تغییر پاسخ هیدروگراف واحد آبخیز در اثر احداث سازه‌های کوتاه تأخیری

شهناز میرزایی[1] و رئوف مصطفی‌زاده[2]

تاریخ ارسال:۱۳۹۵/۱۲/۱۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۳/۰۱

چکیده

اجرای عملیات آبخیزداری در سطح آبخیز می‌تواند رژیم هیدرولوژیک جریان خروجی از آبخیز از جمله دبی اوج، زمان تا اوج، زمان پایه و حجم رواناب را تحت تاثیر قرار دهد. یکی از کاربردهای هیدروگراف واحد، محاسبه اثر فعالیت‌های انجام‌شده به‌منظور کنترل سیل روی عکس‌العمل هیدرولوژیک آبخیز است که به‌وسیله مقایسه خصوصیات هیدروگراف واحد استخراج شده از داده‌های بارش و جریان قبل و بعد از انجام اقدامات در آبخیز صورت می‌گیرد. نتایج ارزیابی تاثیرات هیدرولوژیک فعالیت‌های اجرایی می‌تواند در طراحی بهینه و اجرای عملیات کنترل سیلاب مفید واقع گردد. هدف این تحقیق ارزیابی تاثیر هیدرولوژیک اقدامات مکانیکی آبخیزداری (احداث سدهای تأخیری) انجام شده در آبخیز جعفرآباد استان گلستان با مساحتی حدود (۱۰۹۰۰ هکتار) با استفاده از رویکرد مقایسه هیدروگراف واحد است. پس از استخراج وقایع ثبت شده بارش-رواناب متناظر (۴۳ رخداد) در دوره زمانی ارزیابی قبل و بعد از احداث عملیات مکانیکی، هیدروگراف‌های واحد با تداوم بارش برابر زمان تمرکز آبخیز محاسبه گردید. در این خصوص برای تبدیل هیدروگراف‌های D ساعته به Tc ساعته از منحنی S استفاده شد. سپس مولفه‌های هیدروگراف واحد آبخیز در دو وضعیت قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری استخراج شد و نتایج با استفاده از آزمون تی و نمودارهای باکس-ویشکر مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که تاثیر اقدمات آبخیزداری بر روی هیدروگراف واحد شاخص به‌صورت افزایش دبی اوج و زمان پایه و کاهش زمان تا اوج پاسخ واحد بوده است. در حالی که، اثر اقدامات سازه‌ای از نظر آماری نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($p\text{-value}<0.05$) مولفه زمان پایه و افزایش آن به میزان ۶ ساعت (به‌طور متوسط) بعد از احداث عملیات بوده است. هر چند میانگین زمان تا اوج رخدادها از ۱۵/۹ به مقدار ۱۴/۸ ساعت کاهش پیدا کرده است ولی از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. در مجموع می‌توان گفت در اثر اجرای سازه‌های تأخیری و جانمایی مکانی آن‌ها در سطح آبخیز، واکنش آبخیز و در نتیجه مولفه‌های هیدروگراف واحد آبخیز تحت تأثیر قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پاسخ واحد، رفتار هیدرولوژیک، زمان تمرکز، سد اصلاحی، هیدروگراف واحد

[1] - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، تلفن تماس ۰۹۱۴۶۲۷۵۶۷۳، mirzaeishahnaz@gmail.com
[2] - استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۰۹۱۴۴۸۱۵۷۴۳، raoofmostafazadeh@uma.ac.ir (نویسنده مسئول)

مقدمه

روند رو به رشد وقوع سیلاب به‌عنوان یک پدیده مخرب طبیعی، هر ساله باعث بروز خسارت‌های مالی و جانی فراوانی در کشور می‌شود که برای جبران بخشی از این خسارت‌ها اقدامات آبخیزداری بیولوژیکی، سازه‌ای و بیومکانیکی در آبخیزها اجرا می‌شود. احداث سازه‌های اصلاحی با اهداف تثبیت پروفیل آبراهه‌ها، کاهش سرعت جریان و کنترل رسوب بخشی از فعالیت‌های اجرایی آبخیزداری در کشور است. از طرفی احداث نامناسب سازه‌های اصلاحی در آبراهه‌ها می‌تواند اثرات منفی بر خصوصیات جریان داشته باشد و نهایتاً باعث تشدید سیل و افزایش خسارات در مناطق در معرض خطر خواهد شد (Shieh et al, 2007 and Pilarczyk, 2007). بر اساس گزارش Haque (2000)، با وجود اینکه فراوانی وقوع سیلاب‌ها در شمال ایالات متحده در چند دهه اخیر کاهش یافته است ولی میزان خسارات اقتصادی رو به افزایش است و وقوع سیل‌های ناگهانی در اثر اقدامات غیر اصولی بر شدت خسارات افزوده است. هم‌چنین، بر اساس گزارش هیدرولوژی وزارت کشاورزی ایالات متحده[1] در سال ۲۰۰۰ اثر کاربری اراضی و مدیریت زمین بر روی رواناب به حجم عملیات بستگی دارد، به‌عنوان مثال کنتورفارو می‌تواند بر اساس ابعاد فاروها دارای تاثیر متفاوتی باشد. تراس‌های مسطح باعث افزایش نفوذ و ذخیره جریان می‌گردند و همزمان با افزایش تاخیر جریان باعث کاهش حجم رواناب می‌گردند (USDA, 2000). از این رو، ارزیابی کمی اثرات پروژه‌های آبخیزداری با تکیه بر ابعاد متفاوت می‌تواند با مشخص نمودن نقاط قوت و ضعف آن‌ها به طراحی بهینه آتی این گونه فعالیت‌ها در سایر آبخیزها کمک نماید. در صورت وجود داده و آمار ثبت شده در قبل و بعد از اقدامات، استفاده از روش‌های کمی در ارزیابی عملکرد اقدامات حفاظتی یا دخالت‌های انسانی بسیار مناسب‌تر و دقیق‌تر از روش‌های کیفی است (Hill, 2008).

