



روشی برای تعیین مناطق مولد سیل بر اساس رابطه بین شاخص سیل خیزی و پارامترهای مورفومتری

معصومه غریب^۱، بهارک معتمدوزیری^{۲*} و حسن احمدی^۳

(۱) دانشجوی دکتری؛ گروه آبخیزداری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

(۲)* استادیار؛ گروه آبخیزداری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: bm vaziri@gmail.com

(۳) استاد؛ گروه آبخیزداری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۵

چکیده:

برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز، از لحاظ توسعه پایدار و مدیریت سرزمین، بسیار ضروری است. بنابراین، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها و شناسایی خصوصیات مورفومتری که به منظور شناسایی رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و طراحی راهبردهای مدیریتی، اهمیت زیادی دارند. هدف این پژوهش، اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوزه آبخیز تنگراه به روش توزیعی و ارائه روشی برای تعیین مناطق مولد سیل است. بدین منظور، ابتدا ورودی‌های مدل بارش-رواناب استخراج و سپس مدل ModClark واسنجی و اعتبارسنجی شد. در مرحله بعد، برای تعیین سیل‌خیزی واحدهای همگن و زیرحوضه‌ها، با اجرای روش عکس‌العمل سیل واحد در قالب حذف متوالی واحدهای همگن و شبیه‌سازی آنمود سیل، ابتدا بارش طراحی در محل ایستگاه بارانسنج ثبات پارک ملی گلستان استخراج شد، سپس میزان تأثیر هر یک از واحدها و زیرحوضه‌ها بر آنمود خروجی کل حوزه آبخیز به دست آمد و در نهایت برای سیل با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال برای حوزه‌های فاقد آمار، رابطه رگرسیونی چندمتغیره مناسب بین پارامترهای مورفومتری و شاخص سیل‌خیزی ارائه شد. نتایج حاصل از نقشه پتانسیل تولید رواناب با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله، نشان داد که پتانسیل تولید رواناب از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه افزایشی بوده و واحد همگن ۱۱۶ به‌عنوان مؤثرترین واحد در پتانسیل تولید رواناب بالا شناخته شد که به دلیل بارش بیشتر و همچنین شیب تند و بالا بودن (CN) در این واحد همگن، پتانسیل تولید رواناب در نزدیک خروجی حوضه نسبت به مناطق بالادست بیشتر است. نتایج این پژوهش نشان داد که با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های هیدرولوژیکی، می‌توان اثر متقابل عوامل فیزیوگرافیک و اقلیمی را بر پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز موردبررسی قرار داد و با در نظر گرفتن همزمانی دبی اوج و نقش روندیابی سیل در رودخانه‌ها، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها را به نحو مطلوب انجام داد.

کلید واژه‌ها: اولویت‌بندی سیل‌خیزی؛ عکس‌العمل سیل واحد؛ مدل توزیعی؛ مدیریت حوزه آبخیز

مقدمه

شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز و پیش‌بینی رفتار آن در طول زمان ایفا می‌کند (Young et al., 2017). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های یک حوضه بر اساس پتانسیل سیل‌خیزی، با هدف تعیین اولویت در سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات مدیریتی، می‌تواند نقش مهمی در مدیریت بهینه حوضه‌ها داشته باشد. کمبود اطلاعات و داده‌های آبنسجی موردنیاز در هر

سیل، یکی از معمول‌ترین و خطرناک‌ترین مخاطرات طبیعی است که هر ساله باعث بروز خسارات جانی و مالی سنگین در سراسر جهان می‌شود (Jongman et al., 2014). مدلسازی بارش-رواناب در طول وقایع سیلابی، یک امر ضروری برای کاهش خطرات بوده و نقش مهمی در درک

در واحدهای زیرحوضه‌ای و سلولی پرداختند. نتایج نشان داد که بزرگ‌ترین و نزدیک‌ترین زیرحوضه‌ها به خروجی و یا دورترین و کوچک‌ترین آن‌ها، لزوماً بیشترین و کمترین اثر را بر روی حداکثر دبی سیلاب ندارد. Bakhtyarikia و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، به شناسایی مناطق دارای پتانسیل تولید رواناب در حوزه آبخیز رودخانه Johor در مالزی پرداختند. Shafapour-Tehrany و همکاران (۲۰۱۳) اقدام به شناسایی مناطق دارای پتانسیل تولید رواناب در حوضه کلاتان مالزی با استفاده از فنون سنجش‌ازدور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و دو رویکرد مختلف درخت تصمیم و ترکیب مقدار فراوانی و رگرسیون لجستیک نموده و نقشه پتانسیل تولید رواناب حوضه را تهیه کردند. Shabanlou (۲۰۱۴) به شبیه‌سازی سیل در حوزه آبخیز کارون با استفاده از مدل (SCS) از نرم‌افزار (HEC-HMS) و مقایسه با مدل (ModClark) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند و از هر دو مدل ریاضی توزیعی و یکپارچه استفاده نمودند. داده‌های میدانی نشان داده که نتایج مدل توزیعی به آنمود ثبت‌شده حوضه نزدیک‌تر است. Jiang و همکاران (۲۰۱۵) برای شبیه‌سازی بارش- رواناب، از مدل هیدرولوژیکی توزیعی HIMS استفاده کردند. نتایج نشان داد که در مقایسه یا مدل‌های SimHyd و SMAR، مدل HIMS بیشترین ضریب ناش-ساتکیف (NSE) و کمترین مقدار خطای نسبی (RE) را برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی داشت. همچنین، مدل توزیعی HIMS نسبت به مدل یکپارچه، عملکرد بهتری دارد. درنهایت، روش مورس برای تجزیه‌وتحلیل حساسیت پارامترهای مدل برای توابع هدف (NSE) و (RE) استفاده شد.

Li و Gao (۲۰۱۶) با استفاده از مدل SWAT اقدام به سناریوسازی بارش و تأثیر آن بر دبی جریان و دقت مدل کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تغییرات دبی جریان نسبت به تغییرات بارندگی، زیادت‌ر بوده و در صورت افزایش مقدار بارندگی، کارایی مدل در شبیه‌سازی افزایش

زیرحوضه، همواره یکی از مشکلات اصلی تعیین اولویت سیل‌خیزی برای اجرای اقدامات آبخیزداری محسوب می‌شود (Vittala, 2008). از آنجا که خصوصیات فیزیوگرافی و مورفومتری زیرحوضه‌ها تأثیر بسیار مهمی در سیل‌خیزی و رفتار هیدرولوژیکی دارد، می‌توان بر اساس آن به بررسی وضعیت و پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز پرداخت. یکی از روش‌های مطرح در رابطه با شناسایی مناطق سیل‌خیز، روش عکس‌العمل سیل واحد است (Saghafian&Khosroshahi, 2005). پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است. Saghafian و همکاران (۲۰۰۲) روش جدیدی بر اساس توسعه مفهوم زمان-مساحت به منظور مدل‌سازی توزیعی ارائه کردند که در این روش، نقشه‌های مدل رقمی ارتفاع، شیب، جهت جریان و تراکم جریان به کار گرفته شدند. Foody و همکاران (۲۰۰۴) به منظور شناسایی مناطق حساس به سیل آبی در منطقه‌ای در غرب مصر، از مدل HEC-HMS به منظور شبیه‌سازی سیلاب استفاده کردند که منجر به شناسایی دو منطقه حساس شد.

Saghafian و Khosroshahi (۲۰۰۵) عکس‌العمل زیرحوضه‌های دماوند را با استفاده از مدل HEC-HMS مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، سهم هر زیرحوضه در دبی اوج سیلاب خروجی، محاسبه شد که هیچ‌گونه رابطه تک متغیره‌ای بین شاخص سیل‌خیزی و سایر خصوصیات زیرحوضه‌ها از جمله شماره منحنی (CN) و شیب زمین وجود ندارد. مطالعات Linde و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که مدل‌های توزیعی نسبت به مدل‌های یکپارچه، واقعیت را بهتر ارائه می‌دهد. Paudel و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های رادار و نرم‌افزار هیدرولوژیکی HEC-HMS به مقایسه مدل‌های توزیعی و یکپارچه پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از این است که با استفاده از مقادیر CN یکسان، روش ModClark نتایج بهتری در مقایسه با روش Clark ارائه می‌دهد.

