

بررسی اثر سدهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیلاب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسکندری اصفهان)

مهرنوش هادیان جزی^۱، محمدرضا هادیان^۲، علی طالبی^۳

چکیده

سدهای اصلاحی از جمله پروژه‌های آبخیزداری هستند که به منظور کاهش خطرات ناشی از سیل در حوزه‌های آبخیز احداث می‌گردند. با توجه به سابقه طولانی آبخیزداری در کشور، ارزیابی کمی اقدامات انجام شده به منظور تعیین میزان موفقیت این فعالیت‌ها و تصمیم‌گیری صحیح در خصوص اجرای بهینه این گونه طرح‌ها در برنامه‌های آتی، اقدامی ضروری می‌باشد. بر این اساس در این پژوهش حوزه آبخیز اسکندری واقع در غرب استان اصفهان، به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد و اثر ۳۳۰ سد اصلاحی ساخته شده در سرشاخه‌های این حوزه، بر دبی بیشینه سیلاب مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور برای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب و مقایسه تغییرات دبی قبل و بعد از انجام این اقدامات از مدل HEC-HMS استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که عملیات مذکور موجب کاهش دبی بیشینه سیلاب به میزان ۱۱/۵۶ درصد در خروجی حوزه گردیده‌اند و همچنین توانسته‌اند زمان رسیدن به دبی اوج را افزایش دهند، اما با افزایش دوره بازگشت سیلاب تأثیر این سازه‌ها بر کاهش دبی سیل کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: سد اصلاحی، کنترل سیل، دبی اوج، مدل HEC-HMS

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد (mehrnooshadian@stu.yazd.ac.ir)

۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد (mr_hadian@yazd.ac.ir)

۳. استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد (talebidf@yazd.ac.ir)

بررسی آمار مربوط به خسارات سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از این وقایع به منابع طبیعی است. لذا تدوین برنامه‌هایی با هدف مهار و کنترل سیلاب، امری ضروری به نظر می‌رسد (۴). یکی از اقدامات مکانیکی آبخیزداری که به این منظور اجرا می‌شود را می‌توان احداث سدهای اصلاحی در مناطق مستعد بیان کرد. این سدها موانعی کوچک با هندسه و سازه‌ای ساده می‌باشند که در عرض آبراهه‌ها ساخته شده و با کاهش سرعت جریان و تله‌اندازی رسوبات، موجب کاهش دبی اوج سیلاب می‌شوند (۱۰). با توجه به حجم عملیات انجام شده در این راستا طی سال‌های اخیر و از طرفی روند رو به افزایش تخریب منابع طبیعی، ضروری است تا سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در این زمینه مورد ارزیابی قرار گیرد. ارزیابی اقدامات آبخیزداری در دنیا سابقه‌ای بیش از ۷۰ سال دارد (۳). مور^۱ (۶) با بررسی ۳۰۰ سازه احداث شده در سرشاخه‌های حوزه آبخیز تگزاس، نتیجه گرفت که در زیرحوزه‌های مختلف دبی از ۴۸ تا ۹۸ درصد کاهش یافته است. پولیاکو^۲ و همکاران (۷) با بررسی اثر سدهای اصلاحی خشکه‌چین بر رواناب در جنوب آریزونا، دریافتند که سدهای اصلاحی تأثیر قابل توجهی بر حجم رواناب حاصل از بارندگی‌های شدید ندارند، اما رواناب حاصل از بارش‌هایی با دوره بازگشت کمتر از یک سال را کاهش می‌دهند. یان^۳ و همکاران (۱۱) با ارزیابی اثر تعداد سدهای اصلاحی بر رواناب حوزه، نتیجه گرفتند که افزایش تعداد سدهای اصلاحی با رعایت فاصله مناسب، موجب افزایش ذخیره و زمان تمرکز حوزه می‌شود. در ایران نیز روشنی (۸) با ارزیابی اثر سدهای اصلاحی بر دبی اوج سیلاب در حوزه آبخیز کن، نتیجه گرفت در صورتی که تعداد سدها آنقدر زیاد باشد که بتواند شیب مسیر را از ۹/۶٪ به حالت فعلی است به ۲٪ کاهش دهد، دبی پیک در خروجی حوزه ۳۱٪ کاهش خواهد داشت. روغنی (۱) تأثیر سدها در کنترل رواناب را بررسی نمود و نشان داد که سازه‌های موجود علاوه بر نفوذ دادن عمقی رواناب قادر به کاهش شیب و سرعت جریان بوده و دارای اثر مثبت در کنترل سیل می‌باشند. جندانی و همکاران (۲) با ارزیابی اثر سدهای اصلاحی بر کنترل سیلاب و رسوب، نتیجه گرفتند که پس از اتمام عمر مفید این سدها پاسخ‌های حوزه به شرایط قبل از اجرای عملیات بازمی‌گردد و کوتاهی عمر مفید ضعف بسیار مهم این نوع از عملیات آبخیزداری می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر سدهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیل و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج در حوزه آبخیز اسکندری پرداخته می‌شود. همچنین روند تغییر اثر این اقدامات با افزایش دوره بازگشت سیلاب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