یکی از روش‌های کمی ارزیابی تاثیر عملیات آبخیزداری، بررسی خصوصیات سیل در دوره قبل و بعد از اجرای عملیات می‌باشد. در این راستا هیدروگراف واحد که هیدروگراف شاخص حوضه می‌باشد می‌تواند مفید باشد (Ramirez, 2000). هیدروگراف واحد به‌عنوان پاسخ حوزه نسبت به یک بارش موثر واحد اولین بار توسط شرمن در سال ۱۹۳۲ ارائه شد و امروزه به یکی از ابزارهای قوی در هیدرولوژی کاربردی تبدیل شده است (Kumar et al, 2002 and Jain & Singh, 2003). هر چند یکنواخت بودن بارش در زمان و مکان و نیز خطی بودن پاسخ سیستم آبخیز به بارش ورودی از فرضیات تئوری هیدروگراف واحد است ولی کاربرد این روش در محدوده سیل‌های مشاهده شده در آبخیزهای طبیعی مناسب است (Singh, 1988 and Chin, 2000). در یک آبخیز مشخص هیدروگراف واحد D ساعته جزء خصوصیات تغییرناپذیر حوزه نسبت به زمان است. بنابراین اگر مشخصات فیزیوگرافی، پوشش گیاهی و شبکه زهکشی آبخیز خصوصاً توسط دخالت‌های انسان در طول زمان تغییر نماید هیدروگراف واحد D ساعته هم تغییر می‌کند (صفوی، ۱۳۸۵؛Raghunath, 2006). هیدروگراف‌ها معمولا برای مقایسه واکنش آبخیزها مورد استفاده قرار می‌گیرند. هم‌چنین هیدروگراف ساعتی جریان می‌تواند قبل و بعد از ایجاد اختلال و یا عملیات مدیریتی (شهرسازی و عملیات حفاظت آب و خاک) مورد مقایسه قرار گیرد (Edwards et al, 2015). اقدامات مکانیکی آبخیزداری بر عوامل فیزیوگرافی هم‌چون شیب، سطح مقطع، ضریب زبری و هم‌چنین ظرفیت ذخیره در آبخیز تاثیر می‌گذارد (صفوی، ۱۳۸۵). علاوه بر مقایسه شکل هیدروگراف، تغییر در مولفه‌های اصلی شامل اوج جریان، شاخه صعودی، شاخه فروکش و نیز متغیرهای حجم و زمان در دوره‌های مختلف می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد (Edwards et al, 2015؛ Roy and Thomas, 2016). از آنجا که شکل شاخه نزولی هیدروگراف، مستقل از خصوصیات بارش بوده و به مشخصات آبخیز بستگی دارد، بنابراین تاثیر اقدامات مدیریتی خصوصا در آبراهه‌ها بر خصوصیات هیدروگراف جریان می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد (صفوی، ۱۳۸۵؛ Raghunath,

[1]- United States Department of Agriculture

2006؛ Sen, 2008) از رویکرد هیدورگراف واحد می‌توان در بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی، اصلاح آبراهه‌ها و افزایش ذخیره‌ها در آبخیزها برجریان رودخانه‌ای استفاده نمود (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴؛ Singh, 1988). از جمله مطالعات انجام شده در زمینه عملیات آبخیزداری و اثرات آن بر روی جریان سیل در خارج از کشور، مطالعه Hall (1977) می‌باشد. ایشان از رویکرد هیدروگراف واحد برای تعیین خصوصیات جریان در سه دوره توسعه شهری استفاده کرده و هیدروگراف واحد سی دقیقه‌ای را در دو منطقه شمال شهر لندن به‌ترتیب از ۴۰ و ۲۹ رویداد سیل استخراج کردند. بر اساس نتایج، افزایش درصد مناطق غیرقابل نفوذ در سه دوره از میزان ۱۵ به ۱۸/۶ و ۲۰/۶ درصد، باعث کاهش زمان تمرکز به مقدار یک ساعت و افزایش دبی به مقدار ۰/۳ مترمکعب در ثانیه شده است Lammersen et al (2002)، تاثیر سازه‌های جذبی و اصلاحی در مسیر رودخانه راین در هلند را بر دبی اوج در سیلاب‌هایی با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مدل‌سازی عددی و هیدروگراف مصنوعی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سازه‌های جذبی باعث کاهش دبی اوج شده‌اند و سازه‌های اصلاحی دبی اوج جریان را افزایش داده‌اند. بر اساس داده‌های مشاهداتی هیدرولوژیک در ایستگاه نانژائو[1] در کشور چین Yingchao (2002)، نتیجه گرفت که اثر مجموعه‌ای از اقدامات مکانیکی شامل سدهای رسوبگیر، ذخیره‌ای و احداث جوی و پشته باعث افزایش ظرفیت ذخیره رواناب سطحی به میزان ۶ درصد شده است. Wellmeyer et al (2005)، در بررسی تاثیر مخزن لیوینگستون[2] بر رژیم جریان رودخانه ترینیتی[3] در ایالت تگزاس به این نتیجه رسیدند که در دوره بعد از احداث دبی‌هایی با مقادیر بالا تغییر چندانی نداشته ولی دبی‌های پایین افزایش پیدا کرده‌اند. در مطالعه‌ای دیگر، Goff and Gentry (2006)، با هدف بررسی اثر تجمعی سازه‌های تاخیری در آبخیزهای فرضی بیان نمودند که بلافاصله دبی اوج در پایین دست سازه اجرا شده کاهش می‌یابد ولی ممکن است اثر عملیات اجرایی در کل آبخیز مثبت ارزیابی نشود. گروه مهندسی فوسکو[4] در ایالات متحده از هیدروگراف واحد مثلثی برای مقایسه اثر فعالیت‌های پیشنهادی کنترل سیل بر دبی اوج و حجم سیل استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که این تاثیر در دوره بازگشت‌های بالای صد ساله کمتر از یک درصد خواهد بود (FUSCO, 2008). Wen et al (2014)، با ارزیابی توسعه مناطق شهری در مناطق روستایی و تاثیر آن بر مولفه‌های هیدروگراف جریان به این نتیجه رسیدند که تغییرات قابل توجه در درصد مناطق غیرقابل نفوذ باعث کاهش زمان تا اوج به میزان ۱۰ درصد و افزایش دبی اوج به مقدار ۲۰ تا ۳۰ درصد شده است. Al Qudah et al (2016)، تاثیر عملیات تراس‌بندی منطقه پترا در کشور اردن را در کاهش رواناب کمی نمودند. ایشان بر اساس نتایج مدل‌سازی در شش وضعیت نتیجه گرفتند که تراس‌ها باعث کاهش ۲۸ درصد رواناب سطحی شده‌اند و نقش موثر آن‌ها باعث کاهش معنی‌دار سیلاب و کنترل آن شده است.

در داخل کشور نیز روغنی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل SCS و شبیه‌سازی سیلاب، تاثیر سازه‌ها در کنترل سیلاب حوزه بارده را بررسی نمودند. نتایج نشان دادند که احداث سازه ضمن ذخیره رواناب و تاثیر بر نفوذ عمقی جریان، قادر به کنترل سیلاب در دوره بازگشت ۲۵ ساله می‌باشد. نبی‌پور و همکاران (۱۳۹۳)، با ارزیابی کمی خصوصیات سیل، تاثیر مستقیم اجرای عملیات آبخیزداری بر روی سیلاب را در حوزه حاجی‌قوشان استان گلستان بررسی نمودند. بررسی ایشان نشان‌دهنده افزایش روند وقوع سیلاب بوده در حالی که تاثیر اجرای عملیات آبخیزداری بر روی مولفه‌های سیلاب به‌صورت افزایش زمان تداوم و کاهش زمان فروکش، زمان تا اوج و مقدار دبی اوج بوده است. در بررسی تأثیر عملیات آبخیزداری بر توزیع جریان سطحی با استفاده از الگوریتم توزیع، طالبی و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که اجرای عملیات

[1] - Nanzhao
[2] - Livingston
[3] - Trinity
[4] - FUSCOE

آبخیزداری به‌طور ۱۰۰ درصد بر کاهش جریان خروجی از حوضه تاثیر داشته است، اما در جریان‌هایی با حجم بیشتر تا ۷۴/۲ درصد سبب کاهش حجم جریان خروجی شده است. در ارزیابی تاثیر عملیات آبخیزداری بر آبنمود سیل در آبخیز گوش و بهره با استفاده از مدل HEC-HMS، نورعلی و قهرمان (۱۳۹۵) به این نتیجه رسیدند که با افزایش دوره بازگشت، تأثیر اقدامات آبخیزداری بر دبی اوج و حجم سیلاب کاهش می‌یابدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶)، در بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری بر آبنمود سیل در آبخیز رامیان استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS بیان کردند که هیدروگراف قبل و بعد از عملیات بیومکانیکی نشان‌دهنده کاهش حجم سیل و دبی اوج با گذشت زمان است. وقوع سیلاب‌های شدید جوامع را مجبور به بروز واکنش در اجرای عملیات کنترل سیل و بهبود فعالیت‌های گذشته نموده است (Pilarczyk, 2007). هیدروگراف واحد شرایط بارش را در تولید سیل به‌صورت یکسان در نظر می‌گیرد و نیازی به آزمون آماری ارزیابی تغییرات بارش ندارد. هم‌چنین می‌توان واکنش هیدرولوژیک آبخیز را در اثر تغییرات اعمال شده با بررسی تغییر مولفه‌ها و شکل هیدروگراف تجزیه و تحلیل نمود. نتایج می‌تواند توسط محققان و مدیران در زمینه بهبود اجرای فعالیت‌های مدیریتی در آبخیزها و برنامه‌ریزی پروژه‌های مدیریت سیلاب قرار گیرد. هدف این تحقیق، ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری (سازه‌ای) اجرا شده بر پاسخ هیدرولوژیکی رودخانه جعفرآباد در استان گلستان و تغییر خصوصیات هیدروگراف واحد جریان سطحی است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

آبخیز جعفرآباد با مساحتی حدود ۱۰۹ کیلومتر مربع، در ۲۵ کیلومتری جنوب شرق گرگان و در محدوده‌ی جغرافیایی ۳۷ °۴۸ تا ۴۵ °۴۸ طول شرقی و ۴۳ °۳۶ تا ۵۲ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. شیب زیاد حوزه یکی از عوامل تشدیدکننده سیلاب در حوزه مورد مطالعه است. میانگین دمای سالانه ۱۵/۴۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارش سالانه ۵۶۶ میلی‌متر و کاربری عمده آبخیز جنگلی است. به‌منظور کاهش سیل‌خیزی و کنترل رسوب حوزه، اقدامات مکانیکی سازه‌ای شامل ۵۸ سد اصلاحی[1](حجم تقریبی ۲۰۰۰ مترمکعب)، در سال‌های ۱۳۷۹ و۱۳۸۰ توسط مدیریت آبخیزداری استان گلستان در عرصه احداث شده است. سدهای اصلاحی از نوع گابیونی (با ارتفاع مفید ۱ تا ۲ متر) بوده و دارای ابعادی متناسب با ابعاد آبراهه‌ها می‌باشند (جهاد کشاورزی استان گلستان، ۱۳۸۵). در شکل (۱) موقعیت سازه‌های احداثی در شبکه زهکشی آبخیز نمایش داده شده است. با توجه به اینکه منطقه تحت مدیریت طرح جنگلداری زیر نظر اداره کل منابع طبیعی استان گلستان است، هیچگونه تغییر کاربری در عرصه صورت نگرفته است و بررسی نقشه‌های کاربری اراضی در دو بازه زمانی ارزیابی نیز این موضوع را تایید می‌نماید. هم‌چنین در آبخیز مورد مطالعه عمده فعالیت مدیریتی و اقدامات مکانیکی اجرا شده توسط مدیریت آبخیزداری بوده است لذا می‌توان با اطمینان تغییرات احتمالی در رژیم جریان را به اقدامات انجام شده نسبت داد (مصطفی‌زاده، ۱۳۸۷؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

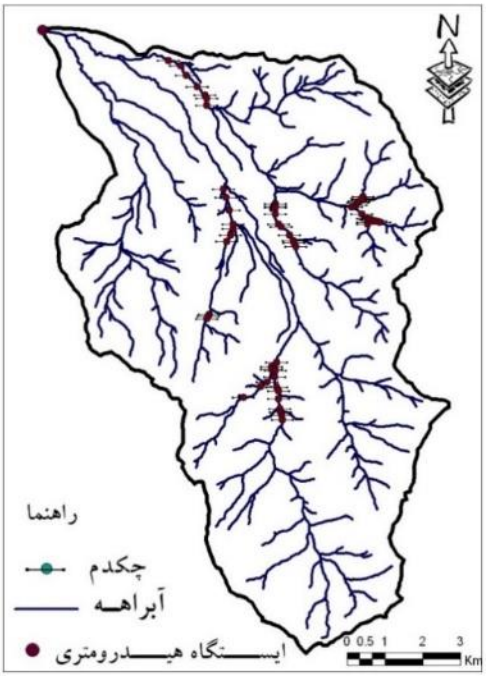
روش تحقیق

در تحقیق حاضر ابتدا اطلاعات دقیق مربوط به اقدامات مکانیکی کنترل سیل آبخیز جعفرآباد از سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان تهیه و صحت آن در بازدیدهای میدانی مورد تأیید قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری سال‌های قبل از ۱۳۸۰ به‌عنوان دوره قبل از اقدامات آبخیزداری و سال‌های بعد از ۱۳۸۰ به‌عنوان دوره بعد از اقدامات آبخیزداری در نظر گرفته شده است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). از آمار همزمان دبی و بارش ساعتی ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد (خروجی آبخیز) و ایستگاه باران‌سنجی فاضل‌آباد (در نزدیکی مرکز ثقل آبخیز) در تجزیه و تحلیل‌ها استفاده شده است. پس از تهیه آمار هیدرومتری و هواشناسی، با در نظر گرفتن خصوصیات

