Archive of SID

سنجش از دور و 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

مقایسهٔ رویکردهای انعطاف‌پذیر و مقاومتی به‌منظور مدیریت ریسک سیلاب (مطالعهٔ موردی رود قزل‌اوزن در حوضهٔ شهرستان ماه‌نشان)

مینا زکی‌پور [۱]، محمد طالعی [۲*]، قاسم جوادی [۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

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

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۵/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

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 زمرهٔ روش‌های مبتنی‌بر 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، درصورت رخداد سیلی با دبی بیشتر از دبی طراحی خاکریز، نه تنها سیل باعث نابودی سازهٔ خاکریز می‌شود بلکه آبگرفتگی، خسارات مالی و تلفات جانی پیش‌بینی‌نشده‌ای به‌بار 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 مسئلهٔ مدیریت ریسک سیلاب و مقایسهٔ نتایج آن با رویکرد مقاومتی است. برای تحقق این هدف، از تلفیق سیستم اطلاعات مکانی و دانش مهندسی و مدیریت سیل استفاده شده است. مطالعهٔ موردی روی محدوده‌ای از رودخانهٔ قزل‌اوزن، واقع در حوضهٔ 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 بیمهٔ سیل) مطرح شده‌اند. برای برآورد عملکرد مناسب هر راهبرد، مقادیر شاخص‌های انعطاف‌پذیری شامل دامنهٔ 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 ازجمله شیب مسیر رودخانه، شکل مقاطع، محل و ارتفاع خاکریزها با استفاده از نقشهٔ رقوم ارتفاعی، ازطریق الحاقی HEC GeoRAS در محیط ArcGIS، به‌دست آمده است. شرایط اولیه و شرایط مرزی جزء اطلاعات ورودی مدل هیدرولیکی است که از آبخیزداری حوضهٔ مورد مطالعه دریافت شده است. برای مدل‌سازی هیدرولیکی، نرم‌افزار HEC RAS به‌کار رفته است. پس از مدل‌سازی هیدرولیکی برای محاسبهٔ 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 محاسبهٔ شاخص‌های انعطاف‌پذیری به‌منزلهٔ معیار مقایسهٔ 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 بیمهٔ سیل، راهکاری انعطاف‌پذیر است که، به‌منزلهٔ 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، دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری. تلفن: ۸۸۷۷۰۲۱۸
Email: taleai@kntu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

پدیدهٔ سیلاب زمانی رخ می‌دهد که جریان سطحی آب در رودخانه، با تداوم زمانی محدود، بیش از جریان پایه باشد؛ به‌طوری‌که حجم زیادی از آب کم‌عمق دشتِ مجاور رودخانه را فراگیرد. در دهه‌های اخیر، به‌علت 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 چهارصدهزار نفر بر اثر بلایای طبیعی در جهان کشته شدند که ۵۸٪ آن مربوط به سیلاب بوده است. در این مدت، خسارات کل حدود هفتصدمیلیارد 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 مسئلهٔ وقوع سیلاب و خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن در کشور اهمیت خاصی دارد (پیشین). با وجود این، افزون‌بر پیش‌بینی‌ناپذیربودن 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 دورهٔ بازگشت دبی سیلاب‌های محتمل، تغییر الگوی کاربری اراضی و تغییر هنجارها و ارزش‌ها، مسئلهٔ پیش‌بینی سیلاب‌ها در بلندمدت و تصمیم‌گیری برای آن را دشوارتر می‌کند. ازاین‌رو، توجه به ریسک وقوع سیلاب و مدیریت این ریسک بسیار اهمیت دارد.

ریسک، در اصطلاح، به صدمه یا زیان بالقوهٔ ناشی از فرایند یا واقعه‌ای اطلاق می‌شود. ریسک سیلاب به‌صورت حاصل‌ضرب احتمال وقوع سیل در خسارات واردآمده تعریف می‌شود. مجموعهٔ اقدامات هماهنگ‌شده برای کنترل و هدایت سازمان‌ها برای مقابله با ریسک را مدیریت ریسک می‌نامیم. هدف از مدیریت ریسکْ شناسایی و کنترل رویدادهای ریسک و تهیهٔ برنامه‌ای برای مقابله با این رویدادهاست. فرایند مدیریت ریسک شامل سیاست‌های مدیریتی، روش‌ها و اقداماتی گوناگون، به‌منظور سنجش و ارزیابی ریسک، و توسعهٔ 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 برمبنای رویکرد مقاومتی است، در درجهٔ اول، به‌دنبال 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، به‌دلیل اعمال‌نکردن 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 (ازجمله احداث خاکریزهای حفاظتی) فقط در مقابل برخی از سیلاب‌ها مقاوم‌اند. درصورتی‌که سیلابی با اندازهٔ 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). ازاین‌رو، 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 برمبنای دیدگاه انعطاف‌پذیر[1] شکل گرفت که تفاوت‌های چشمگیری با روش‌های سنتی و مقاومتی دارد. هدف رویکردِ انعطاف‌پذیرْ حداکثرکردن منابع سیلاب‌دشت‌ها و در عین حال، کاهش تلفات، آسیب‌پذیری و ریسک ناشی از سیلاب، حفظ اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی آنها در چارچوب مدیریت یکپارچهٔ منابع آب است (APFM, 2004).

