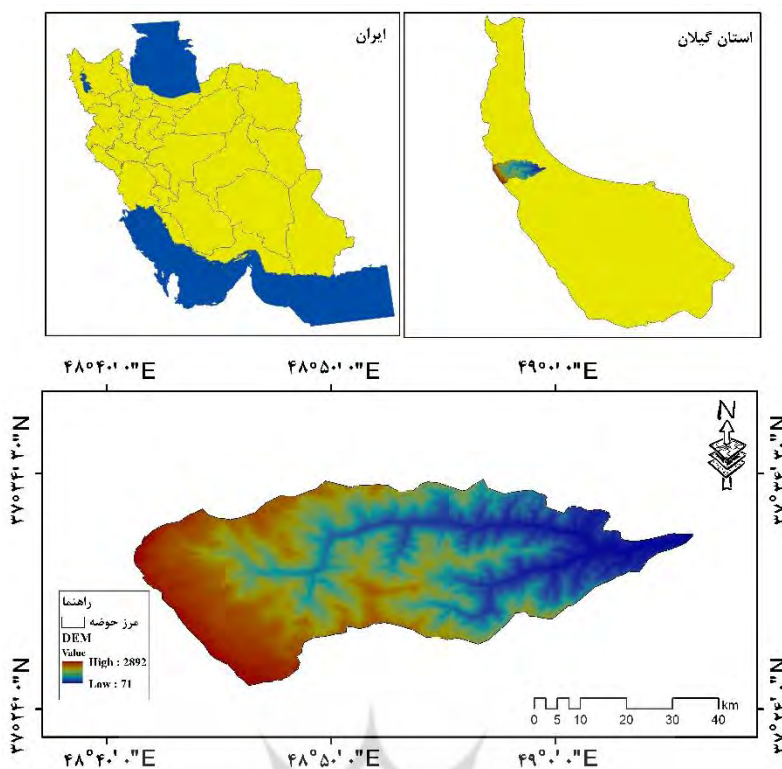
پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی بر اساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک در حوضه قصر شیرین پرداخت. نتایج ایشان نشان داد که بر اساس روش محاسبه درجه خطر، ۹۳ درصد مساحت حوضه قصر شیرین پتانسیل خطر زیاد و شدید سیلاب ناگهانی دارد. همچنین براساس مدل MFFPI پهنه‌های با پتانسیل خطر زیاد و خیلی زیاد سیلاب ناگهانی ۶۰ درصد مساحت حوضه و پهنه‌های با خطر کم و خیلی کم نیز ۲۰ درصد مساحت این حوضه را دربر می‌گیرد. داوند و همکاران (۱۴۰۰)، پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام را با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی انجام دادند. نتایج آن‌ها حاکی از این بود که سیل‌خیزی شهر ایلام ناشی از عوامل محیطی شامل شیب زیاد و تغییر کاربری اراضی است. محمددوست و شمس‌نیا (۱۴۰۲)، در پژوهشی به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز در شهرستان دیر در استان بوشهر را با استفاده از GIS-AHP مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که امتداد ارتفاعات شمالی، شمال شرقی تا شرق شهرستان دیر و ارتفاعات میانی شهرستان و مرکز آن، پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارد. رضایی‌مقدم و همکاران (۱۴۰۲)، با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز اوجان‌چای با استفاده از مدل MFFPI انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مناطق دارای پتانسیل خطر کم و خیلی کم در مناطق کوهستانی قرار دارند که این سطوح به دلیل شیب زیاد برای انباشت و تجمع آب مناسب نیستند همچنین مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد در مناطق هموار و اطراف بستر رودخانه اوجان‌چای واقع شده‌اند. در پژوهشی دیگر عابدینی و همکاران (۱۴۰۲)، به بررسی وقوع سیلاب شهرستان مشکین‌شهر پرداختند. نتایج حاصل از هیدروگراف سیلاب نشان نشان داد که با افزایش دوره بازگشت میزان نفوذ در حوضه کاهش پیدا کرده است و همچنین دبی سیلاب زودتر اتفاق افتاده است. از طرفی با افزایش دوره بازگشت زمان اوج هیدروگراف نیز کاهش یافته است. در مقابل با افزایش دوره بازگشت زمان پایه هیدروگراف و زمان فروکش سیل نیز افزایش می‌یابد. بنابراین حوضه آبخیز سفارود یکی از حوضه‌های آبخیز مهم در استان گیلان است. این حوضه آبخیز با مساحت ۱۰۸۴ کیلومتر مربع، از کوه‌های البرز در شمال تا دریای خزر در جنوب امتداد دارد. حوضه آبخیز سفارود دارای ویژگی‌های فیزیوگرافی متنوعی است که آن را مستعد وقوع سیلاب می‌کند. سیلاب یکی از خطرات طبیعی اصلی در حوضه آبخیز سفارود است. بنابراین پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب می‌تواند به شناسایی مناطق پرخطر وقوع سیلاب کمک کند. این امر می‌تواند به متخصصان در زمینه مدیریت مخاطرات طبیعی کمک کند تا اقدامات پیشگیرانه را در این مناطق انجام دهند. مدل MFFPI یک روش جدید و امیدوارکننده برای پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب است، که با استفاده از عوامل فیزیوگرافی مختلف، خطر وقوع سیلاب را در یک منطقه ارزیابی می‌کند. با توجه به دلایل ذکر شده، انجام پژوهش در رابطه با پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل MFFPI در حوضه آبخیز سفارود ضروری است. این پژوهش می‌تواند به شناسایی مناطق پرخطر وقوع سیلاب در این حوضه آبخیز کمک کند و زمینه را برای کاهش خسارات ناشی از سیلاب فراهم کند.

روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سفارود بین ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه از نصف النهار گرینویچ در نیمکره شرقی و بین ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه از خط استوا و در نیمکره شمالی و در غرب استان گیلان و منطقه تالش واقع شده است. بلندترین قله این حوضه بنام شرف در شمال غرب محدوده مورد مطالعه ۲۸۹۲ متر ارتفاع و پایین‌ترین نقطه آن در محل پایاب حوضه حدود ۷۱ متر از سطح آب‌های آزاد بلندی دارند. بخش وسیعی از این حوضه کوهستانی است و حدود ۸۰ درصد سطح آن را درختان جنگلی می‌پوشاند. این حوضه جزء واحد مورفوتکتونیک البرز - تالش است. حوضه‌های منطقه تالش عموماً کشیدگی غربی - شرقی دارند و حوضه سفارود نیز چنین وضعیتی دارد. پایاب این حوضه حدوداً در ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب رشت قرار گرفته است و با شهرستان رضوانشهر حدوداً ۳/۵ کیلومتر و با کارخانه صنایع چوب و کاغذ ایران چوکا حدوداً یک کیلومتر فاصله دارد. این حوضه از جنوب به شهرستان ماسال (حوضه شاندرمن)، از شمال به شهر پره سر (حوضه لمیر)، از غرب به شهرستان خلخال (حوضه شاهرود)، و نهایتاً از سمت شرق به جاده سراسری انزلی آستارا و دریای خزر محدود می‌گردد. زهکش اصلی حوضه که سفارود نام دارد در محلی به نام پونل (نزدیک جاده سراسری انزلی - آستارا) وارد جلگه میشود و پس از طی ۵ کیلومتر وارد دریای خزر می‌گردد (مهرخو و همکاران، ۱۴۰۲). در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

مدل MFFPI اولین بار به وسیله اسمیت به منظور شناسایی مناطق مستعد سیلاب ناگهانی در ایالات متحده آمریکا ارائه شد (Smith, 2003). در چندین مناطق جغرافیایی مختلف مانند کلرادو، مرکز نیویورک و شمال شرقی پنسیلوانیا مورد بررسی قرار گرفت. هدف FFPI ارزیابی کمی خطر سیلاب در یک حوضه مشخص براساس ویژگی‌های فیزیوگرافی منطقه از قبیل شیب، پوشش زمین، کاربری زمین و نوع بافت خاک است. اسمیت پارامترهای شیب، پوشش/کاربری زمین، بافت خاک و درصد پوشش گیاهی را به کار برد و هریک از پارامترهای مذکور را در ۱۰ کلاس طبقه‌بندی کرد که کلاس ۱ کم‌ترین و کلاس ۱۰ بیش‌ترین وزن موثر در رخداد سیلاب ناگهانی را دارند که معادله (۱) را ارائه کرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۴۵؛ Tincu et al., 2018).

$$\text{FFPI} = (1.5M + L + S + V) / 4.5 \quad \text{رابطه ۱}$$

در فرمول مذکور، M شیب، L کاربری اراضی، S بافت خاک و V میزان پوشش گیاهی است. بعدها بروستر (۲۰۰۹) به عامل پوشش گیاهی ضریب ۰/۵ را افزود اما کروزدلو و سئرو (۲۰۱۰) برای همه پارامترها وزن یکسان (کلاس ۱ تا ۱۰) را در نظر گرفتند. سپس سئرو (۲۰۱۲) با در نظر گرفتن ضریب ۲ برای پارامترهای شیب و کاربری اراضی،

اصلاحاتی به معادله اولیه مدل FFPI افزود که این تغییرات در جدول (۱) قابل مشاهده است.

معادلات مدل FFPI (Tincu et al., 2018).

مدل	معادله مورد استفاده
(Brewster, 2009)	$(1.5M + L + S + 0.5V) / 4$
(Kruzdlo & Ceru, 2010)	$(M + L + S + V) / 4$
(Ceru, 2012)	$(2M + 2L + S + V) / 6$

آخرین اصلاحات مدل FFPI توسط تینکو و همکاران (۲۰۱۸) صورت گرفت که در نسخه اصلاح شده آن شش پارامتر شیب، تراکم جریان، انحنای دامنه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ، پوشش زمین/کاربری اراضی به کار رفته است که به عنوان شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی تصحیح شده (MFFPI) مورد استفاده قرار می گیرد. در نسخه نهایی اصلاح شده هر پارامتر وزن خاص خود را داشته و به پنج کلاس طبقه بندی می شوند. وزن های ۱ و ۵ به ترتیب کم ترین و بیش ترین تاثیر را بر انباشت آب و در نتیجه پتانسیل سیلاب ناگهانی را دارند (جدول ۲) (Tincu et al., 2018).

جدول ۲: نحوه امتیازدهی پارامترهای مدل MFFPI (Tincu et al., 2018).

پارامتر	وزن پارامتر	طبقه	وزن هر طبقه	امتیاز نهایی
شیب (درجه)	۳	۶۰-۱۰	۱	۳
		۸-۱۰	۲	۶
		۶-۸	۳	۹
		۳-۶	۴	۱۲
		۰-۳	۵	۱۵
تراکم جریان	۲/۵	۰-۱	۱	۲/۵
		۱-۲	۲	۵
		۲-۳	۳	۷/۵
		۳-۴	۴	۱۰
		۴-۵	۵	۱۲/۵
انحنای دامنه	۲	(-۱۸)-(-۴۹)	۱	۲
		(-۹)-(-۰/۵)	۲	۴
		(-۰/۵)-(-۰/۵)	۳	۶
		-۰/۵-۱/۵	۴	۸
		۱/۵-۲۳	۵	۱۰
بافت خاک	۱	ماسه-رس	۱	۱
		ماسه ای-لومی-رسی	۲	۲
		بافت های مختلف رسی	۳	۳
		رسی-سیلتی-مواد رس دار	۴	۴