[1] - Check dam

هیدروگراف‌های مناسب برای تهیه هیدروگراف واحد به‌ترتیب ۲۲ و ۲۱ هیدروگراف رواناب و بارش متناظر در دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث سازه‌ها انتخاب شد. پس از تعیین رواناب مستقیم و محاسبه مدت و عمق بارش موثر برای هر رویداد، هیدروگراف با مدت‌های متفاوت استخراج شد (Hill, 2008). هم‌چنین در تفکیک دبی پایه از هیدروگراف مشاهداتی با توجه به واکنش سریع آبخیز و پرکاربرد بودن روش خط مستقیم، از روش مذکور استفاده شده است (Kusumastuti and Jokowinarno, 2012؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). هیدروگراف واحد D ساعته را می‌توان با استفاده از اصل انطباق[1] به هیدروگراف‌های واحد مضربی ازDساعت تبدیل نمود. با توجه به اینکه دبی اوج ممکن است حاصل از بارندگی با تداوم کوتاه‌تر از زمان تمرکز باشد لذا برای در نظر گرفتن رواناب حاصل از کلیه قسمت‌های آبخیز باید مدت بارش مورد نظر برابر یا بیشتر از زمان تمرکز حوزه باشد (Singh, 1988., FAO, 2001 and Hall, 1977). به این منظور میزان دقیق زمان تمرکز آبخیز از روی داده‌های بارش و رواناب مشاهداتی برابر ۴ ساعت بدست آمد. سپس با استفاده از روش منحنی S هیدروگراف‌های D ساعته به هیدروگراف واحد با تداوم ۴ ساعته (برابر زمان تمرکز آبخیز) تبدیل شد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). مقادیر مولفه‌های دبی اوج، زمان تا اوج و زمان پایه از هر هیدروگراف واحد در دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث اقدامات مکانیکی استخراج شد (Jain & Singh, 2003). در تهیه هیدروگراف واحد شاخص برای یک حوزه توصیه می‌شود هیدروگراف واحد شاخص، به‌صورت میانگین دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف واحد رویدادها در نظر گرفته شود (Raghunath, 2006). ولی با توجه به اینکه این روش ممکن است باعث کاهش دبی اوج هیدروگراف واحد شاخص گردد، لذا در این تحقیق هیدروگراف واحد شاخص حوزه برای هر دو دوره به‌صورت میانگین بازه‌های زمانی هیدروگراف واحد رویدادها از شروع هیدروگراف واحد در نظر گرفته شده است (Kokkonen, 2003). هم‌چنین مولفه‌های اصلی هیدروگراف‌های واحد در دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث اقدامات مکانیکی در آبخیز در تجزیه و تحلیل‌ها استفاده شده است. به‌منظور ارزیابی اثر عملیات آبخیزداری با استفاده از نرم‌افزار SPSS، برابری میانگین مولفه‌های اصلی در دو دوره قبل و بعد از احداث اقدامات مکانیکی با آزمون تی نمونه مستقل (Independent Samples Test) بررسی گردید و هم‌چنین از نمودارهای باکس‌پلات برای ارزیابی تغییرات در مولفه‌های هیدروگراف واحد استفاده شد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ نبی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

[1] - Superposition



شکل (۱): موقعیت مکانی سازه‌های مکانیکی احداث شده در آبراهه‌های آبخیز جعفرآباد

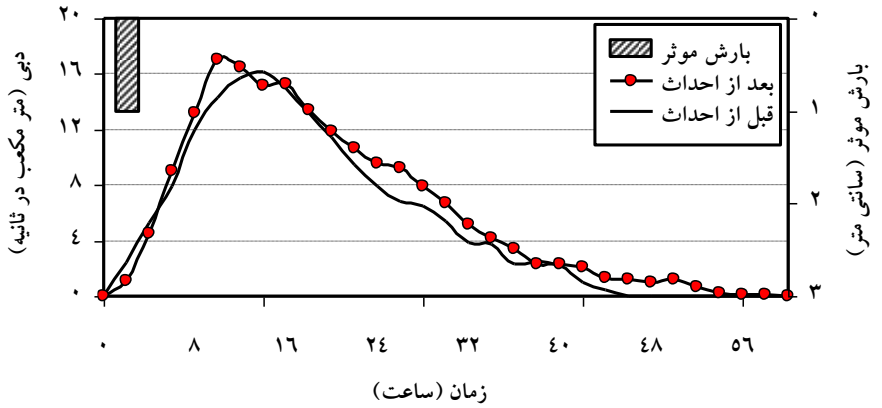
نتایج و بحث

در جدول (۱) مقادیر مولفه‌های هیدروگراف واحد چهار ساعته آبخیز جعفرآباد در دو بازه زمانی قبل و بعد از انجام اقدامات مکانیکی ارائه شده است

جدول (۱): مقادیر مولفه‌های هیدروگراف واحد جریان در دو بازه زمانی قبل و بعد از انجام اقدامات مکانیکی