1. resilience

www.SID.ir

Archive of SID

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. ازطریق برنامه‌ریزی مکانی، طرح‌های سازه‌ای و طرح‌های غیرسازه‌ای، می‌توان از تبعات سیل پیشگیری کرد. ازجمله 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 به‌تدریج 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 پایدارِ 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[1] (۱۹۷۳) پایداری سیستم را براساس قابلیت انعطاف‌پذیری آن بیان می‌کند؛ درحالی‌که طبق اظهار اونیل[2] (۲۰۰۴)، پایداری سیستم به مقاومت، بازیابی و ترمیم اختلالات نیاز دارد. از دیدگاه کاربردی، پذیرش چارچوب برای ارزیابی مناسبِ 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 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 به‌صورت بزرگای اختلال اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین، پایداری سیستم به‌صورت 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. ازاین‌رو، در این مقاله، رویکردی مقاومتی به‌همراه چند رویکرد انعطاف‌پذیر، که در جوامع متفاوتی به‌کار رفته‌اند، در چارچوب معیارهای انعطاف‌پذیری با یکدیگر مقایسه شده‌اند. معیارهای انعطاف‌پذیری به سه دستهٔ 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[3] (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.

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

www.SID.ir

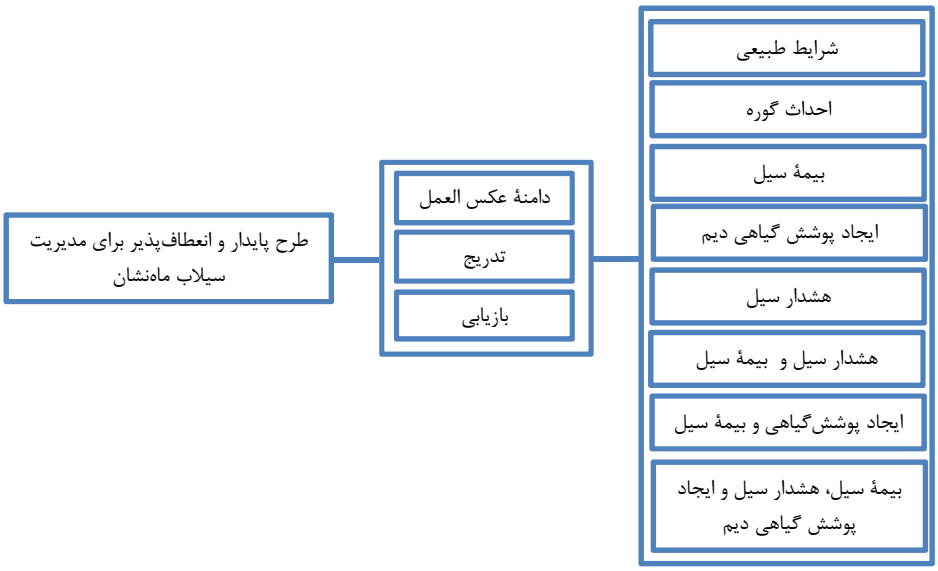
Archive of SID

برای مقایسهٔ دو رویکرد انعطاف‌پذیری و مقاومتی و انتخاب رویکرد مناسب، هشت راهبرد متفاوت، برای مقابله با مسئلهٔ سیلاب در بخشی از رودخانهٔ قزل‌اوزن، در مجاورت شهر ماه‌نشان (واقع در استان زنجان)، بررسی شده‌اند. با توجه به اینکه سه معیار برای مقایسهٔ 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، برمبنای 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 چندمعیارهٔ TOPSIS انجام شده و برای وزن‌دهی به معیارهای گوناگون، از روش آنتروپی بهره گرفته شده است.

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 مطالعهٔ 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.