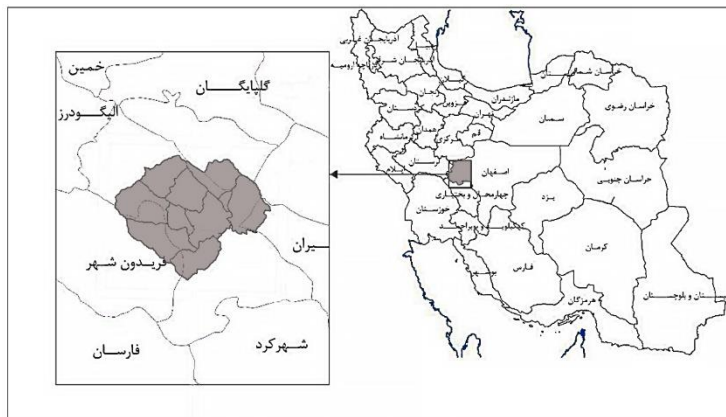
حوزه آبخیز اسکندری از نظر تقسیمات کشوری جزء استان اصفهان محسوب شده و واقع در غرب این استان می‌باشد. این حوزه با داشتن مساحتی بالغ بر ۱۶۲۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۲۶۲۶ متر از سطح دریا، دارای مختصات جغرافیایی ۵۰°۳۰' تا ۵۰°۰۲' طول شرقی و ۳۲°۴۲' تا ۳۳°۱۱' عرض شمالی می‌باشد که در حوزه آبخیز سد زاینده‌رود واقع شده است (شکل ۱). میزان بارش

¹ Moore

² Polyakov

³ Yuan

متوسط در منطقه ۳۳۴/۶ میلی‌متر در سال می‌باشد. به منظور کاهش سیل‌خیزی و کنترل رسوب حوزه، عملیات مکانیکی سازه‌ای شامل احداث بندهای خشکه‌چین و سنگی ملاتی در این حوزه اجرا شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اصفهان

۲-۲- مدل‌سازی حوزه

در این مطالعه ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به تهیه نقشه‌های شبکه زهکشی و محدوده زیرحوزه‌ها پرداخته شد و با استفاده از افزونه HEC-GeoHMS در این نرم‌افزار، برخی از خصوصیات فیزیوگرافیک زیرحوزه‌ها و آبراهه‌ها تعیین گردید. سپس به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب از مدل HEC-HMS استفاده شد. این مدل توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیکی ارتش آمریکا به منظور تهیه هیدروگراف سیل ارائه شده است که دارای چندین زیرمدل در بخش‌های رواناب، جریان سطحی و آب پایه می‌باشد و برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز به کار می‌رود. این مدل دارای سه بخش اصلی به نام‌های مدل حوزه، مدل هواشناسی و مدل مشخصات کنترل می‌باشد (۹). پس از تعیین اجزاء زیرحوزه، بازه، اتصال و مخزن، مدل حوزه در نرم‌افزار HEC-HMS تهیه شد و مشخصات زیرحوزه‌ها وارد مدل گردید. با استفاده از نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک، شماره منحنی وزنی هر زیرحوزه تعیین شد. این مدل در بخش زیرحوزه دارای سه زیربخش تلفات، انتقال و آب پایه است. به منظور تبدیل بارش به رواناب در زیرحوزه‌ها از روش SCS استفاده شد که روابط آن به صورت زیر می‌باشد (۹).

$$T_{lag} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \quad (1)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2)$$

