

## ارزیابی عملکرد هیدرولوژیکی سدهای اصلاحی در کنترل سیل حوزه آبخیز رودخانه کن

سعید گلیان<sup>۱\*</sup>، احمد احمدی<sup>۲</sup> و نرجس سالاریان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، <sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود و <sup>۳</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۲۰

### چکیده

سدهای اصلاحی، سدهای کوچک با سازه‌های ساده و نسبتاً کم هزینه هستند که به دلیل عدم نیاز به مصالح و تکنولوژی خاص، جهت کنترل رسوب و مهار سیل کاربرد فراوانی دارند. در این پژوهش اثر استفاده از سد اصلاحی در کاهش دبی اوج و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج در حوزه آبخیز کن در شمال غرب شهر تهران بررسی شد. در این پژوهش از دو روش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی-هیدرولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS مدل‌سازی حوزه آبخیز کن انجام شد. با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی، اثر ساخت سدهای اصلاحی در مشخصات سیل در سه سناریوی تغییر شیب اولیه رودخانه بررسی شد. نتایج نشان دادند که ساخت سد اصلاحی در کاهش دبی در سناریوی اول تغییر شیب (کاهش شیب تا نصف شیب اولیه) بین صفر تا ۰/۹ درصد، سناریوی دوم (کاهش شیب به ۰/۱ شیب اولیه) بین ۰/۴ تا ۳/۵ درصد و سناریوی سوم (کاهش شیب به ۰/۱ شیب اولیه) بین ۳/۹ تا ۱۰/۶ درصد موثر بوده و در افزایش زمان رسیدن به اوج، ۱۰ تا ۵۰ دقیقه تأخیر ایجاد خواهد کرد. در مدل‌سازی هیدرولیکی-هیدرولوژیکی، تأثیر ساخت سد اصلاحی با در نظر گرفتن سد اصلاحی با مخزن خالی از رسوبات برای بارش با دوره بازگشت‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش دوره بازگشت بارندگی، تأثیر ساخت سد اصلاحی در کاهش مشخصات سیل کاهش می‌یابد. برای مثال با ساخت ۱۰۰ سد اصلاحی برای بارش با دوره بازگشت دو و ۲۰ سال، درصد کاهش دبی اوج از ۲۲/۸ به ۱/۲ کاهش می‌یابد. به‌طور کلی ساخت سدهای اصلاحی به تنهایی تأثیر قابل توجهی در کاهش مشخصات سیل ندارد و باید این گزینه در کنار سایر روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای مهار سیل به کار رود.

**واژه‌های کلیدی:** دبی اوج، زمان رسیدن به اوج، سد کوچک، کنترل رسوب، مدل HEC-HMS

### مقدمه

سوم کل تعداد افرادی که تحت تأثیر بلایای طبیعی قرار می‌گیرند را به خود اختصاص داده است. در این میان قاره آسیا و آفریقا با ۳۵ و ۲۹ درصد کل خسارات، بیشتر از سایر قاره‌ها تحت تأثیر این پدیده قرار دارند (Pilon, ۲۰۰۴). به‌طور کلی برای کنترل و

سیل یکی از مهمترین بلایای طبیعی با منشا آب و هوایی می‌باشد که هر ساله باعث خسارت مالی و جانی فراوانی در سرتاسر جهان می‌شود (Pielke و همکاران، ۲۰۰۲). سیل یک سوم کل خسارات و دو

\* مسئول مکاتبات: s.golian@shahroodut.ac.ir

سدهای اصلاحی بیشتر باشد، از تعداد آن کاسته می‌شود. در ضمن برای ارتفاع آن‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد که به ناحیه موثر بالادست و عمق کانال و نوع سد اصلاحی وابسته است. Liu (۱۹۹۲) به بررسی اثرات سدهای اصلاحی در تثبیت کانال بالادست در شمال شرق تایوان پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین سالانه رسوبات انباشته شده در سدهای اصلاحی بین ۵/۴۳ تا ۵۸/۷۸ مترمکعب بوده و این امر موجب کاهش شیب کانال و افزایش عرض آن می‌شود و در درازمدت سدهای اصلاحی با انباشت رسوبات می‌توانند در تثبیت کانال‌ها موثر و مفید واقع شوند.

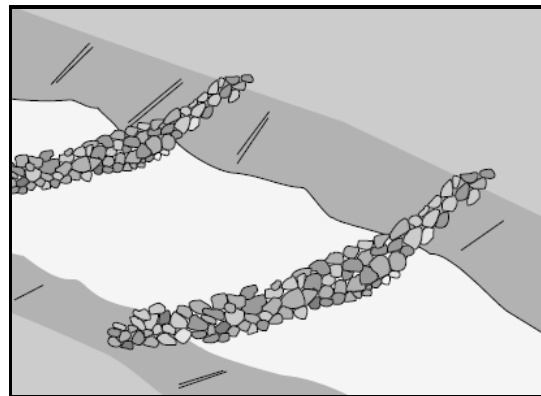
Castillo و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی کارایی و تاثیر ژئومورفولوژیکی<sup>۲</sup> سدهای اصلاحی در کنترل فرسایش خاک در حوضه مدیریت‌ان‌ای نسبتاً کم آب موریکا پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که سدهای اصلاحی، رسوب و فرسایش داخل کانال را کنترل می‌کنند، برای لایروبی آبراهه بالادست و فرسایش پایین‌دست در حد مطلوبی مناسب و کاربردی هستند و در طی بارش‌های شدید مقادیر زیادی از رسوبات بالادست سدهای اصلاحی باعث کاهش شیب طولی و کاهش سرعت جریان آب می‌شود. بنابراین در بالادست سد اصلاحی، کانال تثبیت می‌شود.

یک رابطه منطقی برای طراحی سدهای اصلاحی شکافدار جهت کنترل جریانات گل و لای‌دار و آشغال‌دار، توسط Armanini و همکاران (۲۰۰۱) ارائه شد. رابطه تئوری پیشنهاد شده با برخی نتایج آزمایشگاهی که جریانات رسوبدار را در مقیاس کوچک مدل کرده‌اند، مقایسه و تایید شد. در کار انجام شده توابعی برای سدهای اصلاحی شکافدار برای کنترل جریانات رسوبدار و حاوی آشغال پیشنهاد شد و نویسندگان طرح پیشنهادی موجود برای حالت عادی انتقال رسوب را به‌عنوان روشی برای حل مشکل طراحی سدهای اصلاحی باز در زمانی که سرعت عبور رسوبات از حد عادی انتقال رسوب تجاوز می‌کند، تعمیم دادند.

