



دانشگاه آذربایجان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## شناسایی و تفکیک مناطق سیل خیز و بررسی تأثیر فعالیت‌های آبخیزداری بر دبی اوج سیلاب حوضه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور)

هادی معماریان خلیل‌آباد<sup>۱</sup>، محمد یوسفی<sup>۲</sup> و \*امیرحسین آقاخانی افشار<sup>۳</sup>

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، دانش‌آموخته کارشناس ارشد گروه مرتع و

آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، <sup>۳</sup>دکتری مهندسی عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی،

دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** روند رو به افزایش سیل در سال‌های اخیر بیانگر آن است که اکثر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های دوره‌ای و مخرب قرار دارند که از این نظر بسیاری از شهرها، روستاها، تأسیسات صنعتی و کشاورزی و اماکن مسکونی نیز در معرض خطر سیل قرار گرفته‌اند. بنابراین شناسایی اصولی مناطق سیل‌خیز در داخل حوضه آبخیز از جمله اقدامات بسیار مهم در کنترل سیل و کاهش خسارات ناشی از آن محسوب می‌گردد. هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر بررسی و شناسایی مناطق سیل‌خیز و تأثیر فعالیت‌های آبخیزداری بر میزان دبی اوج سیلاب در حوضه آبخیز رودخانه بار شهرستان نیشابور واقع در استان خراسان رضوی می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** بدین‌منظور حوضه مورد مطالعه به ۲۰ زیرحوضه تقسیم گردید و خصوصیات فیزیکی کل حوضه و زیرحوضه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و در فرمت رقومی تعیین شد. سپس با بهره‌گیری از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و به کمک روش تکرار حذف انفرادی زیرحوضه (Single Successive Sub-watershed Elimination) آبنمودهای سیل متناظر با بارش‌های طراحی برای هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه گردید. سپس با حذف متوالی زیرحوضه‌ها در هر بار اجراء مدل، دبی خروجی کل حوضه پس از روندیابی سیل در آبراه‌های اصلی بدون زیرحوضه مورد نظر (با استفاده از روش موج سینماتیک) محاسبه گردید، بدین‌ترتیب میزان تأثیر هر یک از زیرحوضه‌ها در تولید سیل خروجی حاصل گردید. همچنین، سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی در واحد سطح حوضه محاسبه گردید و شاخص سیل‌خیزی (f)، مبنای اولویت‌بندی حوضه قرار گرفت.

**یافته‌ها:** در فرآیند واسنجی مدل دو پارامتر شماره منحنی و ضریب مانینگ به‌عنوان مؤثرترین پارامترها بر دبی سیلاب حوضه آبخیز انتخاب گردیدند و ضریب ناش-ساتکلیف بالا در رخدادهای سیل نشان داد که واسنجی مدل در حوضه آبخیز بار به نحو مناسبی صورت پذیرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که زیرحوضه B1 (در بخش شمالی حوضه) در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله با تولید دبی اوج ۳۸/۹ و ۴۴/۱ مترمکعب بر ثانیه در محل خروجی زیرحوضه،

\* مسئول مکاتبه: a.h.aghakhani@tabrizu.ac.ir

بیش‌ترین مقدار و زیرحوضه‌های B11، B13 و B19 (در بخش‌های غربی حوضه) با دبی اوج نزدیک به صفر کم‌ترین مقدار دبی اوج را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین، با توجه به شاخص (f) در رگبارهای طرح با دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله زیرحوضه‌های B4 و B3 (در نیمه شمالی حوضه) اولین و دومین رتبه و زیرحوضه‌های B6، B11، B12، B13، B14 و B19 (در نیمه جنوبی حوضه و در بخش‌های شرقی و غربی حوضه) کم‌ترین اولویت را کسب کرده‌اند. در زیرحوضه B1 با توجه به این‌که بیش‌ترین سطح عملیات بیولوژیک اجراء گردیده است، بالاترین درصد کاهش دبی اوج به میزان ۴۱/۲۷ تا ۴۴/۷۳ درصد می‌باشد. از طرف دیگر، نتایج نشان داد که هرچه نسبت سطح عملیات بیولوژیک به مساحت زیرحوضه بیش‌تر باشد، نقش این پروژه‌ها در کاهش میزان دبی اوج نیز واضح‌تر خواهد بود. با توجه به بررسی صورت گرفته نقش فعالیت‌های سازه‌ای در کاهش دبی اوج سیلاب کم‌تر از فعالیت‌های بیولوژیک می‌باشد و افزایش تعداد سازه‌ها در طول مسیر رودخانه باعث کاهش میزان دبی اوج زیرحوضه نیز خواهد شد. **نتیجه‌گیری:** با بررسی اثر فعالیت‌های بیولوژیک و احداث گابیون بر دبی اوج سیلاب‌های طرح، می‌توان گفت که نقش فعالیت‌های بیولوژیک در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب به مراتب مؤثرتر از فعالیت‌های سازه‌ای (احداث گابیون) می‌باشد. بنابراین، عامل CN به‌عنوان یک عامل مؤثر و قابل کنترل بر سیل خروجی حوضه و کاهش دبی اوج می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** دبی اوج سیلاب، روندیابی موج سینماتیک، سیل‌خیزی، عملیات آبخیزداری، HEC-HMS

#### مقدمه

شناسایی اصولی مناطق خطرناک و سیل‌خیز در داخل حوضه آبخیز از جمله اقدامات بسیار مهم در کنترل سیل و کاهش خسارات ناشی از آن محسوب می‌گردد. بررسی‌های سازمان ملل متحد بیانگر آن است که سیل را باید جزء یکی از جدی‌ترین بلاهای طبیعی به‌شمار آورد (۱۲).

شدت سیل‌خیزی در نقاط مختلف کشور یا به‌عبارت دیگر در حوضه‌های آبخیز مختلف، با توجه به شرایط اقلیمی، توپوگرافیک و دیگر عوامل مانند پوشش گیاهی از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت می‌باشد (۱، ۱۴، ۲۲، ۲۶، ۳۰ و ۳۳). براساس مطالعات انجام گرفته، سالانه نزدیک به ۴۰ رخدادهای کوچک و بزرگ سیل در اقصی نقاط ایران زمین به وقوع می‌پیوندد. تعداد ۱۸۹۰ سیل در چهار دهه (۱۹۹۱-۱۹۵۲) که کمی بیش از ۵۰ درصد آن در دهه ۶۰ به وقوع پیوسته توسط وزارت جهاد سازندگی در قالب طرح جامع سیل‌خیزی (شناسایی و اولویت‌بندی

مناطق سیل‌خیز کشور) گزارش شده است. در جای دیگر آمار نشان می‌دهد که طی مدت مذکور ۶۲۵ شهر آسیب‌دیده که سهم دهه ۶۰ برابر ۲۳۹ مورد بوده است. برای دوره یاد شده مجموع خسارات سیلاب حدود ۱۲۵۰ میلیارد ریال برآورد گردیده که نزدیک به ۶۸ میلیارد ریال (۵۵ درصد) از آن در دهه آخر بوده است. تعداد سیل‌های رخ داده در مدت ۲۵ سال (۱۹۷۱ تا ۱۹۹۶) در سطح کشور ۹۶۷ مورد بوده است. به‌عبارت دیگر سالانه حدود ۳۹ مورد سیل در نقاط مختلف مملکت رخ داده است. از این تعداد، ۱۲ درصد سیل‌های خیلی مهم، ۱۳ درصد مهم و ۲۰ و ۵۵ درصد به‌ترتیب با اهمیت متوسط و عادی بوده است. همچنین آمار بیانگر آن است که در بین ۲۸ استان کشور، استان خراسان رضوی با ۱۲۵ سیل (۵ رخداد در سال) در رتبه اول تعداد سیل‌های جاری شده قرار دارد. مجموع خسارات اقتصادی در ۲۵ سال بالغ بر ۹۱۶۲ میلیارد ریال می‌باشد (۱۸).

با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هیدرومتری کافی در سطح زیرحوضه‌ها و کم‌بودن آمار و اطلاعات ثبت‌شده از سیل در حوضه‌های آبخیز کشور، عملاً نمی‌توان شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را به تنهایی از داده‌های موجود استنتاج نمود. بنابراین نقش مدل‌های ریاضی هیدرولوژیک در تعیین سیل‌خیزی حوضه‌ها، بسیار بارز است (۱۶). میلر و همکاران (۲۰۰۲) با تلفیق مدل هیدرولوژیک و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، اثر تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی را بر عکس‌العمل هیدرولوژیک حوضه آبخیز بررسی کردند. آن‌ها با بررسی روند تغییرات رواناب در محیط مدل HEC-HMS و با استفاده از روش شماره منحنی نشان دادند که در حوضه آبخیز رودخانه سن پدرو به‌علت کاهش سطح جنگل‌ها و ازدیاد اراضی کشاورزی و مناطق شهری بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۷، رواناب متوسط سالیانه افزایش یافته است (۱۷). یوسوپ و همکاران (۲۰۰۷) کارایی مدل HEC-HMS را در مدل‌سازی هیدروگراف جریان و تعیین ویژگی‌های رواناب مناسب اعلام کردند (۳۴). ثقفیان و فرازجو (۲۰۰۷) بیان می‌کنند که در اکثر مطالعاتی که تاکنون در ایران برای بررسی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها صورت گرفته، کل آبخیز به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته شده و به اثرات روندیابی سیل در رودخانه و موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها توجهی نشده است. در شناسایی مناطق با پتانسیل تولید رواناب، بیش‌تر بحث روندیابی زیرحوضه و سپس روندیابی هیدروگراف زیرحوضه تا محل خروجی کل حوضه آبخیز اهمیت پیدا می‌کند (۲۱). زهتابیان و همکاران (۲۰۰۹) اقدام به تعیین نقش مساحت زیرحوضه‌ها در پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه حسن آباد نمودند و به این نتیجه رسیدند که مساحت زیرحوضه‌ها در پتانسیل سیل‌خیزی کل حوضه تأثیر نداشته، و فاکتورهای دیگری از جمله موقعیت

زیرحوضه و روندیابی در رودخانه اصلی در این پارامتر نقش اساسی داشته است. آن‌ها سهم هر زیرحوضه بر پیک خروجی سیلاب را ملاکی برای رتبه‌بندی پتانسیل سیل آن زیرحوضه دانستند (۳۵). کریمیان کاکلکی و همکاران (۲۰۱۲) صحت و دقت دو روش موج سینماتیک و ماسکینگام-کانز که از روش‌های تقریبی روندیابی سیل محسوب می‌شوند و در مدل HEC-HMS نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند را در یک مطالعه موردی در رودخانه دواب صمصامی با یکدیگر مقایسه نمودند. مقادیر RMSE برای روش موج سینماتیک ۰/۸۴۵ و برای روش ماسکینگام-کانز ۱/۴۰۱ به‌دست آمد. هر دو روش مقدار دبی اوج را کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زدند اما روش موج سینماتیک مقدار دبی اوج را با دقت بیش‌تری نسبت به روش ماسکینگام-کانز محاسبه می‌کند (۹). شعبانلو و رجبی (۲۰۱۲) به بررسی شدت تأثیر زیرحوضه‌ها در سیلاب حوضه گرگان‌رود با استفاده از GIS پرداختند و ضمن بررسی خصوصیات حوضه با حذف تأثیر هر زیرحوضه از فرآیند روندیابی سیلاب خروجی حوضه، اقدام به شناسایی بحرانی‌ترین زیرحوضه‌ها نمودند (۲۵). سلیمانی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS به بررسی مناسب‌ترین شاخص سیل‌خیزی در حوضه سد جیرفت پرداختند و نشان دادند که مقادیر استخراج شده با استفاده از شاخص  $f$  با مقادیر شماره منحنی همبستگی بالایی ( $r=0/813$ ) دارند. در نتیجه این شاخص به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص سیل‌خیزی منطقه انتخاب گردید. نتایج بیانگر این بود که شاخص  $F$  به‌علت دخالت دادن پارامتر مساحت در برآورد پتانسیل سیل‌خیزی نتایج غیرواقعی را ارائه می‌دهد (۲۸). چودهاری و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد مدل HEC-HMS را در شبیه‌سازی وقایع بارش-رواناب به‌منظور برآورد حجم رواناب، دبی حداکثر سیل و