در رابطه ۱، T_{lag} زمان تأخیر بر حسب ساعت، L طول آبراهه اصلی بر حسب فوت و y شیب متوسط حوزه بر حسب درصد می‌باشد. در رابطه ۲، S حداکثر پتانسیل ذخیره حوزه بر حسب اینچ و CN شماره منحنی متوسط وزنی حوزه است. در این بخش زمان تأخیر به تفکیک برای هر زیرحوزه محاسبه و وارد مدل شد. به منظور روندیابی آبراهه‌ها از روش Lag استفاده شد و پارامتر زمان تأخیر برای هر آبراهه با در نظر گرفتن شیب حد برای آبراهه‌های دارای سد اصلاحی، محاسبه و وارد مدل گردید. جهت ایجاد مدل

هواشناسی، ابتدا توزیع مکانی رگبارهای انتخاب شده با استفاده از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه به روش عکس مربع فاصله تهیه شد. بارش متوسط رویدادهای مختلف برای هر زیرحوزه در جدول ۱ ارائه شده است. توزیع زمانی رگبارها نیز با استفاده از کاغذهای باران‌نگار ایستگاه سینوپتیک «داران» تعیین گردید و داده‌های سیلاب از آمار ایستگاه هیدرومتری «اسکندری» واقع در خروجی حوزه استخراج شد. میزان دبی اوج ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری برای رویدادهای موردنظر در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به مطالب ذکر شده، اطلاعات موردنیاز در بخش مدل هواشناسی وارد گردید.

جدول ۲- دبی اوج ثبت شده		جدول ۱- بارش متوسط رویدادهای مختلف به تفکیک زیرحوزه‌ها بر حسب میلی‌متر											
دبی اوج (m ³ /s)	رویداد	زیرحوزه										رویداد	
		J	I	H	G	F	E	D	C	B	A		
۴۴/۶	۱۳۹۱/۱۲/۱۵	۲۰/۳	۲۲/۵	۲۱/۹	۲۳	۲۲/۹	۲۳/۶	۱۸/۷	۲۱/۲	۱۹	۲۰/۱	۱۳۹۱/۱۲/۱۵	
۲۲/۴	۱۳۹۱/۰۲/۰۳	۱۴	۱۲/۲	۱۸/۳	۱۴/۸	۱۳/۵	۱۵/۱	۱۴/۲	۱۶/۶	۱۳/۲	۱۴/۴	۱۳۹۱/۰۲/۰۳	
۳۱/۲	۱۳۹۴/۰۸/۰۷	۱۴/۱	۱۸/۳	۱۶/۵	۱۷	۱۵/۳	۱۷/۲	۱۶/۲	۱۸/۵	۱۸/۳	۱۷/۱	۱۳۹۴/۰۸/۰۷	
۱۳/۵	۱۳۹۴/۰۹/۲۳	۱۱/۵	۱۲/۲	۱۱/۱	۱۰/۶	۱۰/۸	۱۳	۱۱/۵	۱۲/۳	۱۰	۱۱/۲	۱۳۹۴/۰۹/۲۳	
۲۶/۸	۱۳۹۷/۰۲/۱۹	۱۳/۶	۱۴/۴	۱۷/۱	۱۵/۶	۱۱/۲	۱۲/۱	۱۵/۲	۱۳/۶	۱۴/۹	۱۴/۸	۱۳۹۷/۰۲/۱۹	
۱۶/۳	۱۳۹۸/۰۱/۱۱	۱۳/۸	۱۱/۸	۱۰/۲	۱۲/۳	۱۵/۲	۱۵	۱۶/۱	۱۶/۲	۱۵/۳	۱۵/۶	۱۳۹۸/۰۱/۱۱	

