



تعیین اولویت پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز بابل‌رود (استان مازندران)

کریم سلیمانی و بهروز محسنی

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

چکیده

با توجه به افزایش حوادث سیل در سال‌های اخیر، ارزیابی صحیح خطر سیل یکی از اجزای مهم کاهش سیل در مناطق شهری است. هدف از این تحقیق، ایجاد نقشه‌های به‌روز خطر سیل در حوزه آبخیز بابل‌رود با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و اطلاعات فیزیوگرافی (ارتفاع، مساحت، شیب) است. سپس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و روی هم‌گذاری لایه‌ها (مساحت، شیب، کاربری، تراکم زهکشی)، پتانسیل سیل پهنه‌بندی شد. برای تهیه نقشه خطر وقوع سیل در حوزه آبخیز بابل‌رود، عوامل اصلی مؤثر در بروز سیلاب در منطقه با استفاده از منابع منتشرشده مرتبط و نظر اساتید و کارشناسان متخصص انتخاب و نقشه هر یک از عوامل توسط نرم‌افزار GIS تهیه شد. نقشه نهایی خطر سیل خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل (کاربری اراضی، شیب، ضریب جریان و شدت بارندگی) تهیه شد.

کریم سلیمانی^۱ و بهروز محسنی^۲

۱. استاد مرکز سنجش از دور و گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

DOI: 10.30495/girs.2022.697113

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: solaimani2001@yahoo.co.uk

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر سیل خیزی نشان داد زیر حوزه B2 در مجموع نسبت به سایر حوزه‌های آبخیز از پتانسیل سیل بالاتری برخوردار است. بعداز آن زیرحوضه‌های B11121، B211INT، B11121INT و B211 در اولویت‌های بعدی هستند. در نهایت طبق شاخص شدت سیل خیزی، زیرحوضه‌های B11121، B211INT و B11121INT با بیش‌ترین ضریب جریان سیلابی، به‌عنوان سیل خیزترین زیرحوضه شناسایی شدند. نتایج به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی سیل خیزی در منطقه نشان داد که بیش‌ترین درصد مساحت حوزه با ۴۳/۳۳ درصد به پهنه‌های با سیل خیزی متوسط اختصاص دارد. در این بین کم‌ترین درصدها به ترتیب به پهنه‌های خیلی کم (۰/۶۴٪) و زیاد (۷/۳۳٪) اختصاص یافته است. بر اساس نقشه کاربری ارائه‌شده بخش اعظم پهنه‌های سیل‌گیر نیز مربوط به مناطق مسکونی یا اراضی زراعی دیم است. آبراهه‌های با رتبه ۳ و ۴، به‌عنوان پهنه‌های سیل خیز و نواحی هدایت‌کننده سیلاب به نواحی پایین دست هستند. آبراهه‌های با رتبه ۵ و بالاتر در محدوده سیلاب‌دشت‌ها یا پایاب رودخانه قرار دارند و معمولاً دارای سیلاب‌های سطحی و گسترده هستند. هم‌چنین در بعضی از مناطق حوزه آبخیز که از ارتفاع نسبی بالایی برخوردارند، میزان رواناب افزایش یافته و باعث سیل خیزی منطقه می‌شود. لذا نظارت بر برداشت منابع قرضه رودخانه‌های به‌جهت عدم تخریب بستر رودخانه و ساخت‌وسازها (تغییر کاربری) از جمله پیشنهادهای اولویت‌دار در این حوزه آبخیز هستند.

پیشینه و هدف

گسترش روزافزون پهنه شهرها و ساخت و سازهای شهری، با تبدیل زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی همراه است؛ بنابراین پیامد آن، گسترش پهنه‌های نفوذناپذیر و افزایش رواناب‌های سطحی خواهد بود که در بلندمدت ممکن است سبب ایجاد سیلاب‌های ویرانگر شهری شود. سیل‌ها به‌طور کلی، با عوامل مختلفی مانند دبی بالای رودخانه‌ها، نفوذ به کانال‌های سیل و فعالیت‌های توسعه در سیلاب‌دشت‌های فعال تشدید می‌شوند. به همین دلیل، لزوم مطالعه و تحقیق در امور مربوط به پیش‌بینی و کنترل سیلاب‌ها ضروری است. یکی از راه‌هایی که می‌توان خسارت ناشی از سیلاب را کاهش داد، تعیین مناطق مولد سیلاب و اعمال روش‌های مناسب کنترل آن است. لذا بررسی عوامل مؤثر در وقوع سیل و تجزیه و تحلیل مناطق سیل‌خیز و ممیزی پتانسیل سیل از طریق پهنه‌بندی می‌تواند در کاربری اراضی و اعمال روش صحیح آمایش حوزه آبخیز مفیدتر باشد. در واقع منظور از پهنه‌بندی سیل، تعیین پیشروی سیل، ارتفاع و خصوصیات آن در دوره بازگشت‌های مختلف است که در نهایت می‌توان از این اطلاعات در تعیین کاربری اراضی، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، شناسایی بیمه سیل در منطقه و ایجاد محدودیت‌های اجباری در مناطق خطرپذیر استفاده کرد. بر این اساس، پهنه‌بندی سیل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، یکی از راهکارهای غیرسازه‌ای و از ابزارهای کارآمد در مدیریت و کاهش خطرهای سیل است. با توجه به اینکه داده‌ها و روش‌های سنجش از دور یا RS (Remote Sensing) و GIS به پیش، ارزیابی و تهیه نقشه‌های مناطق سیل‌گیر کمک شایانی کرده و در نتیجه داده‌های قابل اطمینانی برای انجام فعالیت‌های مربوطه هستند. بنابراین هدف از این تحقیق، ضمن شناسایی مناطق با پتانسیل‌های مختلف سیلابی شدن، پهنه‌بندی سطح حوزه آبخیز بابل رود به لحاظ احتمال وقوع سیلاب و ارائه راهکارهای مناسب جهت کنترل و کاهش اثرات ناشی از سیل برای کمک به مدیران و برنامه‌ریزان حوزه منابع طبیعی و منابع آب است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در حوزه آبخیز بابل‌رود در جنوب استان مازندران انجام شده است. وسعت حوزه آبخیز بابل‌رود برابر ۱۴۹۳ کیلومتر مربع و ارتفاع آن از حداقل ۰/۸۳- متر تا حداکثر ۳۷۱۱ متر از سطح دریا متغیر است. گلوگاه، خوش‌رودپی، مرزیکلا و بخشی از

شهر بابل مراکز مهم سکونتی این حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهند. به دلیل عریض و مسطح بودن بستر و دشت سیلابی رودخانه بابل‌رود و کیفیت و کمیت خوب محصول برنج، کشاورزان منطقه به شدت به کشت این محصول روی آورده و اراضی حاشیه رودخانه به کلی به کشت برنج اختصاص یافته است. برای انجام مطالعه زمین‌شناسی در حوزه آبخیز بابل‌رود، به جهت پوشش سراسری منطقه، از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ قائم‌شهر و آمل و ۱:۲۵۰،۰۰۰ ساری استفاده شد. برای استفاده بیش‌تر از این اطلاعات و بررسی وضعیت لیتولوژیکی منطقه اقدام به رقوم‌سازی لایه اطلاعاتی لیتولوژی منطقه با استفاده از GIS شد و به این ترتیب مساحت هر سازند در منطقه و در هر زیر حوضه مشخص شد. برای تهیه نقشه نفوذپذیری و پتانسیل سیل با استفاده از مشخصات زمین‌شناسی و ساختمانی و همچنین دیگر خصوصیات منطقه، نقشه‌های مربوطه تهیه و ارائه شدند. در نهایت، در این تحقیق با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و اطلاعات فیزیوگرافی (ارتفاع، مساحت، شیب) و با استفاده از GIS، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و روی هم‌گذاری لایه‌ها (مساحت، شیب، کاربری، تراکم زهکشی و غیره)، پتانسیل سیل پهنه‌بندی شد. برای تهیه نقشه خطر وقوع سیل در حوزه آبخیز بابل‌رود، عوامل اصلی مؤثر در بروز سیلاب در منطقه با استفاده از منابع منتشر شده مرتبط و نظر اساتید و کارشناسان متخصص انتخاب و نقشه هر یک از عوامل توسط نرم‌افزار GIS آماده شد. نقشه نهایی خطر سیل‌خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل (کاربری اراضی، شیب، ضریب جریان و شدت بارندگی) تهیه شد.

نتایج و بحث

پس از بررسی‌های صحرایی اراضی حوزه آبخیز توسط تیپ‌های پوشش گیاهی، کشاورزی و زمین‌شناسی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک در حوزه آبخیز بابل‌رود تعیین شد. سپس، نوع بهره‌برداری از اراضی حوزه آبخیز مشخص شد. براساس محاسبه مقادیر مورد نیاز، شیب متوسط وزنی کل حوزه آبخیز ۲۸/۹۲ درصد است. این پارامتر فیزیوگرافی نشان می‌دهد که واحد کاری B2 دارای پتانسیل زیاد در تولید رواناب بوده و در گروه زیر حوضه‌های با خطر بالای سیل قرار دارد. بعدازآن به ترتیب زیر حوضه‌های B1121، B211INT، B211 و B1121INT در اولویت‌های بعدی از لحاظ سیل‌خیزی تعیین شدند. در نهایت براساس روش شاخص شدت سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبخیز بابل‌رود، زیر حوضه‌های B1121، B211INT و B1INT با بیش‌ترین ضریب سیلابی، سیل‌خیزترین زیر حوضه در

حوزه آبخیز بابلرود شناسایی شدند. هر یک از زیر حوضه‌ها با توجه به موقعیت و ویژگی‌های اقلیمی، شدت سیل‌خیزی متفاوتی داشته و بر اساس سایر ویژگی‌های جغرافیایی دارای قسمت‌های سیل‌خیز یا پهنه‌های سیل‌گیر هستند. بطوری‌که پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی، حوزه مورد مطالعه بر اساس شدت سیل‌خیزی به پنج کلاس با سیل‌خیزی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد. نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی سیل‌خیزی در منطقه نشان داد که بیش‌ترین درصد مساحت حوزه با ۴۳/۳۳ درصد به پهنه‌های با سیل‌خیزی متوسط اختصاص دارد. این پهنه‌ها بیش‌تر در بخش‌های جنوب و شرق حوزه تمرکز دارند. پهنه‌هایی که احتمال وقوع سیل در آن‌ها زیاد است، در مرز میانی حوزه آبخیز قابل مشاهده است. در این بین کم‌ترین درصدها به‌ترتیب به پهنه‌های خیلی کم (۰/۶۴٪) و زیاد (۷/۳۳٪) اختصاص یافته است. بر اساس نقشه کاربری ارائه‌شده، مشاهده می‌شود بخش اعظم پهنه‌های سیل‌گیر مربوط به مناطق مسکونی یا اراضی زراعی دیم است. این موضوع می‌تواند در ارتباط با ساخت‌وسازهای بی‌رویه و تغییر مداوم الگوی کشت و درنهایت توسعه بسترهای رودخانه و مستعدشدن اراضی مجاور رودخانه برای وقوع سیل باشد.

نتیجه‌گیری

با عنایت به پتانسیل سیل زیر حوضه‌ها در حوزه آبخیز بابلرود که توان تولید سیل در آن‌ها از خیلی کم تا خیلی زیاد متغیر است، جهت کنترل سیل می‌توان از سازه‌هایی هم‌چون بندهای سنگی- ملاتی و توری سنگی (گابیون‌بندی) استفاده کرد. در این پژوهش عوامل فیزیوگرافی در نظر گرفته‌شده شامل مساحت زیر حوضه‌ها، شیب حوزه، تراکم زهکشی و ضریب سیلابی به‌علاوه عامل بارندگی و

کاربری اراضی که به‌عنوان شاخص‌ترین عوامل در پهنه‌بندی سیلاب استفاده شدند، در بررسی پتانسیل بروز سیلاب مدنظر قرار گرفت. نقش بسیاری از این عوامل تأثیرگذار در این حوزه آبخیز باعث شده که در زمره خطرپذیری بالای سیل در منطقه قرار گیرند. از این‌رو، این مناطق باید در اولویت اول اقدامات اصلاحی مدیران منطقه در جهت کاهش خطر سیل قرار گیرد. از مهم‌ترین مشکلات گستره مورد مطالعه می‌توان به سیلاب‌های ناشی از بارندگی در فصول با بارندگی زیاد اشاره کرد. با توجه به سیستم آبراهه‌ها و نیز عامل بارندگی زیاد و شیب زیاد دامنه‌ها، می‌توان برای جلوگیری از سیلاب، با توجه به میزان دبی آن‌ها اقدام به ایجاد خشک‌چین برای برخی آبراهه‌ها نمود. ولی آنچه در این میان بسیار حائز اهمیت است نقش انسان در تغییر کاربری زمین و از بین بردن پوشش جنگلی و احداث جاده‌ها بدون در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی منطقه است. بنابراین یکی از ضروریات مورد تأکید در این تحقیق نظارت شدید بر حفظ پوشش گیاهی منطقه و هم‌چنین مدیریت نوع و میزان تغییرات کاربری است؛ بنابراین آگاهی از میزان پتانسیل سیل حوزه‌های آبخیز می‌تواند در تدوین برنامه‌های مختلف برای مدیریت بحران، اختصاص بودجه لازم، مدیریت منابع آب و برنامه‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری بسیار مفید باشد. نظارت بر ساخت‌وسازها و تغییر کاربری‌ها براساس نظارت بر برداشت منابع قرضه رودخانه‌های به‌جهت تأثیر منفی آن در محیط‌زیست و افزایش سیل‌خیزی، از جمله پیشنهادهای اولویت‌دار در این حوزه آبخیز هستند.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری، پایاب، پهنه‌بندی، سیل‌خیزی، ضریب جریان سیلابی.

