

## اثر دوره بازگشت دبی در اعمال یکی از اقدامات طبیعی مدیریت سیل بر کاهش ریسک سیلاب

سوده کلامی<sup>1</sup>، محمدمهدی احمدی<sup>2</sup>، رضا حسنزاده<sup>3</sup>

1. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [soodehkalami@agr.uk.ac.ir](mailto:soodehkalami@agr.uk.ac.ir)

2. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [ahmadi\\_mm@uk.ac.ir](mailto:ahmadi_mm@uk.ac.ir)

3. گروه پژوهشی اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی هایتک، کرمان، ایران. رایانامه: [r.hassanzadeh@kgut.ac.ir](mailto:r.hassanzadeh@kgut.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق میزان کاهش ریسک سیل در اثر پیاده‌سازی یکی از روش‌های مدیریت طبیعی سیل در یک منطقه مخروط افکنه مورد بررسی قرار گرفته است. مدیریت سیل به روش‌های متداول سازه‌ای و غیرسازه‌ای انجام می‌شود که هزینه اجرای آن‌ها زیاد و عمر این پروژه‌ها کوتاه است. کاهش خسارت ناشی از سیل و استفاده از روش‌هایی به‌منظور مدیریت پایدار و انعطاف‌پذیرتر سیل در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. استفاده از رویکردهای طبیعی کنترل سیل (NFM) یکی از روش‌های مدیریت پایدار سیل محسوب شده که در این تحقیق با ارائه یک راهکار طبیعی در قالب افزایش طول مسیر رودخانه با ایجاد خم در مسیر اصلی به بررسی اثرگذاری آن بر میزان خسارت مورد انتظار سیلاب نسبت به حالت اصلی پرداخته می‌شود. روش انجام این تحقیق بر پایه مدل‌سازی بوده که از سه مدل HEC-HMS، HEC-RAS 2D و ArcMap استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز رودخانه آبخش‌اء واقع در شهرستان بردسیر، استان کرمان به وسعت 1136 کیلومتر مربع، دارای حالت مخروط افکنه که سیل‌های متعددی در آن اتفاق افتاده است. داده‌های توپوگرافی، بارش و دبی از مهم‌ترین داده‌های مورد نیاز این تحقیق محسوب می‌شوند. بر اساس نتایج این تحقیق ایجاد خم در مسیر رودخانه باعث کاهش 15/5 درصدی خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD) می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری راهکارهای بهینه مدیریت سیلاب در منطقه مؤثر باشد.

### کلمات کلیدی

خسارت مورد انتظار سیل (EAD)، کاهش خسارت، مدیریت طبیعی سیل (NFM)، مناندر.

## 1. مقدمه

ریسک سیل به پتانسیل بالقوه سیل در ایجاد آسیب و خسارت به جان انسان‌ها و متعلقات مادی یا خدمات اشاره دارد که در نتیجه پوشاندن حاشیه رودخانه‌ها توسط سیل اتفاق می‌افتد و به شدت، مدت و فراوانی یا احتمال خاصی بستگی دارد (Herrero et al., 2009). سیل‌های فاجعه بار باعث مرگ میلیون‌ها نفر در قرن بیستم و ده‌ها میلیارد دلار خسارت مستقیم اقتصادی در هر سال شده اند (Merze et al., 2021). تحقیقات نشان می‌دهد که ریسک سیل با تغییرات آب و هوایی، رشد جمعیت و افزایش دارایی‌های اقتصادی افزایش می‌یابد و به طور مداوم با تغییرات شرایط زیربنایی تغییر می‌کند (Lai et al., 2020). بنابراین، مدیریت سیل به عنوان یک روش مؤثر برای کاهش پیامدهای نامطلوب و مقابله با افزایش ریسک سیل ضرورت دارد.

افزایش فراوانی وقوع سیل ارتباط مستقیمی با تغییر اقلیم و گرمایش جهانی دارد. مدیریت این رخداد طبیعی باید به روش‌هایی صورت گیرد که منجر به افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای نگردد. روند تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که مدیریت سیل از رویکردهای سنتی به سمت مدیریت پایدار و انعطاف‌پذیر پیش می‌رود (Wang et al., 2022). رویکردهای سنتی که بر پایه مهندسی سخت عمل می‌کنند بدلیل استفاده زیاد از مصالحی که انرژی زیادی در تولید آن‌ها استفاده شده است و تغییر سیمای منطقه (Gilvear et al., 2012) باعث تنزل اکوسیستم طبیعی می‌شوند (Everard and Moggridge, 2012). کنترل سیلاب با مدیریت همزمان آب و زمین منجر به نتایج مفیدی در سطح حوضه و جوامع درگیر خواهد شد. مهمترین نکته در این روش مدیریت سیل بکارگیری روش‌های طبیعی است. روش‌های طبیعی کنترل سیل (Natural Flood Management, NFM) یک مدیریت پایدار سیل می‌باشد که منجر به کاهش ریسک سیلاب می‌گردد (Ngai et al., 2017). بعنوان مثال، نتایج اقدامات مدیریت طبیعی رودخانه در حوضه رودخانه Chiese نشان داد، مدیریت سیل بر اساس این روش‌ها بسیار پایدارتر، مقاوم‌تر و انعطاف‌پذیرتر است (Nardini and Pavan, 2012). مدیریت طبیعی سیل مجموعه‌ای از تکنیک‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی است که هدف اصلی آن‌ها کمک به کاهش سرعت و ذخیره آب است (Ngai et al., 2017).

این نوع مدیریت سیلاب علاوه بر کاهش ریسک سیل می‌تواند منجر به تقویت ماهیگیری، احیای زیستگاه‌ها و حفاظت از تنوع زیستی گردد (Gilvear et al., 2012; Wohl et al., 2015) اما نقش آن در کاهش ریسک سیلاب علاوه بر تحقق زیستگاه و تنوع زیستی و دیگر اهداف در گذر زمان بیشتر مشخص می‌شود (Wharton and Gilvear 2007; Nardini and Pavan 2012; Forbes et al., 2015).