قبل از انجام اقدامات مکانیکی				بعد از انجام اقدامات مکانیکی			
رویداد	زمان تا اوج (ساعت)	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	زمان پایه (ساعت)	رویداد	زمان تا اوج (ساعت)	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	زمان پایه (ساعت)
۱۳۶۹/۱۰/۱۵	۸	۴۰/۲۲	۳۲	۱۳۸۱/۰۱/۰۳	۸	۲۶/۸۶	۳۸
۱۳۶۹/۰۸/۱۰	۱۰	۴۱/۰۲	۲۶	۱۳۸۱/۰۳/۱۷	۱۶	۱۷/۵۴	۴۶
۱۳۷۰/۰۱/۲۳	۸	۳۹/۴۳	۲۸	۱۳۸۱/۱۲/۲۲	۱۰	۱۳/۷۷	۵۴
۱۳۷۰/۰۲/۱۳	۲۸	۳۶/۳۵	۴۲	۱۳۸۲/۰۳/۰۳	۲۲	۲۸/۳۸	۴۸
۱۳۷۰/۰۳/۰۲	۱۲	۳۰/۳۷	۴۴	۱۳۸۲/۰۴/۰۳	۲۶	۲۳/۷۵	۴۰
۱۳۷۲/۰۸/۲۳	۱۴	۳۴/۹۰	۳۰	۱۳۸۲/۰۳/۱۵	۲۶	۶۸/۸۶	۴۸
۱۳۷۳/۰۲/۲۷	۲۴	۲۱/۷۰	۳۸	۱۳۸۳/۱۲/۱۵	۱۰	۲۶/۸۴	۴۴
۱۳۷۳/۰۲/۱۶	۲۶	۲۴/۵۳	۴۴	۱۳۸۳/۱۲/۰۴	۱۴	۲۶/۰۵	۴۰
۱۳۷۴/۰۴/۰۱	۱۸	۳۸/۲۳	۳۲	۱۳۸۳/۱۰/۰۷	۱۲	۲۴/۴۸	۳۸
۱۳۷۶/۰۸/۰۱	۱۴	۳۶/۸۵	۲۸	۱۳۸۳/۰۹/۰۸	۱۲	۲۹/۷۵	۴۴
۱۳۷۶/۰۷/۱۵	۱۴	۲۵/۳۸	۳۶	۱۳۸۳/۰۸/۲۸	۱۶	۱۶/۱۹	۶۰
۱۳۷۷/۰۲/۰۴	۱۶	۱۴/۶۵	۴۶	۱۳۸۳/۰۶/۲۸	۱۶	۲۸/۴۲	۳۸
۱۳۷۷/۱۱/۰۱	۲۰	۵۲/۴۸	۳۲	۱۳۸۳/۰۴/۲۱	۱۰	۵۴/۵۲	۳۴
۱۳۷۷/۱۲/۲۶	۱۴	۳۷/۷۵	۲۸	۱۳۸۳/۰۴/۱۰	۱۰	۳۶/۰۷	۳۸
۱۳۷۸/۰۷/۲۱	۱۰	۲۰/۸۴	۳۸	۱۳۸۳/۰۲/۱۶	۱۸	۲۹/۰۰	۳۴
۱۳۷۸/۰۸/۳۰	۴	۵۵/۶۰	۲۲	۱۳۸۳/۰۱/۲۹	۱۸	۱۹/۹۰	۴۶
۱۳۷۹/۱۲/۲۰	۲۰	۲۱/۲۱	۳۸	۱۳۸۳/۰۱/۱۲	۲۸	۱۵/۴۷	۵۶
۱۳۷۹/۱۱/۱۶	۲۰	۲۶/۶۴	۴۰	۱۳۸۴/۱۱/۲۸	۱۰	۴۱/۲۷	۴۰
۱۳۸۰/۰۱/۲۳	۲۸	۱۸/۵۲	۴۶	۱۳۸۴/۰۶/۰۸	۱۶	۴۰/۵۷	۲۸
۱۳۸۰/۰۶/۱۰	۱۰	۲۷/۶۶	۳۰	۱۳۸۴/۰۲/۱۶	۶	۳۴/۸۹	۴۴
۱۳۸۰/۰۳/۰۴	۱۸	۱۱/۸۵	۴۶	۱۳۸۴/۰۲/۳۰	۸	۵۳/۶۲	۳۲
۱۳۸۰/۰۲/۲۸	۱۴	۲۹/۸۸	۳۶	–	–	–	–

شکل (۲)، هیدروگراف واحد شاخص برابر زمان تمرکز آبخیز جعفرآباد در دو دوره قبل و بعد از احداث عملیات مکانیکی را نشان می‌دهد که بر اساس استفاده از منحنی S تهیه شده است .



شکل (۲): هیدروگراف‌های واحد شاخص آبخیز جعفرآباد در دو دوره قبل و بعد از انجام اقدامات آبخیزداری

با توجه به شکل (۲) بعد از احداث اقدامات مکانیکی دبی اوج افزایش یافته که با نتایج Lammersen et al (2002) در افزایش دبی اوج با احداث سازه‌های اصلاحی همسو است. شکل (۲) نشان‌دهنده کاهش زمان تا اوج هیدروگراف واحد بعد از احداث اقدامات مکانیکی نیز بوده است که با نتایج Wen et al (2014) در یک راستا است. هم‌چنین با عملیات آبخیزداری انجام شده در پایین دست حوزه با توجه به شکل (۱) افزایش دبی اوج و کاهش زمان تا اوج قابل تصور است. بر اساس شکل (۲) احداث اقدامات مکانیکی باعث افزایش زمان پایه هیدروگرافاحد شده که با نتایج نبی‌پور و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. در روش مقایسه هیدروگراف واحد فرض بر این است که حجم هیدروگراف‌ها برابر باشد بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که تغییر در حجم سیلاب با روش مذکور قابل ارزیابی باشد. از جمله موارد کاربرد اقدامات مکانیکی در حوزه آبخیز افزایش تداوم جریان است و با توجه به شکل (۱) اقدامات مکانیکی انجام شده در بالا دست حوزه سبب افزایش زمان پایه هیدروگراف واحد بوده است. خصوصیات آماری مولفه‌های هیدروگراف واحد جریان در دو دوره قبل و بعد از احداث اقدامات آبخیزداری در جدول (۲) ارائه شده است. هم‌چنین جدول (۳) نتایج آزمون تی مولفه‌های هیدروگراف واحد جریان در قبل و بعد از عملیات آبخیزداری را نشان می‌دهد

جدول (۲): خصوصیات آماری مولفه‌های هیدروگراف واحد جریان در دو دوره قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری

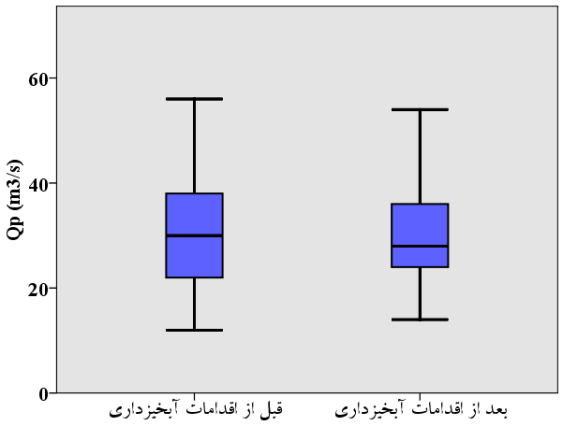
آماره	قبل از انجام اقدامات مکانیکی			بعد از انجام اقدامات مکانیکی		
	زمان تا اوج (ساعت)	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	زمان پایه (ساعت)	زمان تا اوج (ساعت)	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	زمان پایه (ساعت)
میانگین	۱۵/۹۱	۳۱/۱۸	۳۵/۵۵	۱۴/۸۶	۳۱/۲۵	۴۲/۳۸
انحراف معیار	۶/۶۳	۱۱/۲۹	۷/۲۲	۶/۳۴	۱۴/۰۹	۷/۹۹
میانه	۱۴/۰۰	۳۰/۱۳	۳۶/۰۰	۱۴/۰۰	۲۸/۳۸	۴۰/۰۰
حداقل	۴/۰۰	۱۱/۸۵	۲۲/۰۰	۶/۰۰	۱۳/۷۷	۲۸/۰۰
حداکثر	۲۸/۰۰	۵۵/۶۰	۴۶/۰۰	۲۸/۰۰	۶۸/۸۶	۶۰/۰۰
کشیدگی	-۰/۵۳	-۰/۱۳	-۱/۱۰	-۰/۳۰	۱/۳۴	۰/۰۹
چولگی	۰/۳۵	۰/۳۷	-۰/۰۱	۰/۷۶	۱/۲۱	۰/۴۷
دامنه	۲۴/۰۰	۴۳/۷۵	۲۴/۰۰	۲۲/۰۰	۵۵/۰۹	۳۲/۰۰
جمع	۳۵۰/۰۰	۶۸۶/۰۵	۷۸۲/۰۰	۳۱۲/۰۰	۶۵۶/۲۱	۸۹۰/۰۰

جدول (۳): نتایج آزمون تی مولفه‌های هیدروگراف واحد جریان در قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری

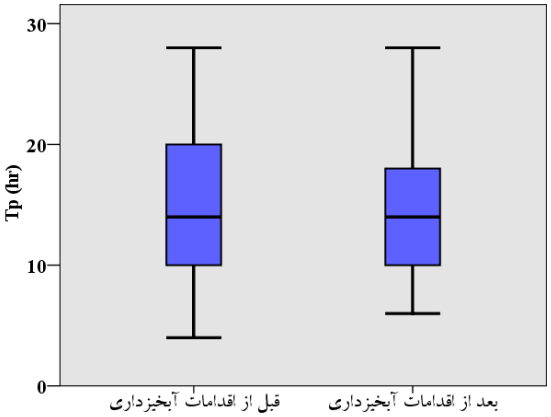
مولفه هیدروگراف واحد	آماره t	درجه آزادی	p-Value	میانگین اختلاف‌ها	فاصله اطمینان (۹۵ درصد)	
					حد بالا	حد پایین
زمان تا اوج (ساعت)	۰/۵۳۱	۴۱	۰/۵۹۸	۱/۰۵۱۹۵	۵/۰۵۲۲۷	-۲/۹۴۸۳۷
دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	-۰/۰۱۵	۴۱	۰/۹۸۸	-۰/۰۵۸۴۴	۷/۷۸۹۴۹	-۷/۹۰۶۳۷
زمان پایه (ساعت)	-۲/۹۴۵	۴۱	۰/۰۰۵	-۶/۸۳۵۵۰	-۲/۱۴۸۷۸	-۱۱/۵۲۲۲۱

بر اساس جدول (۳) نتایج آزمون تی در خصوص تغییر مولفه‌های دبی اوج، زمان تا اوج و زمان پایه هیدروگراف واحد برای دو دوره قبل و بعد از اقدامات مکانیکی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری برای مولفه زمان پایه به‌صورت افزایش ۶ ساعت در میانگین مولفه زمان پایه بوده است. این آزمون برابری میانگین مولفه

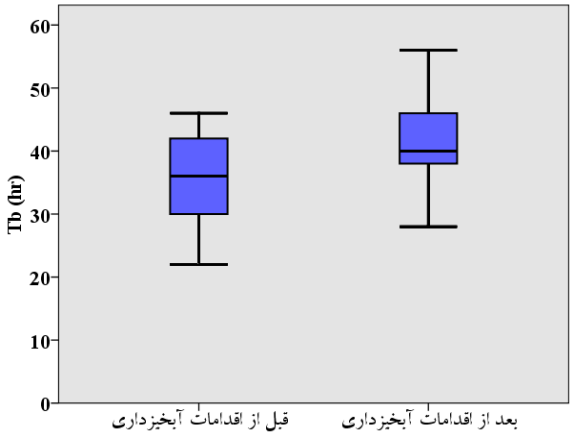
دبی اوج و زمان تا اوج دو دوره را نشان داد که بیانگر عدم تاثیر اقدامات مکانیکی بر روی این دو مولفه است. شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نمودار جعبه‌ای مولفه‌های دبی اوج، زمان تا اوج و زمان پایه هیدروگراف واحد جریان حوزه در دو دوره قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری را نشان می‌دهد.



شکل (۳): نمودار جعبه‌ای مولفه دبی اوج هیدروگراف واحد جریان در قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری



شکل (۴): نمودار جعبه‌ای مولفه زمان تا اوج هیدروگراف واحد جریان در قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری



شکل (۵): نمودار جعبه‌ای مولفه زمان پایه هیدروگراف واحد جریان در قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری

از مقایسه نمودار جعبه‌ای دبی‌های اوج هیدروگراف واحد در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث (شکل ۳) می‌توان استنباط کرد که در دوره احداث سازه‌های مکانیکی دبی‌های پایین افزایش پیدا کرده‌اند که با نتایج Wellmeyer et al (2005) هم‌راستا است. در مورد مولفه زمان تا اوج هیدروگراف واحد نیز احداث سازه‌های مکانیکی با توجه به شکل (۴) باعث افزایش زمان تا اوج‌های کمتر از ۱۰ ساعت شده و در مورد زمان تا اوج‌های بالا تاثیری نداشته است. با توجه به شکل (۵) مقادیر زمان پایه هیدروگراف واحد جریان در بعد از انجام اقدامات مکانیکی در آبخیز مذکور، افزایش یافته است که با تاثیر اقدامات مکانیکی اجرا شده و تاخیر ناشی از احداث سازه‌های تاخیری در کاهش سرعت جریان ارتباط دارد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر تاثیر اقدامات کنترل سیل در آبخیز جعفرآباد استان گلستان بر پاسخ هیدرولوژیک جریان با آمار مشاهداتی هیدرومتری و هواشناسی و استفاده