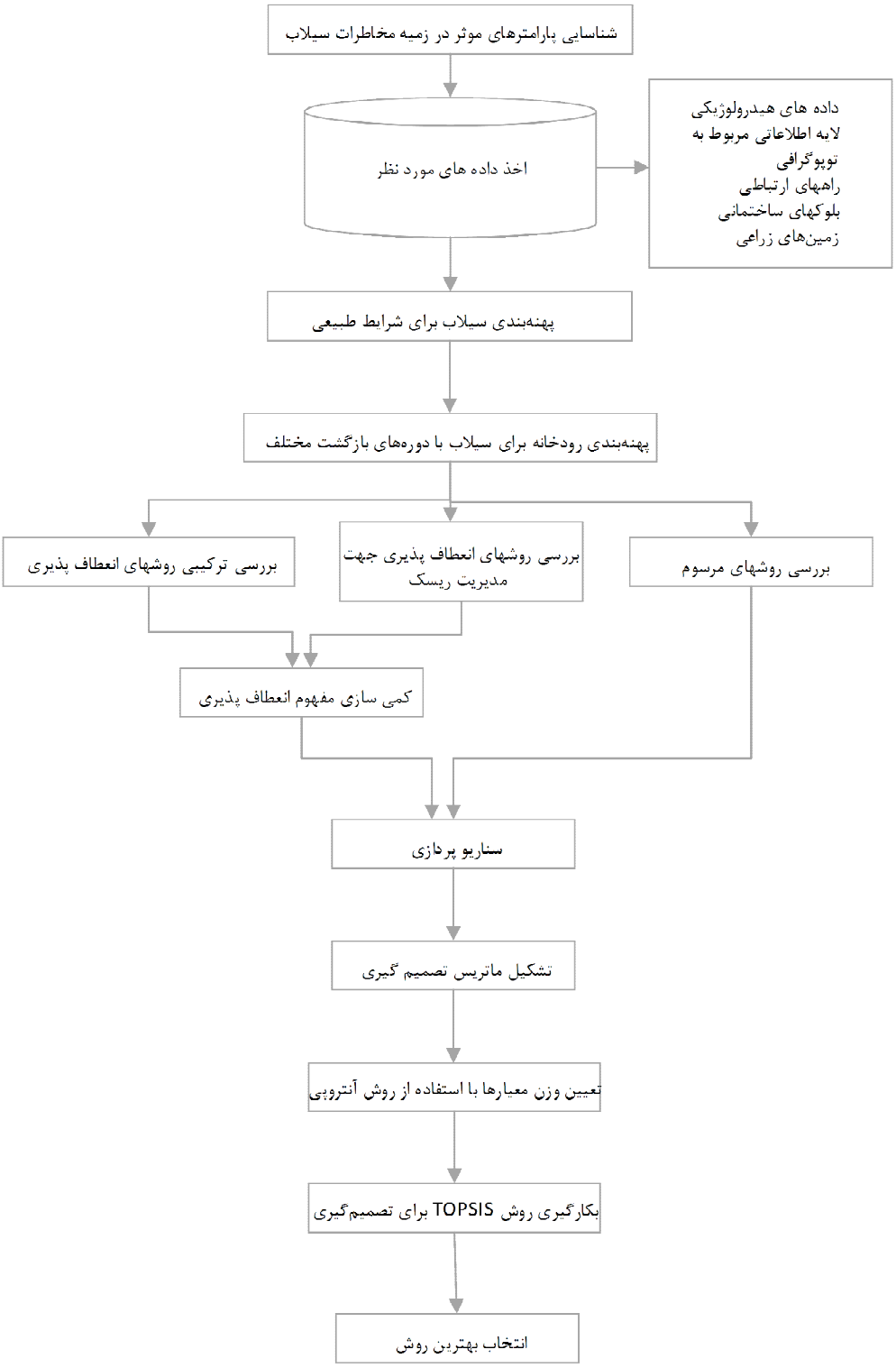
درنهایت، با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهترین رویکرد برای مقابله با سیلاب انتخاب می‌شود. مراحل طی‌شده برای مدیریت ریسک سیلاب، به‌تفصیل، در شکل ۲ آورده شده است.



شکل۱. راهبردهای ارزیابی و شاخص‌های اولویت‌بندی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲. مراحل تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۱- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور اولویت‌بندی استراتژی‌های مدیریت سیلاب

در مبحث تصمیم‌گیری، روش‌های متفاوتی وجود دارد که هریک ایرادها و مزایای خود را دارد. در این تحقیق، برای انتخاب بهترین گزینهٔ تصمیم، از روش TOPSIS استفاده شده است. به‌منظور استفاده از این روش تصمیم‌گیری، باید شاخص‌های انعطاف‌پذیری را وزن‌دهی کرد و به همین قصد، از روش آنتروپی استفاده شده است.

روش آنتروپی[1]: «مفهومی مهم در علوم اجتماعی، فیزیکی و تئوری اطلاعات است. زمانی‌که داده‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری به‌طور کامل تعیین شده باشد، می‌توان از روش آنتروپی برای محاسبهٔ 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[2]: مدل TOPSIS 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 گزینهٔ انتخابی را به‌گونه‌ای تعیین کرد که کمترین فاصله را از ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از ایده‌آل منفی داشته باشد. روش TOPSIS، طبق شش گام محاسباتی مطابق شکل ۳، اولویت‌بندی می‌کند.

۳- منطقهٔ مورد مطالعه

زمین‌های اطراف رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها، به‌دلیل حاصلخیزی، باعث رونق کشاورزی شده‌اند. حال آنکه سیلاب، سالیانه، خسارات مالی و تلفات جانی چشمگیری را به این مناطق وارد می‌کند. در این تحقیق، مسئلهٔ سیلاب‌های رودخانهٔ قزل‌اوزن در محدودهٔ شهر ماه‌نشان بررسی شده است (شکل ۴). این شهر، در فاصلهٔ ۱۱۳ کیلومتری شهر زنجان و در دشت ماه‌نشان- انگوران- دندی، با موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقهٔ شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقهٔ شمالی و در ارتفاع میانگین ۱۳۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. منطقهٔ 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.

شکل ۳. نمایش گام‌به‌گام روش TOPSIS

منبع: Hwang & Yoon, 1981

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

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴. موقعیت منطقهٔ مطالعهٔ موردی: شهر ماه‌نشان

۴- نتایج و بحث

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

- راهبرد نخست شامل مدل‌سازی سیلاب‌ها، با دورهٔ بازگشت مشخص برای شرایط طبیعی است. در این شرایط، مقدار ضریب زبری بستر، با استفاده از کالیبراسیون رودخانهٔ 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 بیمه‌کردن 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 متراکمْ ضریبِ زبری سیلاب‌دشت را به ۰/۰۲۵ افزایش داده است.

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. هزینهٔ احداث این سیستم در خسارات مالی منظور شده است.
- راهبرد ششم شامل استفادهٔ هم‌زمان از سیستم هشدار سیل و بیمهٔ سیل است.
- راهبرد هفتم کاربرد هم‌زمان پوشش گیاهی و بیمهٔ سیل را شامل می‌شود.
- راهبرد هشتم آمیزه‌ای از سه راهبرد سوم تا پنجم است.