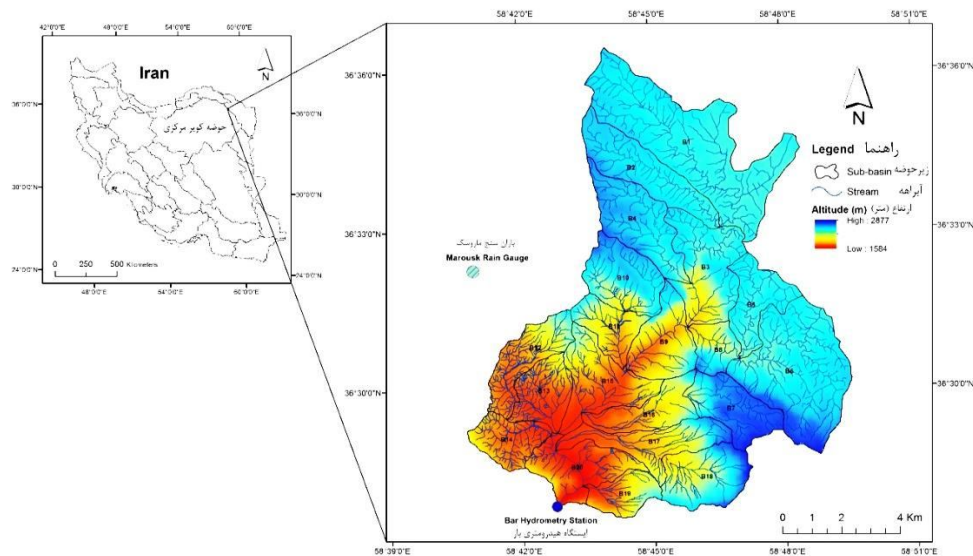
۱۱۵۹۰ هکتار و محیط آن ۵۶/۹۸ کیلومتر می‌باشد. شیب متوسط وزنی حوضه برابر با ۳۲/۶۶ درصد، ارتفاع متوسط و طول آبراهه اصلی این حوضه نیز به ترتیب ۲۲۴۵ متر و ۲۸/۵ کیلومتر می‌باشد. کاربری اراضی حوضه مطالعاتی به ۶ بخش اراضی مرتعی (۶۷/۰۷ درصد از کل حوضه)، اراضی دیم‌زار (۰/۵۷ درصد از کل حوضه)، اراضی آبی و باغی (۳/۵۷ درصد از کل حوضه)، اراضی مسیل (۲/۶۳ درصد از کل حوضه)، اراضی توده سنگی (۴۶/۹۸ درصد از کل حوضه) و اراضی آبادی و روستا (۰/۱۸ درصد از کل حوضه) تقسیم‌بندی می‌گردد. از طرف دیگر، حوضه مطالعاتی به ترتیب شامل چهار گروه هیدرولوژیکی A, B, C و D می‌باشد که به ترتیب ۲۹۰/۹۳، ۴۷۳/۵۶، ۳۹۷۹ و ۶۸۴۲/۰۹ هکتار از مساحت حوضه را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین، زمان تمرکز و تأخیر این حوضه نیز به ترتیب برابر ۵:۱۹ و ۸:۱۰ ساعت (معادل ۳۱۹ و ۴۹۰ دقیقه) از روش سرویس حفاظت خاک آمریکا و مقایسه با هیدروگراف‌های مشاهداتی به دست آمده است. میزانی بارندگی متوسط سالیانه حوضه ۳۱۶ میلی‌متر و اقلیم آن نیز از نوع خشک سرد محسوب می‌گردد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی در شکل ۱ نشان داده شده است که منطقه مطالعاتی بر اساس اهداف مورد نظر به ۲۰ زیرحوضه تقسیم می‌گردد. همچنین نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی حوضه آبخیز بار در شکل ۲ نشان داده شده است.

جریان پایه در حوضه آبخیز بالیجوری نالا در هند رضایت‌بخش دانستند (۴).

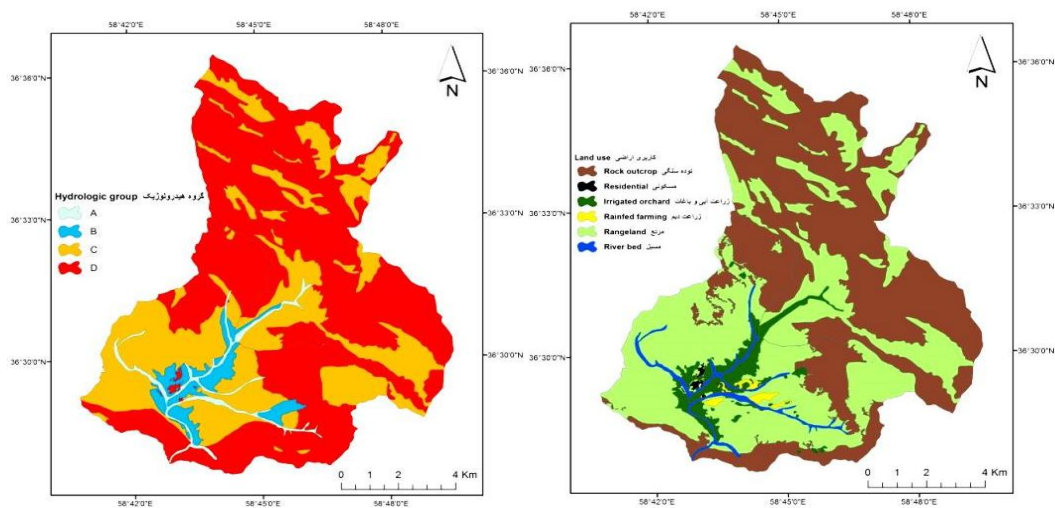
تخمین و پیش‌بینی رواناب و دبی سیلاب یکی از عوامل مهم و مؤثر در مدیریت بهینه منابع آب است. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی در مدیریت حوضه‌های آبخیز نقش مهمی دارد، بنابراین بررسی میزان مشارکت زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه بار در سیل خروجی کل حوضه آبخیز و شناسایی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بار از نظر پتانسیل سیل‌خیزی به منظور برآورد شدت سیل‌خیزی و کاهش حجم رسوب وارد شده به سد بار و همچنین جلوگیری از خساراتی از جمله تلفات انسانی، تخریب اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی بسیار زیاد حاشیه مسیر این رودخانه مورد توجه ویژه می‌باشد. همچنین نقش سناریوهای مدیریتی در قالب دو پروژه اجرایی عملیات بیولوژیکی و سازه‌ای در کنترل و کاهش دبی اوج با استفاده از مدل بارش- رواناب HEC-HMS حوضه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مطالعاتی پژوهش:** حوضه آبخیز بار در استان خراسان رضوی و در ۵۴ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان نیشابور واقع شده است. این حوضه در محدوده جغرافیایی  $36^{\circ} 34' 27''$  تا  $36^{\circ} 36' 27''$  درجه عرض شمال جغرافیایی و  $58^{\circ} 40' 45''$  تا  $58^{\circ} 49' 34''$  درجه طول شرقی واقع شده است. خروجی این حوضه بر روی ایستگاه هیدرومتری ارایه واقع شده است. مساحت کل حوضه آبخیز بار حدود



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بار نیشابور.  
 Figure 1. Geographic location of Bar watershed.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی (شکل سمت چپ) و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (شکل سمت راست) حوضه مطالعاتی.  
 Figure 2. Landuse map (Figure left) and Soil hydrologic group (Figure right) of study watershed.

بخش اصلی شامل مدل حوضه، مدل اقلیمی و شاخص‌های کنترلی می‌باشد. همچنین این مدل دارای قابلیت واسنجی و بهینه‌سازی پارامترها بوده و پس از اعتبارسنجی می‌تواند برای شبیه‌سازی حوضه و پیش‌بینی اثر تغییر پارامترها به‌کار رود (۲۴). در این مطالعه بر اساس مدل‌سازی نیمه توزیعی، بارش مؤثر در سطح واحد هیدرولوژیک محاسبه و برای تبدیل

معرفی مدل HEC-HMS: این مدل در سال ۱۹۸۱ توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده آمریکا برای تهیه هیدروگراف سیل ارائه گردید و پس از آن اصلاحات زیادی روی آن صورت پذیرفت و در سال ۱۹۹۸ به نام HEC-HMS و تحت ویندوز ارائه گردید. در پژوهش حاضر از نسخه HEC-HMS 4.2 جهت مدل‌سازی استفاده گردید. این مدل دارای سه

در نهایت هیدروگراف مشاهده‌ای و هیدروگراف شبیه‌سازی شده با یکدیگر مقایسه گردید. واسنجی مدل با توجه به آنالیز حساسیت، با پارامترهای ضریب زبری مانینگ (Manning's n) و شماره منحنی (CN) انجام و مدل با استفاده از سه واقعه ثبت شده واسنجی گردید. در این مطالعه از تابع هدف ناش- ساتکلیف (Nash-Sutcliffe; NS) (۱۹) استفاده گردید که میزان کارایی مدل به وسیله این تابع با استفاده از فرمول زیر سنجیده می‌شود:

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \right] \quad (3)$$

که در آن،  $Q_{oi}$  و  $Q_{si}$  به ترتیب دبی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گام زمانی  $i$  و  $\bar{Q}_o$  میانگین دبی مشاهداتی در دوره شبیه‌سازی می‌باشد. مقدار ضریب ناش- ساتکلیف بین  $-\infty$  تا یک متغیر می‌باشد و به عنوان مقدار انحراف بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. زمانی که مقدار این ضریب بین ۰/۷۵ و ۰/۳۶ باشد، کارایی مدل رضایت بخش و در صورتی که بیش‌تر از ۰/۷۵ باشد عالی ارزیابی می‌گردد (۸).

با توجه به آمار بارندگی‌های انتخاب شده اقدام به تعریف مؤلفه هیدرولوژیکی براساس تاریخ وقوع رگبار در مدل گردید و با توجه به لزوم واسنجی و اعتبارسنجی، ۵ واقعه رگبار (۳ واقعه ۱۹۹۱/۰۵/۱۱، ۱۹۹۲/۰۳/۱۶ و ۱۹۹۲/۰۳/۳۱ به منظور واسنجی و ۲ واقعه ۱۹۹۳/۰۵/۲۹ و ۱۹۹۶/۰۳/۰۵ به منظور اعتبارسنجی) انتخاب گردید.

جهت بهینه‌سازی پارامترهای مدل از روش گرادیان تک‌متغیره (Univariate Gradient) استفاده شد. در الگوریتم فوق برای تخمین پارامترها، تصحیحات مکرری بر روی ارزش پارامتر انجام

آن به رواناب مستقیم از روش هیدروگراف واحد سرویس حفاظت خاک (SCS-UH) بهره گرفته شد (۳۲). جهت روندیابی سیلاب در کانال از روش موج سینماتیک که از ترکیب معادله پیوستگی و اندازه حرکت به دست آمده است، به صورت زیر استفاده گردید (۵):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left[ \frac{\partial Q}{\partial t} \right] = q \quad (1)$$

که در آن،  $\alpha = \left( \frac{nP^3}{\sqrt{S_0}} \right)^{\frac{3}{5}}$ ،  $\beta = \frac{3}{5}$  و  $Q$  و  $q$  به ترتیب دبی کل و دبی جانبی در کانال و در مکان  $X$  و در زمان  $t$  می‌باشد. موج سینماتیکی که در اثر تغییر در دبی ایجاد می‌شود، با سرعت مشخصی به سمت پائین دست در حرکت است که مقدار آن از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial X}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial A} = C_k \quad (2)$$

که در آن،  $C_k$  و  $A$  به ترتیب سرعت موج سینماتیک و مساحت مقطع کانال می‌باشد و این بدان معنی است که اگر ناظری با سرعت  $C_k = \frac{dx}{dt}$  همراه با جریان حرکت کند، میزان دبی جریان با شدت  $\frac{dQ}{dx}$  در حال افزایش را مشاهده می‌کند (۲۷).

**واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS:** در این پژوهش، برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از نمونه‌گیری به روش خرد کردن ساده (Simple-Split Sample Test) استفاده گردید (۶). در این روش، سیلاب‌های مشاهده‌ای به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها و با استفاده از تابع هدف، واسنجی می‌شود. سپس اعتبارسنجی مدل از طریق اجراء آن با پارامترهای بهینه شده برای گروه دوم داده‌ها، انجام پذیرفت و

$$F = \left(\frac{\Delta Q}{Q}\right) \times 100 \quad (4)$$

که در آن،  $F$  سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه برحسب درصد،  $\Delta Q$  مقدار کاهش دبی اوج خروجی در اثر حذف زیرحوضه مورد نظر بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $Q$  دبی حداکثر لحظه‌ای حوضه بر حسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:

$$f = \frac{F}{A} \quad (5)$$

که در آن،  $f$  سهم مشارکت زیرحوضه در سیلاب خروجی از کل حوضه در واحد سطح و  $A$  مساحت زیرحوضه برحسب کیلومتر مربع می‌باشد. با توجه به شاخص سیل‌خیزی، زیرحوضه‌ای که بیش‌ترین سهم مشارکت را در تولید سیل خروجی حوضه به عهده دارد به‌عنوان سیل‌خیزترین زیرحوضه شناسایی و سپس سایر زیرحوضه‌ها به‌ترتیب میزان کمی مشارکت آن‌ها در سیل خروجی اولویت‌بندی و میزان مشارکت همه زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه آب‌سنجی بار- اریه در سیل خروجی کل حوضه بر اساس دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله تعیین گردید.

