

## ارزیابی خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب با استفاده از مدل سازی HEC-RAS و ARC View

حسین حکمتی فر<sup>۱\*</sup>

[H\\_Hekmatifar2004@yahoo.com](mailto:H_Hekmatifar2004@yahoo.com)

مهرداد نظریها<sup>۲</sup>

سعید گیوه چی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۲۴

### چکیده

انتخاب روش های سازه های مناسب ابتدا با در نظر گرفتن جنبه های فنی و سپس با انجام تحلیل سود به هزینه اجرای آن ها صورت می گیرد. از آن جا که در تحلیل سود به هزینه طرح های کنترل سیلاب، میزان کاهش خسارات حاصل از اجرای طرح ها، یکی از مهم ترین سودهای آن می باشد، پرداختن به روش های دقیق تر ارزیابی خسارات سیلاب ضروری می باشد. در این تحقیق میزان خسارات وارد شده به اراضی کشاورزی سیلاب دشت رودخانه قره سو در شهر کرمانشاه برای طرح های مختلف سازه های کنترل سیلاب رودخانه مورد مطالعه قرار گرفت. طول بازه مطالعاتی حدود ۲۹/۵ کیلومتر می باشد و اراضی کشاورزی در دو طرف آن پراکنده است.

به منظور ارزیابی خسارات یاد شده، طرح های اصلاح مسیر، لایروبی مسیر و ترکیب اصلاح و لایروبی مسیر رودخانه با استفاده از برنامه رایانه ای HEC-RAS و محیط Arc View مدل سازی شده، اراضی سیل گرفته تعیین شد.

نتایج این تحقیق بیانگر آن است که طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی که به نظر می رسد دارای میزان کاهش خسارت چشم گیری نسبت به دو طرح یاد شده به طور جداگانه باشد، عملاً تفاوت میزان کاهش خسارت حاصل از این طرح با طرح لایروبی ناچیز می باشد.

واژه های کلیدی: سیلاب، روش های سازه ای، ارزیابی خسارات کشاورزی، Arc View، HEC-RAS، رودخانه قره سو.

۱- کارشناسی ارشد مدیریت در سوانح طبیعی، موسسه تحقیقات آب، \* (مسئول مکاتبات).

۲- استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

۳- دانشجوی دکتری جغرافیا - برنامه ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

## مقدمه

روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب عبارتند از کلیه عملیاتی که اولاً دارای ماهیت سازه‌ای باشند، ثانیاً باعث دور شدن سیل از مردم شوند و ثالثاً این که قبل از وقوع سیلاب اجرا شوند. امروزه روش‌های سازه‌ای مختلفی برای کنترل سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد، از جمله مخازن ذخیره‌ای، مخازن تأخیری، لایروبی مسیر رودخانه و غیره. انتخاب روش‌های سازه‌ای مناسب ابتدا با در نظر گرفتن جنبه‌های فنی و سپس با انجام تحلیل سود به هزینه اجرای آن‌ها صورت می‌گیرد (۱).

در ارزیابی یک طرح، فرایند تصمیم‌گیری با ارزیابی فواید و هزینه‌های هر گزینه انجام می‌گیرد. این امر برای آن است که پیچیدگی انتخاب، به سطح قابل مدیریت کاهش یابد و علاوه بر آن بتوان درک این مسأله را انتقال داد. بنابراین شیوه تحلیل سود به هزینه به نوع تصمیمی که باید اخذ شود، مرتبط است. به عنوان مثال در مطالعات امکان‌سنجی اطلاعات بسیار اندکی در دسترس است و اگر ارزیابی اولیه سود به هزینه مثبت نباشد، جمع‌آوری هرگونه اطلاعات اضافه فاقد ارزش بوده، پروژه باید فوراً رها شود. هزینه انجام تحلیل سود به هزینه معمولاً سهم کوچکی (کمتر از ۱٪) از هزینه اصلی پروژه می‌باشد (۱). در حالی که باعث صرفه جویی‌های بزرگی می‌شود. از آن جا که در تحلیل سود به هزینه طرح‌های کنترل سیلاب، میزان کاهش خسارات حاصل از اجرای طرح‌ها، یکی از مهم‌ترین سودهای آن می‌باشد، پرداختن به روش‌های دقیق‌تر ارزیابی خسارات سیلاب ضروری می‌باشد.

به دو نوع مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرد. خسارات مستقیم سیلاب در اثر برخورد فیزیکی و مستقیم سیلاب ایجاد می‌شود؛ در حالی که خسارات غیرمستقیم از طریق وقفه و اختلال در فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی به‌عنوان پیامدی از خسارات مستقیم سیلاب به وجود می‌آید. خسارات مستقیم و غیرمستقیم را می‌توان به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرد. معمولاً خسارات مستقیم اولیه، مستقیم ثانویه و غیرمستقیم اولیه به دو طریق بر حسب ارزش پولی، قابل اندازه‌گیری می‌باشند. اول استفاده از روش‌های دقیق به کار گرفته شده و دوم بر اساس توابع تراز- خسارت. خسارات غیر مستقیم ثانویه معمولاً از طریق ضرایب منطقه‌ای و یا عوامل تصحیح معقول تخمین زده می‌شود. در روش بررسی دقیق، تخمین از طریق بررسی پرسشنامه‌هایی که بعد از سیلاب در میان آسیب‌دیدگان توزیع می‌شود، انجام می‌گیرد. در روش تراز خسارت، رابطه‌ای بین میزان خرابی وارد شده به انواع مختلف مالکیت و پارامترهای سیلاب از قبیل عمق و مدت آب گرفتگی، برقرار می‌شود. با استفاده از این توابع، خسارت اقتصادی وارد شده به دسته‌های مختلف مالکیت تخمین زده شده، از جمع آن‌ها خسارت کل سالیانه را به دست می‌آید. این توابع یا از طریق تحلیل داده‌های سیلاب‌های گذشته و یا از طریق توصیفات تحلیلی خسارات وارد شده به مالکیت‌های مختلف به دست می‌آیند. در روش دوم زمان و منابع کمتری صرف تخمین خسارت سیلاب می‌شود (۳).

## مدل‌های تخمین خسارت سیلاب

در حال حاضر تعداد کمی مدل ارزیابی خسارت سیلاب در دسترس می‌باشد. از جمله دو مدل بسیار مشهور HEC-FDA (یک بسته نرم‌افزاری جهت تحلیل خسارات سیلاب) و ANUFLOOD. مدل FDA که توسط گروه ارتش آمریکا تهیه شده است، از روش‌های فراوانی برای محاسبه خسارت سالانه مورد انتظار استفاده می‌کند (۳). این بسته نرم‌افزاری خسارت بالقوه را برای سیلاب‌های با بزرگی مشخص

## انواع خسارات ناشی از سیلاب

خسارات ناشی از سیلاب به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود: خسارات محسوس و خسارات نامحسوس. خسارات محسوس آن دسته از خسارت است که می‌توان آن‌ها را با اصطلاحات اقتصادی به صورت کمی بیان کرد و خسارات نامحسوس آن‌هایی هستند که بیان آن‌ها بر حسب ارزش اقتصادی مشکل می‌باشد (۲). هر یک از دو دسته فوق را می‌توان

RAS برای ارزیابی خسارات وارده به بخش کشاورزی استفاده می‌شود.

