



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال دهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۷
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.10, No. 1, Spring 2018

۴۱-۵۶

مقایسه رویکردهای انعطاف پذیر و مقاومتی به منظور مدیریت ریسک سیلاب (مطالعه موردی رود قزل اوزن در حوضه شهرستان ماهنشان)

مینا زکی پور^۱، محمد طالعی^{۲*}، قاسم جوادی^۳

۱. دانشجوی دکتری گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی

خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران- نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۵/۱۰

چکیده

سیلاب یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین وقایع طبیعی در جهان است. بشر همواره، به‌دنبال جلوگیری از وقوع سیلاب، از روش‌هایی مانند احداث خاکریزها استفاده کرده است که در زمره روش‌های مبتنی بر رویکرد مقاومتی‌اند. با اینکه زمان و مکان وقوع سیل، دبی طراحی، مقاومت سازه‌ها، رفتار فیزیکی رودخانه و چنین مواردی دارای قطعیت نیست؛ راهکارهای مقاومتی روش مناسبی برای مقابله با سیل محسوب نمی‌شوند. برای نمونه، در صورت رخداد سیلی با دبی بیشتر از دبی طراحی خاکریز، نه تنها سیل باعث نابودی سازه خاکریز می‌شود بلکه آبگرفتگی، خسارات مالی و تلفات جانی پیش‌بینی‌نشده‌ای به بار خواهد آمد. در رویکرد انعطاف‌پذیر با استفاده از برنامه‌ریزی مکانی و طرح‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای، آمادگی لازم فراهم می‌شود تا سیستم سیل‌دیده به شرایط پایدار بازگردد. هدف تحقیق حاضر بررسی قابلیت‌های رویکرد انعطاف‌پذیر در مسئله مدیریت ریسک سیلاب و مقایسه نتایج آن با رویکرد مقاومتی است. برای تحقق این هدف، از تلفیق سیستم اطلاعات مکانی و دانش مهندسی و مدیریت سیل استفاده شده است. مطالعه موردی روی محدودده‌ای از رودخانه قزل‌اوزن، واقع در حوضه ماهنشان، انجام شده که پی‌درپی شاهد سیلاب بوده و راهکارهای مقاومتی، برای جلوگیری از وقوع سیل، کارساز نبوده‌اند. به این منظور، راهبردهای گوناگون مدیریتی شامل راهبردهای مقاومتی (احداث خاکریز)، انعطاف‌پذیر سازه‌ای (کشت دیم) و غیرسازه‌ای (هشدار سیل و بیمه سیل) مطرح شده‌اند. برای برآورد عملکرد مناسب هر راهبرد، مقادیر شاخص‌های انعطاف‌پذیری شامل دامنه عکس‌العمل، تدریج و نرخ بازیابی، برای سیلاب‌هایی با دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، محاسبه شده‌اند. به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب و بررسی راهبردهای پیشنهادی، سه دسته اطلاعات شامل شرایط هندسی، شرایط اولیه و شرایط مرزی یا حدی مورد نیاز است. شرایط هندسی از جمله شیب مسیر رودخانه، شکل مقطع، محل و ارتفاع خاکریزها با استفاده از نقشه رقوم ارتفاعی، از طریق الحاقی HEC GeoRAS در محیط ArcGIS، به‌دست آمده است. شرایط اولیه و شرایط مرزی جزء اطلاعات ورودی مدل هیدرولیکی است که از آبخیزداری حوضه مورد مطالعه دریافت شده است. برای مدل‌سازی هیدرولیکی، نرم‌افزار HEC RAS به‌کار رفته است. پس از مدل‌سازی هیدرولیکی برای محاسبه شاخص‌های انعطاف‌پذیری، نتایج حاصل از پهنه‌بندی سیلاب در مدل هیدرولیکی با لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مناطق مسکونی، راه‌های ارتباطی، سازه‌های احداث‌شده و زمین‌های زراعی در محیط سیستم اطلاعات مکانی تلفیق شدند. درنهایت، پس از محاسبه شاخص‌های انعطاف‌پذیری به‌منزله معیار مقایسه راهبردها، به‌منظور اولویت‌بندی آنها، از روش آنتروپی برای وزن‌دهی به معیارها (شاخص‌های انعطاف‌پذیری) و از روش TOPSIS برای اولویت‌بندی راهبردها استفاده شده است. مطابق نتایج، مشاهده شد که راهبرد کشت دیم، هم‌زمان با هشدار سیل و بیمه سیل، راهکاری انعطاف‌پذیر است که، به‌منزله بهترین استراتژی منتخب، بر روش‌های مقاومتی برتری دارد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت ریسک سیلاب، انعطاف‌پذیری، تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش TOPSIS، روش آنتروپی.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، تلفن: ۸۷۷۰۲۱۸

۱- مقدمه

مدیریت ریسک شناسایی و کنترل رویدادهای ریسک و تهیه برنامه‌ای برای مقابله با این رویدادهاست. فرایند مدیریت ریسک شامل سیاست‌های مدیریتی، روش‌ها و اقداماتی گوناگون، به منظور سنجش و ارزیابی ریسک، و توسعه راهکارهایی برای کاهش سطح آن است.

از سال‌ها پیش، برای کاهش ریسک سیلاب، از روش‌های ساماندهی رودخانه‌ها و احداث خاکریزها استفاده شده است. این روش، که بر مبنای رویکرد مقاومتی است، در درجه اول، به دنبال کاهش احتمال وقوع سیل است. این هدف با افزایش سطح حفاظت، مثلاً با تقویت سیستم دفاعی سیل یا اعمال فضای بیشتری برای حریم رودخانه‌ها، میسر می‌شود. اما هر سیستم اجتماعی و زیست‌محیطی، به دلیل اعمال نکردن آثار رویدادهای سیل شدید، لزوماً با افزایش سطح حفاظت رودخانه‌ها مدیریت نمی‌شود (Mens & Klijn, 2015). همچنین، با توجه به عدم قطعیت‌های موجود، مشاهده شده است که سیستم‌هایی با رویکرد مقاومتی (از جمله احداث خاکریزهای حفاظتی) فقط در مقابل برخی از سیلاب‌ها مقاوم‌اند. در صورتی که سیلابی با اندازه بزرگ‌تر رخ دهد، آب وارد سیلاب‌دشت می‌شود و پس از آن، محل وقوع سیل‌گرفتگی و آثار آن چندان پیش‌بینی‌شدنی نیست و راهکار دیگری برای مقابله با آن وجود ندارد (De Bruijn, 2004). از این‌رو، برای مدیریت ریسک سیلاب، باید تدابیر و چشم‌اندازهای بهتری را بررسی کرد تا بتوان مخاطرات و خسارات سیلاب‌های بعدی را تعدیل نمود.

در همین زمینه، رویکرد جدیدی بر مبنای دیدگاه انعطاف‌پذیر^۱ شکل گرفت که تفاوت‌های چشمگیری با روش‌های سنتی و مقاومتی دارد. هدف رویکرد انعطاف‌پذیر حداکثر کردن منابع سیلاب‌دشت‌ها و در عین حال، کاهش تلفات، آسیب‌پذیری و ریسک ناشی از سیلاب، حفظ اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی آنها در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب است (APFM, 2004).

پدیده سیلاب زمانی رخ می‌دهد که جریان سطحی آب در رودخانه، با تداوم زمانی محدود، بیش از جریان پایه باشد؛ به طوری که حجم زیادی از آب کم‌عمق دشت مجاور رودخانه را فراگیرد. در دهه‌های اخیر، به علت افزایش جمعیت در سیلاب‌دشت‌ها، تغییرات اکوسیستم‌ها، آثار مخرب فعالیت‌های انسانی، تغییرات کاربری اراضی شهری و دیگر موارد، خسارات سیلاب روند افزایشی داشته و مقابله با خسارات جانی و تلفات مالی سیلاب به مسئله‌ای کلیدی در جامعه تبدیل شده است. از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷، حدود چهارصد هزار نفر بر اثر بلایای طبیعی در جهان کشته شدند که ۵۸٪ آن مربوط به سیلاب بوده است. در این مدت، خسارات کل حدود هفتصد میلیارد دلار بوده که ۳۳٪ آن به سیلاب بازمی‌گردد (بزرگی، ۱۳۸۶). طبق آمار و اطلاعات موجود، ایران، از نظر تعداد وقایع سیلاب، در بین مناطق متوسط جهان قرار دارد. بنابراین، بررسی مسئله وقوع سیلاب و خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن در کشور اهمیت خاصی دارد (پیشین). با وجود این، افزون‌بر پیش‌بینی‌ناپذیر بودن زمان و مکان وقوع سیلاب، رفتار فیزیکی رودخانه، مقاومت سازه‌ها، واکنش مردم و پیامدهای اجتماعی-اقتصادی آن جزء عدم قطعیت‌های مطرح‌شده در بررسی سیلاب به‌شمار می‌روند. همچنین، تغییرات اقلیم و تأثیرات آن در دوره بازگشت دبی سیلاب‌های محتمل، تغییر الگوی کاربری اراضی و تغییر هنجارها و ارزش‌ها، مسئله پیش‌بینی سیلاب‌ها در بلندمدت و تصمیم‌گیری برای آن را دشوارتر می‌کند. از این‌رو، توجه به ریسک وقوع سیلاب و مدیریت این ریسک بسیار اهمیت دارد.