مورفولوژی منطقه و مشخصات هیدرولوژیکی رودخانه، وضعیت اکولوژی و زیست محیطی و پارامترهای طبیعی دیگر تأثیر زیادی بر نحوه مدیریت طبیعی سیل می‌گذارند. پژوهش Acreman et al. (2003) در اطراف رودخانه Cherwell تأثیر خاکریزها در اطراف رودخانه را بر دبی پیک سیلاب پایین‌دست مدل‌سازی کرده و نشان داد حضور این خاکریزها در اطراف رودخانه که منجر به قطع اتصال کانال رودخانه از سیلاب‌دشت شده است باعث افزایش 50 تا 150 درصدی پیک سیلاب و حذف خاکریزها منجر به کاهش 10 تا 15 درصدی پیک سیلاب خواهد داشت. نتایج پژوهش Liu et al. (2004) نشان داد، پیچان‌رودی ساختن بازه‌ایی از رودخانه و تغییرات ضریب‌زبری با استفاده از مدل توزیعی هیدرولوژیکی را بررسی و کاهش 14 درصدی دبی اوج را به طور متوسط نشان می‌دهد. بازسازی شکل‌هایی از بستر بر روی ارتفاع سطح آب در رودخانه‌ای واقع در دشت با بستر شنی با استفاده از مدل‌سازی توسط Sear and Newson, (2004) انجام شده و نتایج آن‌ها نشان داد در دبی پیک، تراز سطح آب افزایش چندانی (0/05 متر به طور متوسط) نسبت به قبل از بازسازی رودخانه نداشته است. Sear et al. (2006) با نظارت بر سه سایت بازسازی رودخانه در حوضه New Forest، قبل و بعد از احیای رودخانه (ایجاد مئاندر و کاهش ظرفیت کانال) به مدت سه سال، دریافتند که مدت و فراوانی پهنه سیل در سیلاب‌دشت‌ها افزایش یافته است. Kitts (2010) با استفاده از داده‌های مشاهداتی حاصل از احیای یک رودخانه (افزایش 21 درصدی طول رودخانه و انباشتگی 142 درصدی تنه درختان بریده شده در رودخانه) به نتایج کاهش 21 درصدی در دبی پیک سیلاب و افزایش 33 درصدی زمان تأخیر برای دبی‌های کمتر از یک مترمکعب بر ثانیه دست یافتند. کاهش 41 درصدی سرعت جریان برای دبی با دوره بازگشت 100 سال در نتیجه افزایش پوشش گیاهی گزارش شده است (Keesstra et al., 2012). مدیریت طبیعی سیل بعنوان مؤثرترین راه مقابله با سیل‌های کوچک در رودخانه Chindwin توسط Lallemand et al. (2021) عنوان شده است.

با توجه به اندرکنش مختلف محیط با جریان سیلاب تصمیم‌سازی و بررسی سناریوهای مدیریت طبیعی نسبت به روش‌های متداول مهندسی سخت، پیچیده‌تر بوده و بررسی روش‌ها و سناریوهای مدیریت طبیعی سیل برای منطقه با ویژگی‌های خاص خود احتیاج به مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی دقیق دارد (Ngai et al., 2017). در این تحقیق اثر اعمال یکی از روش‌های طبیعی مدیریت سیل بر روی خسارت مورد انتظار سالیانه یک منطقه دارای حالت مخروط افکنه و همچنین تأثیر دوره بازگشت دبی بر پارامتر مذکور بررسی شده است. به بیان دیگر هدف از انجام این تحقیق بررسی عکس‌العمل منطقه بر خسارت مورد انتظار سالیانه سیل در دبی‌های مختلف رودخانه در اثر اعمال یک روش طبیعی کنترل سیل در بستر نرم‌افزار GIS توسعه داده شده و با استفاده از دو مدل هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی HEC-HMS و HEC-RAS 2D، پس از کالیبراسیون آن‌ها، خسارت مورد انتظار سالیانه محاسبه شد.

## 2. مواد و روش

منطقه مورد مطالعه 33 کیلومتر از رودخانه آبخشا و نواحی اطراف آن، واقع در شهرستان بردسیر، استان کرمان می‌باشد. حوضه آبریز این رودخانه با وسعت 1136 کیلومتر مربع دارای 6 ایستگاه بارانسنجی معمولی و دو ایستگاه آبنسجی دبی روزانه و ماهانه می‌باشد. بازه رودخانه مورد مطالعه از ایستگاه هیدرومتری گذارزارچوئیه به طول و عرض جغرافیایی 56/56 درجه شمالی و 29/72 درجه شرقی شروع و تا انتهای حوضه به طول و عرض جغرافیایی 56/61 درجه شمالی و 29/91 درجه شرقی ختم می‌شود. شکل 1 حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه، محل استقرار ایستگاه‌های بارانسنجی و آبنسجی و بازه رودخانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. داده‌های دبی و بارش روزانه در ایستگاه‌های آبنسجی و بارانسنجی منطقه مورد مطالعه، توپوگرافی رودخانه و اطراف آن و کاربری اراضی از جمله داده‌های مورد نیاز تحقیق حاضر می‌باشند. همان‌طور که تصویر هوایی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد، رودخانه آبخشا از مناطق کوهستانی شروع شده و پس از عبور از نواحی مخروط افکنه، دشت و مناطق کشاورزی از شهر بردسیر عبور می‌کند. ترکیبی از کوهستان، مخروط افکنه و دشت بودن منطقه مورد مطالعه و جامعیت داشتن مدل ایجاد شده، در این مطالعه از مدل دو بعدی هیدرولیکی برای شبیه‌سازی سناریوهای ایجاد شده استفاده شده است. مدل هیدرولیکی دو بعدی HEC-RAS برای مدل‌سازی انتخاب شده است. این مدل به دلیل استفاده از مفهوم Subgrid Variability برای مش‌بندی در بین نرم‌افزارهای هیدرولیکی دیگر از محبوبیت بسیاری برخوردار است.

