

ارزیابی اثرات هیدرولوژیک طرح آبخیزداری جعفرآباد استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS

رئوف مصطفی زاده^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 امیر سعدالدین، استادیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 عبدالرضا بهره‌مند، استادیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 واحدبردی شیخ، استادیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 حبیب نظرزاد، مربی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۰۱/۱۶

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۷/۱۹

چکیده

ارزیابی کمی پروژه‌های کنترل سیل به منظور تجزیه و تحلیل اثرات آن‌ها و تصمیم‌گیری صحیح در اجرای بهینه این‌گونه طرح‌ها در شرایط مشابه، ضروری می‌باشد. نتایج ارزیابی می‌تواند کمک موثری در نیل به اهداف مختلف مترتب بر فعالیت‌های آبخیزداری از جمله کنترل سیل کمک باشد. این تحقیق با هدف ارزیابی تاثیر سدهای اصلاحی توری‌سنگی اجرا شده در آبخیز جعفرآباد با مساحت ۱۰۹ کیلومتر مربع در استان گلستان از دیدگاه هیدرولوژیک صورت گرفته است. مقایسه پارامترهای هیدرولوژیکی جریان در زمان قبل و بعد از احداث سدهای اصلاحی با استفاده از آزمون تی‌جفتی، صورت گرفت. به این منظور مدل هیدرولوژی HEC-HMS، با داده‌های مشاهداتی، واسنجی و اعتباریابی شد. بعد از شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب در زیرحوزه‌ها و روندیابی جریان در مخازن کوچک با روش پال اصلاح شده، هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های متفاوت ۲ تا ۱۰۰ ساله در وضعیت قبل و بعد از عملیات آبخیزداری شبیه‌سازی شد. معیارهای دبی اوج، زمان تا اوج، زمان پایه و حجم سیلاب برای ارزیابی تاثیر هیدرولوژیک تعیین و مقادیر آن‌ها در دو وضعیت مذکور با دوره بازگشت‌های مختلف، محاسبه شد. نتایج مقایسه آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد ($\alpha < 0.05$)، در دو دوره قبل و بعد از احداث سازه‌ها را نشان نداد. بر اساس نتایج، درصد تغییر معیارهای ارزیابی نشان داد که تاثیر سازه‌ها بر کلیه معیارها در دوره بازگشت‌های متفاوت کم‌تر از ۱/۵ درصد بوده است. از طرفی با افزایش دوره بازگشت سیلاب، تاثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش یافته و بیش‌ترین تاثیر سازه‌ها بر معیارهای هیدرولوژیک در دوره بازگشت‌های پایین ۲ تا ۱۵ ساله بوده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عمل‌کرد، تجزیه و تحلیل اثرات، سدهای اصلاحی توری‌سنگی، فعالیت آبخیزداری، کنترل سیل

مقدمه

سالانه شاهد وقوع سیل و هدررفت منابع آب و خاک در سطح کشور هستیم که برای جلوگیری از بخشی از آن اقدام به اجرای اقدامات آبخیزداری می‌شود. احداث سازه‌های کنترل سیل، پر هزینه بوده و مستلزم طراحی جامع و اجرای دقیق می‌باشد (نجفی‌زاد، ۱۳۷۶). به لحاظ هزینه‌های اقتصادی و امکانات فنی لازم و وسعت زیاد حوزه‌های آبخیز باید اعتبارات اختصاص یافته را در نقطه‌ای از آبخیز هزینه کرد که بهترین نتیجه حاصل شود (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴). در بسیاری از موارد به‌منظور مقابله با سیلاب فعالیت‌هایی بدون ارزیابی تاثیر درازمدت آن‌ها بر وضعیت طبیعی انجام می‌شود. در صورت طراحی و اجرای دقیق عملیات کنترل سیل می‌توان احتمال بروز سیلاب و

^۱ raofmostafazadeh@yahoo.com

خسارات و اثرات نامطلوب سیل را به میزان قابل توجهی کاهش داد. این درحالی است که عدم موفقیت در طرح‌های کنترل سیلاب با توجه به ایجاد یک امنیت کاذب در محدوده تحت حمایت، سبب تشدید سیل و افزایش خسارت می‌گردد (تلوری، ۱۳۸۴).

احداث سدهای اصلاحی^۱ که با هدف کاهش رسوب در آبراهه‌ها احداث می‌شوند، باعث ایجاد تاخیر در جریان و تقلیل سرعت آب نیز می‌گردند (فائو، ۲۰۰۱). امروزه استفاده از قابلیت مدل‌های هیدرولوژی به منظور شبیه‌سازی اثرات فعالیت‌های مدیریتی در فرآیند تصمیم‌گیری نقش تعیین‌کننده‌ای به خود گرفته است (Roo و همکاران، ۲۰۰۳). حق‌گو (۱۳۸۰)، با هدف ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری مکانیکی و بیولوژیکی بر کاهش دبی اوج سیلاب‌ها در آبخیز غازمحلله کردکوی استان گلستان با مدل SCS^۲، به این نتیجه رسید که سیل‌خیزی در آبخیز مذکور ۴۷ درصد کاهش یافته است. صادقی و همکاران، (۱۳۸۳) با استفاده از روش‌های کمی منحنی جرم مضاعف، میانگین متحرک، منحنی تداوم جریان و بررسی رژیم هیدرولوژیک، عمل‌کرد اقدامات آبخیزداری انجام شده در زیرحوزه آبخیز کشار را مورد ارزیابی قرار دادند و تاثیر اقدامات انجام شده را مثبت ارزیابی نمودند. خسروشاهی و ثقفیان، (۱۳۸۴) روشی را برای اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل‌خیز ارائه نمودند و کانون‌های تولید سیل را با توجه به سهم آن‌ها در سیل خروجی در آبخیز دماوند مشخص نمودند.