**ارزیابی سناریوهای مدیریتی:** در پژوهش حاضر سناریوهای مدیریتی پیش‌بینی‌شده در مطالعات آبخیزداری حوضه آبخیز و نقش هر کدام از آن‌ها در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف مورد بررسی قرار گرفت (۱۰). بدین‌منظور تأثیر اقدامات سازه‌ای با استفاده از پارامتر شیب طولی و زمان تمرکز حوضه و همچنین تأثیر اقدامات بیولوژیکی بر پارامتر شماره منحنی و زمان تمرکز بررسی شد. روش شماره منحنی به‌علت این‌که بر اساس مشاهدات فیزیکی استوار می‌باشد و از طریق آن می‌توان تغییرات ایجاد شده در پوشش گیاهی را مورد بررسی قرار داد، نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر می‌باشد (۳۱). جهت ارزیابی تأثیر اقدامات

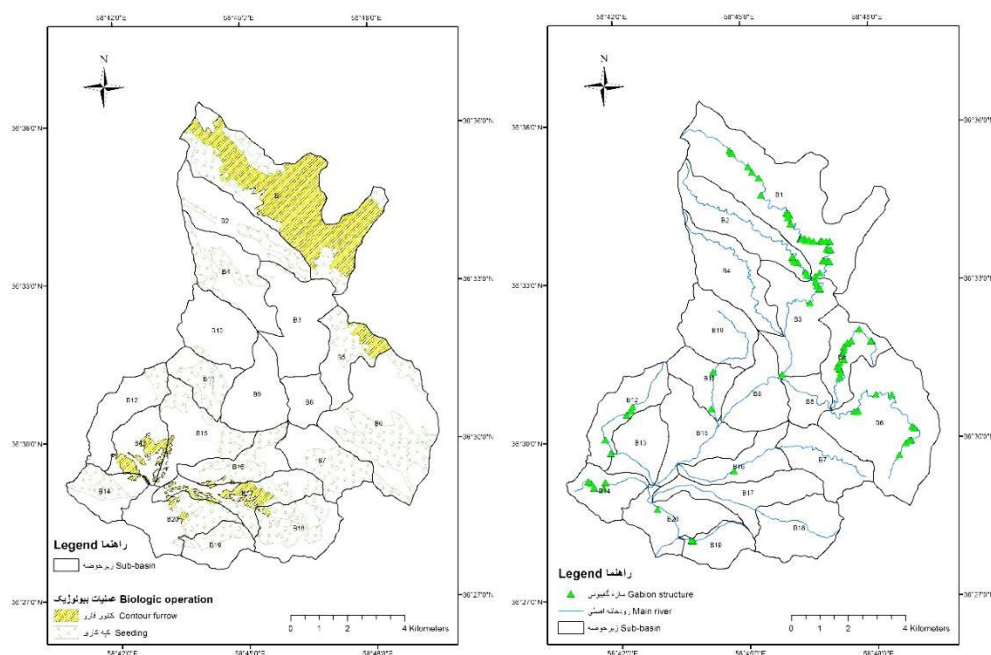
می‌شود. از طرف دیگر، در این الگوریتم هدف یافتن میزانی از تصحیح پارامتر می‌باشد به‌طوری‌که تخمین صورت گرفته از پارامتر منجر به حداقل خطا یا تابع هدف شود. اگر این تصحیح منجر به رسیدن به حداقل تابع هدف نشود الگوریتم تکرار خواهد شد (۷). این روش ابعاد یک پارامتر را در طول زمان شبیه‌سازی تغییر می‌دهد و ابعاد سایر پارامترها را ثابت نگه می‌دارد. در مطالعات حاضر دبی پایه با استفاده از روش تعیین شیب منحنی هیدروگراف (قبل از شروع رواناب حاصل از رگبار مربوطه)، حذف گردیده است (۱۳). بدین‌منظور براساس شیب منحنی هیدروگراف قبل از شروع رواناب بر اساس ساعت و استفاده از معادله مربوطه، دبی پایه از داده‌های رواناب ثبت‌شده حذف و در نرم‌افزار HEC-HMS استفاده گردیده است.

**اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها و پتانسیل سیل‌خیزی:** پس از واسنجی مدل اقدام به پیش‌بینی دبی اوج و حجم سیلاب در رخدادهای بارندگی مختلف برای هر کدام از زیرحوضه‌های پرداخته و نقش هر کدام از آن‌ها در سیل خروجی حوضه با استفاده از تکنیک تکرار حذف انفرادی ( Single Successive Subwatershed Elimination; SSSE) و براساس شاخص سیل‌خیزی بررسی و در نهایت اقدام به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها می‌گردد (۱۱). برای این کار با حذف متوالی زیرحوضه‌ها در هر بار اجراء مدل، دبی خروجی کل حوضه بدون احتساب زیرحوضه مورد نظر محاسبه گردید. بدین‌ترتیب پس از اتمام روندیابی هر یک از واحدهای هیدرولوژیک، میزان تأثیر آن‌ها در دبی اوج خروجی حوضه محاسبه و اولویت‌بندی آن‌ها انجام گردید.

در این مطالعه واحدهای هیدرولوژیک منطقه بر اساس شاخص‌های سیل‌خیزی  $F$  و  $f$  اولویت‌بندی گردیده که این شاخص‌ها بر اساس معادلات زیر قابل محاسبه می‌گردند (۳۵):

حوضه آبخیز بار، در مجموع ۴۶۷۰ هکتار از کل سطح حوضه جهت انجام فعالیت‌های بیولوژیک در قالب پروژه کپه‌کاری و مدیریت رواناب پیش‌بینی گردیده است (جدول‌های ۱ و ۲). همچنین، نقشه پیشنهادی عملیات بیولوژیک و مکانیکی در شکل ۳ ارائه شده است.

مکانیکی و بیولوژیکی بر آبنمود سیل حوضه، از مدل HEC-HMS استفاده شد. وارد کردن اطلاعات به مدل در شرایط قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری مشابه می‌باشد، اما در شرایط بعد از اقدامات آبخیزداری باید تغییرات شماره منحنی و زمان تأخیر مناطق پیشنهادی برای اجراء مدل را لحاظ نمود. با توجه به بررسی صورت گرفته در مطالعات آبخیزداری



شکل ۳- نقشه پیشنهادی عملیات بیولوژیک (شکل سمت چپ) و مکانیکی (شکل سمت راست) حوضه مطالعاتی.

Figure 3. Proposed biological (Figure left) and mechanical (Figure right) projects of study watershed.

جدول ۱- سطح پروژه کپه‌کاری پیش‌بینی شده در مطالعات حوضه آبخیز بار.

Table 1. Area of predicted seeding project in the Bar watershed studies.

| هدف از اجرای پروژه<br>Purpose of the project                  | مساحت (هکتار)<br>Area (Hectar) | زیرحوضه<br>Subbasin | مساحت (هکتار)<br>Area (Hectar) | زیرحوضه<br>Subbasin |
|---|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|
|   | 2                              | B13                 | 362                            | B1                  |
|   | 196                            | B16                 | 136                            | B2                  |
|   | 271                            | B7                  | 188                            | B4                  |
| ۳۰۰ کیلوگرم افزایش تولید علوفه<br>300 Kg increase in forage   | 146                            | B14                 | 163                            | B5                  |
| در هکتار، حفاظت آب و خاک<br>production per hectare, water and | 177                            | B17                 | 522                            | B6                  |
| soil conservation   | 268                            | B18                 | 10                             | B10                 |
|   | 116                            | B19                 | 168                            | B11                 |
|   | 190                            | B20                 | 81                             | B12                 |
|   | 3203                           | مجموع<br>Total      | 207                            | B15                 |



جدول ۲- سطح پروژه مدیریت رواناب (کتور فارو) پیش‌بینی شده در مطالعات حوضه آبخیز بار.

**Table 2. Area of predicted contour furrow project in the Bar watershed studies.**

| هدف از اجرای پروژه<br>Purpose of the project | مساحت (هکتار)<br>Area (Hectar) | زیرحوضه<br>Subbasin | مساحت (هکتار)<br>Area (Hectar) | زیرحوضه<br>Subbasin |
|--|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|
|  | 1                              | B16                 | 1112                           | B1                  |
| ۳۰۰ کیلوگرم افزایش تولید علوفه در هکتار،     | 117                            | B17                 | 83                             | B5                  |
| حفاظت آب و خاک                               | 7                              | B18                 | 96                             | B13                 |
| 300 Kg increase in forage production         | 20                             | B20                 | 8                              | B14                 |
| per hectare, water and soil conservation     | 1467                           | مجموع<br>Total      | 13                             | B15                 |

گردیده‌اند، می‌گردد (۱۳). با توجه به بررسی صورت گرفته، در مجموع تعداد ۸۷ سازه در قالب احداث گابیون (با ارتفاع مفید ۲ متر) در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز بار پیش‌بینی گردیده است (جدول ۳).

**فعالیت‌های سازه‌های (گابیون):** احداث سازه‌های گابیونی در مسیر آبراهه‌های زیرحوضه‌های آبخیز، موجب کاهش شیب طولی آبراهه و افزایش زمان تأخیر در زیرحوضه‌هایی که این سازه‌ها احداث

جدول ۳- تعداد و حجم سازه‌های گابیونی پیش‌بینی شده در مطالعات حوضه آبخیز بار.

**Table 3. The number and volume of predicted gabion structures in the Bar watershed studies.**

| حجم گابیون (مترمکعب)<br>Volume of gabion (m <sup>3</sup> ) | تعداد سازه‌های گابیونی<br>Number of gabion structures | زیرحوضه<br>Subbasin | حجم گابیون (مترمکعب)<br>Volume of gabion (m <sup>3</sup> ) | تعداد سازه‌های گابیونی<br>Number of gabion structures | زیرحوضه<br>Subbasin |
|--|---|---------------------|--|---|---------------------|
| 155  | 2   | B11                 | 5618   | 33  | B1                  |
| 2185   | 5   | B12                 | 1349   | 7   | B2                  |
| -  | 0   | B13                 | 2228   | 5   | B3                  |
| 576  | 5   | B14                 | -  | 0   | B4                  |
| -  | 0   | B15                 | 1775   | 14  | B5                  |
| 160  | 1   | B16                 | 3422   | 12  | B6                  |
| -  | 0   | B17                 | -  | 0   | B7                  |
| -  | 0   | B18                 | -  | 0   | B8                  |
| 506  | 2   | B19                 | -  | 0   | B9                  |
| 208  | 1   | B20                 | -  | 0   | B10                 |

است. مقادیر شبیه‌سازی شده دبی اوج، حجم سیلاب و زمان تا اوج شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۵). انطباق بسیار خوب بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی و اختلاف کم بین آن‌ها و همچنین ضریب ناش- ساتکلیف بالا در رخدادهای سیل بیانگر آن است که مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای رخدادهای مورد واسنجی تطابق خوبی دارند (جدول ۵).

### نتایج و بحث

**واسنجی و اعتبارسنجی مدل:** با توجه به مطالعات صورت گرفته در خصوص شناسایی بهترین پارامترهای مؤثر بر دبی سیلاب حوضه‌های آبخیز دو پارامتر شماره منحنی و ضریب زبری مانینگ (۲۳) و (۳۶) به‌عنوان مؤثرترین پارامترها مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفتند. اطلاعات کلی سه رخدادهای جهت واسنجی در جدول ۴ ارائه شده

جدول ۴- اطلاعات کلی رخدادهای سیلاب در فرآیند واسنجی.

Table 4. Total information of flood events for calibration process.

| تاریخ رخداد سیل<br>Date of flood event | زمان شروع<br>Time start | زمان خاتمه<br>Time end | مدت بارش (دقیقه)<br>Duration of rainfall<br>(min) | مقدار بارش (میلی‌متر)<br>Volume of rainfall<br>(mm) | حداکثر شدت بارش<br>(میلی‌متر بر ساعت)<br>Intensity of rainfall<br>(mm/hr) |
|--|-------------------------|------------------------|---|---|---|
| 1991/05/11                             | 8:45                    | 16:30                  | 465   | 18.40   | 6.0   |
| 1992/03/16                             | 3:00                    | 14:30                  | 690   | 9.60  | 4.5   |
| 1992/03/31                             | 3:45                    | 8:45                   | 300   | 13.90   | 6.5   |

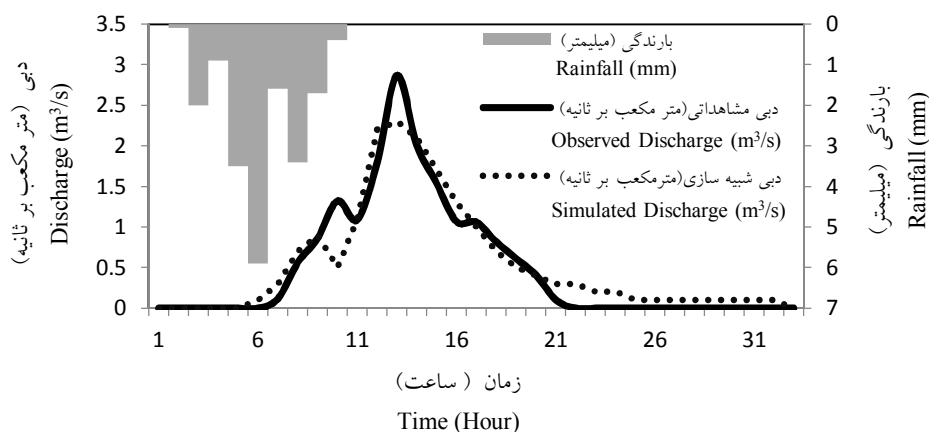
جدول ۵- مقایسه مقادیر واسنجی دبی اوج، حجم سیلاب و زمان اوج در هر رخداد سیلاب.