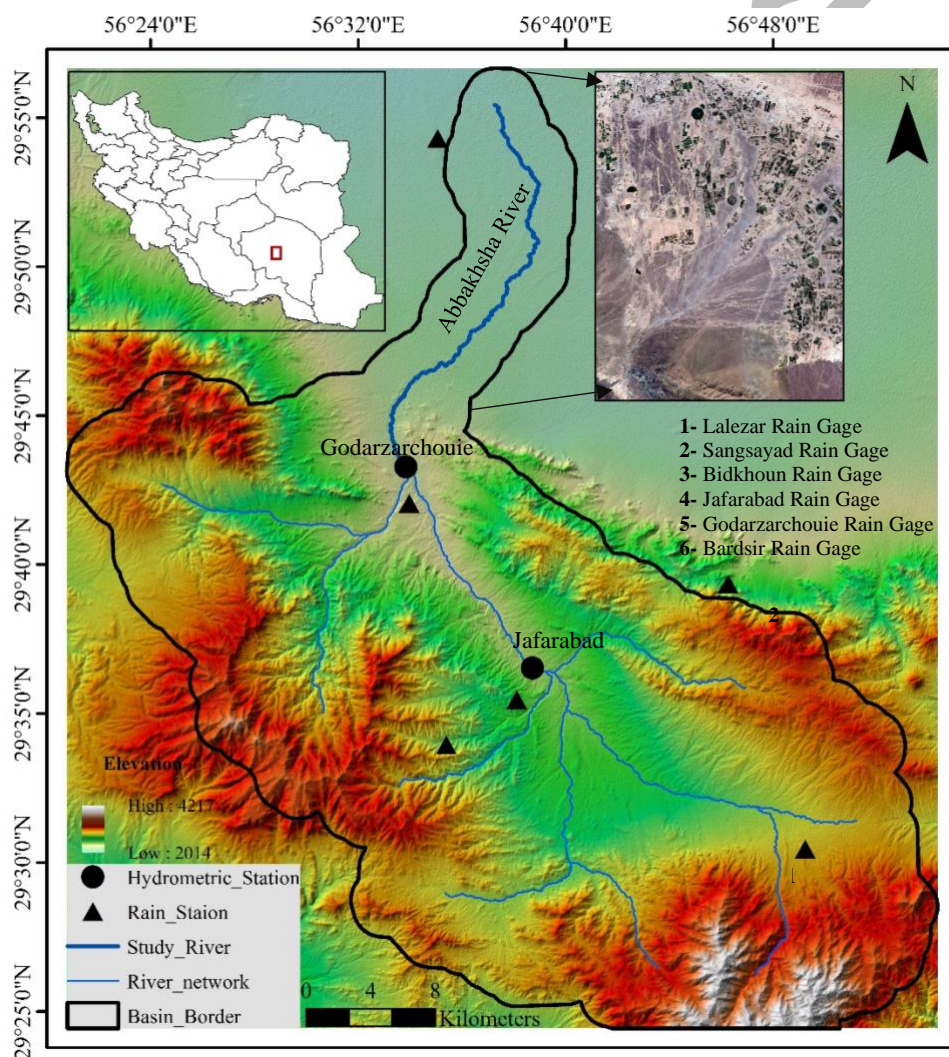


Figure 1. Location of study area and its catchment area

مدل هیدرولیکی مورد استفاده ابتدا بایستی برای حوضه خاص مورد مطالعه آماده‌سازی، کالیبره و صحت‌سنجی شود (Dixon, 2016). برای آماده‌سازی مدل هیدرولیکی برای منطقه خاص مورد مطالعه ابتدا بایستی گام مکانی (ابعاد مش)، گام زمانی و فاکتور وزنی  $\theta$  مشخص شود (Brunner, 2016). با توجه به ویژگی Subgrid Variability مدل دویعدی HEC-RAS، انتخاب گام مکانی محدودیتی نداشته ولی شامل ضوابطیست که با توجه به ضوابط آن 50 متر انتخاب شده است. گام زمانی آن نیز بر طبق محدودیت عدد کورانت و ضوابط مربوطه 30 ثانیه و فاکتور وزنی  $\theta$  پس از تست پایداری همان مقدار پیش‌فرض مدل گذاشته شده است.

فرایند کالیبراسیون مدل HEC-RAS در صورت وجود یا عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری شده در چند حالت انجام می‌شود که عبارتند از: 1- تراز سطح آب اندازه‌گیری شده 2- داده‌های دبی اندازه‌گیری شده 3- علائم بالا آمدن آب (داغاب). 4- مناطقی که داده‌های ثبت شده در آن وجود ندارد. در بسیاری از مطالعات بخش قابل توجهی از منطقه فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بوده، لذا دبی در این مناطق را می‌توان با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و یا استفاده از داده‌های ثبت شده در حوضه‌های مشابه و تعمیم به منطقه مورد مطالعه بدست آورد. با توجه به عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در منطقه هدف مورد مطالعه از مدل هیدرولوژیکی جهت تولید داده‌های مشاهده‌ای استفاده شد. جهت انجام این کار، چند رویداد خاص بایستی که رنج کاملی از جریان کم به زیاد و برگشت به جریان کم را در بر داشته باشد، در نظر گرفته شود (Brunner, 2016). در این مطالعه از سه رویداد بارش و هیدروگراف ثبت شده برای انجام فرایند کالیبراسیون استفاده شد. ملاک انتخاب رویدادها وجود همزمان داده‌های بارش و هیدروگراف سیل به وقوع پیوسته و رنج کاملی از جریان‌ها (کم به زیاد و برگشت به جریان کم) بوده است.

یکی از پارامترهایی که در طول کالیبراسیون مدل هیدرولیکی تنظیم می‌شود، مقدار ضریب‌زبری مانینگ است زیرا این متغیر اغلب بیش‌ترین عدم قطعیت و تغییر را در بین ورودی HEC-RAS دارد. ضریب‌زبری مانینگ پارامتریست که برای کالیبراسیون مدل هیدرولیکی رودخانه استفاده می‌شود و فرایند کالیبراسیون نباید با مقادیر غیرواقعی ضریب‌زبری مانینگ انجام شود. برای کالیبراسیون مدل هیدرولیکی با تغییر ضریب‌زبری مانینگ در یک مساحت محدود، داده‌های ایستگاه محاسباتی و مشاهده‌ای (مکان ایستگاه مشاهده‌ای در 30 کیلومتری بازه از بالادست قرار دارد) با هم مورد مقایسه قرار گرفته، تا جایی که اختلاف بین هیدروگراف مشاهده‌ای (حاصل از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS) و محاسباتی به حداقل خود برسد (Brunner, 2016).

## 2-2. مدل هیدرولوژیکی

همان‌طور که بیان گردید با توجه به عدم وجود داده‌های هیدرومتری در محل مورد مطالعه و لزوم کالیبره نمودن مدل هیدرولیکی، از مدل هیدرولوژی HEC-HMS به منظور اخذ هیدروگراف در محل مورد نظر استفاده شد. با توجه به اطلاعات موجود در منطقه مورد مطالعه، روش SCS برای محاسبه نفوذ، هیدروگراف واحد کلارک برای محاسبه میزان بارش مازاد و روش ماسکینگام برای روندیابی جریان رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. نقشه شماره منحنی CN با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک منطقه حاصل شد. باتوجه به وجود 6 ایستگاه باران‌سنجی در داخل و مجاور این حوضه وجود دارد، از پلیگون تیسن برای وزن‌دهی به هر ایستگاه باران‌سنجی استفاده شد.

این مدل نیز قبل از استفاده بایستی کالیبره شود. پارامترهای جذب اولیه، زمان تمرکز، شماره منحنی (CN) و ضرایب  $k$  و  $x$  روش ماسکینگام موجود در توابع محاسبه نفوذ، تبدیل بارش به رواناب و روندیابی جریان پس از محاسبه مقادیر اولیه آن‌ها در روابط مربوطه با استفاده از روش بهینه‌سازی موجود در مدل HEC-HMS، در سه رخداد مذکور سیل کالیبره شدند. هیدروگراف‌های خروجی از مدل بارش-رواناب به عنوان داده‌های مورد استفاده در کالیبراسیون مدل هیدرولیکی استفاده شد.