### پهنه بندی سیلاب‌دشت با استفاده از Arc View

در سال ۱۹۶۸ کنگره ملی ایالات متحده امریکا برنامه بیمه ملی سیل را به منظور همکاری برای مقابله با افزایش روزافزون هزینه‌های تلفات سیلاب که از پرداخت مالیات تأمین می‌شد، ارایه کرد. از طریق این سازمان دریافت بیمه با پشتوانه فدرال امریکا در مناطقی که قوانین مدیریت سیلاب‌دشت را برای کاهش خسارات سیل به کار می‌بستند، ممکن گردید و نیاز به تعیین حدود سیلاب‌دشت برای کاربردهای بیمه فدرال در دهه ۱۹۷۰ باعث تعریف پروژه‌های نقشه‌بندی سیلاب‌دشت در سطح کلان شد(۵).

تا سال‌های اخیر استفاده از GIS در نقشه‌بندی سیلاب‌دشت و مدل سازی زمینی نسبتاً محدود بود. با گسترش سریع کاربری رایانه در پروژه‌ها و توسعه نرم‌افزارهای تخصصی، در دهه ۸۰ میلادی از GIS در نمایش جریان آب در سطح زمین استفاده شد. برای مدل سازی هیدرولیک کانال‌های رودخانه مدل شبکه بی‌قاعده مثلثی (TIN) ارجح است(۶).

Bivers در سال ۱۹۹۴ اولین کارها را در زمینه ایجاد ارتباط کانال‌های GIS به نام ARC/HEC2 برای کمک به هیدرولوژیست‌ها در مدل سازی سیلاب‌دشت، در محیط DOS طراحی کرد. چند سال پس از انتشار این نرم‌افزار، بسیاری از هیدرولوژیست‌ها به سمت مدل هیدرولیکی HEC-RAS که تحت سیستم عامل ویندوز اجرا می‌شد، جلب شدند. تفاوت عمده RAS با HEC2 در توانایی ورود و صدور داده‌های GIS است.

در سال ۱۹۹۷ Tom Evans، از گروه هیدرولوژی مهندسی ارتش امریکا، کار Bivers را توسعه داد. در RAS از کاربر اطلاعات اضافی نظیر ضریب زبری، ضرایب انقباض و انبساط آبراهه، مشخصات هندسی سازه‌های هیدرولیکی موجود

محاسبه کرده، سپس مقدار خسارت را با احتمال تجاوز این رخ داده‌ها وزن می‌دهد. ANUFLOOD یک مدل استرالیایی است که توسط مرکز منابع و مطالعات زیست‌محیطی (CRES) دانشگاه ملی استرالیا ایجاد شده‌است. در این مدل، ارزیابی خسارت سیلاب براساس منحنی‌های فرضی تراز- خسارت برای کاربری‌های تجاری و مسکونی بنا شده است که به عنوان یک بسته رایانه ای تعاملی در دسترس می‌باشد(۴). مدل FDA تنها خسارات شهری از قبیل خسارات وارد شده به ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی را مورد توجه قرار می‌دهد و مدل نیز تنها از خسارات مستقیم وارده به کاربری‌های مسکونی و کسب و کارهای کوچک بحث می‌کند.

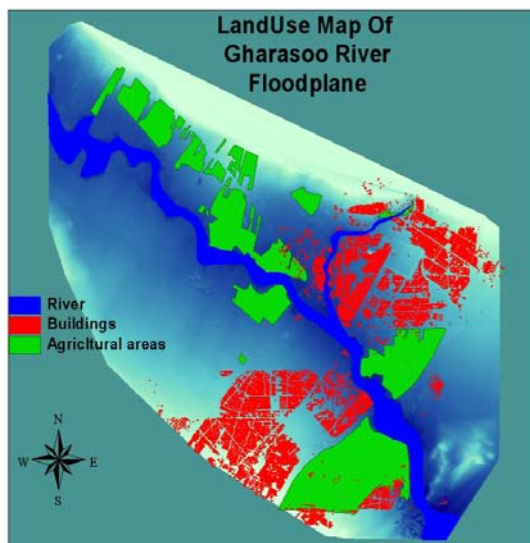
مدل مطرح دیگر، مدلی است که مبتنی بر GIS می‌باشد. از مزیت‌های عمده آن این است که سریع اجرا شده و نتایج آن را می‌توان در پایگاه داده‌ها با سایر داده‌ها همراه نمود. فلسفه کلی این نظریه عبارت است از تخمین خسارات سیلاب برای هر یک از دارایی‌ها و سپس جمع آن‌ها برای یک ناحیه. بنابراین لازم است برای هر یک از دارایی‌ها تراز مرکز هر یک از عناصر مشخص شود. به طور کلی اجزای اصلی ورودی به این مدل شامل پنج مورد زیر است:

- ✓ یک لایه اطلاعاتی مربوط به دارایی‌ها؛
- ✓ یک لایه اطلاعاتی مربوط به تراز مرکز عنصر؛
- ✓ یک مدل تراز دیجیتال شده توپوگرافی؛
- ✓ یک مدل تراز سطح آب سیلاب و
- ✓ روابط تراز-خسارت برای دارایی‌ها

در این تحقیق برای ارزیابی خسارات کشاورزی سیلاب‌دشت رودخانه قره‌سو در گزینه‌های مختلف کنترل سیلاب از مدل اخیر استفاده شده است.

برای ارزیابی خسارات کشاورزی نیز می‌توان از پهنه‌بندی سیلاب‌دشت و محاسبه گستره اراضی سیل‌گرفته استفاده کرد. در این تحقیق از جدیدترین روش‌های موجود در این زمینه یعنی استفاده تلفیقی از Arc View و HEC-

شمای کلی رودخانه نسبت به شهر کرمانشاه و کاربری‌های سیلاب‌دشت آن در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- نمایی کلی از رودخانه قره‌سو به همراه کاربری‌های کشاورزی و شهری

#### ۱-۲- خصوصیات رودخانه قره‌سو

رودخانه قره‌سوی بزرگ از به هم پیوستن رودخانه‌های قره‌سو، مرگ و رازآور تشکیل شده است. این رودخانه در مسیر خود، مناطق کوهستانی و دشت‌های وسیعی را پشت سر گذاشته، در یک مسیر پر پیچ و خم به رودخانه گاماسیاب می‌ریزد. این رودخانه از نوع آبرفتی است که طبیعت آن این است که دائماً در طول مسیر و در مقطعی که در آن جریان دارد، تغییراتی به وجود می‌آورد.

شواهد نشان می‌دهد، رودخانه قره‌سو دائماً در حال تغییر بوده، با فرسایش در یک طرف و رسوب‌گذاری در طرف دیگر پیچان‌رودها، باعث فرسایش کناره‌ها و ایجاد خرده جزیرک‌های مرکزی و کناری در طرفین مسیر خود شده است. سیلاب‌دشت اطراف رودخانه برخلاف سایر سیلاب‌دشت‌ها که توسط رودخانه زهکشی می‌شوند، دارای شیبی از طرف رودخانه به سیلاب‌دشت می‌باشند. این شیب رودخانه همچنان که جزء لاینفک نظام‌های آبرفتی جریان آب می‌باشد، باعث غرقاب شدن اراضی سیلاب‌دشت در مواقعی که سیلاب از ظرفیت و کشش رودخانه اصلی بیشتر است، می‌شود (۸).

