

تاثیر رسوب‌گذاری در مخازن سدهای اصلاحی خشکه‌چین بر دبی بیشینه سیل حوزه‌های آبخیز کوچک

سید علی اصغر هاشمی^{۱*} و سارگیس قازاریان^۲

^۱ مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان و ^۲ استاد، دانشگاه ملی کشاورزی، ارمنستان

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۳

چکیده

در این پژوهش به منظور ارزیابی اثر سدهای اصلاحی خشکه‌چین بر دبی بیشینه و حجم سیلاب در حوزه‌های آبخیز کوچک، دو زیرحوضه کوچک از حوزه آبخیز در جزین سمنان انتخاب شدند. منطقه مورد مطالعه جزء مناطق خشک تا نیمه‌خشک در بخش جنوبی البرز می‌باشد. حوضه‌های مورد پژوهش در بالادست شهر مهدی‌شهر واقع شده‌اند و به منظور کاهش سیلاب‌های منتهی به این شهر، تعداد زیادی سد اصلاحی در سال‌های گذشته در این دو زیرحوضه آبخیز احداث شده که در طی عملیات صحرایی، موقعیت تمامی این سدهای اصلاحی تعیین و وضعیت رسوب‌گذاری مخازن آن‌ها ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مخازن تمامی سدهای اصلاحی از رسوب پر شده‌اند. بنابراین، در این پژوهش مقادیر دبی بیشینه و حجم سیلاب زیر حوضه‌ها برای سه سناریوی (۱) حوضه‌های فاقد سد اصلاحی (۲) سدهای اصلاحی با مخزن خالی و (۳) سدهای اصلاحی با مخزن پر از رسوب مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور شبیه‌سازی بارش-رواناب از مدل HEC-HMS استفاده شد. آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش جفتی برای سه سناریو نشان داد که دبی بیشینه و حجم سیلاب برای هر سه سناریو دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد. ولیکن دبی بیشینه و حجم سیلاب در سناریوی ۲ نسبت به سناریوی ۱ کاهش یافته و دبی بیشینه و حجم سیلاب در سناریوی ۳ نسبت به سناریوی ۲ افزایش یافته‌اند. از طرفی دبی بیشینه و حجم سیلاب سناریوی ۳ نسبت به سناریوی ۱، کاهش ناچیزی به ترتیب برابر ۴/۸ و ۵/۷ درصد را نشان می‌دهد که با توجه به اهداف پروژه، قابل توجه نمی‌باشند.

واژه‌های کلیدی: بارش-رواناب، حجم سیلاب، سمنان، شبیه‌سازی، مدل HEC-HMS

مقدمه

سازه مهندسی برای حفاظت خاک در مناطق فرسایش‌پذیر است. برخی از سدهای اصلاحی ساده فقط از مصالح خاکی تشکیل شده‌اند، در حالی که در همه کشورها معمول نیستند. اجرای سدهای اصلاحی برای کنترل فرسایش خاک در برخی کشورها چون چین، فرانسه، ایتالیا، ایران و اسپانیا گزارش شده است

سدهای اصلاحی، سازه‌های کوچکی هستند که در عرض آبراهه‌ها، عمود بر جریان ساخته می‌شوند. این سازه‌های کوچک به صورت موقتی یا دائمی برای کاهش سرعت تمرکز جریان برای یک دامنه مشخصی از وقوع رگبار احداث می‌شوند. سد اصلاحی، نوعی

*مسئول مکاتبه: hashemiaa12@gmail.com

معنی داری نکرده است. این امر نشان می‌دهد که دلیل کاهش دبی اوج سیلاب، افزایش زمان تمرکز سیل در حوضه نبوده بلکه احتمالاً به دلیل افزایش حجم ذخیره موقتی در حوضه، دبی سیل نیز کاهش یافته است. علاوه بر این، Abbasi و همکاران (۲۰۱۰)، با بررسی تاثیر ۱۹۶ سازه اصلاحی گابیونی و سنگی-ملاتی در زمان تمرکز حوزه آبخیز کن در استان تهران، نشان دادند که سدهای اصلاحی نقش ناچیزی در افزایش زمان تمرکز حوضه داشته‌اند، به طوری که حداکثر افزایش زمان تمرکز حوضه ۱/۶۱ دقیقه برآورد شده است.

پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که سدهای اصلاحی قادرند تا دبی و حجم سیلاب را بسته به شرایط و خصوصیات حوضه‌های مورد بررسی کاهش دهند اما میزان این کاهش متفاوت بوده است (Moori، ۱۹۹۹؛ Karimi، ۲۰۰۹؛ Abbasi، ۲۰۱۰؛ Ojaghloo، ۲۰۰۱؛ Roshani، ۲۰۰۳؛ Hashemi، ۲۰۱۳). البته کاهش دبی سیل، غالباً در شرایط مخازن خالی از رسوب بوده و میزان کاهش سیل در وضعیت پر شدن مخازن از رسوب کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

در پژوهش حاضر با توجه به کاربرد سدهای اصلاحی از دو دیدگاه کنترل فرسایش و کنترل سیل در حوزه‌های آبخیز، سعی شد تا اثر این سازه‌ها بر دبی بیشینه و حجم سیل در حوضه‌هایی که سدهای اصلاحی با هدف کنترل سیل احداث شده‌اند در سه سناریوی (۱) حوضه فاقد سد اصلاحی (۲) حوضه دارای سدهای اصلاحی با مخازن خالی و (۳) حوضه دارای سدهای اصلاحی با مخازن پر از رسوب، مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در زیرحوضه مهدی‌شهر از حوزه آبخیز بزرگ درجزین در استان سمنان به انجام رسیده است که بین "۲۰' ۱۴' ۵۳" تا "۱۵' ۲۹' ۵۳" طول شرقی و "۴۹' ۴۵' ۳۵" تا "۱۱' ۵۷' ۳۵" عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). حوزه آبخیز درجزین با مساحت ۲۹۶/۱ کیلومتر مربع در بخش جنوبی کوه‌های البرز و در شمال شهر سمنان قرار گرفته

(Xu، ۲۰۱۳). سدهای اصلاحی می‌توانند از مصالح مختلف سنگ، کیسه‌های شن، سنگ‌ریزه و غیره ساخته شوند.