Saghafian و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی سیل‌خیزی حوزه آبخیز رود زرد با اجرای روش عکس‌العمل سیل واحد

می‌یابد. Saghafian و همکاران (۲۰۱۶) در یک مدل جدید ریاضی بارش-جریان ورودی-رواناب را با استفاده از مدل‌های ترکیبی بارش-رواناب مادکلارک و نفوذ SCS ارائه دادند. در این بررسی سه الگوی مکانی مختلف شماره منحنی (یکنواخت، کاهشی در پایین دست و افزایشی) با دو سناریوی با و بدون جریان ورودی استفاده شده است. نتایج نشان داد که در همه مواردی که جریان ورودی مؤثر بوده، حجم رواناب سطحی و دبی پیک پایین تر بوده‌اند. به‌ویژه در مناطق با شماره منحنی کم تفاوت‌های اساسی بین هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با و بدون جریان ورودی وجود داشته است.

سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۸۷) پتانسیل تولید سیل در حوزه‌های آبخیز را با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط GIS مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی که در حوزه معرف کسلیان استان مازندران انجام شد، نقش روندیابی سیل در تفکیک و شناسایی مناطق سیل‌خیز پس از برآورد دبی زیرحوضه‌ها در آبراهه‌های اصلی تا خروجی کل حوزه بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی، متناسب با دبی اوج نبوده و لزوماً زیرحوضه‌هایی که دبی بیشتری دارند، بیشترین مشارکت را در سیل خروجی حوزه ندارند.

چیداز و همکاران (۱۳۸۸) به ارزیابی مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز کسلیان پرداختند. در این پژوهش، با استفاده از روش حذف متوالی زیرحوضه‌ها، نقش کلیه زیرحوضه‌ها در آبنمود سیل خروجی تعیین شد. نتایج نشان داد که بررسی مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی، با مساحت آن‌ها رابطه مستقیم ندارد. قنوتی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS در حوزه آبخیز رودخانه بالخلو پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۴۰ تا ۴۷ درصد مساحت حوزه طی دوره‌های ۵ تا ۵۰ ساله دارای پتانسیل سیل‌خیزی متوسط بوده و ۱۴ تا ۲۴ درصد دارای پتانسیل زیاد است.

موغلی (۱۳۹۴) به اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای آب‌شناسی حوزه آبخیز دالکی با استفاده از شبیه‌سازی HEC-HMS پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوزه تنها تحت تأثیر مساحت و بده اوج زیرحوضه نیست و عواملی مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها، فاصله تا خروجی، ضریب CN و نقش روندیابی در رودخانه اصلی تأثیر بسزایی در سیل‌خیز بودن زیرحوضه‌ها دارند. علاوه بر این تغییری در اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف مشاهده نشد. رحمتی و همکاران (۱۳۹۴) به تحقیقی تحت‌عنوان اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان بر اساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری پرداختند. در این پژوهش اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان بر اساس روش ترکیبی آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری انجام شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که روش نوین اولویت‌بندی قادر به تعیین اولویت ترتیبی تمام زیرحوضه‌های آبخیز نبود، اما توانست اولویت‌دارترین زیرحوضه‌ها برای اجرای اقدامات آبخیزداری را شناسایی کند. بدری و همکاران (۱۳۹۵) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی پرداختند و نتایج روندیابی سیل در آبراهه‌ها نشان داد که میزان مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل خروجی متناسب با دبی اوج زیر حوضه‌ها نیست.

رضایی و قرمزچشمه (۱۳۹۵) به بررسی تغییرپذیری مکانی سیل‌خیزی با استفاده از روش "عکس‌العمل سیل واحد" در حوزه آبخیز خانمیرزا پرداخته و نشان دادند که پتانسیل سیل‌خیزی از پایین دست به سمت بالادست حوزه دارای حالت افزایشی بوده که این امر نشان‌دهنده اهمیت مدیریت و پیشگیری سیل و برنامه‌های آبخیزداری در سرمنشأ است. بررسی پژوهش‌های فوق نشان داد که لزوماً حوضه‌ای که مساحت و دبی اوج بیشتری دارد، در دبی خروجی کل حوزه تأثیر بیشتری ندارد، بلکه اثر متقابل عوامل مختلف نیز می‌تواند نقش مهمی داشته باشد و با توجه

آبسنجی دشت و تنگراه بوده که تنها ایستگاه آبسنجی تنگراه فعال بوده و ایستگاه بارانسنج ثابت پارک ملی گلستان، تنها ایستگاه دارای آمار کافی داخل حوضه است. جدول (۱) برخی مشخصات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه و شکل (۱) محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های آبسنجی موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰×۱۰۰ متر در محیط GIS تهیه شد. پس از تهیه نقشه DEM، با استفاده از ARCGIS تمام مراحل آماده‌سازی مدل حوضه آبخیز شامل تهیه لایه جهت جریان، لایه تجمعی جریان، لایه آبراه‌ها و مرز زیرحوضه‌ها تهیه شد.

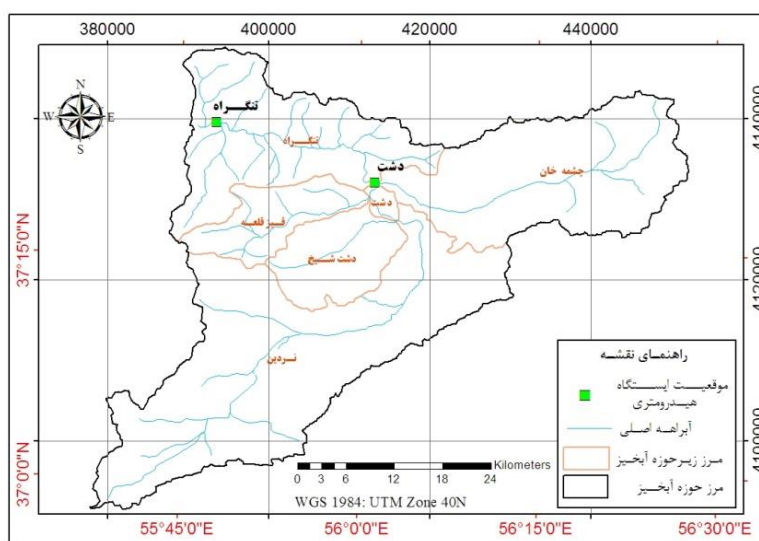
به شرایط مختلف مورفومتری و هیدرولوژیکی شرایط حوضه آبخیز از نظر پتانسیل تولید رواناب متفاوت است. هدف از انجام پژوهش حاضر، که در حوضه آبخیز تنگراه صورت گرفته، تعیین سیل‌خیزی به صورت توزیعی و زیرحوضه‌ای، و مقایسه آن‌ها است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: زیرحوضه تنگراه با مساحت تقریبی ۱۸۶ هزار هکتار، بخشی از حوضه آبخیز مادر سو است که رواناب حاصل از آن، از طریق رودخانه دوغ به دریاچه سد گلستان وارد می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه این حوضه ۴۲۵ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه آن ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد است. حوضه آبخیز تنگراه دارای دو ایستگاه

جدول ۱. مساحت و محیط زیرحوضه‌های حوضه آبخیز تنگراه

زیرحوضه	مساحت (km ²)	مساحت (%)	محیط (km)	شیب متوسط (%)
نردین	۷۵۲	۴۰	۲۴۲	۱۸
دشت شیخ	۱۴۶	۸	۵۴	۱۷
چشمه‌خان	۴۵۳	۲۴	۱۴۳	۱۹
قیرقلعه	۱۲۵	۷	۶۳	۲۴
دشت	۱۲	۱	۱۵	۱۵
تنگراه	۳۷۲	۲۰	۱۴۷	۵۰
مجموع	۱۸۶۰	۱۰۰	۶۶۴	



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های آبسنجی موجود در منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز، از رابطه (۱) پیشنهاد شده (Kull & Feldman, 1998).

$$T_{cell} = t_c \cdot L_{cell} / L_{max} \quad (1)$$

که در آن: t_{cell} : زمان پیمایش از هر سلول تا خروجی حوزه آبخیز، T_c : زمان تمرکز حوزه آبخیز، L_{cell} : فاصله هر سلول تا خروجی حوزه آبخیز و L_{max} : حداکثر طول مسیر جریان آب در حوزه آبخیز است. در پایان، آبنمود به دست آمده بر اساس رابطه (۲) در مخزن خطی روندیابی می‌شود.

$$S(t) = KO(t) \quad (2)$$

که در آن: $S(t)$ ذخیره در زمان t ، $O(t)$ خروجی مخزن در زمان t و K ضریب ذخیره کلارک است.

در این پژوهش، از نرم‌افزاری که بر مبنای روش ModClark است و توسط الوانکار و همکاران (۱۳۸۵) در محیط Visual basic تدوین شده، استفاده شد. با بررسی اطلاعات موجود، تعداد هفت رگبار با موجودیت اطلاعات بارش-رواناب انتخاب شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل رخدادها به دو دسته تقسیم شد و پنج رخداد برای واسنجی و دو رخداد برای اعتبارسنجی انتخاب شد. در زمان وقوع هر سیلاب با استفاده از بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف حوزه آبخیز تنگراه، توزیع مکانی رگبارها با استفاده از روش عکس مربع فاصله (IDW) در محیط GIS استخراج شد. توزیع زمانی رگبارها نیز با استفاده داده‌های باران‌نگار ایستگاه باران‌سنج پارک ملی گلستان و با استفاده از روش پیلگریم (Pilgrim & Cordery, 1975) تعیین شد. زمان تمرکز حوزه آبخیز تنگراه با استفاده از روش برانس‌بای-ویلیامز محاسبه شد (این روش برای حوضه‌های بزرگتر از ۵۰ مایل مربع توصیه شده است). ضریب ذخیره با استفاده از روش گرافیکی (شاخه خشکیدگی آبنمود) (Viessman et al., 1972) و به‌عنوان برآورد اولیه در مرحله واسنجی استفاده شد. علاوه بر این، (CN) حوضه نیز با استفاده از ضریبی مورد واسنجی قرار گرفت.

تعیین شماره منحنی منطقه: شماره منحنی (CN)، پارامتر بی‌بعدی است که در روش SCS برای تعیین تلفات و زمان تأخیر به کار می‌رود و تحت تأثیر نوع کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی و رطوبت پیشین خاک است (Wanielista, CN). (1990) هر حوزه آبخیز بر پایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، وضعیت بهره‌وری از زمین و وضعیت هیدرولوژیکی اراضی و وضعیت رطوبت پیشین خاک تعیین می‌شود. برای تهیه نقشه CN، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با نقشه کاربری اراضی در محیط ArcGIS تلفیق و بر اساس جدول‌های تعیین CN (علیزاده، ۱۳۹۰) شماره منحنی هر واحد (هر پلیگون حاصل از تلفیق نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک) و نقشه CN منطقه مورد مطالعه تعیین شد.

داده‌های بارش-رواناب و تعیین توزیع مکانی و زمانی رگبارها: برای شبیه‌سازی بارش-رواناب، لازم است آبنمودهای مشاهداتی و باران نمودهای متناظر آن در حوزه آبخیز تنگراه آماده شود. بدین منظور، آبنمود سیلاب ایستگاه آبنجی تنگراه از اداره آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه و تعدادی از آن‌ها که در ایستگاه باران‌سنج ثبات پارک ملی گلستان دارای بارش همزمان بودند، تفکیک شد. سپس، در زمان وقوع هر سیل، با استفاده از بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف حوضه مورد مطالعه، توزیع مکانی رگبارها با استفاده از روش عکس مربع فاصله در محیط GIS و با شبکه سلولی ۱۰۰ متر استخراج شد. توزیع زمانی رگبارها نیز با استفاده از کاغذهای باران‌نگار ایستگاه ثبات پارک ملی گلستان تعیین شد.

کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل ModClark: در این روش، بارش مؤثر در هر سلول با زمان تأخیر متناسب با طول پیمایش آن سلول، به خروجی حوزه آبخیز می‌رسد. در این روش، نیازی به تعیین ضریب زبری نیست و برآورد آبنمود به کمک دو پارامتر اصلی زمان تمرکز و ضریب ذخیره کلارک انجام می‌شود. زمان پیمایش هر سلول تا خروجی

آب‌نمود خروجی کل حوزه آبخیز تعیین و میزان مشارکت هر یک از سلول‌ها و زیرحوضه‌ها بر دبی اوج خروجی به دست آمد. برای بررسی میزان تأثیرگذاری هر سلول بر دبی اوج خروجی، از شاخص کمی سیل‌خیزی ارائه‌شده در رابطه (۳) استفاده شد (Saghafian et al., 2010).

$$f_i = \frac{\Delta Q_i}{A_i} \quad (3)$$

که در آن: f_i شاخص سیل‌خیزی زیرحوضه i م $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2})$ ، ΔQ_i تغییر دبی اوج خروجی حوزه آبخیز با حذف زیرحوضه i م $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ و A_i مساحت زیرحوضه i م (km^2) است.

تعمیم شاخص سیل‌خیزی به حوضه‌های فاقد آمار:

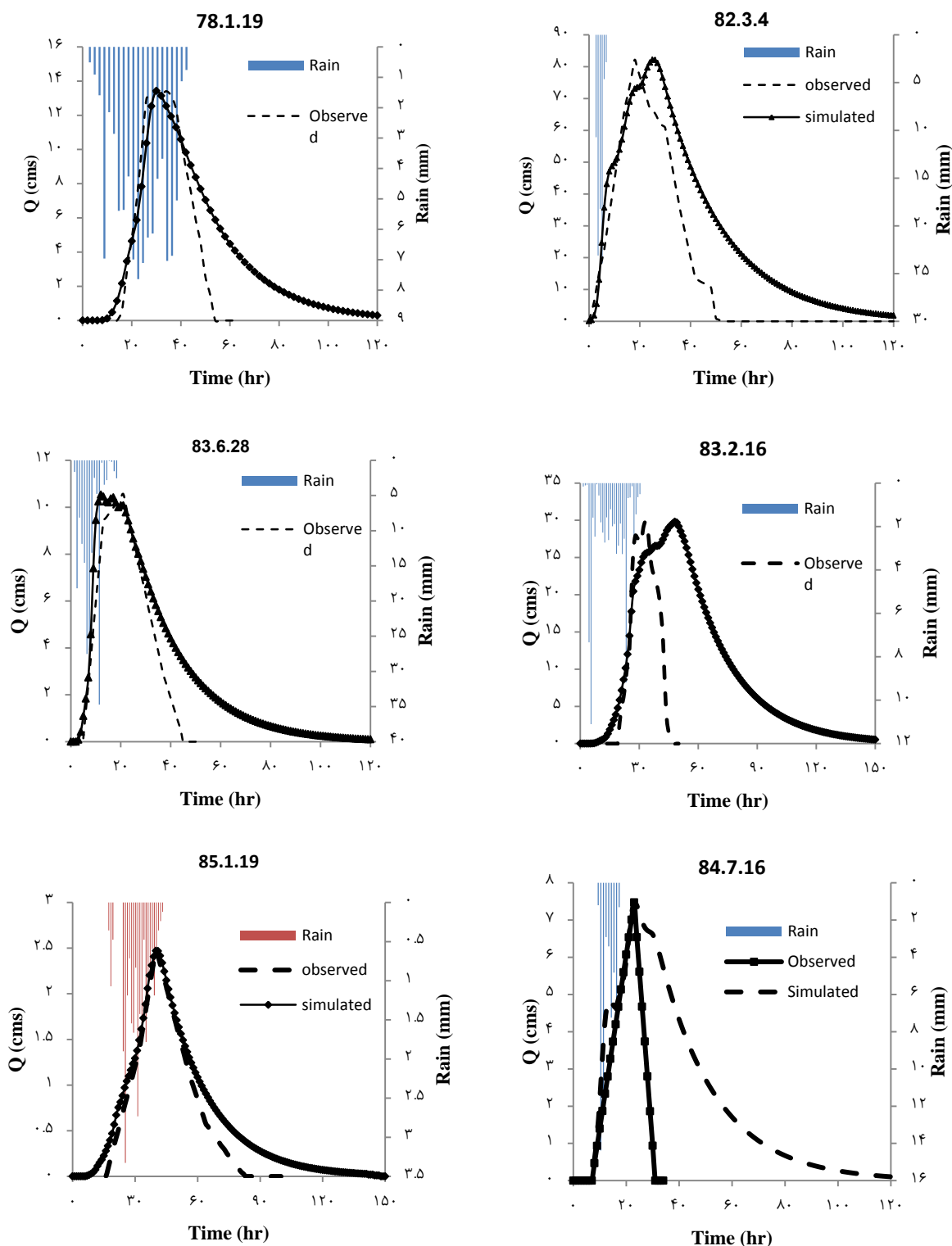
برای این منظور رابطه چند متغیره بین پارامترهای مرفومتري هریک از واحدهای همگن و شاخص سیل‌خیزی برقرار می‌شود. در صورت وجود رابطه معنی‌دار، رابطه به‌دست آمده می‌تواند برای حوضه‌های فاقد آمار آبخیزی بکار برده شود. پارامترهای مرفومتري و بارش برای حوضه‌ها قابل‌محاسبه بوده و با برقراری رابطه می‌توان به این مهم دست یافت.

نتایج و بحث

واسنجی و اعتباریابی مدل بارش-رواناب: نتایج مربوط به آبنمودهای شبیه‌سازی‌شده با استفاده مدل ModClark در رخدادهای انتخابی و نتایج ارزیابی مدل در برآورد مشخصه‌های آبنمود سیلاب به ترتیب در شکل (۲) و جدول (۲) ارائه‌شده است. نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان می‌دهد که مدل، دبی حداکثر را به‌خوبی شبیه‌سازی نموده و فقط در تاریخ ۸۲/۳/۴ دقت کمتر بوده و ضریب کارایی آن ۰/۸۱ به دست آمد. صحت‌سنجی مدل با دو تاریخ، مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داد که مدل‌سازی از دقت خوبی برخوردار است.

ارزیابی دقت مدل: شرط لازم برای تعیین اعتبار یک مدل آن است که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج واقعی مقایسه شود. از جمله معیارهای مناسب برای مقایسه مدل‌ها، معیار درصد خطای نسبی (RE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب کارایی (CE) و ضریب تبیین (R^2) است که برای مقایسه اختلاف مقادیر تخمینی و واقعی به‌منظور مقایسه مدل‌ها، خصوصاً وقایع پیوسته استفاده می‌شود. بر این اساس، هر چه ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر و درصد خطای نسبی کمتر از ۴۰ درصد باشد و مجذور میانگین مربعات خطا به صفر میل کند، مدل از نظر آماری قابل‌قبول‌تر است (Szilagyi et al, 2005).

تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی: پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، برای تعیین مناطق سیل‌خیز، ابتدا بارش طرح ایستگاه پارک ملی گلستان استخراج شد. بر اساس منحنی شدت-مدت- فراوانی ایستگاه پارک ملی گلستان، شدت بارندگی برای دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله با تداوم معادل زمان تمرکز حوضه برآورد شد. توزیع مکانی بارش طرح از رابطه همبستگی بین ارتفاع و عمق بارش سالانه انجام شد. در ادامه، برای تعیین سیل‌خیزی، هر یک از نقشه‌های شیب، شماره منحنی، طول جریان و متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز به چهار کلاس تقسیم شد. پس از تلفیق نقشه‌ها، واحدهای همگن در محیط GIS کدگذاری و برای تعیین میزان تأثیر هر یک از واحدهای همگن بر دبی سیل خروجی و اولویت‌بندی آن‌ها از نظر سیل‌خیزی بر اساس روش عکس‌العمل سیل واحد، ابتدا آبنمود سیل خروجی به ازای بارش طرح در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله با مشارکت کلیه حوزه آبخیز محاسبه شد. سپس شبیه‌سازی با حذف متوالی هرکدام از واحدهای همگن تکرار شده و بدین ترتیب تأثیر آن‌ها در مرحله شبیه‌سازی بر روی



کل ۲. آبنمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با استفاده از مدل ModClark در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

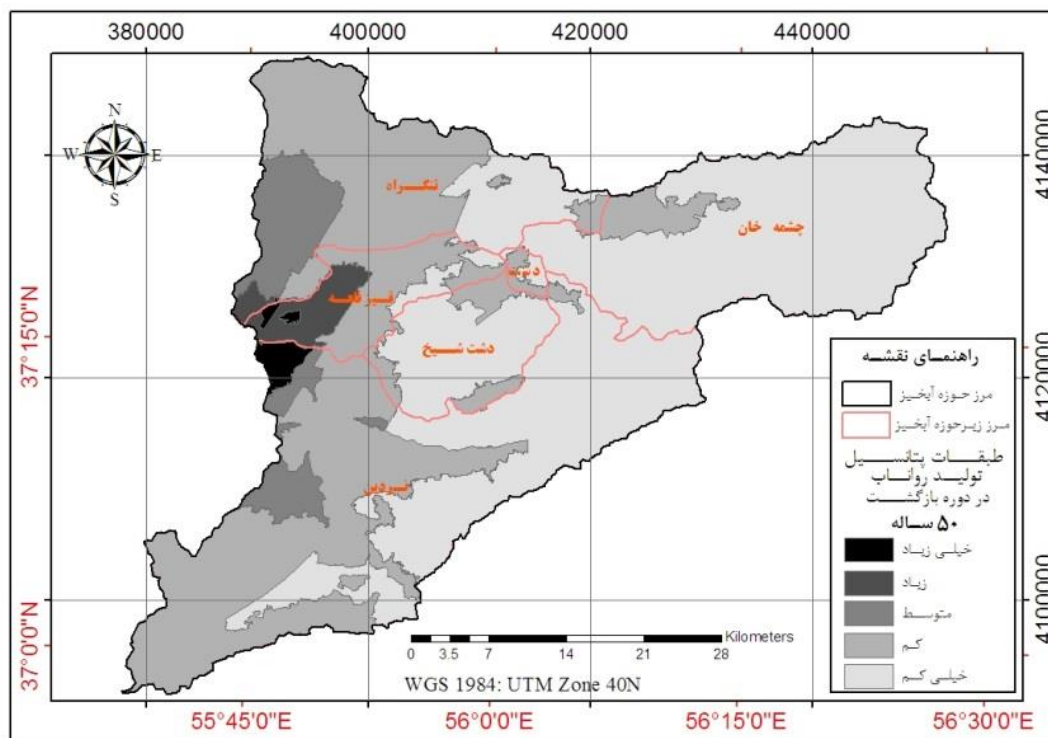
جدول ۲. نتایج ارزیابی مدل ModClark در برآورد مشخصه‌های آبنمود سیلاب

معیارهای دقت دبی حداکثر	خطای نسبی به درصد (RE) مؤلفه‌های آبنمود			ضریب کارایی (CE)	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	تاریخ رویداد	مرحله
	زمان پایه	زمان	زمان				
	۰/۰۳	۳۸/۸۹	۳۸/۴۶	۰/۴۶	۱۱/۷۲	۸۲/۳/۴	
	۰/۰۵	۱۴/۷۱	۱۷/۰۲	۰/۴۶	۰/۰۵۸	۸۲/۸/۱۲	واسنجی
	۰/۰۲	۲۱/۲۱	۲۵/۵۳	۰/۷۹	۹/۹۶	۸۳/۲/۱۶	
	۰/۲۳	۳۸/۱	۳۰/۹۵	۰/۵۶	۲/۵۴	۸۳/۶/۲۸	
	۰/۰۹	۴/۳۴	۱۱/۷۶	۰/۵۵	۲/۳۹	۸۴/۷/۱۶	
	۰/۰۸	۲۳/۴۵	۲۴/۷۴	۰/۵۶	۵/۳۳		میانگین
	۶/۳۳	۲۰	۱۰/۳۴	۰/۷۴	۲/۸۱	۷۸/۱/۱۹	اعتبار
	۴/۰۶	۷/۵	۳۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۲۸	۸۵/۱/۱۹	سنجی
	۵/۲	۱۳/۷۵	۲۰/۶۵	۰/۸۴	۱/۵۵		میانگین

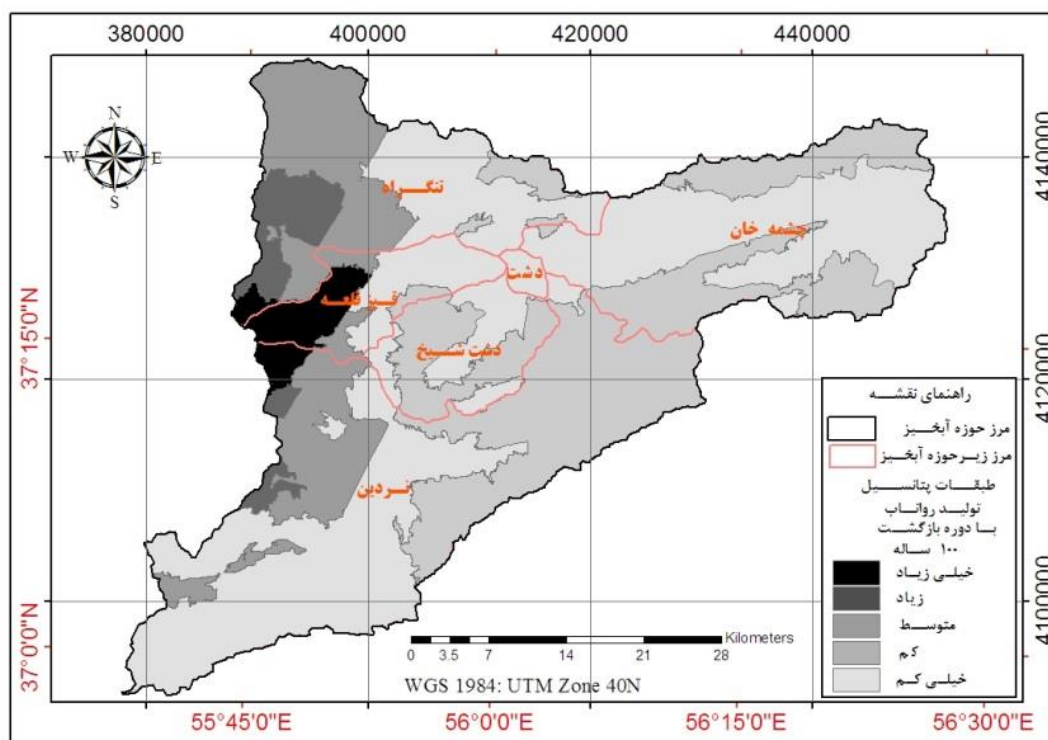
۱۱۶ با شاخص سیل‌خیزی ۰/۴۳ مترمکعب بر ثانیه بر کیلومترمربع در دوره بازگشت ۵۰ ساله و ۰/۵۴ مترمکعب بر ثانیه بر کیلومترمربع در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، به‌عنوان مؤثرترین واحد در تولید رواناب در این حوضه تشخیص داده شد. بر اساس جدول (۴)، در دوره بازگشت ۵۰ ساله طبقه خیلی‌کم با ۵۱/۸۱ درصد مساحت و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله طبقه کم با درصد مساحت ۴۷/۲۴ بیشترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس نقشه پتانسیل تولید رواناب با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله، مشخص شد که پتانسیل تولید رواناب از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه افزایشی است و واحد همگن ۱۱۶ به‌عنوان مؤثرترین سلول در سیل‌خیزی شناخته شد که به دلیل بارش بیشتر و همچنین شیب تند و بالا بودن (CN) در این واحد همگن، سیل‌خیزی در نزدیک خروجی حوضه نسبت به مناطق بالادست بیشتر به دست آمده که با نتایج پژوهش‌هایی نظیر Saghafian و همکاران (۲۰۱۰) و رضایی و قمرچشمه (۱۳۹۵) متفاوت است و با شناسایی این مناطق و به‌کارگیری اقدامات مدیریتی آبخیزداری نظیر اقدامات بیولوژیک و مکانیکی، احداث بندهای تأخیری می‌توان به‌طور فراوانی در کاهش سیل و خطرات ناشی از آن، نقش داشت.

در مرحله اعتبارسنجی، دقت مدل در مورد آبنمود سیلاب به ترتیب با ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی (Efficiency Coefficient) و ضریب تبیین برابر ۰/۵۵، ۰/۸ و ۰/۸۴ به دست آمد. از آنجایی‌که هر قدر ریشه میانگین مربعات خطا به صفر، ضریب کارایی و ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، مدل دقت بالاتری در شبیه‌سازی آبنمود سیل دارد، نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش Paudel و همکاران (۲۰۰۹) و Saghafian و همکاران (۲۰۱۰)، Ghavidelfar و همکاران (۲۰۱۱) و Rajabi و Shabanlou (۲۰۱۲) همخوانی دارد و دلالت بر توانایی مدل ModClark در شبیه‌سازی آبنمود سیلاب دارد.

تعیین دبی خروجی و اولویت‌بندی سیل‌خیزی: با استفاده از مدل کالیبره شده، مقدار دبی اوج سیلاب ناشی از بارش ۵۰ و ۱۰۰ ساله در زمان تمرکز حوضه مورد مطالعه تعیین شد. سپس به روش عکس‌العمل سیل واحد، شدت سیل‌خیزی حوضه موردبررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از اولویت‌بندی سیل‌خیزی و پتانسیل تولید رواناب حوضه مورد مطالعه در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله در شکل‌های (۳) و (۴) و جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نقشه پتانسیل تولید رواناب در هر دو دوره بازگشت، واحد همگن



شکل ۳. نقشه طبقات پتانسیل تولید رواناب با دوره بازگشت ۵۰ ساله حوزه آبخیز تنگراه



شکل ۴. نقشه طبقات پتانسیل تولید رواناب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حوزه آبخیز تنگراه

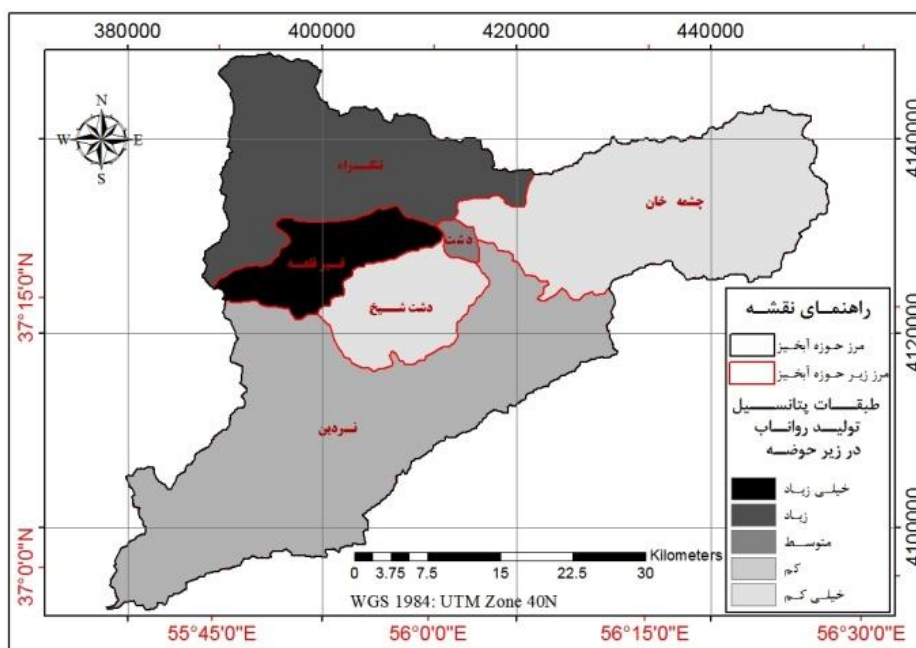
جدول ۳. درصد مساحت طبقات مختلف پتانسیل تولید رواناب حوزه آبخیز تنگراه

دوره بازگشت ۱۰۰ سال		دوره بازگشت ۵۰ سال	
درصد مساحت	کلاس خطر	درصد مساحت	کلاس خطر
۳/۳۴	خیلی زیاد	۰/۹۳	خیلی زیاد
۳/۸۴	زیاد	۲/۴۱	زیاد
۱۵/۴۸	متوسط	۶/۱۴	متوسط
۴۷/۲۴	کم	۳۸/۷۱	کم
۳۰/۱	خیلی کم	۵۱/۸۱	خیلی کم

حوضه، تأثیر بیشتری در سیل خروجی ندارد؛ بلکه عواملی نظیر کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک زیرحوضه‌ها، بر مقدار دبی اوج و سیل خیزی تأثیر بیشتری دارد که با نتایج پژوهش‌های Saghafian و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد.

نتایج شاخص سیل خیزی زیرحوضه‌ها نشان داد که شدت سیل خیزی زیرحوضه‌ها تنها تحت تأثیر یک عامل نیست و اثر ترکیبی پارامترها به‌ویژه CN ، سهم بارش هر زیرحوضه، زمان تمرکز، و فاصله تا خروجی، دارای نقش مؤثرتری می‌باشند. این نتیجه، با نتایج پژوهش‌های Gao و Li (۲۰۱۶)، چیداز و همکاران (۱۳۸۸) و رضایی و قرمزچشمه (۱۳۹۵) همخوانی دارد.

نتایج اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها: در شکل (۵)، نقشه اولویت‌بندی پتانسیل تولید رواناب زیرحوضه‌ها بر اساس شاخص سیل خیزی (fi) در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ارائه شده است. نتایج حاصل از اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها نشان داد که زیرحوضه قیزقلعه با شاخص سیل خیزی ۰/۲ مترمکعب بر ثانیه بر کیلومترمربع در طبقه پتانسیل تولید رواناب خیلی زیاد و زیرحوضه چشمه‌خان و دشت شیخ با شاخص سیل خیزی ۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه بر کیلومترمربع در طبقه پتانسیل تولید رواناب خیلی کم قرار گرفته است. نتایج حاصل از مقادیر دبی اوج و شاخص سیل خیزی هر زیرحوضه نشان داد که لزوماً زیرحوضه‌های دارای مساحت بیشتر و فاصله کمتر نسبت به خروجی

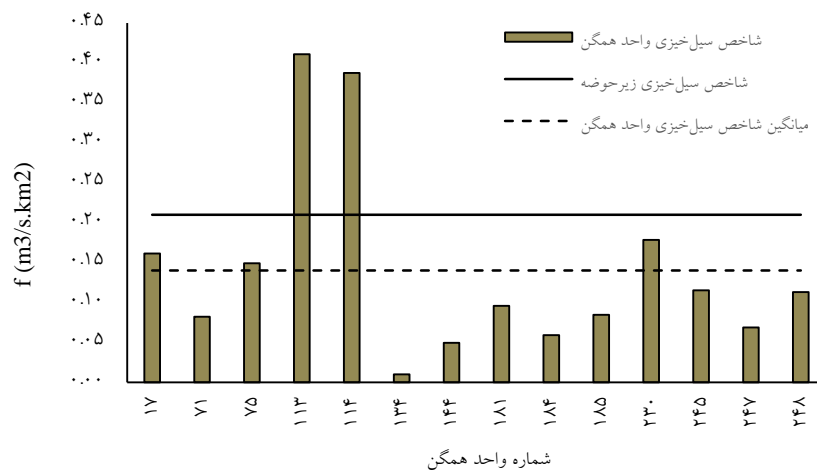


شکل ۵. نقشه سیل خیزی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز تنگراه با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

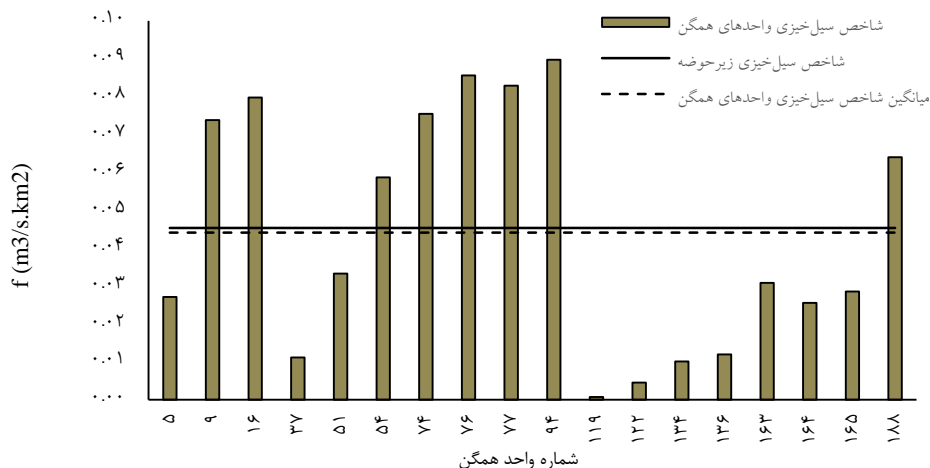
واحدهای با مقیاس کوچکتر از زیرحوضه‌ها مدنظر باشد، روش توزیعی تنها راه‌حل بسیار دقیقی است که با نتایج Saghafian و همکاران (۲۰۱۰) و رضایی و قرمزچشمه (۱۳۹۵) دارد.

بر اساس جدول (۴)، نتایج حاصل از مقادیر دبی اوج و شاخص سیلخیزی هر زیرحوضه نشان می‌دهد که الزاماً زیرحوضه با مساحت بیشتر و فاصله کمتر تا خروجی، تأثیر بیشتری در سیل خروجی ندارد؛ بلکه عواملی نظیر کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک زیرحوضه‌ها دارای تأثیر بیشتری بر مقدار دبی اوج و سیلخیزی می‌باشند که با نتایج Saghafian و همکاران (۲۰۱۶) و رضایی و قرمزچشمه (۱۳۹۵) همخوانی دارد.

مقایسه سیلخیزی واحدهای همگن و زیرحوضه‌ها: شکل‌های (۶) و (۷)، نمونه سیلخیزی واحدهای همگن به تفکیک زیرحوضه‌های دشت‌شیخ و قیزقلعه را نشان می‌دهد. جدول (۴) اطلاعات مربوط به سیلخیزی زیرحوضه‌ها و میانگین سیلخیزی واحدهای همگن هر زیرحوضه را نشان می‌دهد. مقایسه دو ستون جدول نشان می‌دهد که نتایج به هم نزدیک بوده و شاخص سیلخیزی هر زیرحوضه، تقریباً معادل واحدهای همگن موجود در آن است. به عبارت دیگر، اگر پروژه مهار سیل برای واحدهای زیرحوضه مدنظر باشد، با تعداد کمتری شبیه‌سازی می‌توان حوضه‌های با پتانسیل خطر بالا را شناسایی نمود و نیازی به تعیین شاخص سیلخیزی واحدهای همگن نیست؛ اما زمانی که شناسایی



شکل ۶. سیلخیزی واحدهای همگن زیرحوضه دشت‌شیخ



شکل ۷. سیل‌خیزی واحدهای همگن زیرحوضه قیزقلعه

جدول ۴. مقادیر دبی اوج و طبقات مختلف سیل‌خیزی ۱۰۰ ساله هر زیرحوضه

کلاس خطر	میانگین شاخص سیل‌خیزی واحد همگن ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)	شاخص سیل‌خیزی حوضه ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)	دبی اوج ($m^2 \cdot s^{-1}$)	مساحت (%)	زیرحوضه
متوسط	۰/۰۹	۰/۰۸۸	۱۸۴/۴۴	۰/۶۶	دشت
خیلی کم	۰/۰۴	۰/۰۴۵	۱۷۹/۳۱	۷/۸۲	دشت شیخ
خیلی زیاد	۰/۱۵	۰/۲۱۹	۱۶۳/۳۷	۶/۷۱	قیزقلعه
کم	۰/۰۸	۰/۰۶۲	۱۴۴/۰۱	۴۰/۴۳	نردین
خیلی کم	۰/۰۴	۰/۰۴۵	۱۶۷/۶۹	۲۴/۳۶	چشمه‌خان
زیاد	۰/۱۴	۰/۱۵	۱۲۹/۳۲	۲۰/۰۱	تنگراه

مدیریت قرار گیرند. از آنجایی که در اکثر موارد بین پارامترهای مورفومتری هر یک از واحدهای همگن و شاخص سیل‌خیزی حوضه آبخیز رابطه وجود دارد، بنابراین، در این پژوهش سعی شده بین پارامترهای مورفومتری و شاخص سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه در دوره بازگشت‌های مختلف، رابطه چند متغیره برقرار شود. بر اساس نتایج به دست آمده، رابطه بین شاخص سیل‌خیزی و پارامترهای مورفومتری در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۲۸ و ۰/۲۹ است که نتایج به دست آمده معنی‌دار نبوده و نمی‌توان در این حوضه آبخیز رابطه و روشی را ارائه نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که با استفاده از مدل توزیعی ModClark، می‌توان اولویت سیل‌خیزی را در مقیاس بسیار کوچک بررسی کرد. این روش، نیازمند ورودی‌های بسیار دقیق و جزئی است. بر اساس نتایج این پژوهش، بزرگ‌ترین و نزدیک‌ترین زیرحوضه به خروجی و یا دورترین و کوچک‌ترین زیرحوضه، لزوماً بیشترین و کمترین تأثیر را روی حداکثر دبی سیلابی در خروجی حوضه ندارد؛ بلکه عواملی نظیر کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک زیر حوضه‌ها می‌توانند تأثیر بیشتری بر مقادیر دبی اوج و پتانسیل تولید رواناب داشته باشند. از

با توجه به نتایج جدول (۴) و مقایسه شاخص سیل‌خیزی زیرحوضه و میانگین شاخص سیل‌خیزی واحد همگن، مشخص شد که این دو پارامتر بسیار به هم نزدیک بوده و شاخص سیل‌خیزی هر زیرحوضه تقریباً معادل میانگین شاخص سیل‌خیزی واحدهای همگن موجود در آن است. نتایج این پژوهش نشان داد که در مناطقی که پروژه‌های کنترل سیل در مقیاس زیرحوضه مدنظر باشد، با توجه به این‌که شاخص سیل‌خیزی هر زیرحوضه تقریباً معادل میانگین شاخص سیل‌خیزی واحدهای همگن موجود در آن است، با تعداد بسیار کمتری شبیه‌سازی می‌توان اقدام به شناسایی زیرحوضه‌های با پتانسیل تولید رواناب بالا نمود و دیگر نیازی به تعیین شاخص سیل‌خیزی در مقیاس کوچک‌تر (واحد همگن) نیست که در بحث زمان نیز صرفه‌جویی خواهد شد؛ ولیکن زمانی که شناسایی واحدهای با مقیاس کوچک‌تر از حوضه آبخیز مدنظر باشد، می‌توان از روش توزیعی بهره برد که با نتایج Saghafian و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد.

تعمیم شاخص سیل‌خیزی به حوضه‌های فاقد آمار:

یکی از عوامل مهم کنترل سیل‌خیزی و فرسایش در حوضه آبخیز، شناسایی ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز و اولویت‌بندی آن‌ها است تا در صورت اجرای عملیات کنترلی، مناطق دارای اولویت‌های بالاتر بیشتر مدنظر و

آن‌جایی که اولویت‌بندی در قالب زیرحوضه و سلولی نتایج یکسانی دارد، پیشنهاد می‌شود در صورتی که اولویت‌بندی کوچک‌تر از زیرحوضه لازم نباشد، اولویت‌بندی در واحد زیرحوضه انجام شود. نتایج این پژوهش در زمینه تعیین اولویت‌بندی سیل‌خیزی نشان داد که ممکن است یک زیرحوضه دارای پتانسیل سیل‌خیزی کم باشد، اما واحدهای همگن موجود در آن، دارای پتانسیل سیل‌خیزی بسیار بالایی باشند که این امر نشان‌دهنده اهمیت تعیین پتانسیل سیل‌خیزی به روش دقیق توزیعی در پروژه‌های کنترل سیل است. بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های هیدرولوژیکی، اثر متقابل عوامل فیزیوگرافیک و اقلیمی را بر پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز مورد بررسی قرار داد و با در نظر گرفتن همزمانی دبی اوج و نقش روندیابی سیل در رودخانه‌ها، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها را به نحو مطلوب انجام داد.

با توجه به این‌که بین پارامترهای مورفومتری حوزه آبخیز و شاخص سیل‌خیزی می‌توان ارتباط برقرار کرد، سعی شود در پژوهش‌های آتی پارامترهای مورفومتری بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. تحلیل‌های مبتنی بر پارامترهای

مورفومتریکی زیرحوضه‌ها، به دلیل ثابت بودن شرایط فیزیوگرافی و مورفومتریکی حوزه آبخیز، قابل‌دسترس و قابل‌استناد است که می‌توان بر اساس آن، به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های یک حوزه آبخیز پرداخت؛ اما فقط عوامل مورفومتری در این حوزه آبخیز مورد مطالعه برای ارائه روش و رابطه (به دلیل معنی‌دار نبودن ضریب همبستگی) کافی نبوده و پارامترهای هیدرولوژیکی نظیر بارندگی و شماره منحنی نیز نقش بسیار مهمی در سیل‌خیزی دارند. لذا باید توجه داشت با دخالت عوامل مورفومتری و هیدرولوژیکی در سیل‌خیزی حوزه آبخیز، می‌توان به نتایج بهتر و دقیق‌تری دست یافت. به‌طور کلی، شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها تنها تحت تأثیر یک عامل مورفومتری نیست و اثر ترکیبی پارامترهای مورفومتری و هیدرولوژیکی به‌ویژه CN، سهم بارش هر زیرحوضه، زمان تمرکز، فاصله تا خروجی دارای نقش مؤثرتری می‌باشند. اگرچه در این حوضه مورد مطالعه، در رابطه شاخص سیل‌خیزی و پارامترهای مورفومتری، نتایج قابل‌قبولی یافت نشد، اما ممکن است در دیگر حوزه‌های آبخیز کشور با شرایط مورفومتری، اقلیمی و هیدرولوژیکی متفاوت، به نتایج قابل‌قبولی دست یافت.

منابع مورد استفاده

- الوانکار، س. ر.، ثقفیان، ب. و صدقی، ح. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر توان تفکیک مکانی یک مدل هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی دبی اوج سیل. مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی، ۱۲ (۲): ۳۲۹-۳۴۵.
- بدری، ب.، زارع‌بیدکی، ر.، هنریخش، ا. و آتشخوار، ف. ۱۳۹۵. اولویت‌بندی زیر حوزه‌های آبخیز بهشت آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸ (۱): ۱۵۸-۱۴۳.
- چیداز، آ.، محسنی ساروی، م. و وفاخواه، م. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل HEC-HMS به‌منظور برآورد آبنمود سیلاب در حوزه آبخیز کسلیان. مجله پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۲۲ (۳): ۷۱-۵۹.
- رحمتی، ا.، طهماسبی پور، ن. و پورقاسمی، ح. ر. ۱۳۹۴. اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان بر اساس آنالیز مورفومتریکی و همبستگی آماری. مجله علمی-پژوهشی اکوهیدرولوژی، ۲ (۲): ۱۶۱-۱۵۱.
- رضایی، م.، وفاخواه، م. و قرمز چشمه، ب. ۱۳۹۵. تغییرپذیری مکانی سیل‌خیزی با استفاده از روش عکس‌العمل سیل واحد در حوزه آبخیز خانمیرزا. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸ (۱): ۱۵۰-۱۳۹.

- سلیمانی ساردو، ک.، بشیرگنبد، م.، موسوی، س.ر. و خلیقی، ش. ۱۳۸۷. پتانسیل تولید سیل در حوزه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه معرف کسلیان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۶۵): ۶۰-۵۱.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۹۱۲ ص.
- قنوتی، ع. ا.، صفاری، ا.، بهشتی‌جاوید، ا. و منصوریان، ا. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS، مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، ۷ (۲۵): ۸۰-۶۷.
- موغلی، مرضیه. ۱۳۹۴. اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای آب‌شناسی حوزه آبخیز دالکی با استفاده از شبیه‌سازی HEC-HMS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳ (۴): ۱۰۳-۹۰.
- Bakhtyarikia, M., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R. Sulaiman, W. N. A. and Moradi, A. 2012. An Artificial Neural Network Model for Flood Simulation Using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 67 (1): 251-264. doi:10.1007/s12665-011-1504-z.
- Foody, G. M., Ghoneim, E. M. and Arnell, N. W. 2004. Predicting Locations Sensitive to Flash Flooding in an Arid Environment. *Journal of Hydrology*, 292(1-4): 48-58. doi: 10.1016/j.jhydrol.2003.12.045.
- Ghavidelfar, S., Alvankar, S. R. and Razmkhah, A. 2011. Comparison of the Lumped and Quasi-distributed Clark Runoff Models in Simulating Flood Hydrographs on a Semi-arid Watershed. *Water Resources Management*, 25(6): 1775-1790. doi 10.1007/s11269-011-9774-5.
- Jiang, Y., Liu, Ch., Li, X., Liu, L. and Wang, H. 2015. Rainfall-runoff modeling, parameter estimation and sensitivity analysis in a semiarid catchment. *Environmental Modelling and Software*, 67: 72-88.
- Jongman, B., Hochrainer-Stigler, S., Feyen, L., Aerts, J. C., Mechler, R., Botzen, W.W., Bouwer, L. M., Pflug, G., Rojas, R. and Ward, P.J. 2014. Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Nat. Clim. Change*, 4 (4): 264-268.
- Kull, D.W. and Feldman, A. D. 1998. Evaluation of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 3(1): 9-19.
- Li, T. and Gao, Y. 2016. Runoff and Sediment Yield Variations in Response to Precipitation Changes, *Water*, 7, 5638-5656. نام کامل مجله.
- Linde, A. H., Aerts, J. C. J. H., Hurkmans, R. T. W. L. and Eberle, M. 2008. Comparing Model Performance of two Rainfall-Runoff Models in the Rhine Basin Using Different Atmospheric Forcing Data Sets, *Hydrology and Earth System Sciences*, 12: 943-957.
- Paudel, M., Nelson, E. J. and Scharffenberg, W. 2009. Comparison of Lumped and quasi-distributed Clark Runoff Models using the SCS Curve Number Equation, *Journal of Hydrology Engineering*, ASCE, 34(3): 1098-1106. Doi: 10.1061/ASCE_HE.1943-5584.0000100.
- Pilgrim, D. H. and Cordery, I. 1975. Rainfall Temporal patterns for design floods. *Journal of the Hydraulics Division*, 101(1): 81-95.
- Saghafian, B., Julien, P. Y. and Rajaie, H. 2002. Runoff hydrograph simulation based on Time Variable Isochrones Technique, *Journal of Hydrology*, 261: 193-203.
- Saghafian, B. and Khosroshahi, M. 2005. Unit response approach for priority determination of flood source areas. *Journal of Hydrology Engineering*, ASCE, 10(4): 270-277, doi: 10.1061/(ASCE)1084-0699.
- Saghafian, B., Ghermezcheshmeh, B. and Kheirkhah, M. M. 2010. Iso-Flood severity mapping: a New Tools for Distributed Flood Source Identification. *Natural Hazards*, 55(2): 557-570. doi: 10.1007/s11069-010-9547-0.
- Saghafian, B., S. Noroozpour, M. Kiani, and A. Rafiee Nasab. A. 2016. coupled Modclark-curve number rainfall-runon-runoff model. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (4) (2016): 277, 2-13, DOI 10.1007/s12517-015-2295-4.
- Shabanlou, S. and Rajabi, A. 2012. Comparison of Estimated Flood Hydrographs using Lumped and distributed models, *Journal of Environmental Research and Development*, 7(1): 79-87.

- Shabanlou, S. 2014. Calculation of flood hydrograph for Karun Basin by different methods. *Agricultural Communications*, 2(2): 54-61.
- Shafapour-Tehrany, M., Pradhan, B. and Jebur, M. N. 2013 Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision Tree (DT) and a Novel Ensemble Bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, 504: 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034>.
- Szilagyi, J., Balinet, G., Gouzer, B. and Bartha, P. 2005. Flow routing with unknown rating curves using a state-space reservoir-cascade-type formulation. *Journal of Hydrology*, 311: 219-229.
- Viessman, W., Harbaugh, T. E. and Knapp, J. W. 1972. *Introduction to hydrology*. Index Educational, 415 pages.
- Vitala, S. S., Govindaiah, S. and Gowda, H. H. 2008. Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: an integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data. *Current Science*, 95 (3): 345-354.
- Wanielista, M. P. 1990. *Hydrology and water quantity control*, John Wiley & Sons, Inc, 565p.
- Young, Ch. Ch., Liu, W. Ch. and Wu, M. Ch. 2017. A physically based and machine learning hybrid approach for accurate rainfall-runoff modeling during extreme typhoon events. *Applied Soft Computing*, 53: 205-216.



ISSN 2251-7480

Providing a method for determining the flood producing regions based on the relationship between flooding index and morphometric

Masoomeh Gharib¹, Baharak Motamedvaziri^{2*} and Hassan Ahmadi³

1) PhD Student; Department of Watershed Management; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran; Iran

2*) Assistant Prof., Department of Watershed Management; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran; Iran

* corresponding author email: bm vaziri@gmail.com

3) Full Professor., Department of Watershed Management; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran; Iran

Received: 12-12-2017

Accepted: 14-04-2018

Abstract

River basin planning is an essential factor for sustainable development and land management. Therefore, sub-basins prioritizing and detecting morphometrically characteristics to identify the hydrological behaviors of watersheds and designing management strategies are very important. The aim of present study is to prioritize the flooding of the basin by distributional method and provide a method for determining the flood generating areas in the Tangrah watershed. To this end, the inputs of the rainfall-runoff model were extracted and then the model was calibrated and validated. For this purpose, the inputs of the rainfall-runoff model were extracted and then modelark model calibrated and validated. In the next step, in order to determine the flooding of homogeneous units and sub-basins with unit flood response method, sequential removal and replacement of these units and simulation of flood hydrographs for designed rainfall were carried out at the Golestan National Park's rain gauge station. Then the effect of each homogeneous unit and sub-basin on the total output hydrograph in the watershed was calculated. Finally, for a flood with a return period of 50 years and 100 years for non-statistical watersheds, a correlated multivariable correlation between morphometric parameters and flood index was presented. The results of the potential runoff production map with the return period of 50 and 100 years showed that the runoff production potential was upward downstream of the basin, and the homogeneous unit 116 was recognized as the most effective unit in the high runoff potential, which is due to more rainfall as well as The steep slope and high (CN) in this homogeneous unit, the runoff production potential is nearer the outlet of the basin than the upstream areas. The results of this study showed that by integrating the GIS and hydrologic models, we can investigate the interaction of physiographic and climatic factors on the spill potential of watersheds. Considering the peak synchronization and the flood roughing role in the rivers, prioritized sub-areas as desired.

Keywords: distributed model, flooding priority, flood response unit, watershed management