

کنترل سیل با استفاده از روش ترکیبی بند تأخیری و دیوار ساحلی (مطالعه موردی: حوضه رودخانه کن)*

(یادداشت پژوهشی)

کامران داوری^(۳)سعیدرضا خداشناس^(۲)اعظم صفایی^(۱)

چکیده در تحقیق حاضر به منظور کاهش خطرات سیل گرفتگی مناطق پایین دست حوضه آبریز کن، یک روش ترکیبی از بندهای تأخیری به اضافه دیوار سیل بند در محدوده مناطق مسکونی مورد بررسی قرار گرفت، با توجه به آن که محل و تعداد سدهای تأخیری بر هیدروگراف سیلاب و در نتیجه ارتفاع و طول دیوار سیل بند تأثیر مستقیم داشتند، لازم بود که ترکیب‌های مختلف از بند و دیوار سیل بند مورد ارزیابی قرار گیرد تا بهترین ترکیب که هزینه احداث سازه‌ها حداقل و کاهش دبی اوج سیلاب خروجی، حداکثر شود به دست آید. بدین منظور ۸ مکان مختلف در سطح حوضه آبریز رودخانه کن برای احداث بندهای تأخیری شناسایی شدند. با جاگذاری ۸ بند، ۱۹ بازه به وجود آمد و در مجموع ۲۵۶ گزینه مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مدل‌سازی هیدرولیکی - هیدرولوژیکی سیلاب از مدل HEC-HMS و برای طراحی بندهای تأخیری از نرم‌افزار CADAM استفاده شد. برای تعیین بهترین ترکیب از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS استفاده شد. این تحقیق نشان داد که احداث سه سد تأخیری در مکان‌های مناسب به همراه دیوار سیل بند، نسبت به سایر گزینه‌ها برتری دارد و می‌تواند دبی پیک سیلاب خروجی از حوضه را (نسبت به عدم وجود سدهای تأخیری) ۳۱٫۵٪ کاهش دهد. علاوه بر این، زمان تمرکز سیلاب نیز بیشتر از سایر گزینه‌ها بود.

واژه‌های کلیدی بند تأخیری، تصمیم‌گیری چند معیاره، TOPSIS، حوضه آبریز کن، کنترل سیل.

Flood Control Using a Combination of Delayed Dam and Coastal Dike (Case study: Kan river basin)

A. Safaee

S. R. Khodashenas

K. Davari

Abstract In the present study, a combination of delayed dams in the upstream basin with the coastal dike in the downstream of residential area of the Kan river was studied, so that for this combination, the cost of constructing the structures is minimized and the reduction of flood peak is maximized. For this purpose, multi-criteria decision method and TOPSIS method were used and the best option was determined. This research showed that for the best combination, if 3 delayed dams with coastal river dike are constructed, the peak of output flood reduce to 31.5%. In addition, the diffusion and elongation of the output hydrograph in the superior state were significant and the time of concentration of flood increase.

Key Words Delayed dam, Kan river basin, Flood control, Multiple Criteria Decision Making TOPSIS.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۶۷/۲۰ و تاریخ پذیرش آن ۹۸/۱۰/۱۱ می‌باشد.

(۱) کارشناس ارشد سازه های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

(۲) نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

(۳) استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

مقدمه

استفاده از روش‌های تلفیقی در کنترل سیلاب در سال‌های اخیر گسترش فراوانی یافته و تحقیقات زیادی در این زمینه انجام گرفته است. الوشاه و الخوری [1] با تحلیل سیلاب و مقایسه چهار سناریوی جنگل‌کاری، تراس‌بندی، احداث چکدم و سناریوی ترکیبی از سه فعالیت مذکور، با تعیین و محاسبه دو معیار دبی اوج و حجم سیلاب در منطقه پترا در کشور اردن، به این نتیجه رسیدند که سناریوی ترکیبی (شامل کلیه فعالیت‌های مذکور) باعث کاهش پیک به میزان ۱۵ تا ۴۵ درصد شده ولی تأثیر آن بر حجم سیلاب قابل ملاحظه نبوده است. سیمونویچ و همکاران [2]، در رابطه با کنترل سیلاب در رودخانه قرمز کانادا به این نتیجه رسیدند که برای حفاظت از شهر وینی‌پگ می‌بایست از دو روش بازگشایی و بهسازی مجرای رودخانه قرمز و استفاده از حوضچه‌های تأخیری استفاده شود. نامقی و رجایی [۳]، تأثیر سدهای تأخیری کنترل‌شونده را بر روی کنترل سیلاب رودخانه گرگانرود بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با احداث سه سد تأخیری در سه زیر حوضه گرگانرود، حداکثر دبی ناشی از سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله پس از تسکین به دبی معادل با وقوع سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال کاهش می‌یابد. شکوهی و دانشور [۴]، تأثیر احداث سدهای تأخیری در حوضه آبریز آبخروار را در مقایسه با عملیات موضعی مهندسی رودخانه برای کنترل سیل در محدوده شهر بهبهان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیان‌گر آن بود که کنترل سیلاب توسط مخازن تأخیری در حوضه آبریز منتهی به شهر، در مقابل گزینه‌های کنترل سیل در محدوده شهری و عملیات مهندسی رودخانه، چه به لحاظ اقتصادی و چه به لحاظ امنیت روانی از اولویت ویژه‌ای برخوردار است. هلیلی و همکاران [۵] به منظور مدیریت منابع آب سطحی در سد مخزنی بوستان در استان گلستان از تصمیم‌گیری