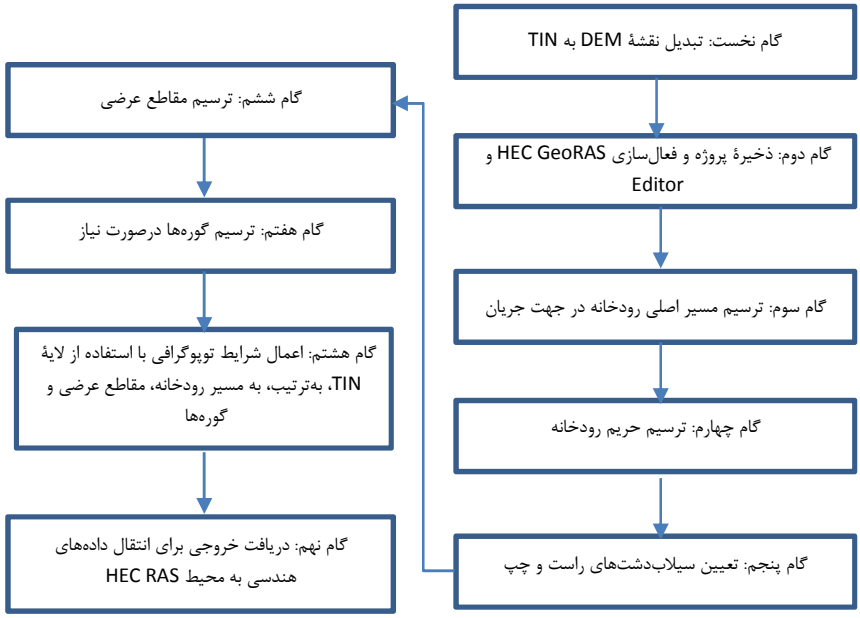
مراحل اجرای راهبردها بدین‌شرح است:

۴-۱- گام نخست؛ استخراج داده‌های مربوط به مقاطع عرضی و پروفیل طولی رودخانه: الحاقی HEC GeoRAS شامل مجموعه‌ای از روش‌ها و ابزارهایی برای پردازش داده‌های مکانی در ArcGIS، با استفاده از یک رابط گرافیکی است که، به‌کمک آن، می‌توان داده‌های هندسی مورد نظر برای مدل‌سازی با نرم‌افزار HEC RAS را تهیه کرد. به این منظور، در گام اول نقشهٔ DTM سیستم رودخانه، در فرم TIN، به‌منزلهٔ 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 گوره‌ها و درصورت نیاز، موارد دیگر (مانند پل‌ها) را دربر می‌گیرد. مراحل استفاده از HEC GeoRAS، به‌اختصار، در شکل ۵ نشان داده شده است.

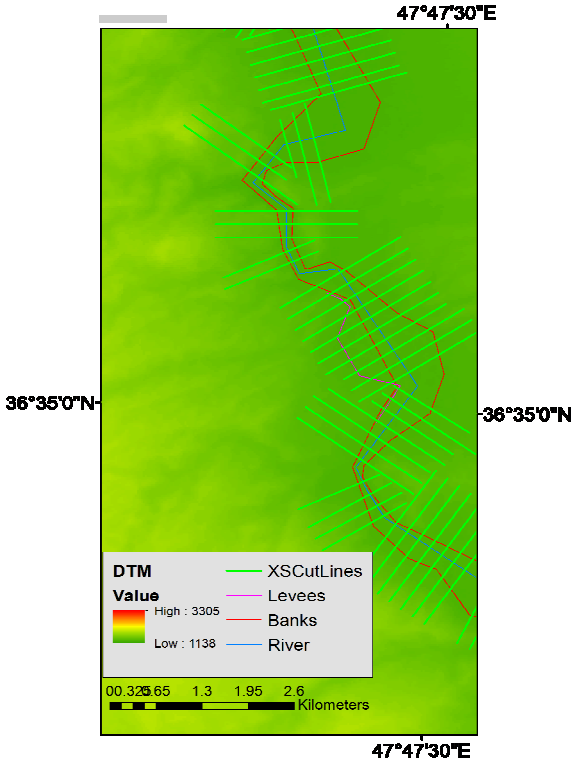
مسیر رودخانه، مقاطع عرضی و محل احداث گوره‌ها در بخشی از رودخانه مطابق شکل ۶ تعیین شده است. در گام بعد، با استفاده از اطلاعات مربوط به مقطع عرضی، شیب طولی و محل احداث گوره‌ها، مدل‌سازی هیدرولیکی جریان انجام می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵. نمایش گام‌به‌گام تولید داده‌های هندسی