تاجیکی (۱۳۸۶)، با شبیه‌سازی وضعیت قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری آبخیز رامیان استان گلستان، کاهش ۴۵ درصدی دبی اوج و منظم شدن رژیم هیدرولوژیکی رودخانه را گزارش نمود و بیش‌ترین تاثیر را به دوره بازگشت ۱۰ ساله نسبت داد. عربی و بنی‌حبیب (۱۳۸۸) با هدف ارزیابی تاثیر عملیات آبخیزداری در آبخیز گلاب‌دره در شمال تهران با استفاده از مدل HEC-HMS^۳ پس از واسنجی و اعتباریابی مدل، نتیجه گرفتند که اثر عملیات آبخیزداری روی هیدروگراف سیل در دوره بازگشت‌های کم، قابل توجه بوده و با افزایش دوره بازگشت، این اثر کاهش بر روی سیلاب، نازل‌تر می‌گردد و همچنین بیان نمودند که دبی اوج سیلاب در تعدادی از واحدهای هیدرولوژیکی کاهش یافته است و در برخی از آن‌ها به علت افزایش سطح شهری زیرحوضه، افزایش مشاهده می‌شود. Lammersen و همکاران (۲۰۰۲)، با استفاده از مدل‌های روندیابی عددی، تاثیر عملیات مهندسی در مسیر رودخانه راین^۴ در هلند را بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۲۵۰ ساله شبیه‌سازی کردند و نتایج آنان نشان داد که سازه‌های تأخیری^۵ باعث کاهش دبی اوج به میزان ۴۵ مترمکعب در ثانیه شده است و سازه‌های اصلاحی^۶ دبی اوج را به میزان میانگین ۲۴۳ مترمکعب در ثانیه افزایش داده‌اند.

روشنی (۲۰۰۳)، تاثیر سدهای اصلاحی بر دبی‌های اوج در آبخیز کن تهران را با مدل HEC-HMS^۷، ارزیابی نمود و دریافت که گزینه‌های متفاوت تغییر شیب در آبراهه‌های آبخیز، تاثیر متفاوتی بر کاهش سیلاب دارند. بر اساس نتایج وی، با افزایش زمان تمرکز به میزان یک‌ساعت (۵۶۳ سازه اصلاحی)، دبی اوج ۳۱ درصد کاهش خواهد یافت. Goff و Gentry (۲۰۰۶) در تحقیقی با هدف بررسی اثر تجمعی سازه‌های تأخیری در آبخیزهای فرضی بیان نمودند که بلافاصله دبی اوج در پایین‌دست سازه اجرا شده کاهش می‌یابد ولی ممکن است اثر عملیات اجرایی در کل آبخیز مثبت ارزیابی نشود. شکوهی (۲۰۰۷)، در ارزیابی تاثیر ۱۴۰ سازه گابیونی و سه سد ذخیره‌ای در بالادست آبخیز شهری بهبهان، با مدل HEC-HMS، دریافت که احداث سازه‌های ذخیره‌ای در بالادست آبخیزهای شهری به منظور کنترل سیل مناسب است. Shieh و همکاران (۲۰۰۷)، از نرم‌افزارهای HEC-HMS و HEC-RAS^۸ به منظور شبیه‌سازی جریان و بررسی اثر احداث چکدم، در آبخیز تسنگون تایوان استفاده کردند. نتایج روی‌کرد دامنه

^۱ Check dam

^۲ Soil Conservation Service

^۳ Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System

^۴ Rhine

^۵ Retention measures

^۶ Training structures

^۷ Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System

^۸ Hydrologic Engineering Center – River Analysis System

تغییرات¹ (RVA) و آزمون تی جفتی نشان داد که تاثیر احداث سازه بر خصوصیات جریان، در سطح ($\alpha < 0.05$)، معنی دار بوده است. Castillo و همکاران (۲۰۰۷) با هدف ارزیابی تاثیر سازه‌های اصلاحی بر مورفولوژی کانال در ایالت Murcia در اسپانیا با استفاده از ترکیب مواد بستری و شکل مقطع عرضی آبراهه‌ها نتیجه گرفتند که سازه‌ها باعث فرسایش در پایاب خود شده‌اند و شیب آبراهه‌های سرآب در اثر رسوب‌گیری کاهش پیدا کرده است.

با توجه به اهمیت و لزوم اجرای عملیات آبخیزداری در استان گلستان و وقوع سیلاب‌های شدید و فرسایش در این استان ارزیابی عمل کرد اقدامات اجرا شده می‌تواند راه‌گشای اتخاذ تصمیمات بهتر در کاهش خسارات پدیده مخرب سیلاب باشد. از دلایل اهمیت انجام تحقیق می‌توان به پتانسیل بالای سیل‌خیزی و احتمال بروز خسارات ناشی از سیلاب به روستاهای جعفرآباد و تقی‌آباد در مجاورت خروجی آبخیز مورد مطالعه اشاره نمود. هدف این تحقیق، ارزیابی کمی تاثیرات عملیات سازه‌ای آبخیزداری اجرا شده بر مولفه‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه جعفرآباد در استان گلستان با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژی و تحلیل آماری است. در این راستا از شبیه‌سازی بارش-رواناب و روندیابی جریان استفاده شده است. در این تحقیق روند تغییر اثرات اقدامات آبخیزداری بر معیارهای هیدرولوژیکی با افزایش دوره بازگشت سیلاب نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی کمی اثرات عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدرولوژیکی، ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه، زمینه اجرای شیوه‌های مناسب‌تر و سازگارتر با شرایط آبخیز را فراهم می‌نماید. نتایج تحقیق می‌تواند مورد استفاده محققان و مدیران اجرایی در برنامه‌ریزی و مدیریت آبخیز باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات آبخیز جعفرآباد: آبخیز جعفرآباد از زیرحوزه‌های گرگان‌رود با مساحتی در حدود ۱۱۰ کیلومتر مربع در ۲۵ کیلومتری شرق گرگان و در محدوده‌ی جغرافیایی $37^{\circ} 48'$ تا $45^{\circ} 48'$ طول شرقی و $36^{\circ} 43'$ تا $52^{\circ} 36'$ عرض شمالی واقع شده است. شیب زیاد حوزه یکی از عوامل تشدید کننده سیلاب در حوزه مورد مطالعه است. میانگین دمای سالانه $15/45$ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارش 566 میلی‌متر است. پوشش گیاهی غالب آبخیز جنگلی بوده و خاک منطقه شامل گروه‌های هیدرولوژیکی B و C است (مهندسی مشاور نه‌سازان رستاق، ۱۳۸۰). به‌منظور کاهش سیل‌خیزی و کنترل رسوب حوزه، عملیات مکانیکی سازه‌ای شامل 58 سد اصلاحی (حجم تقریبی 2000 مترمکعب)، در سال‌های 1381 و 1382 در عرصه احداث شده است. سدهای اصلاحی از نوع گابیونی و بتونی با ارتفاع مفید یک تا دو متر بوده و دارای ابعادی متفاوت و متناسب با ابعاد آبراهه می‌باشند (سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان، 1383). در شکل ۱ واحدهای هیدرولوژیکی و موقعیت سازه‌های احداثی در شبکه زهکشی آبخیز نمایش داده شده است. شایان ذکر است که با توجه به عدم تخریب اغلب سازه‌های احداثی، اقدامات انجام شده از لحاظ فنی و اجرایی مطلوب ارزیابی می‌شود.