دبی بیشینه سیلاب از مهمترین پارامترهای مخرب سیل در حوزه‌های آبخیز است. اقدامات مختلفی برای کاهش دبی بیشینه سیل در دهه‌های اخیر انجام شده‌اند. احداث سد اصلاحی یکی از اقدامات اصلی برای کنترل سیل و رسوب در حوزه‌های آبخیز ایران بوده است که هزینه‌های سنگینی برای دولت داشته و کاربرد آن‌ها پس از سال ۱۳۶۹ به سرعت گسترش یافته است (Hashemi، ۲۰۱۳). این سازه‌های کوچک در حوزه‌های آبخیز بالادست سدهای بزرگ، اغلب با هدف کنترل رسوب و در سایر مناطق، به خصوص بالادست مناطق شهری با هدف کنترل سیلاب و بعضاً رسوب احداث می‌شوند.

حداکثر فاصله بین سدهای اصلاحی باید طوری باشد که پی سد بالادست هم ارتفاع با تاج سد پایین‌دست قرار گیرد (Lenzi، ۲۰۰۲؛ Lenzi و Comiti، ۲۰۰۳). رعایت این فاصله برای اصلاح پروفیل طولی آبراهه، افزایش زمان تمرکز و کاهش دبی بیشینه سیل در حوزه‌های آبخیز اهمیت زیادی دارد.

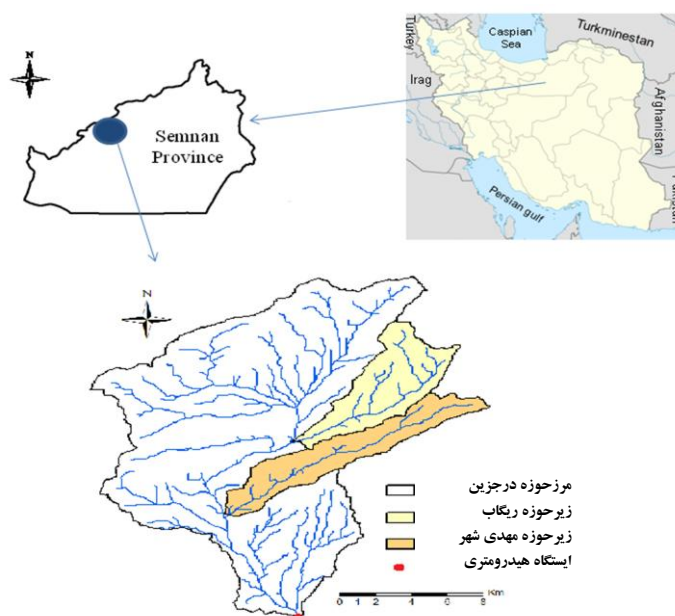
در ایران به دلیل رسوب‌دهی بالای بسیاری از حوزه‌های آبخیز، مخازن اغلب سدهای اصلاحی در طی سال‌های اولیه بهره‌برداری از رسوب پر می‌شوند و به عبارتی خاصیت کنترل رسوب خود را تا حد بسیار زیادی از دست می‌دهند. ولیکن در صورت تغییر پروفیل طولی رودخانه و به دنبال آن افزایش زمان تمرکز حوضه شاید بتوانند بر کاهش دبی سیلاب موثر واقع شوند.

Karimi (۲۰۰۹)، تاثیر ۲۳۴ سازه اصلاحی شامل سدهای اصلاحی خشکه‌چین، گابیونی و سنگی-ملاتی را بر تغییرات دبی سیلاب در حوزه آبخیز سیرا-کلوان از سرشاخه‌های سد کرج را ارزیابی نمود. ایشان به این نتیجه رسید که این اقدامات ۶۵/۸۶ درصد متوسط دبی اوج سیل و ۴۸/۴۲ درصد متوسط حجم سیل در حوزه را کاهش داده و متوسط زمان پایه سیل به میزان ۲/۰۴ ساعت افزایش یافته است، ولی سرعت آب و زمان تمرکز سیل در محل احداث سازه‌ها تغییر

میلی‌متر در سال می‌باشد و دارای اقلیم خشک سرد است (Arastoo و Hashemi, ۲۰۱۰).

در خروجی حوزه آبخیز درجزین، یک ایستگاه هیدرومتری اتوماتیک وجود دارد که داده‌های سیل را از سال ۱۳۶۵ ثبت می‌کند. در سال ۱۳۷۳ سد خاکی بزرگی در بخش میانی حوضه و در پایین‌دست شهر مهدی‌شهر احداث شد و به دلیل عدم سرریز نمودن هیچ سیلابی از این آن عبور ننموده است. لذا برای واسنجی مدل مورد استفاده، از آمار منتهی به سال ۱۳۷۳ ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه درجزین استفاده شده است.