از رویکرد هیدروگراف واحد، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از رویکرد هیدروگراف واحد تاثیر مقادیر متفاوت بارش و تداوم آن در دو دوره ارزیابی تا حد زیادی حذف شده است و تاثیر اقدامات آبخیزداری اجرا شده بر تغییر مولفه‌های هیدروگراف واحد جریان مد نظر قرار گرفته است. در استفاده از منحنی تی در تبدیل هیدروگراف سیل به هیدروگراف واحد و یا سایر روش‌های تبدیل هیدروگراف، بخشی از خطا می‌تواند در صاف کردن تضاریس منحنی S باشد. از طرفی با توجه به بازه زمانی محور افقی هیدروگراف که در تحقیق حاضر دو ساعت است، این بازه زمانی می‌تواند با توجه به مساحت کم و پاسخ سریع حوزه در استخراج و یا تبدیل زمانی هیدروگراف خطا ایجاد نماید. نتایج مقایسه هیدروگراف واحد شاخص حوزه در دوره قبل و بعد از اقدامات سازه‌ای در آبخیز مورد مطالعه نشان‌دهنده افزایش دبی اوج و زمان پایه و کاهش زمان تا اوج هیدروگراف واحد بعد از انجام عملیات آبخیزداری شده است. از نظر آماری تاثیر عملیات آبخیزداری بر روی مولفه دبی اوج و زمان تا اوج معنی‌دار نبوده و فقط تاثیر اقدامات سازه‌ای بر روی مولفه زمان پایه را نشان داد. نمودارهای جعبه‌ای مولفه‌های هیدروگراف نیز تاثیر اقدامات سازه‌ای بر افزایش زمان پایه را نشان داد. به‌عبارتی تاثیر اقدامات سازه‌ای با توجه به هیدروگراف واحد شاخص در دو دوره برای دبی اوج و زمان تا اوج منفی و زمان پایه مثبت بوده است. در حالی که ازنظر آماری احداث سازه فقط بر مولفه زمان پایه تاثیر مثبت داشته و در مورد دبی اوج و زمان تا اوج تاثیری نداشته است. دلیل این عدم تاثیر را می‌توان به احداث سازه‌های مکانیکی در آبراهه‌های نزدیک به خروجی حوزه نسبت داد. احداث سازه‌های تاخیری در سرشاخه‌های نزدیک به خروجی باعث تاخیر جریان در مجاورت خروجی و ایجاد همزمانی در مقادیر اوج سیلاب ناشی از سازه‌های بالا دست شده است و به‌عبارتی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی زمان تا اوج هیدروگراف واحد نداشته است.

در مجموع بر اساس نتایج، تاثیر اقدامات اجرا شده غیر از افزایش زمان پایه در مورد دو مولفه دبی اوج و زمان تا اوج مثبت ارزیابی نمی‌شود. هم‌چنین می‌توان نتیجه گرفت که احداث سازه‌های آبخیزداری در بخش پایین دست آبخیز باعث کاهش زمان تمرکز آبخیز و در نتیجه تلاقی دبی اوج بخش بالادست و پایین دست آبخیز در جریان وقوع سیلاب شده است. بر اساس نتایج می‌توان گفت یکی از عواملی که باید در مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری در مواردی که اجرای سدهای اصلاحی در آبخیزها پیشنهاد می‌گردد بایستی در نظر گرفته شود، زمان تمرکز زیرحوزه‌ها می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود که در مطالعات پایه آبخیزداری به‌جای محاسبه زمان تمرکز با روش‌های مختلف برای کل آبخیز، زمان تمرکز زیرحوزه‌ها با یک روش مشخص محاسبه شود و به‌عنوان راهنمایی در اختیار کارشناس برای مکان‌یابی صحیح و بهینه محل سازه‌ها قرار گیرد تا از اثرات نامطلوب وقوع همزمان دبی اوج زیرحوزه‌ها جلوگیری به‌عمل آید. استفاده از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی مانند اشنایدر و سایر مدل‌هایی که از خصوصیات فیزیوگرافی آبخیز برای محاسبه هیدروگراف واحد مصنوعی استفاده می‌کنند در ارزیابی واکنش آبخیز به تغییرات مدیریتی می‌تواند مفید باشد.

منابع

ابراهیمی، پ.، ج. سلیمی کوچی و م. محسنی ساروی. ۱۳۹۶. تاثیر عملیات آبخیزداری بر آبنمود سیل با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رامیان). علوم و مهندسی آب، سال هفتم، شماره شانزدهم، ص ۸۵-۹۸.

جهاد کشاورزی استان گلستان، ۱۳۸۵. کتابچه طرح‌های آبخیزداری انجام شده در آبخیزهای استان گلستان. ۶۲ ص.

روغنی، م.، س.م. طباطبایی و ص. شادفر. ۱۳۸۹. ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۱۳، ص ۶۰-۵۱.

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، ص ۹۶ تا ۱۰۲.

صفوی، ح،ر. ۱۳۸۵. هیدرولوژی مهندسی. انتشارات اردکان، ۶۲۰ ص.

طالبی، ع.، م. عشقی‌زاده، م. دستورانی و ح. عظیم‌زاده. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری بر توزیع جریان سطحی با استفاده از معرفی الگوریتم توزیع. اکوهیدرولوژی. دوره ۱، شماره ۲، ص ۹۷-۸۳.

کارآموز، م.، و ش. عراقی‌نژاد. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارت دانشگاه صنعتی امیر کبیر. ۴۶۵ ص.

مصطفی‌زاده، ر. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی تاثیرات هیدرولوژیکی سازه‌های اصلاحی به منظور ارزیابی سناریوهای سازه‌ای کنترل سیل در آبخیز جعفرآباد، استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۴ ص.

مصطفی‌زاده، ر.، ا. سعدالدین، ع.ر. بهره‌مند و و.ب. شیخ. ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات هیدرولوژیک طرح آبخیزداری جعفرآباد استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS. مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره ۲، ص ۹۳-۸۳.