مقدمه

گسترش روزافزون پهنه شهرها و ساخت‌وسازهای شهری، با تبدیل زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی همراه است؛ بنابراین پیامد آن، گسترش پهنه‌های نفوذناپذیر و افزایش رواناب‌های سطحی خواهد بود که در بلندمدت ممکن است سبب ایجاد سیلاب‌های ویرانگر شهری شود. سیل‌ها، به‌عنوان بزرگ‌ترین بلایای طبیعی از جمله طبیعی‌ترین، پرتکرارترین و گسترده‌ترین بلایای طبیعی ضمن خسارت به زندگی انسان‌ها، بسیاری از کشورها را در سراسر جهان نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (۶ و ۲۸). تعداد سیلاب‌هایی که در جهان، خسارات سنگین مالی و جانی را سبب شدند، کم نبوده است. آمارها نشان می‌دهد که از کل تلفات اقتصادی ناشی از بلایای طبیعی، ۴۰ درصد این تلفات به سیلاب نسبت داده می‌شود (۱۰ و ۲۱). در طی دهه‌های اخیر، آسیب‌های سیل ناشی از فعالیت‌های سریع توسعه‌ای و تغییرات اقلیمی تشدید شده است. رویدادهای شدید بارش به‌ویژه در مقیاس حوزه آبخیز، از جمله علل اصلی سیل هستند. سیل‌ها به‌طور کلی، با عوامل مختلفی مانند دبی بالای رودخانه‌ها، نفوذ به کانال‌های سیل و فعالیت‌های توسعه در سیلاب‌دشت‌های فعال تشدید می‌شوند (۱۰ و ۲۸). به همین دلیل، لزوم مطالعه و تحقیق در امور مربوط به پیش‌بینی و کنترل سیلاب‌ها ضروری است. کمبود داده‌های متناظر بارش و رواناب در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور دیده می‌شود. همچنین، همیشه رگبارهایی با شدت یکنواخت در طول مدت بارش جهت استخراج هیدروگراف واحد وجود ندارد. از این‌رو استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مناسب و توسعه آن‌ها در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، از موارد ضروری است. با توجه به مطالب ذکر شده مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی می‌توانند جهت تعیین ویژگی‌های سیل و برنامه‌ریزی و پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گیرند (۲۹). یکی از راه‌هایی که می‌توان خسارت ناشی از سیلاب را کاهش داد، تعیین مناطق مولد سیلاب و اعمال روش‌های مناسب کنترل آن است. لذا بررسی عوامل مؤثر در وقوع سیل و

تجزیه و تحلیل مناطق سیل‌خیز و ممیزی پتانسیل سیل از طریق پهنه‌بندی می‌تواند در کاربری اراضی و اعمال روش صحیح آمایش حوزه آبخیز مفیدتر باشد (۱).

در واقع منظور از پهنه‌بندی سیل، تعیین پیشروی سیل، ارتفاع و خصوصیات آن در دوره بازگشت‌های مختلف است که در نهایت می‌توان از این اطلاعات در تعیین کاربری اراضی، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، شناسایی بیمه سیل در منطقه و ایجاد محدودیت‌های اجباری در مناطق خطرپذیر استفاده کرد (۱۸). براین اساس، پهنه‌بندی سیل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، یکی از راهکارهای غیرسازه‌ای و از ابزارهای کارآمد در مدیریت و کاهش خطرهای سیل است (۳۲). نقطه مشترک مورد تأکید تمامی بررسی‌ها، ضرورت انجام پهنه‌بندی خطر سیل بوده است. مطابق این بررسی‌ها، پهنه‌بندی خطر سیل، ابزار منحصربه‌فردی برای مدیریت کاهش خطر و وسیله‌ای قانونی در دست دولت برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی محسوب می‌شود (۲۷). در زمینه پهنه‌بندی خطر سیل تحقیقات مختلفی انجام شده است. وو و همکاران (۳۰)، نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوزه آبخیز رودخانه هواپی در چین را تهیه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که نقشه پهنه‌بندی ریسک سیل چندساله از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ با توزیع تاریخی سیلاب سازگار است که کاربرد این روش را در ارزیابی خطر سیلاب تأیید می‌کند. داس (۴)، در پژوهشی با استفاده از GIS و روش فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی یا AHP (Analytical Hierarchy Process) به پهنه‌بندی خطر سیل در حوزه آبخیز ماهاراشترا هندوستان پرداخت. نتایج نقشه پهنه‌بندی آن‌ها نشان داد که حدود ۲۰ درصد کل حوزه آبخیز مستعد سیل است و باید این نواحی بایر مورد توجه جدی سازمان‌های مربوطه قرار گیرد. همچنین میسرا و سینها (۱۵)، به ارزیابی خطر سیل در ناحیه کیسی هند با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیار (MCDM) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد این ناحیه یکی از نواحی مستعد سیل در کشور هند است و به برنامه‌ریزی صحیح نیاز دارد. در ادامه اوگاتو و همکاران (۱۹) خطر سیل حوزه آبخیز شهر اموا در کشور اتیوپی را با

زنوزچای است. وجود سازندهای زمین‌شناسی و خاک‌های با نفوذپذیری اندک، شیب زیاد، فقدان یا ضعف پوشش گیاهی، زمان تمرکز و زمان تأخیر اندک از جمله مهم‌ترین دلایل بالا بودن رواناب و هدایت سریع رواناب‌های ناشی از بارش در این زیر حوضه‌هاست. پهنه‌های سیل‌گیر منطقه مطالعاتی عمدتاً منطبق بر دشت‌های سیلابی مجاور آبراه‌های اصلی و رأس مخروط افکنه زنوزچای هستند. اسفندیاری درآباد و همکاران (۵)، به پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوزه آبخیز قطورچای با روش‌های فرایند تحلیل شبکه‌ای یا ANP (Analytic Network Process) و ترکیب خطی وزنی یا WLC (Weighted Linear Combination) پرداختند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ریسک سیل‌خیزی نشان داد که آبرفت‌های سخت‌نشده عهد حاضر بستر رودخانه (لایه Qal) زمین‌شناسی، شیب‌های کم‌تر از ۳ درصد، واحد تیپ‌های اراضی خاک از جمله دشت‌های آبرفتی و رسوبی، اراضی پست و شور و دشت‌های سیلابی و هم‌چنین فقر پوشش گیاهی به‌عنوان پهنه‌های سیلابی شناسایی شدند. نتایج به‌دست‌آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای، بیانگر این واقعیت است که بخشی از حوزه آبخیز تحت تأثیر خطر وقوع سیلاب با پتانسیل بسیار بالا قرار دارد که به‌طور عمده در پایین‌دست حوزه آبخیز واقع شده است. طهماسبی و همکاران (۲۶)، پهنه‌بندی احتمال وقوع سیل با استفاده از بررسی مقایسه‌ای دو مدل شناخته‌شده جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان را در شمال ایران مطالعه کردند. آن‌ها دریافتند که نقشه میانگین حاصل از مدل جنگل تصادفی در مرحله اعتبارسنجی با مساحت زیر منحنی ۹۶ درصد و صداقت ۰/۰۰۱ کارایی بهتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان در پهنه‌بندی سیلاب در حوزه آبخیز مورد مطالعه دارد. عزیزی و همکاران (۳)، به توزیع مکانی شاخص آسیب‌پذیری سیل در استان اردبیل پرداختند. مطالعه آن‌ها از طریق محاسبه مؤلفه‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، فیزیکی-محیطی، اجتماعی، اقتصادی و اقدامات متقابل در مقیاس حوزه آبخیز بر اساس ۱۹ معیار مختلف به‌منظور ارائه اطلاعات جامع در مورد آسیب‌پذیری ۲۶ حوزه آبخیز استان اردبیل در برابر

استفاده از GIS تحلیل کردند. نتایج نشان داد که خطر آب‌گرفتگی در حوزه آبخیز زیاد است. هم‌چنین این منطقه با احتمال ۴۱/۷۶ درصد، یکی از مناطق مستعد سیلاب بوده است. سعید و همکاران (۲۳) به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در حوزه آبخیز رودخانه کابل، پاکستان پرداختند. هدف از این مطالعه تعیین اثربخشی الگوریتم ANN در تعیین مناطق تخریب‌شده توسط سیل بود. تجزیه و تحلیل نشان داد که مدل پیشنهادی، یک رویکرد مؤثر و قابل قبول برای تجزیه و تحلیل خطر سیل و پهنه‌بندی است.

در ایران اگرچه مطالعات مربوط به سیل و سیل‌خیزی بسیار زیاد است، تحقیقات انجام‌شده درباره پهنه‌بندی خطر ناشی از سیلاب چندان زیاد نیست. در این بخش به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. غفاری و همکاران (۸) در تحقیقی ضمن معرفی کاربرد و توانمندی‌های تلفیق‌شده از مدل HEC- RAS، نرم‌افزار ArcView و الحاقی آن با نام HEC- GeoRAS، به پهنه‌بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل وارده بر قسمت مهمی از دشت سیلابی رودخانه بابل‌رود پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد که از کل مساحت تحت تأثیر سیل ۲۰۰ ساله، ۸۹/۵۳ درصد آن مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های کم‌تر از ۲۵ سال است. مصطفی‌زاده و مهری (۱۶) روند تغییرات ضریب سیلابی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل را با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمون آماری تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) را در بین مقادیر ضریب سیلابی در دوره‌های مختلف نشان داد. هم‌چنین تغییرات ضریب جریان سیلابی حاکی از وجود تشابه الگوی تغییرات مکانی در دوره‌های مختلف بود و بیش‌ترین تغییرات متغیر مذکور در دوره مطالعاتی مربوط به محدوده‌های شمال، شمال‌شرقی و غرب استان بود. فتحعلی‌زاده و همکاران (۷) علل وقوع سیلاب و مخاطرات آن را در حوزه آبخیز زنوزچای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و منطق فازی بررسی نمودند. نتایج، نشان‌دهنده کارایی بالای رویکرد مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و سیل‌گیر است. مناطق سیل‌خیز منطبق بر زیر حوضه‌های بخش میانی حوزه آبخیز

کمیت خوب محصول برنج، کشاورزان منطقه به شدت به کشت این محصول روی آورده و اراضی حاشیه رودخانه به کلی به کشت برنج اختصاص یافته است (غفاری و همکاران، ۱۳۸۳). وسعت حوزه آبخیز بابلرود با محیطی برابر با ۱۹۵/۷۹ کیلومتر، برابر ۱۴۹۳ کیلومترمربع و ارتفاع آن از حداقل ۰/۸۳- متر تا حداکثر ۳۷۱۱ متر از سطح دریا متغیر است. گلوگاه، خوش‌رودپی، مرزیکلا و بخشی از شهر بابل مراکز مهم سکونتی این حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهند (۲۵). شکل شماره ۱، موقعیت محدوده مطالعاتی بابلرود را نسبت به استان و کل کشور نشان می‌دهد.

داده‌های مورد استفاده

برای انجام مطالعه زمین‌شناسی در حوزه آبخیز بابلرود، به جهت پوشش سراسری منطقه، از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ قائم‌شهر و آمل و ۱:۲۵۰،۰۰۰ ساری استفاده شد. برای استفاده بیشتر از این اطلاعات و بررسی وضعیت لیتولوژیکی منطقه اقدام به رقوم‌سازی لایه اطلاعاتی لیتولوژی منطقه با استفاده از GIS شد و به این ترتیب مساحت هر سازند در منطقه و در هر زیر حوضه مشخص شد. برای تهیه نقشه نفوذپذیری و پتانسیل سیل با استفاده از مشخصات زمین‌شناسی و ساختمانی و همچنین دیگر خصوصیات منطقه، نقشه‌های مربوطه تهیه و ارائه شدند.