است. شهر مهدی‌شهر یکی از شهرهای مهم و مسکونی در این حوزه آبخیز می‌باشد که سیل خیز است. در دو زیرحوزه آبخیز کوچک آن به نام‌های ریگاب (W350) و مهدی‌شهر (W410) که منتهی به شهر مهدی‌شهر می‌باشند، طی سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۷۹ بیش از ۸۰۰ سد اصلاحی با هدف کنترل سیل مهدی‌شهر احداث شده است که در حال حاضر تعداد ۶۶۱ سد اصلاحی باقی مانده و بقیه تخریب شده‌اند. بررسی صحرایی سدهای اصلاحی نشان داد که اغلب آن‌ها از رسوب پر شده‌اند. میانگین بارش بلندمدت منطقه برابر ۲۵۵/۸



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش

ETM⁺ و بازدیدهای میدانی تهیه شد. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیز بر اساس نوع خاک و کاربری اراضی و به روش سرویس حفاظت خاک آمریکا (Chow, ۱۹۸۸) تهیه شد که بر اساس آن خاک‌های منطقه در چهار گروه هیدرولوژیکی قرار گرفتند.

در حوزه آبخیز درجزین تعداد چهار ایستگاه باران‌سنجی وجود دارد. ایستگاه شه‌میرزاد به صورت خودکار و بقیه ایستگاه‌ها، غیرخودکار می‌باشند. تمامی برگه‌های ثبت بارش مربوط به ایستگاه شه‌میرزاد مورد ارزیابی قرار گرفتند و مقادیر بارش آن‌ها با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه استخراج شدند. یک ایستگاه

برای شبیه‌سازی بارش-رواناب و روندیابی سیل در حوضه، از مدل HEC-HMS (Ford و همکاران، ۲۰۰۸؛ Scharffenberg و Fleming, ۲۰۱۰) و برای استخراج اطلاعات فیزیوگرافیکی از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد. پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، نقشه‌های مورد نیاز شیب، جهت و تغییرات ارتفاعی تهیه شد. برای تقسیم‌بندی حوزه و زیرحوزه‌ها، از برنامه الحاقی HEC-GeoHMS در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (Doan و Fleming, ۲۰۰۹). نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

عملیات صحرایی گسترده در حوضه انجام شد و داده‌های موقعیت جغرافیایی، ارتفاع (H)، طول تاج (Wc)، عرض بستر (Wb) و طول مخزن (L) سدهای اصلاحی از طریق اندازه‌گیری مستقیم برداشت شد. بر اساس اطلاعات برداشت شده، حجم مخزن هر یک از سدهای اصلاحی برآورد شد. تصاویری از برداشت‌های صحرایی و نمایی از یک سد اصلاحی خشکه‌چین سنگی در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲- تصاویری از سدهای اصلاحی در برداشت‌های صحرایی

هیدرومتری مجهز به لیمنوگراف و پل تلفریک به نام درجزین در خروجی حوزه آبخیز وجود دارد. داده‌های سیلاب در این ایستگاه هیدرومتری، توسط شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان برداشت و آرشیو شده است.

به‌منظور واسنجی، بهینه‌سازی و اعتبارسنجی پارامترهای مدل HEC-HMS، تعداد ۱۰ رویداد سیل منتهی به سال ۱۳۷۳ حوضه انتخاب شدند که داده‌های بارش متناظر آن در حوضه وجود داشت. واسنجی روندی است برای تنظیم پارامترهای مدل، تا آنجا که انطباق قابل قبولی بین نتایج مدل و مشاهدات اندازه‌گیری شده حاصل شود. این امر به دو صورت دستی یا اتوماتیک انجام می‌شود تا با تنظیم پارامترها، مقدار تابع هدف خطی به حداقل رسانده شود و مقادیر پارامتر را در حالت بهینه پیدا کند. لذا بهینه‌سازی پارامترها یک روند تکراری بوده و در این روند ابتدا مقادیر اولیه‌ای برای پارامترها فرض می‌شود و تابع هدف محاسبه می‌شود، سپس در تکرارهای بعدی مقادیر پارامترها در دامنه مجاز خود به قدری تغییر داده می‌شوند تا تابع هدف به کمترین مقدار خود برسد. مقدار حداقل تابع هدف، نشان‌دهنده کوچک‌ترین اختلاف بین هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی بوده و لذا پارامترهای نظیر، پارامترهای بهینه شده می‌باشند.

به‌منظور واسنجی و بهینه‌سازی پارامترهای مدل HEC-HMS، ابتدا آنالیز حساسیت مدل به دو پارامتر CN و زمان تاخیر سیل، انجام شد و بعد از تعیین پارامتر حساس مدل درحوضه، آن پارامتر بر اساس نه رویداد سیل مشاهده‌ای بهینه‌سازی شد و با استفاده از یک رویداد باقی‌مانده، اعتبارسنجی مدل بهینه شده صورت گرفت. پس از آن، به‌دلیل این‌که سدهای اصلاحی مورد بررسی در دو زیرحوضه W410 و W350 پراکنش یافته بودند، مدل HEC-HMS براساس داده‌های بهینه شده، برای این دو زیرحوضه توسعه داده شد.