در بخش مدل مشخصات کنترل نیز اطلاعات شروع و پایان فرایند شبیه‌سازی برای هر رگبار تعیین گردید. سپس مدل با در نظر گرفتن سدهای اصلاحی اجرا شد. بدین منظور محل سازه‌ها بر روی پروفیل مشخص گردید و شیب جدید در قسمت احداث سازه‌ها با در نظر گرفتن طول رسوب‌گذاری پشت هر سد، به طور وزنی محاسبه شد. با توجه به اینکه اثر ساخت سدهای اصلاحی بر کاهش شیب طولی آبراهه مدنظر است، تغییرات موردنظر از طریق اثر بر زمان تمرکز و زمان تأخیر زیرحوزه‌ها در ورودی مدل اعمال گردید. در این مطالعه جهت مدل‌سازی سدهای اصلاحی در نرم‌افزار از عنصر مخزن استفاده شد و در حالت بررسی شرایط حوزه قبل از احداث این عنصر حذف گردید. برای تعیین پارامترهای مناسب جهت واسنجی از آنالیز حساسیت استفاده گردید. بدین منظور آنالیز حساسیت برای چهار پارامتر زمان تأخیر، تلفات اولیه، شماره منحنی و درصد نفوذناپذیری تهیه شد. مدل با سه واقعه مشاهداتی واسنجی گردید و پس از آن مدل واسنجی شده با سه واقعه دیگر مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. در این مرحله کارایی مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با استفاده از شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف^۱ (رابطه ۳) و اریبی مدل در برآورد حجم جریان (رابطه ۴) مورد بررسی قرار گرفت.

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=0}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (۳)$$

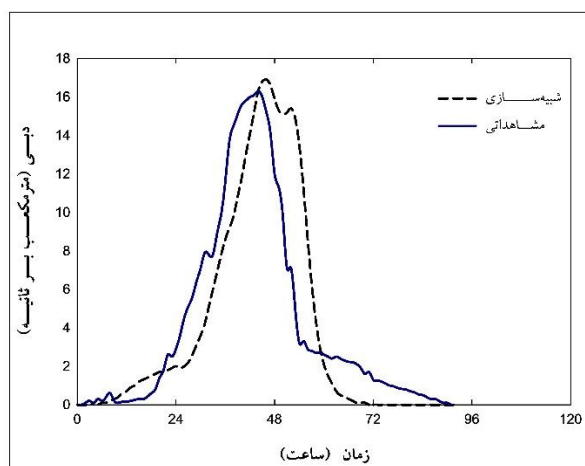
$$Bias = \left(\frac{\sum_{i=0}^n Q_{si}}{\sum_{i=0}^n Q_{oi}} \right) - 1 \quad (۴)$$

^۱ Nash-Sutcliffe coefficient

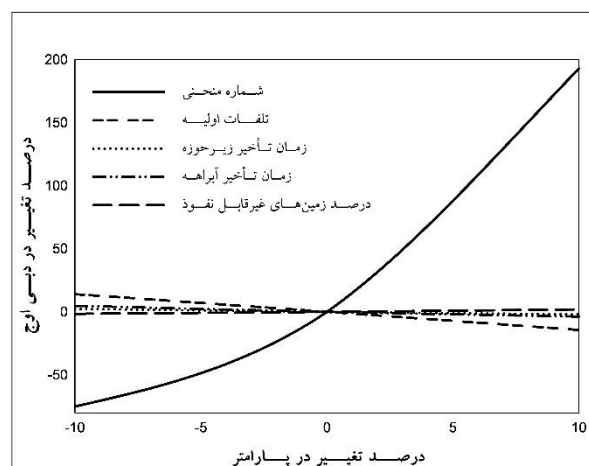
در این روابط Q_{oi} و Q_{si} مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و $\bar{Q}_0$ مقدار دبی متوسط مشاهداتی می‌باشد. در معیار نش-ساتکلیف، مقدار عددی یک نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی می‌باشد. در صورتی که هر چه میزان اریبی مدل در برآورد حجم جریان کمتر باشد، کارایی مدل بالاتر خواهد بود (۵). برای مقایسه وضعیت دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث سازه‌ها، ابتدا پراکنش مکانی بارش در سطح حوزه برای هر دوره بازگشت با استفاده از منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی حوزه تعیین گردید و متوسط بارش در هر زیرحوزه محاسبه شد. سپس با استفاده از مدل واسنجی شده، رفتار هیدرولوژیک آبخیز در دو وضعیت قبل و بعد از احداث سازه‌ها در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله، شبیه‌سازی گردید.