مهار سیل از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌توان بهره گرفت. البته گاه از روش‌های تلفیقی نیز استفاده می‌شود (Gupta و همکاران، ۲۰۰۳؛ Brody و همکاران، ۲۰۱۰؛ Golian و همکاران، ۲۰۱۰).

یکی از اقدامات سازه‌ای برای کنترل و مهار سیل و رسوب، استفاده از نوعی سدهای کوچک به نام سد اصلاحی<sup>۱</sup> است. در شکل ۱ نمونه‌ای از اجرای سدهای اصلاحی به‌صورت شماتیک دیده می‌شود. سدهای اصلاحی، سازه‌های بسیار ساده و نسبتاً کم هزینه هستند که در سرشاخه‌های آبراهه‌ها اجرا می‌شوند و به خاطر این‌که به مصالح و تکنولوژی خاصی نیاز ندارند، بسیار کاربردی هستند (Xu و همکاران، ۲۰۱۳).

در مقایسه با دیگر تمهیدات سازه‌ای کنترل سیلاب مثل سدها و بندهای تاخیری که هزینه و زمان زیادی نیاز دارند، این روش با سرعت اجرای بیشتر و هزینه کمتر جوابگوی نیازهای حفاظتی در مناطق پرمخاطره خواهد بود. از دیدگاه مهندسی هیدرولیک عمده‌ترین استفاده از سدهای اصلاحی کاهش شیب بستر رود و کاستن سرعت جریان است و تعداد مناسب سدهای اصلاحی بر اساس اهداف پروژه و نیز میزان هزینه‌ها تعیین خواهند شد ( Vice-Presidency for Strategic Planning and Supervision, ۲۰۰۸).



شکل ۱- اجرای سد اصلاحی در مسیر سرشاخه‌های یک حوضه آبخیز به‌صورت شماتیک

ارتفاع طراحی سدهای اصلاحی بر تعداد آن‌ها و در نتیجه هزینه کل تاثیر خواهد داشت و هر چه ارتفاع

<sup>2</sup> Geomorphology

<sup>1</sup> Check dam

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مطالعاتی که تاکنون در خصوص اجرای سدهای اصلاحی انجام شده است، بیشتر در زمینه کنترل رسوبات بوده است و به‌طور خاص در حوضه کن نیز استفاده از سد اصلاحی کمتر مورد توجه بوده است و حتی در تحقیق Roshani (۲۰۰۳) نیز یک اشکال اساسی وجود دارد. در این تحقیق سدهای اصلاحی در رودخانه‌های اصلی قرار داده شدند که برخلاف ضوابط موجود درباره سدهای اصلاحی بوده و بنابراین، نتایج تحقیق را زیر سوال می‌برد. به همین خاطر، نیاز به مطالعات مجدد و دقیق‌تر در این حوضه ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به موارد ذکر شده، در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر استفاده از سدهای اصلاحی بر هیدروگراف سیل خروجی یعنی کاهش دبی اوج سیل و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج در حوزه آبخیز کن در شمال غرب تهران پرداخته می‌شود. همچنین، در این تحقیق تاثیر تعداد سدهای اصلاحی در کاهش مشخصات سیل و اثر بارش با دوره بازگشت‌های مختلف بررسی می‌شود.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** حوزه آبخیز کن در شمال تهران، منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۲۱۵ کیلومتر مربع است که با حوزه آبخیز حصارک در غرب و حوزه آبخیز جاجرود در شمال و شمال شرق آبگیر سد کرج در شمال و شمال غربی، حوزه آبخیز وردیج در شرق و شهر تهران در جنوب، مرزبندی شده است. منطقه کن به لحاظ نزدیکی به پایتخت و در بر داشتن اماکن تفریحی و زیارتی مورد توجه است. حوزه آبخیز کن در یک منطقه کوهستانی با شیب‌های تند قرار دارد که ۷۵ درصد از کل آن شامل شیب‌های بسیار تند بوده و اختلاف تراز بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه حدوداً ۲۵۰۰ متر است که رقوم بالاترین نقطه ۳۸۲۳ متر بوده و پایین‌ترین نقطه در محل خروجی اصلی در تراز ۱۳۲۷ متری است.

با توجه به نقشه DEM، منطقه مورد مطالعه به ۱۰ زیرحوضه اصلی به نام‌های طالون، رندان، سنگان، کشار، امامزاده داوود، دوآب، هریاس، کن میانی و سولقان و پایین‌دست سولقان تقسیم شد (شکل ۲). از