روش تحقیق

ابتدا با استفاده از نقشه‌های رقومی $1/25000$ مرز هیدرولوژیکی آبخیز تعیین و شبکه آبراهه‌ها استخراج گردید. در محیط نرم افزار ArcGIS 9.1 خطوط تراز با فواصل 20 متر و مدل ارتفاعی رقومی^۲ تهیه شد. با توجه به وضعیت زهکشی و موقعیت سازه‌های احداثی و به‌منظور افزایش دقت در مدل‌سازی هیدرولوژی (شکوهی، ۲۰۰۷)، آبخیز مورد مطالعه به 20 واحد هیدرولوژیکی تقسیم شد. در ادامه پارامترهای مورد نیاز انجام تحقیق شامل شیب متوسط وزنی، طول آبراهه و سایر پارامترهای مورد نیاز در هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی، محاسبه گردید.

مقایسه پارامترهای هیدرولوژیکی جریان در زمان قبل و بعد از احداث سازه‌های اصلاحی با استفاده از آزمون تی جفتی صورت گرفت (Shieh و همکاران، ۲۰۰۷). در پیمایش‌های میدانی، مشخصات دقیق سازه‌ها شامل ارتفاع

¹ Range of Variability Approach

² Digital Elevation Model

مفید، طول رسوب‌گیری، ابعاد سرریز و وضعیت تخریب یا عدم تخریب سازه‌ها برداشت شد و همچنین موقعیت جغرافیایی آن‌ها با سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS)¹ ثبت گردید.

پس از تعیین محل بازه‌های روندیابی روی نقشه توپوگرافی، در عملیات میدانی، در هر بازه یک مقطع به‌عنوان معرف انتخاب گردید و مشخصات هندسی شامل شیب‌های طولی و جانبی، شکل و ضریب زبری مانینگ برداشت گردید. برای تعیین ضریب زبری رودخانه، از روش Cowan، ۱۹۵۶، استفاده شده است که خصوصیتی مانند یک‌نواختی مسیر جریان، فاکتور زبری سطح، تغییرات شکل و مقطع عرضی، وجود موانع، پوشش گیاهی مسیر آبراهه و انحنای رودخانه را مدنظر قرار می‌دهد. در مرحله بعد ضرایب روندیابی رودخانه (\mathbf{k} و \mathbf{x}) در روش ماسکینگام کانج برای تعیین روند سیل محاسبه و وارد مدل گردید.

مدل‌سازی اثرات عملیات سازه‌ای کنترل سیلاب: پس از تعیین ۲۰ واحد هیدرولوژیک و پنج بازه روندیابی، با اجزاء زیرحوزه، بازه، اتصال، مخزن و خروجی، مدل حوزه در نرم‌افزار HEC-HMS (version 3.0.1) تهیه و مشخصات واحدهای هیدرولوژیک و منحنی‌های ارتفاع-مساحت برای روندیابی جریان در سازه‌ها وارد مدل گردید. با توجه به نقشه کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک، شرایط هیدرولوژیک و رطوبت پیشین خاک، شماره منحنی وزنی واحدهای هیدرولوژیک تعیین شد (Wanielista, ۱۹۹۷). برای تبدیل بارش به رواناب در زیرحوزه‌ها روش SCS انتخاب شد (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴) که برای محاسبه زمان تاخیر t_{lag} در هر واحد هیدرولوژیک از رابطه (۱) استفاده گردید.

$$t_{lag} = \frac{2.587L^{0.8}((1000/CN) - 9)^{0.7}}{1900.(Y)^{0.5}} \quad (1)$$

که در آن، L طول آبراهه اصلی (متر)، CN شماره منحنی، Y شیب متوسط وزنی حوزه (درصد) هستند (USACE, ۲۰۰۱). پس از بررسی آمار هیدرومتری و هواشناسی و انتخاب روی داده‌های مناسب، روی داده‌های بارش و سیل متناظر موجود (۲۲ رویداد) به دو دسته تقسیم شدند که از دسته اول (۱۲ روی داد) برای واسنجی استفاده شد و دسته دوم (۱۰ روی داد) به منظور اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. توزیع مکانی رگبارها با روش منحنی هم‌باران و توزیع زمانی آن‌ها از کاغذهای باران‌نگار ایستگاه ثبات فاضل‌آباد به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه واقع در نزدیکی آبخیز استخراج شد. داده‌های سیلاب هم از آمار ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد در خروجی آبخیز مورد مطالعه استخراج گردید. با توجه به مطالب فوق در بخش مدل هواشناسی نیز اطلاعات مورد نیاز وارد گردید. همچنین در بخش مشخصه‌های کنترلی مدل، اطلاعات شروع و پایان فرآیند شبیه‌سازی برای هر رگبار مشخص گردید. روش Pul اصلاح شده^۲ (سطح-مخزن) و ماسکینگام کانج، به‌ترتیب برای روندیابی جریان در چکدم‌ها و بازه‌های رودخانه در بخش پایین دست آبخیز به‌کار گرفته شد (Shieh و همکاران، ۲۰۰۷؛ USACE، ۲۰۰۱). مدل تهیه شده برای ۱۲ روی داد بارش و سیل متناظر دسته اول در ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد اجرا شد و با توجه به اهمیت تمامی معیارها و ابعاد هیدروگراف سیل به‌منظور مقایسه، در ۱۲ روی داد مورد اشاره توابع هدف مجموع قدر مطلق باقی‌مانده‌ها^۳ (معادله ۲) و مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها^۴ (معادله ۳) انتخاب شدند و با حداقل نمودن این توابع واسنجی مدل صورت گرفت. لازم به‌ذکر است که با انتخاب توابع هدف مذکور علاوه بر در نظر گرفتن خطاهای برآورد مثبت و منفی، سایر توابع هدف مانند تابع هدف دبی اوج و حجم سیلاب نیز مد نظر قرار خواهند گرفت.