در سطوح مقطع رودخانه، موقعیت سواحل و طول بازه‌ها خواسته می‌شود. پس از اجرای این برنامه، می‌توان نتایج به دست آمده را به نرم‌افزارهای دیگر و بانک‌های اطلاعاتی صادر کرد.

در سال ۱۹۹۸ موسسه تحقیقات سیستم‌های زیست‌محیطی<sup>۱</sup> (ESRI)، نسخه‌های محدودی از زیرشاخه برنامه Arc View به نام AVRAS انتشار داد. این برنامه به گونه‌ای طراحی شده بود که از Arc View به عنوان محیط پیش و پس پردازش مدل سازی هیدرولیکی در RAS استفاده می‌کرد. در سال ۱۹۹۹ این برنامه تحت نام تجاری GISStream Pro. به بازار آمد. سایر بسته‌های نرم‌افزاری که GIS را به مدل‌های هیدرولیکی رودخانه ارتباط می‌دهد، نیز وجود دارد از جمله آن‌ها می‌توان به MIKE11 اشاره کرد که رابط بین MIKE11 و GIS است (۶).

امروزه با انتشار الحاقیه‌ای از نرم‌افزار Arc View به نام HEC-GeoRas انجام فرایندهای فوق با سهولت زیادی صورت می‌گیرد. این الحاقیه به طور خاص برای پردازش داده‌های زمینی برای کاربرهای سیستم آنالیز رودخانه‌ای مرکز مهندسی رودخانه طراحی شده است و به کاربرهایی با اطلاعات GIS اجازه می‌دهد که فایل ورودی RAS حاوی اطلاعات ویژه جغرافیایی را از یک مدل رقومی و مجموعه‌های اطلاعاتی مکمل بسازد و نتایج خروجی از RAS را نیز پردازش کند (۷).

#### مواد و روش‌ها

##### ۱- منطقه مورد مطالعه

##### ۱-۱- محدوده مورد مطالعه

تحقیق حاضر روی رودخانه قره‌سو، یکی از رودخانه‌های سیل‌خیز کشور در شهر کرمانشاه انجام شده است. مشخصات جغرافیایی بازه مطالعاتی، حفاصل ۲۲' ۴۶° تا ۲۲' ۴۷° طول شرقی و ۳۴° ۰۰' تا ۳۴° ۵۵' عرض شمالی است. طول رودخانه در بازه مطالعاتی حدود ۲۹/۵ کیلومتر می‌باشد (۸).

### ۱-۳- منشأ و خصوصیات سیلاب‌های رودخانه قره‌سو

سیلاب‌های رودخانه قره‌سو به فعالیت سیستم‌های کم‌فشار جوی و خصوصیات ترمودینامیکی و دینامیکی توده‌های هوای وارد بر منطقه بستگی دارد. بر اساس آمار ثبت شده سیلاب‌های این رودخانه را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد (۹): بخش اول سیلاب‌هایی که در مهر تا بهمن‌ماه رخ می‌دهند. منشأ این سیلاب‌ها، ریزش‌هایی است که شدت آن به خصوصیات حرارتی و دینامیکی سیستم‌های کم‌فشار و موقعیت و مسیر این سیستم‌ها در برخورد با شیب‌های غربی سلسله کوه‌های زاگرس بستگی دارد. این سیلاب‌ها دارای زمان پایه کم بوده، بسیار سریع به اوج می‌رسند و به سرعت نیز فروکش می‌کنند و بنابراین حجم سیلاب نیز کم است. قسمت قابل توجه این ریزش‌ها به صورت برف می‌باشد که این مسئله باعث کاهش فراوانی این سیلاب‌ها می‌شود.

بخش دوم سیلاب‌هایی هستند که منشأ آن‌ها ریزش‌های واقع در اسفند تا اردیبهشت‌ماه می‌باشد. سلول‌های طوفان‌زای این سیلاب‌ها از ناپایداری‌های بسیار شدیدی برخوردار بوده، ذوب برف نیز با آن‌ها توأم می‌شود. این نوع سیلاب‌ها دارای حداکثر دبی لحظه‌ای، مدت دوام و حجم بالایی می‌باشند. بنابراین عوامل مؤثر در شدت این سیلاب‌ها، میزان برف انباشته شده در سه ماه زمستان، رگبارهای بهاره و نیز دمای هوا که باعث ذوب برف می‌شود، می‌باشد.

### ۲- مدل‌های هیدرولیکی جریان در کانال‌های باز

سیستم تحلیل رودخانه RAS توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی HEC پرستفاده‌ترین مدل هیدرولیکی مربوط به کانال‌های باز می‌باشد. HEC-RAS جریان را در یک تک‌آبراهه یا شبکه‌ای پیچیده‌ای از آبراهه‌های کانال‌های طبیعی یا مصنوعی شبیه‌سازی می‌کند. در این شبیه‌سازی می‌توان پل‌ها، کالورت‌ها، موانع، بندها و یا اصلاح مسیر رودخانه را نیز در نظر گرفت. هر دو نوع جریان ماندگار و غیرماندگار را می‌توان شبیه‌سازی نمود. در حالت ماندگار معادله انرژی با استفاده از روش گام استاندارد حل شده و

پروفیل سطح آب به دست می‌آید. شبیه‌سازی جریان غیرماندگار بر اساس حل تفاضل محدود ضمنی<sup>۱</sup> معادلات St. Venant بنا شده است. اساس روش‌های مدل سازی تأثیر سازه‌های هیدرولیک، شبیه‌سازی جریان ماندگار و غیرماندگار است. با استفاده از HEC-RAS می‌توان شستشوی پل‌ها را نیز پیش‌بینی کرد. HEC-RAS برنامه ارتقا یافته برنامه رایانه ای HEC-2 است. برنامه HEC-2 تا دهه ۱۹۶۰ تحت نسخه‌های گوناگونی به‌روزرسانی شده، به طور گسترده توسط آژانس‌ها و شرکت‌های مشاور در سراسر ایالات متحده و سایر کشورها مورد استفاده قرار گرفته است. اولین نسخه HEC-RAS در سال ۱۹۹۷ منتشر شد؛ این نسخه جریان غیرماندگار را شامل نمی‌شد. در سال ۲۰۰۱ روندیابی دینامیکی به برنامه اضافه شد. روندیابی دینامیکی HEC-RAS بر پایه جریان غیرماندگار یک‌بعدی در یک شبکه کامل کانال‌های باز بنا شده است که هنوز هم مورد حمایت مرکز مهندسی هیدرولوژی قرار دارد. مدل سازی فرسایش و رسوب نیز در حال افزوده شدن به این برنامه می‌باشد.

### ۳- اطلاعات و داده‌ها

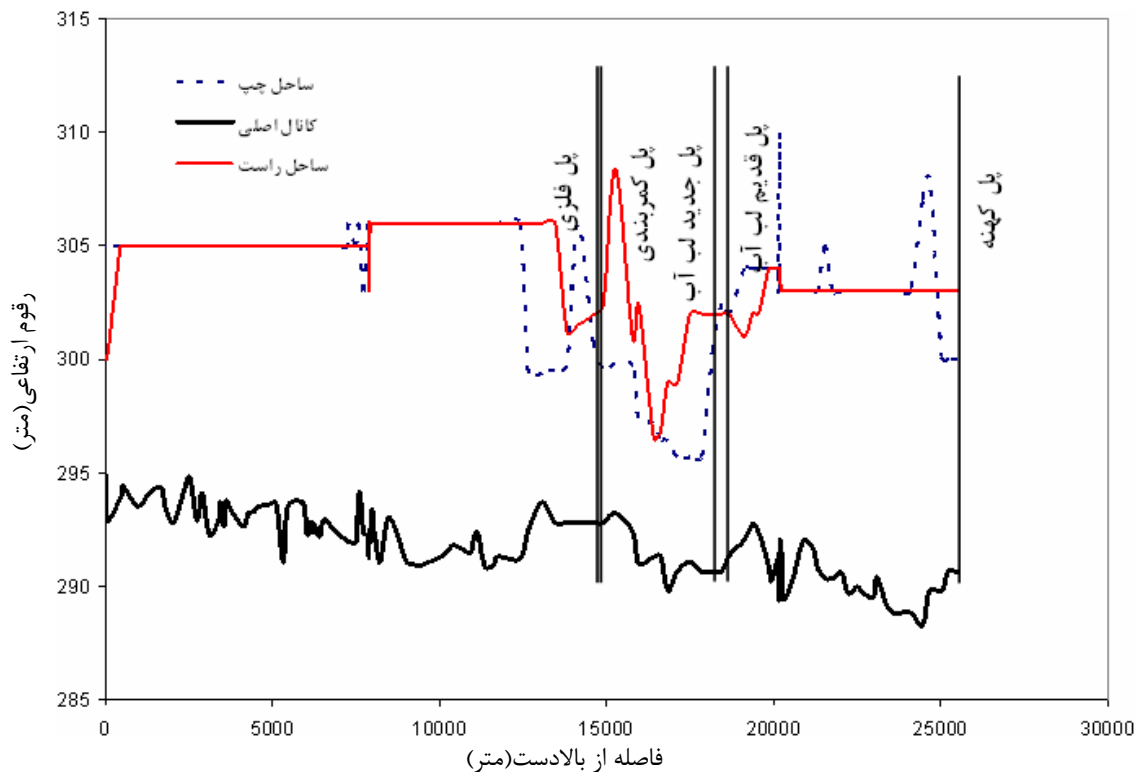
اطلاعات مربوط به ضرایب زبری رودخانه، مقاطع هندسی رودخانه و سازه‌های موجود در مسیر رودخانه از امور آب استان کرمانشاه گرفته شد. ضرایب زبری رودخانه با استفاده از روش میدانی، تخمین زده شده است. مقاطع عرضی نقشه‌برداری شده نیز از روی نقشه توپوگرافی  $\frac{1}{2500}$  بازه مطالعاتی، استخراج شده است. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، سیلاب‌دشت رودخانه قره‌سو دارای شیب کمی می‌باشد که این مسئله باعث می‌شود با اندکی بالا آمدن سطح آب، سطح آب‌گرفتگی سیلاب‌دشت به میزان چشم‌گیری افزایش یابد. این مسئله باعث می‌شود در صورتی که طول مقطع عرضی نقشه‌برداری شده به اندازه کافی زیاد نباشد، پروفیل سطح آب استخراج شده توسط HEC-RAS دارای خطای زیادی باشد.

در شکل ۲ پروفیل طولی کانال اصلی رودخانه به همراه پروفیل کناره‌های آن و موقعیت قرارگیری پل‌ها (۸) در مسیر رودخانه نشان داده شده است.

#### ۴- واسنجی پارامترها

به دلیل وجود خطا در پارامترهای تخمین زده شده از قبیل ضریب زبری، قبل از استفاده از مدل، لازم بود آن را توسط مجموعه‌ای واقعی از داده‌ها کالیبره کرد. برای این کار در مورد رودخانه قره‌سو از داده‌های ثبت شده سیلاب ۱۳۷۶ استفاده شد. این داده‌های مشاهداتی در جدول ۱ ارایه شده است.

برای اطمینان از فقدان خطای یاد شده، مقاطع عرضی دیگری نیز در محل مقاطع نقشه‌برداری شده در محیط Arc View گرفته شد و از ترکیب این دو مجموعه مقطع عرضی برای استخراج پروفیل و پهنه سیلاب‌های رودخانه استفاده شد. تعداد پنج پل نیز در مسیر رودخانه وجود دارد که به ترتیب از بالادست به پایین دست عبارتند از: پل فلزی، پل کمربندی، پل جدید لب آب، پل قدیم لب آب و پل کهنه (بازدید میدانی). به نظر می‌رسد پل کمربندی به لحاظ توانایی عبور جریان نسبت به سایر پل‌ها وضعیت مناسب‌تری دارد. بدترین وضعیت نیز به پل فلزی تعلق دارد که به دلیل ارتفاع و دهانه کم، باعث پس‌زدگی سیلاب شده، قسمت‌های زیادی از سیلاب‌دشت بالادست آن زیر آب قرار می‌گیرد.



شکل ۲- پروفیل بستر رودخانه قره‌سو به همراه دو کناره آن

ترتیب مدل آماده استفاده برای شبیه‌سازی سیلاب‌های مورد نظر شد.

برای استخراج پروفیل‌های سیلاب‌های با دوره برگشت‌های مختلف، هیدروگراف این سیلاب‌ها در ابتدای بازه مطالعاتی، به عنوان یکی از ورودی‌ها وارد مدل شد. با توجه به

برای کالیبره کردن مدل جهت استفاده در رودخانه قره‌سو، داده‌های مشاهداتی یاد شده به همراه خصوصیات فیزیکی و هندسی رودخانه وارد مدل شده، با تغییر مقدار ضرایب زبری در بازه‌های مورد نیاز، مقدار مشاهداتی تراز سطح آب با مقدار محاسبه شده توسط مدل تقریباً یکی شد. بدین

لازم به ذکر است مسیل طاق بستان در استخراج پروفیل سطح آب در نظر گرفته نشده است. دلیل این امر انسداد الزامی ورودی آن به رودخانه قره‌سو می‌باشد. بنابراین چون در این تحقیق گزینه‌های مختلف مهار سیلاب با یکدیگر مقایسه می‌شوند، بررسی خصوصیات این مسیل و خسارات وارد شده به سیلاب‌دشت آن هیچ تأثیری در نتایج نهایی نخواهد داشت.

آمار ثبت شده رودخانه، مقدار ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه برای شرایط اولیه (۱۰) رودخانه قره‌سو به مدل داده شد. همچنین برای شرایط مرزی رودخانه در بالادست و پایین دست بازه مطالعاتی عمق نرمال در نظر گرفته شد. برای این منظور از شیب بستر رودخانه در ابتدا و انتهای بازه مطالعاتی که از روی اطلاعات مقاطع عرضی به دست آمد، استفاده شد. برای هر سیلاب یک‌بار برنامه اجرا شده، پروفیل سطح آب مربوط به آن استخراج می‌شود.

جدول ۱- داده‌های مشاهداتی سیلاب ۱۳۷۶

موقعیت	تراز سطح آب (متر)
خروجی پل جاده کردستان	۱۲۹۹/۲۵
بالادست پل فلزی کمربندی	۱۳۰۰/۴۵
بالادست پل بتنی کمربندی	۱۲۹۹/۸۷
خروجی پل بتنی کمربندی	۱۲۹۹/۸۵
۱۰۰ متر پایین دست پل کمربندی ساحل چپ	۱۳۰۰/۱۱
بالادست پل جدید لب آب نزدیکی شهر بازی	۱۲۹۹/۳۲
ورودی و خروجی پل جدید لب آب	۱۲۹۹/۴۲
ورودی و خروجی پل قدیم لب آب	۱۲۹۸/۸۸
پایین دست پل قدیم لب آب دیوراه سنگی	۱۲۹۸/۴۰
بالادست پل کهنه	۱۲۹۶/۳۴
ورودی پل کهنه	۱۲۹۶/۲۵

اختلاف رقوم کف در دو طرف بازه اصلاحی شده، سبب افزایش شیب و در نهایت باعث پایین آمدن سطح آب در رودخانه می‌شود. این روش نیز همانند لایروبی بر مشخصات هندسی و ضرایب زبری رودخانه تأثیر می‌گذارد. در این مورد نیز، با حذف مقاطع موجود در پیچ و خم‌های اصلاح شده و جایگزینی مقطع پایدار طراحی شده، مقاطع جدید با ضرایب زبری جدید وارد مدل شد.

لایروبی: همان طور که قبلاً اشاره شد با توجه به وضعیت توپوگرافی مسیر رودخانه قره‌سو، یکی از روش‌های موثر در کاهش خسارت سیلاب، لایروبی است. در این مورد با توجه به مقطع هندسی پیشنهادی برای رودخانه، این مقطع را در صفحه گسترده EXCEL روی مقطع طبیعی رودخانه قرار داده، هر نقطه از مقطع طبیعی رودخانه در صورت نیاز، اصلاح شد.

##### ۵- استخراج پروفیل سطح آب برای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب

هر طرح کنترل سیلاب بسته به ماهیت آن، بر یکی از مجموعه داده‌های ورودی به مدل HEC-RAS اثر می‌گذارد. بعضی از طرح‌ها مثل مخازن سد در مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی (مشخصات سیلاب) تغییر ایجاد می‌کنند و برخی دیگر مثل لایروبی بر مشخصات هندسی رودخانه تأثیر می‌گذارند. با توجه به طرح‌های انتخاب شده برای کنترل سیلاب رودخانه قره‌سو، تغییرات ایجاد شده در هر یک از مجموعه داده‌ها، به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

اصلاح مسیر: اصلاح مسیر یکی دیگر از راهکارهای پیشنهادی برای کاهش تراز آب، در رودخانه قره‌سو می‌باشد. همان طور که اشاره شد این عمل باعث کوتاه‌تر شدن مسیر با حفظ

برای این منظور عنصری به ابعاد  $1 \times 1$  در نظر گرفته شد. سپس اراضی کشاورزی سیلاب‌دشت به عنصرهایی با این ابعاد تقسیم شده و با روی هم گذاری لایه ایجاد شده با لایه رقومی شده توپوگرافی، تراز مرکز عناصر ایجاد شده تعیین شد. به جای دو خصوصیت دیگر یعنی ارزش متوسط و رابطه تراز- خسارت هر عنصر، به منظور سهولت انجام کار میزان خسارت وارد شده به هر عنصر در صورت آب‌گرفتگی آن در نظر گرفته شد.

با توجه به زمان وقوع سیلاب‌های خسارت‌زا (اسفند تا اردیبهشت) با انجام بازدیدهای میدانی و پرس و جوی محلی در مورد نوع محصول غالب، مرحله رشد آن در این بازه زمانی، میزان هزینه عملیات کشاورزی باقی مانده تا زمان برداشت محصول و نیز خسارات وارد شده مربوط به وقوع سیلاب‌های قبلی (بنا به اظهار کشاورزان) و در نظر گرفتن سایر موارد مربوط، مقدار  $2000$  ریال خسارت به ازای هر عنصر در صورت آب‌گرفتگی آن در نظر گرفته شد.

#### ۸- ارزیابی خسارات کشاورزی

بعد از آماده سازی پنج جزء اساسی لازم برای ارزیابی خسارات با استفاده از GIS، اقدام به روی هم گذاری لایه‌های خصوصیات سیلاب و خصوصیات اراضی کشاورزی در گزینه‌های مختلف کنترل سیلاب شد و بدین ترتیب با ارزیابی خسارات وارده به هر عنصر و سپس جمع خسارات مربوط به کل عناصر تشکیل دهنده اراضی کشاورزی، خسارات بالقوه به اراضی کشاورزی سیلاب‌دشت در گزینه‌های مطرح شده و به ازای سیلاب‌های هشتمانه برآورد شد.

جهت برآورد خسارات سالیانه مورد انتظار به اراضی کشاورزی مقدار خسارات مربوط به هر یک از سیلاب‌های هشتمانه در هر یک از گزینه‌ها در احتمال وقوع سیلاب مربوط ضرب و نتایج با هم جمع شد. به عبارت دیگر برای محاسبه خسارات مورد انتظار سالیانه از فرمول زیر استفاده شد:

$$EAD = \sum_{i=1}^8 D_i \cdot P_i \quad (1)$$

علاوه بر آن مقدار ضریب زبری کانال اصلی رودخانه در تمامی مقاطع به مقدار  $0.17$  برای قسمت کوچک مقطع پیشنهادی (حفاظت سنگی)، کاهش یافت. بعد از اصلاح مقاطع رودخانه به ترتیب گفته شده، مقاطع اصلاح شده با ضرایب زبری جدید، مجدد وارد مدل شده، با سیلاب‌های هشتمانه، پروفیل‌های هشتمانه سطح آب استخراج شد.

اصلاح مسیر و لایروبی: این روش که ترکیبی از دو روش لایروبی و اصلاح مسیر می‌باشد، باعث افزایش شیب عمومی و حذف شیب موضعی می‌شود. در این روش نیز مقاطع موجود در پیچ‌وخم‌های حذف شده، حذف و مقطع پایدار جایگزین شد. در دیگر مقاطع نیز، مقطع پایدار در کانال اصلی رودخانه (مشابه لایروبی) قرار گرفت. مقاطع جدید به همراه ضرایب زبری آن‌ها وارد مدل شد.

#### ۶- استخراج پهنه سیلاب برای گزینه‌های مختلف کنترل سیلاب

در این تحقیق از نرم‌افزار Arc View برای استخراج پهنه سیلاب برای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب استفاده شد. در این راستا، همان‌طور که قبلاً بیان شد، به دلیل شیب کم سیلاب‌دشت رودخانه قره‌سو این احتمال داده شد که عرض مقاطع نقشه‌برداری شده کمتر از پهنه سیلاب‌های احتمالی باشد. برای رفع این مشکل مقاطع نقشه‌برداری با استفاده از Arc View اصلاح شد.

با استفاده از مقاطع اصلاحی و الحاقیه GeoRas پروفیل سطح آب مربوط به سیلاب‌های مختلف برای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب روی تین ساخته شده از نقشه توپوگرافی منطقه در محیط Arc View قرار گرفته، پهنه سیلاب‌های مختلف استخراج شد.

#### ۷- تهیه لایه‌های مربوط به خصوصیات اراضی کشاورزی

خصوصیات مربوط به اراضی کشاورزی عبارتند از ابعاد عنصر مورد بررسی، ارزش متوسط عنصر، تراز مرکز عنصر و رابطه تراز- خسارت مربوط به آن.



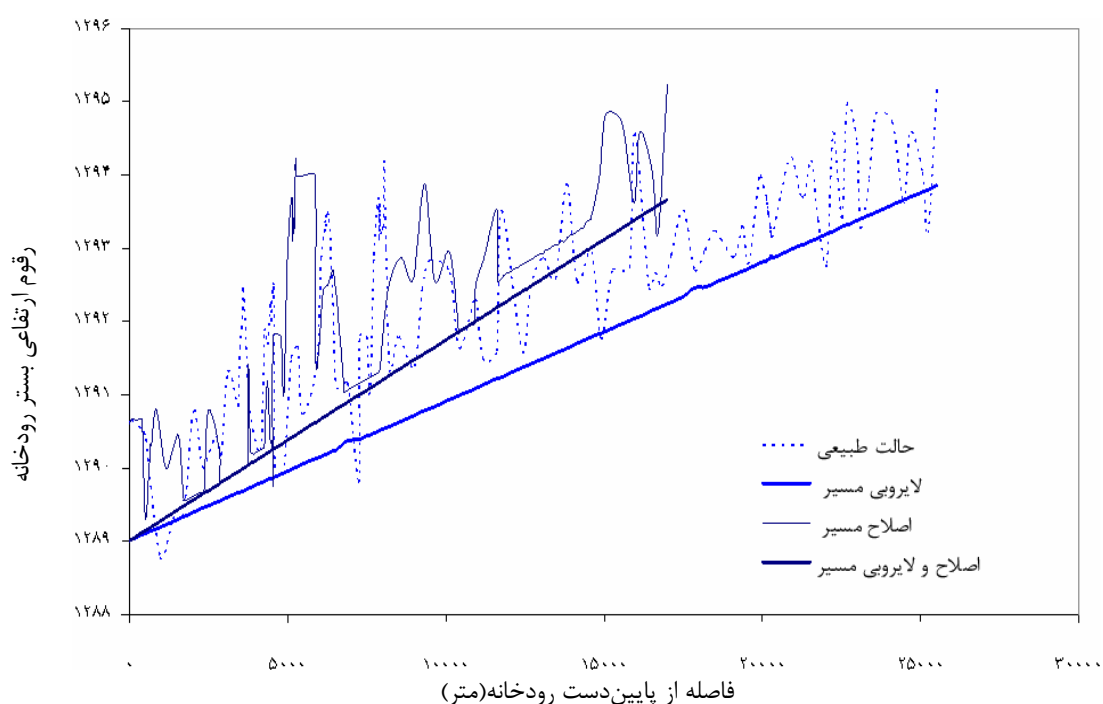
سطح مقطع عرضی رودخانه و یا هر دو مورد می‌شوند. در شکل ۳ پروفیل بستر رودخانه در هر سه حالت تشریح شده به همراه بستر طبیعی رودخانه آورده شده است.

برای مقایسه تأثیر طرح‌های مختلف کنترل سیلاب رودخانه قره‌سو پروفیل با دوره برگشت ۱۰۰ سال، استخراج شده از طرح‌های کنترل سیلاب، در شکل ۴ ترسیم شده است.

که در آن EAD خسارات مورد انتظار سالیانه کشاورزی،  $D_i$  خسارات وارده به اراضی کشاورزی در اثر وقوع سیلاب  $i$ ،  $P_i$  احتمال وقوع سیلاب  $i$  می‌باشد.

### بررسی نتایج

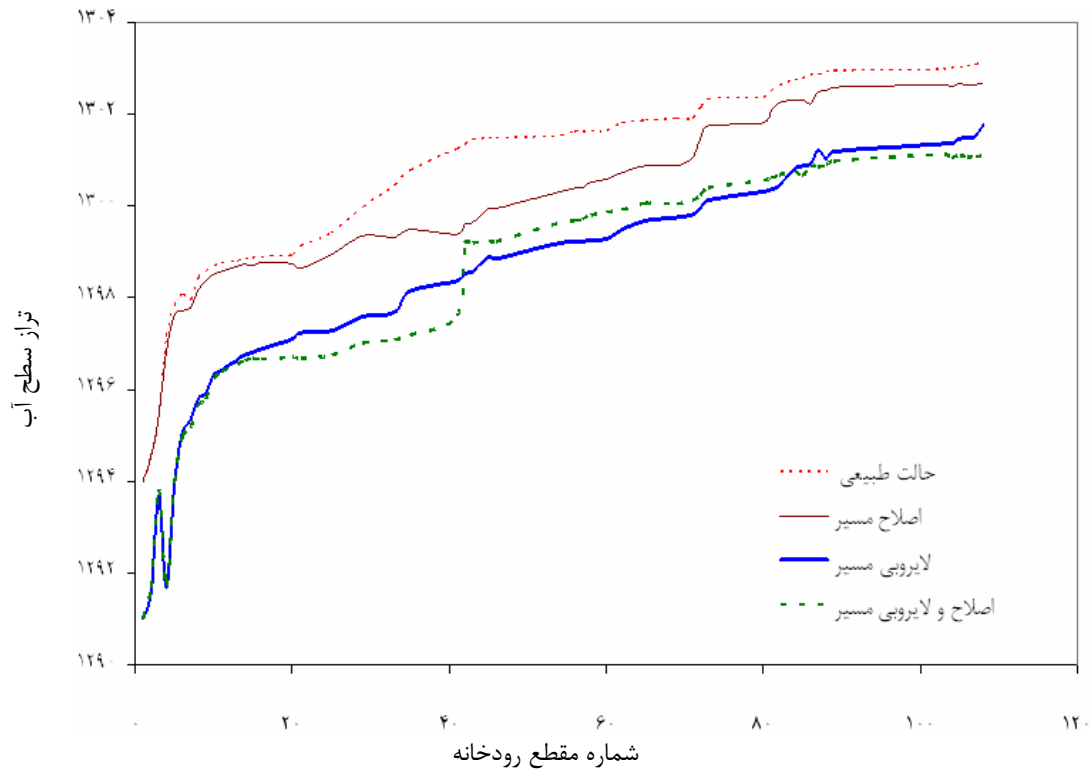
همان طور که قبلاً تشریح شد، طرح‌های سازه‌ای در نظر گرفته شده، یا باعث اصلاح شیب طولی رودخانه (کوتاه‌شدن مسیر) و یا باعث حذف شیب‌های معکوس موضعی و افزایش



شکل ۳- پروفیل بستر رودخانه در حالت‌های مختلف اجرای طرح کنترل سیلاب با حالت طبیعی رودخانه

جدید نسبت به حالت طبیعی رودخانه دانست. بنابراین تنها می‌توان گفت از میان طرح‌های مورد بررسی به لحاظ هیدرولیکی، طرح لایروبی مسیر و طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر رودخانه از طرح اصلاح مسیر رودخانه مؤثرترند. این که از بین دو طرح اخیر کدام یک مناسب‌ترند، با تحلیل اقتصادی مشخص می‌شود.

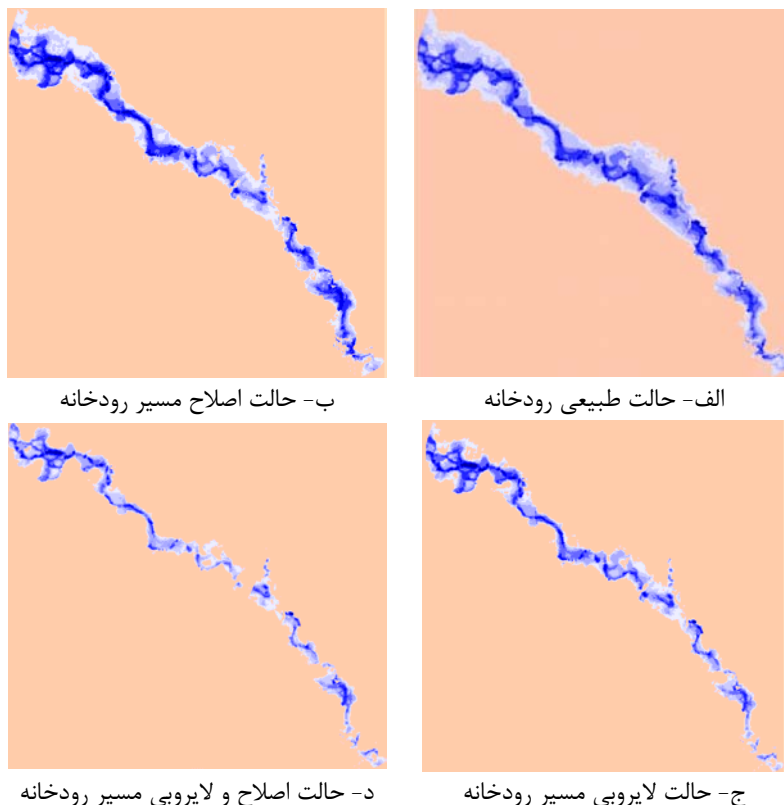
همان طور که ملاحظه می‌شود، با این که انتظار می‌رود اجرای طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر بیشترین تأثیر را در پایین آوردن سطح آب در رودخانه داشته باشد، عملاً تفاوت زیادی بین طرح لایروبی مسیر و طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر به نظر نمی‌رسد. دلیل این امر را می‌توان در توپوگرافی نامناسب سیلاب‌دشت دو طرف رودخانه در مسیر



شکل ۴- پروفیل سطح آب در حالت اجرای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب با حالت طبیعی رودخانه

مساحت پهنه‌های سیلاب‌های هشتگانه (سیلاب ۲ساله، ۵ساله، ۱۰ساله، ۲۵ساله، ۵۰ساله، ۱۰۰ساله، ۲۵۰ساله و ۵۰۰ساله) نیز محاسبه و نتایج در جدول ۲ آورده شده است. همچنین نمودار تغییرات مساحت پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف برای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب در شکل ۶ نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، روند افزایش مساحت پهنه‌ها تا دوره بازگشت ۱۰۰ سال نسبت به دوره بازگشت‌های بالاتر بسیار شدیدتر است و شاید بتوان گفت دلیل این که سیلاب ۱۰۰ ساله در اغلب نقاط دنیا، مبنای پروژه‌های کنترل سیلاب در مناطق شهری قرار می‌گیرد، همین مسأله است.

از مجموع نتایج خروجی پهنه‌بندی سیلاب، به عنوان نمونه پهنه سیلاب ۵۰۰ ساله برای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب در شکل ۵ آورده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود این پهنه برای حالت بدون طرح، بیشترین مساحت و برای حالت اصلاح و لایروبی مسیر رودخانه، کمترین مساحت را داراست. در این شکل همچنین توزیع عمق آب گرفتگی نیز نشان داده شده است. تغییر عمق کم تا زیاد توسط تغییر رنگ از آبی کم‌رنگ تا آبی تیره مشخص شده است. وجود نقاط با رنگ‌های تیره‌تر در بالادست نقاطی با رنگ روشن‌تر، نشان‌دهنده شیب‌های موضعی در مسیر رودخانه است.



شکل ۵- پهنه سیلاب ۵۰۰ ساله برای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب: الف حالت طبیعی رودخانه، ب- حالت طرح اصلاح مسیر رودخانه، ج- حالت لایروبی مسیر رودخانه و د- حالت طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر رودخانه.

جدول ۲- مساحت پهنه سیلاب‌های مختلف در حالت اجرای طرح‌های کنترل سیلاب (هکتار)

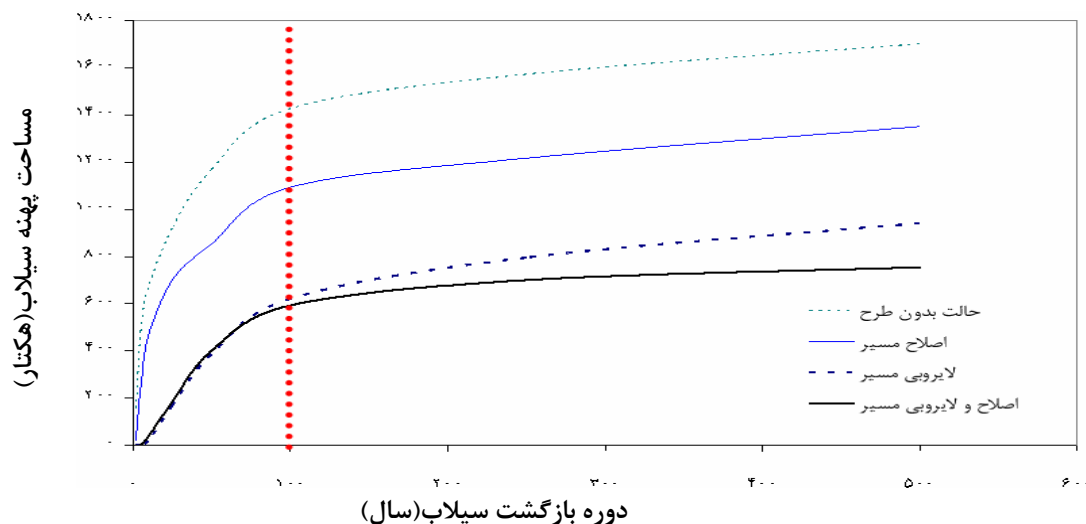
دوره بازگشت سیلاب (سال)								طرح کنترل سیلاب
۵۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	
۱۷۰۲	۱۵۷۲	۱۴۲۸	۱۱۷۰	۹۱۹	۶۶۹	۴۸۷	۱۴۷	بدون طرح
۱۳۵۱	۱۲۱۷	۱۰۹۴	۸۵۲	۶۹۹	۴۶۳	۲۴۷	۲۱	اصلاح مسیر
۹۴۲	۷۹۶	۶۲۲	۳۸۷	۱۶۹	۲۲	۲	۰	لایروبی مسیر
۷۵۵	۷۰۰	۵۹۳	۴۰۰	۱۸۳	۳۷	۲	۰	اصلاح و لایروبی مسیر

طرح‌های کنترل سیلاب گذاشته شده، مساحت اراضی کشاورزی سیل گرفته محاسبه شد. نتایج محاسبه اراضی کشاورزی سیل گرفته در جدول ۳ آورده شده است.

برای ارزیابی خسارات وارد شده به اراضی کشاورزی، در محیط نرم‌افزاری Arc View لایه مربوط به اراضی کشاورزی بر روی هر یک از پهنه‌های سیلاب در هریک از

جدول ۳- مساحت پهنه سیلاب‌های مختلف در حالت اجرای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب (هکتار)

طرح کنترل سیلاب	۲ساله	۵ساله	۱۰ساله	۲۵ساله	۵۰ساله	۱۰۰ساله	۲۵۰ساله	۵۰۰ساله
بدون طرح	۷	۵۷	۸۶	۱۳۷	۱۸۴	۲۱۹	۲۴۵	۲۷۰
اصلاح مسیر	۰	۱۳	۴۳	۸۹	۱۲۲	۱۶۷	۱۹۳	۲۱۳
لایروبی مسیر	۰	۰	۱	۷	۳۱	۷۵	۱۰۶	۱۳۱
اصلاح و لایروبی مسیر	۰	۰	۲	۱۴	۴۸	۷۵	۸۰	۱۰۷



شکل ۶- نمودار تغییرات مساحت پهنه سیلاب برای طرح‌های مختلف کنترل سیلاب

مسیر و طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر به نظر نمی‌رسد. دلیل این امر را می‌توان در توپوگرافی نامناسب سیلاب‌دشت دو طرف رودخانه در مسیر جدید نسبت به حالت طبیعی رودخانه دانست. بنابراین تنها می‌توان گفت از میان طرح‌های مورد بررسی به لحاظ هیدرولیکی، طرح لایروبی مسیر و طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر رودخانه از طرح اصلاح مسیر رودخانه مؤثرترند. این که از بین دو طرح اخیر کدام یک مناسب‌ترند، با تحلیل اقتصادی مشخص می‌شود.

لازم به ذکر است در این محاسبات به دلیل پیچیدگی محاسبه عدم قطعیت به روش دستی از دخالت دادن آن در ارزیابی خسارات سالانه مورد انتظار به اراضی کشاورزی صرف نظر شده است.

#### نتیجه‌گیری

با این که انتظار می‌رود اجرای طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر بیشترین تأثیر را در پایین آوردن سطح آب در رودخانه داشته باشد، عملاً تفاوت زیادی بین طرح لایروبی

جدول ۴- نتایج محاسبات خسارات سالیانه مورد انتظار وارده به اراضی کشاورزی

دوره بازگشت سیلاب (سال)								طرح کنترل سیلاب	
۵۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲		
۲۷۰/۱	۲۴۵	۲۱۹	۱۸۴/۳	۱۳۶/۷	۸۶	۵۶/۸	۶/۶	بدون طرح	مساحت اراضی سیل گرفته (ha)
۲۱۲/۶	۱۹۲/۶	۱۶۷/۴	۱۲۲/۵	۸۹	۴۳/۱	۱۳	۰/۱۳	اصلاح مسیر	
۱۳۰/۹	۱۰۶/۵	۷۴/۶	۳۱/۴	۷/۴	۰/۹	۰	۰	لایروبی مسیر	
۷۵/۴	۱۰۷/۴	۷۹/۵	۴۸/۲	۱۳/۶	۲/۴	۰	۰	اصلاح و لایروبی	
۰/۷	۱/۳	۲/۹	۴/۹	۷/۳	۱۱/۵	۱۵/۲	۴/۴	بدون طرح	خسارت هر پهنه* احتمال وقوع سالیانه آن (۱۰ <sup>۷</sup> ریال)
۰/۶	۱	۲/۲	۳/۳	۴/۸	۵/۸	۳/۵	۰/۱	اصلاح مسیر	
۰/۴	۰/۶	۱	۰/۸	۰/۴	۰/۱	۰	۰	لایروبی مسیر	
۰/۲	۰/۶	۱/۱	۱/۳	۰/۷	۰/۳	۰	۰	اصلاح و لایروبی	
۴	اصلاح و لایروبی مسیر	۳	لایروبی مسیر	۲۱	اصلاح مسیر	۴۸	بدون طرح	خسارات سالیانه مورد انتظار (ده میلیون ریال)	

## منابع

- 1- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 1999 Project Appraisal Guidance: 3 Economic Appraisals, London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
  - 2- NIBS (1997). HAZUS: Earthquake Loss Estimation Methodology; National Institute of Building Sciences, 1090 Vermont Ave., Washington, D.C.
  - 3- Carl, R.D. and D.W. Davis (1997). An Integrated Software Package for Flood Damage Analysis; Technical Report, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, USA.
  - 4- UNSW (1981). Economic Evaluation Methodology of Flood Damage in Australia; University of New South Wales, Australia.
  - 5- Tate, Eric, 1999, "Floodplain Mapping Using Hec-Ras Arcview" 1999.
- ۶- سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی، شماره استاندارد مهندسی آب کشور ۱۳۸۲-۲۴۱-الف. اسفند ۱۳۸۲، راهنمای تعیین دوره

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، روند افزایش مساحت پهنه ها تا دوره بازگشت ۱۰۰ سال نسبت به دوره بازگشت های بالاتر بسیار شدیدتر است و شاید بتوان گفت دلیل این که سیلاب ۱۰۰ ساله در اغلب نقاط دنیا، مبنای پروژه های کنترل سیلاب در مناطق شهری قرار می گیرد، همین مسأله است.

کمترین خسارات وارده به اراضی کشاورزی مربوط به طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر و بیشترین آن مربوط به طرح اصلاح مسیر می باشد؛ با وجود این تفاوت میزان کاهش خسارت بین دو طرح لایروبی و ترکیبی اصلاح و لایروبی مسیر بسیار ناچیز است و به نظر می رسد که به لحاظ اقتصادی با در نظر گرفتن هزینه های اجرایی، طرح لایروبی به عنوان اقتصادی ترین طرح انتخاب شود، ولی اثبات این موضوع نیازمند تحلیل اقتصادی طرح ها می باشد.

لازم به ذکر است در این محاسبات به دلیل پیچیدگی محاسبه عدم قطعیت به روش دستی از دخالت دادن آن در ارزیابی خسارات سالیانه مورد انتظار به اراضی کشاورزی صرف نظر شده است.

- ۸- مهندسان مشاور مه‌ساب، ۱۳۷۶ب، گزارش  
هیدرولوژی طرح ساماندهی رودخانه قره‌سو.
- ۹- مهندسان مشاور تدبیر شهر، ۱۳۸۳، مطالعات طرح  
جامع توسعه شهر کرمانشاه.
- ۱۰- مهندسان مشاور مه‌ساب، ۱۳۷۶الف، گزارش  
هواشناسی طرح ساماندهی رودخانه قره‌سو.

بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی  
رودخانه.

- 7- Larry Larson, Nov.2001, "NO Adverse  
Impact: A New Direction in Floodplain  
Management Policy", Published in  
Natural Hazards Review, IAAN 1527-  
6988.