در زیرحوضه‌های مورد بررسی، تمامی سدهای اصلاحی به‌صورت خشکه‌چین و از مصالح سنگی در آبراهه‌های بالادست احداث شده‌اند. به‌منظور تعیین موقعیت دقیق و خصوصیات این سدهای اصلاحی

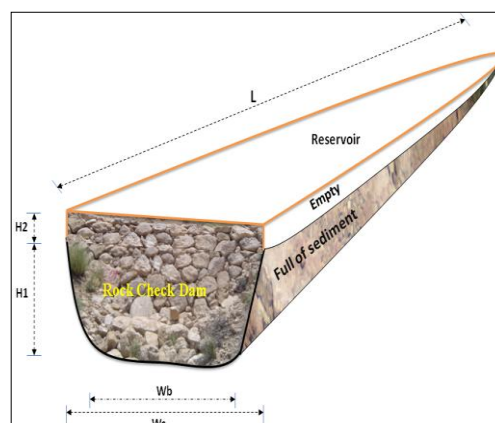
$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2)$$

که در آن‌ها، ME^2 کارایی، n تعداد مشاهدات، Q_{mean} میانگین مقادیر مشاهده‌ای، Q_i مقدار مشاهده‌ای، P_i مقدار برآوردی و $RRMSE$ میانگین نسبی ریشه مربعات خطا است. دامنه تغییرات ME از منفی بی‌نهایت تا یک می‌باشد که مقادیر نزدیک‌تر به یک نشان‌دهنده کارایی بالاتر و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم کارایی است. دامنه تغییرات $RRMSE$ از صفر تا بی‌نهایت است که مقادیر نزدیک‌تر به صفر نشان‌دهنده کارایی بیشتر می‌باشند.

نتایج و بحث

نقشه پراکنش سد‌های اصلاحی حوضه، منتج از برداشت‌های صحرایی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج آنالیز حساسیت مدل HEC-HMS از شبیه‌سازی بارش رواناب ده واقعه سیل در حوضه برای دو پارامتر CN و زمان تاخیر سیل (Lag time) در محدوده ۲۰ درصد بالا و پایین هر پارامتر نشان داد که مدل HEC-HMS، چندان به تغییرات زمان تاخیر سیل حساس نیست، درحالی‌که به تغییرات مقادیر CN در محدوده ۵- تا ۵+ درصد بسیار حساس می‌باشد (شکل ۴). مطالعه بهینه‌سازی شد و مقادیر جدید CN به‌دست آمد که نتایج بهینه‌سازی شده مقادیر CN در جدول ۱ ارائه شده است. نمونه‌ای از هیدروگراف بهینه‌سازی شده مربوط به رویداد ۱۵ خرداد ۱۳۷۱ در شکل ۵ ارائه شده است.

پس از تعیین مقادیر بهینه CN، برای اعتبارسنجی، سیل ۱۷ اسفند ۱۳۷۱ انتخاب و مدل با CN جدید برای این سیل شبیه‌سازی شد. در این رویداد سیلاب با دبی ۳۲ مترمکعب برثانیه ثبت شده است و مقدار شبیه‌سازی شده سیلاب برابر ۲۹ مترمکعب برثانیه می‌باشد (شکل ۶) که نشان می‌دهد مدل مذکور، سیلاب حوضه را با اختلاف حدود نه درصد شبیه‌سازی می‌نماید.



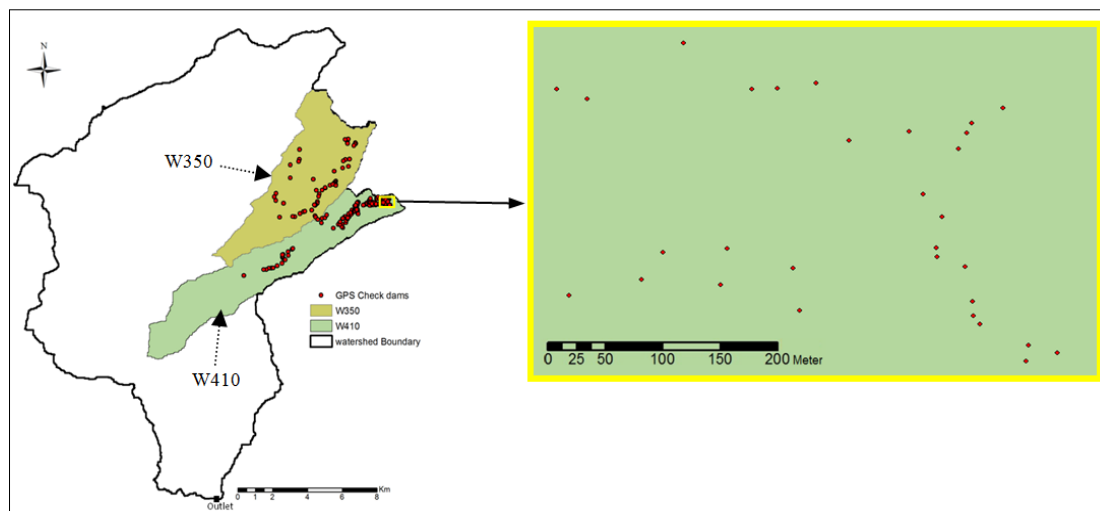
شکل ۳- تصویری از سد اصلاحی در برداشت‌های صحرایی و نمایی از یک سد اصلاحی خشک‌چین سنگی و

اطلاعات تمامی سد‌های اصلاحی موجود در حوضه به‌طور جداگانه در مدل HEC-HMS مربوط به هر زیرحوضه آبخیز وارد و شبیه‌سازی بارش-رواناب برای هر سه سناریو انجام شد. نتایج شبیه‌سازی به کمک آزمون آماری t-student و به‌روش جفتی برای هر دو سناریو با هم مقایسه شدند و مقایسه کارایی سد‌های اصلاحی خالی و پر بر میزان دبی و حجم سیل با استفاده از آماره میانگین نسبی ریشه مربعات خطا^۱ (Haregeweyn و همکاران، ۲۰۰۵) و همچنین، روش ناش و ساتکلیف (Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰) انجام شد که معادلات آن به شکل زیر می‌باشند.

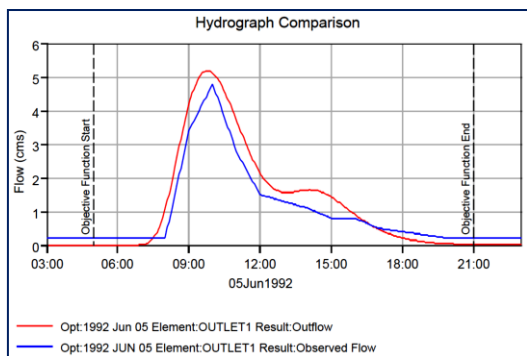
$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{mean})^2} \quad (1)$$

² Model Efficiency

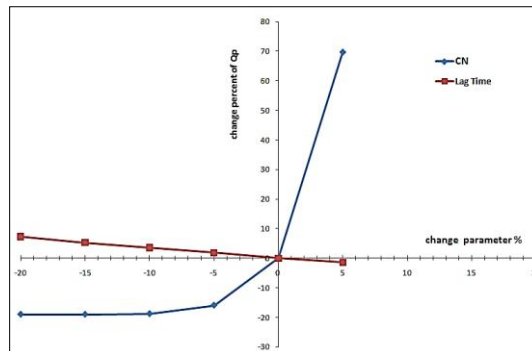
¹ Relative Root Mean Square Error (RRMSE)



شکل ۳- پراکنش سدهای اصلاحی خشکه‌چین سنگی در حوزه آبخیز در جزین



شکل ۵- مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و برآوردی سیل در رخداد ۱۵ خرداد ۱۳۷۱

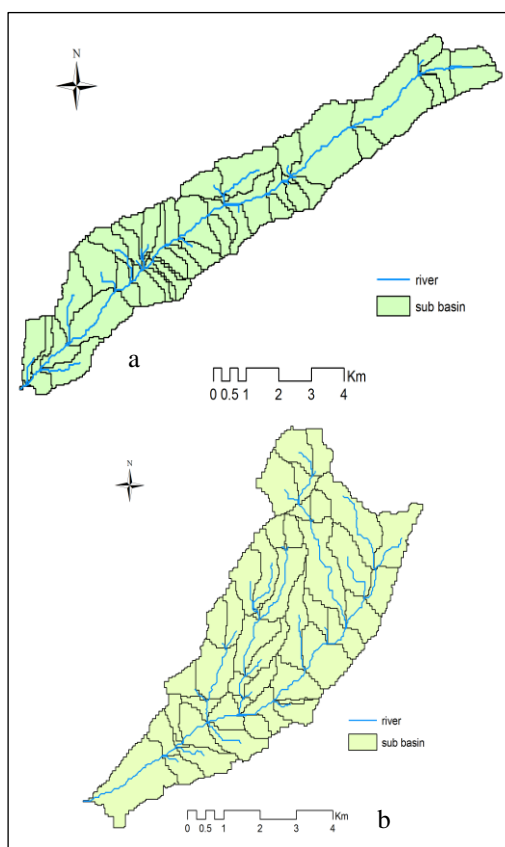


شکل ۴- دیاگرام حساسیت پارامترهای مدل در حوزه آبخیز در جزین

جدول ۱- جدول نهایی مقادیر متوسط CN بهینه‌سازی شده برای زیرحوزه‌های حوزه آبخیز در جزین

زیرحوزه	CN		زیرحوزه	CN	
	قبل از بهینه‌سازی	متوسط بهینه‌سازی شده		قبل از بهینه‌سازی	متوسط بهینه‌سازی شده
W270	۸۷/۲۰	۸۷/۳۶	W400	۸۹/۰۰	۸۷/۰۴
W280	۹۱/۹۰	۸۹/۳۱	W410	۸۷/۱۰	۸۶/۱۸
W290	۸۴/۲۰	۸۴/۷۳	W420	۹۰/۰۰	۸۹/۲۳
W300	۹۳/۶۰	۹۰/۷۹	W430	۸۳/۹۰	۸۴/۸۴
W310	۸۴/۷۰	۸۵/۱۷	W440	۸۸/۲۰	۸۷/۵۸
W320	۸۵/۵۰	۸۴/۰۰	W450	۸۹/۰۰	۸۸/۵۸
W330	۹۲/۶۰	۸۹/۸۱	W460	۸۰/۴۰	۸۰/۴۰
W340	۸۰/۸۰	۸۰/۸۰	W470	۷۶/۷۰	۷۶/۷۰
W350	۹۰/۸۰	۸۸/۸۰	W480	۷۹/۹۰	۷۹/۹۰
W360	۶۹/۵۰	۶۹/۵۰	W490	۸۳/۸۰	۸۵/۱۲
W370	۷۶/۲۰	۷۶/۲۰	W500	۷۵/۷۰	۷۵/۷۰
W380	۹۰/۵۰	۸۸/۳۱	W510	۸۰/۶۰	۸۰/۶۰
W390	۸۳/۵۰	۸۲/۹۹			

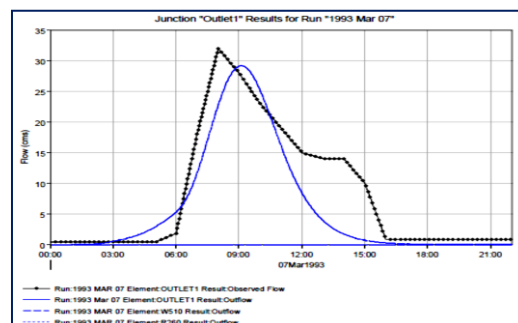
با شرایطی که مخازن سدهای اصلاحی خالی بوده و هنوز از رسوب پر نشده‌اند با مقادیر دبی و حجم سیلاب حوضه در قبل از احداث سدهای اصلاحی نزدیک‌تر می‌باشد و به عبارتی دبی و حجم سیل خروجی از حوضه، پس از پر شدن مخازن سدهای اصلاحی، به مقادیر قبل از احداث سدهای اصلاحی بسیار نزدیک شده است و سدهای اصلاحی پر از رسوب، تأثیر چندانی بر کاهش دبی و حجم سیل نشان نمی‌دهند.



شکل ۷- زیرحوضه‌های مهدی‌شهر (a) و ریگاب (b)

با توجه به نتایج خروجی مدل‌ها مشخص شد احداث سدهای اصلاحی در حوزه‌های آبخیز مورد بررسی بر رفتار هیدرولوژیکی سیلاب در هر دو زیرحوضه تأثیر داشته است، چرا که دبی و حجم سیل در خروجی حوزه آبخیز را تغییر داده‌اند. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که مدل به تغییر مقادیر CN حساس است و این امر با نتایج Azari (۲۰۰۶)، Abbasi (۲۰۱۰)، Karimi (۲۰۰۹) و Roshani (۲۰۰۳) همخوانی دارد.

بعد از بهینه‌سازی مدل HEC-HMS و تایید اعتبار آن برای کل حوزه و زیرحوضه‌های آبخیز در جزیین، زیرحوضه‌های ریگاب و مهدی‌شهر از کل حوضه جدا شدند و به‌عنوان حوزه‌های آبخیز مستقل مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر این اساس، حوزه‌های آبخیز مهدی‌شهر و ریگاب هر یک به ۴۶ زیرحوضه کوچک‌تر تقسیم شدند. خروجی این دو زیرحوضه، به‌صورت مستقل به شهر مهدی‌شهر وارد می‌شوند (شکل ۷). حوزه‌های آبخیز ریگاب (W350) و مهدی‌شهر (W410) به ترتیب دارای مساحت ۳۲۸۴/۶ و ۳۲۶۷/۸ هکتار می‌باشند.



شکل ۶- هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده سیل در خروجی حوزه برای رویداد ۱۷ اسفند ۱۳۷۱

حداقل شیب متوسط زیرحوضه‌های ریگاب و مهدی‌شهر به ترتیب برابر ۱۰ و ۶/۳ درصد است و حداکثر شیب برای این دو زیرحوضه به ترتیب برابر ۳۵/۳ و ۴۸/۵ درصد می‌باشد. پس از تهیه مدل بارش-رواناب حوزه‌های آبخیز ریگاب و مهدی‌شهر در محیط نرم‌افزار HEC-HMS و معرفی خصوصیات تمامی سدهای اصلاحی موجود بر اساس برداشت‌های صحرائی، برای تمامی رویدادهای بارندگی فراگیر، شبیه‌سازی بارش-رواناب برای هر سه سناریو انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

مقایسه کارایی سدهای اصلاحی بر میزان دبی و حجم سیل با استفاده از آماره میانگین نسبی ریشه مربعات خطا و روش ناش-ساتکلیف در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج برآورد ME و RRMSE در جدول بالا نشان می‌دهد که مقادیر دبی و حجم سیل در شرایط پر بودن مخازن سدهای اصلاحی از رسوبات در مقایسه

جدول ۲- خلاصه مقادیر شبیه‌سازی شده بارش-رواناب در زیرحوضه‌های مورد پژوهش برای رویدادهای مختلف

تاریخ وقوع سیل		حجم سیلاب (1000M ³)				دبی بیشینه سیلاب (m ³ /s)					
		سدهای اصلاحی		بدون سدهای اصلاحی		سدهای اصلاحی		بدون سدهای اصلاحی			
پُر		خالی		پُر		خالی		اصلاحی		اصلاحی	
W410	W350	W410	W350	W410	W350	W410	W350	W410	W350	W410	W350
۱۳۶۵/۰۱/۱۷	۴۱/۹	۱۵/۷	۵/۲	۹/۷	۲۲/۰	۱۰/۶	۲۲/۰	۱/۳	۲/۰	۰/۹	۲/۰
۱۳۶۷/۰۶/۳۰	۸۶/۸	۳۰/۹	۱۲/۱	۱۹/۸	۵۲/۳	۲۱/۲	۵۲/۳	۵/۱	۷/۴	۲/۹	۹/۳
۱۳۷۰/۰۱/۰۶	۶۹/۰	۸۵/۸	۱۷/۴	۴۹/۲	۴۶/۳	۷۴/۸	۴۶/۳	۷/۸	۴/۶	۷/۸	۵/۰
۱۳۷۰/۰۲/۱۶	۱۰۵/۱	۴۴/۹	۱۴/۶	۲۸/۰	۶۴/۴	۳۳/۷	۶۴/۴	۵/۰	۶/۹	۳/۵	۸/۸
۱۳۷۱/۰۲/۰۷	۲۴/۷	۷/۱	۲/۱	۴/۳	۱۰/۱	۴/۹	۱۰/۱	۱/۱	۱/۹	۰/۷	۱/۸
۱۳۷۱/۰۳/۱۵	۲۱/۳	۲/۸	۱/۳	۱/۷	۷/۶	۲/۰	۷/۶	۰/۳	۱/۳	۰/۲	۰/۹
۱۳۷۱/۱۱/۱۴	۲۸/۷	۹/۷	۲/۹	۶/۰	۱۲/۹	۶/۷	۱۲/۹	۰/۷	۱/۳	۰/۵	۰/۹
۱۳۷۱/۱۲/۱۷	۴۹/۳	۱۳/۴	۹/۰	۸/۴	۲۹/۰	۹/۰	۲۹/۰	۱/۵	۳/۶	۱/۰	۳/۷
۱۳۷۲/۰۳/۲۳	۸۰/۹	۸/۱	۶۸/۶	۴/۸	۳۸/۳	۵/۷	۳۸/۳	۰/۶	۵/۴	۰/۴	۳/۵
۱۳۷۳/۰۱/۰۷	۳۱/۴	۷/۶	۵/۳	۴/۶	۱۶/۲	۱/۸	۵/۲	۰/۶	۱/۸	۰/۴	۱/۳
۱۳۷۴/۰۱/۲۴	۲۱۹/۹	۱۰۹/۹	۲۹/۶	۶۰/۸	۱۳۹/۹	۱۰۰/۵	۱۳۹/۹	۷/۷	۹/۶	۸/۷	۱۲/۶
۱۳۷۴/۰۲/۰۴	۴۶۵/۴	۲۲۴/۹	۷۰۷/۰	۱۲۵/۲	۶۰۴/۰	۲۱۳/۳	۶۰۴/۰	۹/۸	۲۴/۴	۹/۶	۲۳/۱
۱۳۷۴/۰۶/۳۰	۱۵۳/۱	۹۷/۶	۱۴۷/۲	۵۴/۹	۱۹۰/۵	۸۷/۲	۱۹۰/۵	۵/۲	۱۵/۵	۵/۲	۱۲/۰
۱۳۷۴/۱۲/۲۳	۲۵/۸	۹/۲	۲/۵	۵/۶	۱۱/۰	۶/۵	۱۱/۰	۱/۰	۱/۶	۰/۷	۱/۳
۱۳۷۵/۰۱/۱۶	۸۴/۱۰	۹۰۵/۷	۸۳/۱/۹	۶۹/۱/۹	۱۰۸۷/۷	۱۰۲۰/۳	۱۰۸۷/۷	۲۹/۱	۳۱/۲	۳۲/۶	۳۴/۹
۱۳۷۵/۰۲/۱۷	۲۰/۹	۶/۹	۱/۸	۴/۲	۷/۷	۴/۹	۷/۷	۰/۵	۱/۱	۰/۴	۰/۷