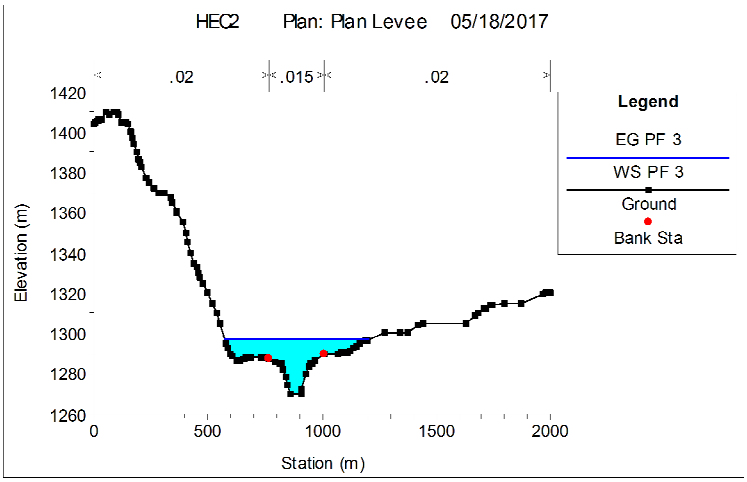
شکل۶. شمای گرافیکی از نتایج الحاقی HEC GeoRAS

www.SID.ir

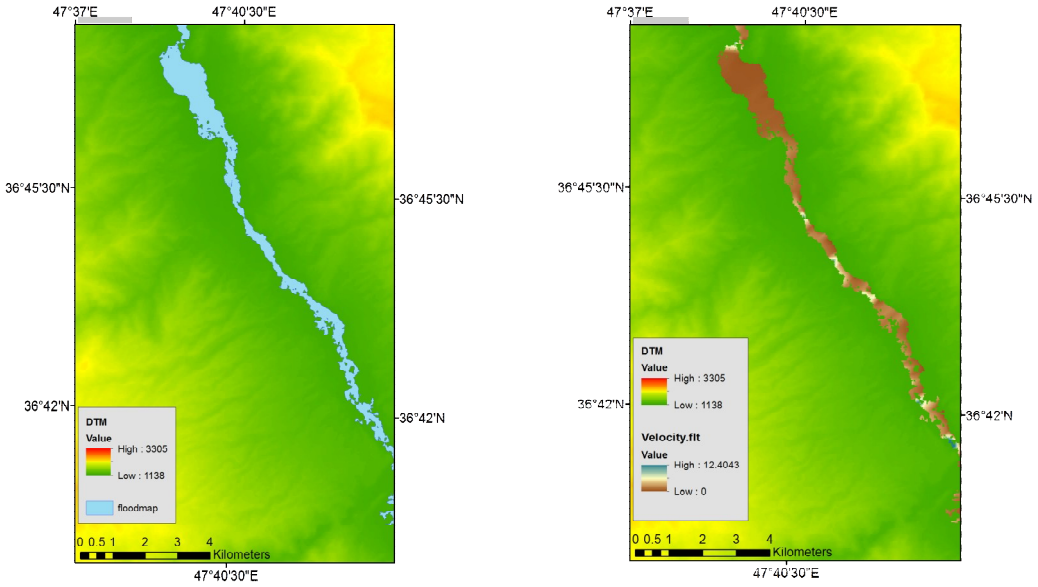
Archive of SID

۴-۲- گام دوم؛ مدل‌سازی هیدرولیک جریان در محیط HEC RAS: نرم‌افزار HEC RAS قابلیت انجام‌دادن محاسبات هیدرولیکی یک‌بعدی را، در شبکه‌ای کامل از کانال‌های طبیعی و ساخته‌شده، دارد؛ ازاین‌رو، شرایط هیدرولیکی جریان رودخانه در محیط HEC RAS و برای سه دبی سیلاب، با دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله، مدل‌سازی شده است (شکل ۷).

برای محاسبهٔ پارامترهای انعطاف‌پذیری، به تحلیل‌های GIS نیاز است. بدین‌منظور، با استفاده از رابط گرافیکی محیط HEC RAS (Ras Mapper)، نتایج حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی، به‌صورت لایه‌های اطلاعاتی، به محیط Arc GIS انتقال یافته است (شکل‌های ۸ تا ۱۱).



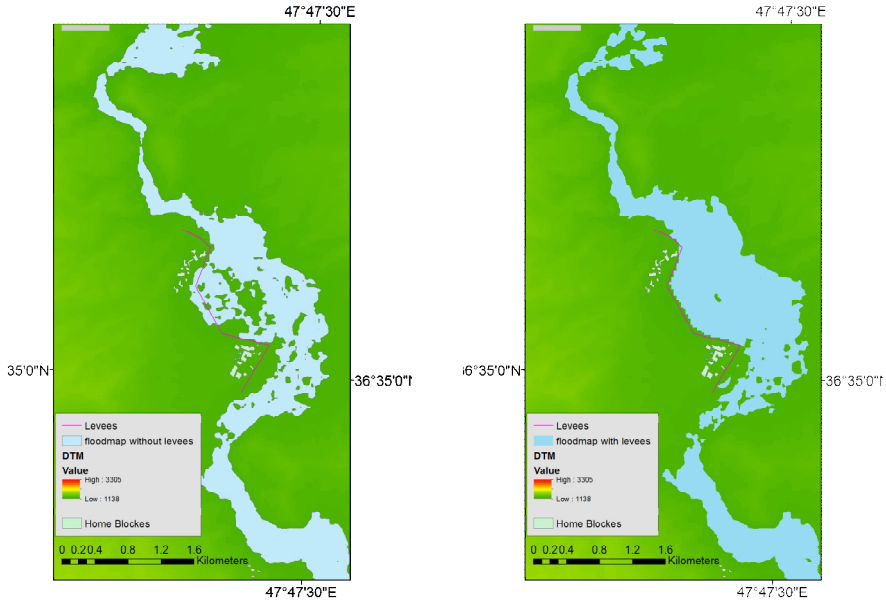
شکل ۷. نمایش نتیجهٔ مدل‌سازی هیدرولیکی در محیط HEC RAS، برای مقطعی واقع در ۲۴/۲ کیلومتری بالادست رودخانه برای سیلاب با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله



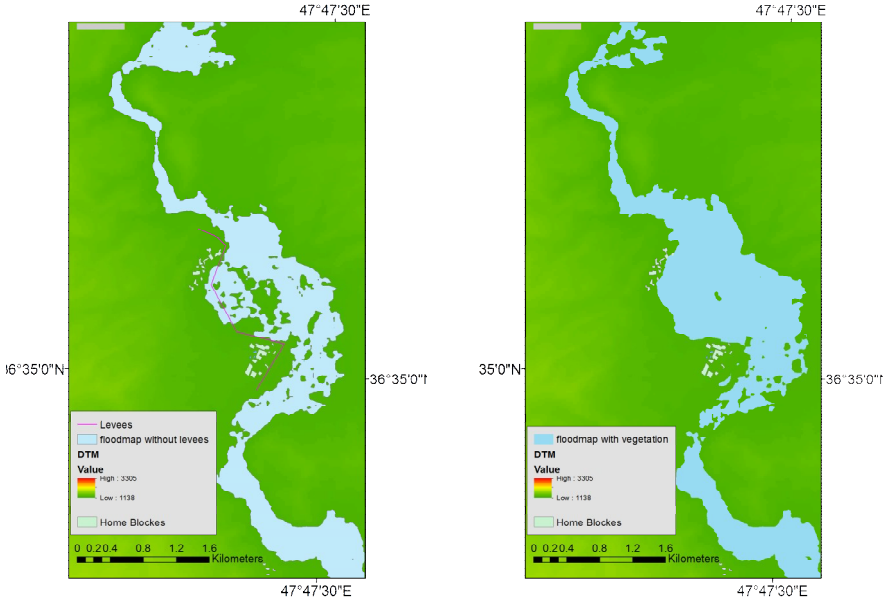
شکل ۸. نمایش نتیجهٔ مدل‌سازی سرعت جریان و پهنهٔ سیلاب برای شرایط طبیعی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۹ . مقایسهٔ نتیجهٔ مدل‌سازی پهنهٔ سیلاب برای احداث گوره (سمت راست) و شرایط طبیعی (سمت چپ)



شکل۱۰. مقایسهٔ نتیجهٔ مدل‌سازی پهنهٔ سیلاب برای ایجاد پوشش گیاهی (سمت راست) و شرایط طبیعی (سمت چپ)

۴-۳- گام سوم؛ محاسبهٔ پارامترهای انعطاف‌پذیری:

براساس آنچه در بخش ۲ بیان شد، معیارهای اولویت‌بندی گزینه‌های معرفی‌شده برای مدیریت ریسک سیلاب برمبنای شاخص‌های انعطاف‌پذیری صورت می‌گیرد که شامل دامنهٔ عکس‌العمل، تدریجی‌بودن و نرخ بازیابی است.

الف) دامنهٔ عکس‌العمل: آن را امواج سیلاب تعریف می‌کنند؛ به‌صورت شدت آثار مورد انتظار ناشی از یک موج سیلابِ 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

www.SID.ir

Archive of SID

دستهٔ 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 (درصورت مجاورت با رودخانه) مورد نیازند.

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

همان‌گونه‌که مشاهده می‌شود، هزینهٔ احداث و نگهداری گوره معتنابه است زیرا گوره‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که بهترین عملکرد را داشته باشند و در طول این سیلاب‌ها، تخریب نشوند. ازاین‌رو، ارتفاع و طول آنها و درنتیجه، هزینهٔ احداثشان چشمگیر است. حال آنکه ایجاد پوشش گیاهی دیم، با توجه به درآمد حاصل از برداشت آن، مقرون‌به‌صرفه برآورد می‌شود.

ـ تلفات جانی: به‌صورت تابعی از تعداد ساکنان، عمق جریان و سرعت جریان، مطابق رابطهٔ زیر، محاسبه شده است (بزرگی، ۱۳۸۶).

$$FR = 2 \times N \times D \times \left((V + 2.5) + 2\right)$$ رابطه (۱)

در رابطهٔ یادشده، N تعداد جمعیت ساکن، D عمق سیلابی که وارد دشت شده وV 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) تدریجی‌بودن: تدریج افزایش عکس‌العمل، با افزایش دبی، حاکی از افزایش میزان خسارت با افزایش 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 محاسبهٔ پارامتر تدریجی‌بودن، دِ بران شاخص جینی[1] را به‌کار برده است (De Bruijn, 2004) که به‌صورت روابط زیر تعریف می‌شود:

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

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

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

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

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

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

1. Gini Coefficient

www.SID.ir

Archive of SID

ج) نرخ بازیابی: نشان‌دهندهٔ 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 درصورت استفاده از سیستم بیمهٔ سیل، نرخ بازیابی اقتصادی بیشتر خواهد بود. عوامل فیزیکی مؤثر در نرخ بازیابی شامل شیب زمین، شدت تبخیر و تعرق، و شدت نفود آب در خاک است. با توجه به ثابت‌بودن حوضهٔ مورد مطالعه برای تمامی استراتژی‌ها، از پارامتر شیب صرف‌نظر شده است. اما در استراتژی‌های متفاوت، مقادیر وسعت پهنهٔ 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 رابطهٔ گرین امپت محاسبه شده است. مقادیر ضرایب اعمال‌شده مطابق، جدول ۱، به نوع خاک و میزان پوشش گیاهی موجود بازمی‌گردد.