۳- نتایج و بحث

با توجه به اینکه مدل نسبت به تغییرات شماره منحنی و تلفات اولیه حساسیت بیشتری نشان داد (شکل ۲)، این دو پارامتر جهت واسنجی انتخاب شدند. با استفاده از پارامترهای بهینه شده، مدل با ۳ رویداد دیگر مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. شکل ۳ هیدروگراف شبیه‌سازی شده مربوط به رویداد ۱۳۹۸/۰۱/۱۱ را پس از اعتبارسنجی مدل نشان می‌دهد. کارایی مدل نیز در مرحله اعتبارسنجی با استفاده از شاخص‌های نش-ساتکلیف و اریبی در برآورد حجم جریان به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۱۱ بود.



شکل ۳- هیدروگراف شبیه‌سازی شده پس از اعتبارسنجی (۱۳۹۸/۰۱/۱۱)

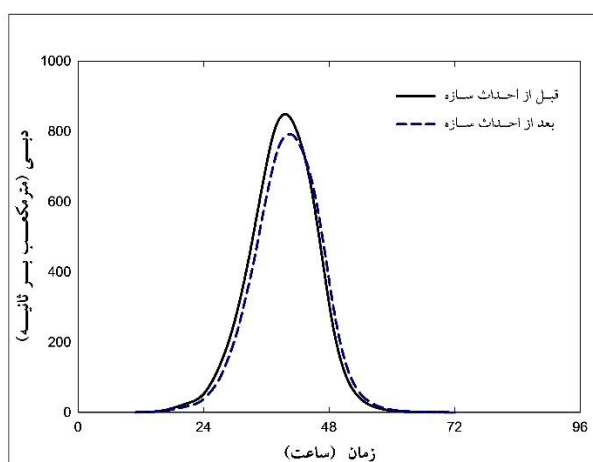


شکل ۲- آنالیز حساسیت مدل به ازای تغییر پارامترها

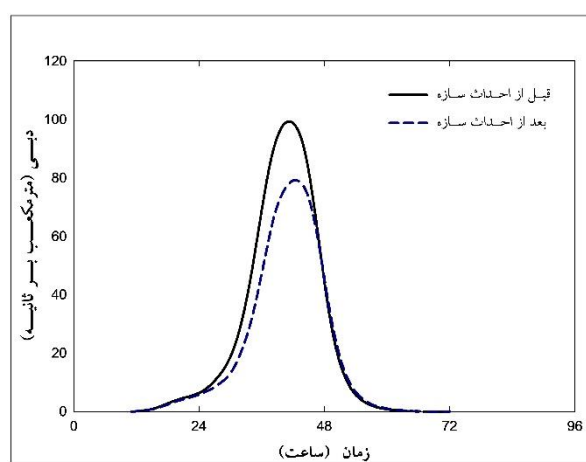
با استفاده از پارامترهای بهینه شده، مدل برای هر یک از سناریوهای قبل و بعد از احداث سدهای اصلاحی به طور جداگانه شبیه‌سازی شد و هیدروگراف سیل به دست آمد. جدول ۳ اثر احداث سازه‌ها بر دبی اوج و درصد اختلاف این مقادیر را نشان می‌دهد. به طور نمونه هیدروگراف سیلاب کل حوزه برای دوره بازگشت‌های ۲ و ۱۰۰ سال در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است.

جدول ۳- اثر احداث سازه‌ها بر دبی اوج سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت	دبی اوج (m^3/s)		میزان اختلاف (%)
	قبل از احداث سد	بعد از احداث سد	
۲	۹۹/۳	۷۹/۱	۲۰/۳۴
۵	۲۵۴/۱	۲۲۱/۴	۱۲/۸۷
۱۰	۳۸۱/۳	۳۴۱/۶	۱۰/۴۱
۵۰	۷۰۰/۸	۶۴۸/۳	۷/۴۹
۱۰۰	۸۴۷/۵	۷۹۰/۸	۶/۶۹



شکل ۵- هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل ۴- هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت ۲ سال

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر دلالت بر توانایی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری دارد. همچنین قابلیت استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به منظور دقت در تأمین ورودی‌های مدل، کارایی تلفیق آن‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در اثر اجرای عملیات، به طور متوسط ۱۱/۵۶ درصد از دبی اوج در دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال کاهش یافته است. پس از بررسی اثر عملیات مکانیکی بر زمان تمرکز و زمان تأخیر، مشاهده شد که عملیات مذکور تأثیر قابل توجهی بر بهبود وضعیت زمان تأخیر آبخیز نداشته‌اند که دلیل آن می‌تواند ناشی از عدم رعایت فاصله مناسب بین سازه‌ها و عدم اجرای آن‌ها در برخی آبراهه‌های اصلی باشد.