مصطفی‌زاده، ر.، ع.ر. بهره‌مند و م. ذبیحی. ۱۳۹۴. ارزیابی کارایی روش دیسکین به‌منظور استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای در آبخیز جعفرآباد، استان گلستان. اکوهیدرولوژی، دروه ۲، شماره ۲، ص ۱۵۰-۱۴۱.

نبی‌پور، ی.، م. وفاخواه، و ح. مرادی. ۱۳۹۳. اثر عملیات آبخیزداری بر خصوصیات سیل. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال هجدهم، شماره ۶۷، ص ۲۱۲-۱۹۹.

نورعلی، م.، و ب. قهرمان. ۱۳۹۵. ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر آبنمود سیل با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گوش و بهره). پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۳، ص ۷۱-۶۰.

Al Qudah, Kh., Q. Abdelal, C. Hamarneh and N. Abu-Jaber. 2016. Taming the torrents: The hydrological impacts of ancient terracing practices in Jordan. Journal of Hydrology, 542: 913-922

Chin, D.A. 2000. Water Resources Engineering. Prentice-Hall. Inc. 750p

Edwards, P.J., K.W.J. Williard and J.E. Schoonover. 2015. Fundamentals of watershed hydrology. Journal of Contemporary Water Research and Education, 154: 3-20

F.A.O. 2001. Small dams and weirs in earth and gabion materials. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Land and Water Development Division. 171p

FUSCO Engineering, Inc. 2008. Watershed assessment report. 28p

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

Hall, M.J. 1977. The effect of urbanization on storm runoff from two catchment areas in North London. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, 144 -152

Haque, C.E. 2000. Risk assessment, emergency preparedness and response to hazards: The case of the 1997 red river valley flood, Canada. Journal of Natural Hazards, 21: 225–245

Hill, Ch. 2008. City of Columbia Stormwater Utility: Review 2007 Stormwater Management and Water Quality Manual. 41p

Jain, S.K., and V.P. Singh. 2003. Water resources systems planning and development. Elsevier Science B. V. 883p

Kokkonen, T. 2003. Rainfall-Runoff modeling, comparison of modeling strategies with a focus on predictions and model integration. Ph.D Thesis in Technology, Helsinki University of Technology Water Resources Publications. 66p

Kumar, R., C. Chatterjee, A.K. Lohani, S. Kumar and R.D. Sing. 2002. Sensitivity analysis of the GIUH based Clark model for a catchment. Water Resources Management, 16: 263–278

Kusumastuti, D.I., and D. Jokowinarno. 2012. Time step issue in unit hydrograph for improving runoff prediction in small catchments. Water Resource and Protection, 4: 686-693.

Lammersen, R., H. Engel, W. van de Langemheen and H. Buiteveld. 2002. Impact of river training and retention measures on flood peaks along the Rhine, Journal of Hydrology, 267, 115–124

Pilarczyk, K.W. 2007. Flood protection and management the Netherlands. Journal of Extreme Hydrological Events, New Concepts for Security, 385–407

Raghunath, H.M. 2006. Hydrology: Principles, Analysis and Design. New Age International. 476p.

Ramirez, J.A. 2000. Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics. Chapter 11. Water Resources, Hydrologic and Environmental Sciences, 53p.

Roy, A., and R. Thomas. 2016. A comparative study on the derivation of unit hydrograph for Bharathapuzha river basin. Procedia Technology, 24: 62-69.

Sen, Z. 2008. Wadi Hydrology. Istanbul Technical University Turkey. Taylor & Francis Group, 347p.

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

Singh. V.P. 1988. Hydrologic Systems. Volume (1). Rainfall-runoff modeling. Prentice Hall. 480p.

USDA, Natural Resources Conservation Service. 2000. Hydrologic Effects of Land Use and Treatment. Chapter 12. Part 630 Hydrology. National Engineering Handbook. 12p

Wellmeyer, J. L., M.C. Slattery and J.D. Phillips. 2005. Quantifying downstream impacts of impoundment on flow regime and channel plan form, lower Trinity River, Texas. Geomorphology, 69:1 –13

Wen, J., Y. Lee, Sh. Cheng and J. Lee. 2014. Changes of rural to urban areas in hydrograph characteristics on watershed divisions. Natural Hazards, 74(2): 887-909

Yingchao, T. 2002. Analysis of the benefits of soil and water conservation for comprehensive harness in qinggangba small watershed. 12th ISCO Conference. Beijing. 488-493

Changes the watershed unit hydrograph response due to constructed small detention structures

Shahnaz Mirzaei[1] and Raoof Mostafazadeh[2]

Abstract

Watershed management structures affect the hydrological outflow hydrograph components such as peak discharge, time to peak, base time and runoff volume. The unit hydrograph approach can be used to evaluate the effects of watershed management practices on hydrologic response, through comparison of unit hydrograph derived from recorded observed events before and after the management practices in the watershed The hydrologic evaluation reports of watershed measures can be helpful in design improvement and implementation of flood control structures. The aim of this study was to evaluate the effect of small detention dams on watershed unit hydrograph response in Jafar-abad watershed (with an area of 10900 ha), Golestan Province. The 43 recorded rainfall-runoff events were analyzed before and after the mechanical measures and the Tc-duration unit hydrograph were derived. In this regard, the D-hr hydrographs were converted to Tc-hr hydrographs using S-curve method Then the unit hydrograph components were obtained for pre and post construction of structural measures and hydrograph components were analyzed using t-test analysis and Box-and-whisker plots. The results showed an increase in the peak flow and base time of index unit hydrograph and also the time to peak of the unit response decreased due to constructed measures. While, the statistical analysis showed a significant difference (p-value<0.05) due to the effect of structural measures on unit hydrograph base-time component and increasing it up to 6 hours (on average) in the post construction period. Although the mean value of time to peak has reduced from 15.9 to 14.8 hrs, which was not statistically significant. In general, the watershed response and resultant hydrograph component of the watershed are affected due to the implementation and allocation of detention structures in the watershed.

Keywords: Unit response, Hydrologic behavior, Time of concentration, Check-dam, Unit hydrograph

[1] - Ph.D student of Watershed Management Sciences and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 09146275673, mirzaeishahnaz@gmail.com

[2] - Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 09144815743, raoofmostafazadeh@uma.ac.ir (Corresponding Author)