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

در رابطهٔ بالا، t زمان برحسب ساعت است.

میزان تبخیر برحسب میزان تابش دریافتی ناحیهٔ مطالعاتی، در فصل سیل‌خیز (فصل بهار)، محاسبه شده که برابر مقدار میانگین ۱۴ میلی‌متر در روز است. میزان تعرق پوشش گیاهی مرجع طبق رابطهٔ 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 رابطهٔ زیر محاسبه شده است (بزرگی، ۱۳۸۶):

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

NRD_i مدت زمان بازیابی نرمال‌شده و R نرخ بازیابی است. نتایج حاصل از نرخ بازیابی مطابق جدول ۲ به‌دست آمده است. همان‌طورکه 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 محاسبهٔ مقادیر معیارهای ارزیابی برای آنها، ماتریس تصمیم‌گیری به‌صورت زیر شکل گرفته است.

جدول ۱. ضرایب مربوط به رابطهٔ گرین امپت برای محاسبهٔ نفوذ

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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲. 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
راهبرد۳ : بیمهٔ 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 بیمهٔ سیل	۱۸۵۹	۲	۰/۶۹	۰/۶۸
راهبرد ۷: پوشش گیاهی دیم و بیمهٔ سیل	۱۰۴۸	۱۵	۰/۹۹	۰/۶۴
راهبرد ۸: پوشش گیاهی دیم، بیمهٔ سیل و هشدار سیل	۱۰۷۳	۲	۰/۹۹	۰/۷۷

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 بالاتری داشته باشد. برای به‌کاربردن این روش، وزن معیارها طبق روش آنتروپی محاسبه شده است. همان‌طورکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، شاخص‌ها ارزش تقریباً یکسانی دارند. نتایج حاصل از اولویت‌بندی گزینه‌ها مطابق جدول ۴ است.

جدول ۳. نتایج وزن‌دهی به‌روش آنتروپی

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

جدول ۴. نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی به‌روش TOPSIS

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

www.SID.ir

Archive of SID

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

پوشش گیاهی دیم که، در این تحقیق، از نوع گندم انتخاب شده است، با افزایش ضریب مانینگ و درنتیجه، 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 تخلیهٔ ساکنان از مناطق پرخطر، میزان خسارات و تلفات را کاهش می‌دهد. همچنین بیمهٔ سیلاب، با کاهش خسارات مالی و پخش این خسارات در زمان و در بین جمعیت خطرپذیر، توسعهٔ اقتصادی- اجتماعی را تا حد بسیاری از خطر سیلاب مصون می‌دارد. احداث گوره برای سیلاب‌های کوچک‌تر از سیلاب طراحی‌شده مانع از ورود سیلاب به مناطق حفاظت‌شده می‌شود؛ با وجود این، هزینهٔ احداث آن چشمگیر است و مقرون‌به‌صرفه نیست. درصورتی‌که سیلابی با اندازهٔ بزرگ‌تر رخ دهد، با تخریب گوره و پیشروی سیلاب، خسارات مالی و تلفات جانی زیادی به‌بار خواهد آمد. در فرایند اولویت‌بندی نیز مشاهده شده است که احداث گوره، در جایگاه استراتژی مقاومتی سازه‌ای، بدترین گزینه است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس تحقیق انجام شده، رویکرد مقاومتی در مدیریت سیلاب به تنهایی برای انتخاب و یا طراحی روشی برای مقابله با خسارات سیلاب کافی نیست. ازآنجاکه به‌طور مرسوم سیستم‌های مقابله با سیلاب برای دبی سیلاب مشخصی طراحی می‌شوند، این سیستم‌ها در برابر سیلاب‌های بزرگ‌تر، به شکست می‌رسند. اما در این رویکرد، برنامه ای برای درنظرگرفتن آثار ناشی از این شکست تعریف نشده است. رویکرد انعطاف‌پذیر مدیریت ریسکْ رویکردی است که امروزه برای لحاظ کردن آثار سیلاب به‌کار می‌رود. در این رویکرد، معمولاً از شاخص خسارت مورد انتظار سالیانه برای نشان دادن تأثیر اقتصادی سیلاب و از تعداد تلفات سالیانه برای بازگوکردن آثار اجتماعی سیلاب استفاده می‌شود. دو نکتهٔ مهم در این زمینه این است که خسارت مورد انتظار سالیانه، به‌تنهایی، قادر نیست رفتار سیستم‌ها را نشان دهد. برای نمونه، اگر روشی خسارت مورد انتظار سالیانهٔ پایینی داشته باشد، لزوماً ظرفیت بازیابی مناسبی ندارد؛ بنابراین، این شاخص نیز به تنهایی کارآیی ندارد.

در تحقیق حاضر، با توجه به کارآیی‌نداشتن رویکردهای مرسوم، رویکردی برمبنای تلفیق مفاهیم انعطاف پذیری و پایداری مطرح شد. نتایج تحقیق صورت‌گرفته نشان داد که، برای بررسی کارآمد سیلاب و مدیریت این بحران، باید از دیدگاه سیستمی بهره برده شود. منظور از سیستم، به‌تنهایی، خود سیستم رودخانه نیست بلکه افزون بر آن، ناحیهٔ متأثر از سیلاب اطراف آن رودخانه و مؤلفه های درون آن ناحیه، مانند افراد و اموال داخل آن محدوده، جزء سیستم محسوب می‌شوند. برای محاسبهٔ رفتار آن سیستم در برابر سیلاب، باید آثار سیلاب در آن مؤلفه‌ها تحلیل شود.