ریسک، در اصطلاح، به صدمه یا زیان بالقوه ناشی از فرایند یا واقعه‌ای اطلاق می‌شود. ریسک سیلاب به صورت حاصل ضرب احتمال وقوع سیل در خسارات واردآمده تعریف می‌شود. مجموعه اقدامات هماهنگ‌شده برای کنترل و هدایت سازمان‌ها برای مقابله با ریسک را مدیریت ریسک می‌نامیم. هدف از

1. resilience

برگشت سیستم به یک حالت تعادل است؛ بر این اساس، انعطاف‌پذیری را می‌توان، با استفاده از مقاومت در مقابل آشفتگی و سرعت بازگشت به حالت تعادل، اندازه‌گیری کرد. نظرگاه دوم بر رفتار سیستم‌های دور از تعادل، یعنی جایی که ناپایداری‌ها می‌توانند به آن ضربه بزنند، تمرکز می‌کند و انعطاف‌پذیری ظرفیتی حائل برای جذب اختلالات است که به صورت بزرگای اختلال اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین، پایداری سیستم به صورت توانایی سیستم در معرض اختلال برای مقاومت، جذب و بازیابی پس از اختلالات به سطح مطلوبی از عملکرد خود تعریف می‌شود. سیستم‌های مقاوم در برابر اختلال بدون هیچ‌گونه واکنشی مقاومت می‌کنند و این درحالی است که سیستم‌های انعطاف‌پذیر، پس از واکنش در مقابل اختلال، ترمیم می‌شوند.

هدف از این تحقیق استفاده از رویکرد نوین مدیریت ریسک سیلاب، با تأکید بر مفهوم انعطاف‌پذیری، برای نمایش افزایش توان تحمل سیستم‌ها در برابر خطر سیلاب است. از این رو، در این مقاله، رویکردی مقاومتی به‌همراه چند رویکرد انعطاف‌پذیر، که در جوامع متفاوتی به کار رفته‌اند، در چارچوب معیارهای انعطاف‌پذیری با یکدیگر مقایسه شده‌اند. معیارهای انعطاف‌پذیری به سه دسته کلی دامنهٔ عکس‌العمل، تدریج و نرخ بازیابی (بزرگی، ۱۳۸۶) تقسیم می‌شوند. دامنهٔ عکس‌العمل برحسب میزان تلفات و میزان خسارات مورد انتظار سالیانه برآورد می‌شود. تدریج نشان‌دهندهٔ افزایش دامنهٔ واکنش بر اثر افزایش میزان دبی سیلاب است. نرخ بازیابی به نرخ بازگشت از وضعیتی که در آن آثار سیلاب مشهود است به وضعیت پیش از وقوع سیلاب و حتی شرایط بهتر از آن اطلاق می‌شود و طبق نظر دِ بران^۳ (۲۰۰۵)، تابعی از عوامل اجتماعی، اقتصادی و فیزیکی است. برای برآورد معیارهای انعطاف‌پذیری، نتایج حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی، با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، با لایه‌های اطلاعاتی منطقهٔ مورد نظر تلفیق شده است.

این رویکرد، با هدف کاهش آثار سیل، بر پیشگیری و آمادگی بهتر تمرکز دارد تا سیل، در شرایطی کنترل‌شده و با خسارات کمتر، رخ دهد. از طریق برنامه‌ریزی مکانی، طرح‌های سازه‌ای و طرح‌های غیرسازه‌ای، می‌توان از تبعات سیل پیشگیری کرد. از جمله روش‌های سازه‌ای مقابله با سیلاب احداث ساختمان‌های انعطاف‌پذیر در برابر سیل است (Tagg et al., 2016). استفاده از طرح‌های غیرسازه‌ای، مانند طرح‌های هشدار و طرح‌های بیمهٔ سیل، نیز آمادگی در برابر سیل را افزایش می‌دهد (Gersonius et al., 2016). با استفاده از برنامه‌ریزی منطقه‌ای، می‌توان کاربری‌های متفاوت اراضی مناطق گوناگون را از یکدیگر متمایز کرد. در این صورت، اگر بتوان به‌نحوی برنامه‌ریزی کرد که مناطقی با ارزش کمتر زودتر از مناطق دیگر دچار سیل‌گرفتگی کنترل‌شده شوند، منطقه انعطاف‌پذیرتر خواهد بود زیرا مناطق دارای ارزش بیشتر ایمن‌تر و بازیابی شرایط پایدار پس از واقعه آسان‌تر خواهد بود. مطابق رویکرد انعطاف‌پذیر، میزان خسارات به تدریج افزایش می‌یابد و شکست ناگهانی اتفاق نمی‌افتد.

روش‌های مطرح‌شده مطابق این رویکرد، به‌جای مقابله با وقوع سیلاب، در پی شتاب‌دادن به بازگشت سیستم به شرایط پایدار پس از سیلاب و افزایش توان تحمل سیستم‌های فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی در مقابل عواقب ناشی از سیلاب و کاهش این عواقب‌اند. تا کنون تعریف‌های متعددی برای پایداری سیستم‌ها بیان شده است. هولینگ^۱ (۱۹۷۳) پایداری سیستم را براساس قابلیت انعطاف‌پذیری آن بیان می‌کند؛ درحالی‌که طبق اظهار اونیل^۲ (۲۰۰۴)، پایداری سیستم به مقاومت، بازیابی و ترمیم اختلالات نیاز دارد. از دیدگاه کاربردی، پذیرش چارچوب برای ارزیابی مناسب رفتار سیستمی که در معرض اختلال قرار دارد به هر دو مفهوم انعطاف‌پذیری و مقاومت مرتبط است. دو دیدگاه متفاوت برای تعیین انعطاف‌پذیری وجود دارد: دیدگاه نخست، که انعطاف‌پذیری مهندسی نامیده می‌شود، بر رفتار سیستم نزدیک به تعادل پایدار تمرکز دارد و شاخصی از سرعت

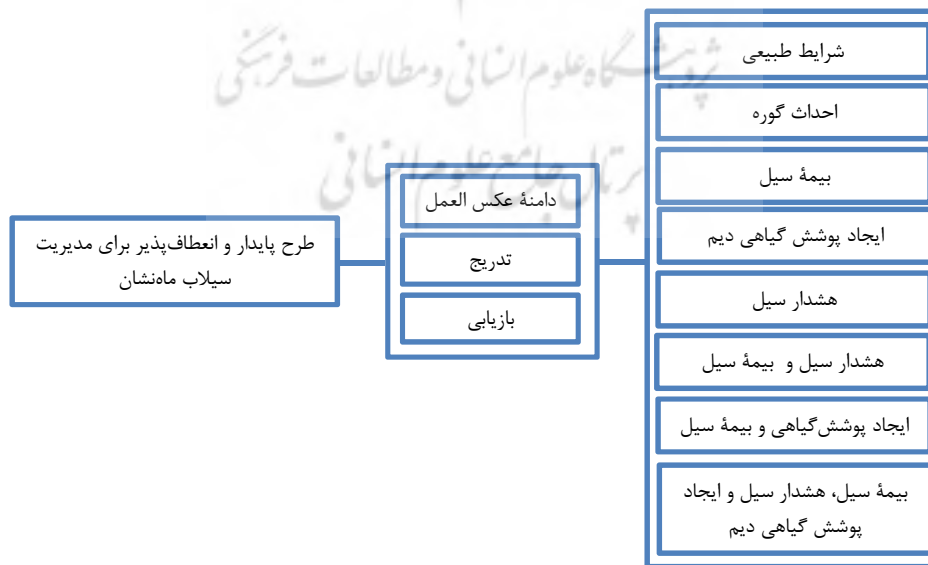
1. Holling 2. O'Neill
3. De Bruijn

۲- مواد و روش

مدل‌سازی سیلاب و روش‌های مقابله با آن نیازمند شناخت مسئله و پارامترهای مؤثر در آن است. بدین‌منظور، ابتدا باید شرایط طبیعی مدل‌سازی شود. سپس رویکردهای پیشنهادی برای مقابله با سیل اعمال شود. برای مطالعه عملکرد سیستم‌های انعطاف‌پذیر، ابتدا شرایط طبیعی، در قالب راهبرد اول، بررسی و خسارات بالای سیلاب در این شرایط برآورد شد. سپس راهبردهای مدیریت سیلاب از دیدگاه مقاومتی، شامل راهبرد دوم (احداث گوره)، و دیدگاه انعطاف‌پذیری، شامل راهبردهای سوم تا هشتم، مطابق شکل ۱ پیشنهاد شده‌اند.