بر اساس تجمیع نتایج این تحقیق، درصد تأثیر سازه‌ها بر دبی اوج سیلاب با افزایش دوره بازگشت کاهش یافته و بیشترین تأثیر مربوط به دوره بازگشت‌های پایین بوده است.

در این تحقیق بررسی فقط از دیدگاه سیل‌خیزی مدنظر بوده و در این راستا می‌توان با بررسی اثر اقدامات انجام شده بر میزان رسوبدهی آبخیز و مشخص نمودن نقاط قوت و ضعف طرح، قضاوت بهتری از تأثیر عملیات ارائه نمود.

۵- منابع

۱. روغنی، م.، طباطبایی، س.م. و شادفر، ص. ۱۳۸۹. ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴(۱۳): ۵۱-۶۰.
۲. عباسی جندانی، ش.، نظری سامانی، ع.ا. و حشمت‌الواعظین، س.م. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد سدهای اصلاحی در کنترل دبی و بار رسوبی در دوره عمر مفید آنها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کند). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷(۲): ۸۹-۱۰۸.
۳. کاویان، ع.ا.، محمدی، م.ا. و آزموده، ع. ۱۳۹۳. اثرات احداث سدهای اصلاحی بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز محمدآباد ساری. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۴(۳۵): ۲۱۳-۲۳۰.
4. Brouwer, R. and R. Van Ek. 2004. Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood control policies in the Netherlands. *Ecological economics*, 50(1-2): 1-21.
5. Krause, P., D. Boyle and F. Base. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, 5: 89-97.
6. Nyssen, J., M. Veyret-Picot, J. Moeyersons, M. Haile, J. Dickers and G. Govers. 2004. The effectiveness of loose rock check dams for gully control in Tigray, northern Ethiopia. *Soil use and management*, 20: 55-64.
7. Polyakov, V., M.H. Nichols, M.P. McClaran and M.A. Nearing. 2014. Effect of check dams on runoff, sediment yield, and retention on small semiarid watersheds. *Journal of soil and water conservation*, 69(5): 414-421.
8. Roshani, R. 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures (Kan case study in Iran). Thesis submitted to the I.T.C institute for the degree of Master of Science. Enschede, the Netherland, 54p.
9. USACE (US Army Corps of Engineers). 2021. HEC-HMS technical reference manual. Hydrologic Engineering Center, 648p.
10. Yazdi, J., M.S. Moghaddam and B. Saghafian. 2018. Optimal design of check dams in mountainous watersheds for flood mitigation. *Water resources management*, 32(14): 4793-4811.
11. Yuan, S., L. Zhanbin, L. Chen, L. Peng, Z. Zhang, J. Zhang, A. Wang, K. Yu. 2021. Effects of a check dam system on the runoff generation and concentration processes of a catchment on the Loess Plateau. *International soil and water conservation research*, 10(1): 86-98.

Investigation of the effect of check dams on reduction of flood peak (Case study: Eskandari watershed, Isfahan province)

Mehrnoosh Hadian Jazi¹, Mohammadreza Hadian², Ali Talebi³

Abstract

Check dams are among the watershed management projects that are constructed in order to reduce the risks of floods in watersheds. Due to the long history of watershed management in Iran, it is a necessary step to govern the success of these activities and the making correct decision on the optimal execution of such projects in future plans through quantitative evaluation. Accordingly, in this study, Eskandari watershed located in the west of Isfahan province was selected as a study area and the effect of 330 check dams built on this district on flood peak was investigated. For this purpose, HEC-HMS model was used to simulate the rainfall-runoff process and compare flow changes before and after these measures. The simulation results showed that the mentioned operations have reduced the flood peak by 11.56% at the outlet of the watershed and have also been able to increase the time to reach the flood peak, but with increasing flood return period, the effect of these structures on reducing flood peak has decreased.

Keywords: Check dam, Flood control, Flood peak, HEC-HMS model

¹. Master of science student in water and hydraulic structures engineering, Yazd University; mehmooshhadian@stu.yazd.ac.ir

². Assistant Professor, Yazd University; mr_hadian@yazd.ac.ir

³. Professor, Yazd University; talebidf@yazd.ac.ir