Table 5. Comparison of the observed and simulated peak flood values, flood volume and time to peak in each calibration event.

| مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده<br>Observed and simulated values |   |                      |  |                      |                        | ناش - ساتکلیف<br>Nash-Sutcliffe | تاریخ رخداد سیل<br>date of flood event |
|--|---|----------------------|--|----------------------|------------------------|---------------------------------|--|
| زمان اوج سیلاب<br>Time of peak flood                               | حجم سیلاب (میلیون مترمکعب)<br>Flood volume (million cubic meters) |                      | دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)<br>Peak discharge (m <sup>3</sup> /s) |                      |                        |                                 |  |
| مشاهداتی<br>Observed   | شبیه‌سازی<br>Simulated  | مشاهداتی<br>Observed | شبیه‌سازی<br>Simulated   | مشاهداتی<br>Observed | شبیه‌سازی<br>Simulated |                                 |  |
| 20:00  | 20:00   | 0.5                  | 0.6  | 2.9                  | 2.3                    | 0.89                            | 1991/05/11                             |
| 13:00  | 14:00   | 0.7                  | 0.6  | 5.0                  | 3.8                    | 0.88                            | 1992/03/16                             |
| 11:00  | 11:00   | 1.8                  | 1.9  | 11.6                 | 10.8                   | 0.94                            | 1992/03/31                             |

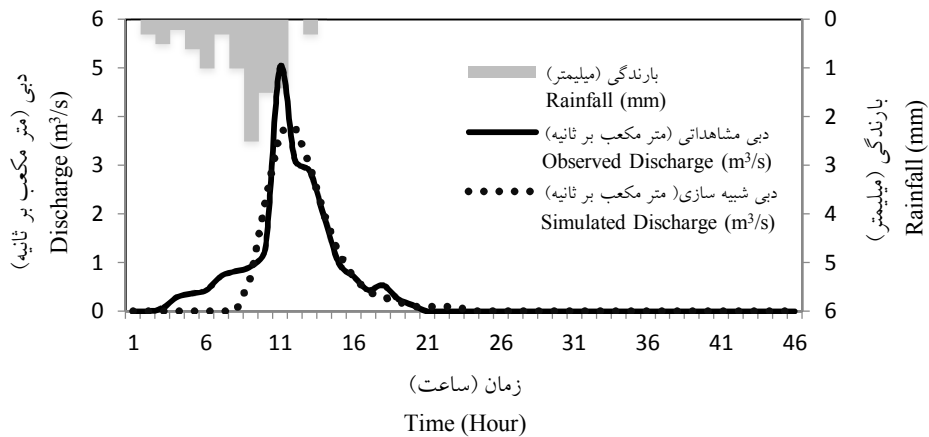
و شبیه‌سازی شده برای رخدادهای مورد واسنجی تطابق خوبی دارند. به‌گونه‌ای که بالاترین تطابق برای رخداد بارندگی تاریخ ۱۹۹۲/۰۳/۳۱ مشاهده گردید.

هیدروگراف مشاهده‌شده و واسنجی شده توسط مدل در رخدادهای بارندگی در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است. نتایج بیانگر آن است که مقادیر مشاهده‌شده



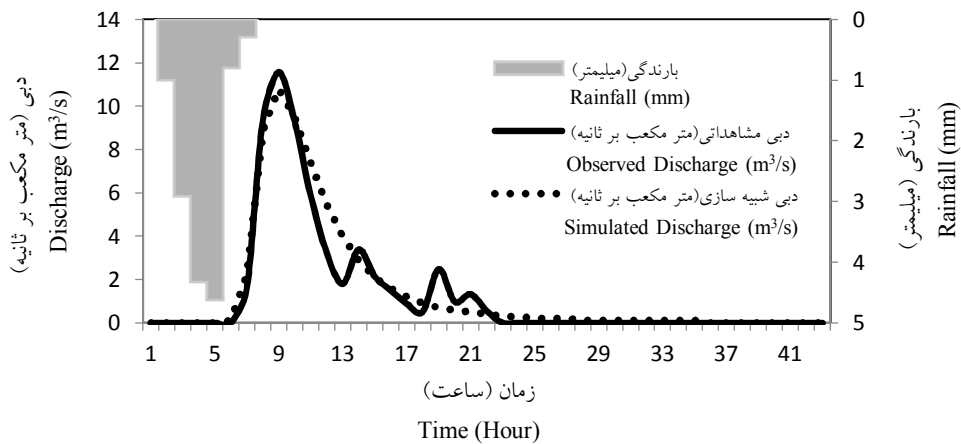
شکل ۴- هیدروگراف مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی برای رگبار ۱۹۹۱/۰۵/۱۱.

Figure 4. Observed v.s. simulated hydrograph during calibration process for storm event dated 1991/05/11.



شکل ۵- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی برای رگبار ۱۹۹۲/۰۳/۱۶.

Figure 5. Observed v.s. simulated hydrograph during calibration process for storm event dated 1992/03/16.



شکل ۶- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی برای رگبار ۱۹۹۲/۰۳/۳۱.

Figure 6. Observed v.s. simulated hydrograph during calibration process for storm event dated 1992/03/31.

پارامترهای بهینه شده این رخداد مطابق جدول ۶ استفاده گردید.

با توجه به این‌که بهترین نتایج براساس مقدار ناش- ساتکلیف در رخداد بارندگی ۱۹۹۲/۰۳/۳۱ استخراج گردید، جهت اعتبارسنجی مدل از

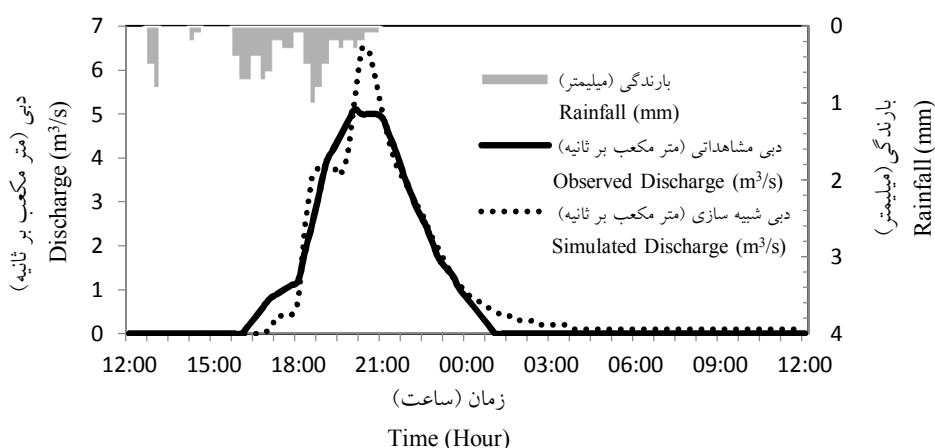
جدول ۶- مقادیر اولیه و بهینه شده مورد استفاده جهت شبیه‌سازی رواناب در زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی.

Table 6. Initial and fitted values used for runoff simulation in subbasins of the study area.

| پارامترهای بهینه (اولیه)<br>Fitted (Initial) parameters |                             | زیرحوضه<br>Subbasin | پارامترهای بهینه (اولیه)<br>Fitted (Initial) parameters |                             | زیرحوضه<br>Subbasin |
|---|-----------------------------|---------------------|---|-----------------------------|---------------------|
| ضریب زبری مانینگ<br>Manning's coefficient               | شماره منحنی<br>Curve number |                     | ضریب زبری مانینگ<br>Manning's coefficient               | شماره منحنی<br>Curve Number |                     |
| 0.100 (0.07)  | 55.9 (84.3)                 | B11                 | 0.014 (0.05)  | 89.3 (88.3)                 | B1                  |
| 0.060 (0.07)  | 66.0 (83.8)                 | B12                 | 0.038 (0.05)  | 88.9 (88.5)                 | B2                  |
| 0.117 (0.06)  | 52.2 (80.7)                 | B13                 | 0.052 (0.09)  | 89.6 (87.7)                 | B3                  |
| 0.089 (0.08)  | 60.0 (86.2)                 | B14                 | 0.039 (0.08)  | 94.1 (88.4)                 | B4                  |
| 0.093 (0.04)  | 78.7 (78.7)                 | B15                 | 0.078 (0.08)  | 90.8 (88.3)                 | B5                  |
| 0.063 (0.07)  | 85.2 (82.0)                 | B16                 | 0.078 (0.08)  | 58.0 (88.1)                 | B6                  |
| 0.051 (0.07)  | 78.5 (80.1)                 | B17                 | 0.070 (0.08)  | 88.3 (87.2)                 | B7                  |
| 0.043 (0.04)  | 86.0 (86.5)                 | B18                 | 0.066 (0.09)  | 88.6 (87.1)                 | B8                  |
| 0.066 (0.06)  | 56.8 (86.9)                 | B19                 | 0.031 (0.08)  | 84.8 (82.8)                 | B9                  |
| 0.045 (0.06)  | 82.6 (82.1)                 | B20                 | 0.078 (0.07)  | 44.4 (66.2)                 | B10                 |

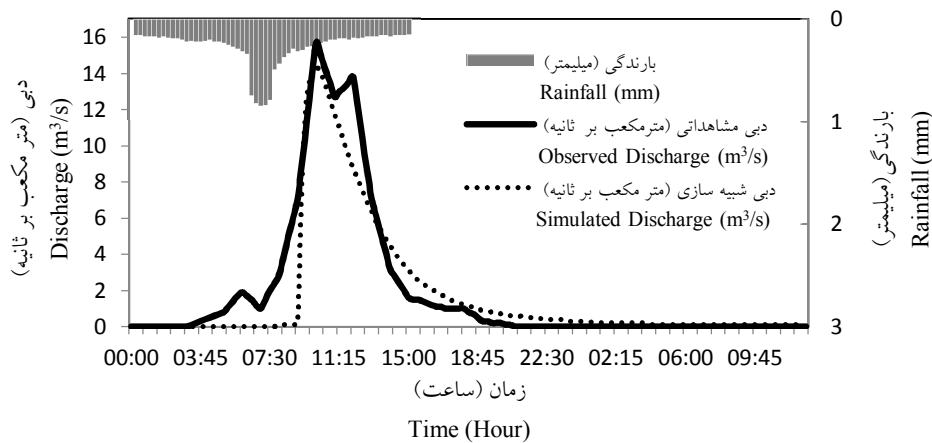
شبیه‌سازی شده (۱/۷۵ میلیون مترمکعب) جهت پیش‌بینی سیلاب‌های حوضه آبخیز بار می‌باشد. همچنین، مقادیر دبی اوج، حجم سیلاب و زمان اوج پیش‌بینی شده برای رخدادهای بارندگی در جدول ۷ نشان داده شده است.

هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رخداد بارندگی جهت صحت‌سنجی مدل در شکل‌های ۷ و ۸ بیانگر انطباق بسیار مناسب بین دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهداتی (۱۰/۸ مترمکعب بر ثانیه) و شبیه‌سازی شده (۱۱/۶ مترمکعب بر ثانیه) و کل سیلاب مشاهداتی (۱/۹۱ میلیون مترمکعب) و



شکل ۷- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی برای رگبار ۱۹۹۳/۰۵/۲۹.

Figure 7. Observed v.s. simulated hydrograph during validation process for storm event dated 1993/05/29.



شکل ۸- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی برای رگبار ۱۹۹۶/۰۳/۰۵.

Figure 8. Observed v.s. simulated hydrograph during validation process for storm event dated 1996/03/05.

جدول ۷- مقادیر دبی اوج، حجم سیلاب و زمان اوج در رخدادهای سیلاب در فرآیند اعتبارسنجی.

Table 7. Values of peak discharge, volume of flood and time to peak in flood events during validation process.

| مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده<br>Observed and simulated values |   |                        |  |                        |                      | ناش - ساتکلیف<br>Nash-sutcliffe | تاریخ رخداد سیل<br>Date of flood event |
|--|---|------------------------|--|------------------------|----------------------|---------------------------------|--|
| زمان اوج سیلاب<br>Time of peak flood                             | حجم سیلاب (میلیون مترمکعب)<br>Flood volume (million cubic meters) |                        | دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)<br>Peak discharge (m <sup>3</sup> /s) |                        |                      |                                 |  |
| شبیه‌سازی<br>Simulated   | مشاهداتی<br>Observed  | شبیه‌سازی<br>Simulated | مشاهداتی<br>Observed   | شبیه‌سازی<br>Simulated | مشاهداتی<br>Observed |                                 |  |
| 20:00  | 20:15   | 0.7                    | 0.7  | 5.1                    | 6.5                  | 0.95                            | 1993/05/29                             |
| 10:00  | 10:15   | 2.2                    | 2.1  | 15.7                   | 15.2                 | 0.89                            | 1996/03/05                             |

برآورد دبی حوضه در دوره‌های بازگشت طرح: جهت ورود اطلاعات بارندگی به مدل باید پراکنش بارندگی در بازه زمانی مورد نظر تعیین گردد، به همین منظور میزان بارش ۶ ساعته محاسبه شده براساس منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی (IDF) بر توزیع بارش استاندارد تیپ Ia روش SCS (۱۵ و ۲۹) تطبیق داده شد و توزیع بارش در طول زمان برای دوره‌های بازگشت مختلف تعیین و مقدار دبی در هر زیرحوضه با استفاده از مدل واسنجی شده (جدول ۵) استخراج گردید. منحنی IDF براساس تحلیل‌های آماری ایستگاه معرف ماروسک برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال و زمان‌های کم‌تر از ۲۴

ساعت به‌دست آمده است. زیرحوضه‌هایی که دارای بیش‌ترین سطح می‌باشند، بیش‌ترین تأثیر را در دبی خروجی حوضه داشته و به‌عنوان مؤثرترین حوضه‌ها در دبی خروجی تشخیص داده می‌شوند (۳ و ۱۱). از طرف دیگر، نتایج جدول ۸ نشان داد در تداوم‌های کم و دوره‌های بازگشت کوتاه برخی از زیرحوضه‌ها در سیل خروجی مشارکت ندارند، به‌طور مثال در بارش ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲ و ۱۰ ساله در زیرحوضه‌های B6، B11، B12، B13، B14 و B19 سیلابی تولید نشده و این واحدهای هیدرولوژیکی در تولید سیل خروجی مشارکت ندارند.

برآورد دبی حوضه در دوره‌های بازگشت طرح: جهت ورود اطلاعات بارندگی به مدل باید پراکنش بارندگی در بازه زمانی مورد نظر تعیین گردد، به همین منظور میزان بارش ۶ ساعته محاسبه شده براساس منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی (IDF) بر توزیع بارش استاندارد تیپ Ia روش SCS (۱۵ و ۲۹) تطبیق داده شد و توزیع بارش در طول زمان برای دوره‌های بازگشت مختلف تعیین و مقدار دبی در هر زیرحوضه با استفاده از مدل واسنجی شده (جدول ۵) استخراج گردید. منحنی IDF براساس تحلیل‌های آماری ایستگاه معرف ماروسک برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال و زمان‌های کم‌تر از ۲۴

جدول ۸- دبی اوج سیل زیرحوضه‌ها در دوره‌های بازگشت با زمان تمرکز ۶ ساعته در بارش طرح حوضه.

**Table 8. Peak discharge of flood events in subbasins with different return periods using a 6-hour design storm.**

| دبی اوج در دوره‌های بازگشت (مترمکعب بر ثانیه)<br>Peak discharge in return periods (m <sup>3</sup> /s) |     |     |     |      |      | زیرحوضه<br>Subbasin | دبی اوج در دوره‌های بازگشت (مترمکعب بر ثانیه)<br>Peak discharge in return periods (m <sup>3</sup> /s) |      |      |      |      |      | زیرحوضه<br>Subbasin |
|---|-----|-----|-----|------|------|---------------------|---|------|------|------|------|------|---------------------|
| 2   | 5   | 10  | 25  | 50   | 100  |                     | 2   | 5    | 10   | 25   | 50   | 100  |                     |
| 0.0   | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1  | 0.3  | B11                 | 12.6  | 21.0 | 26.1 | 33.7 | 38.9 | 44.1 | B1                  |
| 0.0   | 0.0 | 0.2 | 0.6 | 1.1  | 1.5  | B12                 | 6.3   | 10.5 | 15.0 | 21.4 | 26.3 | 30.9 | B2                  |
| 0.0   | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 0.0  | B13                 | 1.8   | 5.8  | 8.7  | 14.2 | 17.9 | 21.8 | B3                  |
| 0.0   | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.3  | 0.6  | B14                 | 4.0   | 8.8  | 11.8 | 17.0 | 20.4 | 23.8 | B4                  |
| 0.1   | 1.0 | 1.7 | 3.2 | 4.6  | 6.3  | B15                 | 1.6   | 4.9  | 0.0  | 11.0 | 13.8 | 16.6 | B5                  |
| 0.5   | 1.7 | 3.0 | 5.7 | 7.6  | 9.6  | B16                 | 0.0   | 0.0  | 16.1 | 0.0  | 0.6  | 1.4  | B6                  |
| 0.1   | 0.8 | 1.5 | 2.9 | 4.4  | 6.1  | B17                 | 0.9   | 3.7  | 5.7  | 9.6  | 12.4 | 15.2 | B7                  |
| 0.7   | 3.0 | 4.9 | 9.4 | 12.5 | 15.7 | B18                 | 0.5   | 2.1  | 3.1  | 5.4  | 6.8  | 8.4  | B8                  |
| 0.0   | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1  | 0.3  | B19                 | 0.5   | 1.9  | 3.5  | 6.6  | 9.0  | 11.5 | B9                  |
| 0.3   | 1.3 | 2.2 | 3.8 | 5.2  | 6.8  | B20                 | 1.1   | 4.4  | 6.5  | 11.6 | 14.9 | 18.3 | B10                 |
| -   | -   | -   | -   | -    | -    | -                   | 20.2  | 42   | 65.4 | 78.8 | 102  | 127  | خروجی<br>حوضه       |

زیرحوضه‌ها در سیل خروجی کل حوضه مشخص نمی‌گردد. بنابراین حوضه‌ای که دبی اوج بیش‌تری را دارد اولویت اول را به خود اختصاص می‌دهد (۲۱). در جدول‌های ۹ و ۱۰، اولویت‌بندی پس از روندیابی آبنمود سیل زیرحوضه‌ها در حوضه اصلی و براساس درصد سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه (F) و سهم مشارکت زیرحوضه در سیلاب خروجی از کل حوضه در واحد سطح (f) نشان داده شده است. برای بررسی این موضوع از دو رگبار طرح در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده گردیده است. در این روش در خصوص بارندگی‌های طرح با دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله براساس شاخص F به ترتیب زیرحوضه B3 اولین رتبه و زیرحوضه‌های B6، B11، B12، B13، B14 و B19 کم‌ترین اولویت را به خود اختصاص داده‌اند.

در مواردی که مساحت زیرحوضه‌ها اولویت‌بندی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، باید اولویت‌بندی را بر اساس واحد سطح زیرحوضه انجام داد. شاخص

شناسایی مناطق سیل‌خیز و تعیین میزان تأثیر هر یک از زیرحوضه‌ها در تولید سیل خروجی: نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش تکرار حذف انفرادی زیرحوضه (SSSE) با به‌کارگیری مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، در دوره‌های بازگشت مورد مطالعه در جدول‌های ۹ و ۱۰ ارائه گردیده است.

براساس نتایج به‌دست آمده، زیرحوضه B1 در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله با تولید دبی اوج ۳۸/۹ و ۴۴/۱ مترمکعب بر ثانیه در محل خروجی زیرحوضه، بیش‌ترین مقدار و زیرحوضه‌های B13، B11 و B19 با دبی اوج ۰ و ۰/۱ در محل خروجی زیرحوضه کم‌ترین مقدار دبی اوج را به خود اختصاص می‌دهند. در مطالعاتی که اولویت‌بندی تنها بر اساس دبی اوج زیرحوضه بدون روندیابی آبنمود سیل از محل زیرحوضه تا خروجی حوضه انجام می‌گیرد، موضوع اولویت‌بندی در اینجا پایان یافته تلقی می‌گردد و بدین‌ترتیب، میزان مشارکت

تعیین شدت سیل‌خیزی به ازاء واحد سطح حوضه (f)، در اولویت‌بندی طراحی عملیات کنترل سیل به‌ازای امکانات موجود می‌تواند متناسب با مساحت معین مدنظر قرار گیرد (۳). با توجه به این شاخص (f) در رگبارهای طرح با دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله زیرحوضه‌های B4 و B3 اولین و دومین رتبه و زیرحوضه‌های B6, B11, B12, B13, B14 و B19 کم‌ترین اولویت را کسب کرده‌اند. با توجه به نتایج محاسبه دبی در دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت مطابق جدول ۷ و مقایسه آن با جدول‌های ۹ و ۱۰ می‌توان گفت که اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت کاملاً متفاوت از دوره‌های بازگشت طولانی‌مدت می‌باشد (۳).

در بخش‌های اجرایی که مسائل اقتصادی طرح‌ها یکی از عوامل تعیین‌کننده می‌باشد، میزان کاهش سیل خروجی به‌ازای هر واحد سطح زیرحوضه نیز از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. در این روش سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل‌خیزی کل حوضه، تحت‌تأثیر مساحت آن‌ها نبوده و عواملی چون موقعیت مکانی زیرحوضه و تأثیر روندیابی سیل در رودخانه اصلی نیز در رژیم سیلابی حوضه تأثیرگذار خواهند بود (۲۱ و ۳۵). به‌عنوان مثال، در بارندگی با دوره بازگشت ۵۰ ساله طرح، با آن‌که زیرحوضه B6 که از نظر مساحت و دبی اوج در خروجی زیرحوضه در رتبه دوم قرار دارد ولی از نظر مشارکت در سیل خروجی کل حوضه در واحد سطح در ردیف چهارم قرار می‌گیرد. این امر نشان‌دهنده اثر متقابل روندیابی

سیل در رودخانه، موقعیت مکانی و خصوصیات زیرحوضه‌ها در تعیین سهم مشارکت در دبی اوج کل حوضه می‌باشد که بدون شبیه‌سازی توسط مدل و تنها بر مبنای عواملی مانند مساحت قابل تعیین نمی‌باشد (۳۵). از طرف دیگر، نتایج بیانگر آن است که در دوره‌های بازگشت کوتاه اغلب زیرحوضه‌ها در سیل خروجی حوضه مشارکت ندارند (دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ ساله) در حالی‌که با افزایش دوره‌های بازگشت و یا افزایش مدت تداوم در یک دوره بازگشت ثابت، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها و یا واحدهای هیدرولوژیک ثبات بیش‌تری پیدا می‌کند، آن‌چنان‌که مناطق با پتانسیل تولید سیل بالاتر به خوبی خود را نشان می‌دهند (۳). به‌طور مثال، در حوضه مورد مطالعه با بارش ۶ ساعته در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله، اولویت‌بندی میزان مشارکت واحدهای هیدرولوژیک در تولید سیل خروجی تقریباً ثابت می‌باشد که نشان می‌دهد برای کاهش اثر سیل زیرحوضه‌ها در خروجی حوضه باید یک دوره بازگشت مناسبی را در نظر گرفت تا اجراء عملیات آبخیزداری برای کاهش خطرات سیل با اطمینان بالاتری انجام پذیرد. نحوه مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی حوضه در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله، علی‌رغم تفاوت مقادیر سیلاب زیرحوضه‌ها تقریباً یکسان می‌باشد، به‌طوری‌که زیرحوضه‌های B15 و B6 در هر دو دوره بازگشت، رتبه‌های اول و دوم را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۹- اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت ۵۰ سال براساس بارش طرح ۶ ساعته.

**Table 9. Prioritization of subbasins flooding potential in a 50-year return period based on a 6-hour design storm.**

| دبی اوج<br>(مترمکعب بر<br>ثانیه)<br>Peak<br>discharge<br>(m <sup>3</sup> /s) | درصد سهم زیرحوضه<br>در دبی خروجی کل<br>حوضه (F)<br>Contribution of<br>subbasin in the<br>total discharge (F) | سهم زیرحوضه در<br>سیلاب خروجی کل<br>در واحد سطح (f)<br>Contribution of<br>subbasin in the<br>total flood per unit<br>area (f) | اولویت‌بندی بر<br>اساس دبی اوج<br>زیرحوضه<br>Prioritization<br>based on<br>subbasin peak<br>discharge | اولویت‌بندی<br>بر اساس شاخص F<br>Prioritization<br>based on index F | اولویت‌بندی<br>بر اساس<br>شاخص f<br>Prioritization<br>based on index f | زیرحوضه<br>Subbasin |
|--|--|---|---|---|--|---------------------|
| 38.9   | 0.09   | 0.01  | 1   | 13  | 14   | B1                  |
| 26.3   | 0.10   | 0.03  | 2   | 12  | 13   | B2                  |
| 17.9   | 16.15  | 2.24  | 4   | 1   | 2  | B3                  |
| 20.4   | 14.67  | 2.33  | 3   | 2   | 1  | B4                  |
| 13.8   | 8.51   | 2.01  | 6   | 5   | 4  | B5                  |
| 0.6  | 0.00   | 0.00  | 16  | -   | -  | B6                  |
| 12.4   | 8.33   | 1.75  | 8   | 6   | 6  | B7                  |
| 6.8  | 3.39   | 1.44  | 11  | 10  | 7  | B8                  |
| 9.0  | 2.69   | 0.53  | 9   | 11  | 12   | B9                  |
| 14.9   | 10.24  | 1.92  | 5   | 4   | 5  | B10                 |
| 0.1  | 0.00   | 0.00  | 18  | -   | -  | B11                 |
| 1.1  | 0.00   | 0.00  | 15  | -   | -  | B12                 |
| 0.0  | 0.00   | 0.00  | -   | -   | -  | B13                 |
| 0.3  | 0.00   | 0.00  | 17  | -   | -  | B14                 |
| 4.6  | 12.59  | 2.08  | 13  | 3   | 3  | B15                 |
| 7.6  | 4.34   | 1.07  | 10  | 8   | 9  | B16                 |
| 4.4  | 3.39   | 0.65  | 14  | 10  | 11   | B17                 |
| 12.5   | 6.94   | 1.28  | 7   | 7   | 8  | B18                 |
| 0.1  | 0.00   | 0.00  | 18  | -   | -  | B19                 |
| 5.2  | 4.17   | 0.80  | 12  | 9   | 10   | B20                 |

جدول ۱۰- اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت ۱۰۰ سال براساس بارش طرح ۶ ساعته .

**Table 10. Prioritization of subbasins flooding potential in a 100-year return period based on a 6-hour design storm.**

| دبی اوج<br>(مترمکعب بر<br>ثانیه)<br>Peak<br>discharge<br>(m <sup>3</sup> /s) | درصد سهم زیرحوضه<br>در دبی خروجی کل<br>حوضه (F)<br>Contribution of<br>subbasin in the<br>total discharge (F) | سهم زیرحوضه در<br>سیلاب خروجی کل<br>در واحد سطح (f)<br>Contribution of<br>subbasin in the total<br>flood per unit area (f) | اولویت‌بندی براساس<br>دبی اوج زیرحوضه<br>Prioritization<br>based on subbasin<br>peak discharge | اولویت‌بندی<br>بر اساس<br>شاخص F<br>Prioritization<br>based on<br>index F | اولویت‌بندی بر<br>اساس شاخص f<br>Prioritization<br>based on<br>index f | زیرحوضه<br>Subbasin |
|--|--|--|--|---|--|---------------------|
| 44.1   | 0.09   | 0.01   | 1  | 14  | 13   | B1                  |
| 30.9   | 0.10   | 0.04   | 2  | 13  | 12   | B2                  |
| 21.8   | 19.44  | 2.70   | 4  | 1   | 1  | B3                  |
| 23.8   | 16.93  | 2.69   | 3  | 2   | 2  | B4                  |
| 16.6   | 9.72   | 2.30   | 6  | 6   | 4  | B5                  |
| 1.4  | 0.00   | 0.00   | 16   | -   | -  | B6                  |
| 15.2   | 10.24  | 2.15   | 8  | 5   | 5  | B7                  |
| 8.4  | 4.69   | 1.99   | 11   | 10  | 6  | B8                  |
| 11.5   | 3.39   | 0.67   | 9  | 12  | 11   | B9                  |
| 18.3   | 12.67  | 2.38   | 5  | 4   | 3  | B10                 |
| 0.3  | 0.00   | 0.00   | 19   | -   | -  | B11                 |
| 1.5  | 0.00   | 0.00   | 15   | -   | -  | B12                 |
| 0.0  | 0.00   | 0.00   | -  | -   | -  | B13                 |
| 0.6  | 0.00   | 0.00   | 18   | -   | -  | B14                 |
| 6.3  | 16.32  | 2.70   | 13   | 3   | 1  | B15                 |
| 9.6  | 5.56   | 1.38   | 10   | 8   | 8  | B16                 |
| 6.1  | 4.51   | 0.87   | 14   | 11  | 10   | B17                 |
| 15.7   | 8.68   | 1.60   | 7  | 7   | 7  | B18                 |
| 0.3  | 0.00   | 0.00   | 19   | -   | -  | B19                 |
| 6.8  | 4.86   | 0.93   | 12   | 9   | 9  | B20                 |



بررسی فعالیت‌های آبخیزداری پیش‌بینی‌شده

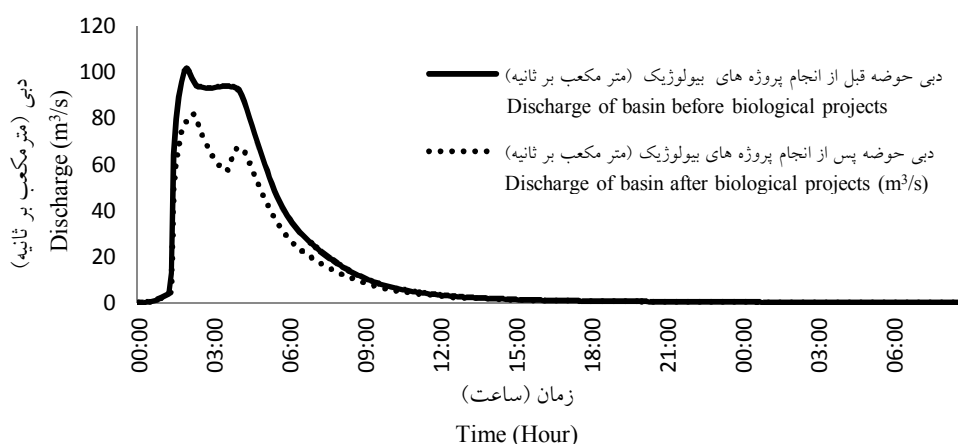
بررسی تأثیر فعالیت‌های بیولوژیک (کپه‌کاری و کتورفارو) بر سیل حوضه آبخیز بار: مطابق جدول ۱۱ و نمودارهای ۹ و ۱۰ می‌توان اینگونه بیان نمود که نقش فعالیت‌های بیولوژیک در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله طرح بر کاهش دبی اوج حوضه و زیرحوضه‌هایی که این پروژه در آن‌ها برنامه‌ریزی گردیده است بسیار قابل‌ملاحظه می‌باشد. به‌طوری‌که در زیرحوضه B1 با توجه به این‌که بیش‌ترین سطح عملیات بیولوژیک اجراء گردیده است، بالاترین درصد کاهش دبی اوج به‌میزان ۴۱/۲۷ تا ۴۴/۳۳ درصد مشاهده می‌گردد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که عامل CN به‌عنوان یک عامل مؤثر از لحاظ کنترل و تأثیر آن بر سیل خروجی حوضه در همه زیرحوضه‌ها در میزان کاهش دبی اوج می‌باشد (۳). مطابق نتایج جدول ۱۱ می‌توان اشاره نمود که، در

بارندگی با دوره بازگشت ۵۰ ساله و با کاهش دبی اوج از ۱۰/۵ به ۸۲ مترمکعب بر ثانیه، خسارات سیلاب اعم از مالی و جانی در حوضه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، نتایج نشان می‌دهد که هرچه نسبت سطح عملیات بیولوژیک به مساحت زیرحوضه بیش‌تر باشد، نقش این پروژه‌ها در کاهش میزان دبی اوج نیز واضح‌تر خواهد بود. اما تأثیر این پروژه‌ها در سطوح کم نیز دارای اهمیت می‌باشد، چرا که در زیرحوضه B10 با وجود فقط ۱۰ هکتار عملیات کپه‌کاری، تأثیر آن بر کاهش دبی اوج در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌ترتیب ۱/۳۴ و ۱/۰۹ درصد می‌باشد. ضمن این‌که شرایط اولیه زیرحوضه از نظر پوشش گیاهی، میزان نفوذپذیری و رطوبت اولیه خاک در میزان تأثیر فعالیت‌های بیولوژیک بر کاهش دبی اوج نیز نقش مؤثری را ایفا می‌نماید (۲۰).

جدول ۱۱- تغییرات دبی اوج زیرحوضه‌ها پس از انجام فعالیت‌های بیولوژیک در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله.

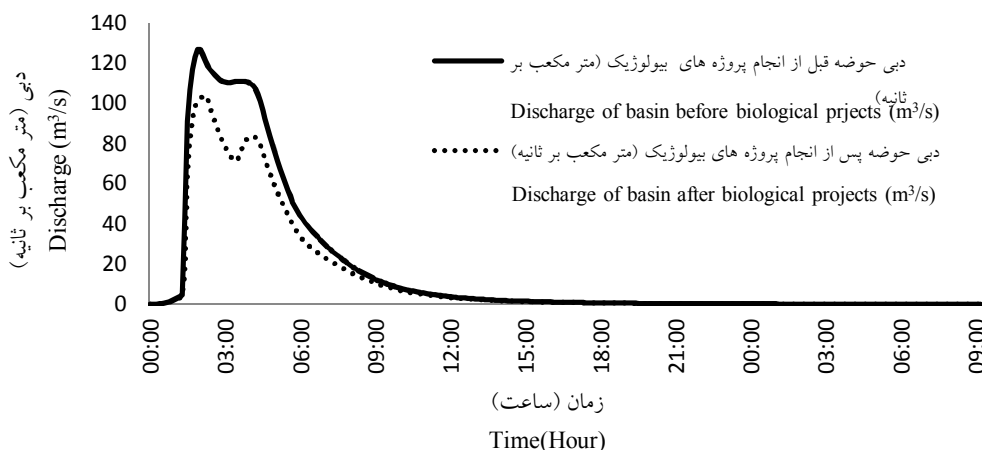
Table 11. Peak flood magnitude changes in subbasins after biological activities in return periods of 50 and 100 years.

| زیرحوضه<br>Subbasin | درصد کاهش دبی<br>اوج در دوره‌های<br>بازگشت | کاهش دبی اوج در<br>دوره‌های بازگشت<br>(مترمکعب بر ثانیه)                  |      | دبی اوج در دوره‌های<br>بازگشت بعد از اجراء<br>پروژه‌های بیولوژیک<br>(مترمکعب بر ثانیه)                  |      | دبی اوج در دوره‌های<br>بازگشت قبل از اجراء<br>پروژه‌های بیولوژیک<br>(مترمکعب بر ثانیه)                   |       | مساحت<br>عملیات<br>بیولوژیک<br>(کیلومتر مربع) | مساحت<br>زیرحوضه<br>(کیلومتر مربع) |
|---------------------|--|---|------|---|------|--|-------|---|------------------------------------|
|                     |  | Decrease of peak<br>discharge in<br>return periods<br>(m <sup>3</sup> /s) |      | Peak discharge in<br>return periods after<br>implementing<br>biological projects<br>(m <sup>3</sup> /s) |      | Peak discharge in<br>return periods before<br>implementing<br>biological projects<br>(m <sup>3</sup> /s) |       |   |                                    |
|                     |  | 50  | 100  | 50  | 100  | 50   | 100   |   |                                    |
| B1                  | 41.3                                       | 44.7  | 17.4 | 18.2  | 21.5 | 25.9   | 38.9  | 44.1  | 16.9                               |
| B2                  | 22.9                                       | 25.8  | 6.8  | 7.1   | 19.5 | 23.8   | 26.3  | 30.9  | 6.4                                |
| B3                  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 17.9 | 21.8   | 17.9  | 21.8  | 7.2                                |
| B4                  | 17.2                                       | 19.6  | 4.0  | 4.1   | 16.4 | 19.7   | 20.4  | 23.8  | 6.3                                |
| B5                  | 34.9                                       | 37.7  | 5.2  | 5.8   | 8.6  | 10.8   | 13.8  | 16.6  | 4.2                                |
| B6                  | 42.9                                       | 83.3  | 0.5  | 0.6   | 0.1  | 0.8  | 0.6   | 1.4   | 13.4                               |
| B7                  | 30.9                                       | 34.7  | 4.3  | 4.7   | 8.1  | 10.5   | 12.4  | 15.2  | 4.8                                |
| B8                  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 6.8  | 8.4  | 6.8   | 8.4   | 2.4                                |
| B9                  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 9.0  | 11.5   | 9.0   | 11.5  | 5.1                                |
| B10                 | 1.1  | 1.3   | 0.2  | 0.2   | 14.7 | 18.1   | 14.9  | 18.3  | 5.3                                |
| B11                 | 33.3                                       | 100.0   | 0.1  | 0.1   | 0.0  | 0.2  | 0.1   | 0.3   | 3.3                                |
| B12                 | 6.7  | 9.1   | 0.1  | 0.1   | 1.0  | 1.4  | 1.1   | 1.5   | 4.5                                |
| B13                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 3.9                                |
| B14                 | 33.3                                       | 33.3  | 0.1  | 0.2   | 0.2  | 0.4  | 0.3   | 0.6   | 3.5                                |
| B15                 | 15.9                                       | 15.2  | 0.7  | 1.0   | 3.9  | 5.3  | 4.6   | 6.3   | 6.1                                |
| B16                 | 12.5                                       | 14.5  | 1.1  | 1.2   | 6.5  | 8.4  | 7.6   | 9.6   | 4.0                                |
| B17                 | 4.9  | 6.8   | 0.3  | 0.3   | 4.1  | 5.8  | 4.4   | 6.1   | 5.2                                |
| B18                 | 9.6  | 11.2  | 1.4  | 1.5   | 11.1 | 14.2   | 12.5  | 15.7  | 5.4                                |
| B19                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.1  | 0.3  | 0.1   | 0.3   | 2.8                                |
| B20                 | 10.3                                       | 9.6   | 0.5  | 0.7   | 4.7  | 6.1  | 5.2   | 6.8   | 5.2                                |
| کل حوضه             | 18.1                                       | 19.2  | 19.5 | 23.0  | 82.0 | 103.9  | 101.5 | 126.9   | 115.9                              |



شکل ۹- نمودار تأثیر پروژه‌های بیولوژیک بر هیدروگراف سیل حوضه (دوره بازگشت ۵۰ ساله).

Figure 9. Effect of biological operations on watershed hydrograph (50 years return period).



شکل ۱۰- نمودار تأثیر پروژه‌های بیولوژیک بر هیدروگراف سیل حوضه (دوره بازگشت ۱۰۰ ساله).

Figure 10. Effect of biological operations on watershed hydrograph (100 years return period).

رودخانه باعث کاهش میزان دبی اوج زیرحوضه نیز خواهد شد. اما نقش این سازه‌ها در کاهش دبی اوج به شیب و ضریب زبری آبراهه اصلی بستگی زیادی داشته به طوری که هرچه شیب آبراهه اصلی کمتر باشد به دلیل عدم تأثیر قابل توجه این سازه‌ها بر تعدیل شیب آبراهه اصلی نقش این سازه‌ها در کاهش دبی اوج قابل ملاحظه نمی‌باشد (۲). به عنوان مثال، زیرحوضه B6 با توجه به پیش‌بینی ۶ سازه در مسیر آبراهه در مقایسه با زیرحوضه B1 با ۳۳ سازه در رابطه با کاهش دبی اوج زیرحوضه تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته که می‌توان دلیل آن را شیب کم آبراهه اصلی زیرحوضه

بررسی تأثیر فعالیت‌های سازه‌ای (گابیون) بر سیل حوضه آبخیز بار: نتایج تغییرات شیب آبراهه‌های اصلی ناشی از اجرای سازه‌های گابیونی موجب افزایش زمان تأخیر و زمان تمرکز گردیده که پس از ورود به مدل برای بارندگی‌های طرح در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله، مقادیر تغییرات دبی اوج زیرحوضه‌ها و دبی اوج کل حوضه مطابق جدول ۱۲ و نمودارهای ۱۱ و ۱۲ استخراج گردیده است. با توجه به بررسی صورت گرفته نقش فعالیت‌های سازه‌ای در کاهش دبی اوج سیلاب کم‌تر از فعالیت‌های بیولوژیک می‌باشد (۲). از طرف دیگر، افزایش تعداد سازه‌ها در طول مسیر

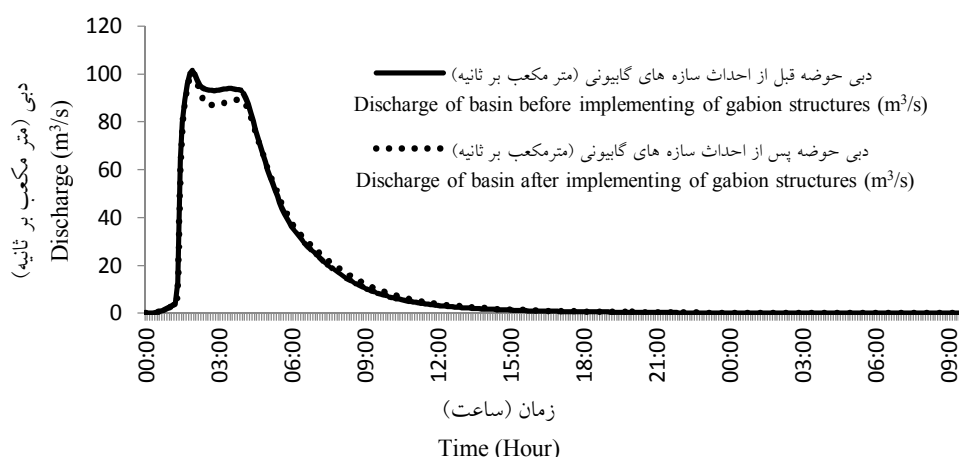
عملیات مکانیکی توانسته نقش مؤثری در کاهش دبی اوج به‌ویژه در دوره بازگشت ۱۰۰ سال ایفا نماید. همچنین در زیرحوضه B5 با توجه به شیب متوسط ۳۰ درصدی آبراهه اصلی تعداد سازه‌های پیش‌بینی‌شده نسبت به طول آبراهه اصلی کم بوده که نتوانسته است در کاهش شیب آبراهه نقش مؤثری را ایفاء نماید و میزان دبی اوج این زیرحوضه را در حد قابل‌توجهی کاهش داده است.

B1 دانست که با پیش‌بینی ۳۳ سازه در مسیر آبراهه اصلی این سازه‌ها نتوانسته‌اند در مجموع تأثیر زیادی بر کاهش شیب آبراهه اصلی این زیرحوضه داشته باشند. دلیل دیگر آن را می‌توان این‌گونه بیان نمود که شیب اصلی این آبراهه بدون عملیات سازه‌ای به‌طور متوسط ۱ درصد بوده در حالی که شیب آبراهه اصلی در زیرحوضه B6، ۶ درصد می‌باشد. ولی در زیرحوضه B2 با توجه به شیب آبراهه بالاتر از زیرحوضه B1.

جدول ۱۲- مقایسه دبی اوج زیرحوضه‌ها قبل و بعد از اجرای سازه‌های گابیونی در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله.

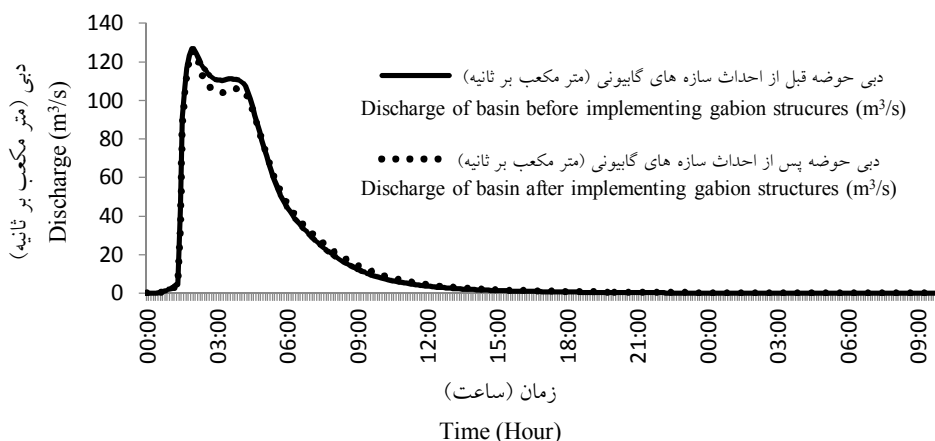
**Table 12. Comparison of peak discharge in subbasins before and after the implementation of the gabion structures in the return periods of 50 and 100 years.**

| زیرحوضه<br>Subbasin | درصد کاهش دبی<br>اوج در دوره‌های<br>بازگشت | کاهش دبی اوج در<br>دوره‌های بازگشت<br>(مترمکعب بر ثانیه)                  |  | دبی اوج در دوره‌های<br>بازگشت بعد از اجراء<br>پروژه‌های بیولوژیک<br>(مترمکعب بر ثانیه)                  |  | دبی اوج در دوره‌های<br>بازگشت قبل از اجراء<br>پروژه‌های بیولوژیک<br>(مترمکعب بر ثانیه) |       | مساحت<br>عملیات<br>بیولوژیک<br>(کیلومتر مربع)<br>Subbasin<br>area (Km <sup>2</sup> ) | مساحت<br>زیرحوضه<br>(کیلومتر مربع) |
|---------------------|--|---|--|---|--|--|-------|--|------------------------------------|
|                     |  | 50  | 100  | 50  | 100  | 50   | 100   |  |                                    |
|                     |  | Decrease of peak<br>discharge in<br>return periods<br>(m <sup>3</sup> /s) | Decrease<br>percentage of<br>peak discharge in<br>return periods | Peak discharge in<br>return periods after<br>implementing<br>biological projects<br>(m <sup>3</sup> /s) | Peak discharge in<br>return periods before<br>implementing<br>biological projects<br>(m <sup>3</sup> /s) |  |       |  |                                    |
| B1                  | 6.1  | 5.9   | 2.7  | 2.3   | 2.7  | 38.9   | 44.1  | 33   | 16.9                               |
| B2                  | 12.3                                       | 4.0   | 3.8  | 1.1   | 3.8  | 26.3   | 30.9  | 7  | 6.4                                |
| B3                  | 4.1  | 4.5   | 0.9  | 0.8   | 0.9  | 17.9   | 21.8  | 6  | 7.2                                |
| B4                  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 20.4   | 23.8  | 0  | 6.3                                |
| B5                  | 3.6  | 3.6   | 0.6  | 0.5   | 0.6  | 13.8   | 16.6  | 14   | 4.2                                |
| B6                  | 0.0  | 16.7  | 0.0  | 0.1   | 0.0  | 0.6  | 1.4   | 12   | 13.4                               |
| B7                  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 12.4   | 15.2  | 0  | 4.8                                |
| B8                  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 6.8  | 8.4   | 0  | 2.4                                |
| B9                  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 9.0  | 11.5  | 0  | 5.1                                |
| B10                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 14.9   | 18.3  | 0  | 5.3                                |
| B11                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.1  | 0.3   | 2  | 3.3                                |
| B12                 | 0.0  | 9.1   | 0.0  | 0.1   | 0.0  | 1.1  | 1.5   | 5  | 4.5                                |
| B13                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0  | 3.9                                |
| B14                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.3  | 0.6   | 5  | 3.5                                |
| B15                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 4.6  | 6.3   | 0  | 6.1                                |
| B16                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 7.6  | 9.6   | 1  | 4.0                                |
| B17                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 4.4  | 6.1   | 0  | 5.2                                |
| B18                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 12.5   | 15.7  | 0  | 5.4                                |
| B19                 | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.1  | 0.3   | 2  | 2.8                                |
| B20                 | 2.9  | 1.9   | 0.2  | 0.1   | 0.2  | 5.2  | 6.6   | 1  | 5.2                                |
| کل حوضه             | 0.9  | 0.6   | 1.1  | 0.6   | 1.1  | 101.5  | 126.9 | 88   | 115.9                              |



شکل ۱۱- نمودار تأثیر احداث سازه‌های گابیونی بر هیدروگراف سیل حوضه (دوره بازگشت ۵۰ ساله).

Figure 11. Effect of implementing gabion structures on watershed hydrograph (50 years return period).



شکل ۱۲- نمودار تأثیر احداث سازه‌های گابیونی بر هیدروگراف سیل حوضه (دوره بازگشت ۱۰۰ ساله).

Figure 12. Effect of implementing gabion structures on watershed hydrograph (100 years return period).

### نتیجه گیری

۰/۸۸۵، ۰/۸۸۳ و ۰/۹۴۲ برای رخدادهای بارندگی ۱۹۹۱/۰۵/۱۱، ۱۹۹۲/۰۳/۱۶ و ۱۹۹۲/۰۳/۳۱ طی فرآیند واسنجی حاصل گردید. مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه آبخیز بیانگر کارایی مدل در شبیه‌سازی حجم رواناب و دبی اوج می‌باشد.

نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها نشان داد که بدون توجه به شاخص سیل‌خیزی، زیرحوضه‌هایی که دارای بیشترین سطح می‌باشند، بیشترین تأثیر را در دبی خروجی حوضه داشته و

جهت بررسی نقش روندیابی سیل در تفکیک و شناسایی مناطق سیل‌خیز پس از روندیابی دبی زیرحوضه‌ها در آبراه‌های اصلی تا خروجی کل حوضه آبخیز بار در شهرستان نیشابور از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و به کمک روش ابداعی تکرار حذف انفرادی زیرحوضه استفاده گردید. در پژوهش حاضر، شماره منحنی و ضریب زبری مانینگ از مؤثرترین عوامل بر دبی و حجم سیلاب می‌باشد. با مقایسه دبی اوج و حجم سیلاب شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر واقعی، مقادیر ناش- ساتکلیف

دبی اوج در اثر اجرای این پروژه کاهش خواهد یافت. نقش فعالیت‌های سازه‌ای در کاهش دبی اوج سیلاب کم‌تر از فعالیت‌های بیولوژیک بوده و افزایش تعداد این سازه‌ها در طول مسیر رودخانه سبب کاهش دبی اوج زیرحوضه می‌گردد. از طرفی، کاهش دبی اوج در دوره بازگشت ۵۰ ساله در حد ۱/۶۶ درصد و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۲۱ درصد می‌باشد که نسبت به نتایج روش بیولوژیک کم‌تر می‌باشد.

مقایسه مقادیر دبی اوج آبنمود سیل و حجم سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف و با در نظر گرفتن اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی نشان داد که این تأثیرات باعث کاهش ۱۹/۰۱ درصد دبی اوج (کاهش دبی اوج سیلاب تا ۲۲/۴ مترمکعب در ثانیه) در حوضه می‌شود. بنابراین عملیات آبخیزداری در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب در این منطقه تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای خواهد داشت و نقش فعالیت‌های بیولوژیک در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب به مراتب مؤثرتر از فعالیت‌های سازه‌ای (احداث گابیون) می‌باشد.

به‌عنوان مؤثرترین حوضه‌ها در دبی خروجی تشخیص داده می‌شوند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در دوره‌های بازگشت کوتاه اغلب زیرحوضه‌ها در سیل خروجی حوضه مشارکت ندارند، اما با افزایش دوره بازگشت رگبار اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها و یا واحدهای هیدرولوژیک ثبات بیشتری پیدا می‌کنند. این موضوع نشان می‌دهد که برای کاهش اثر سیل زیرحوضه‌ها در خروجی حوضه باید یک دوره بازگشت معقولی را در نظر گرفت تا اجرای عملیات آبخیزداری برای کاهش خطرات سیل با اطمینان بالاتری انجام گردد.

نقش عملیات بیولوژیک در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله بر کاهش دبی اوج حوضه و زیرحوضه‌هایی که این پروژه در آن‌ها برنامه‌ریزی گردیده است، بسیار قابل‌ملاحظه می‌باشد به‌طوری‌که بالاترین درصد کاهش دبی اوج به‌میزان ۴۱/۲۷ تا ۴۴/۷۳ درصد را نشان می‌دهد. بنابراین، نتیجه‌گیری می‌شود که عامل CN به‌عنوان یک عامل مؤثر از لحاظ کنترل و تأثیر آن بر سیل خروجی حوضه، در همه زیرحوضه‌ها بر میزان کاهش دبی اوج می‌باشد و تقریباً تا ۵۰ درصد

#### منابع

1. Adib, A., Salarijazi, M., and Najafpour, K. 2010. Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 14: 3. 13-18.
2. Azamirad, M., Soleimani, K., Habibnejad Roshan, M., and Memari, A. 2014. Assessing the impact of biological and mechanical projects on flood peak attenuation and runoff harvesting in the Hec-Hms 3.1.0 and Arcmap 9.3 software environment. Tenth National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering (Adaptive Watershed Management), Birjand, Iran. 11p. (In Persian)
3. Bahrami, A., Onagh, M., and Farazjoo, H. 2011. The role of flood routing in determining and prioritizing hydrologic units of Bostan dam basin from flooding and management aspects. *J. Water Soil Resour. Cons.* 1: 1. 11-27. (In Persian)
4. Choudhari, K., Panigrahi, B., and Paul, J.C. 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *Int. J. Geom. Geosci.* 5: 2. 253-265.
5. Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. 1988. Unit Hydrograph. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill International editions, Singapore, Pp: 201-241.
6. Ewen, J., and Parkin, G. 1996. Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts. 1. Method. *J. Hydrol.* 175: 583-594.

7. Feldman, A.D. 2000. Hydrologic modeling system HEC-HMS: technical reference manual. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center, 148p.
8. Geza, M., Poeter, E.P., and McCray, J.E. 2009. Quantifying predictive uncertainty for a mountain-watershed model. *J. Hydrol.* 376: 1. 170-181.
9. Karimian, R., Honarbakhsh, A., Sadatinejad, S.J., and Abdollahi, K. 2012. Flood Routing in Rivers Using Kinematic Wave and Muskingum-Cunge Models (Case Study: Doab Samsami River). *Iran. Water Res. J.* 6: 10. 57-65. (In Persian)
10. Khorasan Water and Soil Engineering Services Company. 2006. Watershed Studies of Phases 1 and 2 of Neishabour Basin. Department of Natural Resources and Watershed of Khorasan Razavi, Iran. 200p. (In Persian)
11. Khosroshahi, M. 2016. An overview to identification and prioritization of flood prone areas using SSSE method in sub-watersheds (Case study: shamsabad basin). *Iran. J. Water. Manage. Sci. Engin.* 10: 33. 59-73. (In Persian)
12. Kreft, S., Eckstein, D., Junghans, L., Kerestan, C., and Hagen, U. 2014. Global climate risk index 2015: who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2013 and 1994 to 2013. Germanwatch e.v, Bonn, Germany, 32p.
13. Mahdavi, M. 2005. Applied hydrology. Tehran University Press, 437p. (In Persian)
14. Matkan, A., Shakiba, A., Pourali, H., and Azari, H. 2009. Flood early warning with integration of hydrologic and hydraulic models, RS and GIS (Case study: Madarsoo basin, Iran). *World Appl. Sci. J.* 6: 12. 1698-1704.
15. McCuen, R.H. 1982. A guide to hydrologic analysis using SCS methods. Prentice-Hall, Inc. USA, 145p.
16. Memarian, H., Balasundram, S.K., Talib, J., Teh Boon Sung, C., Sood, A.M., Abbaspour, K.C., and Haghizadeh, A. 2012. Hydrologic Analysis of a Tropical Watershed using KINEROS2. *J. Environ. Asia.* 5: 1. 84-93.
17. Miller, S.N., Kepner, W.G., Mehaffey, M.H., Hernandez, M., Miller, R.C., Goodrich, D.C., and Miller, W.P. 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. *J. Am. Wat. Res.* 38: 4. 915-929.
18. Ministry of Energy. 2016. Investigation of Flood Damage. The domestic publication of the plan for the preparation of criteria and criteria for the country's water industry. Technical Report No. 164-N, Iran. 111p. (In Persian)
19. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 3. 282-290.
20. Negaresh, H., Tavousi, T., and Mehdinasab, M. 2011. Investigating the intensity of flooding in the Kashkan River basin. *J. Manage. Syst.* 13: 4. 49-58.
21. Saghafian, B., and Farazjoo, H. 2007. Prioritization of Hydrologic Units with Respect to Flood Potential in Golestan Dam River Basin. *Iran. J. Water. Manage. Sci. Engin.* 1: 1. 1-11. (In Persian)
22. Saghafian, B., Golian, S., Elami, M., and Akhtari, R. 2013. Monte Carlo analysis of the effect of spatial distribution of storms on prioritization of flood source areas. *J. Nat. hazards.* 66: 2. 1059-1071.
23. Sangjun Im, S., Park, S., and Jang, T. 2007. Application of SCS curve number method for irrigated paddy field. *KSCE. J. Civ. Eng.* 11: 1. 51-56.
24. Scharffenberg, W.A., and Fleming, M.J. 2006. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual: US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. 318p.
25. Shabanlou, S., and Rajabi, A. 2012. Sub-basins participation rate in flood intensity rise basin using GIS. *J. Environ. Res. Develop.* 7: 1A. 475-483.
26. Shokoohi, A.R. 2007. Assessment of urban basin flood control measures using HYDROGIS tools. *J. Appl. Sci.* 7: 13. 1726-1733.
27. Singh, V.P. 2001. Kinematic wave modelling in water resources: a historical perspective. *Hydrol. Process. J.* 15: 4. 671-706.

28. Soleimani Sarood, F., Soltani Kopaii, S., and Salajeghe, A. 2013. Selection of appropriate flooding potential index by using rainfall-runoff (HEC-HMS) model and RS & GIS techniques in jiroft dam basin. *J. Water. Manage. Res.* 4: 8. 90-105. (In Persian)
29. Taghvaie Abrishami, A.A., Eslami, A., and Talvari, A. 2008. Determination of Rainfall Temporal Pattern in khorasan Province. *Soil Conservation and Watershed Management Institute. Tehran, Iran.* 81p. (In Persian)
30. Taheri Tizro, A., Pakdel Khasmakhi, H., Marofi, S., and Vazifedoust, M. 2016. Integrated HEC-HMS and GLDAS models to runoff estimate of ungauged area. *J. Water Soil Cons.* 23: 4. 101-118. (In Persian)
31. USACE. 2000. Hydrologic Modelling System HEC-HMS, Technical reference manual. United States Army Corps of Engineers, Davis, California. 148p.
32. USDA-SCS. 1986. US Department of Agriculture-soil Conservation Service (USDASCS): Urban Hydrology for Small Watersheds. USDA, Washington, DC. USA. 117p.
33. Yazdi, J., Salehi Neyshabouri, S.A.A., Niksokhan, M.H., Sheshangosht, S., and Elmi, M. 2013. Optimal prioritisation of watershed management measures for flood risk mitigation on a watershed scale. *J. Flood Risk Manage.* 6: 4. 372-384.
34. Yusop, Z., Chan, C.H., and Katimon, A. 2007. Runoff characteristics and application of HEC-HMS for modelling stormflow hydrograph in an oil palm catchment. *J. Wat. Sci. Tech.* 56: 8. 41-48.
35. Zehtabian, G., Ghodosi, J., Ahmadi, H., and Khalilizadeh, M. 2009. Investigating the Priority of Flood Potential in Sub-basins and Determining Flood Generation Areas (Case study: Marmeh watershed basin in Fars Province). *J. Manage. Syst.* 2: 6. 1-13.
36. Zhan, X., and Huang, M.L. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. *J. Environ Modell Softw.* 19: 10. 875-879.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018*

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## **Identification of flooding source regions and investigating the impact of watershed management operations on the peak discharge (Case study: Bar watershed, Neyshabour, Iran)**

**H. Memarian Khalil Abad<sup>1</sup>, M. Yousefi<sup>2</sup> and \*A.H. Aghakhani Afshar<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, <sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, <sup>3</sup>Ph.D. of Civil Engineering, Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Dept. of Water Engineering, University of Tabriz

Received: 09/20/2017; Accepted: 03/07/2018

### **Abstract**

**Background and Objectives:** The increasing flooding trend in recent years suggests that most of the country's regions are vulnerable to invasions of periodic and destructive floods. In this aspect, many cities, villages, industrial and agricultural facilities and residential areas are prone to flood occurrence, as well. Therefore, the basic identification of flood process within the catchment area is one of the most important measures in flood control and the mitigation of damages. The main objective of this research is to investigate and identify the flood source regions and the effect of watershed management on flood peak discharge at the outlet of the Bar watershed, Neyshabour, located in Razavi Khorasan province.

**Materials and Methods:** For this purpose, the basin was divided into 20 subbasins and the physical properties of the whole basin and subbasins were determined using the geographical information system and in a digital format. Then, by using the HEC-HMS hydrologic model, the corresponding flow discharges were calculated for each subbasin. Then, by successively deleting subbasins at each model runtime, i.e. Single Successive Subwatershed Elimination method (SSSE), the whole basin water discharge was calculated after the flood routing in the main streams without the considered subbasin by using the kinematic wave routing approach. Thus the effect/share of each subbasin in the production of flood is identified. Also, the specific flood discharge and the flood index (f) was computed to be the basis for the sub watersheds' prioritization.

**Results:** In calibration process, two parameters of curve number and manning coefficient were selected as the most effective parameters on flood discharge. The high Nash-Sutcliffe coefficient in flood events showed that calibration of the model in the watershed was satisfactory. The results showed that the subbasin B1 (in the northern part of the watershed) in the return periods of 50 and 100 years had the highest peak discharge of 38.9 and 44.1 cubic meters per second at the outlet of the subbasin and the subbasins B11, B13 and B19 (in the western parts of the watershed) showed the minimum peak discharge. Also, according to the index (f), in flood plains with return periods of 50 and 100 years, the subbasins B4 and B3 (in the northern half of the watershed) ranked first and second, respectively and the subbasins B6, B11, B12, B13, B14 and B19 (in the southern part of the watershed and in the eastern and western parts of the watershed) showed the lowest priority in terms of their participation in basin flood. In subbasin B1, the highest level of peak discharge reduction has been observed in the highest level of biological operations, ranging from 41.27 to 44.73 percent. On the other hand, the results showed that the higher the proportion of the biological activity to the subbasin

---

\* Corresponding Author; Email: a.h.aghakhani@tabrizu.ac.ir



area, the more obvious the role of these projects in reducing peak discharge. According to the study, the role of structural activities in reducing the flood peak is lower than biological activities and increasing the number of structures along the river route will reduce a higher level of peak discharge.

**Conclusion:** By investigating the effect of biological activities and the construction of gabion check dams on the flood discharges, it can be said that the role of biological activities in reducing peak flow and flood volume is much more effective than structural activities (construction of gabion). Therefore, the CN factor is an effective and controllable factor for flood discharge of the basin and effective on reducing peak flow.

**Keywords:** Flood, HEC-HMS, Kinematic wave routing, Peak discharge, Watershed management practices