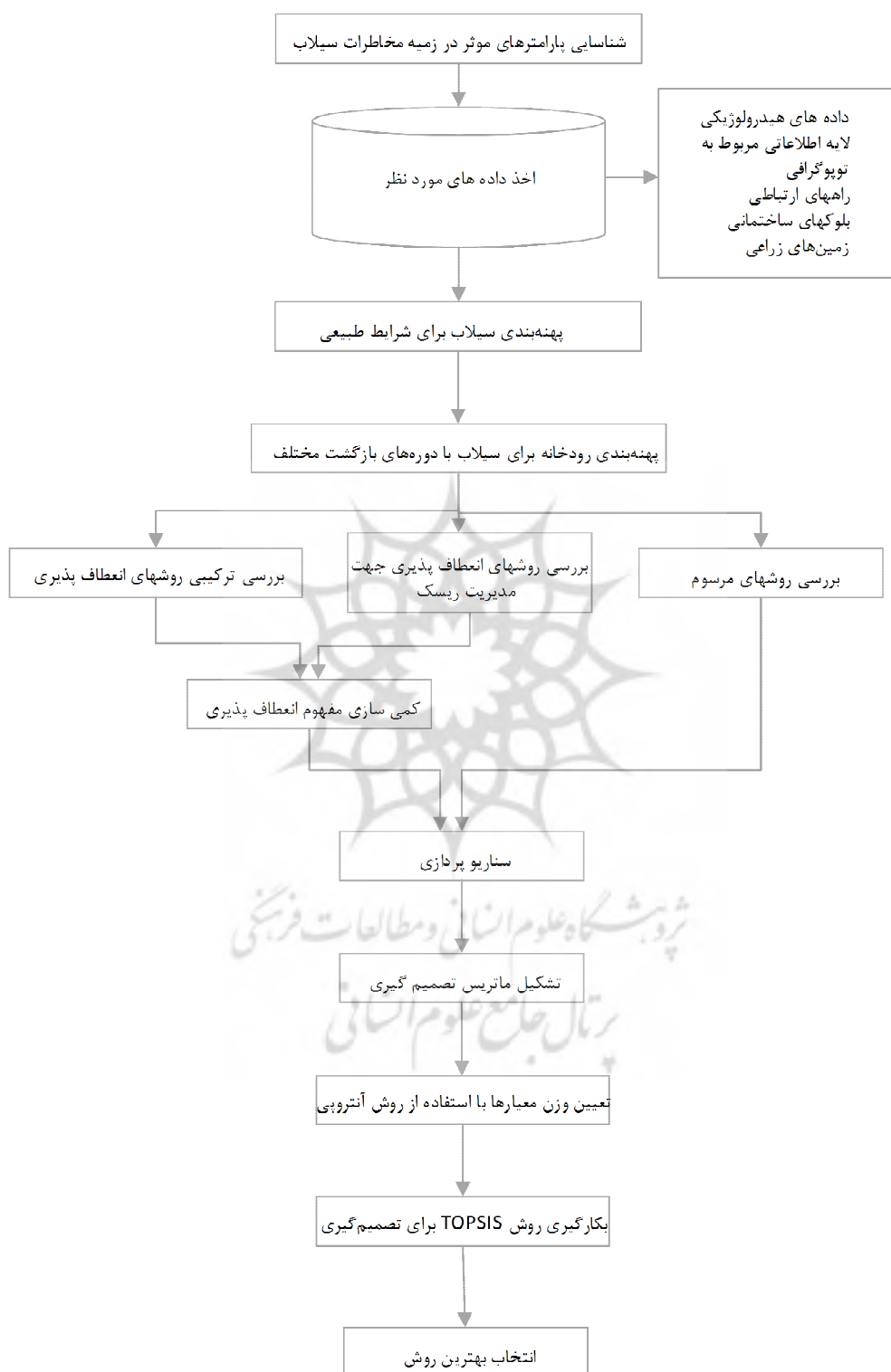
در نهایت، با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهترین رویکرد برای مقابله با سیلاب انتخاب می‌شود. مراحل طی شده برای مدیریت ریسک سیلاب، به تفصیل، در شکل ۲ آورده شده است.

برای مقایسه دو رویکرد انعطاف‌پذیری و مقاومتی و انتخاب رویکرد مناسب، هشت راهبرد متفاوت، برای مقابله با مسئله سیلاب در بخشی از رودخانه قزل‌اوزن، در مجاورت شهر ماه‌نشان (واقع در استان زنجان)، بررسی شده‌اند. با توجه به اینکه سه معیار برای مقایسه گزینه‌های پیشنهادی وجود دارد، اولویت‌بندی گزینه‌ها، بدون عملیات تصمیم‌گیری، کاری دشوار خواهد بود. بنابراین، باید از روش تصمیم‌گیری مناسبی برای تعیین بهترین گزینه و اولویت‌بندی دیگر گزینه‌ها استفاده کرد. مدل‌های متفاوتی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره وجود دارد. یکی از معروف‌ترین آنها روش TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981) است که اولویت‌بندی گزینه‌ها را، بر مبنای نزدیک‌بودن به راه‌حلی ایده‌آل، انجام می‌دهد (Paramasivam et al., 2011). در این تحقیق، اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت سیلاب، با توجه به معیارهای انعطاف‌پذیری، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS انجام شده و برای وزن‌دهی به معیارهای گوناگون، از روش آنتروپی بهره گرفته شده است.



شکل ۱. راهبردهای ارزیابی و شاخص‌های اولویت‌بندی

مینا زکی پور و همکاران



شکل ۲. مراحل تحقیق

ایده‌آل منفی داشته باشد. روش Topsis، طبق شش گام محاسباتی مطابق شکل ۳، اولویت‌بندی می‌کند.

۳- منطقه مورد مطالعه

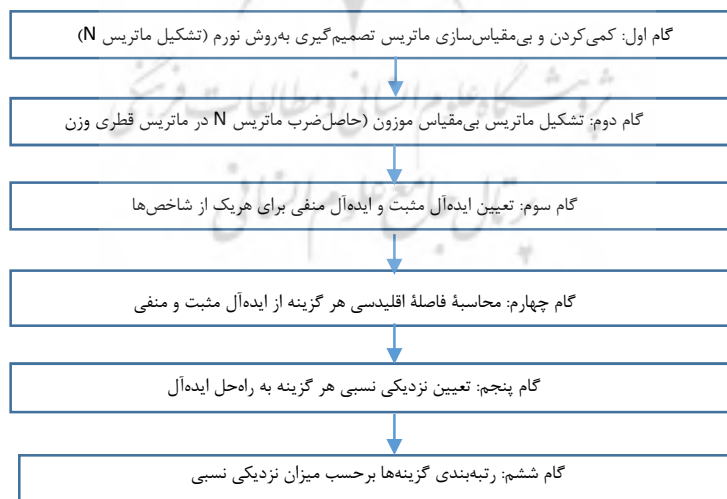
زمین‌های اطراف رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها، به دلیل حاصلخیزی، باعث رونق کشاورزی شده‌اند. حال آنکه سیلاب، سالیانه، خسارات مالی و تلفات جانی چشمگیری را به این مناطق وارد می‌کند. در این تحقیق، مسئله سیلاب‌های رودخانه قزل‌اوزن در محدوده شهر ماه‌نشان بررسی شده است (شکل ۴). این شهر، در فاصله ۱۱۳ کیلومتری شهر زنجان و در دشت ماه‌نشان-انگوران-دندی، با موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و در ارتفاع میانگین ۱۳۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. منطقه مذکور سالیانه سیلاب‌های متعددی را متحمل می‌شود. در این تحقیق، سعی شده است کارآمدبودن روش‌های انعطاف‌پذیری، برای مدیریت سیلاب در این مناطق، بررسی شود. به این منظور، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به توپوگرافی، بلوک‌های ساختمانی، راه‌های دسترسی و داده‌های هیدرولوژیکی از سازمان آبخیزداری استان زنجان دریافت شده است.