سه رویداد سیل انتخاب شده عبارتند از: سیل بهمن ماه سال 1395، سیل فروردین ماه سال 1381 و سیل اسفند ماه سال 1377 که هر کدام از آن‌ها باعث به وقوع پیوستن خسارات زیادی در شهر پایین‌دست خود شده‌اند. به منظور آماده‌سازی و کالیبراسیون مدل HEC-HMS، مدل رقومی ارتفاعی با دقت 12/5 متر به نرم‌افزار معرفی و زیرحوضه‌ها و رودخانه اصلی و آبراهه‌ها شناسایی شدند. از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری گذارزارچونیه برای کالیبره نمودن مدل استفاده شد. هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در دو واقعه در ایستگاه گذارزارچونیه در شکل 2 آورده شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در سه رویداد دو پارامتر مهم دبی اوج و زمان رسیدن به اوج که در مطالعات سیلاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند به خوبی شبیه‌سازی شده‌اند، مضافاً آنکه قانون بقای جرم نیز در همه موارد ارضا گردیده است.

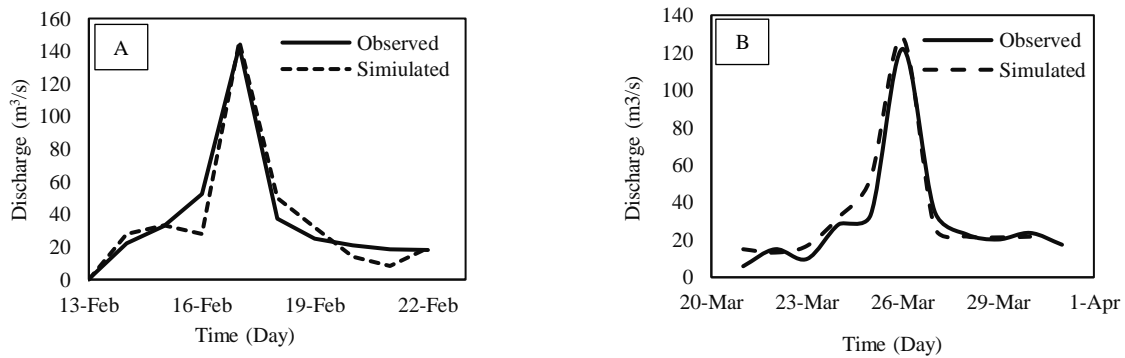


Figure 2. HEC-HMS calibration. A) February 2017 flood, B) March 2002 flood

### 3-2. ایجاد خم در مسیر رودخانه

اقداماتی که در مدیریت سیلاب به روش طبیعی به منظور کاهش ریسک سیلاب انجام می‌گیرد به سه اقدام کلی تقسیم می‌شود. 1. کاهش سرعت جریان در رودخانه از طریق بازگرداندن ویژگی‌های طبیعی رودخانه مانند افزایش طول کانال یا ایجاد موانع چوبی سر راه جریان. 2. ذخیره‌سازی آب در سیلاب‌دشت‌ها از طریق افزایش اتصال اصلی رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها. 3. نفوذ بیشتر و ذخیره‌سازی آب در خاک از طریق افزایش پوشش گیاهی (Ngai *et al.*, 2017). در این تحقیق روش اول (ایجاد خم در مسیر رودخانه) به منظور ارزیابی ریسک سیلاب در بستر نرم‌افزار ArcMap توسعه داده شد. به این منظور یک خم کمی در کنار مسیر اصلی رودخانه به طول پنج کیلومتر بر روی مدل رقومی دیجیتال منطقه (با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار ArcMap) ایجاد و برای شبیه‌سازی هیدرولیکی به نرم‌افزار HEC-RAS 2D معرفی شد. شکل 3 محل تعبیه این خم کمی را نشان می‌دهد. به منظور درک بهتر موضوع، حالت ایجاد خم در مسیر رودخانه، سناریو شماره یک و حالت پایه و بدون تغییر، سناریو پایه نامگذاری شده است.

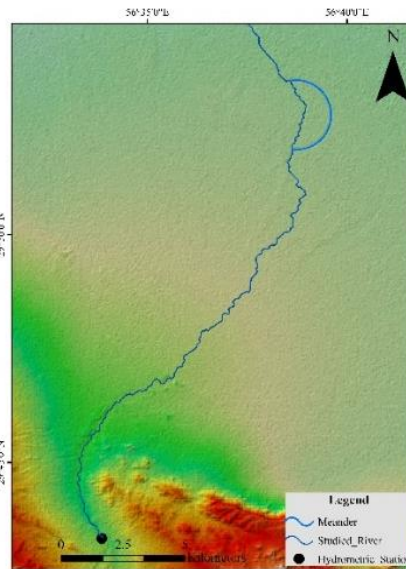


Figure 3. The location of applied meander

### 4-2. تحلیل فراوانی

برای استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی ابتدا بایستی ماهیت داده‌ها از نظر همگنی و تصادفی بودن آن‌ها تأیید شود. آزمون‌های Pettitt's test و Run test به منظور بررسی همگنی و تصادفی بودن داده‌های دبی ماکزیمم روزانه به ترتیب استفاده شدند. نتایج حاصل با توجه به مقدار P-Value برابر با 0/136 و  $Z = -1.86$  در سطح اطمینان 95 درصد، این داده‌ها مربوط به یک جامعه آماری و تصادفی هستند. نتایج تحلیل فراوانی با استفاده از نرم‌افزار Easyfit نشان می‌دهد که توزیع Log-Pearson 3 با تأیید سه آزمون نکویی Kolmogorov Smirnov، Anderson Darling و Chi-squared به عنوان بهترین توزیع‌ها انتخاب شدند و دبی در دوره

بازگشت‌های مختلف اخذ شدند. با توجه به اینکه مدل دوبعدی HEC-RAS تنها در حالت غیرماندگار اجرا می‌شود، لذا نتایج حاصل از دبی در دوره بازگشت‌های مذکور با استفاده از روش هیدروگراف واحد SCS، به هیدروگراف تبدیل شدند (شکل 4).