$$Z1 = \sum_{i=1}^{N_0} |q_o(t) - q_s(t)| \quad (2)$$

¹ Global Positioning System

² Modified Pul's method

³ Sum absolute residual

⁴ Sum squared residual

$$Z2 = \sum_{i=1}^{N_Q} (q_o(t) - q_s(t))^2 \quad (3)$$

که در آن، $Z1$ و $Z2$ مقدار تابع هدف، N_Q تعداد داده‌های نظیر در مقادیر جریان محاسباتی و مشاهداتی، $q_o(t)$ مقادیر دبی مشاهداتی برای هر زمان مشخص، $q_s(t)$ مقادیر دبی شبیه‌سازی شده برای هر زمان مشخص می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله، دو پارامتر زمان تأخیر و شماره منحنی در شرایط قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری برای هر زیرحوزه بهینه شدند که نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

مدل واسنجی شده با ۱۰ رویداد دسته دوم اعتبارسنجی گردید. کارایی مدل هیدرولوژی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در هر یک از دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، با استفاده از معیارهای ناش-ساتکلیف^۱ (معادله ۴)، اریبی^۲ مدل در برآورد حجم جریان (معادله ۴)، درصد خطا در دبی اوج^۳ (معادله ۶)، ضریب واریانس شبیه‌سازی^۴ (معادله ۷)، و کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی‌های بالا^۵ (معادله ۸)، مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است (Bahremand, ۲۰۰۶).

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - Q_{Oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Oi} - \bar{Q}_O)^2} \quad (4)$$

$$Bias = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Q_{Si}}{\sum_{i=1}^n Q_{Oi}} \right) - 1 \quad (5)$$

$$\%RE_{QP} = 100 |Q_S(peak) - Q_O(peak)| / Q_O(peak) \quad (6)$$

$$SV = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - \bar{Q}_O)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Oi} - \bar{Q}_O)^2} \quad (7)$$

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Oi} - \bar{Q}_O)(Q_{Si} - Q_{Oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Oi} - \bar{Q}_O)(Q_{Oi} - \bar{Q}_O)^2} \quad (8)$$

که در آن‌ها، Q_{Si} و Q_{Oi} مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی هستند و \bar{Q}_O مقدار دبی متوسط مشاهداتی و n تعداد مشاهدات می‌باشد. در معیار ناش-ساتکلیف و کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی‌های بالا، مقدار عددی یک نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. در صورتی که هر چه میزان خطای نسبی در دبی اوج، حجم جریان و ضریب واریانس، کمتر باشد کارایی مدل بالاتر خواهد بود (Bahremand, ۲۰۰۶).

با در نظر گرفتن آبخیز به‌عنوان یک سیستم که ورودی آن رگبار بارش و خروجی آن جریان سیلاب باشد، لازم است برای ارزیابی تغییراتی که در داخل سیستم رخ داده شده است، پاسخ‌های سیستم در مقابل رگبارهای یک‌سان سنجیده شود (عربی و بنی‌حبیب، ۱۳۸۸). برای مقایسه وضعیت هیدرولوژیک دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث سازه‌ها، با استفاده از رابطه وزیری (۱۳۷۱)، (رابطه ۹ و ۱۰) اقدام به محاسبه ارتفاع بارش طرح با دوره بازگشت‌های متفاوت با تداوم برابر با زمان تمرکز حوزه گردید.

$$P(10y, 1h) = (1.3352 - 0.1964 \times \ln(Pd_{max})) \times Pd_{max} \quad (9)$$

$$P = (0.4847 + 0.2251 \ln(Tr - 0.4112)) \times (-0.0158 + 1.0197T^{0.3753}) \times P(10y, 1h) \quad (10)$$

که در آن‌ها، Pd_{max} متوسط حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، $P(10y, 1h)$ بارندگی یک‌ساعته در دوره بازگشت ۱۰ ساله، Tr دوره بازگشت، P ارتفاع بارندگی در تداوم T ساعت و دوره بازگشت معین Tr سال به میلی‌متر است (وزیری، ۱۳۷۱). برای تعیین الگوی پراکنش زمانی از آمار بارش ایستگاه فاضل‌آباد استفاده شد و الگوی پراکنش مکانی بارش از

¹ Nash-Sutcliffe coefficient (CNS)

² Bias

³ Percent error in peak (REQP)

⁴ Simulation variance (SV)

⁵ Model efficiency for high flows (ME)

روش خطوط هم‌باران به دست آمد. با استفاده از مدل واسنجی شده رفتار هیدرولوژیک آبخیز در دو وضعیت قبل و بعد از احداث سازه‌ها در دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ ساله سیلاب طرح، شبیه‌سازی گردید.

معیارهای ارزیابی: به منظور ارزیابی اثرات هیدرولوژیک سازه‌های اجرا شده در آبخیز، معیارهای دبی اوج سیل، تأخیر سیل (افزایش زمان تا اوج)، زمان پایه هیدروگراف سیل و حجم سیل انتخاب شدند (شکوهی، ۲۰۰۷؛ Tetzlaff و همکاران، ۲۰۰۵). پس از تعیین معیارهای ارزیابی، مقادیر این معیارها بر اساس هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده در هر دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث سازه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه گردید.

نتایج و بحث

مقایسه آماری: نتایج مقایسه با استفاده از آزمون تی جفتی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($\alpha < 0.05$)، در پارامترهای هیدروگراف جریان (دبی اوج، زمان تا اوج، زمان پایه هیدروگراف و حجم سیلاب)، در دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث سازه‌های کنترل سیل در آبخیز جعفرآباد وجود ندارد.

شبیه‌سازی هیدرولوژی: همان‌طور که اشاره شد با استفاده از اطلاعات کاربری اراضی و رابطه SCS (رابطه ۱) به ترتیب مقادیر شماره منحنی وزنی و زمان تأخیر در هر واحد هیدرولوژیک محاسبه شد و با استفاده از توابع هدف انتخاب شده این مقادیر واسنجی شدند که نتایج مربوط به بهینه‌سازی پارامترهای مذکور در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر اولیه و بهینه شده پارامترهای شماره منحنی و زمان تأخیر در ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد

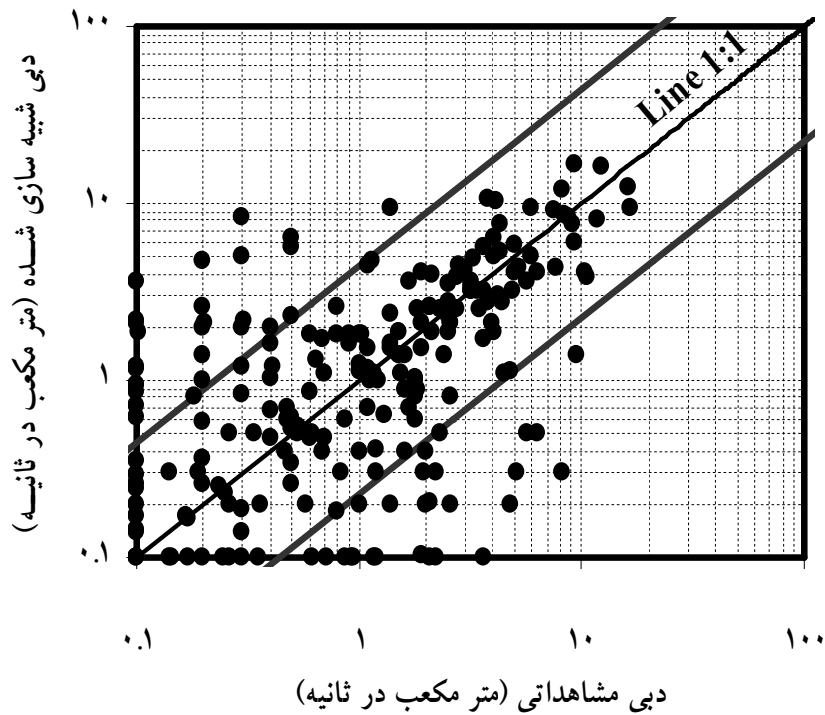
واحد هیدرولوژیک	شماره منحنی		واحد هیدرولوژیک	زمان تأخیر (دقیقه)		شماره منحنی		واحد هیدرولوژیک	
	اولیه	بهینه شده		اولیه	بهینه شده	اولیه	بهینه شده		
میان حوزه ۱	۴۴/۴	۴۷/۶۴	۲۶۰	۲۷۱/۵	۲	۳۴	۳۷/۳۷	۱۰۰	۹۷
میان حوزه ۲	۲۶/۸	۳۷/۹۱	۴۳	۴۰/۸	۳	۳۳/۹	۳۷/۵۹	۹۷	۱۰۰/۹
میان حوزه ۳	۳۵/۵	۳۶/۹۹	۵۱	۴۸/۶	۴	۳۶/۳	۳۷/۳۷	۶۴	۶۴/۷
میان حوزه ۴	۳۳/۹	۳۷/۱۹	۳۶	۳۷/۵	۵	۳۴	۳۷/۰۷	۴۱	۴۰/۱
میان حوزه ۵	۳۳/۹	۳۷/۴۸	۳۷	۳۸/۲	۶	۳۴/۱	۳۷/۵۱	۳۲	۳۰/۶
میان حوزه ۶	۳۶/۲	۳۷/۶۷	۴۲	۴۰/۷	۷	۳۴/۲	۳۶/۶۷	۲۷	۲۷/۸
میان حوزه ۷	۳۵/۹	۳۷/۶	۶۱	۵۸	۸	۳۴	۳۷/۲۶	۳۹	۴۶/۱
میان حوزه ۸	۳۹/۲	۴۰/۴۳	۶۹	۶۷/۱	۹	۳۳/۹	۳۷/۶۱	۱۲۱	۱۲۵/۷
میان حوزه ۹	۴۳/۸	۴۶/۹۴	۵۹	۵۷/۵	۱۰	۳۳/۹	۳۷/۶۴	۵۱	۴۹/۶
زیرحوزه ۱	۳۹/۹	۴۱/۱۲	۲۱۳	۲۲۲/۱	۱۱	۳۸/۵	۳۹/۶۴	۴۲	۴۱/۳

به منظور نمایش بهتر کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان، پراکنش دبی‌های محاسباتی و مشاهداتی هیدروگراف‌های جریان در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی با حدود اطمینان در سطح ۹۵ درصد در اشکال ۲ و ۳ ارائه شده است. این نقاط ارائه شده در شکل‌های ۲ و ۳ دبی‌های متناظر هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل در بازه‌های زمانی دوساعته در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژی می‌باشد.

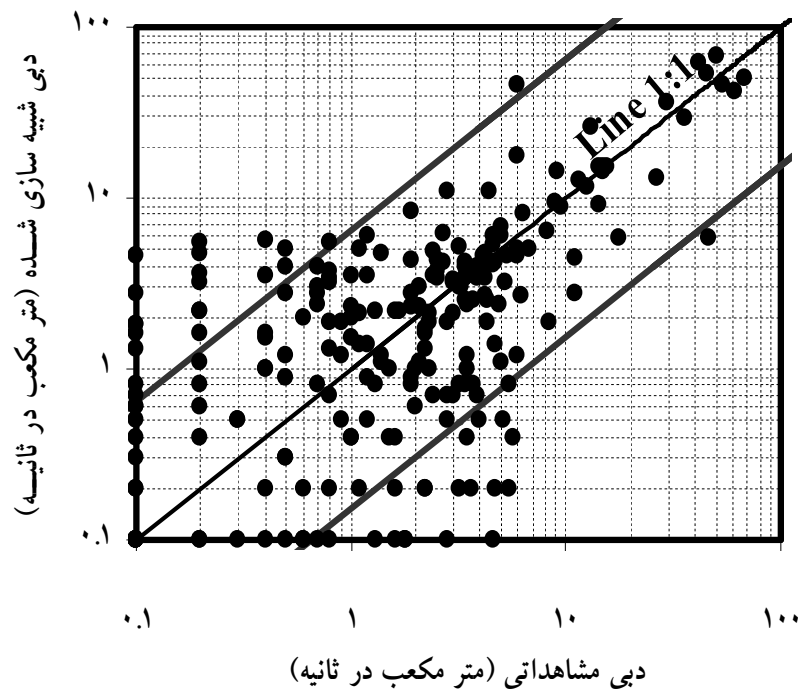
ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژی: مقادیر میانگین شاخص‌های کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS در ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد در جدول ۲ ارائه شده است. با مقایسه چشمی^۱ پراکنش مقادیر دبی هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در شکل ۲ و ۳ و نیز مقادیر شاخص‌های کارایی می‌توان گفت که مدل مورد استفاده با دقت نسبتاً مناسبی ابعاد هیدروگراف‌های سیلاب در آبخیز را شبیه‌سازی می‌نماید. در شکل ۴

^۱ Visual comparison

هیدروگراف سیلاب طرح با دوره بازگشت‌های مختلف در دو بازه زمانی قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در آبخیز جعفرآباد ارائه شده است.