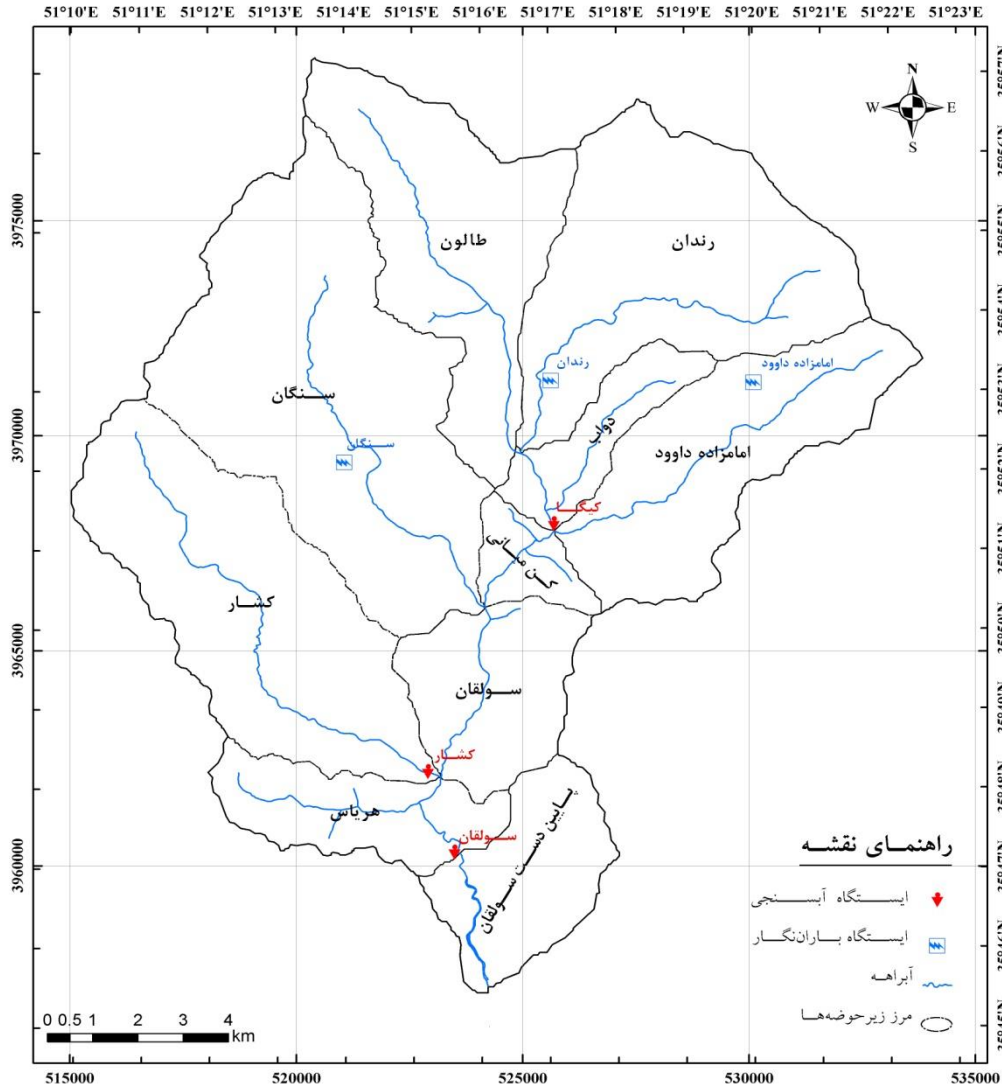
Al-Weshah (۲۰۰۵) به بررسی اقدامات حفاظتی به‌عنوان ابزار جهت کاهش سیل در منطقه Petra در کشور عمان پرداخت. وی برای این منظور از مدل WMS<sup>۱</sup> استفاده کرد. نتایج این تحقیق تاثیر گزینه‌های مختلف حفاظتی را بر تغییر نسبی پیک جریان، زمان رسیدن به پیک و حجم سیل با دوره بازگشت ۱۰ تا ۱۰۰ ساله ارزیابی کرد. در این تحقیق مشخص شد که تراس‌بندی و ساخت سدهای اصلاحی موجب بیش از ۶۰ درصد کاهش در دبی پیک سیل و در حدود ۳۰ درصد کاهش در حجم ورودی می‌شود که نسبت به ساخت سدهای ذخیره‌ای که بسیار پرهزینه‌اند (و به همان اندازه در کاهش پیک سیل تاثیر دارند و ۳۰ تا ۵۰ درصد حجم سیل را در طوفان کاهش می‌دهند)، بسیار مناسب هستند و به نظر می‌رسد که ساخت آن‌ها در این منطقه که سابقه تاریخی و باستانی دارد، ضروری است.

در تحقیق دیگری Moges (۲۰۰۷)، به بررسی کارایی سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیل (FFEWS) در اتیوپی پرداخت. در این تحقیق ساخت سد اصلاحی به‌عنوان یکی از راهکارها به‌منظور تاخیر در رسیدن سیل به پایین‌دست عنوان شد. Roshani (۲۰۰۳)، برای ارزیابی اثر سدهای اصلاحی در پیک سیل برای بهینه‌سازی اقدامات کنترل سیل در حوضه کن، حداکثر جریان در هر یک از زیر حوضه‌ها را یکبار با در نظر گرفتن سدهای اصلاحی و یکبار بدون آن‌ها مدل‌سازی کرد و تاخیر زمانی هیدروگراف‌ها را بررسی کرد. در این تحقیق برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان ورودی و خروجی از روش تعیین مسیر محدب استفاده شد و معادله مانینگ جهت محاسبه پیک جریان پس از ساخت سدهای اصلاحی به‌کار رفت. آنالیز حساسیت برای دو گزینه کاهش پیک سیل و هزینه انجام شد. وی نتیجه گرفت که در حوضه کن اگر شیب تمام رودها به‌وسیله ساخت سدهای اصلاحی کاهش یابد، پیک سیل خروجی متناظر نیز در هر زیر حوضه کم می‌شود. اما در همان لحظه پیک سیل در خروجی اصلی تغییر نمی‌کند یا حتی در برخی موارد افزایش اندکی نیز دارد.

<sup>1</sup> Watershed Modeling System

می‌شود و تا پایین دست زیرحوضه سولقان که خروجی اصلی در آن واقع است، به طول ۲۴/۶۵ کیلومتر ادامه می‌یابد.

بین این زیرحوضه‌ها امامزاده داوود تندترین و کشار ملایم‌ترین شیب را دارند. رودخانه اصلی که کن نامیده می‌شود از سرشاخه‌های زیرحوضه طالون شروع



شکل ۲- زیرحوضه‌های اصلی و ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی موجود در حوزه آبخیز کن

روش پژوهش: در این تحقیق ابتدا مدل HEC-HMS برای زیرحوضه‌های اصلی نشان داده شده در شکل ۲ واسنجی شد. در مدل HEC-HMS برای در نظر گرفتن نفوذ از روش SCS-CN، برای تبدیل بارش مازاد به رواناب از روش کلارک و برای روندیابی جریان در رودخانه‌ها از روش ماسکینگام استفاده شد. بنابراین پارامترهای واسنجی عبارتند از ضریب CN و ضریب تلفات اولیه ( $\alpha$ ) در روش SCS-CN، نسبت

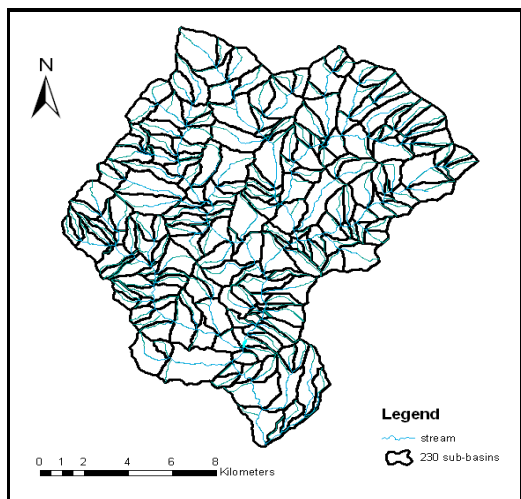
که در آن،  $R/(R+T_c)$  ضریب ذخیره حوضه و  $T_c$  زمان تمرکز حوضه می‌باشد. برای محاسبه زمان تمرکز از بین روابط موجود، رابطه کریپچ (Alizadeh, ۲۰۱۰) انتخاب شد (رابطه ۱):

$$T_c = 0.0078(L / \sqrt{S})^{0.77} \quad (1)$$

که در آن،  $L$  طول رودخانه در زیر حوضه مورد نظر (فوت) و  $S$  شیب آبراهه اصلی است.