۲-۱ روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور اولویت‌بندی استراتژی‌های مدیریت سیلاب

در بحث تصمیم‌گیری، روش‌های متفاوتی وجود دارد که هر یک ایرادها و مزایای خود را دارد. در این تحقیق، برای انتخاب بهترین گزینه تصمیم، از روش Topsis استفاده شده است. به منظور استفاده از این روش تصمیم‌گیری، باید شاخص‌های انعطاف‌پذیری را وزن‌دهی کرد و به همین قصد، از روش آنتروپی استفاده شده است.

روش آنتروپی^۱: «مفهومی مهم در علوم اجتماعی، فیزیکی و تئوری اطلاعات است. زمانی که داده‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری به‌طور کامل تعیین شده باشد، می‌توان از روش آنتروپی برای محاسبه وزن شاخص‌ها استفاده کرد. اساس روش آنتروپی بر این مبناست که هرچه پراکندگی در مقادیر شاخصی بیشتر باشد، آن شاخص اهمیت بیشتری دارد» (مؤمنی، ۱۳۹۵).

روش Topsis^۲: مدل تکنیکی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها برحسب شباهت هر گزینه به راه‌حلی ایده‌آل است. بنابراین، برای هر شاخص، باید مقادیر بهترین و بدترین حالت ممکن مشخص شود تا بتوان گزینه انتخابی را به‌گونه‌ای تعیین کرد که کمترین فاصله را از ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از



شکل ۳. نمایش گام‌به‌گام روش Topsis

منبع: Hwang & Yoon, 1981

1. entropy
2. Techniques for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution

می‌دانیم افزایش ضریب زبری باعث کاهش سرعت جریان و افزایش عمق سیلاب خواهد شد.

- راهبرد پنجم احداث سیستم هشدار سیل است. با استفاده از سیستم هشدار، تلفات جانی به کمترین میزان می‌رسد. هزینه احداث این سیستم در خسارات مالی منظور شده است.

- راهبرد ششم شامل استفاده هم‌زمان از سیستم هشدار سیل و بیمه سیل است.

- راهبرد هفتم کاربرد هم‌زمان پوشش گیاهی و بیمه سیل را شامل می‌شود.

- راهبرد هشتم آمیزه‌ای از سه راهبرد سوم تا پنجم است.

مراحل اجرای راهبردها بدین شرح است:

۴-۱- گام نخست؛ استخراج داده‌های مربوط به مقاطع عرضی و پروفیل طولی رودخانه: الحاقی به HEC GeoRAS شامل مجموعه‌ای از روش‌ها و ابزارهایی برای پردازش داده‌های مکانی در ArcGIS، با استفاده از یک رابط گرافیکی است که، به کمک آن، می‌توان داده‌های هندسی مورد نظر برای مدل‌سازی با نرم‌افزار HEC RAS را تهیه کرد. به این منظور، در گام اول نقشه DTM سیستم رودخانه، در فرم TIN، به‌منزله ورودی سیستم اطلاعات جغرافیایی طرح می‌شود. آن‌گاه تعدادی لایه از جنس خط، برای ایجاد مجموعه‌ای اطلاعات هندسی، تشکیل می‌شود. این لایه‌ها مسیر رودخانه، مسیر کناره‌های کانال، مقاطع عرضی رودخانه، محل احداث گورها و در صورت نیاز، موارد دیگر (مانند پل‌ها) را دربر می‌گیرد. مراحل استفاده از HEC GeoRAS، به‌اختصار، در شکل ۵ نشان داده شده است.

مسیر رودخانه، مقاطع عرضی و محل احداث گورها در بخشی از رودخانه مطابق شکل ۶ تعیین شده است. در گام بعد، با استفاده از اطلاعات مربوط به مقطع عرضی، شیب طولی و محل احداث گورها، مدل‌سازی هیدرولیکی جریان انجام می‌شود.



شکل ۴. موقعیت منطقه مطالعه موردی: شهر مانه‌شان

۴- نتایج و بحث

همان‌طور که در بخش ۲ گفته شد، برای بررسی مسئله سیلاب، هشت راهبرد مطرح شده است تا، برپایه شاخص‌های انعطاف‌پذیری، بهترین راهبرد پیشنهاد شود. به‌منظور ارزیابی انعطاف‌پذیری، ابتدا هریک از راهبردها مدل‌سازی می‌شود. سپس مقادیر شاخص‌های انعطاف‌پذیری برای آنها محاسبه می‌شود. در نهایت، پس از به‌دست‌آوردن این مقادیر، برحسب روش تصمیم‌گیری مناسب، گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شود.

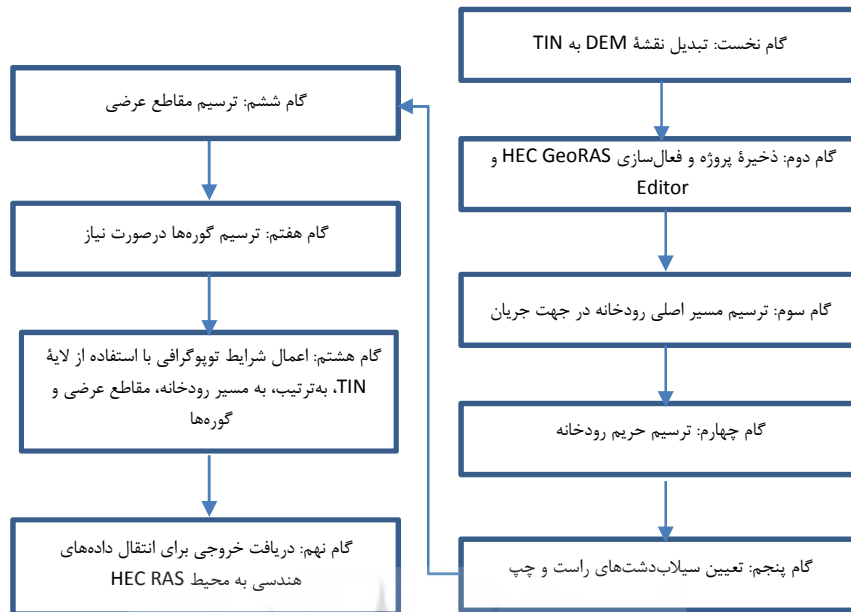
- راهبرد نخست شامل مدل‌سازی سیلاب‌ها، با دوره بازگشت مشخص برای شرایط طبیعی است. در این شرایط، مقدار ضریب زبری بستر، با استفاده از کالیبراسیون رودخانه انگورانچای در ایستگاه قشلاجوق، برآورد شده است.

- راهبرد دوم به‌صورت احداث گوره برای مقابله با سیل با دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله است. گوره‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند تا بهترین عملکرد را داشته باشند و در جریان این سیلاب‌ها، تخریب نشوند.