در تحقیق حاضر، با استفاده از معیارهای انعطاف پذیری، مفهوم انعطاف پذیری و پایداری در حوزهٔ مدیریت ریسک سیلاب کمّی شده است. در بعد اقتصادی، رفتار سیستم‌ها در برابر سیلاب به‌صورت خسارت‌های اقتصادی در نظر گرفته شد. این خسارت‌ها هزینهٔ احداث طرح پیشنهادی در هر راهبرد، خسارات سازه‌ای، خسارات وارد بر اموال و خسارات وارد بر محتویات، هزینهٔ پاک‌سازی و خسارت جاده‌ای را دربر می‌گیرند و معمولاً، با افزایش میزان دبی سیلاب‌ها، افزایش می یابند. چیزی که اینجا اهمیت پیدا می کند نرخ یا روند افزایش خسارت، با افزایش دبی، است. هرچه افزایش خسارت‌ها ناگهانی تر باشد، آن روش

www.SID.ir

Archive of SID

کمتر مطلوب است. در این زمینه، مشاهده شد طرحی که میزان خسارت مورد انتظار سالیانهٔ کمتری دارد لزوماً شاخص تدریج بالاتری نخواهد داشت. در بعد اجتماعی، نقطهٔ هشدار شاخص مناسبی برای آمادگی در برابر سیلاب به‌شمار می‌رود. نرخ بازیابی نیز براساس ارتباط بین سیلاب با مشخصات فیزیکی حوضهٔ مورد نظر، از لحاظ پوشش گیاهی و نفوذپذیری و میزان دریافت روزانهٔ 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 طرح‌ها، با داشتن مقادیر معیارها، به‌راحتی امکان‌پذیر نیست. بنابراین، استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ای که، افزون‌بر تسهیل در فرایند تصمیم گیری، این فرایند را تدقیق کند لازم به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق، روش TOPSIS برای تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌کار رفت. با توجه به اینکه رویکرد انعطاف‌پذیر سبب بازیابی سریع حادثه و کاهش خسارات می‌شود، همچنان‌که عواقب ناشی از سیلاب را به کمترین میزان می‌رساند، راهی مناسب برای دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار شمرده می‌شود.

در این تحقیق، هشت راهبرد متفاوت شامل راهبردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای در مطالعهٔ موردی (بازه‌ای از رودخانهٔ قزل‌اوزن در حوضهٔ ماه‌نشان) بررسی شده که این راهبردها، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و از نظر انعطاف‌پذیری، مقایسه و اولویت‌بندی شده‌اند. این هشت راهبرد عبارت‌اند از شرایط طبیعی، احداث خاکریز، بیمهٔ سیل، ایجاد پوشش گیاهی دیم پیرامون رودخانه، سیستم هشدار سیل، سیستم هشدار و بیمهٔ سیل به‌صورت هم‌زمان، پوشش گیاهی دیم و بیمهٔ سیل، سیستم هشدار و بیمهٔ سیل و پوشش گیاهی دیم. با اولویت‌بندی گزینه‌های یادشده با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، راهبرد هشتم مناسب ترین گزینه از نظر انعطاف پذیری انتخاب شده است. بنابراین، همان طورکه مشاهده می‌شود، راهبرد منتخب از نوع روش‌هایی است که، با ایجاد نگرش زندگی با سیلاب که از ویژگی‌های 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 مناسب‌ترین گزینه، از نظر انعطاف‌پذیری، بار دیگر بر تأثیر رویکردهای غیرسازه‌ای سیستم‌های هشدار سیل و نظام بیمهٔ سیل تأکید دارد. استراتژی شمارهٔ ۱ (شرایط طبیعی) به این علت پایین‌ترین درجهٔ اولویت را در تحلیل‌های انجام‌شده در مطالعهٔ موردی کسب کرده که تلفات مورد انتظار سالیانهٔ آن زیاد است و علت این امر نیز قرارگرفتن مناطق مسکونی شهری و روستایی در سیلاب دشت است. درصورت نبودِ مناطق مسکونی متراکم و امکان تغییر و برنامه‌ریزی کاربری اراضی، ممکن است استراتژی ۱ اولویت بالاتری به‌دست آورد.

به‌منظور بهبود و ارتقای تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌شود دیدگاه‌های اجتماعی و اقتصادی نیز، در مدیریت یکپارچهٔ ریسک سیلاب، بررسی شود. همچنین، بهتر است انواع خسارات دیگر در محاسبهٔ دامنهٔ عکس‌العمل منظور شود. برای مقابله با سیلاب، طرح‌های گوناگونی به‌کار رفته است، ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود راهبردهای دیگر، با راهبردهای برتر تحقیق حاضر، قیاس شوند.

۶- منابع

بزرگی، ب.، ۱۳۸۶، **مدیریت پایدار سیلاب با رویکرد انعطاف‌پذیری**، پایان‌نامهٔ دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکدهٔ مهندسی عمران.

مؤمنی، م.، ۱۳۹۵، **مباحث نوین تحقیق در عملیات**، نشر مؤلف، چاپ هفتم، تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir