

مطالعه سازه‌های کنترل سیلاب‌های شهری و بررسی معیارهای طراحی زهکش‌های برون‌شهری

صادق پرتانی^۱، علی داننده مهر^۲، مصطفی جلال^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه - دانشگاه صنعت آب و برق تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی تهران

تلفن: ۰۹۱۵۵۸۴۵۶۳۵، تلفکس: ۰۲۱-۲۲۴۵۸۵۵۱. e-mail: Sadegh_Partani@yahoo.com

چکیده

سیلاب‌ها به عنوان یکی از مهمترین حوادث غیر مترقبه در جهان همه ساله خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری را به بار می‌آورند. در کشور ایران نیز سیل یک بلائی طبیعی رایج است که خسارات سالیانه قابل توجه را بدنبال دارد، که بعنوان نمونه می‌توان به سیلاب‌های شهری گلابدره تهران (۱۳۶۶) دره شهر ایلام (۱۳۷۰) ماسوله (۱۳۷۷) و گلستان (۱۳۸۰ و ۱۳۸۱) و... اشاره نمود. سیلاب و خسارات آن با همه پیچیدگی‌هایش قابل بررسی و مطالعه بوده و راه‌های مختلفی جهت مهار و کاهش خسارات آن وجود دارد. امروزه در اغلب کشورهای جهان از دو روش مجزا به نام‌های روش‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای و همچنین ترکیبی از هر دو روش مذکور جهت مهار سیلاب‌ها استفاده می‌گردد. تجربیات جهانی نشان می‌دهد که یک راه حل مشخص و مطمئن برای مهار و کاهش خسارات سیلاب برای کلیه مناطق سیلگیر وجود ندارد و به تناسب محدودیت‌ها و امکانات مناطق مختلف می‌توان روش‌های متناسبی را مورد استفاده قرار داد. در مقاله حاضر ابتدا تدوین جامعی از انواع روش‌های موجود در جهان که برای مهار سیلاب رودخانه‌ها بکار می‌رود بعمل آمده و سپس به مقایسه روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب رودخانه‌های شهری پرداخته شده و نهایتاً بر اساس محاسبه میزان کاهش خسارات مورد انتظار ناشی از سیلاب رودخانه‌ها در حوزه‌های شهری در مقابل هزینه‌های احداث طرح‌های مختلف مهار سیلاب انتخاب بهترین سازه برای شرایط موجود در هر منطقه تشریح می‌گردد.

کلمات کلیدی: سازه‌های کنترل سیلاب، رودخانه‌های شهری، زهکش‌های برون‌شهری.

مقدمه

امروزه کنترل سیلاب رودخانه‌ها، یکی از مهمترین گزینه‌های پژوهشی و مطالعاتی مهندسی آب را تشکیل می‌دهد و همه ساله در مراکز علمی معتبر جهان برای آنالیز خسارات و بهینه‌سازی روش‌های مختلف مهار سیلاب رودخانه‌ها مقالات و نرم افزارهای متعددی ارائه می‌شود، ولی متأسفانه در کشور ما فعالیت جامعی در این رابطه صورت نگرفته و هنوز مدیریت جامع و بهینه در کنترل سیلاب‌های رودخانه‌های شهری از طرف مدیران مربوطه اتخاذ نگردیده است. بررسی طرح‌های مهار سیلاب که به صورت محدود و پراکنده در سطح کشور مطالعه و اجرا شده‌اند، نشان می‌دهد که بسیاری از این طرح‌ها بدون تحلیل اقتصادی لازم و تنها با ارزیابی فنی و برشمردن مزایا و برتری ظاهری یکی بر دیگری انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این طرح‌ها با مطرح شدن یک گزینه برتر، گزینه‌های دیگر کاملاً فراموش می‌شود. در حالی که ممکن است ترکیبی از روش‌های مختلف مهار سیلاب اقتصادی بوده و از نظر مسائل زیست محیطی و اجتماعی مفیدتر باشد. بر این اساس در تحقیق حاضر ابتدا انواع روش‌های مهار سیلاب رودخانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته سپس میزان کاهش خسارات مورد انتظار ناشی از سیلاب رودخانه‌ها در اثر به کارگیری روش‌های مختلف کنترل سیلاب در مقابل میزان سرمایه‌گذاری برای هر کدام از طرح‌ها بررسی شده و در نهایت نحوه مدیریت لازم برای انتخاب طرح برتر تشریح گردیده است.

روش‌های مقابله با سیل

مقابله با پدیده سیل به روشهای مختلفی امکان پذیر است. عملیات مهار سیلاب به مجموعه‌ای از فعالیتهای اطلاق می‌گردد که برای کاهش میزان خسارات سیلاب در منطقه سیلابدشت انجام می‌پذیرد. معمولاً ملاحظات اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و توانایی‌های فنی و تخصصی در انتخاب روش یا روشهای مناسب برای مهار سیلاب موثر می‌باشند. مجموعه روشهای مورد استفاده در مهار سیلاب را معمولاً در سه‌گروه عمده روشهای سازه‌ای، روشهای غیر سازه‌ای و روشهای تلفیقی طبقه‌بندی می‌شوند.

چهار چوب مطالعاتی و تبیین مبانی طراحی در هر یک از روشهای فوق متفاوت است. در روشهای سازه‌ای سعی بر آن است که قبل از وقوع سیل شدت جریان و تراز آب تخمین زده شود و با هدایت، انحراف و یا مهار سیلاب توسط احداث سازه‌های مناسب خسارت وارده کاهش یابد. روشهای غیر سازه‌ای با هدف مدیریت بهتر سیلابدشتهای علاوه بر فراهم نمودن تمهیداتی قبل از وقوع سیل، در هنگام بروز سیل و یا حتی پس از آن نیز اقداماتی را جهت حداقل کردن خسارت پیش‌بینی می‌کنند. این روشها اهداف متعددی را در نظر دارند. کاربری طبیعی زمین را تشویق می‌کنند و بر ابتکارات محلی استوارند.

اخیراً در اغلب کشورهای دنیا این ایده جا افتاده که نوعی بررسی اقتصادی برای پروژه‌های مهار سیلاب انجام دهند تا معلوم شود که آیا برای مهار سیلاب یک رودخانه یا سیلابزدگی یک منطقه، اجرای طرح سازه‌ای برای مهار سیلاب از نظر اقتصادی توجیه پذیر است یا اتخاذ یک روش غیر سازه‌ای؟ امروزه در بسیاری از کشورها کارشناسان سیلاب اعتقاد دارند که ترکیب و تلفیقی از روشهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای راه‌حل بهینه برای حداقل نمودن خسارات سیلاب است که می‌تواند کم هزینه تر هم باشد [۱]. بر این اساس در تحقیق حاضر ابتداع انواع روشهای متداول در مهار سیلاب تشریح شده سپس بر مبنای محاسب خسارات مورد نظر، روش انتخاب سازه بهینه تشریح می‌گردد.

روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب

تلاش در جهت کاهش سیلاب به وسیله حفاظت و اقدامات فیزیکی در سیلابدشت که به منظور دور کردن سیلاب از مردم و املاک آنها قبل از وقوع سیل اعمال می‌گردد، روش سازه‌ای نامیده می‌شود. در روشهای سازه‌ای شناخت خصوصیات ژئوتکنیک و ساختارهای زمین شناسی و ملحوظ داشتن معیارهای طراحی سازه مد نظر می‌باشد. از روشهای سازه‌ای متداول در مهار سیلاب می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

احداث خاکریز یا گور (Levee) در امتداد رودخانه

در مهندسی عمران خاکریز بر پشته‌ای خاک و سنگ و یا مصالح دیگر اطلاق می‌گردد که به دو دسته خاکریزهای خشکی و خاکریزهای مرتبط با آب تقسیم‌بندی می‌شوند. گوره از جمله خاکریزهای مرتبط با آب است که بعنوان یک کناره مصنوعی در امتداد رودخانه برای حفاظت اراضی جانبی در برابر سیل احداث می‌گردد [۲]. ساخت گوره‌ها قدیمی‌ترین، متداولترین و در هر زمانی مهمترین روش مهار سیلاب بوده است که در حقیقت بعنوان قدیمی‌ترین سازه‌های هیدرولیک در جهان شناخته شده اند [9]. لازم به ذکر است گوره‌ها لزوماً در امتداد رودخانه ساخته نشده و می‌توانند همانند گوره‌های حلقوی در محیط یک محدوده خاصی احداث گردند.

احداث دیوارهای سیل‌بند (Flood Walls) در امتداد رودخانه

دیوارهای سیل‌بند از جنسهای مختلف از جمله بتنی، سنگی، آجری و غیره ساخته می‌شوند و بیشتر در نقاطی به کار می‌روند که فاصله رودخانه تا محل استقرار سیل‌بند محدود بوده و جای کافی برای احداث گوره وجود نداشته باشد. از دیوارهای سیل‌بند نیز همانند گوره‌ها برای مهار سیلاب به صورت افزایش تراز سیل و محدود کردن آن در یک عرض معین از رودخانه و سیلابدشت استفاده می‌شود. سیل‌بندها معمولاً با مصالح ساختمانی مناسب به صورت طولی در امتداد رودخانه، در مناطق شهری و سایر مناطقی که ارزش زمینها در آن زیاد است، ایجاد می‌شوند [3]. هرگاه دیوارهای حائل (Retaining Walls) که در رودخانه‌ها برای جلوگیری از ریزش و تخریب کناره‌ها به کار می‌روند، همزمان در صورت داشتن ارتفاع کافی نقش مهار سیلاب را نیز ایفا کنند بعنوان دیوارهای سیل‌بند شناخته می‌شوند [4].

احداث مخازن تسکین سیلاب (Flood Mitigation Reservoirs) در مسیر رودخانه

مخازن تسکین سیل جهت ذخیره کردن بخشی از جریانهای سیلابی رودخانه در زمانی که امکان وارد آمدن خسارت به پایین دست وجود دارد، و رها کردن تدریجی و مطمئن آن پس از فروکش کردن سیلاب به کار می‌روند [5]. مخازن تسکین سیل به‌طور مستقیم خسارت را با کاهش دبی اوج سیلاب خروجی از مخزن می‌گردند. مخازن تسکین سیل معمولاً به دو نوع مخازن ذخیره ای (Storage Reservoirs) و مخازن تاخیری (Retarding Basins) تقسیم می‌شوند. تفاوت این دو مخزن معمولاً در نوع تجهیزات خروجی آنها می‌باشد. خروجی‌های مخازن ذخیره ای به‌صورت کنترل شده توسط شیرها و دریچه‌ها می‌باشد در صورتی که خروجی مخازن تاخیری بدون دریچه بوده و به‌صورت خودکار از طریق حجم آب موجود در مخزن تنظیم می‌گردد [10]. همچنین به لحاظ عملکرد نیز سدهای تاخیری تک منظوره بوده و فقط برای مهار سیلاب ایجاد می‌گردند. در حالیکه مخازن ذخیره‌ای معمولاً برای دستیابی به بیش از یک هدف ساخته می‌شوند و معمولاً اهداف آبیاری و تولید برق را به دنبال دارند [6].

انحراف سیلاب (Flood Diversion)

این روش مهار سیلاب به عنوان سبیلراه اضطراری (Emergency Floodway) نیز شناخته می شود و عموماً در نواحی بالادست مناطق توسعه یافته، نظیر شهرها و مجتمع های صنعتی به کار می رود. در این روش تمام یا قسمتی از جریانهای سیلاب توسط سیلابروی کمربندی از محدوده مورد حفاظت در مجاورت رودخانه خارج شده و مجدداً در محل مناسب به همان رودخانه یا رودخانه یا مسیل حوضه آبریز دیگر و یا به استخرهای تاخیری تخلیه می گردد. در صورت وجود شرایط توپوگرافی مناسب برای انحراف مسیر رودخانه این روش را می توان به طور موثری جهت کنترل سیلاب رودخانه های شهری استفاده نمود.

اصلاح مسیر (Channel Improvement)

اصلاح مسیر یا ساماندهی رودخانه جهت مهار سیلاب به سلسله عملیاتی اطلاق می گردد که موجب افزایش مقطع رودخانه و سرعت جریان شده و متعاقباً ظرفیت انتقال آب را به میزان قابل توجهی افزایش و زمان تمرکز سیلاب را کاهش می دهند. بهسازی و اصلاح مسیر رودخانه ها به منظور کاهش عوامل اصطکاکی و افزایش ظرفیت انتقال جریان و یا عبارتی آماده سازی مسیر رودخانه برای عبور ایمن سیلاب انجام می گیرد. عملیات اصلاح مسیر و ساماندهی رودخانه ها معمولاً به کمک فعالیت هایی از قبیل پاکسازی پوشش گیاهی از کانال اصلی، لایروبی انباشته های رسوبی (نظیر پشته ها و جزایر رسوبی) از بستر رودخانه، اصلاح هندسی مسیر با ایجاد میانبرها و حذف قوسها، اصلاح ساختار هیدرولیکی یازه های متقاطع، موازی و غیره، هدایت جریان در مقاطع هیدرولیکی مناسب، تثبیت و کنترل شاخه های پر رسوب و تثبیت بستر، کناره ها و شیبهای ناپایدار انجام می گیرد.

تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی

از دیگر روشهای سازه ای موثر که در شرایط خاصی برای کنترل دبی اضافی رودخانه ها قابل اجرا می باشد، تغذیه منابع آب زیرزمینی است. در این روش، سیلابی که خسارات و هزینه های سنگین به بار می آورد، صرف تغذیه سفره های آب زیر زمینی می شود و تا حدی جبران برداشتهای بی رویه آب را از بعضی آبخوانها می نماید. این روش همچنین با کاهش رسوبات از خسارات سیل می کاهد. تغذیه مصنوعی به روشهای گوناگونی از جمله پخش سیلاب در اراضی نفوذپذیر، روش القایی در خاکهای اشباع به کمک پمپاژ آب از سفره های آب زیرزمینی و ایجاد فضای لازم در لایه های خاک جهت نفوذپذیری جریانهای سیلابی و روش استفاده از چاه تزریق انجام می گیرد.

مهار آب با آب

روش مهار آب با آب استفاده از یک تکنولوژی نسبتاً جدیدی است که در آن از ورقهای لاستیکی برای ایجاد سدهای لاستیکی لوله ای شکل در امتداد رودخانه با ضخامت و مشخصات فنی محاسبه شده، استفاده می گردد. در این روش ورقهای لاستیکی تا شده در کناره های بر روی سکوی بتنی مناسبی به شکلی کارگذاری می گردد که هنگام وقوع سیلاب، جریان آب وارد این ورقها شده و با ایجاد تورم موجب لوله ای شدن ورقها و افزایش ارتفاع آن می گردند (تا ارتفاع ۱۰ متر). متعاقباً افزایش ارتفاع لوله همانند یک سد از لبریز جریان از کناره های رودخانه جلوگیری می نماید [7].

روش های غیر سازه ای مهار سیلاب

روشهای غیرسازه ای در مدیریت سیل در برگیرنده آن بخش از فعالیت هایی است که برای رفع یا تسکین اثرات تخریبی سیلاب، سازه های فیزیکی احداث نمی شود. این روشها معمولاً در دو گروه اساسی زیر طبقه بندی می شوند.

- تمهیدات برنامه ریزی شامل: پیش بینی سیلاب، سیل های دریایی، کنترل و گسترش سیلابدشت، بیمه سیلاب، ضد سیلاب کردن، مدیریت حوضه آبریز، تصمیم گیری، اطلاع رسانی و آموزش عمومی و ...
- تمهیدات مقابله ای شامل: برنامه ریزی جهت مقابله با شرایط اضطراری سیل، مقابله با سیلاب، هشدار سیل، تخلیه، کمک های اضطراری و رفع مشکلات، اقدامات آبخیزداری و ...

با توجه به اینکه تفاوت های زیادی بین حوضه های آبریز رودخانه ها از لحاظ اقلیمی، توسعه و توپوگرافی وجود دارد، نمی توان یک رهیافت استاندارد را برای استفاده از روشهای فوق پیشنهاد کرد. روشهای غیر سازه ای علاوه بر فراهم نمودن تمهیداتی قبل از وقوع سیل، در هنگام بروز سیل و یا حتی پس از آن نیز اقداماتی را جهت حداقل کردن خسارت پیش بینی می کنند.

روش های تلفیقی مهار سیلاب

علیرغم استفاده وسیع از سازه های مهار سیلاب در سراسر جهان با توجه به نتایج حاصله و بخصوص افزایش خسارات ناشی از تخریب سازه های مذکور در اثر وقوع سیلابها، در دهه های اخیر این تفکر در حال بسط و تقویت می باشد که به هیچ وجه نباید برای مهار سیلابها و جلوگیری از خسارت آنها تنها اقدام به احداث سازه های کنترل کننده نمود. بلکه ضروریست در کنار سازه ها، مدیریت سیلاب در حوضه ها شدیداً مورد توجه قرار گیرد و در حقیقت بایستی کلیه روشها اعم از سازه ای و غیر سازه ای در مکانها و زمانهای مختلف به صورت تلفیقی در نظر گرفته شود.

اکنون در بسیاری از کشورهای ثروتمند غربی و ژاپن کارشناسان سیلاب اعتقاد دارند که ترکیب روشهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای کم هزینه تر از روشهای سازه‌ای به‌تنهایی می‌باشد [۱]. مسلماً ارزیابی طرحهای مهار سیلاب در یک حوضه و انتخاب طرح بهینه به لحاظ اقتصادی مستلزم در نظر گرفتن سودهای ناشی از تلفیق روشهای ترکیبی در مقایسه با انتخاب یک روش منفرد سازه‌ای و یا غیر سازه‌ای می‌باشد. با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر، بهینه‌سازی ابعاد روشهای سازه‌ای (بویژه سازه‌های دارای کاربرد در حوضه‌های شهری) می‌باشد، در ادامه به بررسی اقتصادی روشهای سازه‌ای مهار سیلاب پرداخته شده و از گزینه‌های غیر سازه‌ای و تلفیقی صرف‌نظر می‌گردد.

تکنیکهای اندازه‌گیری خسارت سیلاب

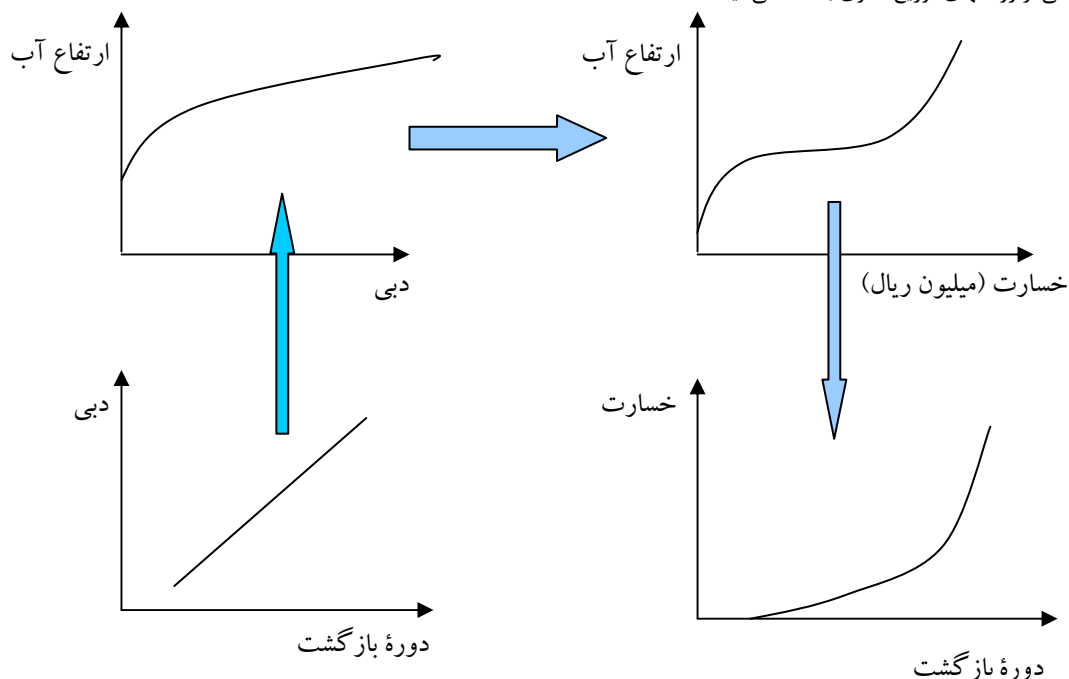
اهمیت اندازه‌گیری علمی خسارت یا زیان ناشی از وقوع سیلاب در آن است که ارزیابی واقع‌بینانه‌ای از نسبت سود به هزینه در طرحهای مهار سیلاب ممکن شود. لغت مهار در واقع به معنای محافظت است. ارزیابی هر طرح مهار سیلاب مستلزم مطالعه‌ای اقتصادی به صورت کاربردی است. به این معنی که صرفه‌جویی سالیانه (در اثر اجرای طرحهای مهار سیلاب برای حفظ جان و مال افراد) نسبت به هزینه ساخت و نگهداری سازه‌های مهندسی مورد نیاز باید مقایسه و ارزیابی شود. هدف اصلی از بررسی خسارتهای ایجاد شده در اثر سیلاب، یافتن رابطه آن با ارتفاع سیلاب است. باور عمومی بر آن است که میزان خسارات وارده، تابعی از مساحت به زیر آب رفته می‌باشد. لیکن عمق جریان، مدت طغیان و زمانی از سال که سیلاب روی می‌دهد، حتی ساعت وقوع سیلاب نیز اثر مهمی بر مقدار خسارتهای وارده دارد. پس از تفکیک سیلابدشت به مناطق مختلف، میزان خسارت در بازه‌های مختلف از مسیر رودخانه اندازه‌گیری می‌گردد. خسارت کل برابر مجموع خسارات جزئی وارد آمده به بازه‌های مختلف سیلابدشت خواهد بود. خساراتی که در بخشهای مختلف هر بازه اندازه‌گیری می‌شود، معمولاً از نوع خسارات مستقیم می‌باشد. لازم است جهت تخمین نهایی مقدار خسارت کل مقدار سایر انواع خسارات وارده نیز ملحوظ گردد. روشهای گوناگونی جهت محاسبه مقدار خسارت مستقیم وجود دارد که در ذیل روش محاسبه خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD) تشریح می‌گردد.

روش محاسبه خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD)

در روش محاسبه خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD) ، تخمین خسارت به کمک برآورد هیدرولوژیکی ترازهای سیلابها با دوره بازگشت مختلف و برآورد خسارات در هر کدام از این سیلابها می باشد . از این تجزیه و تحلیل منحنی خسارت - دوره بازگشت بدست می آید که بوسیله آن میتوان متوسط خسارات سالانه در ناحیه تحت مطالعه را بر آورد نمود . لذا به نقشه های دقیق توپوگرافی ، کاربری اراضی ، تاسیسات شهری و نقشه جامع شهر همچنین مدلسازی حوزه با استفاده از برنامه‌هایی که قابلیت شبیه سازی سیلابدشت ها را داشته باشند نیاز خواهیم داشت .

تئوری محاسبه EAD

رایجترین راه محاسبه خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD) استفاده از روش فراوانی است که در شکل ۱ نمایش داده شده است [8] . نحوه رسم منحنی دبی - فراوانی بستگی به اطلاعات موجود دارد . اگر یک سری آماری از حد اکثر دبیهای سالیانه در دست باشد تابع - دبی احتمال وقوع با استفاده از یکی از روشهای توزیع آماری بدست می آید .



شکل ۱- روند محاسبه منحنی خسارت - احتمال وقوع

جهت رسم منحنی دبی - اشل میتوان از نرم افزارهایی نظیر HEC-RAS ، HEC-2 و یا اندازه گیری مستقیم استفاده کرد. جهت بدست آوردن رابطه عمق آب - خسارت در مرکز خسارت مورد نظر از نقشه های توپوگرافی منطقه (معمولاً ۱:۱۰۰۰) و پهنه بندی سیل همچنین پروفیل طولی سیلاب محدوده زیر آب رفته (معمولاً به کمک نرم افزارهایی نظیر HEC-RAS یا HEC2) استفاده میشود سپس با استفاده از نظرات کارشناسان اقتصادی اجتماعی و قضاوت مهندسی و بازدید های محلی از روی محدوده زیر آب رفته در هر تراز میزان خسارت تخمین زده می شود .
 با رسم منحنی های دبی- احتمال وقوع ، دبی- عمق آب و عمق آب خسارت ، تابع احتمال وقوع - خسارت بدست می آید . انتگرال تابع احتمال وقوع - خسارت ، خسارت مورد انتظار سالیانه را تعیین می کند . روش محاسبه منحنی خسارت - احتمال وقوع بدین صورت است که با یک دبی مشخص از منحنی دبی - احتمال وقوع حرکت کرده و پس از یافتن عمق آب از منحنی دبی - عمق آب ، خسارت متناظر با آن بدست می آید . با داشتن میزان خسارت و احتمال وقوع نیز یک نقطه از منحنی خسارت - احتمال وقوع مشخص خواهد شد . برای دبی های مختلف این کار تکرار می شود تا منحنی خسارت - احتمال وقوع به طور کامل رسم شود

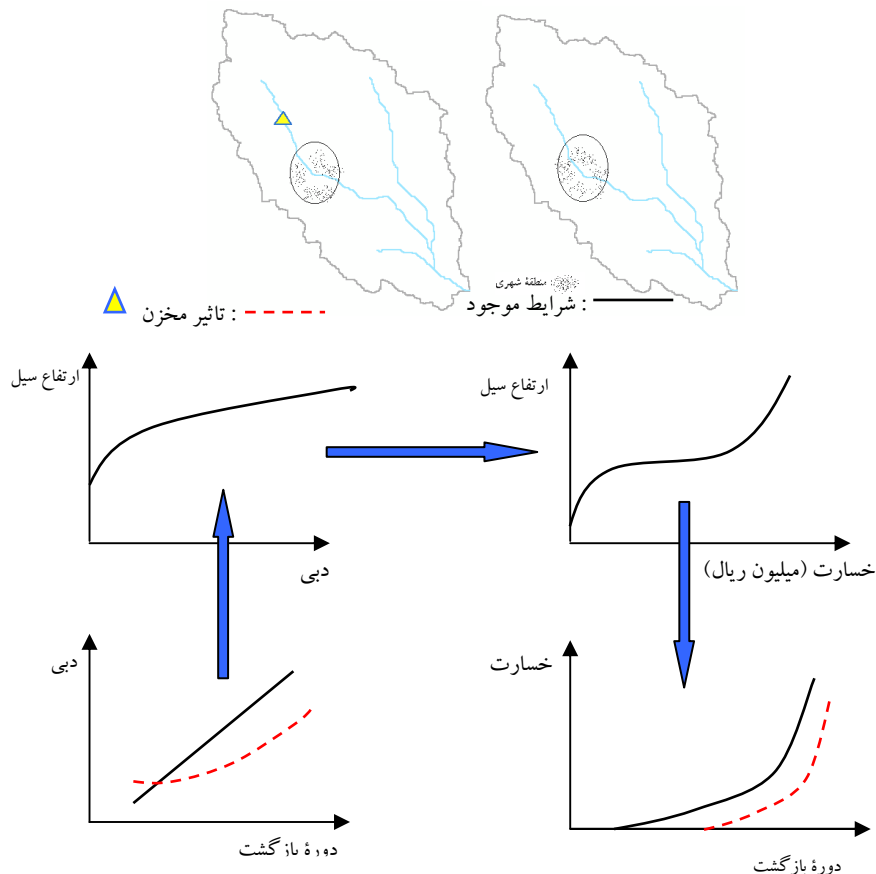
محاسبه متوسط خسارت سالیانه مورد انتظار در طول عمر طرح (EADave)

با توجه به اینکه منحنی دبی احتمال وقوع برای یک سال خاص تشکیل می شود ، در سالهای آینده با ورود داده های جدید تغییر خواهد کرد . از طرفی رابطه عمق آب- خسارت نیز با توسعه منطقه و تغییر کاربری اراضی عوض می شود . همچنین نمودار دبی - عمق آب نیز با دخل و تصرف در حریم رودخانه و ایجاد سازه های جدید (نظیر سد) در مسیر رودخانه تغییر می کند . در نتیجه منحنی خسارت احتمال وقوع تغییر نموده و در نهایت ، خسارت مورد انتظار سالیانه در سالهای متوالی متغیر خواهد بود . لذا لازم است خسارت سالیانه مورد انتظار در طول عمر پروژه متوسط گیری شود . با توجه به آمار خسارات سیل در کشورهای مختلف ، خسارت مورد انتظار سالیانه در سالهای متوالی همواره سیر صعودی داشته لذا بر اساس آمار موجود در هر کشور میتوان درصد رشد خسارات سالیانه را تعیین کرد . بعنوان مثال نرخ رشد سالیانه خسارات سیل در ایران در سالهای اخیر ۶ درصد گزارش شده است اگر نرخ رشد خسارات سالیانه سیل را برابر n درصد در نظر بگیریم و با فرض طول عمر m ساله برای پروژه متوسط خسارت سالیانه مورد انتظار در حوزه مورد نظر که پس از گذشت m/2 سال خواهد بود می توان از رابطه زیر محاسبه نمود [8].

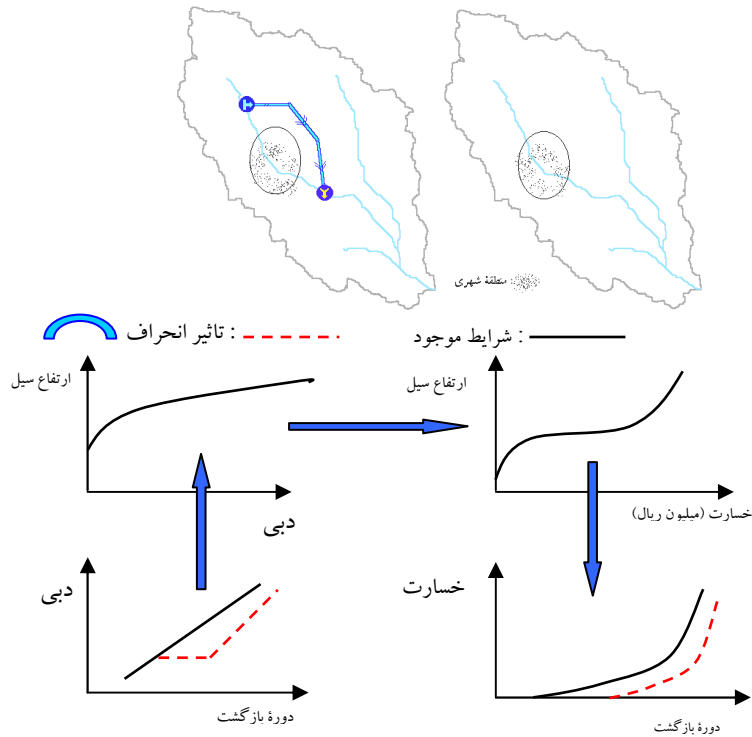
$$EAD_{ave} = EAD \times (1+n)^{m/2} \quad (1)$$

تغییرات شاخص EAD در اثر به کارگیری روشهای سازه های مهار سیلاب

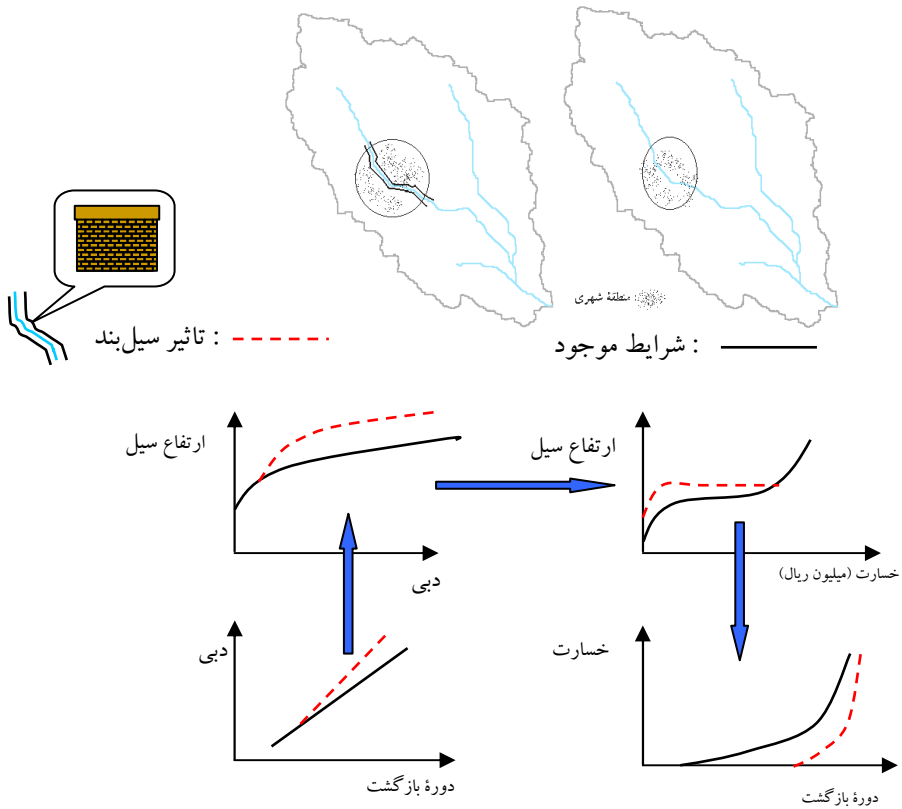
نمودارهای توابع مورد نیاز برای ارزیابی میزان کاهش خسارات به روش EAD در فوق ارائه شدند در اشکال ۲ الی ۵ نحوه تاثیر هر کدام از روشهای سازه های مذکور در بند ۲ بر توابع لازم جهت محاسبه شاخص EAD نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز خلاصه ای از نتایج حاصل از اشکال مذکور گردآوری شده است.



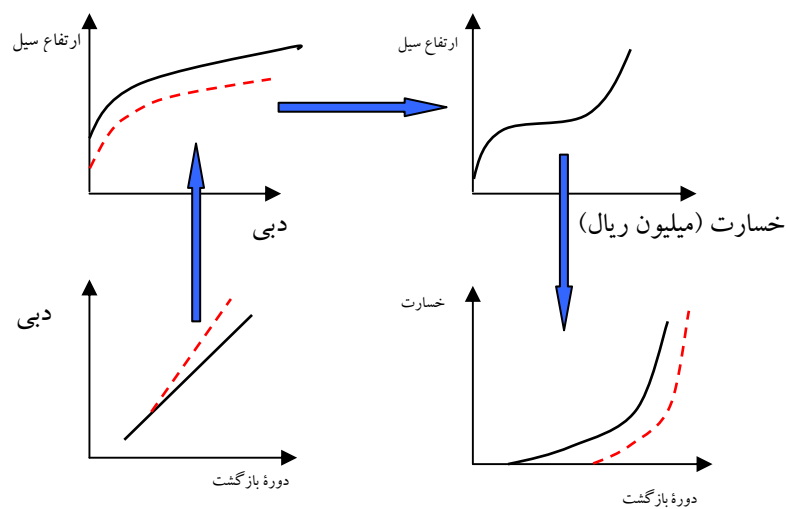
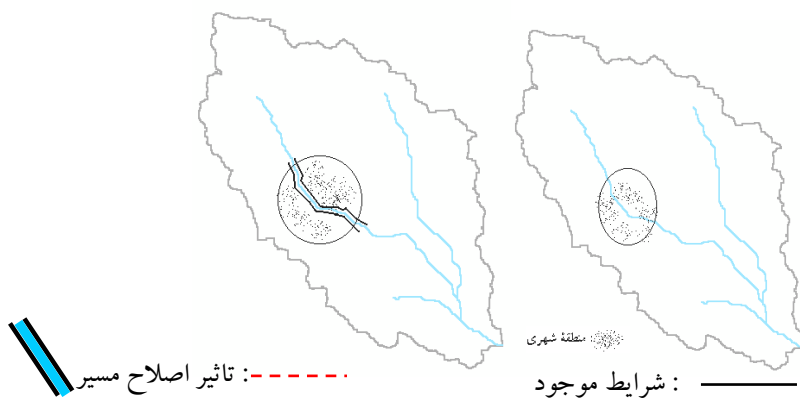
شکل ۲- تاثیر مهار سیلاب بوسیله مخازن در توابع محاسبه EAD



شکل ۳- تأثیر مهار سیلاب بوسیله انحراف در توابع محاسبه EAD



شکل ۴- تأثیر مهار سیلاب بوسیله دیواره سیل بند در توابع محاسبه EAD



شکل ۵- تاثیر مهار سیلاب بوسیله اصلاح مسیر در توابع محاسبه EAD

جدول ۱- تاثیر روشهای سازه‌ای مهار سیلاب بر توابع EAD

خسارت - فراوانی	دبی - فراوانی	دبی - خسارت	خسارت - عمق	دبی - اشل	
+	+	-	-	-	مخازن
+	+	+	+	+	سیل‌بند
+	+	-	-	*	انحراف
+	+	+	-	+	اصلاح مسیر
+	+	-	-	-	تغذیه مصنوعی
+	+	+	+	+	سد لاستیکی

+ : تاثیر گذار

- : بدون تغییر

* : به ازای دبی های بزرگتر از آستانه دبی انحراف ، ممکن است اشل در پایین دست آبراهه اصلی تغییر نماید

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در مقاله حاضر روش محاسبه خسارت مورد انتظار سالیانه به عنوان یک شاخص کلیدی برای آنالیز اقتصادی طرحها مطرح گردید. مقایسه این شاخص قبل و بعد از وقوع سیل می‌تواند به عنوان معیاری برای انتخاب روش برتر جهت مهار سیلاب رودخانه‌ها و میزان سرمایه گذاری طرحهای مهار سیلاب مورد استفاده واقع گردد. مطالب مقاله حاضر می‌تواند به عنوان مقدمه‌ای بر تحلیل اقتصادی سازه‌های مهار سیلاب و بهینه‌سازی سازه‌های ترکیبی آن مورد استفاده قرار گیرد.

منابع و مراجع

- ۱) راهنمای روشهای غیر سازه ای مدیریت سیلاب، ترجمه و تدوین کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران و کمیته ملی کاهش اثرات و بلایای طبیعی، نشریه شماره ۴۰ (۱۳۷۹)
- ۲) راهنمای طراحی و ساخت دیوارهای مهار سیلاب، (گوره ها)، مهندسین مشاور سازه پرداز ایران، انتشارات آوای نور (۱۳۸۰)
- ۳) راهنمای مهار سیلاب رودخانه ها (روش های سازه ای)، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه شماره ۲۴۲ (۱۳۸۰)
- ۴) چیتی، محمد حسن، محدودسازی سیلاب، کارگاه آموزشی تخصصی مهار سیلاب رودخانه ها، انجمن هیدرولیک ایران، اردیبهشت ۱۳۷۶
- ۵) قدسیان، مسعود، ترجمه مهار سیلاب و مهندسی زهکشی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷۷)
- ۶) بنی حبیب، محمد ابراهیم، مهار سیلاب با استفاده از مخازن تأخیری، کارگاه آموزشی تخصصی مهار سیلاب رودخانه ها، انجمن هیدرولیک ایران، اردیبهشت ۱۳۷۶
- ۷) کارآموز، محمد، سیلاب و تمهیدات مدیریتی برای مهار سیلاب، کارگاه آموزشی تخصصی مهار سیلاب رودخانه ها، انجمن هیدرولیک ایران، اردیبهشت ۱۳۷۶
- ۸) داندنده مهر، علی، اندازه گیری و ارزیابی میزان خسارت ناشی از خسارت سیلاب ها، دهمین کنفرانس دانشجویی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، آبان ۱۳۸۲

9) Manual of Surface Drainage Eng. B.Zkinori & Mevorach (1984 , Vol 2

10) Linsley.RAY K& Franzini.joseph B, Water Resources Engineering , third edition,(1979)