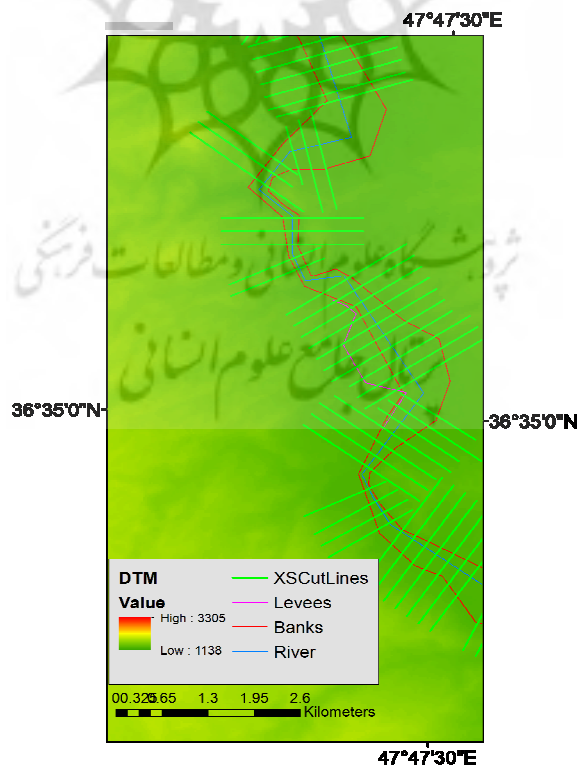
- راهبرد سوم در قالب بیمه کردن خسارات در شرایط طبیعی رودخانه مطرح شده است.

- راهبرد چهارم به‌صورت احداث پوشش دیم از نوع گندم، در ۱۵ متری پیرامون رودخانه، پیشنهاد شده است. فرض شده که ایجاد پوشش متراکم ضریب زبری سیلاب‌دشت را به ۰/۰۲۵ افزایش داده است.

مقایسه رویکردهای انعطاف پذیر و مقاومتی ...



شکل ۵. نمایش گام به گام تولید داده های هندسی

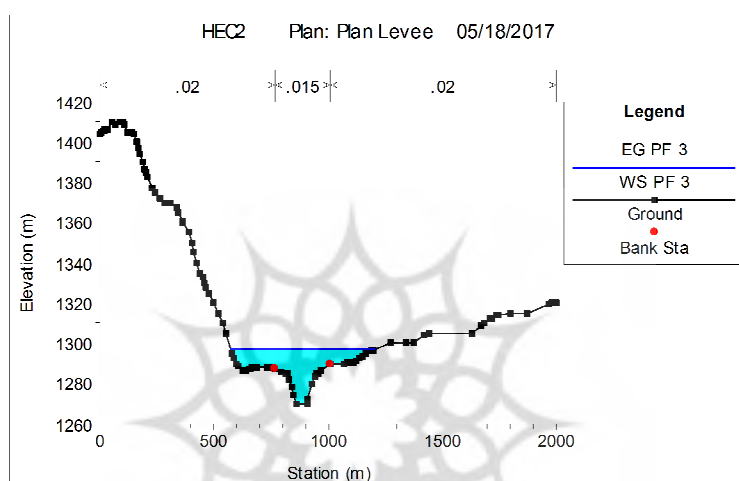


شکل ۶. شمای گرافیکی از نتایج الحاقی HEC GeoRAS

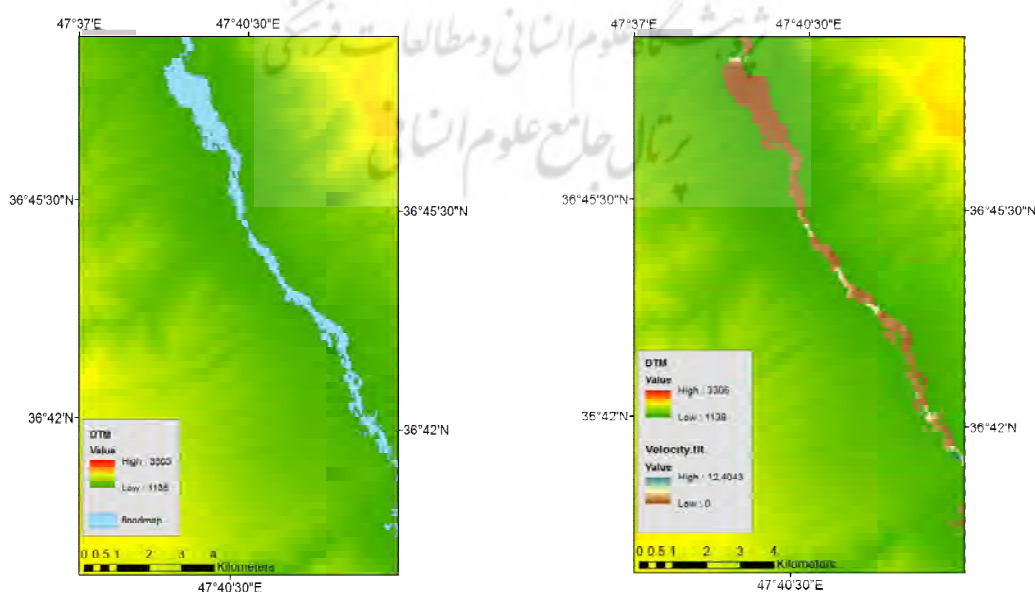
۲-۴- گام دوم؛ مدل سازی هیدرولیک جریان در

محیط HEC RAS: نرم افزار HEC RAS قابلیت انجام دادن محاسبات هیدرولیکی یک بعدی راه، در شبکه ای کامل از کانال های طبیعی و ساخته شده، دارد؛ از این رو، شرایط هیدرولیکی جریان رودخانه در محیط HEC RAS و برای سه دبی سیلاب، با دوره های بازگشت ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله، مدل سازی شده است (شکل ۷).

برای محاسبه پارامترهای انعطاف پذیری، به تحلیل های GIS نیاز است. بدین منظور، با استفاده از رابط گرافیکی محیط HEC RAS (Ras Mapper)، نتایج حاصل از مدل سازی هیدرولیکی، به صورت لایه های اطلاعاتی، به محیط GIS Arc انتقال یافته است (شکل های ۸ تا ۱۱).

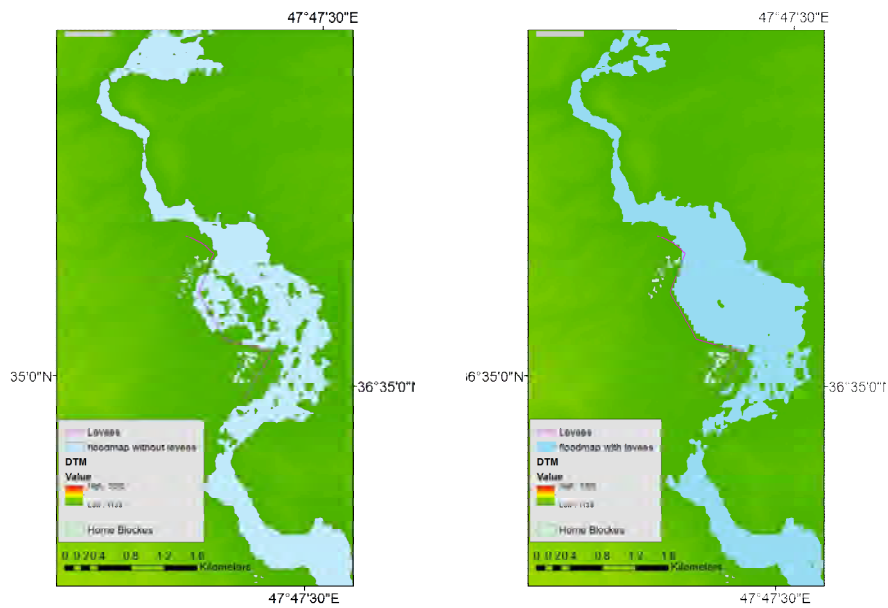


شکل ۷. نمایش نتیجه مدل سازی هیدرولیکی در محیط HEC RAS، برای مقطعی واقع در ۲۴/۲ کیلومتری بالادست رودخانه برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

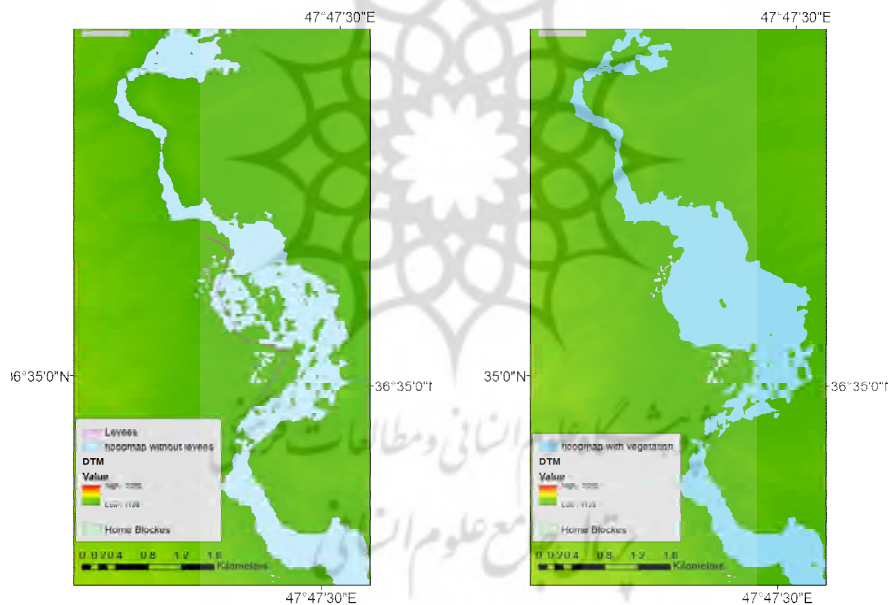


شکل ۸. نمایش نتیجه مدل سازی سرعت جریان و پهنه سیلاب برای شرایط طبیعی

مقایسه رویکردهای انعطاف‌پذیر و مقاومتی ...