جدول ۳- مقادیر ME و RRMSE برای مخازن سدهای اصلاحی خالی و پر از رسوب بر دبی و حجم سیل حوضه در مقایسه با شرایط بدون سدهای اصلاحی

دبی سیل		حجم سیل		ME	RRMSE
سدهای اصلاحی خالی	سدهای اصلاحی پر	سدهای اصلاحی خالی	سدهای اصلاحی پر		
۰/۸۵۰	۰/۹۷۱	۰/۹۱۹	۰/۹۵۹		
۰/۵۴۵	۰/۲۳۹	۰/۶۶۶	۰/۴۷۳		

در سطح یک درصد می‌باشد. این اختلاف برای مقادیر حجم سیلاب در شرایط وجود سدهای اصلاحی با مخازن خالی و پر از رسوب نیز در سطح مذکور معنی‌دار نشان داده است. آزمون مقایسه میانگین‌ها بین دبی پیک سیل برای حوضه‌های دارای سدهای اصلاحی با مخازن پر از رسوب و فقدان سد اصلاحی در حوضه‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

بررسی میزان کاهش دبی بیشینه و حجم سیلاب حوضه‌های مورد پژوهش نشان داد که دبی بیشینه سیل در حوضه‌های آبخیز دارای سدهای اصلاحی

مقایسه میانگین‌های دبی بیشینه و حجم سیل از طریق آزمون t-student و به‌روش نمونه‌های جفتی برای هر دو حوضه انجام شد و نتایج نشان داد که اختلاف بین دبی پیک سیلاب بعد از احداث سدهای اصلاحی (در شرایط خالی مخازن) با شرایط قبل از احداث سدهای اصلاحی در هر دو حوضه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و حجم سیلاب خروجی از حوضه‌ها نیز در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار دارند. مقایسه مقادیر دبی پیک سیلاب برای مخازن سدهای اصلاحی پر شده از رسوب در مقایسه با سدهای اصلاحی خالی، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار

پیش‌بینی شده برای اجرای این سازه‌ها در حوزه آبخیز، کم می‌باشد.

بر اساس نتایج پژوهش‌های Comiti و Lenzi (۲۰۰۳) و Lenzi (۲۰۰۲)، شرط رعایت حداکثر فاصله بین سدهای اصلاحی بر اساس هم ارتفاع بودن پی سد بالادست با تاج سد پایین، ضروری است ولیکن در حوزه آبخیز مورد پژوهش این فواصل رعایت نشده است و اغلب سدهای اصلاحی با فواصل بسیار بیشتر از این مقدار احداث شده‌اند که منجر به عدم توفیق در افزایش زمان تمرکز حوزه، کاهش سرعت جریان آب و نهایتاً کاهش دبی بیشینه سیلاب شده‌اند.

البته شواهد، بررسی‌ها و پیمایش‌های صحرائی نگارنده در چندین حوزه آبخیز کشور و همچنین، گزارش بسیاری از متخصصین، حاکی از عدم رعایت حداکثر فاصله سدهای اصلاحی در پروژه‌های اجرایی است که دست‌یابی به اهداف از پیش تعیین شده را مشکل می‌نماید.