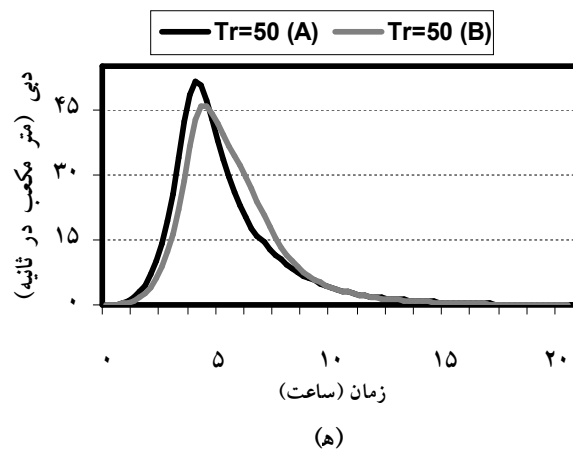
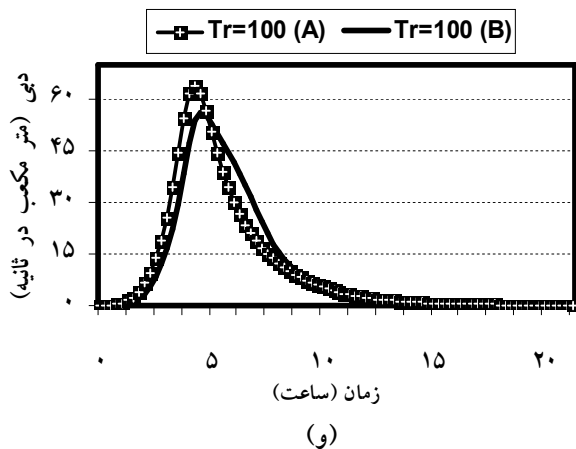
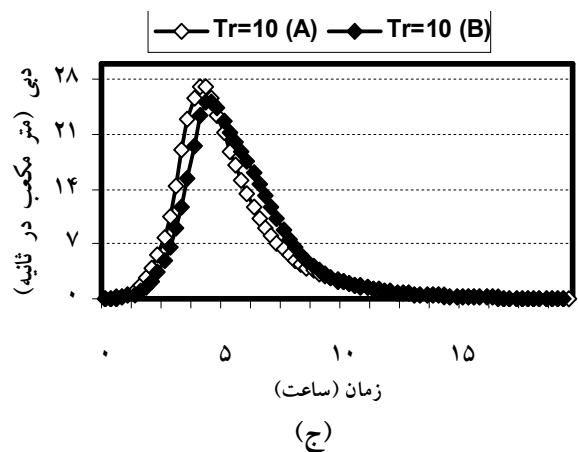
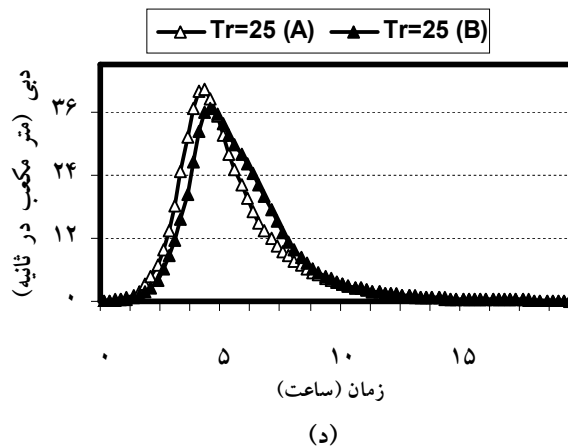
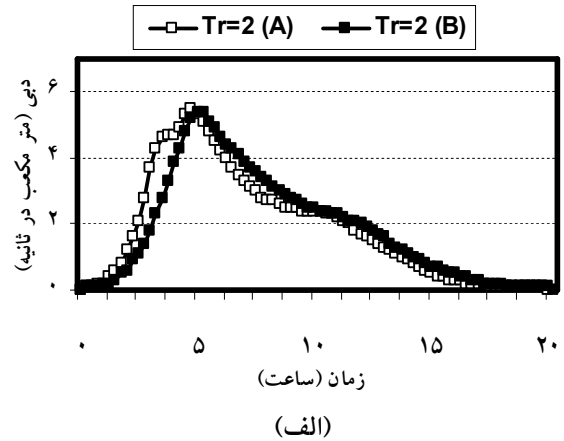
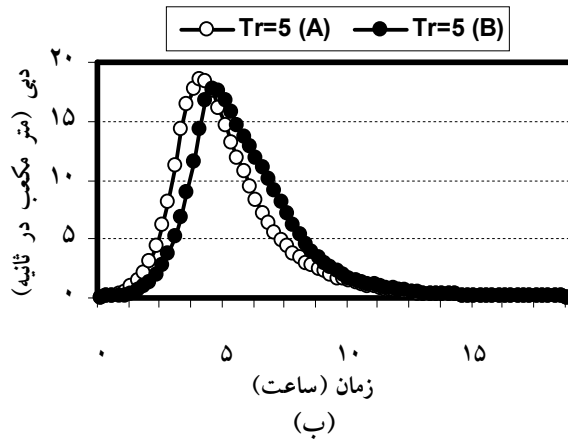
شکل ۲- دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی در بازه‌های زمانی دوساعته (حدود اطمینان ۹۵ درصد)



شکل ۳- دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی در بازه‌های زمانی دوساعته (حدود اطمینان ۹۵ درصد)

جدول ۲- مقادیر شاخص های کارایی مدل هیدرولوژی در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه هیدرومتری تقی آباد

شاخص کارایی	واسنجی	اعتبارسنجی
ضریب ناش- ساتکلیف	۰/۶۷۴	۰/۷۸۹
اریبی مدل در برآورد حجم جریان	-۰/۳۱	-۰/۲۰۶
درصد خطا در دبی اوج	۲۰/۶۳۱	۱۴/۹۳۵
ضریب واریانس شبیه سازی	۱/۱۱	۱/۱۰۸
کارایی مدل در شبیه سازی دبی های بالا	۰/۵۵	۰/۷۹۵



شکل ۴- هیدروگراف سیل شبیه سازی شده با دوره بازگشت های مختلف (A قبل و B بعد از عملیات سازه های)

در جدول ۳ مقادیر شبیه‌سازی شده دبی اوج، تأخیر سیل، زمان پایه و حجم سیل، در شرایط قبل و بعد از احداث سازه‌ها در آبخیز جعفرآباد ارائه شده است. از مقایسه مقادیر معیارهای ارزیابی در دو وضعیت در دوره بازگشت‌های مختلف می‌توان استنباط کرد که تأثیر عملیات آبخیزداری اجرا شده بر معیار دبی اوج بیشتر از سایر معیارها بوده و این تأثیر در مورد معیارهای تأخیر سیل، زمان پایه و حجم سیلاب ناچیز بوده است.

جدول ۳- مقادیر معیارهای هیدرولوژیک ارزیابی در دو بازه ارزیابی اقدامات آبخیزداری با دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت (سال)	وضعیت	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	تأخیر سیل (ساعت)	زمان پایه سیل (ساعت)	حجم سیل (هزار متر مکعب)
۲	قبل از عملیات	۵/۵	۴/۷۵	۲۰	۱۳۶/۶
	بعد از عملیات	۵/۴	۵	۲۰/۵	۱۳۵/۶
۵	قبل از عملیات	۱۸/۵	۴	۱۸	۲۶۸/۸
	بعد از عملیات	۱۷/۷	۴/۵	۱۸/۷۵	۲۶۱/۹
۱۰	قبل از عملیات	۲۷/۱	۴	۱۹/۲۵	۳۷۱
	بعد از عملیات	۲۵/۵	۴/۵	۱۹/۵	۳۷۰/۳
۲۵	قبل از عملیات	۴۰/۲	۴/۵	۲۰/۲۵	۵۳۵/۶
	بعد از عملیات	۳۶/۶	۴	۲۰/۵	۵۳۵/۵
۵۰	قبل از عملیات	۵۱/۳	۴	۲۰/۷۵	۶۷۵
	بعد از عملیات	۴۵/۸	۴/۵	۲۱	۶۷۴/۸
۱۰۰	قبل از عملیات	۶۳/۷	۴/۲۵	۲۱	۸۲۸
	بعد از عملیات	۵۶/۲	۴/۵	۲۱/۲۵	۸۲۷

بر اساس روش کار ذکر شده در بخش ۲-۲، عکس‌العمل هیدرولوژیک آبخیز جعفرآباد در دو بازه قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری با مدل هیدرولوژی HEC-HMS شبیه‌سازی شده است. در این تحقیق مقادیر ضرایب کارایی ذکر شده در جدول ۲ حاکی از نتایج قابل قبول شبیه‌سازی (به‌عنوان مثال مقدار عددی ۶۷ و ۷۸ درصد معیار نش-ساتکلیف) است. نتایج شبیه‌سازی مدل مذکور در تحقیقات (روشنی، ۲۰۰۳)، (شکوهی، ۲۰۰۷)، (Shieh و همکاران، ۲۰۰۷) نیز رضایت‌بخش بوده است. پایین بودن نسبی ضریب ناش-ساتکلیف نسبت به مقدار ایده‌آل در این مطالعه را می‌توان به اختلاف فاز زمانی میان هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و هیدروگراف‌های مشاهداتی نسبت داد. به‌عبارت دیگر می‌توان آن را با عدم دقت در تعیین شماره منحنی و برآورد زمان تأخیر در روش SCS در بخش محاسبه پارامترهای ورودی مدل مرتبط دانست. نتایج شبیه‌سازی جریان در شکل ۲ و جدول ۳ نشان می‌دهد که انجام عملیات آبخیزداری تأثیر چندانی بر بهبود وضعیت هیدرولوژیک آبخیز نداشته است و این تأثیر در تمامی معیارهای مورد بررسی کم‌تر از ۱/۵ درصد بوده است. بر اساس نتایج این تحقیق، سازه‌ها در کاهش شیب آبراهه و افزایش زمان تمرکز و به‌دنبال آن کاهش اوج سیل اثر داشته‌اند (روشنی، ۲۰۰۳؛ Castillo و همکاران، ۲۰۰۷)، ولی این تأثیر با توجه به نتایج مقایسه آماری قابل ملاحظه نیست. یکی از دلایل تأثیر ناچیز هیدرولوژیک عملیات اجرا شده در آبخیز جعفرآباد را می‌توان به حجم عملیات و تعداد بیش‌تر سازه‌های احداث شده در واحدهای هیدرولوژیک نزدیک به خروجی نسبت داد (IB1، IB9 و IB6 در شکل ۱)، که سیلاب بخش شرقی منطقه را تأخیر انداخته و با به‌هم پیوستن رواناب بخش‌های بالادست و غرب حوزه که فاصله بیش‌تری از خروجی دارند در مجموع باعث کاهش تأثیر عملیات آبخیزداری مکانیکی انجام شده بر معیارهای هیدروگراف سیلاب می‌گردند. این در حالی است که چون زمان عبور آب تا خروجی در واحدهای هیدرولوژیک مذکور کم‌تر است، نباید در این بخش‌ها سازه‌های احداث می‌شد. بر اساس نتایج تحقیق (جدول ۳) درصد تأثیر سازه‌ها بر حجم سیلاب با افزایش دوره بازگشت، کاهش می‌یابد و در مورد دو معیار زمان تا اوج و زمان پایه از روند خاصی تبعیت نمی‌کند، هر چند در مورد زمان پایه بیش‌ترین تأثیر در دوره بازگشت‌های پایین مشاهده می‌شود. با در نظر گرفتن درصد تأثیر عملیات بر معیارهای ارزیابی می‌توان گفت که با افزایش

دوره بازگشت، میزان تاثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج کاهش یافته است و بیش‌ترین تاثیر در دوره بازگشت‌های پایین (۲ تا ۲۵ ساله) بوده است. نتایج این تحقیق در خصوص کاهش تاثیر عملیات آبخیزداری بر هیدروگراف سیل با افزایش دوره بازگشت با نتایج عربی و بنی‌حبیب، ۱۳۸۸ هم‌سو است. همچنین نتایج تاجیکی (۱۳۸۶) مبنی بر گزارش بیش‌ترین تاثیر عملیات آبخیزداری در کاهش سیل‌خیزی آبخیز رامیان در دوره بازگشت‌های پایین (۱۰ساله) موید نتایج تحقیق حاضر است. می‌توان گفت که در آبخیز جعفرآباد برآیند اثر عملیات اجرایی در کل آبخیز مثبت ارزیابی نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در جایی سازه‌ها بیش‌ترین توجه صورت گیرد تا از اثرات منفی تغییرات نامناسب زمان تمرکز و تلاقی دبی‌های پیک در بخش‌های نزدیک به خروجی آبخیز جلوگیری به‌عمل آید. با توجه به اثر نامحسوس سازه‌ها روی حجم جریان و حتی دبی اوج، صرفاً عملیات مکانیکی نمی‌تواند راه حل تصور گردد. این‌گونه فعالیت‌ها مسکن و موقتی تلقی می‌گردد و باید با فعالیت‌های بیولوژیک توأم شوند و در واقع زمینه‌ساز استقرار پوشش تلقی می‌شوند. ارزیابی انجام شده فقط از دیدگاه هیدرولوژیک انجام شده است و در این راستا می‌توان با بررسی اثر اقدامات انجام شده بر رسوب‌دهی آبخیز و مشخص نمودن نقاط قوت و ضعف طرح می‌توان قضاوت بهتری از تاثیر عملیات ارائه نمود.

منابع مورد استفاده

۱. تاجیکی، م. ۱۳۸۶. ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی و رسوب‌دهی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رامیان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۳۸ صفحه.
۲. تلوری، ع. ۱۳۸۴. اصول مقدماتی مهار سیلاب و کاهش خسارت آن. جزوه درسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۳. جهاد کشاورزی استان گلستان. ۱۳۸۵. کتابچه طرح‌های آبخیزداری انجام شده در آبخیزهای استان گلستان. جهاد کشاورزی استان گلستان، ۶۲ صفحه.
۴. حق‌گو، ک. ۱۳۸۰. ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر خصوصیات هیدرولوژیکی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه غازمحلله کردکوی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۶۹ صفحه.
۵. خسروشاهی، م. و ب. ثقفیان. ۱۳۸۴. اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل‌خیز، راه‌کاری برای عملیات اجرایی مهار و کنترل سیل در حوزه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شماره ۲، صفحات ۱۳۸-۱۲۸.
۶. شرکت مهندسی مشاور نهرسازان رستاق. ۱۳۸۰. گزارش نهایی مطالعات پایه و اجرایی حوزه آبخیز جعفرآباد گرگان، (جلد اول و دوم). ۲۱۶ صفحه.
۷. صادقی، س.ح.ر.، ف. شریفی، ا. فروتن و م. رضایی. ۱۳۸۳. ارزیابی کمی عمل‌کرد اقدامات آبخیزداری (مطالعه موردی: زیرحوزه آبخیز کشار). مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۵، صفحه ۱۰۲-۹۶.
۸. عربی، آ. و م. بنی‌حبیب. ۱۳۸۸. مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صفحه ۱۴۳۰-۱۴۱۶.
۹. نجفی‌نژاد، ع. ۱۳۷۶. راهنمای آبخیزداری (مطالعات و برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز). انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۶۰ صفحه.
۱۰. وزیری، ف. ۱۳۷۱. تعیین روابط منطقه‌ای بارندگی‌های کوتاه مدت در ایران. طرح پژوهشی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۲۸ صفحه.
11. Bahremand, A. 2006. Simulation of the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS. Ph.D Thesis, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 122p.
12. Castillo, V.M., W.M. Mosch, C. ConesaGarcia, G.G. Barbera, J.A. NavarroCano and F. Lopez-Bermudez. 2007. Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Carcavo (Murcia, Spain), Catena, 16:57-69.
13. Cowan. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering, 37:437-475.
14. FAO. 2001. Small dams and weirs in earth and gabion materials. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, 171p.
15. Goff, K.M. and R.W. Gentry. 2006. The Influence of watershed and development characteristics on the cumulative impacts of stormwater detention ponds. Journal of Water Resources Management, 20:829-860
16. Lammersen, R., H. Engel, W.V.D. Langemheen and H. Buiteveld. 2002. Impact of river training and retention measures on flood peaks along the Rhine. Journal of Hydrology, 267:115-124.
17. Roo, A.D., G. Schmuck, V. Perdigao, and J. Thielen. 2003. The influence of historic land use changes and future planned land use scenarios on floods in the der catchment. Physics and Chemistry of the Earth, 28:1291-1300.
18. Roshani, R. 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimise the flood control

- measures (Kan Case study in Iran). M.Sc Thesis in watershed and environmental management. International Institute for Geo Information Science and Earth Observation Enschede, the Netherlands. 43p.
19. Shieh, Ch.L., Y.R. Guh and Sh.O. Wang. 2007. The application of range of variability approach to the assessment of a check dam on riverine habitat alteration. *Journal of Environmental Geology*, 52:427–435.
 20. Shokoohi, A.R. 2007. Assessment of urban basin flood control measures using hydrogis tools. *Journal of Applied Science*, 7(13):1726-1733.
 21. Tetzlaff, D., M. Grottker and Ch. Leibundgut. 2005. Hydrological criteria to assess changes of flow dynamic in urban impacted catchments. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30:426–431.
 22. US Army Corps of Engineers. 2001. Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Technical Reference Manual, CA, 187p.
 23. Wanielista, M.P. 1997. Hydrology water quantity and water quality control. University of Central Florida, 565p.

Assessing hydrological effects of Jafar-Abad watershed management project in Golestan province using HEC-HMS model

Raouf Mostafazadeh¹, MSc Student, Faculty of Range, Gorgan University of Agricultural Sciences, Iran

Amir Sadoddin, Assistant Professor, of Range, Gorgan University of Agricultural Sciences, Iran

Abdolreza Bahremand, Assistant Professor, of Range, Gorgan University of Agricultural Sciences, Iran

Vahedbordi Sheikh, Assistant Professor, of Range, Gorgan University of Agricultural Sciences, Iran

Habib Nazarnejad, Scientific Board, Faculty of Natural Resources, Uromia University, Iran

Received: 10 October 2009

Accepted: 04 April 2010

Abstract

Assessment of flood control projects in the same conditions is essential in order to improve decision making that assist us in watershed management purposes. Focus of this study is on assessing hydrological effects of the Jafar-Abad watershed management project. The study area (109 km²) located in north of Iran in the Golestan province. Paired t-tests were performed for Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) in Taghi-Abad gauging station, located in the outlet of the catchment, before and after construction of 58 check dams. HEC-HMS model was calibrated using 12 storm events and validated for study area. Calibrated HEC-HMS model was applied to rainfall-runoff modeling in sub-catchments and Level-pool method used for reservoir elements. Design flood hydrographs for 2-100 year return periods were simulated for both before and after check dams construction periods. The results of statistical analysis indicate that existing flood control measures had no significant impact on the hydrologic characteristics measured by IHA in 95% confidence level. The results indicated that constructed structures do not have important effect on IHAs and the amount of these effects was less than 1.5 percent in all cases. Also, by increasing in return period, the effects of structures on peak discharge and flood volume were reduced.

Key words: Check dams, Effect analysis, Flood control, Performance evaluation, Watershed management practices

¹ raofmostafazadeh@yahoo.com