شکل ۹. مقایسه نتیجه مدل‌سازی پهنه سیلاب برای احداث گوره (سمت راست) و شرایط طبیعی (سمت چپ)



شکل ۱۰. مقایسه نتیجه مدل‌سازی پهنه سیلاب برای ایجاد پوشش گیاهی (سمت راست) و شرایط طبیعی (سمت چپ)

الف) دامنه عکس‌العمل: آن را امواج سیلاب تعریف می‌کنند؛ به صورت شدت آثار مورد انتظار ناشی از یک موج سیلاب مشخص، بلافاصله پس از وقوع سیلاب. برای بررسی شدت واکنش یک سیستم به رژیم کلی امواج سیلاب، پارامتر خسارات مورد انتظار سالیانه تعریف می‌شود. خسارات مورد انتظار سالیانه در دو

۳-۴- گام سوم؛ محاسبه پارامترهای انعطاف‌پذیری: براساس آنچه در بخش ۲ بیان شد، معیارهای اولویت‌بندی گزینه‌های معرفی‌شده برای مدیریت ریسک سیلاب بر مبنای شاخص‌های انعطاف‌پذیری صورت می‌گیرد که شامل دامنه عکس‌العمل، تدریجی بودن و نرخ بازیابی است.

ابعاد امواج سیلاب است (بزرگی، ۱۳۸۶). این افزایش ثابت نیست اما ناپیوستگی‌هایی را نشان می‌دهد که، طی آنها، افزایش اندک دبی منجر به افزایش بسیار آسیب‌ها خواهد شد. برای نمونه، چنین وضعیتی در مواقع شکست گوره به‌وقوع می‌پیوندد. برای محاسبه پارامتر تدریجی بودن، در بران شاخص جینی^۱ را به‌کار برده است (De Bruijn, 2004) که به‌صورت روابط زیر تعریف می‌شود:

$$Q' = \frac{100(Q - Q_{\min})}{Q_{\max} - Q_{\min}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$D' = \frac{100(D - D_{\min})}{D_{\max} - D_{\min}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{Graduality} = 1 - \sum \frac{|\Delta Q'_n - \Delta D'_n|}{200} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q'_n &= Q'_n - Q'_{n-1} \\ &= \left[\frac{100(Q_n - Q_{\min})}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right] - \left[\frac{100(Q_{n-1} - Q_{\min})}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right] \end{aligned} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\begin{aligned} \Delta D'_n &= D'_n - D'_{n-1} \\ &= \left[\frac{100(D_n - D_{\min})}{D_{\max} - D_{\min}} \right] - \left[\frac{100(D_{n-1} - D_{\min})}{D_{\max} - D_{\min}} \right] \end{aligned} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این روابط، D_{\max} ، D_{\min} میزان خسارات مالی ماکزیمم و Q_{\max} ، Q_{\min} میزان دبی ماکزیمم و مینیمم است. نرخ تدریجی بودن راهبردها در جدول ۲ نشان داده شده است. هرچه نرخ تدریجی بودن به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، شرایط ایده‌آل‌تر است. مشاهده می‌شود که، از دیدگاه تدریجی بودن، احداث گوره بدترین راهبرد و ترکیب سه‌گانه پوشش دیم و هشدار و بیمه سیل بهترین راهبرد به‌شمار می‌روند.

1. Gini Coefficient

دسته خسارات مالی و تلفات جانی بررسی می‌شود. برای این کار، افزون‌بر نتایج حاصل از مدل‌سازی، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به بلوک‌های ساختمانی و راه‌های دسترسی و زمین‌های زراعی (در صورت مجاورت با رودخانه) مورد نیازند.

- خسارات مالی: برای برآورد این خسارات، هزینه‌ی احداث طرح پیشنهادی در هر راهبرد، خسارات سازه‌ای، خسارات وارد بر اموال و خسارات وارد بر محتویات، هزینه‌ی پاک‌سازی و خسارت جاده‌ای محاسبه شده‌اند. خسارات مالی مورد انتظار برای هر راهبرد، مطابق جدول ۲، محاسبه شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هزینه‌ی احداث و نگهداری گوره معتنا به است زیرا گوره‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که بهترین عملکرد را داشته باشند و در طول این سیلاب‌ها، تخریب نشوند. از این‌رو، ارتفاع و طول آنها و در نتیجه، هزینه‌ی احداثشان چشمگیر است. حال آنکه ایجاد پوشش گیاهی دیم، با توجه به درآمد حاصل از برداشت آن، مقرون‌به‌صرفه برآورد می‌شود. - تلفات جانی: به‌صورت تابعی از تعداد ساکنان، عمق جریان و سرعت جریان، مطابق رابطه‌ی زیر، محاسبه شده است (بزرگی، ۱۳۸۶).

$$FR = 2 \times N \times D \times ((V + 2.5) + 2) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه‌ی یادشده، N تعداد جمعیت ساکن، D عمق سیلابی که وارد دشت شده و V سرعت جریان است. تلفات جانی برآوردشده برحسب رابطه (۱)، برای راهبردهای گوناگون، در جدول ۲ آمده است.

با توجه به اینکه گوره به‌صورتی ساخته شده است که در برابر سیلاب‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله مقاومت کند، این راهبرد خسارات جانی در پی ندارد. سیستم هشدار سیل مانع از تلفات جانی بسیار زیاد می‌شود. ایجاد پوشش گیاهی دیم نیز، با کاهش سرعت جریان، تعداد تلفات را کاهش داده است.

(ب) تدریجی بودن: تدریج افزایش عکس‌العمل، با افزایش دبی، حاکی از افزایش میزان خسارت با افزایش

میزان تبخیر برحسب میزان تابش دریافتی ناحیه مطالعاتی، در فصل سیل خیز (فصل بهار)، محاسبه شده که برابر مقدار میانگین ۱۴ میلی‌متر در روز است. میزان تعرق پوشش گیاهی مرجع طبق رابطه لاری-جانسون محاسبه شده است. برای پوشش دیم متراکم، از جنس گندم ضریب گیاهی ۱/۱۵ اعمال شده است. برای پوشش گیاهی تنک (شرایط طبیعی) نیز ضریب ۰/۱ در نظر گرفته شده است. تعداد ساعات مورد نیاز برای بازیابی شرایط پایدار، برحسب حداقل و حداکثر زمان بازیابی مشاهده‌شده بین تمامی راهبردها، نرمال‌سازی شده و سپس ضریب بازیابی، برای هر راهبرد، برحسب رابطه زیر محاسبه شده است (بزرگی، ۱۳۸۶):

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n NRD_i}{n} \quad \text{رابطه (۸)}$$

NRD_i مدت زمان بازیابی نرمال‌شده و R نرخ بازیابی است. نتایج حاصل از نرخ بازیابی مطابق جدول ۲ به‌دست آمده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، استفاده از پوشش گیاهی دیم، با افزایش نفوذپذیری و تبخیر و تعرق، بیشترین نرخ بازیابی فیزیکی را دارد.

۴-۴- گام چهارم: تشکیل ماتریس

تصمیم‌گیری: پس از اجرای تک‌تک راهبردهای پیشنهادی و محاسبه مقادیر معیارهای ارزیابی برای آنها، ماتریس تصمیم‌گیری به‌صورت زیر شکل گرفته است.

ج) نرخ بازیابی: نشان‌دهنده سرعت بازگشت به شرایط پایدار از زمان شروع صدمات است. در این تحقیق، سعی شده است نرخ بازیابی به‌صورت پارامتر کمی ارائه شود. می‌دانیم که، طی وقوع سیل، حجم بالایی از آب رودخانه وارد سیلاب‌دشت می‌شود. عوامل فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در بازیابی شرایط حاکم مؤثرند. با توجه به اینکه راهبردها در یک حوضه بررسی شده‌اند، عوامل اقتصادی و اجتماعی برای آنها مشابه و ثابت است. فقط در صورت استفاده از سیستم بیمه سیل، نرخ بازیابی اقتصادی بیشتر خواهد بود. عوامل فیزیکی مؤثر در نرخ بازیابی شامل شیب زمین، شدت تبخیر و تعرق، و شدت نفوذ آب در خاک است. با توجه به ثابت‌بودن حوضه مورد مطالعه برای تمامی استراتژی‌ها، از پارامتر شیب صرف‌نظر شده است. اما در استراتژی‌های متفاوت، مقادیر وسعت پهنه سیلابی، عمق آب، نفوذپذیری زمین و تعرق پوشش گیاهی تغییر کرده است. لذا این پارامترها، برای بررسی نرخ بازیابی فیزیکی، در نظر گرفته شده‌اند. میزان نفوذ برمبنای رابطه گرین امپت محاسبه شده است. مقادیر ضرایب اعمال‌شده مطابق جدول ۱، به نوع خاک و میزان پوشش گیاهی موجود بازمی‌گردد.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه بالا، t زمان برحسب ساعت است.

جدول ۱. ضرایب مربوط به رابطه گرین امپت برای محاسبه نفوذ

K	f_c	f_0	نوع خاک
۱/۶	۶ تا ۲۲	۲۸۰	خاک معمولی کشاورزی بدون پوشش گیاهی
۰/۸	۲۰ تا ۲۹۰	۹۰۰	خاک معمولی کشاورزی با پوشش گیاهی
۱/۸	۲ تا ۲۰	۳۲۵	آلی جنگلی
۲	۲ تا ۲۵	۲۱۰	شنی
۱/۴	۱۰ تا ۳۰	۶۷۰	رسی

جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری

عنوان راهبرد پیشنهادی	دامنه (خسارات مالی) (میلیون تومان)	دامنه (خسارات جانی) (تعداد نفرات)	نرخ بازیابی	تدریجی بودن
راهبرد ۱: شرایط طبیعی	۱۸۳۲	۱۵	۰/۵۷	۰/۶۵
راهبرد ۲: احداث گوره	۹۱۶۳	۰	۰/۰۹	۰/۴۶
راهبرد ۳: بیمه سیل	۱۸۳۲	۱۵	۰/۶۲	۰/۶۵
راهبرد ۴: پوشش گیاهی دیم	۱۰۴۸	۱۴	۰/۹۹	۰/۶۴
راهبرد ۵: هشدار سیل	۲۱۴۳	۲	۰/۶۳	۰/۶۶
راهبرد ۶: هشدار سیل و بیمه سیل	۱۸۵۹	۲	۰/۶۹	۰/۶۸
راهبرد ۷: پوشش گیاهی دیم و بیمه سیل	۱۰۴۸	۱۵	۰/۹۹	۰/۶۴
راهبرد ۸: پوشش گیاهی دیم، بیمه سیل و هشدار سیل	۱۰۷۳	۲	۰/۹۹	۰/۷۷

بالا تری داشته باشد. برای به‌کاربردن این روش، وزن معیارها طبق روش آنترویی محاسبه شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، شاخص‌ها ارزش تقریباً یکسانی دارند. نتایج حاصل از اولویت‌بندی گزینه‌ها مطابق جدول ۴ است.

۴-۵- گام پنجم؛ اولویت‌بندی گزینه‌ها: پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری به‌منظور الویت‌بندی گزینه‌ها، روش TOPSIS به‌کار رفته است. مطابق این روش، گزینه‌ای مناسب‌تر است که نرخ رتبه‌بندی

جدول ۳. نتایج وزن‌دهی به‌روش آنترویی

وزن معیارها	دامنه (خسارات مالی)	دامنه (خسارات جانی)	نرخ بازیابی	تدریجی بودن
۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۶

جدول ۴. نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی به‌روش TOPSIS

گزینه‌ها	امتیاز محاسبه‌شده	روش TOPSIS
راهبرد ۱: شرایط طبیعی	۰/۵۷	۷
راهبرد ۲: احداث گوره	۰/۴	۸
راهبرد ۳: بیمه سیل	۰/۵۷	۵
راهبرد ۴: پوشش گیاهی دیم	۰/۵۵	۶
راهبرد ۵: هشدار سیل	۰/۸۵	۳
راهبرد ۶: هشدار سیل و بیمه سیل	۰/۸۸	۲
راهبرد ۷: پوشش گیاهی دیم و بیمه سیل	۰/۶۱	۴
راهبرد ۸: پوشش گیاهی دیم، بیمه سیل و هشدار سیل	۰/۹۲	۱

شکست تعریف نشده است. رویکرد انعطاف‌پذیر مدیریت ریسک رویکردی است که امروزه برای لحاظ کردن آثار سیلاب به کار می‌رود. در این رویکرد، معمولاً از شاخص خسارت مورد انتظار سالیانه برای نشان دادن تأثیر اقتصادی سیلاب و از تعداد تلفات سالیانه برای بازگ کردن آثار اجتماعی سیلاب استفاده می‌شود. دو نکته مهم در این زمینه این است که خسارت مورد انتظار سالیانه، به تنهایی، قادر نیست رفتار سیستم‌ها را نشان دهد. برای نمونه، اگر روشی خسارت مورد انتظار سالیانه پایینی داشته باشد، لزوماً ظرفیت بازبایی مناسبی ندارد؛ بنابراین، این شاخص نیز به تنهایی کارایی ندارد.

در تحقیق حاضر، با توجه به کارایی نداشتن رویکردهای مرسوم، رویکردی بر مبنای تلفیق مفاهیم انعطاف‌پذیری و پایداری مطرح شد. نتایج تحقیق صورت گرفته نشان داد که، برای بررسی کارآمد سیلاب و مدیریت این بحران، باید از دیدگاه سیستمی بهره برده شود. منظور از سیستم، به تنهایی، خود سیستم رودخانه نیست بلکه افزون بر آن، ناحیه متأثر از سیلاب اطراف آن رودخانه و مؤلفه‌های درون آن ناحیه، مانند افراد و اموال داخل آن محدوده، جزء سیستم محسوب می‌شوند. برای محاسبه رفتار آن سیستم در برابر سیلاب، باید آثار سیلاب در آن مؤلفه‌ها تحلیل شود.

در تحقیق حاضر، با استفاده از معیارهای انعطاف‌پذیری، مفهوم انعطاف‌پذیری و پایداری در حوزه مدیریت ریسک سیلاب کمی شده است. در بعد اقتصادی، رفتار سیستم‌ها در برابر سیلاب به صورت خسارت‌های اقتصادی در نظر گرفته شد. این خسارت‌ها هزینه‌های حوادث طرح پیشنهادی در هر راهبرد، خسارت‌های، خسارات وارد بر اموال و خسارات وارد بر محتویات، هزینه‌های پاک‌سازی و خسارت جاده‌ای را دربر می‌گیرند و معمولاً، با افزایش میزان دبی سیلاب‌ها، افزایش می‌یابند. چیزی که اینجا اهمیت پیدا می‌کند نرخ یا روند افزایش خسارت، با افزایش دبی، است. هرچه افزایش خسارت‌ها ناگهانی‌تر باشد، آن روش

مشاهده می‌شود که استراتژی‌های اولویت‌دار، برای مدیریت سیلاب در این مطالعه موردی، استراتژی‌های انعطاف‌پذیری‌اند. راهبرد هشتم، شامل هشدار سیل و بیمه سیل و ایجاد پوشش گیاهی دیم، مناسب‌ترین روش برای مدیریت پایدار سیلاب انتخاب شده؛ در حالی که روش احداث گوره (روش مقاومتی) در مرتبه آخر قرار می‌گیرد.

پوشش گیاهی دیم که، در این تحقیق، از نوع گندم انتخاب شده است، با افزایش ضریب مانینگ و در نتیجه، کاهش سرعت جریان در رودخانه، صدمات ناشی از سیل را کاهش داده است. سیستم هشدار سیل هنگام وقوع سیلاب، که جزء روش‌های انعطاف‌پذیر غیرسازه‌ای محسوب می‌شود، با تخلیه ساکنان از مناطق پرخطر، میزان خسارات و تلفات را کاهش می‌دهد. همچنین بیمه سیلاب، با کاهش خسارات مالی و پخش این خسارات در زمان و در بین جمعیت خطرپذیر، توسعه اقتصادی-اجتماعی را تا حد بسیاری از خطر سیلاب مصون می‌دارد. احداث گوره برای سیلاب‌های کوچک‌تر از سیلاب طراحی شده مانع از ورود سیلاب به مناطق حفاظت شده می‌شود؛ با وجود این، هزینه احداث آن چشمگیر است و مقرون به صرفه نیست. در صورتی که سیلابی با اندازه بزرگ‌تر رخ دهد، با تخریب گوره و پیشروی سیلاب، خسارات مالی و تلفات جانی زیادی به بار خواهد آمد. در فرایند اولویت‌بندی نیز مشاهده شده است که احداث گوره، در جایگاه استراتژی مقاومتی سازه‌ای، بدترین گزینه است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس تحقیق انجام شده، رویکرد مقاومتی در مدیریت سیلاب به تنهایی برای انتخاب و یا طراحی روشی برای مقابله با خسارات سیلاب کافی نیست. از آنجاکه به طور مرسوم سیستم‌های مقابله با سیلاب برای دبی سیلاب مشخصی طراحی می‌شوند، این سیستم‌ها در برابر سیلاب‌های بزرگ‌تر، به شکست می‌رسند. اما در این رویکرد، برنامه‌ای برای در نظر گرفتن آثار ناشی از این

می شود، راهبرد منتخب از نوع روش هایی است که، با ایجاد نگرش زندگی با سیلاب که از ویژگی های رویکرد انعطاف پذیر است، منجر به کاهش پیامدهای پس از وقوع سیلاب خواهد شد. همچنین، راهبرد مقاومتی احداث خاکریز، که هدف آن جلوگیری از وقوع سیلاب است و نه کاهش پیامدهای پس از وقوع سیلاب، اولویت مناسبی کسب نکرده است. انتخاب راهبرد هشتم در مقام مناسب ترین گزینه، از نظر انعطاف پذیری، بار دیگر بر تأثیر رویکردهای غیرسازهای سیستم های هشدار سیل و نظام بیمه سیل تأکید دارد. استراتژی شماره ۱ (شرایط طبیعی) به این علت پایین ترین درجه اولویت را در تحلیل های انجام شده در مطالعه موردی کسب کرده که تلفات مورد انتظار سالیانه آن زیاد است و علت این امر نیز قرار گرفتن مناطق مسکونی شهری و روستایی در سیلاب دشت است. در صورت نبود مناطق مسکونی متراکم و امکان تغییر و برنامه ریزی کاربری اراضی، ممکن است استراتژی ۱ اولویت بالاتری به دست آورد.

به منظور بهبود و ارتقای تحقیق حاضر، پیشنهاد می شود دیدگاه های اجتماعی و اقتصادی نیز، در مدیریت یکپارچه ریسک سیلاب، بررسی شود. همچنین، بهتر است انواع خسارات دیگر در محاسبه دامنه عکس العمل منظور شود. برای مقابله با سیلاب، طرح های گوناگونی به کار رفته است، از این رو، پیشنهاد می شود راهبردهای دیگر، با راهبردهای برتر تحقیق حاضر، قیاس شوند.

۶- منابع

بزرگی، ب.، ۱۳۸۶، **مدیریت پایدار سیلاب با رویکرد انعطاف پذیری**، پایان نامه دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران.
مؤمنی، م.، ۱۳۹۵، **مباحث نوین تحقیق در عملیات**، نشر مؤلف، چاپ هفتم، تهران.

کمتر مطلوب است. در این زمینه، مشاهده شد طرحی که میزان خسارت مورد انتظار سالیانه کمتری دارد لزوماً شاخص تدریج بالاتری نخواهد داشت. در بعد اجتماعی، نقطه هشدار شاخص مناسبی برای آمادگی در برابر سیلاب به شمار می رود. نرخ بازبایی نیز براساس ارتباط بین سیلاب با مشخصات فیزیکی حوضه مورد نظر، از لحاظ پوشش گیاهی و نفوذپذیری و میزان دریافت روزانه انرژی از خورشید، برآورد شده است. با توجه به نتایج معیارها و همچنین تعدد آنها، مشخص شد که انتخاب طرح پایدارتر و انعطاف پذیرتر از بین باقی طرح ها، با داشتن مقادیر معیارها، به راحتی امکان پذیر نیست. بنابراین، استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره ای که، افزون بر تسهیل در فرایند تصمیم گیری، این فرایند را تدقیق کند لازم به نظر می رسد. در این تحقیق، روش TOPSIS برای تصمیم گیری چندمعیاره به کار رفت. با توجه به اینکه رویکرد انعطاف پذیر سبب بازبایی سریع حادثه و کاهش خسارات می شود، همچنان که عواقب ناشی از سیلاب را به کمترین میزان می رساند، راهی مناسب برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار شمرده می شود.

در این تحقیق، هشت راهبرد متفاوت شامل راهبردهای ساده ای و غیرساده ای در مطالعه موردی (بازه ای از رودخانه قزل اوزن در حوضه ماه نشان) بررسی شده که این راهبردها، با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره و از نظر انعطاف پذیری، مقایسه و اولویت بندی شده اند. این هشت راهبرد عبارت اند از شرایط طبیعی، احداث خاکریز، بیمه سیل، ایجاد پوشش گیاهی دیم پیرامون رودخانه، سیستم هشدار سیل، سیستم هشدار و بیمه سیل به صورت هم زمان، پوشش گیاهی دیم و بیمه سیل، سیستم هشدار و بیمه سیل و پوشش گیاهی دیم. با اولویت بندی گزینه های یاد شده با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره، راهبرد هشتم مناسب ترین گزینه از نظر انعطاف پذیری انتخاب شده است. بنابراین، همان طور که مشاهده

- Associated Programme on Flood Management (APFM), Integrated Flood Management, Concept Paper**, 2004, Technical Document No. 1, WMO & GWP.
- De Bruijn, K.M., 2004, **Resilience and Flood Risk Management**, Water Policy, 6(1), PP. 53–66.
- De Bruijn, K.M., 2005, **Resilience and Flood Risk Management: A Systems Approach Applied to Lowland Rivers**, Published and distributed by DUP Science.
- Gersonius, B., van Buuren, A., Zethof, M. & Kelder, E., 2016, **Resilient Flood Risk Strategies: Institutional Preconditions for Implementation**, Ecology and Society, 21(4), P. 28. <https://doi.org/10.5751/ES-08752-210428>
- Holling, C.S., 1973, **Resilience and Stability of Ecological Systems**, Annual Review of Ecology and Systematics, 4(1), PP. 1–23.
- Hwang, C.L. & Yoon, K., 1981, **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application**, Springer, New York.
- Mens, M. & Klijn, F., 2015, **The Added Value of System Robustness Analysis for Flood Risk Management Illustrated by a Case on the IJssel River**, Natural Hazards and Earth System Sciences, 15, PP. 213–223.
- O'Neill, P., 2004, **Developing a Risk Communication Model to Encourage Community Safety from Natural Hazards**, State Emergency Services, State Emergency Services, Sydney, N.S.W.
- Paramasivam, V., Senthil, V. & Ramasamy, N.R., 2011, **Decision Making in Equipment Selection: An Integrated Approach with Digraph and Matrix Approach, AHP and ANP**, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 54(9–12), PP. 1233–1244.
- Saaty, T.L., 1980, **The Analytical Hierarchy Process**, Published by McGraw-Hill, New York.
- Tagg, A., Laverty, K., Escarameia, M., Garvin, S., Cripps, A., Craig, R. & Clutterbuck, A., 2016, **A New Standard for Flood Resistance and Resilience of Buildings: New Build and Retrofit**, In: Floodrisk 2016, 18–20 October, Lyon, France.
- Wang, P., Zhu, Z. & Wang, Y., 2016, **A Novel Hybrid MCDM Model Combining the SAW, TOPSIS and GRA Methods Based on Experimental Design**, Information Sciences, 345(C), PP. 27–45.