<sup>1</sup> Time of Concentration

است، بنابراین، ابتدا حوزه آبخیز کن به ۲۳۰ زیرحوضه کوچک تقسیم شد (شکل ۳). سپس اطلاعات هر زیرحوضه و ارتباط آن با سایر زیرحوضه‌ها وارد مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS شد.



شکل ۳- تقسیم‌بندی حوزه آبخیز کن به ۲۳۰ زیرحوضه، ارتباط بین زیرحوضه‌ها و سرشاخه‌های جریان

برای هر زیرحوضه کوچک ضریب CN، ضریب تلفات اولیه ( $\alpha$ ) و نسبت  $R/(R+T_c)$  در روش کلارک هر یک از زیرحوضه‌ها برابر مقادیر مشابه آن در حوضه‌های ده‌گانه شکل ۲ قرار داده شد (Water Research Institute, ۲۰۱۰a). برای بررسی اثرات هیدرولوژیکی ساخت سد اصلاحی، مدل‌سازی در سه حالت به شرح زیر انجام گرفت.

۱) حالت شرایط اولیه که مدل حوضه بدون هیچ تغییری در مشخصات موجود تهیه شد. در این مدل مساحت حوضه، طول و شیب رودخانه، عدد منحنی و غیره بر اساس شرایط موجود در حوضه در مدل HEC-HMS در نظر گرفته شد.

سپس بر اساس عواملی مانند میزان اهمیت، شرایط جمعیتی، زیست‌محیطی، اجتماعی، تاریخی و همچنین، خطرپذیری، زیرشاخه‌هایی که ساخت سد اصلاحی در آن‌ها ضروری و امکان‌پذیر است، به‌عنوان زیرحوضه‌های هدف تعیین شد. بر این اساس، زیرحوضه‌های حائز شرایط لازم جهت ساخت سد اصلاحی شناسایی شدند که در مراحل ۲ و ۳، مدل‌سازی شدند (شکل ۴-الف).

اولین اثر هیدرولوژیکی ساخت سدهای اصلاحی کاهش دبی اوج جریان در هر زیرحوضه است. اما دبی اوج سیل در خروجی اصلی فقط تابع دبی اوج هیدروگراف‌های زیرحوضه‌های مختلف نیست، بلکه عوامل دیگری مانند زمان رسیدن دبی اوج زیرحوضه‌ها به خروجی اصلی نیز در آن موثر است. برای مثال اگر دبی اوج دو زیرحوضه مختلف در یک لحظه به خروجی برسند، حداکثر جریان بیشتر از حالتی است که دبی‌های اوج این دو زیرحوضه در زمان‌های متفاوتی به خروجی برسند.

شیب رودخانه یکی از اصلی‌ترین فاکتورها در سرعت جریان است و نقش مهمی در زمان تمرکز زیرحوضه‌ها دارد. اصلی‌ترین اثر ساخت سدهای اصلاحی کاهش شیب رودخانه می‌باشد (Lusby و Hadley, ۱۹۶۷؛ Liu, ۱۹۹۲). با توجه به کوهستانی بودن حوضه کن شیب رودخانه‌ها در زیرحوضه‌های مختلف بسیار تند است. تعداد سدهای اصلاحی که باید در امتداد رودخانه برای کاهش شیب ساخته شود، تابعی از شیب اولیه، شیب رودخانه پس از ساخت سد اصلاحی، طول رودخانه و ارتفاع سدهای اصلاحی است (رابطه ۲).

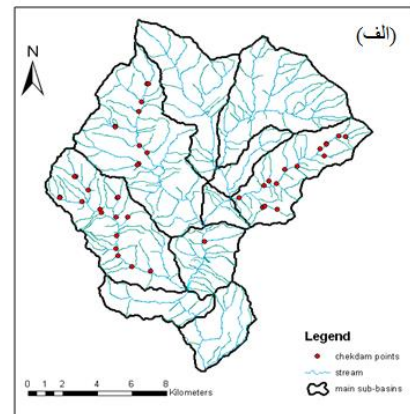
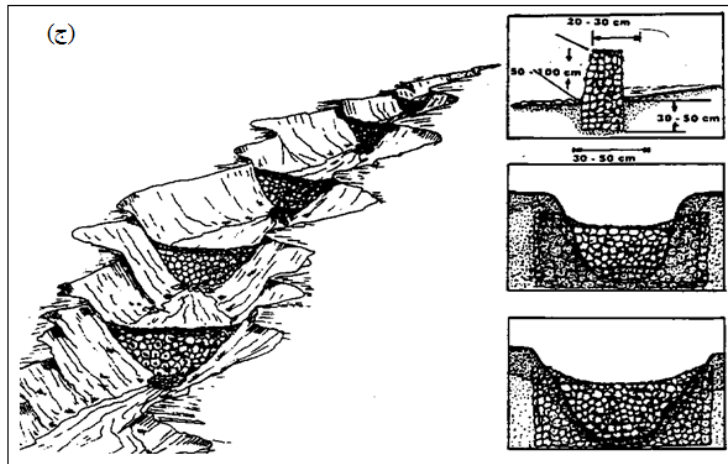
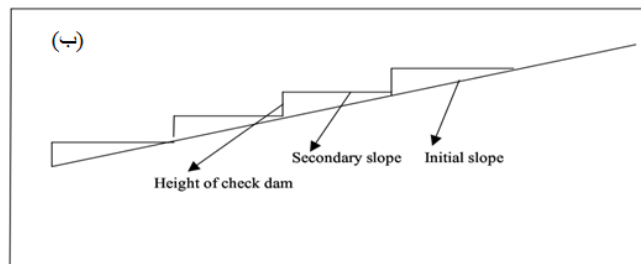
$$N.O.C.D = (S_1 - S_2)L/H \quad (2)$$

که در آن،  $N.O.C.D$  تعداد سدهای اصلاحی مورد نیاز،  $S_1$  و  $S_2$  به‌ترتیب شیب اولیه و شیب ثانویه (درصد)،  $H$  ارتفاع سد اصلاحی و  $L$  طول کانال است. با توجه به رابطه (۲)، اگر ارتفاع سدهای اصلاحی دو برابر شود، تعداد سدهای اصلاحی مورد نیاز نصف می‌شود. اما با در نظر گرفتن پایداری سازه، حجم مصالح مورد نیاز افزایش می‌یابد. از آن‌جا که افزایش ارتفاع و حجم مصالح نسبت خطی ندارند و به‌دلیل آن‌که نیروی‌های عمده وارد به سدها با مجذور ارتفاع سد ( $H^2$ ) متناسب هستند، این امر مقرون به صرفه نیست. از طرفی با توجه به فرسایش زیادی که در مناطق کوهستانی وجود دارد، برآورد می‌شود که سدهای اصلاحی کوچک در حدود پنج سال پر می‌شوند و به همین دلیل نگهداری منظم از سدهای اصلاحی امری ضروری است.

با توجه به اینکه ساخت سدهای اصلاحی در سرشاخه‌ها و زیرحوضه‌های کوچک پیشنهاد شده

مخزنی در مدل HEC-HMS تعریف و اثرات ذخیره آب در مخزن سد اصلاحی و روندیابی سیل، در زیر حوضه‌های دارای سد اصلاحی بررسی شد. این حالت در مواردی که نگهداری از سدهای اصلاحی به صورت مناسبی انجام می‌شود، نزدیک به واقعیت بوده ولی از لحاظ مدل‌سازی پیچیده‌تر از حالت قبل است. برای نشان دادن ذخیره آب پشت مخزن سد اصلاحی، روابط سطح-تراز و برای نشان دادن میزان سیل تله‌اندازی شده و مقدار آبی که سرریز می‌شود، رابطه دبی-تراز به مدل داده شد. در این روش یک زیرحوضه نمونه انتخاب و کلیه پارامترهای آن به جز شیب ثابت فرض شدند. در این حالت تغییرات دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج برای تعداد سدهای اصلاحی مختلف و بارش با دوره بازگشت‌های متفاوت بررسی شد.

۲) در این روش که مدل‌سازی هیدرولوژیکی نامیده می‌شود، اثر ساخت سدهای اصلاحی فقط در تغییر شیب زمین دیده شده و شیب اولیه زمین در زیرحوضه‌های دارای سد اصلاحی به  $0/5$ ،  $0/1$  و  $0/01$  برابر شیب اولیه تقابل داده شد (برای مثال  $S_2=0.5S_0$  که در آن  $S_0$  شیب اولیه و  $S_2$  شیب ثانویه می‌باشد) و در هر سناریو اثر ساخت سد اصلاحی در کاهش دبی اوج سیل و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج بررسی شد. در واقع در این حالت فرض بر آن است که مخزن سدهای اصلاحی در اثر انباشت رسوبات و عدم نگهداری مناسب پر شده است و سدهای اصلاحی فقط در کاهش شیب، موثر می‌باشند (شکل ۴-ب).  
 ۳) در این روش که مدل‌سازی هیدرولوژیکی- هیدرولیکی نامیده می‌شود، برای هر سد اصلاحی



شکل ۴- الف) نقاط ضروری جهت ساخت سد اصلاحی در زیرحوضه‌های بالادست این نقاط، ب) نحوه کاهش شیب آبراهه در اثر ساخت سد اصلاحی و ج) نحوه اجرای سدهای اصلاحی متوالی

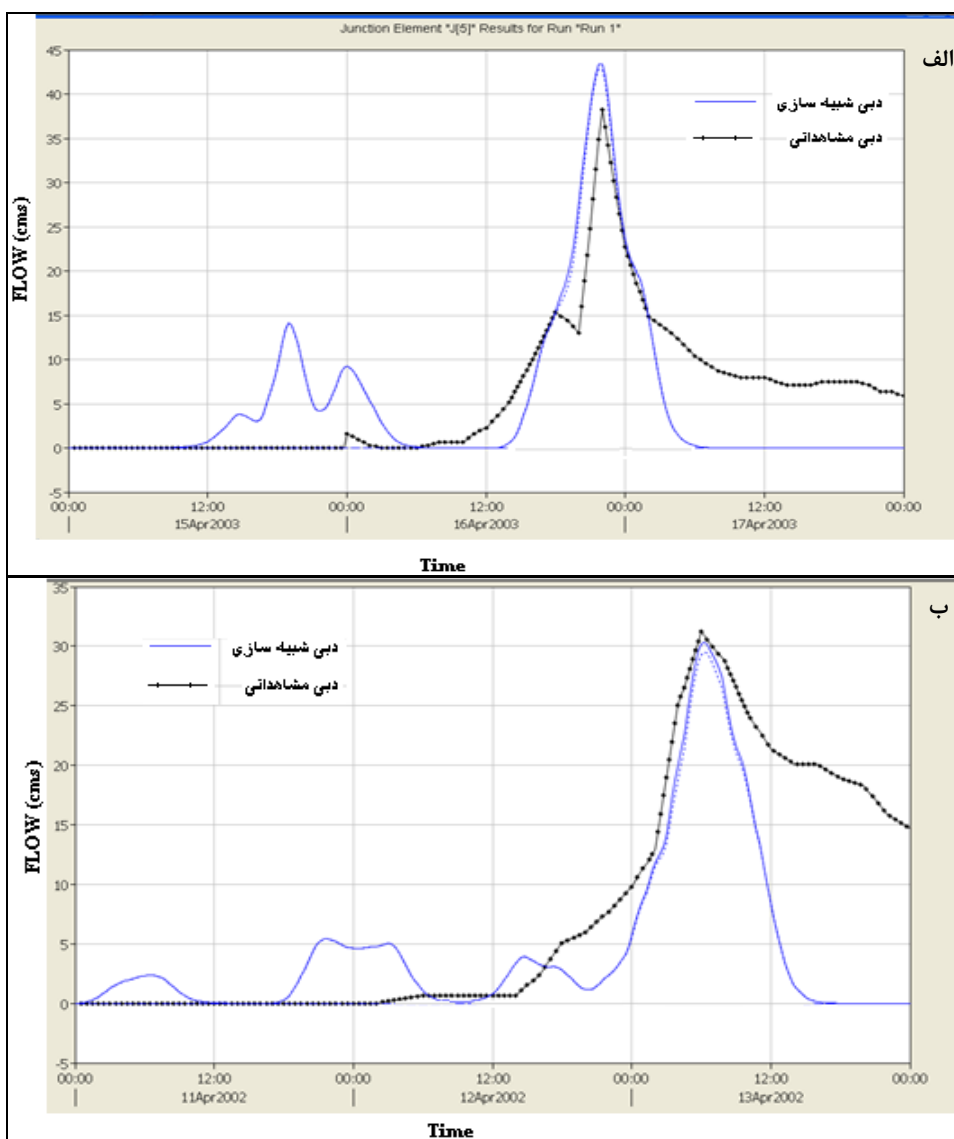
نمونه نشان می‌دهد. ضریب تلفات اولیه در زیرحوضه‌ها برابر  $0/2$  و نسبت  $R/(R+T_c)$  برابر  $0/5$  حاصل شد. مقادیر CN واسنجی شده در شرایط رطوبتی خشک و زمان تمرکز برای زیرحوضه‌های اصلی نشان داده شده در شکل ۲، مطابق با جدول ۱ به‌دست آمد.

## نتایج و بحث

**واسنجی مدل هیدرولوژیکی:** واسنجی مدل هیدرولوژیکی با توجه به سیل‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری سولقان انجام گرفت. شکل ۵ نتیجه واسنجی مدل را برای دو واقعه ثبت شده، برای

جدول ۱- مقادیر CN واسنجی شده و زمان تمرکز برای زیرحوضه‌های اصلی منطقه (Water Research Institute, ۲۰۱۰a)

زیرحوضه	CN	زمان تمرکز (ساعت)
دواب	۸۰/۳	۰/۵
امامزاده داود (ع)	۸۰/۵	۰/۷۵
هریاس	۷۹/۳	۰/۷۳
پایین دست سولقان	۸۰/۵	۰/۷۴
کن میانی	۷۸/۸	۰/۳۱
کشار	۸۰/۴	۱/۱
رندان	۸۱/۰	۰/۸۷
سنگان	۸۰/۰	۱/۲
سولقان	۷۹/۷	۰/۵۴



شکل ۵- نتیجه واسنجی مدل HEC-HMS برای وقایع، الف) فروردین ۱۳۸۲ و ب) فروردین ۱۳۸۱ در ایستگاه هیدرومتری سولقان (Water Research Institute, ۲۰۱۰b)

**نتایج روش هیدرولوژیکی:** در جدول ۲، مشخصات دبی خروجی در نقاط مختلف حوضه در هر سناریو آورده شده است. در این جدول گره‌های J[43]، J[83]، J[64] و J[106] به ترتیب معادل خروجی از زیرحوضه‌های امامزاده داود، کشار، سنگان و مجموع خروجی از زیرحوضه‌های بالادست سولقان است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، درصد میانگین کاهش دبی اوج در هر سناریوی ساخت سد اصلاحی

(ستون آخر جدول ۲) روند رو به رشدی دارد. زیرا وقتی مخزن سدهای اصلاحی از رسوبات پر می‌شود، ساخت سد اصلاحی تنها در کاهش شیب زیرحوضه موثر است. هر چه درصد کاهش شیب اولیه بیشتر باشد، به معنای آن است که سدهای اصلاحی نیز موثرتر هستند و درصد میانگین کاهش دبی اوج (ستون آخر جدول ۲) در هر سناریو افزایش می‌یابد.

جدول ۲- مشخصات خروجی مدل در سناریوهای مختلف در چهار نقطه از حوزه آبخیز

ردیف	سناریو	J[64]		J[106]		J[83]		J[43]	
		Time to peak	Qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Time to peak	Qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Time to peak	Qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Time to peak	Qp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
۱	بدون سد اصلاحی	۲۲:۰۰	۵۱/۷	۲۲:۳۰	۱۰	۲۱:۵۰	۲۵/۹	۲۱:۲۰	-
۲	با سد اصلاحی و S=0.5S	۲۲:۰۰	۵۱/۷	۲۲:۳۰	۱۰	۲۲:۰۰	۲۵/۹	۲۱:۲۰	۰/۲
۳	با سد اصلاحی و S=0.1S	۲۲:۱۰	۵۱/۳	۲۲:۴۰	۹/۸	۲۲:۱۰	۲۵/۸	۲۱:۳۰	۱/۷
۴	با سد اصلاحی با S=0.01S	۲۲:۱۰	۴۸/۹	۲۳:۰۰	۹/۱	۲۲:۴۰	۲۴/۹	۲۲:۰۰	۷/۲

در جدول ۳، تعداد سدهای اصلاحی مورد نیاز برای سناریوهای مختلف تغییر شیب، آورده شده است. در این جدول برای هر سناریو، تعداد سدهای اصلاحی برای ارتفاع یک و دو متری محاسبه شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هر چه شیب زیرحوضه‌ها بیشتر کاهش پیدا کند، تعداد سدهای اصلاحی مورد نیاز و در نتیجه هزینه ساخت و اجرای آن‌ها بیشتر می‌شود.

جدول ۳- تعداد سدهای اصلاحی مورد نیاز برای سناریوهای مختلف کاهش

سناریو	h (یک متر)	h (دو متر)
S=0.5S <sub>0</sub>	۵۲۳۰	۲۶۱۵
S=0.1S <sub>0</sub>	۹۴۱۵	۴۷۰۷
S=0.01S <sub>0</sub>	۱۰۳۵۷	۵۱۷۹

با توجه به نتیجه مدل‌سازی هیدرولوژیکی، ملاحظه می‌شود که بهترین حالت برای کاهش دبی اوج و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج سناریوی سوم (S<sub>2</sub>=0.01S<sub>1</sub>) می‌باشد که البته تعداد سدهای اصلاحی

زیادی مورد نیاز می‌باشد. با توجه به مباحث مطرح شده، نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی به شرح زیر می‌باشد.



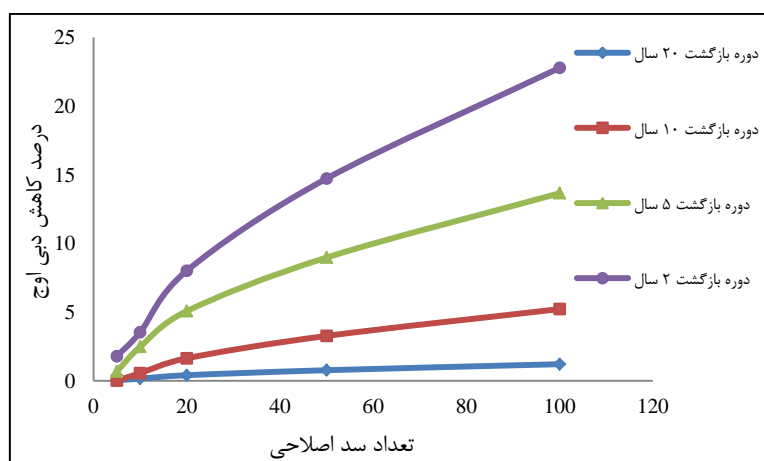
نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش تعداد سدهای اصلاحی، درصد کاهش دبی پیک نیز افزایش می‌یابد. برای مثال برای بارش با دوره بازگشت دو سال با ساخت پنج، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ عدد سد اصلاحی، دبی اوج به ترتیب ۱/۸، ۳/۵، ۸/۰، ۱۴/۷ و ۲۲/۸ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، مشاهده می‌شود که برای یک تعداد سد اصلاحی یکسان، با افزایش دوره بازگشت بارش درصد کاهش دبی اوج کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال برای حالت ۱۰۰ سد اصلاحی، کاهش دبی اوج در حالت بارش با دوره بازگشت دو سال، برابر ۲۲/۸ درصد می‌باشد و در حالت بارش با دوره بازگشت ۲۰ سال، درصد کاهش دبی اوج به ۱/۲ درصد می‌رسد. به بیان دیگر، با افزایش دوره بازگشت بارندگی، تاثیر ساخت سدهای اصلاحی در کاهش مشخصات سیل کاهش می‌یابد (شکل ۶).

۱) ساخت سد اصلاحی با سناریوی اول (ردیف دوم جدول ۲)، با توجه به عدم کاهش زمان رسیدن به دبی اوج و عدم کاهش دبی اوج در مقایسه با حالت اولیه زیرحوضه‌ها، توصیه نمی‌شود.

۲) با کاهش شیب سرشاخه‌ها به ۰/۰۱ شیب اولیه (سناریوی سوم)، حداکثر کاهش در دبی اوج و افزایش در زمان رسیدن به اوج ایجاد می‌شود. البته درصد کاهش دبی اوج در خروجی سولقان بیشتر از خروجی امامزاده داود می‌باشد.

۳) با توجه به تاثیر نه چندان زیاد اجرای سد اصلاحی، در صورت عدم نگهداری مناسب از آن‌ها، استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی به‌منظور بررسی تاثیر ساخت سدهای اصلاحی ضروری می‌باشد.

**نتایج روش هیدرولوژیکی-هیدرولیکی:** شکل ۶، درصد تغییر دبی اوج در مقابل تعداد سدهای اصلاحی مورد نیاز برای بارش با دوره بازگشت‌های مختلف را



شکل ۶- درصد تغییرات دبی اوج در مقابل تعداد سدهای اصلاحی برای بارش با دوره بازگشت‌های مختلف

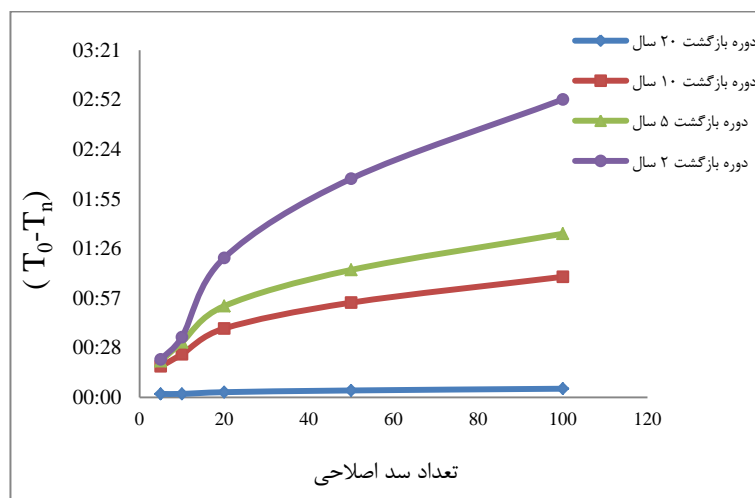
سال، ساخت ۱۰ سد اصلاحی، زمان رسیدن به دبی اوج ۳۵ دقیقه کاهش می‌یابد، در حالی که برای بارش‌های با دوره بازگشت‌های ۱۰ و ۲۰ سال و همین تعداد سد اصلاحی، زمان رسیدن به دبی اوج به ترتیب ۲۵ و ۳ دقیقه کاهش می‌یابد.

در پژوهش حاضر اثر ساخت سدهای اصلاحی در کاهش مشخصات سیل یعنی کاهش دبی اوج و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج در دو حالت مدل‌سازی هیدرولوژیکی که در آن فقط اثر سد اصلاحی کاهش شیب اولیه رودخانه است و حالت

همچنین، زمان رسیدن به دبی اوج با افزایش تعداد سدهای اصلاحی برای بارش با دوره بازگشت‌های مختلف افزایش می‌یابد (شکل ۷). این افزایش در زمان رسیدن به دبی اوج به معنای در اختیار بودن زمان بیشتر جهت تخلیه شهرها و روستاهای مجاور و کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از سیل خواهد بود. از بررسی شکل ۷، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دوره بازگشت بارندگی، تاثیر ساخت سدهای اصلاحی در کاهش زمان رسیدن به دبی اوج کمتر می‌شود. برای مثال در حالت بارش‌های با دوره بازگشت دو

تله اندازی و روندیابی سیل در مخازن خود هستند، بررسی شد.

مدل سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی که سدهای اصلاحی علاوه بر کاهش شیب رودخانه دارای نقش



شکل ۷- نمودار تغییرات زمان رسیدن به اوج ( $T_0-T_n$ ) به تعداد سد اصلاحی، مدل هیدرولیکی برای بارش با دوره بازگشت های مختلف

شد که اثر ساخت سدهای اصلاحی در کاهش دبی اوج و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج، با افزایش دوره بازگشت بارندگی کاهش می یابد. برای مثال برای حالت ۱۰۰ سد اصلاحی، با افزایش دوره بازگشت بارش از دو به ۲۰ سال، درصد کاهش دبی اوج سیل از ۲۲/۸ درصد به ۱/۲ درصد تقلیل می یابد. از آنجایی که مهار سیل معمولاً برای سیل های با دوره بازگشت ۲۰ سال بیشتر اهمیت پیدا می کند، نتایج این پژوهش نشان می دهد که ساخت سدهای اصلاحی در حوضه های کوهستانی برای مهار سیل های با دوره بازگشت بیشتر از ۲۰ سال کارایی قابل توجهی ندارد.

با توجه به موارد فوق، ساخت سدهای اصلاحی برای حوضه های کوهستانی به تنهایی به عنوان یک گزینه مطمئن برای کاهش مشخصات سیل پیشنهاد نمی شود، بلکه باید این گزینه در کنار سایر روش های سازه ای و غیرسازه ای برای کاهش مشخصات سیل و مهار آن به کار رود.

نتایج به دست آمده به شرح زیر است.

۱) در مدل سازی هیدرولوژیکی نتیجه شد که علیرغم پیش بینی تعداد زیادی سد اصلاحی در مدل سازی، اثر ساخت سدهای اصلاحی در کاهش مشخصات سیل ناچیز می باشد و استفاده از گزینه ساخت سد اصلاحی به تنهایی در این حوضه شلوغ و شهری مناسب نمی باشد. به عنوان مثال در منطقه مورد مطالعه اگر مخزن سدهای اصلاحی بر اثر نگهداری نامناسب از رسوبات پر شوند، تعداد ۱۰ هزار تایی آن ها حداکثر ۷/۲ درصد از دبی اوج را کاهش می دهد. بنابراین، تخلیه رسوبات و نگهداری مناسب از سدهای اصلاحی بسیار ضروری است تا آن ها بتوانند هنگام وقوع سیل به نحو موثرتری عمل کنند. در این صورت بررسی بیشتر اثر سدهای اصلاحی با استفاده از مدل های هیدرولیکی که ظرفیت مخزن و روندیابی سیل را نیز در نظر می گیرند، ضروری می باشد.

۲) در مدل سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی، ملاحظه

#### منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2010. Applied hydrology. Astan Ghods Razavi Publication, Mashad, Iran, 524 pages (in Persian).
2. Al-Weshah, R. 2005. Watershed management: a tool for flood mitigation in the Petra area. Journal of Hydrologic Engineering, 99: 1-11.
3. Armanini, A. and M. Larcher. 2001. Rational criterion for designing opening of slit check dam. Journal of Hydrologic Engineering, 127(2): 94-104.

4. Brody, S.D., J.E. Kang and S. Bernhardt. 2010. Identifying factors influencing flood mitigation at the local level in Texas and Florida: the role of organizational capacity. *Natural Hazards*, 52: 167-184.
5. Castillo, V.M. and W.M. Mosch, C. Conesa García and J.A. Navarro Cano. 2007. Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). *Catena*, 70: 416-427.
6. Golian, S., B. Saghafian and R. Maknoon. 2010. Derivation of probabilistic thresholds of spatially distributed rainfall for flood forecasting. *Water Resources Management*, 24: 3547-3559.
7. Gupta, S., A. Javed and D. Datt. 2003. Economics of flood protection in India. *Natural Hazards*, 28: 199-210.
8. Liu, C.M. 1992. The effectiveness of check dams in controlling upstream channel stability in north-eastern Taiwan. *Erosion, Debris Mows and Environment in Mountain Regions*, Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992, Publications-IAHS, 209 pages.
9. Lusby, G.C. and R.F. Hadley. 1967. Deposition behind low dams and barriers in the south-western United States. *Journal of Hydrology*, 6(2): 89-105.
10. Moges, A.S. 2007. Flood forecasting and early warning system (FFEWS) an alternative technology for flood management system and damage reduction in Ethiopia. Arba Minch University, School of Graduate Studies, 36 pages.
11. Pielke, R.A., Jr. W. Downton and J.Z. Barnard Miller. 2002. Flood damage in the United States, 1926-2000: a reanalysis of national weather service estimates. Boulder, CO: UCAR.
12. Pilon, P.J. 2004. Guidelines for reducing flood losses. Diane Publishing Co., 83 pages.
13. Roshani, R. 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures: case study in Iran. Enschede, ITC, Netherland.
14. Vice-Presidency for Strategic Planning and Supervision. 2008. Basic design and guidelines for implementation and maintenance of sediment and flood control measures (check dams). Office of Deputy for Strategic Supervision, Report No. 416, Tehran, Iran (in Persian).
15. Water Research Institute. 2010-a. Integrated flood management, case study of Kan river basin: flood prioritization report, Tehran, Iran (in Persian).
16. Water Research Institute. 2010-b. Integrated flood management, case study of Kan river basin: physiography report, Tehran, Iran (in Persian).
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 assessment of hydrologic performance of check dams on flood control in Kan River basin

Saeed Golian<sup>\*1</sup>, Ahmad Ahmadi<sup>2</sup> and Narjes Salarian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Iran <sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Iran and <sup>3</sup> MSc, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Iran

Received: 12 October 2013

Accepted: 07 April 2014

### Abstract

A check dam is a small dam with a simple and low cost structure and because of its specific material and simple building technology, it has a wide range of applications in flood control projects. In this research, the effects of check dams on reducing the flood peak and increasing the time of flood flow to reach to peak were investigated for Kan basin in north-west of Tehran. The hydraulic and hydrologic situation of the Kan basin was modeled using HEC-HMS software. Using hydrologic modeling the effect of building check dams on flood characteristics was studied in three scenarios of river slope change. The results showed that check dams reduced the flood peak to reduce between 0 and 0.9% in the first scenario (0.5 of the natural slope) and from 0.4% to 3.5% and 3.9% to 10.6% in the second (0.1 of the natural slope) and third (0.01 of the natural slope) scenarios, respectively. The time to peak also increased from 10 to 50 minutes. In hydraulic-hydrologic modeling, the effect of constructing check dams with no sediment in their reservoir was investigated for rainfalls of different return periods. The results revealed that with increase in rainfall return period, the effect of check dams on reducing flood characteristics will decrease. For instance, in the case of 100 check dams, the percentage reduction in peak outflow will decrease from 22.8 to 1.2 % for rainfalls of 2 and 20 years return period, respectively. In general, construction of check dams has no considerable influence on reducing constructive effects of floods. In other words, check dams should be used together with other structural and non-structural flood control methods.

**Key words:** HEC-HMS model, Peak flow, Sediment control, Small dam, Time to peak.

---

\* Corresponding author: s.golian@shahroodut.ac.ir