چندمعیاره فازی استفاده نمودند. هدف اصلی آن‌ها کنترل و تنظیم سطح آب در مخزن سد بود، به طوری که آب کافی برای تأمین نیاز آبی به‌خصوص در ماه‌های کم‌آبی ذخیره شده و در عین حال حجم خالی لازم به‌منظور کنترل سیلاب‌ها را فراهم آورد و همچنین نیازهای اکولوژیکی پایین دست را تأمین نماید. لی و چانگ [6] و چانگ و همکاران [7] از روش ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور بررسی آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب استفاده کردند. رادمهر و عراقی‌نژاد [8,9] از روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی فازی به‌منظور تعیین مناطق آسیب‌پذیر در مقابل سیلاب در حوضه آبخیز شهری تهران استفاده کردند. قهرودی و همکاران آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری را در منطقه درکه و کن با استفاده از شبکه عصبی MLP مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سهم رواناب حوضه کن بسیار زیاد است. [۱۰] هوشیاری‌پور و همکاران مدیریت سیلاب حوضه رودخانه کن را با رویکرد شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را تحقیق کردند و از نرم‌افزار MIKE11 برای شبیه‌سازی سیلاب و از الگوریتم ژنتیک برای کمینه کردن خسارات استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ترکیب روش‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای (مانند آبخیزداری) می‌تواند تا ۵۰ درصد پیک سیلاب را کاهش دهد. [۱۱] و در مورد اثربخشی روش‌های گوناگون کنترل سیلاب همیشه و در طول تاریخ بحث و مناقشه بوده است. در بین روش‌های مختلف سازه‌ای، استفاده از بندهای تأخیری به‌عنوان یک روش تسکین سیلاب در حوضه آبریز بالادست و دیوار سیل‌بند به‌عنوان محدودکننده سیلاب در محدوده مسکونی پایین دست حوضه، روش‌هایی هستند که با عملکردهای متفاوت، مکمل یکدیگر می‌باشند. تا کنون تأثیر متقابل بندهای تأخیری همراه با دیگر روش‌های سازه‌ای کنترل سیل همچون دیوار سیل‌بند کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر از ترکیب این