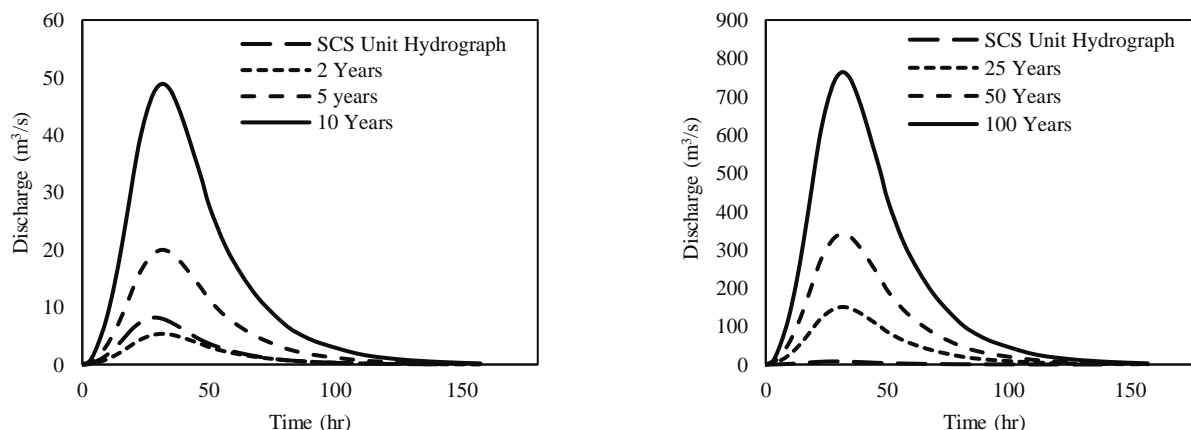


Figure 4. Flood hydrograph for different return periods and SCS unit hydrograph

## 5-2. محاسبه ریسک سیل

ارزیابی ریسک سیل علاوه بر ایجاد زمینه‌های منطقی برای طراحی اقدامات سیل، مدیریت اصولی و سازمان‌دهی شده را فراهم می‌کند (Tariq, 2013). تعاریف مختلفی برای ریسک سیل وجود دارد. تلفات مورد انتظار سیل، متداول‌ترین تعریف ریسک سیل است (UDHA, 1992; Sayers, 2002; Kron, 2005). با توجه به اینکه سیل و خسارت ناشی از آن رویدادهای احتمالاتی هستند (Yoe, 1994; Tariq, 2013) و شدت سیل و آسیب‌پذیری اجتماعی به طور یکنواخت در منطقه وجود ندارد، لذا منحنی‌های خسارت بیان واضحی از توزیع ریسک را ارائه می‌کنند. منحنی‌های خسارت، الگوی توزیع خسارت را در برابر سیل‌های احتمالی مختلف نشان می‌دهد (Tariq et al., 2014). EAD نیز به عنوان یک پارامتر تصمیم‌گیری برای مدیریت سیل محسوب می‌شود که از حاصل جمع تخمین‌های وزنی خسارت احتمالی (روابط 1 و 2) بدست می‌آید (Ayyub et al., 2009).

$$EAD = \sum_{i=1}^m D_i \times \Delta P_i \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \frac{P_{i-1} + P_i}{2} \quad (2)$$

در این روابط  $D$  خسارت و  $P$  احتمال رخداد آن می‌باشد. تصمیم‌هایی که بر مبنای EAD و منحنی‌های خسارت در مدیریت و کنترل سیل گرفته می‌شوند، نسبت به بقیه روش‌های متعارف، ارجحیت دارند (Tariq, 2013). به منظور برآورد خسارت سیلاب روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های Hydro Economic که میزان خسارت وارده و در نهایت EAD را محاسبه می‌کنند (Yi et al., 2010). اما به دلیل اینکه شرایط جریان، آسیب‌پذیری اجتماعی، کاربری زمین در حال تغییر است، استفاده از این مدل‌های آماده مناسب در چنین شرایطی مناسب نیست (Tariq, 2013). با پیشرفت در پردازش رایانه‌ها و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تجزیه و تحلیل داده‌ها، استفاده از بستر GIS و توابع Damage-Stage روشی مناسب جهت محاسبه خسارت‌های ناشی از سیل، توصیه شده است (Yi et al., 2010; Levy, 2005).

توابع Damage-Stage روابطی هستند که برای محاسبه درصد خسارت وارده به هر کاربری اراضی و جمعیت استفاده می‌شوند. به بیان دیگر این توابع الگوی خسارت را در برابر سیل‌های احتمالی مختلف نشان می‌دهند (Tariq et al., 2014). بر اساس مطالعه موسسه JCR در سال 2017، این توابع بر اساس هر کاربری در هر کشور توسعه داده شده‌اند (Huizinga, 2017). در این مطالعه از نتایج این موسسه برای محاسبه خسارت کاربری کشاورزی منطقه آسیا استفاده شده است.

### 3. بحث و نتایج

#### 3-1. مساحت پهنه سیلابی

به منظور تحقق اهداف تحقیق حاضر، لایه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در حالت پایه (بدون ایجاد تغییراتی در آن) و در حالت ایجاد خم در مسیر رودخانه، به بستر نرم افزار HEC-RAS 2D معرفی شده و نقشه عمق آب و پهنه سیلابی و سایر پارامترهای هیدرولیکی در دوره بازگشت های 5، 10، 25، 50 و 100 سال در آن مورد محاسبه قرار گرفتند. شکل های 5 و 6 نقشه عمق آب و میزان پهنه سیلابی را در دوره بازگشت های 25 و 100 سال به عنوان نمونه در دو حالت پایه و ایجاد خم در مسیر رودخانه نشان می دهد. با توجه به شکل 6 مساحت پهنه سیلابی در همه دوره بازگشت های مورد بررسی در حالت ایجاد خم نسبت به حالت پایه کمتر است.

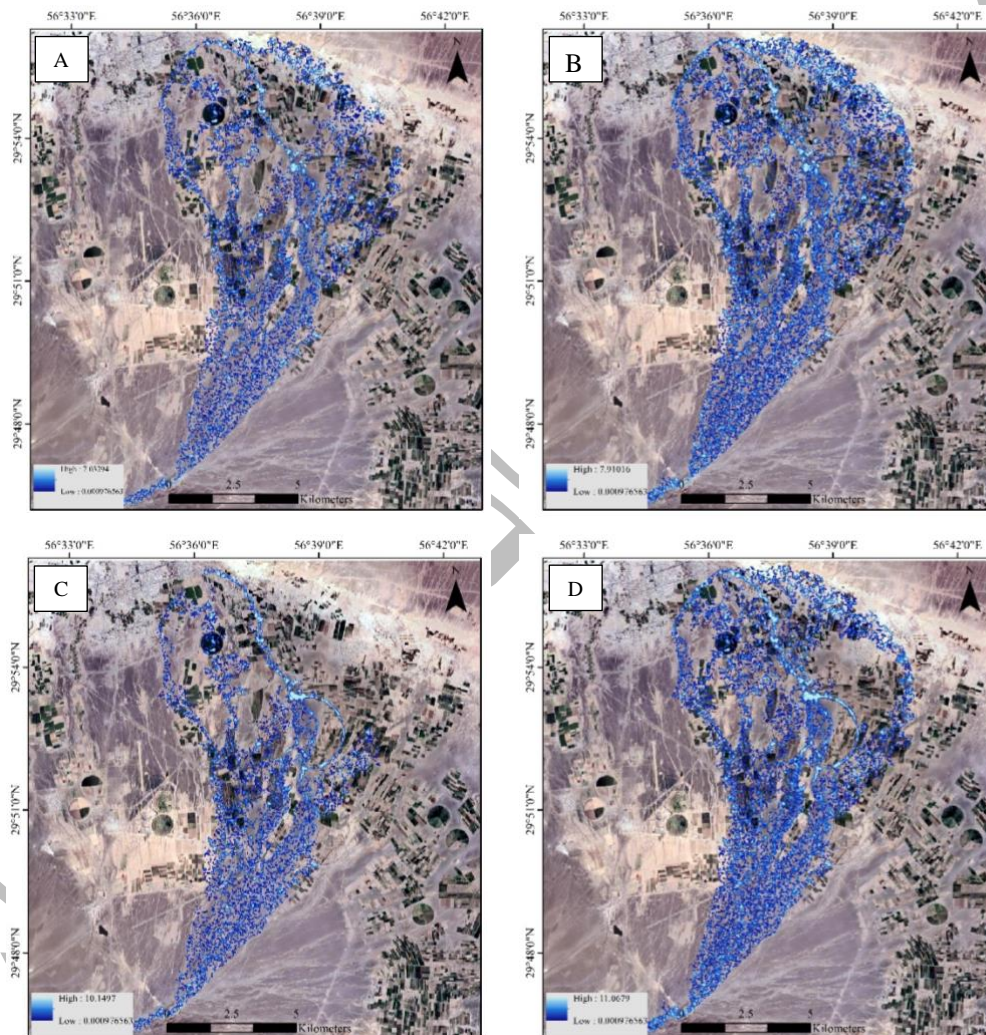


Figure 5. Flood extent map. A, B) The base scenario of 25 and 100 year return periods. C, D) The first scenario of 25 and 100 year return periods

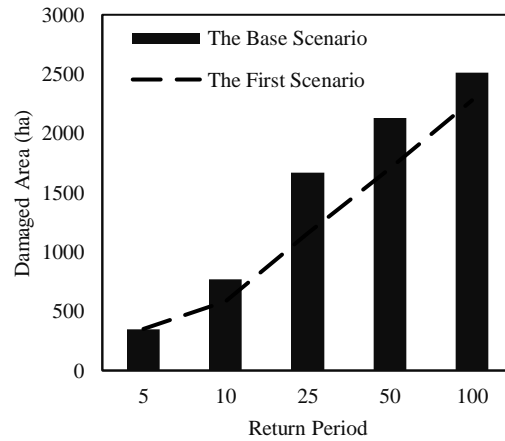


Figure 6. The area of flood extent in both scenario

### 2-3. خسارت سیل

میزان خسارت کاربری کشاورزی با توجه به تابع مربوطه در هر سناریو و دوره بازگشت در بستر نرم افزار ArcMap محاسبه قرار گرفت. به عنوان نمونه در شکل 7 خسارت کاربری کشاورزی در دوره بازگشت 25 سال آورده شده است. برآورد خسارت متأثر از دو پارامتر میانگین خسارت وارده و مساحت تحت آسیب بوده زیرا خسارت وارده دارای توزیع مکانی یکسانی نیست. با توجه به روابط 1 و 2 میزان خسارت سالیانه از حاصل جمع مساحت آسیب دیده در میانگین خسارت وارده در هر دوره بازگشت بدست می آید. در شکل 8-الف مقدار در هر دوره بازگشت آورده شده است. با توجه به شکل میزان تأثیر ایجاد خم در دوره بازگشت های مختلف دبی متفاوت است. در دوره بازگشت های کم میزان این تأثیر کم بوده که دلیل آن کم بودن دبی و نرسیدن سیل به خم کمی است و در دوره بازگشت های نزدیک به 100 سال نیز این تأثیر کمتر شده که به علت پر شدن گنجایش خم کمی بوده است. به منظور درک بهتر اثر این خم کمی پارامتر خسارت مورد انتظار سالیانه در هر دو سناریو با استفاده از روابط 1 و 2 مورد محاسبه قرار گرفت و در شکل 8-ب آورده شده است. با توجه به این شکل خسارت مورد انتظار سالیانه در حالت ایجاد خم در مسیر رودخانه 15/5 درصد نسبت به حالت پایه کمتر است. این بدان معناست که در حوضه های بزرگ با وسعت بیش از هزار کیلومتر مربع و مناطقی که دارای خصوصیت مخروط افکنه ای هستند، روش های طبیعی کنترل سیل می تواند باعث کاهش ریسک سیلاب شود.

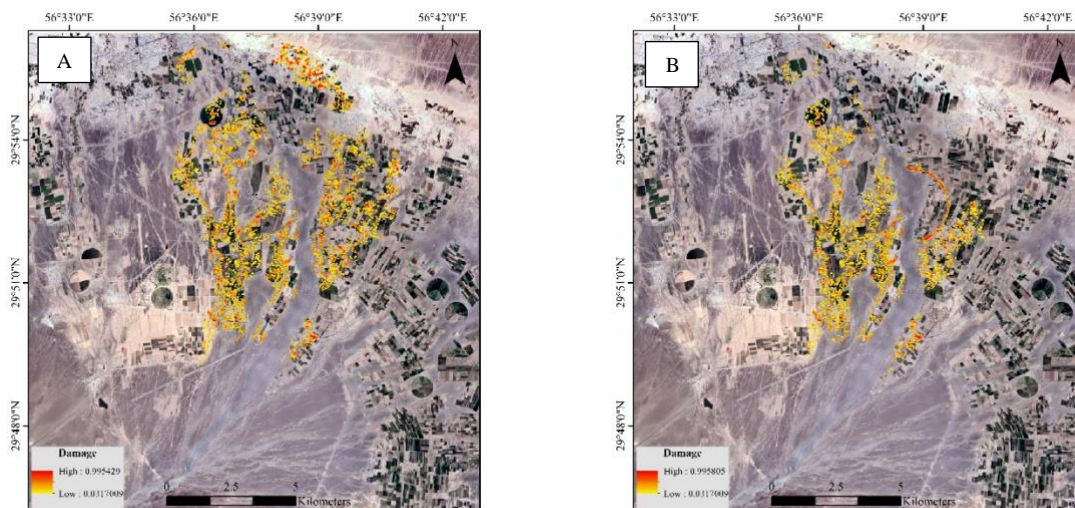




Figure 7. Flood Damage on agricultural land use of 25-year return period, A) The Base scenario, B) The First scenario

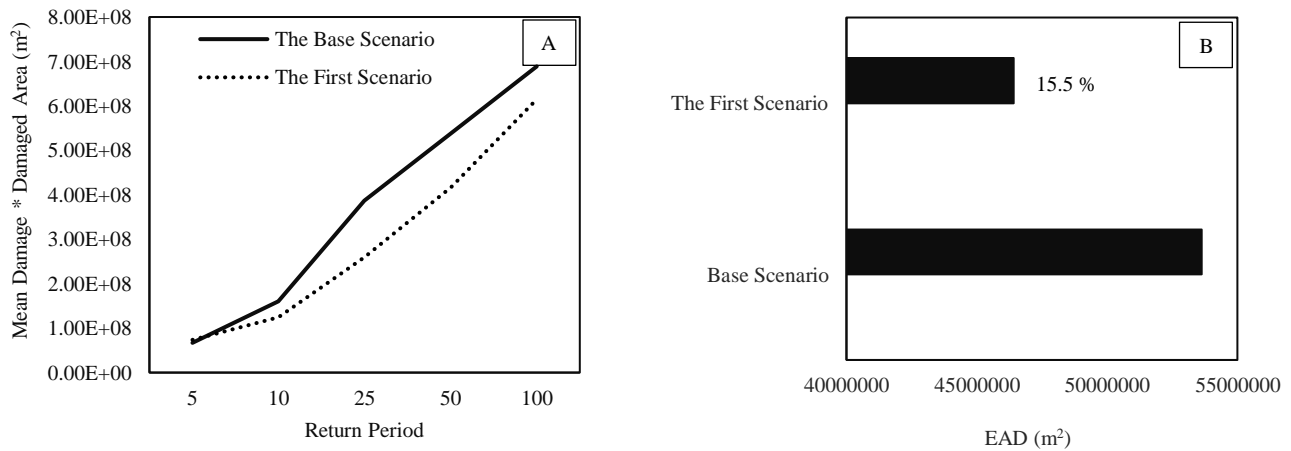


Figure 8. Expected annual agricultural land use damage in both scenario

### نتیجه‌گیری

استفاده از رامحل‌های طبیعی کنترل سیل در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه متخصصان مدیریت سیل قرار گرفته است. با استفاده از رامحل‌های طبیعی، از سیل که یک تهدید برای جوامع محسوب می‌شود، می‌توان یک فرصت کم‌نظیر برای حفظ و تقویت محیط‌زیست، ذخیره آب و البته کاهش خسارات ناشی از سیلاب را به وجود آورد. روش‌های طبیعی کنترل سیل در حقیقت به هر عمل مبتنی بر طبیعت که باعث کاهش سرعت جریان، کاهش دبی ماکزیمم، کاهش پهنه سیل و در نهایت کاهش ریسک سیلاب شود اطلاق می‌گردد. اثربخشی هر روش به خصوصیات منطقه مورد مطالعه، وسعت حوضه آبریز و البته به وسعت اجرای عملیات وابسته است. در هر پروژه کنترل طبیعی سیل لازم است قبل از انجام عملیات اجرایی، مدل آن توسعه داده شود تا از ضررهای احتمالی جلوگیری شود. این تحقیق در گام اول یک مدل بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی و شبیه‌سازی دوبعدی هیدرولیکی ارائه داده که اثربخشی رامحل‌های طبیعی کنترل سیل را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و ریسک سیلاب متناسب با آن روش را محاسبه می‌کند. در گام دوم پس از کالیبراسیون مدل ارائه شده، حوضه آبریزی به وسعت 1136 کیلومتر مربع و دارای خصوصیت مخروط افکنه‌ای را در نظر گرفته شد و یک روش از رامحل‌های طبیعی کنترل سیل را بر روی بازه‌ای از رودخانه آن اجرا شد.

یافته‌ها حاکی از آن است که نتایج استفاده از خم یا مئاندر به عنوان یک راه حل طبیعی کنترل سیل در مناطق مخروط افکنه با وسعت حوضه آبریز بالای هزار کیلومتر مربع، در دبی‌ها با دوره بازگشت‌های زیر 100 سال که در این تحقیق به آن پرداخته شده، مؤثر بوده و می‌تواند باعث کاهش مساحت پهنه سیل‌گیر، کاهش میانگین خسارت وارده و در نهایت کاهش ریسک سیلاب شود. میزان تأثیر در دبی با دوره بازگشت‌های مختلف متفاوت بوده و در دبی‌ها با دوره بازگشت کمتر از 25 سال، به دلیل کم بودن میزان دبی و در دبی‌های با دوره بازگشت‌های حدود 100 سال نیز به دلیل پر شدن ظرفیت مئاندر میزان تأثیر خم کمکی در خسارت سیلاب کمتر می‌شود.

اما به طور کلی بر طبق نتایج حاصله می‌توان گفت این راه حل طبیعی می‌تواند تا دبی با دوره بازگشت حدود 100 سال مؤثر باشد و باعث کاهش خسارت مورد انتظار سالیانه شود. اثر آن در دبی‌ها با دوره بازگشت‌های کمتر، بیشتر بوده و می‌توان از آن‌ها جهت جلوگیری از خسارات سیل استفاده نمود و از مزایای راه حل‌های طبیعی کنترل سیل بهره جست. در این تحقیق با توجه به خصوصیات منطقه مورد مطالعه و ابعاد خم کمکی بکار رفته، استفاده از این راه حل طبیعی باعث کاهش 15/5 درصدی ریسک سیلاب می‌شود. لازم به ذکر است که در این مناطق، استفاده از راه حل‌های طبیعی بیشتر بر روی وسعت پهنه سیلابی مؤثر بوده تا میانگین خسارت وارده. می‌توان مدل اقتصادی برای ارزیابی استفاده از این راه حل‌های طبیعی توسعه داد تا میزان سود و هزینه آن‌ها بهتر مشخص شود و به تصمیم‌گیری استفاده از کدام راه حل کمک کند. فراهم نمودن ادوات اجرای طرح، خرید محدوده زمین اجرای طرح در صورتی که مالک شخصی داشته باشد و هزینه‌های اجرای آن از جمله محدودیت‌های طرح حاضر به شمار می‌رود.

1. Herrero, A. D., Huerta, L. L., & Isidro, M. L. (2009). A handbook on flood hazard mapping methodologies (Vol. 2). IGME.
2. Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J.C., Bates, P., Bertola, M., Kemter, M., Kreibich, H., Lall, U. and Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), pp.592-609.
3. Lai, C., Chen, X., Wang, Z., Yu, H., & Bai, X. (2020). Flood risk assessment and regionalization from past and future perspectives at basin scale. *Risk analysis*, 40(7), 1399-1417.
4. Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., Fang, X. and Huang, W. (2022). A review of the flood management: from flood control to flood resilience. *Heliyon*, 8(11).
5. Everard, M., & Moggridge, H. L. (2012). Rediscovering the value of urban rivers. *Urban Ecosystems*, 15, 293-314.
6. Gilvear, D. J., Casas-Mulet, R., & Spray, C. J. (2012). Trends and issues in delivery of integrated catchment scale river restoration: lessons learned from a national river restoration survey within Scotland. *River Research and Applications*, 28(2), 234-246.
7. Ngai, R., Wilkinson, M., Nisbet, T., Harvey, R., Addy, S., Burgess-Gamble, L., Rose, S., Maslen, S., Nicholson, A., Page, T., Jonczyk, J., & Quinn, P. (2017). Working with natural processes—Evidence directory appendix 2: Literature review.
8. Nardini, A., & Pavan, S. (2012). River restoration: not only for the sake of nature but also for saving money while addressing flood risk. A decision-making framework applied to the Chiese River (Po basin, Italy). *Journal of Flood Risk Management*, 5(2), 111-133.
9. Wohl, E., Lane, S. N., & Wilcox, A. C. (2015). The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 51(8), 5974-5997.
10. Forbes, H., Ball, K., & McLay, F. (2015). Natural flood management handbook, Scottish Environment Protection Agency.
11. Wharton, G., & Gilvear, D. J. (2007). River restoration in the UK: Meeting the dual needs of the European Union Water Framework Directive and flood defence?. *International Journal of River Basin Management*, 5(2), 143-154.
12. Acreman, M. C., Riddington, R., & Booker, D. J. (2003). Hydrological impacts of floodplain restoration: a case study of the River Cherwell, UK. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(1), 75-85.
13. Liu, Y. B., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffmann, L., & Pfister, L. (2004). Simulation of flood reduction by natural river rehabilitation using a distributed hydrological model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6), 1129-1140.
14. Sear, D. A., & Newson, M. D. (2004). The hydraulic impact and performance of a lowland rehabilitation scheme based on pool-riffle installation: the River Waveney, Scole, Suffolk, UK. *River Research and Applications*, 20(7), 847-863.
15. Sear, D., Kitts, D., & Millington, C. E. (2006). New Forest LIFE-III Monitoring Report: the geomorphic and hydrological response of New Forest streams to river restoration.
16. Kitts, D. R. (2010). *The hydraulic and hydrological performance of large wood accumulation in a low-order forest stream* (Doctoral dissertation, University of Southampton).
17. Keesstra, S. D., Kondrova, E., Czajka, A., Seeger, M., & Maroulis, J. (2012). Assessing riparian zone impacts on water and sediment movement: a new approach. *Netherlands Journal of Geosciences*, 91(1-2), 245-255.
18. Lallemand, D., Hamel, P., Balbi, M., Lim, T. N., Schmitt, R., & Win, S. (2021). Nature-based solutions for flood risk reduction: A probabilistic modeling framework. *One Earth*, 4(9), 1310-1321.
19. Dixon, S. J., Sear, D. A., Odoni, N. A., Sykes, T., & Lane, S. N. (2016). The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(7), 997-1008.
20. Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS River Analysis System. 2D Modeling User's Manual. Version 5.0. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.
21. Tariq, M. A. U. R. (2013). Risk-based flood zoning employing expected annual damages: the Chenab River case study. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27, 1957-1966.

22. DHA, U. (1992). Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management. *UN DHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs), Geneva*.
23. Kron, W. (2005). Flood risk= hazard• values• vulnerability. *Water international*, 30(1), 58-68.
24. Sayers, P. B., Gouldby, B., Simm, J. D., Hawkes, P. J., Ramsbottom, D. M., Meadowcroft, I. C., & Hall, J. W. (2002). Risk, performance and uncertainty in flood and coastal defence-a review.
25. Yoe, C. E. (1994). *Framework for estimating national economic development benefits and other beneficial effects of flood warning and preparedness systems* (p. 116). US Army Corps of Engineers, Water Resources Support Center, Institute for Water Resources.
26. Tariq, M. A., Hoes, O. A., & Van de Giesen, N. C. (2014). Development of a risk-based framework to integrate flood insurance. *Journal of Flood risk management*, 7(4), 291-307.
27. Ayyub, B. M., Foster, J., & McGill, W. L. (2009). Risk analysis of a protected hurricane-prone region. I: Model development. *Natural Hazards Review*, 10(2), 38-53.
28. Yi, C. S., Lee, J. H., & Shim, M. P. (2010). GIS-based distributed technique for assessing economic loss from flood damage: pre-feasibility study for the Anyang Stream Basin in Korea. *Natural hazards*, 55, 251-272.
29. Levy, J. K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19, 438-447.
30. Huizinga, J., De Moel, H., & Szewczyk, W. (2017). *Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines* (No. JRC105688). Joint Research Centre (Seville site).

# The effect of return period discharge in applying one of the natural flood management measures on flood risk reduction

Soodeh Kalami<sup>1</sup>, Mohammad Mahdi Ahmadi<sup>2\*</sup>, Reza Hasanzade<sup>3</sup>

1- Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Email: [soodehkalami@agr.uk.ac.ir](mailto:soodehkalami@agr.uk.ac.ir)

2- Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Email: [ahmadi\\_mm@uk.ac.ir](mailto:ahmadi_mm@uk.ac.ir)

3- Department of Ecology, Research Institute of Environmental Sciences, Advanced Technology University, Kerman, Iran. Email: [r.hassanzadeh@kgut.ac.ir](mailto:r.hassanzadeh@kgut.ac.ir)

In this study, the amount of flood risk reduction due to applying one of natural flood management measures, in alluvial fans, was investigated. Usually, flood management is done by common structural and non-structural methods, which are expensive and short-lived. Flood damage reduction and using more stable and flexible solutions for flood management, have been received more attention from researchers in recent years. Using natural flood management (NFM) is considered stable methods of flood management, and in this study by presenting a natural solution in the form of increasing the length of the river by creating a meander, to investigate its effect on the expected flood damage compared to the base mode is paid. The method of conducting this study is based on modeling, which uses three models: HEC-HMS, HEC-RAS 2D and ArcMap. The study area is Abbakhsha River catchment located in Bardsir city, Kerman province, with an area of 1136 square kilometers, has the state of an alluvial fan that numerous floods have occurred. Topography, precipitation and discharge are the most important data required for this study. According to the results of this research, creating a meander in the river reduces the expected annual damage (EAD) by 15.5%. The results of this research can be effective in the planning and policy making of optimal flood management solutions in the region.

## Keywords

Expected Annual Damage (EAD), Damage Reduction, Natural Flood Management (NFM), Meander.