۵	۵			
۱	۱	نهشته آبرفتی	۱	نفوذپذیری سنگ
۲	۲	سازندهای ماسه سنگ، کنگلومرا		
۳	۳	سازندهای مارنی		
۴	۴	سازندهای آهکی		
۵	۵	سنگ‌های آذرین		
۰/۵	۱	جنگل	۰/۵	پوشش/کاربری زمین
۱	۲	مراعات متراکم و نیمه متراکم		
۱/۵	۳	زمین زراعی		
۲	۴	مراعات کم تراکم		
۲/۵	۵	سطوح آبی		

در گام آخر به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای شش گانه شیب، تراکم جریان، انحناء دامنه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی از تصاویر DEM ۳۰ متر، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه بافت خاک تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده خواهد شد. سپس وزن هر یک از پارامترها در هر یک از زیرپارامترهای پنج گانه ضرب و امتیاز نهایی هر لایه در محیط GIS به کمک ابزار Raster Calculator محاسبه می‌شود.

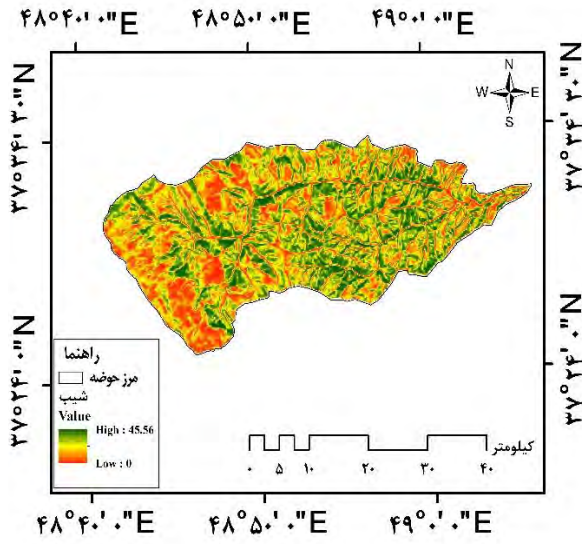
یافته‌ها

تحلیل عوامل مورد مطالعه

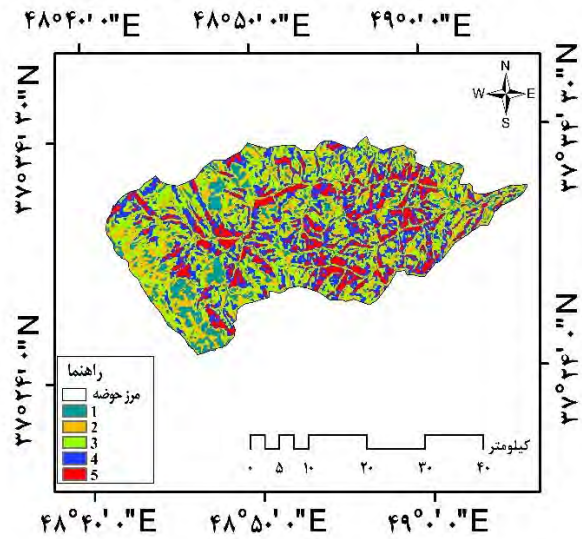
شیب: نواحی شیب‌دار به دلیل ماهیت و پتانسیل زیاد در ایجاد رواناب سریع، تاثیر مهمی در ایجاد سیلاب‌های ناگهانی دارند. به عبارتی نواحی صاف و مسطح به شدت تحت تاثیر سیلاب‌های ناگهانی قرار دارند؛ به طوری که با کاهش شیب، خطر سیلاب افزایش می‌یابد. بنابراین جریان سطحی در نواحی با شیب تند افزایش می‌یابد و در نواحی صاف تجمع می‌یابد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۲؛ AITanni et al., 2023). برای محاسبه تاثیر عامل شیب در تولید سیلاب‌های ناگهانی حوضه آبخیز شفارود، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) ۳۰ متر استر استفاده شد. در گام بعد شیب منطقه مورد مطالعه به صورت درجه و در ۵ کلاس تهیه شد. براساس امتیازدهی جدول ۲، مناطق با شیب بین ۱۰ تا ۶۰ درجه به علت تاثیرشان در افزایش سرعت رواناب، تجمع آب کم شده و در کلاس ۱ قرار می‌گیرند. شیب ۸ تا ۱۰ درجه در کلاس ۲، شیب ۶ تا ۸ درجه در کلاس ۳ و شیب ۳ تا ۶ درجه در کلاس ۴ قرار می‌گیرند. در حالی که در مناطق با شیب ۰ تا ۳ درجه انباشت آب صورت گرفته و بیشترین امتیاز (۵) را به خود اختصاص می‌دهد که در شکل (۲ و ۳) ارائه شده است. کاربری اراضی تاثیر زیادی بر رخداد سیلاب ناگهانی دارد. برای مثال شهرنشینی سبب افزایش رواناب تا شش برابر مناطق طبیعی می‌شود (۹). از این رو نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه از طریق روش ماشین‌بردار پشتیبان در ۷ کلاس کاربری شامل جنگل با مساحت ۶۷/۵۴ درصد، مراعات با

۳۱/۳۶ درصد، مناطق مسکونی با ۰/۷۸ درصد، اراضی زراعی با ۰/۰۵ درصد، رودخانه با ۰/۱۰ درصد، ساحل ۰/۰۴ درصد، و کاربری جاده با مساحت ۰/۲۰ درصد طبقه‌بندی و نقشه عامل تهیه شد و براساس جدول (۲) امتیازدهی و نقشه وزنی تهیه گردید که در اشکال (۴ و ۵) ارائه شده است. عامل انحناء دامنه نیز بیانگر میزان محدب و یا مقعر بودن دامنه را نشان می‌دهد. مقادیر منفی بیانگر محدب بودن است که از نظر هیدرولوژیکی تجمیع و سرعت رواناب را افزایش و باعث سیلاب می‌شود. از طرفی مقادیر مثبت نشان‌دهنده مقعر بودن دامنه و سیل خیز بودن آن است که در نتیجه انباشت آب در این بخش‌ها زیاد است. این عامل نیز همچون عوامل قبلی از طریق DEM حوضه استخراج و تهیه شد. مقادیر عامل انحناء دامنه برای حوضه مورد مطالعه بین ۱/۵۰- تا ۱/۹۳ به دست آمد که براساس امتیازدهی جدول (۲)، پارامتر انحناء دامنه در ۵ طبقه کلاس‌بندی شد و در شکل‌های (۶ و ۷) نشان داده شده است. ویژگی‌های سنگ‌شناسی در میزان نفوذپذیری آب در درون زمین و در نتیجه تعادل جریان رودخانه و یا سیل‌خیزی تاثیر بسزایی دارند (کیا و همکاران، ۱۳۹۹؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۲). به عبارتی دیگر نفوذپذیری رابطه عکسی با تولید رواناب و ایجاد سیلاب در حوضه آبخیز دارد. بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان رضوانشهر و منابع موجود، نشان‌دهنده تنوع لیتولوژیکی منطقه است. محدوده مورد بررسی در بخش باختری سیستم البرز که به نام بلندی‌های تالش بغرداغ خوانده می‌شود، واقع گردیده است و رودخانه سفارود نیز در بخش جنوبی بلندی‌های تالش جریان دارد. از این رو طبق جدول (۲) امتیازدهی عامل نفوذپذیری سنگ‌ها منطقه مورد مطالعه در ۵ کلاس طبقه‌بندی و نقشه عامل تهیه شد که در شکل (۸ و ۹) نشان داده شده است. عامل تراکم جریان دیگر پارامتر مورد استفاده در پژوهش حاضر است که بیانگر نحوه جمع شدن آب در هر سلول از سطوح مجاور را نشان می‌دهد. سلول‌های با انباشت بالا کانال‌ها و شبکه اصلی رودخانه هستند که مقدار قابلیت جریان آب عبوری بالاتری را نشان می‌دهند. تراکم جریان از طریق لایه DEM و سپس جهت جریان حوضه استخراج شد و طبق امتیازدهی جدول (۲) در ۵ طبقه کلاس‌بندی شد که در حوضه مطالعاتی آبراهه‌های رتبه بالا به دلیل انباشت بیش‌تر جریان آب بیش‌ترین امتیاز (۵) و آبراهه‌های رتبه پایین کم‌ترین امتیاز را (۱) به خود اختصاص می‌دهند. نقشه عامل تراکم جریان حوضه مورد مطالعه در شکل‌های (۱۰ و ۱۱) ارائه شده است.

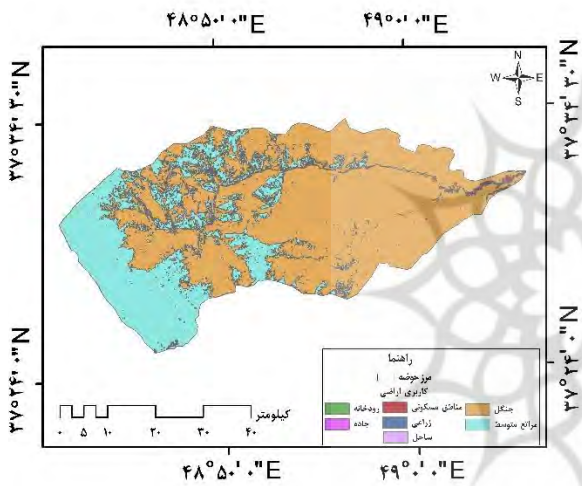
مقدار و سرعت نفوذ رواناب در خاک، عامل مهمی در برآورد سیلاب ناگهانی است. زیرا خاک با کنترل مقدار نفوذ آب و نگهداشت آن بر رخداد سیل اثر می‌گذارد (پروین، ۱۳۹۸). خاک‌های با نفوذپذیری زیاد و نگهداشت مناسب آب سبب کاهش رواناب و سیلاب می‌گردد. حوضه آبخیز سفارود از نظر پراکندگی خاک‌های حوضه بیش‌تر از نوع خاک‌های قهوه‌ای جنگلی، رانکر، خاک‌های سنگین (رسی، لومی) می‌باشد که در بخش جنوبی حوضه بیش‌تر نمایان است. بنابراین این عامل از طریق نقشه بافت خاک که توسط منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان تهیه شده است به دست آمد. براساس لایه تهیه شده، بافت خاک در منطقه مورد مطالعه شامل ۴ طبقه است که طبق جدول امتیازدهی (۲)، ارائه شده است به ترتیب در کلاس‌های ۱ تا ۴ قرار می‌گیرند به دست آمد (شکل ۱۲ و ۱۳).



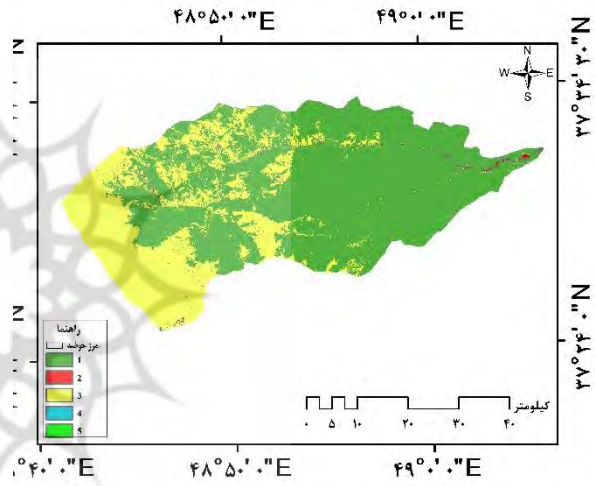
شکل ۲: نقشه شیب حوضه آبخیز شفارود



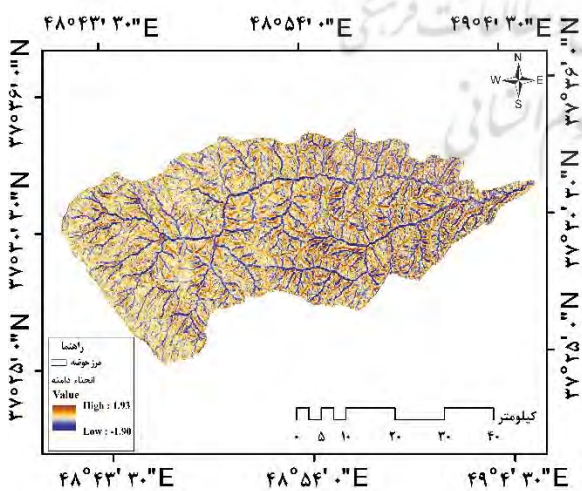
شکل ۳: نقشه وزنی شیب حوضه آبخیز شفارود



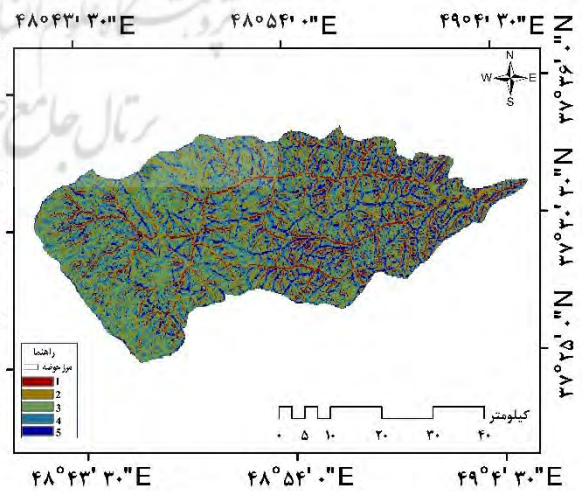
شکل ۴: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز شفارود



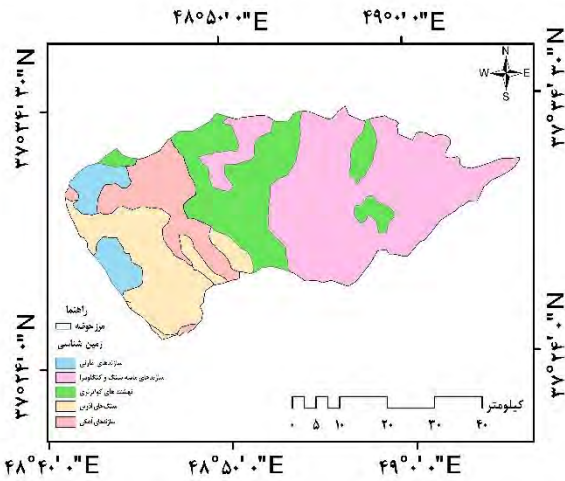
شکل ۵: نقشه وزنی کاربری اراضی حوضه آبخیز شفارود



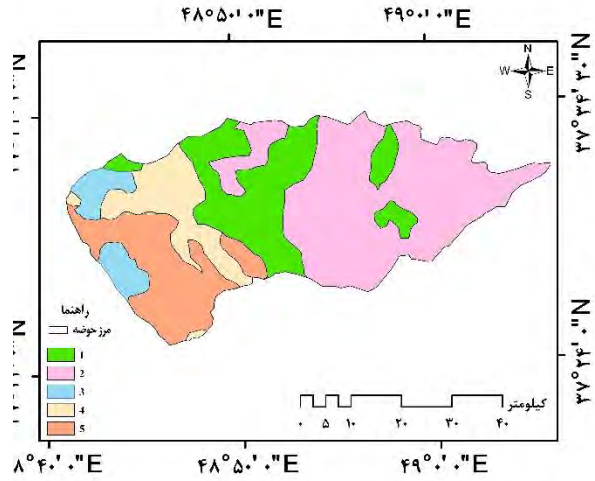
شکل ۶: نقشه انحناء دامنه حوضه آبخیز شفارود



شکل ۷: نقشه وزنی انحناء دامنه حوضه آبخیز شفارود

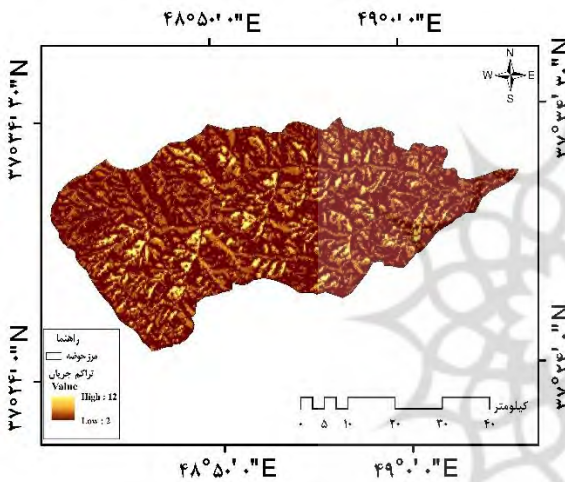


شکل ۸: نقشه سازندهای زمین شناسی حوضه آبخیز شفارود

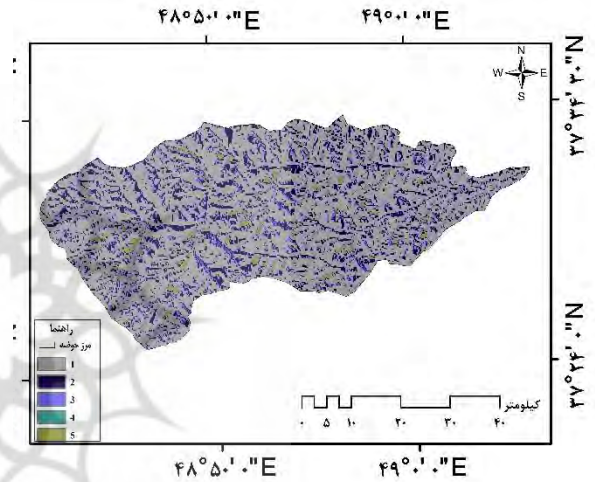


شکل ۹: نقشه وزنی سازندهای زمین شناسی حوضه آبخیز

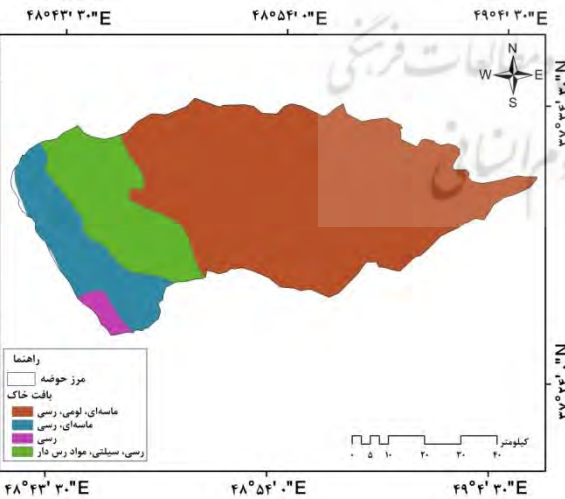
شفارود



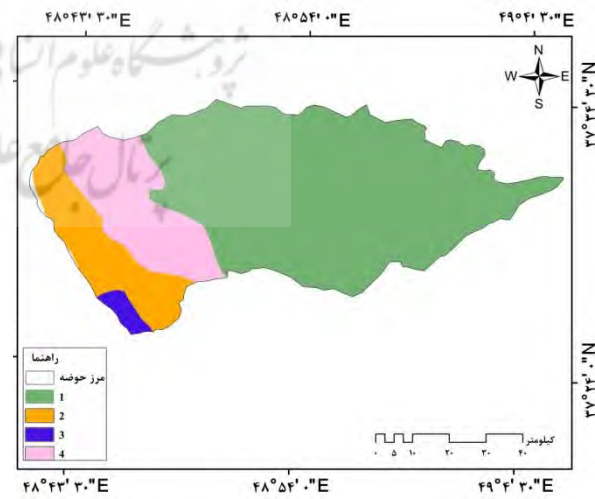
شکل ۱۰: نقشه تراکم جریان حوضه آبخیز شفارود



شکل ۱۱: نقشه وزنی تراکم جریان حوضه آبخیز شفارود



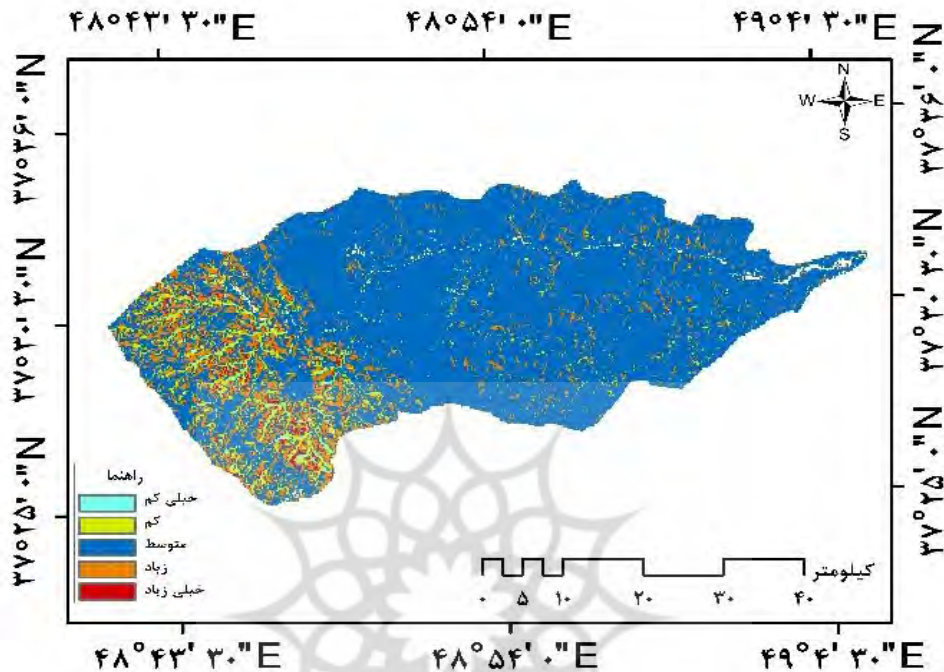
شکل ۱۲: نقشه بافت خاک حوضه آبخیز شفارود



شکل ۱۳: نقشه وزنی بافت خاک حوضه آبخیز شفارود

تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی براساس مدل MFFPI: نقشه سیلاب ناگهانی حوضه آبخیز شفارود براساس عوامل

فیزیوگرافی و مدل MFFPI در محیط Arc Map استخراج و در ۵ پهنه با پتانسیل خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. همچنین طبق نتایج حاصله بخش‌های جنوب و جنوب غربی حوضه از پتانسیل خطر خیلی زیاد و زیاد برخوردار بود و در مقابل قسمت‌های مرکزی حوضه نیز از پتانسیل خطر متوسط و کم را به خود اختصاص داد. در شکل (۱۴) نقشه پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی حوضه آبخیز سفارود ارائه شده است.



شکل ۱۴: نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی براساس مدل MFFPI حوضه آبخیز سفارود

بحث و نتیجه‌گیری

سیلاب یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که متأثر از پارامترهای مختلف ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی است. بنابراین اگرچه که عامل اصلی ایجادکننده سیلاب عامل اقلیمی (بارندگی) است اما پاسخ هیدرولوژیکی به آن بسته به خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه همچون شیب، بافت خاک، پوشش زمین، نفوذپذیری سنگ، انحناء دامنه متفاوت است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۲؛ تینکو و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین در پژوهش حاضر از روش شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی اصلاح‌شده برای بررسی و پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی در حوضه آبخیز سفارود در استان گیلان استفاده شد. در این راستا ابتدا با توجه به ۶ عامل فیزیوگرافیک شامل (انحناء دامنه، شیب، تراکم جریان، کاربری اراضی، بافت خاک و نفوذپذیری سنگ استفاده شد. در این راستا جهت تهیه نقشه انحناء دامنه از لایه DEM ۳۰ متر استر استفاده و در محیط Arc Map اقدام به تهیه نقشه عامل گردید. مقادیر عامل انحناء دامنه برای حوضه مورد مطالعه بین ۱/۵۰- تا ۱/۹۳ به‌دست آمد. در وهله بعد براساس امتیازدهی جدول (۲)، پارامتر انحناء دامنه در ۵ طبقه کلاس‌بندی شد. جهت تهیه نقشه عامل شیب نیز با بهره‌گیری از DEM منطقه اقدام به تهیه نقشه شیب بر حسب درجه گردید و حوضه مورد مطالعه بین ۰ تا ۴۵ درجه به‌دست آمد. و شدت این عامل در

قسمت‌های جنوبی و بخش‌هایی از مرکز حوضه مشهود است. در مرحله بعد نیز طبق جدول ۲، امتیازدهی به کلاس‌های طبقه‌بندی انجام و نقشه وزنی شیب در ۵ کلاس استخراج شد. عامل تراکم جریان نیز همچون عوامل قبلی با استفاده از دم منطقه تهیه و امتیازات طبق جدول ۲ داده شد و در نهایت در ۵ طبقه تهیه شد. در گام بعد نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، پس از انجام تصحیحات اتمسفری اقدام به طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی در ۷ کلاس کاربری شامل (اراضی زراعی، جاده، مناطق مسکونی، مراتع، ساحل، رودخانه و جنگل) تهیه گردیده و براساس جدول ۲، امتیازدهی نقشه وزنی برای عامل مذکور استخراج شد. نقشه‌های بافت خاک و نفوذپذیری نیز از طریق نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان رضوان‌شهر تهیه و براساس جدول امتیازدهی نقشه وزنی عوامل تهیه گردید. در نهایت با تلفیق نقشه‌های وزنی با استفاده از ابزار Raster Calculator در محیط Arc Map اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی حوضه آبخیز شفارود گردید. نقشه حاصل در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید. همچنین طبق نتایج حاصله بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی حوضه از پتانسیل خطر خیلی زیاد و زیاد برخوردار بود و در مقابل قسمت‌های مرکزی حوضه نیز از پتانسیل خطر متوسط و کم را به خود اختصاص داد. بنابراین این حوضه نیازمند اجرای پروژه‌های حفاظتی و مقابله با سیلاب به‌خصوص در مناطق سیل‌خیز است که نیازمند رعایت حریم و همچنین در موارد خاص ایجاد سازه است و در نواحی سیل‌خیز در ارتفاعات حوضه، ایجاد سیل‌بند ضرورت دارد.

منابع

- رضایی مقدم، ح.، کرمی، ف.، ابادری، ک. ۱۴۰۲. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز اوجان چای با استفاده از مدل MFFFPPI، هیدروژئومورفولوژی، ۱۰(۳۶): ۱۴۱-۱۵۷.
- داوند، خ.، شهابی، ه.، سالاری، م. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۷: ۲۰-۱.
- مهرخو، س.، رمضانی، م.، فرشچی، پ.، پناهی، م.، منوری، م. ۱۴۰۲. پیش‌بینی تغییرات عرضه خدمات اکوسیستمی مرتبط با تنوع زیستی تحت تاثیر تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز شفارود استان گیلان، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۵(۷): ۱۰۹-۱۲۴.
- پروین، م. ۱۳۹۹. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۱(۲): ۹۹-۱۰۴.
- یمانی، م.، عباسی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبریز گادر بر اساس پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری، آمایش سرزمین، ۱۲(۱): ۲۰۵-۲۲۴.
- پروین، م. ۱۳۹۸. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی بر اساس مدل MFFFPPI (مطالعه موردی: حوضه اسلام آباد غرب)، ۲(۲): ۱۸۴-۱۶۹.

- بدری، ب.، زارع بیدکی، ر.، هنریخش، ا.، آتشخوار، ف. ۱۳۹۵. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت آباد از نظر پتانسیل سیل خیزی، ۴۸(۱): ۱۴۳-۱۵۹.
- عابدینی، م.، شاه‌محمدی، ن.، پاسبان، ا. ح. ۱۴۰۲. بررسی خطر وقوع سیلاب شهرستان مشکین شهر با استفاده از مدل‌های WMS و HEC-RAS، جغرافیا و روابط انسانی، ۳۶(۳): ۳۷۳-۴۰۱.
- عابدینی، م.، بهشتی جاوید، ا. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز ليقوان‌چای با استفاده از مدل تحلیل شبکه فرآیند و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فضای جغرافیایی، ۱۶(۵۵): ۲۹۳-۳۱۲.
- عابدینی، م.، پیروزی، ا.، آقایی، ل.، استادی، ا. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین شهر با استفاده از مدل ویکور، جغرافیایی سرزمین، ۱۴(۵۶): ۲۱-۳۴.
- عابدینی، م.، فعال‌نذیری، م.، پیروزی، الناز. (۱۴۰۰). برآورد سرعت و زمان سیلاب با استفاده از هیدروگراف واحد، بر اساس خطوط هم‌پیمایش زمانی (مطالعه موردی: حوضه خیاوچای، علوم و فنون آبخاکی، ۴ (۲): صص ۶۲-۸۳.
- عابدینی، م.، فعال‌نذیری، م.، پیروزی، الناز (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تکنیک چند معیاره آراس و هیدروگراف واحد. مطالعه‌ی موردی: حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین شهر. مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲ (۳۵): ۱۱۵-۱۳۷.
- شریفی پیچون، م.، امیدوار، ک.، متذکر، ک. ۱۳۹۸. استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چند متغیره در ارزیابی پتانسیل سنجی سیلاب با تاکید بر پارامترهای هیدروژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه مارن)، مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۱): ۹۲-۷۵.
- محمد دوست، ع.، شمس‌نیا، ا. ۱۴۰۲. شناسایی و پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز با استفاده از GIS-AHP (مطالعه موردی: شهرستان دیر، استان بوشهر)، جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۱(۴۷): ۱۶۷-۱۵۲.
- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., Saleem, T. (2016). Geospatial Risk Assessment of flash floods in Nuweiba Area, Egypt, *Journal Of Arid Environments*, 133, 54-72.
- Al-Tanni, A., Al-Husban, Y., Ayan, A. (2023). Assessment Of Potential Flash Flood Hazards Concerning Land Use/ Land Cover in Aqaba Governorate, Jordan, Using A Multi-Criteria Technique, *The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Sciences*, 26, 17-24.
- AlTanni, A., Al-Husban, Y., Ayan, A. (2023). Assessment Of Potential Flash Flood Hazards Concerning Land Use/ Land Cover in Aqaba Governorate, Jordan, Using A Multi-Criteria Technique, *The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Sci, Society And Environment*, 14(5): 202-221.
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., Soni, S. (2018). Assessment of Flash Flood Vulnerability Zonation Through Geospatial Technique In High Altitude Himalayan Watershed, Himachal Pradesh India, *Remote Sensing Applications: Society And Environment*, 12: 35-47.
- Borcan, M., Retegan, M. (2016). ASSESSMENT OF THE FLOOD OCCURRENCE POTENTIAL IN THE UPPER TELEAJEN RIVER BASIN". *Annals of the University of Oradea, Geography Series/Analele Universitatii din Oradea, Seria Geografie*, 26(1):125-134.
- El-Soud, W., Othman, A. 2022. An Integrated Hydrological And Hydraulic Modelling Approach For Flash Flood hazard Assessment In Eastern Makkah City, Saudi Arabia, *Journal of King Saud University Science*, 34(5):1-12.
- El-Soud, W., Othman, A. (2022). An Integrated Hydrological And Hydraulic Modelling Approach For Flash Flood hazard Assessment In Eastern Makkah City, Saudi Arabia, *Journal of King Saud University-Science*, 34:1-12.
- Hong, Yang; Adhikari, Pradeep & Gourley Jonathan J. (2013). Flash flood, in *Encyclopedia of Natural*

- Hazards”, P.T. Bobrowsky, Editor, Springer: Dordrecht, 15(5): 324-325.
- Learning Approaches For Evaluating Flash Flood Susceptibility, International Journal Of Applied Earth Observations And Geoinformation, 112:1-14.
- Minea, Gabriel. (2013). Assessment of the flash flood potential of Bâsca River Catchment (Romania) based on physiographic factors”. Open Geosciences, 5(3), 344-353.
- Osei, B.K., Ahenkorah, I., Ewusi, A., Fiadonu, E.B. (2021). Assessment of Flood Prone Zones In The Tarkwa Mining Area of Ghana Using a GIS-Based Approach, Environmental Challenges, 3:1-12.
- Popa, C.M., Simion, A.G., Peptenatu, D., Dima, C., Draghici, C.C., Florescu, M.S., Dobrea, C.R., Diaconu, D.C.(2020). Spatial Assessment of Flash Flood Vulnerability In The Moldova River Catchment(N Romania) Using The FFPI, Journal of Flood Risk Management, 16(12):1-10.
- Smith, G.(2010). Development of A Flash Flood Potential Index Using Physiographic Data Sets Within A Geographic Information System, Department Of Geography, The university of Utah.
- Tincu, Roxana; Lazar, Gabriel; Lazar, Iuliana (2018). Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation. Open Geosciences, 10(1): 593-606.
- Wang, L., Cui, Sh., Tang, J., Fang, L., Fang, X., Shewstha, S., Manandhar, B., Huang, J., Nitivattananon, V.(2023). Riverine Flood Risk Assessment With A Combined Model Chain In Southeastern China, Ecological Indicators, 154: 1-11.
- Yao, J., Zhang, X., Luo, W., Liu, Ch., Ren, L. (2022). Applications Of Stacking /Blending Ensemble. 125-132.
- Yassin, N.A.M., Adnan, N.A., Md Sadek, E.S.S.(2023). Analysis of Flash Flood Potential Index (FFPI) And Scenarios Assessment In Shah Alam Using GIS Approach, Journal of The Malaysian Institute of Planners, 21(2): 1-12.