خشکه‌چین با مخازن پر شده از رسوب در مقایسه با شرایطی که سدهای اصلاحی خالی از رسوب می‌باشند، به میزان متوسط ۲۷/۴ درصد افزایش یافته است. میزان حجم سیلاب نیز در شرایط مذکور به‌طور متوسط ۳۷/۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. این در حالی است که دبی بیشینه و حجم سیل در حوزه‌های مورد بررسی در شرایط وجود سدهای اصلاحی با مخازن خالی از رسوب نسبت به شرایط عدم وجود سد اصلاحی در حوضه‌ها به‌ترتیب ۲۵/۳ و ۳۱/۳ درصد کاهش نشان داده است که به‌دلیل ذخیره موقتی سیلاب در مخازن سدهای اصلاحی رخ داده است.

لازم به‌ذکر است سدهای اصلاحی خشکه‌چین با مخازن پر از رسوب در مقایسه با عدم وجود سد اصلاحی در حوضه‌ها منجر به کاهش جزئی دبی بیشینه و حجم سیلاب شده‌اند که میانگین این کاهش برای دبی و حجم سیل به‌ترتیب برابر ۴/۸ و ۵/۷ درصد به‌دست آمده است. این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبوده و همچنین، با توجه به اهداف

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, M., M. Mohseni Saravi, M.M. Kheirkhah, Sh. Khalighi Sigaroudi, Gh. Rostamizad and M. Hosseini. 2010. Assessment of watershed management activities on time of concentration and curve number using HEC-HMS model, case study: Kan Watershed, Tehran. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 63(3): 375-385.
2. Arastoo, B. and S.A.A. Hashemi. 2010. Evaluation of trend drought in order to determine the criteria and modeling of agricultural drought for Semnan Province. Final Report of Research, Natural Resources and Animal Affairs Research Center, Semnan, Iran, 188 pages (in Persian).
3. Azari, M. 2006. Simulation of hydraulic and hydrologic conduct on Jagharh Basin for flood control. MSc Thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Iran, 71 pages (in Persian).
4. Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays. 1988. *Applied hydrology*. McGraw Hill Press, New York, 572 pages.
5. Fleming, M.J. and J.H. Doan. 2009. HEC-Geo HMS geospatial hydrologic modeling extension, User's Manual. Version 4.2, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 197 pages.
6. Ford, D., N. Pingel and J.J. Devries. 2008. *Hydrologic modeling system HEC-HMS: applications guide*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC, 108 pages.
7. Haregeweyn, N., J. Poesen, J. Nyssen, G. Verstraeten, J.D. Vente, G. Govers, S. Deckers and J. Moeyersons. 2005. Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: assessment and semi-quantitative modeling. *Geomorphology*, 69: 315-331.
8. Hashemi, S.A.A. 2013. Assessment of efficiency of flood reducing check dams, applying in Iran. PhD Thesis, Faculty of Hydro Melioration, Land Management and Land Cadastre, Armenian State Agrarian University, Yerevan, Armenia, 127 pages.
9. Karimi, K. 2009. Technical assessment of watershed practices on river discharge (case study: Syrra - Kelvan Watershed). MSc Thesis, Watershed management, Department of Natural Resources, Tehran University, Iran, 104 pages (in Persian).
10. Lenzi, M.A., F. Comiti. 2003. Local scouring and morphological adjustments in steep channels with check dam sequences. *Geomorphology*, 55: 97-109.
11. Lenzi, M.A. 2002. Stream bed stabilization using boulder check dams that mimic step-pool morphology features in Northern Italy. *Geomorphology*, 45: 243-260.

12. Mouri, C.M. 1999. Effects of small structures on peak flow. Water Resources Symposium, No. 2, University of Texas, Austin, Texas, 101-117.
13. Nash, J.E. and J.V. Sutcliff. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I: a discussion of principles. Hydrology, 10: 282-290.
14. Ojaghloo, F. 2001. Structural study on flood water. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran, 133 pages (in Persian).
15. Roshani, R. 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures. MSc Thesis, ITC, Netherlands, 54 pages.
16. Scharffenberg, W.A. and M.J. Fleming. 2010. Hydrologic modeling system, HEC-HMS, User's Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 306 pages.
17. Xu, Y.D., B.J. Fu and C.S. He. 2013. Assessing the hydrological effect of the check dams in the Loess Plateau, China by model simulations. Hydrology and Earth System Sciences, 17: 2185-2193.

The effect of sedimentation in rock check dam reservoirs on the peak of flood in small watersheds

Seyed Aliasghar Hashemi^{*1} and Sargis Ghazariyan²

¹ Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Semnan, Iran and ² Professor, National Agrarian University of Armenia, Armenia

Received: 13 January 2014

Accepted: 30 April 2014

Abstract

In this research, two small sub-basins were selected in Darjazin Watershed of Semnan to evaluate the effect of ruck check dams on peak and volume of flood in small watersheds. Two watersheds were chosen as study area in a part of southern Alborz Mountain with arid and semi-arid climate. These watersheds are located in upland of Mahdishahr city and many check dams are constructed for flood control in past few years. All check dams were examined during field operation and their sedimentation were assessed. Results showed that all check dam reservoirs were filled by sediment. In this research, the peak and volume of floods were assessed in three scenarios of 1) watersheds with no check dams 2) watersheds with empty of sediment check dam reservoirs and 3) watersheds with full of sediment check dam reservoirs. HEC-HMS model was used for rainfall-runoff simulation. . Mean comparison test by paired method for all three scenarios showed that flood peak and volume have significant difference at $\alpha=1\%$ level. But, flood peak and volume in scenario 2 are computed less than that of scenario 1 and in scenario 3 are computed more than that of scenario 2. On the other hand, flood peak and volume in the scenario 3 slightly decreased by 4.8 and 5.7 percent respectively compared to scenario 1 where is not significant based on the objectives of project.

Key words: Flood volume, HEC-HMS model, Rainfall-runoff, Semnan, Simulation

* Corresponding author: hashemiaa12@gmail.com