- تهیه نقشه شبکه‌های آبراه با استفاده از نقشه توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای به‌هنگام و بازدیدهای صحرائی در تعیین ترتیب نظام آبراه‌های حوزه آبخیز بابلرود از روش استراهلر (استرالر) پیروی شده است.

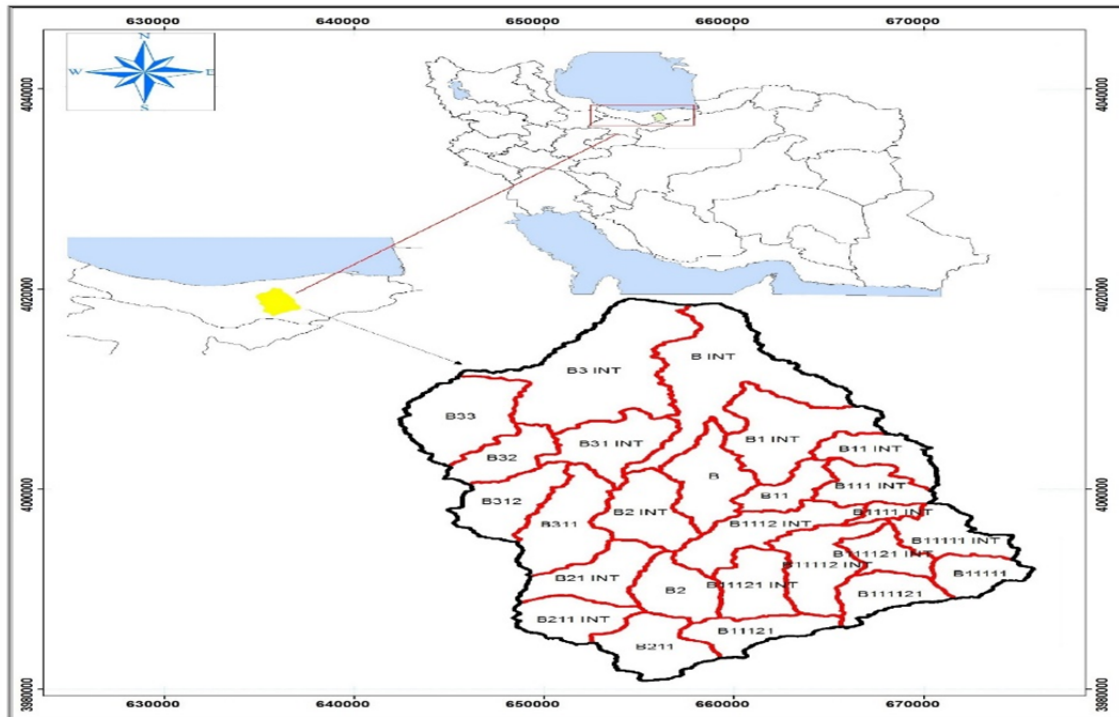
ترتیب رودخانه‌ها و آبراه‌های اصلی و فرعی: طبق رده‌بندی آبراه‌ها به روش استرالر، کوچک‌ترین و بالاترین آبراه‌هایی را که قابلیت تقسیم ندارند، آبراه درجه اول می‌گویند. آبراه‌ای که از الحاق دو آبراه درجه یک تشکیل می‌شود را درجه دوم می‌نامند. شکل شماره ۲، وضعیت رده‌بندی و طول هر یک از انواع آبراه‌ها را در کل حوزه آبخیز نشان می‌دهد.

سیل انجام شد. در نهایت، شاخص آسیب‌پذیری سیلاب (FVI) برای هر حوزه آبخیز محاسبه شد. آن‌ها دریافتند که نیاز به رویکردهای مدیریتی متفاوت برای نقاط مهم سیل بر اساس آسیب‌پذیری نسبت به شش مؤلفه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین نقشه مکانی نشان داد که تمام مناطق مورد مطالعه به جز بخش‌های کوچک در مرکز، شرق و شمال تحت تنش سیل قرار دارند. مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که در زمینه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل به‌خصوص در منطقه مورد مطالعه با هدف کاربردی و بر مبنای روش توصیفی تحلیلی تا به حال پژوهشی انجام نشده است. از طرفی دیگر با توجه به اینکه داده‌ها و روش‌های سنجش از دور یا (RS) Remote Sensing) و GIS به پیش، ارزیابی و تهیه نقشه‌های مناطق سیل‌گیر کمک شایانی کرده و در نتیجه داده‌های قابل اطمینانی برای انجام فعالیت‌های مربوطه هستند، بنابراین هدف از این تحقیق، ضمن شناسایی مناطق با پتانسیل‌های مختلف سیلابی شدن، پهنه‌بندی سطح حوزه آبخیز بابلرود به لحاظ احتمال وقوع سیلاب و ارائه راه‌کارهای مناسب جهت کنترل و کاهش اثرات ناشی از سیل برای کمک به مدیران و برنامه‌ریزان حوزه منابع طبیعی و منابع آب است.

روش تحقیق

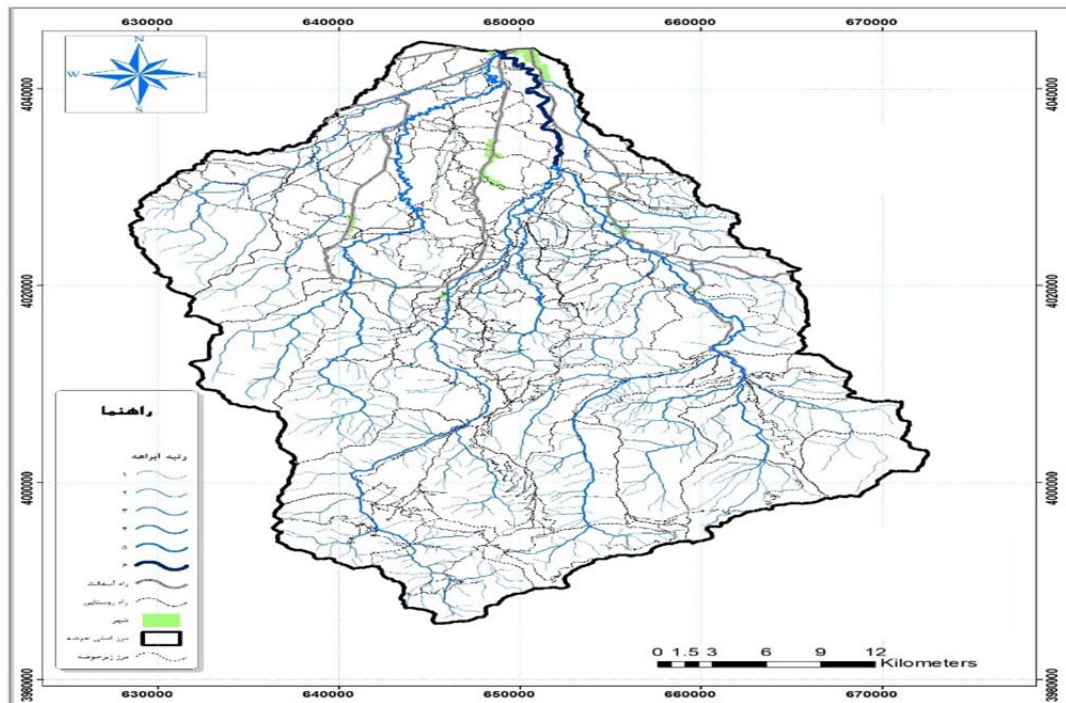
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بابلرود در جنوب استان مازندران واقع شده است و از نظر تقسیمات سیاسی جزء شهرستان بابل است. از مهم‌ترین رودخانه‌های حوزه آبخیز می‌توان به رودخانه‌های سجادرود، کلارود، آذررود، اسکلیمرود و کارسنگرود اشاره کرد. رودخانه‌های سجادرود و کلارود در بالاتر از محلی به نام پل محمدحسن خان در اطراف بابل از سمت غرب به رودخانه بابل متصل می‌شوند. قبل از پیوستن کلارود، آب مسیل‌های متالون و بزروود به آن ریخته می‌شود. آب رودخانه گرم‌رود که جهت احداث سد دارای اهمیت خاصی است، در حوالی شهر بابل به رودخانه بابل افزوده می‌شود. به دلیل عریض و مسطح بودن بستر و دشت سیلابی رودخانه بالارود و کیفیت و



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز بابلرود در استان مازندران

Fig. 1. Location of Babolrood watershed in Iran and Mazandaran province



شکل ۲. شبکه آبراهه حوزه آبخیز بابلرود

Fig. 2. Waterway network of Babolrood watershed

انشعاب (ضریب دوشاخه شدن) استفاده می‌شود که این ضریب عبارت است از نسبت تعداد آبراهه در یک درجه مشخص به تعداد درجه بزرگ‌تر بعدی. نسبت انشعاب در حوزه‌های معمولی بین ۳ تا ۵ است. هرچه این نسبت کوچک‌تر باشد نشان‌دهنده این است که هیدروگراف سیل در مقایسه با آبخیزهای دیگر دارای نقطه اوج بالاتری خواهد بود. در این تحقیق برای تعیین ضریب دوشاخگی از رابطه ۲ به شرح ذیل استفاده شده است. طبق محاسبه‌های انجام‌شده ضریب دوشاخگی حوزه آبخیز بابل‌رود بین ۲/۲۵ تا ۵/۵۰ است.

$$BR = \left(\frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_3} + \frac{n_3}{n_4} + \dots + \frac{n_{i-1}}{n_i} \right) \times \frac{1}{i-1} \quad [2]$$

که در آن؛ $BR =$ نسبت انشعاب‌پذیری، $n_1 =$ تعداد شاخه‌های رتبه ۱، $n_2 =$ تعداد شاخه‌های رتبه ۲، $n_3 =$ تعداد شاخه‌های رتبه ۳، $n_i =$ تعداد شاخه‌های رتبه n و $n = 1 =$ تعداد شاخه‌های رتبه نهایی حوزه آبخیز است.

سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیکی

برای مطالعات سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز، روش‌های تجربی و تحلیلی فراوانی وجود دارد که هر یک به نحوی شدت سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبخیز را مورد بررسی قرار داده و آن‌ها را طبقه‌بندی می‌کنند. در روش‌های تجربی که تاکنون برای شناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل یک حوزه آبخیز بکار گرفته شده است معمولاً حوزه آبخیز با هر وسعتی به‌عنوان یک واحد تلقی شده است و تنها با استفاده از پارامترهایی مانند CN، شیب زیر حوضه، شدت بارش، مساحت، کاربری اراضی و حتی موقعیت مکانی و روندیابی جریان خروجی زیر حوضه‌ها، شدت سیل‌خیزی حوزه آبخیز را مشخص می‌نمایند. علت انتخاب عوامل مذکور، تأثیر بالای آن‌ها در تولید سیلاب است که این امر تاکنون توسط محققان مختلفی هم‌چون کوراگیلاس و کاراتراس (۱۲)، میرزایی و همکاران (۱۴) و رحمانی و همکاران (۲۲) گزارش شده است. برتری این روش‌ها، سادگی و عدم نیاز آن‌ها به اطلاعات اولیه زیاد است. از آنجائی‌که در این روش‌ها هر یک از زیر

فرم زهکشی: فرم شبکه هیدروگرافی در یک حوزه آبخیز که تابع خصوصیات مرفولوژیکی و ژئولوژیکی آن حوزه است، از نظر وجود شکاف، گسل، یکنواختی و خردشدگی آن‌ها و همچنین مقاومت سنگ بستر یا خاک سطحی نسبت به فرسایش در یک منطقه، شبکه زهکشی خاصی را به‌وجود می‌آورد که با تشخیص آن‌ها می‌توان به برخی از خصوصیات سنگ بستر و چگونگی مقاومت آن‌ها نسبت به فرسایش و هم‌چنین وضعیت سطحی از نظر فرسایش‌پذیری پی برد. در حوزه آبخیز بابل‌رود به جز دو واحد هیدرولوژیکی که دارای فرم زهکشی (شاخه) درختی- موازی هستند بقیه واحدهای هیدرولوژیکی از فرم درختی برخوردار هستند.

تراکم زهکشی: تراکم زهکشی از تقسیم طول کل شبکه هیدروگرافی شامل رودخانه‌های فرعی و آبراهه‌ها به مساحت کل حوزه آبخیز به‌دست می‌آید. این شاخص با دبی حداکثر حوزه‌های آبخیز همبستگی دارد. میزان تراکم زهکشی در یک حوزه آبخیز می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت شدت و ضعف رواناب و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن باشد. در این تحقیق برای تعیین وضعیت زهکشی حوزه آبخیز آن را به ۴۷ واحد هیدرولوژیکی تقسیم کرده و تراکم زهکشی را در بخش‌های مختلف آن محاسبه کردیم. برای این‌کار از رابطه ۱ به‌شرح ذیل استفاده شده است. طبق محاسبه‌های انجام‌گرفته، تراکم زهکشی حوزه آبخیز بابل‌رود بین ۰/۵۶ تا ۱/۳۴ کیلومتر در کیلومترمربع می‌باشد.

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad [1]$$

که در آن؛ $D =$ تراکم سطحی آبراهه برحسب کیلومتر در کیلومترمربع، $L =$ طول هر یک از آبراهه‌های موجود در حوزه آبخیز اعم از رودهای دائمی و خشک برحسب کیلومتر، $N =$ تعداد کل آبراهه‌ها در حوزه آبخیز و $A =$ مساحت حوزه آبخیز برحسب کیلومترمربع است.

ضریب دوشاخگی: جهت مشخص‌کردن تأثیر انشعاب آبراهه بر هیدروگراف سیل در یک حوزه آبخیز از نسبت

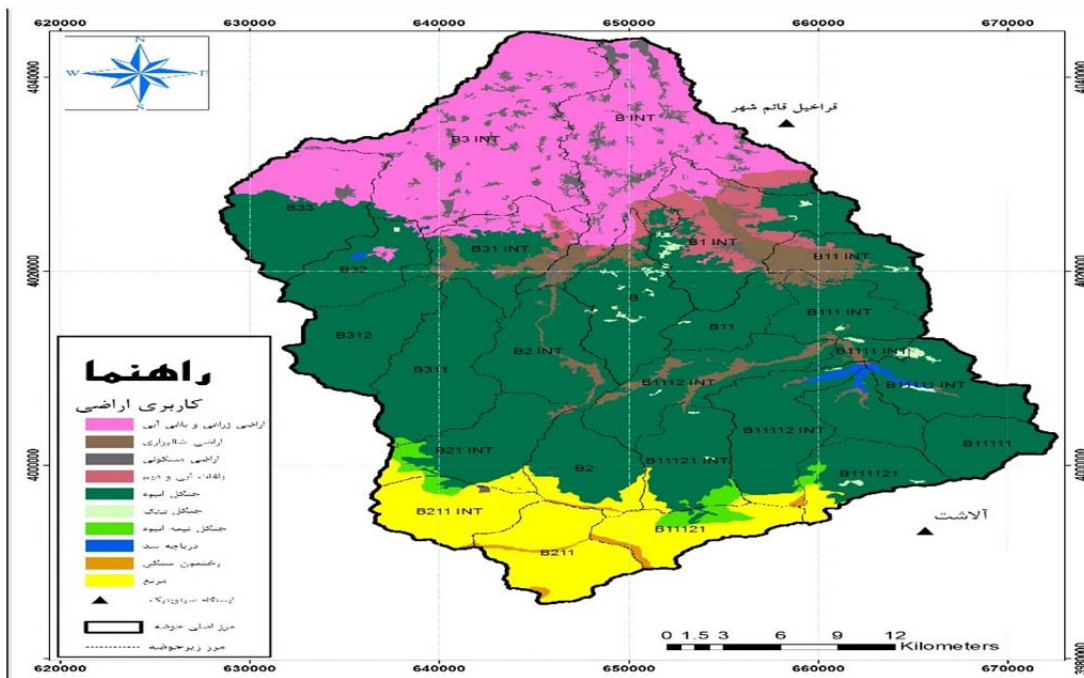
برآورد ضریب رواناب برای تعیین CN

جهت برآورد رواناب سطحی از معادله SCS-CN (سازمان حفاظت خاک آمریکا) استفاده شده است (۱۷). در این معادله، پارامتر شماره منحنی (CN) نقش مهمی در برآورد رواناب و سیلاب ایفاء می‌کند. به منظور تعیین شماره منحنی حوزه آبخیز بابلرود به اطلاعاتی از قبیل خاک منطقه، کاربری اراضی و بارش حوزه آبخیز احتیاج داریم. برای تهیه نقشه کاربری زمین از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و نیز نقشه کاربری مربوط به اداره کل منابع طبیعی استان مازندران استفاده شده است. شکل شماره ۳ وضعیت منطقه را از لحاظ کاربری نشان می‌دهد. طبق این شکل، بیش‌ترین و کم‌ترین مساحت حوزه آبخیز را به ترتیب کاربری جنگل انبوه و محیط آبی (دریاچه و سد) به خود اختصاص می‌دهند.

حوضه‌ها به صورت مستقل بررسی می‌شوند، در صورتی که ارتباط زیادی بین خروجی زیر حوضه‌های آبخیز وجود نداشته باشند، این روش‌ها، مؤثرترین روش‌های محاسبات شدت سیل خیزی آبخیزها هستند. روش‌های تجربی زیادی برای محاسبه شاخص سیل خیزی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش محاسبه ضریب جریان سیلابی اشاره نمود. این شاخص از فرمول ۳ محاسبه می‌شود (۳۰):

$$C = 7.210^{-7} CN^3 T^{0.05} [0.01 CN^{0.6} + S^{0.2} (0.001 CN^{1.48})^{-0.15 - 0.11}] \left[\frac{P+1}{2} \right]^{0.7} \quad [3]$$

که در آن؛ C: ضریب جریان سیلابی، CN: شماره منحنی، T: دوره بازگشت (۲۵ سال)، S: متوسط شیب زیر حوضه (%)، I: شدت بارش برای دوره بازگشت ۲۵ سال و زمان تداوم معادل زمان تمرکز حوزه آبخیز (in/hr) و P: سطح اراضی غیرقابل نفوذ (%). است.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز بابلرود

Fig. 3. Land use Map of Babolrood watershed

خاک می‌تواند با یک عامل هیدرولوژیکی بیان شود که حداقل سرعت نفوذپذیری در حالت مرطوب بودن خاک است. نوع سطح و افق‌های خاک نیز در نظر گرفته می‌شود؛ تمام خاک‌ها بر

گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نفوذپذیری و کلاس هیدرولوژیکی: هنگامی که رواناب ناشی از یک رگبار جهت مطالعه سیلاب‌ها مدنظر باشد، خصوصیات

میزان نفوذ آب در خاک با میزان شیب کاهش می‌یابد و در نهایت حجم سیلاب و جریان‌های سطحی مستقیماً به شیب حوزه آبخیز بستگی دارد. جهت برآورد و تعیین میزان شیب، روش‌ها و روابط متعددی ارائه شده که برخی از آنها عبارت‌اند از روش شبکه‌بندی، روش هورتون، رابطه جاستین، روش شمارش خطوط تراز و غیره. از آنجائی‌که در مطالعه حاضر می‌بایستی نقشه کلاس‌های شیب قلمرو مطالعاتی نیز تهیه گردد، بدین منظور با استفاده از GIS نقشه کلاس‌های شیب در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و مشتمل بر ۸ کلاس شامل ۰-۲، ۲-۵، ۵-۸، ۸-۱۲، ۱۲-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و بیش از ۶۰ درصد تهیه و در این تحقیق ارائه شده است.

شدت بارندگی

شدت بارندگی در واحد زمان است که معمولاً برحسب میلی‌متر بر ساعت یا اینچ بر ساعت با توجه به رابطه ۴ توصیف می‌شود (۲۵):

$$I = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad [4]$$

مشاهده می‌شود که هرچه زمان پایه کوتاه‌تر باشد، شدت بارندگی می‌تواند بیشتر شود و از طرف دیگر مسلم است که هرچه دوره بازگشت یک رگبار طولانی‌تر باشد، شدت آن نیز بیشتر خواهد بود. البته در حوزه‌های آبخیز بزرگ‌تر از چند کیلومتر، مساحت نقش مهمی خواهد داشت و به‌علت کاهش شدت بارندگی در نقاطی که از مرکز رگبار دور هستند میانگین شدت ماکزیمم در حوزه‌های آبخیز بزرگ کم‌تر خواهد بود. پس از جمع‌آوری آمار مربوط به حداکثر بارش‌های کوتاه‌مدت در زمان‌های مشخص و همچنین آمار مربوط به حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته و متوسط بارش سالانه برای چهار ایستگاه هواشناسی بابلسر، آمل، قراخیل و آلاشت نسبت به تعیین شدت بارندگی اقدام شد.

به‌طور کلی در این تحقیق با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و اطلاعات فیزیوگرافی (ارتفاع، مساحت، شیب) و با استفاده از GIS، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و روی

اساس پتانسیل ایجاد رواناب در یک گروه چهارتایی تقسیم‌بندی شده که هر گروه می‌تواند در صورت نیاز به زیرگروه‌هایی تقسیم شود. گروه‌های اصلی خاک تعیین‌شده توسط SCS عبارتند از گروه A، خاک‌های با شدت نفوذپذیری بالا و با پتانسیل ضعیف رواناب؛ گروه B، خاک‌های با شدت نفوذپذیری متوسط؛ گروه C، خاک‌های با نفوذپذیری کم و با توانایی تولید رواناب نسبتاً زیاد و در نهایت گروه D، خاک‌های با نفوذپذیری کم که دارای توانایی تولید رواناب زیادی هستند. براین اساس در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین و کم‌ترین مساحت گروه‌های هیدرولوژیکی مربوط به گروه C و A است..

بهره‌برداری از زمین

در این مورد باید عوامل متعددی در نظر گرفته شوند که شامل نوع استفاده از زمین، عملیات اصلاحی انجام‌شده و وضعیت هیدرولوژیکی است. بعد از تعیین کلاس‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز که هر کلاس مربوط به یک محدوده نفوذپذیری است، نوع بهره‌برداری از اراضی حوزه آبخیز، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در ادامه مقادیر CN با توجه به کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک ارائه شد. با توجه به نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی، مقدار CN تعیین و سپس با میانگین‌گیری وزنی، CN حوزه آبخیز را در شرایط متوسط به‌دست آوردیم. صحت تخمین شماره منحنی تأثیر بسیار مهمی در محاسبات دارد. استفاده از فناوری GIS می‌تواند باعث افزایش دقت و سرعت در کار شود. لذا در این مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با کمک نرم‌افزار ArcGIS اقدام به تهیه نقشه شماره منحنی (CN) شد.

محاسبه شیب حوزه آبخیز و واحدهای کاری آن

شیب، اثر بسیار زیادی در واکنش هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز دارد. سرعت جریان‌های سطحی به‌طور مستقیم به شیب بستگی دارد. افزایش سرعت آب، نیروی جنبشی و در نتیجه قدرت تخریبی و حمل آن را نیز افزایش می‌دهد. همچنین

سیل‌خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل (کاربری اراضی، شیب، ضریب جریان و شدت بارندگی) تهیه شد.

نتایج

ضریب رواناب

در جدول ۱ نتایج مقادیر ضریب رواناب برای هر یک از زیر حوضه‌های آبخیز بابل‌رود ارائه شده است.

هم‌گذاری لایه‌ها (مساحت، شیب، کاربری، تراکم زهکشی و غیره)، پتانسیل سیل پهنه‌بندی شد. برای تهیه نقشه خطر وقوع سیل در حوزه آبخیز بابل‌رود، عوامل اصلی مؤثر در بروز سیلاب در منطقه با استفاده از منابع منتشر شده مرتبط و نظر اساتید و کارشناسان متخصص انتخاب و نقشه هر یک از عوامل توسط نرم‌افزار GIS آماده شد. نقشه نهایی خطر

جدول ۱. مقادیر ضریب رواناب برای هر یک از زیر حوضه‌ها

Table 1. Runoff coefficient values for each of the sub-watershed

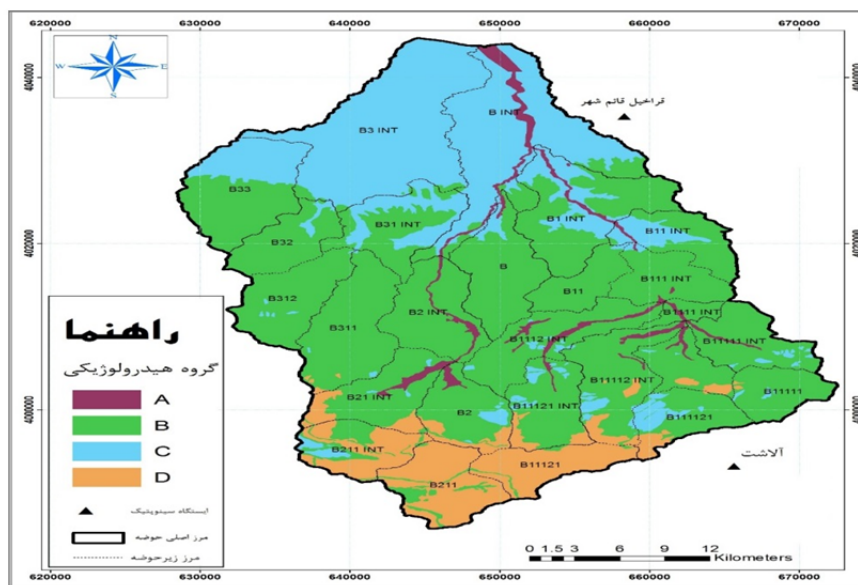
ضریب رواناب (بدون بعد)	ارتفاع (m)		مساحت (km ²)	واحد هیدرولوژیک	ضریب رواناب (بدون بعد)	ارتفاع (m)		مساحت (km ²)	واحد هیدرولوژیک
	حداقل	حداکثر				حداقل	حداکثر		
0.27	722.27	33.96	87.72	B1 INT	0.266	2117.75	397.350	32.706	B11111
0.27	3329.11	33.96	564.494	b1	0.264	1207.51	221.300	44.614	B11111 INT
0.221	3711.89	2125.50	54.98	B211	0.260	2117.75	221.400	77.319	b11111
0.228	3372.52	1593.11	43.83	B211	0.264	2863.83	696.310	38.939	B111121
0.232	3711.89	1593.11	98.82	b211	0.267	1434.71	226.350	29.615	B111121 INT
0.266	3241.9	645.89	53.57	B21 INT	0.267	2863.83	226.350	68.555	b111121
0.236	3711.89	645.89	152.397	b21	0.287	2895.96	222.020	62.446	B11112 INT
0.270	3088.17	649.8	46.07	B2	0.264	2895.96	222.020	131.000	b11112
0.305	1526.29	215.14	58	B2 INT	0.304	846.51	198.160	10.484	B1111 INT
0.257	3711.89	215.14	256.475	b2	0.260	2895.96	198.160	218.804	b1111
0.291	2392.26	157.01	73.65	B311	0.235	3329.11	1632.380	40.456	B11121
0.283	1845	157.01	54.33	B312	0.270	2855.41	555.130	48.145	B11121 INT
0.272	702.37	45.77	58.66	B31 INT	0.258	3329.11	556.150	88.601	b11121
0.283	2392.26	45.77	186.64	b31	0.297	1912.5	198.160	60.045	B1112 INT
0.249	701.50	100.76	40.51	B32	0.274	3329.11	198.160	148.646	b1112
0.224	680.32	42.82	80.19	B33	0.316	1062.31	98.670	39.448	B111 INT
0.175	221.97	-0.45	162.108	B3 INT	0.262	3329.11	98.670	406.899	b111
0.248	2392.26	-0.45	469.46	b3	0.312	724.07	98.680	29.342	B11
0.300	756.54	78.09	60.39	B	0.309	1062.09	74.810	40.530	B11 INT
0.213	536.45	-0.83	142.15	B INT	0.268	3329.11	74.810	476.771	b11
0.244	3711.89	-0.83	1492.9	Total					

هیدرولوژیک در حوزه آبخیز بابل‌رود مطابق جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شد.

پس از بررسی‌های صحرایی اراضی حوزه آبخیز توسط تیم‌های پوشش گیاهی، کشاورزی و زمین‌شناسی، گروه‌های

جدول ۲. مساحت گروه‌های هیدرولوژیکی هر یک از واحدهای کاری (کیلومتر مربع)
Table 2. Area of hydrological groups of working unit (square kilometers)

مجموع	گروه هیدرولوژیکی				واحد کاری
	D	C	B	A	
60.39		3.50	56.14	0.75	B
142.17		111.82	18.06	12.29	B INT
87.72		24.27	60.31	3.14	B1 INT
29.34		0.54	28.80	0.00	B11
40.53		13.00	26.83	0.70	B11 INT
39.45		0.85	38.01	0.59	B111 INT
10.48			9.60	0.89	B1111 INT
32.71	0.38	0.87	31.45		B11111
44.61		2.05	41.10	1.47	B11111 INT
62.45	6.80	3.89	49.06	2.70	B11112 INT
38.94	5.31	8.30	25.34		B111121
29.62	2.96	0.24	25.07	1.35	B111121 INT
60.05		1.89	52.77	5.38	B1112 INT
40.46	38.83		1.63		B11121
48.15	5.71	3.74	37.92	0.78	B11121 INT
46.08	7.88	3.00	33.27	1.92	B2
58.00			54.33	3.68	B2 INT
53.58	9.66	0.60	39.57	3.75	B21 INT
54.98	48.11	0.00	6.88		B211
43.84	27.36	3.85	12.63		B211 INT
162.11		158.33	3.73	0.05	B3 INT
58.66		24.94	33.73		B31 INT
73.65	1.01	0.51	72.14		B311
54.33		0.76	53.57		B312
40.52		2.53	37.99		B32
80.19		31.58	48.62		B33
1493.01	154.00	401.03	898.53	39.44	مجموع



شکل ۴. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز بابلرود
Fig. 4. Hydrologic Groups Map of Babilrood watershed

سپس، نوع بهره‌برداری از اراضی حوزه آبخیز نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت که با توجه به نتایج مطالعات منطقه، پوشش گیاهی و خاک‌شناسی نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. مساحت کاربری اراضی هر یک از واحدهای کاری (کیلومترمربع)

Table 3. Land use area of work units (square kilometers)

مجموعه	کاربری اراضی									واحد کاری	
	مرتع	رخنمون سنگی	دریاچه سد	جنگل نیمه‌انبوه	جنگل تنک	جنگل انبوه	باغات آبی و دیم	اراضی مسکونی	اراضی شالیزاری		اراضی زراعی و باغی آبی
60.4					1.8	51.6	1.8	0.5	2.9	1.7	B
142.3					0.0	8.5	10.1	18.1	4.8	100.7	B INT
87.8					1.5	40.9	23.5	4.6	8.4	8.8	B1 INT
29.4					0.1	27.9		0.1	1.2		B11
40.6					0.4	24.6	1.8	0.4	13.4		B11 INT
39.5					0.2	36.3		0.1	2.9		B111 INT
10.5					0.7	8.3		0.0	1.4		B1111
32.7						32.7					B11111
44.6			1.7		1.3	41.1		0.0	0.4		B11111
62.5	3.1	0.5	2.0	0.5	0.1	55.8		0.0	0.5		B11112
39.0	5.4	0.0		1.7	0.6	31.3					B111121
29.6			1.2			27.5		0.0	0.9		B111121
60.1					0.1	50.1		0.2	9.7		B1112
40.5	31.0	2.5		5.9		1.1					B11121
48.2	3.1			3.5	0.2	41.2			0.2		B11121
46.1	9.8	0.8				35.3		0.1	0.1		B2
58.0					0.1	53.6		0.0	4.4		B2 INT
53.6	7.2			4.0		41.7		0.1	0.6		B21 INT
55.0	52.0	3.0									B211
43.9	39.4	0.3		2.4		1.3		0.4			B211 INT
162.3						1.7		14.9		145.6	B3 INT
58.7					0.0	29.3	3.2	2.9	8.2	15.1	B31 INT
73.7				0.6		72.9		0.0	0.1		B311
54.4						54.1			0.2		B312
40.6			0.5		0.1	38.1		0.3		1.6	B32
80.3						47.5		1.5		31.2	B33
1494.	150.	7.2	5.3	18.6	7.3	854.5	40.4	44.5	60.6	304.8	مجموع

شدند. این مقادیر CN برای هر یک از واحدهای کاری در شرایط رطوبتی مختلف محاسبه شده است.

در نهایت با توجه به نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی، نتایج حاصله برای مقادیر CN (میانگین وزنی CN) براساس جدول ۴ و شکل ۵ در شرایط متوسط ارائه

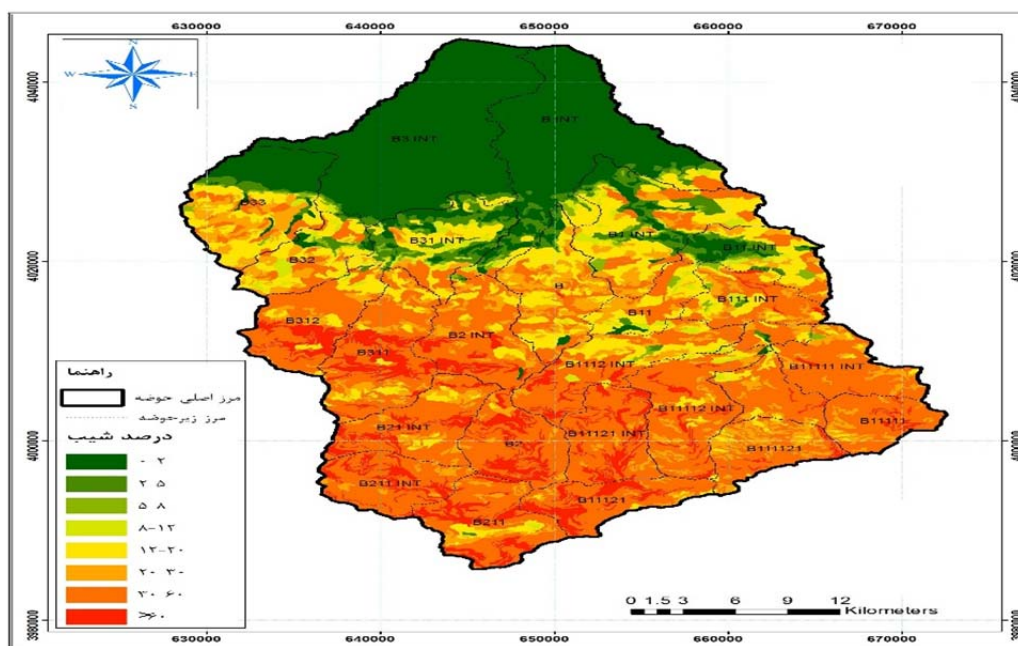
نقشه شیب حوزه آبخیز تهیه شد. در نهایت با استفاده از اطلاعات استخراج شده از نقشه کلاس‌های شیب، جداول شیب-سطح، شیب متوسط وزنی، میانه و نمای شیب حوزه آبخیز بابل‌رود استخراج و نتایج آن به تفکیک واحد کاری در جدول ۵ و در شکل ۶ ارائه شده است.

اولویت‌بندی زیر حوضه‌های آبخیز از نظر مطالعات فیزیوگرافی و نقشه‌های توپوگرافی و رابطه آن‌ها با سیل از طریق نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه در محیط GIS، جداول توزیع سطح-شیب برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیک و کل محدوده مطالعاتی استخراج و

جدول ۵. شیب متوسط وزنی، شیب میانه، نمای شیب، حوزه آبخیز مطالعاتی به تفکیک واحد کاری (درصد)

Table 5. Medium weight slope, middle slope, slope view of study watershed by work unit (percentage)

میانه (%)	نمای شیب (%)	شیب متوسط وزنی (%)	مساحت (ha)	مساحت (km ²)	واحد هیدرولوژیک
30	30-60	43.93	3270.55	32.71	B11111
28	30-60	40.66	4461.40	44.61	B11111
28	30-60	38.05	3893.93	38.94	B111121
28	30-60	39.68	2961.53	29.62	B111121
30	30-60	42.66	6244.59	62.45	B11112
28	30-60	33.22	1048.41	10.48	B1111 INT
35	30-60	51.93	4045.58	40.46	B11121
35	30-60	51.99	4814.52	48.15	B11121
28	30-60	37.86	6004.54	60.05	B1112 INT
25	30-60	32.98	3944.84	39.45	B111 INT
15	12-20	23.97	2934.24	29.34	B11
12	12-20	17.09	4052.97	40.53	B11 INT
12	12-20	17.63	8772.31	87.72	B1 INT
30	30-60	48.09	5498.28	54.98	B211
30	30-60	51.01	4383.78	43.84	B211 INT
30	30-60	46.25	5357.69	53.58	B21 INT
32	30-60	53.70	4607.79	46.08	B2
25	30-60	43.12	5799.98	58.00	B2 INT
30	30-60	46.00	7365.36	73.65	B311
30	30-60	44.34	5432.99	54.33	B312
5	2-5	11.76	5866.24	58.66	B31 INT
15	12-20	21.86	4051.75	40.52	B32
11	0-2	15.00	8019.20	80.19	B33
1	0-2	1.25	16210.77	162.11	B3 INT
18	12-20	25.26	6039.31	60.39	B
1.5	0-2	3.55	14215.17	142.15	B INT
23	30-60	28.92	149297.7	1492.98	Total



شکل ۶. نقشه شیب حوزه آبخیز بابل‌رود
Fig. 6. Slope map of Babolrood watershed

سیل قرار دارد. با توجه به اینکه افزایش شیب، کاهش پایداری خاک را در پی دارد (افزایش نیروی انتقال ذرات به طرف پایین) و طبق اظهار لئوپولد مبنی بر اینکه در شیب‌های بیشتر از ۶۰ درجه، فرسایش خاک با افزایش شیب کاهش می‌یابد؛ بنابراین طبق توضیحات بالا اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها نسبت به عامل توپوگرافی شیب در جدول ۶ ارائه شده است.

مطابق جدول ۵ ملاحظه می‌شود شیب متوسط وزنی کل حوزه آبخیز ۲۸/۹۲ درصد، میانگین شیب آن ۲۳ درصد و نمای آن ۳۰-۶۰ درصد است. این پارامتر فیزیوگرافی (شیب متوسط وزنی برابر ۵۳/۷۰) که نقش بسزایی در پتانسیل تولید رواناب را دارد نشان می‌دهد که واحد کاری B2 دارای پتانسیل زیاد در تولید رواناب بوده و در گروه زیر حوضه‌های با خطر بالای

جدول ۶. اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها نسبت به سیل‌خیزی
Table 6. Prioritization of sub-watershed over flood

نام زیر حوضه	شماره اولویت	نام زیر حوضه	اولویت
B1112 INT	14	B2	1
B111121	15	B11121	2
B111 INT	16	B211 INT	3
B1111 INT	17	B11121 INT	4
B	18	B211	5
B11	19	B21 INT	6
B32	20	B311	7
B1 INT	21	B312	8
B11 INT	22	B2 INT	9
B33	23	B11111	10
B31 INT	24	B11112 INT	11
B INT	25	B11111 INT	12
B3 INT	26	B111121 INT	13

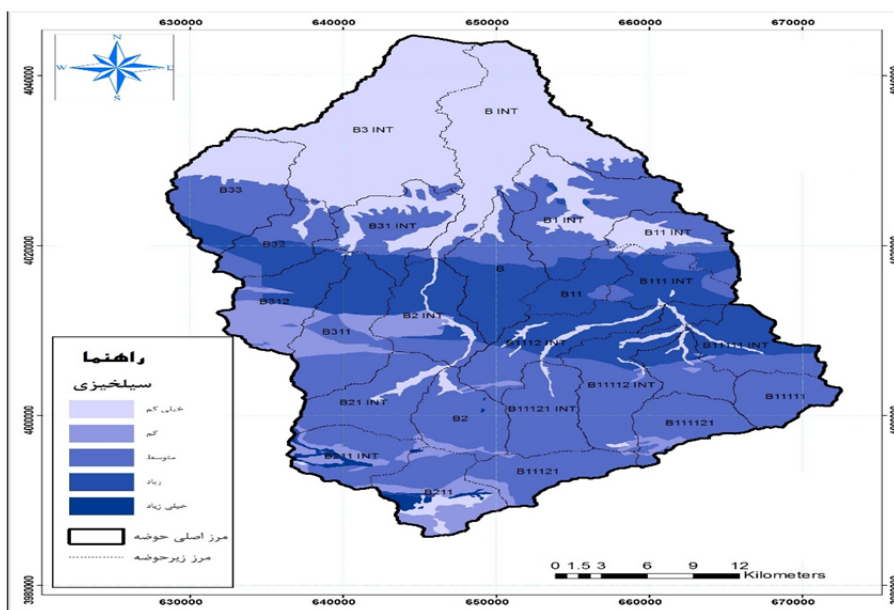
B11121, B2111INT, B11121INT و B211 در اولویت‌های بعدی از لحاظ سیل‌خیزی تعیین شدند. البته شایان ذکر است که اهمیت زیر حوضه‌ها در مطالعات فیزیوگرافی لحاظ شده و با استفاده از مطالعات دیگر می‌توان به جمع‌بندی بهتری رسید و به لحاظ سیل‌گیری می‌بایست مطالعات هیدرولوژی و سیل صورت گیرد (جدول ۷ و شکل ۷).

با توجه به جدول فوق، با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در وقوع سیل از قبیل شیب متوسط وزنی حوزه آبخیز، طول آبراهه اصلی، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی و زمان تمرکز می‌توان اظهار نمود که زیر حوضه B2 در مجموع و در شرایط یکسان دارای امتیاز بیشتری نسبت به سایر زیر حوضه‌ها است و پتانسیل سیل بالاتری دارد. بعدازآن به ترتیب زیر حوضه‌های

جدول ۷. مساحت کلاس‌های سیل‌خیزی در زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه

Table 7. Area of flooding classes in the sub-watershed of the study area

درصد	مساحت (هکتار)	V	IV	III	II	I	زیر حوضه
		خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	
2.74	4043.94			3642.23	401.7		B11121
3.72	5495.5	481.72	89.76	1749.38	2447.13	727.52	B211
2.97	4380.36	439.26	25.81	2712.47	1178.79	24.02	B211 INT
2.63	3889.24			3547.62	341.62		B111121
2.21	3265.63			3265.63			B11111
3.12	4607.79	13.39		4058.23	344.36	191.81	B2
3.63	5356.18	6.59	18.84	4872.12	83.68	374.94	B21 INT
3.26	4814.52			4730.01	6.49	78.02	B11121 INT
2.01	2961.53	11.65	822.55	1897.11	95.54	134.69	B111121 INT
4.23	6244.59		1713.52	4053.1	151.38	326.6	B11112 INT
3.02	4457.78	14.41	2688.39	1568.41	39.93	146.64	B11111 INT
0.71	1047.97		959.18			88.79	B1111 INT
4.07	6004.37		3306.93	2015.27	143.7	538.47	B1112 INT
3.93	5797.84		2967.69	1257.39	1206.54	366.22	B2 INT
4.99	7363.47		2406.47	3311.6	1635.71	9.68	B311
3.68	5429.63		2322.69	465.77	2632.03	9.14	B312
1.99	2933.26		2486.03	392.55		54.68	B11
2.74	4045.32		575.74	2099.89		1369.69	B11 INT
2.67	3941.08		2848.14	949.48		143.46	B111 INT
2.74	4050.31		1553.26	2244.1		252.96	B32
4.09	6038.26		3735.71	1877.37		425.18	B
3.97	5865.71		608.94	2763.15		2493.62	B31 INT
5.94	8766.75		636.73	5386.07		2743.95	B1 INT
5.43	8010.64		815.36	4061.57		3133.71	B33
9.62	14198.75		125.23	1679.72		12393.8	B INT
10.96	16183.83			366.83		15817	B3 INT
101.04	149194.25	41844.61	10708.6	64967.06	30706.97	967.02	جمع کل



شکل ۷. نقشه سیل خیزی حوزه آبخیز بابل‌رود

Fig. 7. Flooding Map of Babolrood watershed

جدول ۸. اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر محدودیت سیل خیزی

Table 8. Prioritization of sub-watershed in terms of flooding limitation

اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها	حساسیت نسبت به سیل خیزی			زیر حوضه
	زیاد	متوسط	کم	
5		*		B11121
3		*		B211
5		*		B211
				INT
1		*		B111121
3		*		B11111
2		*		B2
2		*		B21 INT
3		*		B11121
				INT
2			*	B111121
				INT
2			*	B11112
				INT
2			*	B11111
				INT
2			*	B1111
				INT
1			*	B1112
				INT
1			*	B2 INT
2			*	B311
2			*	B312
1			*	B11
2		*		B11 INT
1			*	B111
				INT
1			*	B32
1			*	B
1		*		B31 INT
1		*		B1 INT
2		*		B33
3	*			B INT
4	*			B3 INT

مطالعات و برنامه‌ریزان در امر طراحی عملیات و پیشنهاد روش‌های مناسب برای حفظ حوزه آبخیز باشد.

در نهایت براساس روش شاخص شدت سیل‌خیزی زیر حوزه‌های آبخیز بابل‌رود و بر اساس نتایج جدول شماره ۹، زیر حوزه‌های B11121، B211INT و BIINT با بیش‌ترین ضریب سیلابی، سیل‌خیزترین زیر حوزه در حوزه آبخیز بابل‌رود شناسایی شدند (شکل ۸).

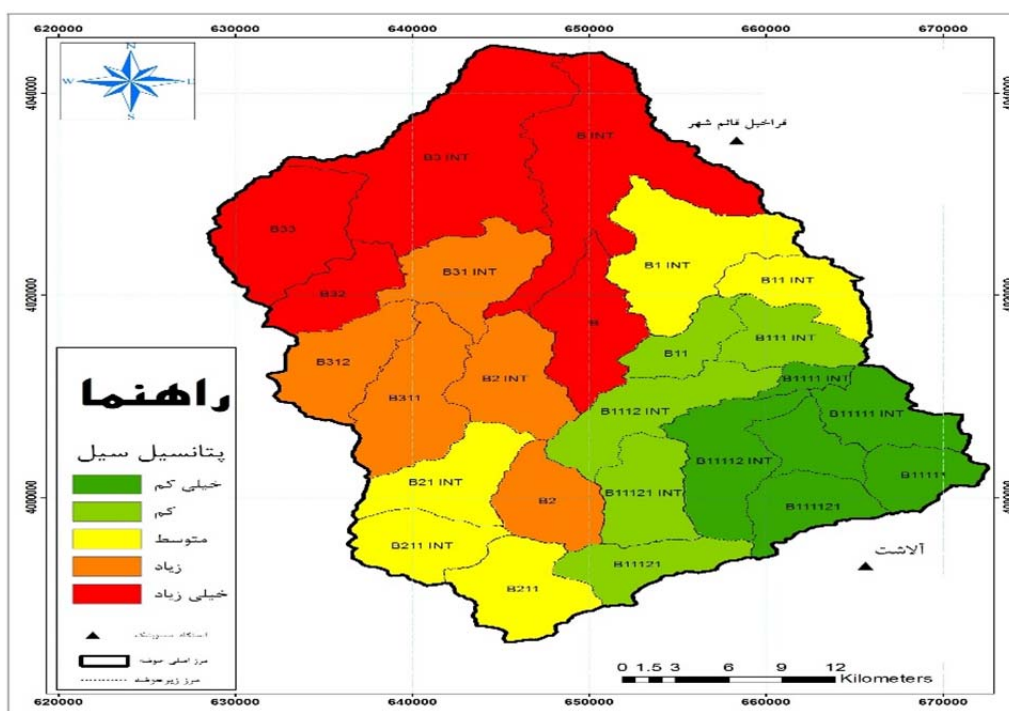
اولویت‌بندی زیر حوزه‌ها از نظرگاه عوامل پایدار و ناپایدار و محدودیت‌های سیل

نتایج اولویت‌بندی زیر حوزه‌ها با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در گستره مورد مطالعه به لحاظ سیل‌خیزی در جدول شماره ۸ ارائه شده است. در راستای مسائل ذکر شده، اولویت‌بندی زیر حوزه‌ها بر اساس نتایج سیل‌خیزی ارائه‌شده در بخش‌های قبلی می‌تواند کمک مؤثری برای تلفیق‌کنندگان

جدول ۹. مقادیر ضریب جریان سیلابی به تفکیک واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز

Table 9. Flood flow coefficient values by hydrological units of the watershed

ضریب جریان سیلابی (%)	شدت بارش (in.hr)	شدت بارش (mm.hr)	سطح اراضی غیرقابل نفوذ (%)	زمان تمرکز (hr)	متوسط شیب (%)	شماره منحنی	واحد هیدرولوژیک
32.29	0.82	20.77	1.00	1.63	44.44	79.64	B11121
30.58	0.83	21.04	0.81	2.57	46.92	77.29	B211 INT
23.07	1.58	40.17	5.29	6.00	14.99	68.37	B1 INT
20.01	1.02	26.02	0.00	2.34	39.16	81.63	B211
20.00	1.21	30.72	0.20	3.08	47.63	65.87	B2
18.21	1.87	47.52	0.00	2.94	46.76	64.99	B11121 INT
17.61	0.78	19.78	0.28	3.08	41.89	64.83	B21 INT
18.15	1.58	40.12	4.90	5.67	10.19	71.11	B31 INT
17.67	1.68	42.72	12.73	13.07	2.93	78.59	B INT
14.08	1.04	26.29	0.07	5.43	38.36	62.25	B311
14.00	1.22	31.10	0.05	2.04	33.71	66.88	B111121
13.99	0.80	20.35	0.07	4.97	35.86	65.45	B11112 INT
13.81	0.80	20.35	0.32	5.14	31.24	64.34	B1112 INT
13.58	0.93	23.50	0.00	1.80	38.72	62.42	B11111
13.52	1.39	35.21	0.00	2.68	34.56	65.13	B111121 INT
13.41	1.27	32.35	0.11	3.51	32.93	64.27	B11111 INT
13.10	1.13	28.67	0.00	3.63	36.67	62.19	B312
12.36	0.78	19.78	0.00	4.90	34.94	62.72	B2 INT
13.33	1.57	39.89	1.89	6.45	12.86	69.50	B33
11.94	1.33	33.82	0.31	4.25	25.94	63.16	B111 INT
11.70	1.53	38.76	1.06	3.85	14.57	69.02	B11 INT
12.78	1.40	35.56	0.82	7.46	21.47	63.88	B
11.32	1.47	37.26	0.79	4.04	18.61	63.64	B32
10.97	1.39	35.21	0.09	2.12	25.61	64.57	B1111 INT
9.35	0.74	18.70	0.35	4.73	19.95	62.84	B11
8.96	1.70	43.24	9.19	11.88	0.82	80.77	B3 INT



شکل ۸. نقشه پتانسیل سیل به تفکیک واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز بابلرود
 Fig. 8. Flood potential by hydrological units of Babolroud watershed

بحث و نتیجه‌گیری

پهنه‌های سیل‌گیر مربوط به مناطق مسکونی یا اراضی زراعی دیم است. این موضوع می‌تواند در ارتباط با ساخت‌وسازهای بی‌رویه و تغییر مداوم الگوی کشت و در نهایت توسعه بسترهای رودخانه و مستعد شدن اراضی مجاور رودخانه برای وقوع سیل باشد. این موارد در تأیید یافته‌های اسفندیاری درآباد و همکاران (۵)، اوگاتو و همکاران (۱۹) و میشر و سینگ (۱۵) مبنی بر اینکه آبراهه‌های با رتبه ۳ و ۴ ایجاد پهنه‌های سیل‌خیز نموده و هدایت‌کننده سیلاب به نواحی پایین‌دست هستند، است. هم‌چنین حوزه‌های آبخیز کوچک از فراوانی سیل‌خیزی بالاتری برخوردارند، اما شدت سیلاب‌های آن‌ها کم‌تر است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، سیلاب‌های ناحیه کوهستانی از قدرت تخریب بالایی برخوردارند. با این حال به دلیل نبود سکونتگاه‌های بزرگ در این نواحی، عمده خسارت‌ها متوجه باغات و اراضی کشاورزی یا سکونتگاه‌های روستایی است که این یافته‌ها نیز با نتایج خیری‌زاده و همکاران (۱۱) و ولیزاده‌کامران و همکاران (۲۹) مبنی بر افزایش سیلاب در باغات و اراضی بایر و در

با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیل (شکل ۸)، هر یک از زیر حوضه‌ها با توجه به موقعیت و ویژگی‌های اقلیمی، شدت سیل‌خیزی متفاوتی داشته و بر اساس سایر ویژگی‌های جغرافیایی دارای قسمت‌های سیل‌خیز یا پهنه‌های سیل‌گیر هستند. بطوری‌که پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی، حوزه مورد مطالعه بر اساس شدت سیل‌خیزی به پنج کلاس با سیل‌خیزی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد. نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی سیل‌خیزی در منطقه نشان داد که بیش‌ترین درصد مساحت حوزه با ۴۳/۳۳ درصد به پهنه‌های با سیل‌خیزی متوسط اختصاص دارد. این پهنه‌ها بیش‌تر در بخش‌های جنوب و شرق حوزه تمرکز دارند. پهنه‌هایی که احتمال وقوع سیل در آن‌ها زیاد است، در مرز میانی حوزه آبخیز قابل مشاهده است. در این بین کم‌ترین درصدها به ترتیب به پهنه‌های خیلی کم (۰/۶۴٪) و زیاد (۷/۳۳٪) اختصاص یافته است. بر اساس نقشه کاربری ارائه‌شده در شکل ۳ و در تطبیق با شکل ۸، مشاهده می‌شود بخش اعظم

پیشنهادها

نظارت بر ساخت و سازها و تغییر کاربری‌ها براساس نظارت بر برداشت منابع قرصه رودخانه‌ها ی به جهت تأثیر منفی آن در محیط زیست و افزایش سیل خیزی، از جمله پیشنهادهای اولویت دار در این حوزه آبخیز هستند. بدیهی است پیشنهادهای اجرایی بایستی بر مبنای اولویت بندی زیر حوزه‌ها از دیدگاه حفظ پوشش گیاهی و سیل خیزی انجام و در پایان اولویت نهایی زیر حوزه‌ها مشخص خواهد شد. با توجه با شرایط اقلیمی حوزه آبخیز بابل رود، موارد زیر پیشنهاد می شود:

- روش های بیولوژیک (کاشت پوشش گیاهی مناسب): پوشش گیاهی ضمن اینکه به تنهایی به عنوان یک روش پایدارسازی به کار می رود، می تواند در طولانی مدت برای عمر مفید سایر سازه های فنی نیز مطرح شود. می توان با احیای پوشش گیاهی بومی، عمر پروژه را طولانی و حتی دائمی نمود. اگرچه ممکن است از نظر تأثیر جنبه حفاظتی و منظرسازی نسبت به سازه های مکانیکی زمان طولانی تری را به خود اختصاص دهد اما ارزان تر و بادوام تر هستند.
- با توجه به اهمیت حوزه آبخیز بابل رود در اقتصاد منطقه، پیشنهاد می شود که مشابه این تحقیق در پایین دست و سایر بازه های رودخانه انجام گیرد تا براساس این تحقیقات، طرح مدیریت جامع سیل رودخانه بالا رود ارائه شود.
- با توجه به وجود یکی از بزرگ ترین مرکز تحقیقات برنج در این حوزه آبخیز، مطالعات جامع هیدرولیکی و هیدرولوژیکی در جهت کاشت گونه های مقاوم به سیل در این زمینه پیشنهاد می شود.
- با توجه به اهمیت اجرای طرح های پهنه بندی و ساماندهی رودخانه و محدودیت یا عدم نقشه های پلان رودخانه و دشت های سیلابی اطراف به صورت دیجیتال شده، پیشنهاد می شود به جهت اقدام اساسی در اجرای طرح های مدیریتی و ساماندهی رودخانه های مهم کشور، وزارت نیرو و سازمان نقشه برداری در این راستا گام های مهمی بردارند.

پایین دست حوزه آبخیز در یک راستا است. در این تحقیق از بین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب در منطقه مورد مطالعه، دو عامل مساحت زیر حوضه ها و شیب حوزه بیش ترین تأثیر و مشارکت را در ایجاد و تشدید سیلاب داشتند. با عنایت به پتانسیل سیل در این حوزه ها در حوزه آبخیز بابل رود که توان تولید سیل در آن ها از خیلی کم تا خیلی زیاد متغیر است، جهت کنترل سیل می توان از سازه های هم چون بندهای سنگی - ملاتی و توری سنگی (گابیون بندی) استفاده کرد. در این پژوهش عوامل فیزیوگرافی در نظر گرفته شده شامل مساحت زیر حوضه ها، شیب حوزه، تراکم زهکشی و ضریب سیلابی به علاوه عامل بارندگی و کاربری اراضی که به عنوان شاخص ترین عوامل در پهنه بندی سیلاب استفاده شدند، در بررسی پتانسیل بروز سیلاب مدنظر قرار گرفت که این موضوع نیز با نتایج تحقیقات یاهیا (۳۱) هم خوانی دارد. نقش بسیاری از این عوامل تأثیرگذار در این حوزه آبخیز باعث شده که در زمره خطرپذیری بالای سیل در منطقه قرار گیرند. از این رو، این مناطق باید در اولویت اول اقدامات اصلاحی مدیران منطقه در جهت کاهش خطر سیل قرار گیرد. از مهم ترین مشکلات گستره مورد مطالعه می توان به سیلاب های ناشی از بارندگی در فصول با بارندگی زیاد اشاره کرد. با توجه به سیستم آبراه ها و نیز عامل بارندگی زیاد و شیب زیاد دامنه ها، می توان برای جلوگیری از سیلاب، با توجه به میزان دبی آن ها اقدام به ایجاد خشکسختی برای برخی آبراه ها نمود. ولی آنچه در این میان بسیار حائز اهمیت است نقش انسان در تغییر کاربری زمین و از بین بردن پوشش جنگلی و احداث جاده ها بدون در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی منطقه است. بنابراین یکی از ضروریات مورد تأکید در این تحقیق نظارت شدید بر حفظ پوشش گیاهی منطقه و هم چنین مدیریت نوع و میزان تغییرات کاربری است؛ بنابراین آگاهی از میزان پتانسیل سیل حوزه های آبخیز می تواند در تدوین برنامه های مختلف برای مدیریت بحران، اختصاص بودجه لازم، مدیریت منابع آب و برنامه های آبخیزداری و آبخوانداری بسیار مفید باشد.

References

1. Abedini M, Fathi M H. 2017. Flood Risk Mapping and Evaluation by using the Analytic Network Process Case Study: (Khiav Chai Catchment). Journal of Hydrogeomorphology, 2 (3): 99-120. (In Persian).
2. Azadtalab M, Shahabi H, Shirzadi A, Chapi K. 2020. Flood hazard mapping in Sanandaj using combined models of statistical index and evidential belief function. Journal of Motaleate Shahri, 9 (36): 27-40. <http://dx.doi.org/10.34785/J011.2021.801>. (In Persian).
3. Azizi E, Mostafazadeh R, Hazbavi Z, Esmali Ouri A, Mirzaie Sh, Huang G, Qian, X. 2022. Spatial distribution of flood vulnerability index in Ardabil province, Iran. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02264-5>.
4. Das S. 2018. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. Arabian Journal of Geosciences, 11: 576. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3933-4>.
5. Esfandiary Darabad F, Layeghi S, Mostafazadeh R, Haji Kh. 2021. The zoning of flood risk potential in the Ghotorchay watershed with ANP and WLC multi-criteria decision making methods. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 8 (2): 135-150. <https://doi.org/10.52547/jsaeh.8.2.135>. (In Persian).
6. Farooq M, Shafique M, Khattak M S. 2019. Flood Hazard Assessment and Mapping of River Swat Using HEC-RAS 2D Model and High-Resolution 12-M Tandem-X DEM (WorldDEM). Natural Hazards, 97: 477-492. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03638-9>.
7. Fathalizadeh B, Abedini M, Rajabi M. 2020. Investigating the Causes and Hazards of flood in Zunuzchay Watershed Using HEC-HMS Hydrological Model and Fuzzy Logic. Quantitative Geomorphological Research, 9 (1): 134-155. <https://doi.org/10.22034/GMPJ.2020.109539>. (In Persian).
8. Ghaffari G, Solaimani K, Mosaedi A. 2007. Flood Hazard Zoning and Damage Assessment Using HEC-GeoRAS (Case Study: Babolrood River). Journal of the Iranian Natural Resources, 60 (2): 439-451. (In Persian).
9. Hossain B, Sohel M S, Ryakitimbo C M. 2020. Climate Change Induced Extreme Flood Disaster in Bangladesh: Implications on People's Livelihoods in the Char Village and Their Coping Mechanisms. Progress in Disaster Science, 6, 100079. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100079>.
10. Kenyon W, Hill G, Shannon P. 2008. Scoping the Role of Agriculture in Sustainable Flood Management. Land Use Policy, 25 (3): 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.09.003>.
11. Kheirizadeh M, Maleki J, Amonia, H. 2013. Zoning of flood risk potential in Mordeghachai catchment using ANP model. Quantitative Geomorphological Research, 1 (3): 39-56. (In Persian).
12. Kourgialas NN, Karatzas GP. 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas: a case study". Hydrolgy Science Journal, 56 (2): 212-225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>.
13. Malek Mohammadi B, Tajrishi M. 1999. How to determine the rate of flood insurance in urban areas of Iran, Quarterly Journal of Insurance Industry (Proceedings of the Seminar on Insurance and Natural Disasters). Insurance Research Journal (Former Insurance Industry), 55: 1-18. (In Persian).
14. Mirzaei Sh, Esmali A, Mostafazadeh R, Ghorbani A, Mirzaei S. 2017. Flow modelling and determination of sub-watersheds contribution in flood hydrograph in Amoughin watershed, Ardabil province. Journal of Natural Environmental Hazards, 7 (18): 89-108. (In Persian).
15. Mishra K, Sinha R. 2020. Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach. Geomorphology, 350:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106861>.
16. Mostafazadeh R, Mehri S. 2018. Trends in Variability of Flood Coefficient in River Gauge Stations of Ardabil Province, Iran. Journal of Watershed Management Research, 9 (17): 82-95. (In Persian).
17. Mostafazadeh R, Mirzaei Sh, Nadiri P. 2016. Curve Number Determination using Rainfall and Runoff Data and its Variations with Rainfall Components in a Forested Watershed. J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.), 21 (4): 15-28. (In Persian).
18. National Irrigation and Drainage Committee of Iran and National Committee for Natural Disaster Reduction. 2000. Guide to non-structural methods of flood management. No. 40.
19. Ogato G S, Bantider A, Abebe K, Geneletti D. 2020. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia.

- Journal of Hydrology: Regional Studies, 27: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>.
20. Parvaresh E, Mahdavi R, Malekian A, Esmaeilipoor Y, Holisaz A. 2018. Prioritizing of effective factors in flooding potential using Electre III Method and Flood Flow Coefficient (Case study: Sarkhoon Subwatersheds of Bandarabbas). *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 8 (1): 75-87. <https://dx.doi.org/10.29252/aridbiom.8.1.75>. (In Persian).
 21. Rahman A, Mahmood S, Dawood M, Rahman G, Chen F. 2019. Impact of Climate Change on Flood Factors and Extent of Damages in the Hindu Kush Region. In *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*; Oxford University Press: Oxford, UK, 36 pp. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.316>.
 22. Rahmani Sh, Azizian A, Samadi A. 2019. Determining flood hazard level of mazandaran sub-basins using a gis-based distributed method. *Journal of Hydraulics*, 14 (1): 123-139. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2019.155838.1342>. (In Persian).
 23. Saeed M, Li H, Ullah S, Rahman A, Ali A, Khan R, Hassan W, Munir I, Alam S. 2021. Flood Hazard Zonation Using an Artificial Neural Network Model: A Case Study of Kabul River Basin, Pakistan. *Sustainability*, 13 (24): 13953. <https://doi.org/10.3390/su132413953>.
 24. Solaimani K, Darvishi Sh. 2020. Zoning and Monitoring of Spring 2019 Flood Hazard in Khuzestan Using Landsat-8 Data. *Eco-Hydrology journal*, 7 (3): 563-842. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.302703.1333>. (In Persian).
 25. Solaimani K. 2020. Final report of the flood risk zoning project in Mazandaran province. (Case study: Babolrood watershed). General Department of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran-Sari Province, 410 pp. (In Persian).
 26. Tahmasebi M R, Shabanlou S, Rajabi A, Yosefvand F. 2021. Flood probability zonation using a comparative study of two well-known random forest and support vector machine models in northern Iran. *Journal of Water and Irrigation Management*, 11 (2): 223-235. <https://doi.org/10.22059/jwim.2021.317527.856>. (In Persian).
 27. Telvari, A. 1997. Flood Control Management and Flood Mitigation. Expert Workshop on Rivers Flood Control. Hamadan, 15 and 16 May, pp: 59-50. (In Persian).
 28. Ullah K, Zhang J. 2020. GIS-Based Flood Hazard Mapping Using Relative Frequency Ratio Method: A Case Study of Panjkora River Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan. *PLoS ONE*, 15 (3): e0229153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>.
 29. Valizadeh Kamran Kh, Delire Hasannia R, Azari Amgani Kh. 2019. Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10 (3): 59-75. https://girs.bushehr.iau.ir/article_668470_1132929.html?lang=en. (In Persian).
 30. Wu Y, Zhong P, Zhang Y, Xu B, Ma B, Yan, K. 2015. Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, 78 (1): 635-651. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1737-3>.
 31. Yahaya S. 2008. Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia-jama are River Basin, Nigeria. Annual Conference Portland, Oregon. ASPRS 2008 Annual Conference Portland, Oregon. April 28-May 2.
 32. Zali M, Solaimani K, Habibnejad Roshan M, Miryaghoubzadeh M H. 2022. Comparison and prioritization of flooding in Nekarood sub-basins using morphometric method in GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13 (2): 6-10. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.2.2.2>. (In Persian).



Determining the priority of flood risk zoning using geographic information system in Babolrud watershed (Mazandaran province)

Karim Solaimani, Behrooz Mohseni

Received: 2022-06-22 / Accepted : 2022-11-15 / Published : 2024-09-29

Abstract

Due to the increase of flood incidents in recent years, the correct assessment of flood risk is one of the important components of flood reduction in urban areas. The purpose of this research is to create updated flood risk maps in the Babolrud watershed using synoptic station data and physiographic information (elevation, area, slope). Then, by using Geographical Information System (GIS), Landsat 8 satellite image and superimposition of layers (area, slope, land use, drainage density), flood potential was zoned. In order to prepare a flood risk map in the Babolrud watershed, the main factors affecting the occurrence of floods in the region were selected using relevant published sources and the opinions

of professors and experts, and a map of each factor was prepared by GIS software. The results of flood risk zoning showed that B2 sub- watershed has a higher flood potential than other watersheds. Sub-watershed B11121, B2111INT, B11121INT and B211 were then identified in the next priorities in terms of flooding, respectively. Finally, based on the flood intensity index method, sub- watershed B11121, B211INT and B11121INT with the highest flood flow coefficient were identified as the most flood sub- watershed. The results obtained from flood zoning in the region showed that the highest percentage of the watershed area with 43.33% is allocated to zones with moderate flooding. In between, the lowest percentages are assigned to very low (0.64%) and high (7.33%) areas zones, respectively. According to the provided land use map, most of the flooded zones are related to residential areas or rainfed agricultural lands. Watercourses with ranked 3 and 4 are known as flood zones and flood control areas to the downstream areas. Watercourses with a rating of 5 and above are located in flood plains or river reaches and usually have shallow and widespread floods. Also, in some areas of the watershed, which have a relatively high altitude, the amount of runoff increases and causes flooding in the area.

Karim Solaimani¹✉, Behrooz Mohseni²

1. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2. Assistant Professor, Research Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

DOI: 10.30495/girs.2022.697113

E-mail: solaimani2001@yahoo.co.uk

Therefore, monitoring the withdrawal of river loan resources in order not to destroy the river bed and constructions (Land use change) are among the priority proposals in this watershed.

Background and Objective

The ever-increasing expansion of cities and urban constructions is accompanied by the transformation of agricultural lands and natural resources; Therefore, its consequence will be the expansion of impervious zones and the increase of surface runoff, which may cause devastating urban floods in the long run. Floods are generally aggravated by various factors such as the high discharge of rivers, infiltration into flood channels and development activities in active flood plains. For this reason, it is necessary to study and research in cases related to flood forecasting and control. One of the ways to reduce the damage caused by floods is to determine the flood generating areas and apply appropriate control methods. Therefore, the investigation of the effective factors in the occurrence of floods and the analysis of flood-prone areas and the audit of flood potential through zoning can be more useful in land use and applying the correct method of watershed management. In fact, the purpose of flood zoning is to determine the progress of the flood, its height and characteristics in the period of different returns, which ultimately can be used to determine the land use, study and economic justification of construction plans, identify flood insurance in the region and create mandatory restrictions in the risky regions used. Therefore, flood zoning using geographic information system (GIS) is one of the non-structural solutions and efficient tools in managing and reducing flood risks. Considering that the data and methods of remote sensing or RS and GIS have helped to monitor, evaluate and prepare maps of flooded areas, and as a result, they are reliable data for carrying out related activities. Therefore, the purpose of this research is to identify areas with different flood potentials, zoning the watershed area of Babolrud according to the probability of flooding and providing appropriate solutions to control and reduce the effects of floods to help managers and planners in the field of natural resources and water resources.

Materials and Methods

The present research was conducted in the Babolroud watershed in the south of Mazandaran province. The area of Babolrud watershed is 1493

square kilometers and its height varies from a minimum of -0.83 meters to a maximum of 3711 meters above sea level. Galogah, Khoshrodepy, Marzikola and a part of Babol are the important residential centers of this watershed. Due to the wide and flat bed and floodplain of the Babolroud river and the good quality and quantity of the rice crop, the farmers of the region have turned to the cultivation of this crop and the lands along the river are completely devoted to rice cultivation. To conduct a geological study in the Babolrud watershed, in order to cover the entire area, 1:100,000 geological maps of Qaemshahr and Amol and 1:250,000 Sari were used. In order to make more use of this information and investigate the lithological situation of the region, the lithology information layer of the region was digitized using GIS, and in this way, the area of each formation in the region and in each sub-basin was determined. In order to prepare a map of permeability and flood potential using geological and structural characteristics as well as other characteristics of the region, relevant maps were prepared and presented. Finally, in this research, by using synoptic station data and physiographic information (height, area, slope) and using GIS, Landsat 8 satellite image and overlaying layers (area, slope, land use, drainage density, etc.), Flood potential was zoned. In order to prepare a flood risk map in the Babolrud watershed, the main factors affecting the occurrence of floods in the area were selected using relevant published sources and the opinions of professors and experts, and a map of each factor was prepared by GIS software. The final flood risk map was prepared based on a combination of factors (land use, slope, flow coefficient and rainfall intensity).

Results and Discussion

After the field surveys of the watershed by vegetation, agriculture and geology types, soil hydrological groups were determined in the Babolrud watershed. Then, the type of watershed land exploitation was determined. Based on the calculation of the required values, the weighted average slope of the entire watershed is 28.92%. This physiographic parameter shows that working unit B2 has a high potential in producing runoff and is in the group of high flood risk sub-basins. After that, B11121, B2111INT, B11121INT and B211 sub-basins were determined as the next priorities in terms of flooding respectively. Finally, based on the flood intensity index method of Babolrud watersheds, B11121, B2111INT and

B1INT subbasins with the highest flood coefficient were identified as the most flood-prone subbasins in Babolrud watershed. Each of the sub-basins has a different intensity of flooding according to its location and climatic features, and based on other geographical features, they have flood-prone areas or flood-prone areas. So that after preparing the zoning map, the studied area was divided into five classes based on the intensity of flooding with very low, low, medium, high and very high levels of flooding. The results obtained from flood zoning in the region showed that the highest percentage of the area with 43.33% is allocated to areas with moderate flooding. These areas are mostly concentrated in the southern and eastern parts of the domain. Areas where the probability of flooding is high can be seen in the middle border of the watershed. In between, the lowest percentages are assigned to very low (0.64%) and high (7.33%) areas, respectively. Based on the presented land use map, it can be seen that most of the flood zones are related to residential areas or rainfed agricultural lands. This issue can be related to the indiscriminate constructions and the continuous change of the cultivation pattern and finally the development of the river beds and the proneness of the lands adjacent to the river to floods.

Conclusion

Considering the flood potential of the sub-basins in the Babolrud watershed, where the flood production capacity varies from very low to very high, structures such as stone-mortar dams and stone nets (Gabions) can be used to control flood. In this research, the considered physiographic factors, including the area under the basins, basin slope, density of drainage and flood coefficient, in

addition to the rainfall factor and land use, which were used as the most indicative factors in flood zoning, were considered in the investigation of the flood potential. The role of many of these influential factors in this watershed has caused them to fall into the category of high flood risk in the region. Therefore, these areas should be placed in the first priority of the corrective actions of the district managers in order to reduce the flood risk. One of the most important problems in the studied area is floods caused by rainfall in seasons with heavy rainfall. Considering the system of waterways, as well as the factor of high rainfall and high slope of the slopes, it is possible to create a dam for some waterways according to their flow rate in order to prevent flooding. But what is very important in this is the role of humans in changing land use and destroying forest cover and building roads without considering the geological conditions of the region. Therefore, one of the essentials emphasized in this research is the strict monitoring of the preservation of vegetation in the area, as well as the management of the type and amount of land use changes; Therefore, knowledge of the flood potential of watersheds can be very useful in formulating different plans for crisis management, allocating the necessary budget, managing water resources, and watershed and aquifer management programs. Supervision of constructions and change of uses based on supervision of the withdrawal of river loan resources for its negative impact on the environment and increase of flooding are among the priority proposals in this watershed.

Keywords: Land use change, Downstream, Zoning, Flooding, Flood flow coefficient.