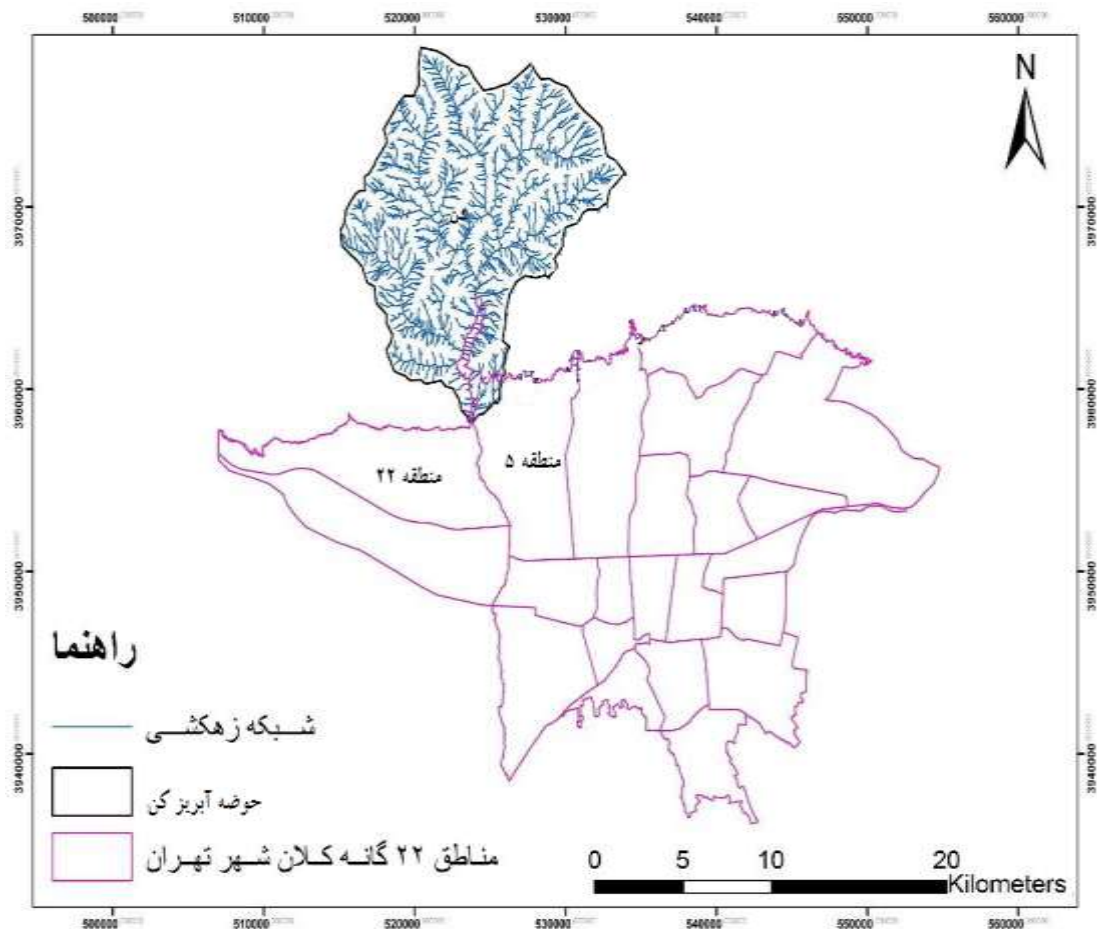
"۲۹' ۲۲' ۵۱° شرقی واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز کن در استان تهران نشان داده شده است.

حوضه آبریز کن از ۱۰ زیرحوضه به نام‌های پایین‌دست سولقان، هریاس، سولقان، کن میانی، کشاور، دوآب، امامزاده داود، سنگان، رندان و طالون تشکیل شده است. در طول این مسیر در دو طرف رودخانه مناطق مسکونی و تأسیسات شهری وجود دارد. خروج سیلاب از رودخانه منجر به بروز خسارت‌های مالی و جانی گردد.

دو روش برای طرح کنترل سیلاب حوضه کن استفاده شد. هدف تعیین گزینه برتر کنترل سیلاب از نظر اقتصادی و از نظر کاهش دبی پیک سیلاب بود که بدین منظور از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS استفاده شد.

مواد و روش‌ها محدوده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز رودخانه کن واقع در شمال استان تهران، در عرض جغرافیایی "۴۹' ۴۵' ۳۵° تا "۱۱' ۵۷' ۳۵° شمالی و طول جغرافیایی "۵۳' ۹' ۵۱° تا



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز رودخانه کن در شمال تهران

برتر که بر اساس کمترین هزینه مستتر می‌باشند. در تحقیق حاضر فرض می‌شود که از نظر تأمین مصالح ساخت محدودیتی وجود ندارد و شرط تهیه منابع قرضه در تعیین مکان احداث بندهای تأخیری بدون تأثیر است. با توجه به معیارهای فوق‌الذکر، برای تعیین جانمایی بندهای تأخیری، با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) محدوده مطالعاتی، در امتداد آبراهه‌های اصلی، نقاط گلوگاهی که در آن‌ها، عرض دره رودخانه نسبت به بالادست و پایین دست کم بوده و شیب سواحل رودخانه زیاد می‌باشند انتخاب گردید.

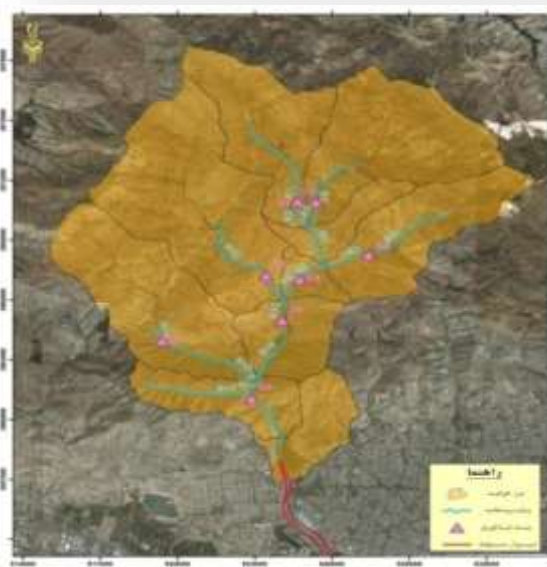
بر اساس معیارهای تعیین جانمایی بندهای تأخیری، ۸ مکان مختلف در سطح حوضه آبریز رودخانه کن برای احداث بندهای تأخیری شناسایی شدند. پس از جاگذاری بندهای تأخیری، بازه‌های مطالعاتی به ترتیبی که در شکل (۲) نشان داده شده است، شماره‌گذاری شدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با جاگذاری ۸ بند، ۱۹ بازه به وجود آمده است. در این شکل دیوار سیل بند محدودده مسکونی پایین دست نیز نشان داده شده است.

مدل‌سازی و شبیه‌سازی جریان در محدوده

مطالعاتی

جایابی بندهای تأخیری و دیوار سیل بند. از نظر کلی، بهترین محل برای احداث از لحاظ توپوگرافی، محلی است که در آن دره‌ای عریض با دیواره‌های بلند به یک گلوگاه یا دره‌ای باریک با عرض کم منتهی شود به طوری که با حداقل طول تاج در ارتفاع معینی، حداکثر حجم ذخیره ایجاد گردد.

از آن‌جاکه با احداث بندهای تأخیری سطح آب در پشت آن‌ها بالا آمده و زمین‌های بالادست بند به زیر آب خواهند رفت، بنابراین حتی‌الامکان مکان احداث بند تأخیری بایستی طوری انتخاب گردد که در بالادست بند، کاربری خاصی اعم از مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی وجود نداشته باشد تا از نظر تملیک اراضی مشکل زیادی ایجاد نگردد. البته هزینه کاربری اراضی و هزینه‌های زیست‌محیطی این سدها در مقایسه با سدهای ذخیره‌ای قابل ملاحظه نیست ولی می‌توان عنوان کرد که این هزینه‌ها مستقیماً با ارتفاع و تعداد سدهای ذخیره‌ای مرتبط هستند و به عبارتی در معیارهای انتخاب گزینه



شکل (۲): موقعیت بازه‌های مطالعاتی، بندهای تأخیری و دیوار سیل بند در حوضه آبریز کن

استقرار بند تأخیری، حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت سازه و هزینه آن محاسبه شد. مشخصات بندهای تأخیری مورد استفاده مطابق جدول (۱) فرض شد.

جدول (۱): مشخصات هندسی و حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت بندهای تأخیری

نام بند تأخیری	ارتفاع حداکثر (m)	عرض متوسط دره (m)	حجم مصالح (m ³)
D1	۵,۵	۳۲,۰	۶۰۸,۵
D2	۶,۵	۵۰,۰	۱۲۸۸,۸
D3	۱۶	۷۲,۱	۹۲۹۶,۱
D4	۱۵,۵	۶۲,۵	۷۸۱۷,۸
D5	۱۵	۶۱,۶	۷۴۵۹,۴
D6	۱۸	۱۳۳,۲	۲۳۸۸۶,۳
D7	۱۵	۷۲,۵	۸۷۶۹,۳
D8	۲۷,۵	۶۴,۲	۲۵۷۷۶,۵

مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز

جهت مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز، داده های ورودی به بازه های مطالعاتی به صورت هیدروگراف های سیلاب به مدل داده شد. بدین منظور در مدل HEC-HMS از ابزار چشمه (Source) در ابتدای بالاترین سرشاخه استفاده گردید که با استفاده از آن می توان هیدروگراف ورودی سیل به بازه را معرفی نمود. برای روند یابی جریان در آبراهه روش نیمه هیدرولیکی ماسکینگام - کونژ به کار گرفته شد. برای معرفی بندهای تأخیری در مدل HEC-HMS نیز از ابزار مخزن (Reservoir) استفاده شد که در آن می بایست نوع خروجی (سرریز، دریچه یا روزنه)، روش ذخیره جریان در مخزن (سطح - تراز، حجم - تراز) مشخص گردند. (شکل ۳) توزیع زمانی متوسط بارش های حوضه از طریق تحلیل فراوانی اطلاعات بارش در طی یک دوره آماری استخراج شد. زمان تداوم نیز با توجه به تداوم سیلاب های ثبت شده حوضه، ۲/۵ ساعت انتخاب گردید

برای مدل سازی هیدرولیکی - هیدرولوژیکی از مدل HEC-HMS استفاده شد. در مدل HEC-HMS، برای معرفی روزنه بایستی رقوم قرارگیری، مساحت و ضریب روزنه و برای معرفی سرریز نیز شکل سرریز، رقوم بالای سرریز، طول و ضریب سرریز باید مشخص باشد. بدین منظور ابتدا در محل منظور شده برای احداث بند تأخیری، رقوم تاج سرریز و رقوم مرکز روزنه به طور تقریبی تعیین گردید. مقادیر طول تاج سرریز به صورت درصدی از عرض دره و سطح مقطع روزنه نیز بر اساس این اصل که ظرفیت خروجی بند تأخیری با مخزن پر بایستی برابر حداکثر ظرفیتی باشد که می تواند از رودخانه در پایین دست عبور کند تعیین گردیدند. همچنین ضرایب سرریز و روزنه نیز بر اساس تجربیات و پیشنهادهای ارائه شده در مراجع علمی وارد شد. هر بند تأخیری به صورت مستقل در مدل HEC-HMS جاگذاری شده و مدل برای سیلاب طراحی اجرا شد. سپس با توجه به معیارهایی مانند عمق جریان بر روی سرریز و مقدار کاهش دبی اوج هیدروگراف خروجی نسبت به هیدروگراف ورودی، پارامترهای طراحی فوق از جمله رقوم تاج سرریز تا رسیدن به نتیجه نهایی تغییر داده شدند. ارتفاع آزاد با توجه به مراجع معتبر، ۵ درصد ارتفاع بند در نظر گرفته شد. فرآیند تعیین ارتفاع بندهای تأخیری که در بالا آمد برای تمامی بندهای تأخیری به صورت مستقل انجام شد و ارتفاع نهایی هر بند تعیین گردید. عرض تاج سد بر اساس معیار سازمان عمران آمریکا (USBR) برای ارتفاع های کمتر از ۲۰ متر مطابق رابطه (۱) در نظر گرفته شد.

$$B = \frac{H_{dam}}{5} + 3 \quad (1)$$

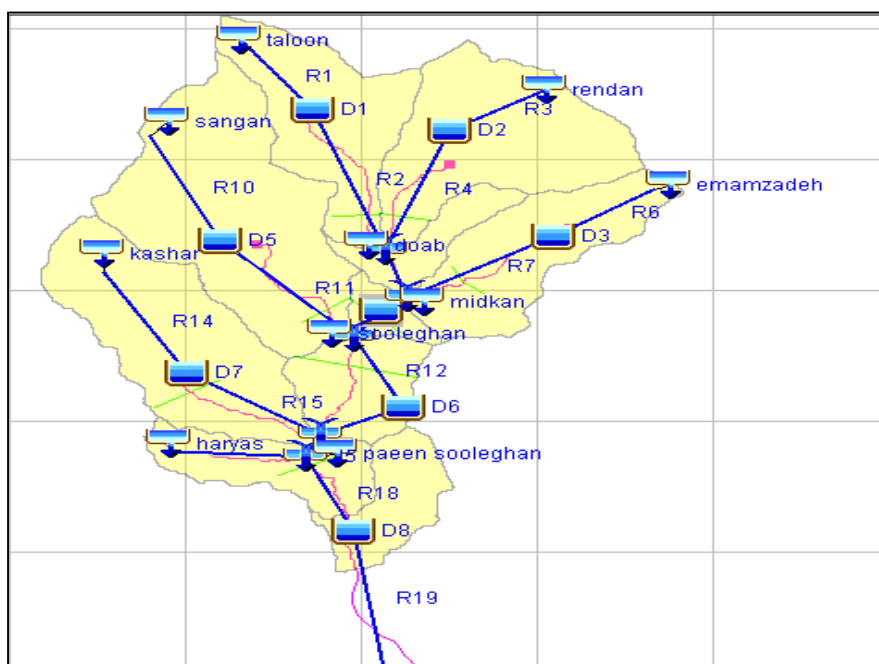
پس از تعیین محل بندها، این سازه ها با توجه به سیلاب طرح و با در نظر گرفتن نیروهای وارده و تحلیل پایداری سازه ها، طراحی شدند. برای انجام تحلیل های مربوط به پایداری بندهای تأخیری از مدل CADAM استفاده شد. با توجه به ابعاد سازه بند تأخیری که بر مبنای پایداری به دست آمدند و همچنین عرض دره محل

محیط سامانه GIS استخراج شده‌اند. شیب جانبی تمامی بازه‌ها ۱:۱ فرض شد.

در جدول (۳) پارامترهای سرریز و روزنه ارائه شده است. لازم به ذکر است که ضریب روزنه در تمامی بندها ۰/۸ و ضریب سرریز ۲/۶ (بر اساس پیشنهادهای راهنمای نرم‌افزار) در نظر گرفته شد.

و بر اساس استانداردهای موجود برای طرح‌های کنترل سیل، از سیلاب ۵۰۰ ساله برای مدل‌سازی استفاده شد.

در جدول (۲) پارامترهای مورد نیاز برای استفاده از روش ماسکینگام - کونژ به تفکیک بازه‌های مختلف برای مقطع رودخانه به شکل دوزنقه آورده شده است. لازم به یادآوری است که پارامترهای هندسی این جدول با استفاده از لایه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای در



شکل (۳): مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه کن

جدول (۲): پارامترهای مورد نیاز روش ماسکینگام - کونژ به تفکیک بازه‌های مختلف

نام بازه	طول بازه (m)	شیب بازه	عرض	نام بازه	طول بازه (m)	شیب بازه	عرض کف (m)
R1	۴۸۳۵٫۴	۰٫۰۵۱	۲۷٫۵	R11	۱۵۳۱٫۳	۰٫۰۵۸	۲۰٫۰
R2	۱۶۳۰٫۳	۰٫۰۶۱	۲۷٫۵	R12	۱۱۸۱٫۶	۰٫۰۳۳	۳۰٫۰
R3	۳۰۹۴٫۷	۰٫۰۵۹	۲۵٫۳	R13	۳۵۵۴٫۶	۰٫۰۳۰	۳۰٫۰
R4	۱۴۳۹٫۴	۰٫۰۱۸	۲۵٫۳	R14	۹۰۳٫۱	۰٫۰۵۶	۲۱٫۰
R5	۲۱۲۷٫۸	۰٫۰۷۵	۸٫۵	R15	۴۶۸۷٫۱	۰٫۰۵۰	۲۱٫۰
R6	۴۵۴۷٫۶	۰٫۱۴۰	۱۸٫۷	R16	۹۷۶٫۷	۰٫۰۴۵	۳۲٫۰
R7	۲۰۵۸٫۸	۰٫۰۸۴	۱۸٫۷	R17	۴۶۵۱٫۳	۰٫۱۲۳	۱۴٫۸
R8	۱۲۴۷٫۱	۰٫۰۲۸	۱۷٫۶	R18	۴۵۴٫۱	۰٫۰۳۹	۴۶٫۰
R9	۱۳۵۵٫۱	۰٫۰۳۷	۱۷٫۶	R19	۱۰۷۰۸٫۰	۰٫۰۲۲	۴۶٫۰
R10	۴۳۲۴٫۶	۰٫۰۵۶	۲۰٫۰				

جدول (۳): پارامترهای ورودی برای شبیه‌سازی سرریز و روزنه در مدل HEC-HMS

نام بند تأخیری	مشخصات روزنه		مشخصات سرریز	
	تعداد	رقوم (m)	مساحت (m ²)	رقوم تاج (m)
D1	۲	۲۰۲۱	۲	۲۰۲۵
D2	۲	۱۹۵۷	۲	۱۹۶۲
D3	۱	۱۹۴۳	۲	۱۹۵۷
D4	۲	۱۷۳۳	۳	۱۷۴۶/۵
D5	۱	۱۷۷۶	۳	۱۷۸۹
D6	۴	۱۶۴۷	۲/۵	۱۶۶۳
D7	۲	۱۷۷۴	۳	۱۷۸۷
D8	۵	۱۴۷۹	۳	۱۵۰۴

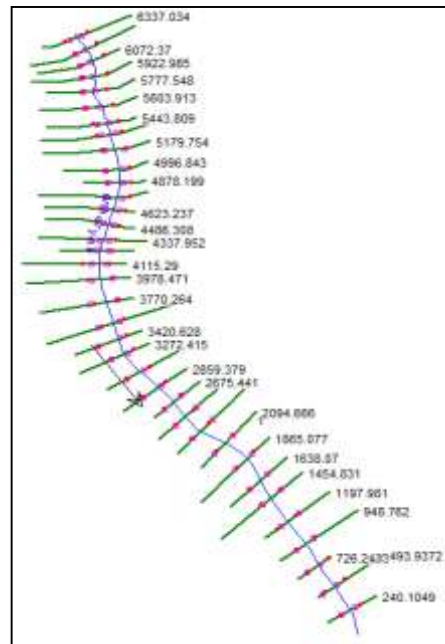
شبیه‌سازی جریان در محدوده مسکونی

پایین دست و طراحی دیوار سیل‌بند

پس از تعیین هیدروگراف خروجی از حوضه بالادست، با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS تراز آب در رودخانه پایین دست تعیین شد. پس از تعیین ارتفاع و در نظر گرفتن ارتفاع آزاد، ارتفاع دیوار سیل‌بند به دست آمد. شکل ۴ مقاطع عرضی رودخانه کن را برای تحلیل هیدرولیکی نشان می‌دهد.

بارگذاری دیوار سیل‌بند در حالتی که تراز آب در پشت دیوار در بالاترین سطح خود قرار داشته باشد، انجام شد و با تغییر ابعاد هندسی دیوار، پایداری سازه در برابر واژگونی، لغزش و باربری خاک زیرین تأمین شد. بدین منظور از نرم‌افزار RetainWall V.2.0 استفاده شد. پس از نهایی شدن ابعاد هندسی دیوار سیل‌بند و همچنین طول محدوده سیل‌گیر شهری، حجم مصالح مورد نیاز و هزینه دیوار ساحلی تخمین زده شد. در طرح اولیه، ابعاد سازه دیوار سیل‌بند مطابق شکل استاندارد (۵) در نظر گرفته شد (و در صورت عدم پایداری، ابعاد تغییر داده می‌شدند). این عمل برای کم‌ترین دبی خروجی از حوضه آبریز (در نظر گرفتن تمامی سدهای تأخیری) تا بیشترین دبی خروجی از حوضه آبریز (عدم وجود هیچ‌گونه سد تأخیری) تکرار شده و در نهایت، رابطه دبی پیک - هزینه دیوار ساحلی به دست آمد.

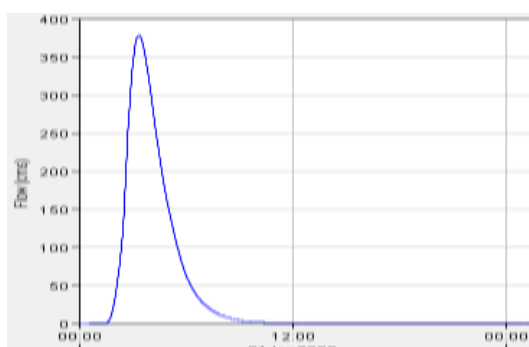
علاوه بر هزینه بندهای تأخیری و دیوار سیل‌بند، هزینه دیگری که باید در نظر گرفت، هزینه‌های جاری طرح است. این هزینه‌ها که شامل نگهداری، بازسازی و به‌خصوص لایروبی مخزن این بندها در زمان‌های مناسب می‌شوند، تابع شرایط مختلف حاکم بر ساخت سازه است و تعیین دقیق آن‌ها بسیار مشکل است. از این‌رو معمولاً هزینه‌های جاری را به‌عنوان درصدی از مجموع هزینه‌های سازه‌ای در نظر می‌گیرند که در تحقیق حاضر برابر



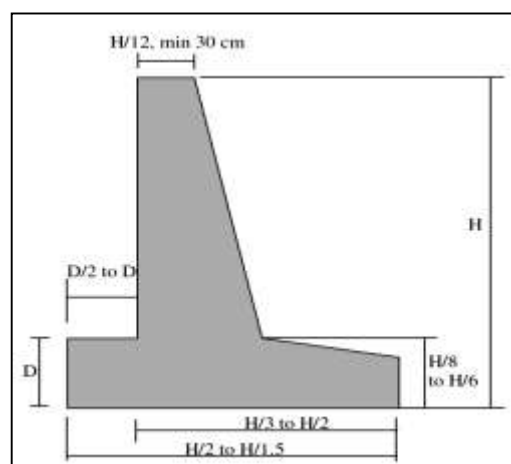
شکل (۴): مقاطع عرضی رودخانه کن در مدل HEC-RAS

با ۳۰ درصد در نظر گرفته شد.

تأخیری در سطح حوضه آبریز ایجاد کرد. این چینش‌ها شامل ۱ ترکیب بدون سد (سناریو ۱)، ۸ ترکیب با یک سد (سناریو ۲ تا ۹)، ۲۸ ترکیب با دو سد (سناریو ۱۰ تا ۳۷)، ۵۶ ترکیب با سه سد (سناریو ۳۸ تا ۹۳)، ۷۰ ترکیب با چهار سد (سناریو ۹۴ تا ۱۶۳)، ۵۶ ترکیب با پنج سد (سناریو ۱۶۴ تا ۲۱۹)، ۲۸ ترکیب با شش سد (سناریو ۲۲۰ تا ۲۴۷)، ۸ ترکیب با هفت سد (سناریو ۲۴۸ تا ۲۵۵) و ۱ ترکیب با هشت سد (سناریو ۲۵۶) است. هر یک از این ۲۵۶ حالت قرارگیری بندهای تأخیری دارای یک هزینه‌ی احداث و در خروجی حوضه دارای یک دبی پیک مربوط به خود هستند که با بقیه چینش‌ها متفاوت می‌باشند. پس از مشخص شدن تمامی ترکیب‌ها، با استفاده از مدل HEC-HMS حوضه آبریز رودخانه کن برای هر ترکیب روند یابی شد و هیدروگراف دبی خروجی از حوضه آبریز تعیین شد. شکل (۶) هیدروگراف خروجی حوضه در حالت بدون سد تأخیری را نشان می‌دهد. شکل (۷) مقادیر دبی پیک خروجی از حوضه آبریز در چینش‌های مختلف بندهای تأخیری را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد بندهای تأخیری، دبی پیک هیدروگراف خروجی حوضه آبریز کمتر می‌شود. همچنین ترکیب شماره ۱ به‌واسطه نداشتن هیچ‌گونه سدی، بالاترین دبی پیک هیدروگراف خروجی و ترکیب شماره ۲۵۶ به‌واسطه وجود تمامی سدها، کم‌ترین دبی پیک هیدروگراف خروجی را دارا است.



شکل (۶): هیدروگراف دبی خروجی از حوضه آبریز در ترکیب شماره ۱ (بدون بند تأخیری)



شکل (۵): ابعاد استاندارد دیوار سیل‌بند در طرح اولیه دیوار

روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS

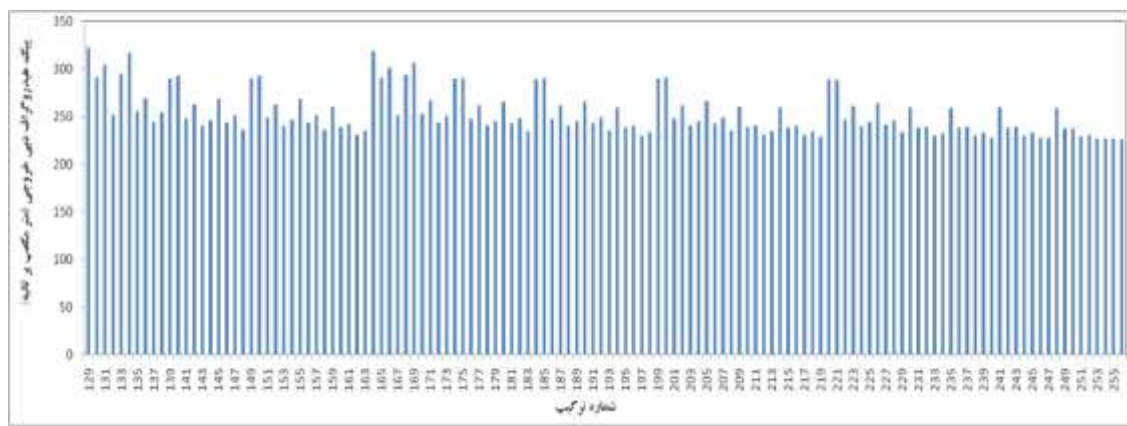
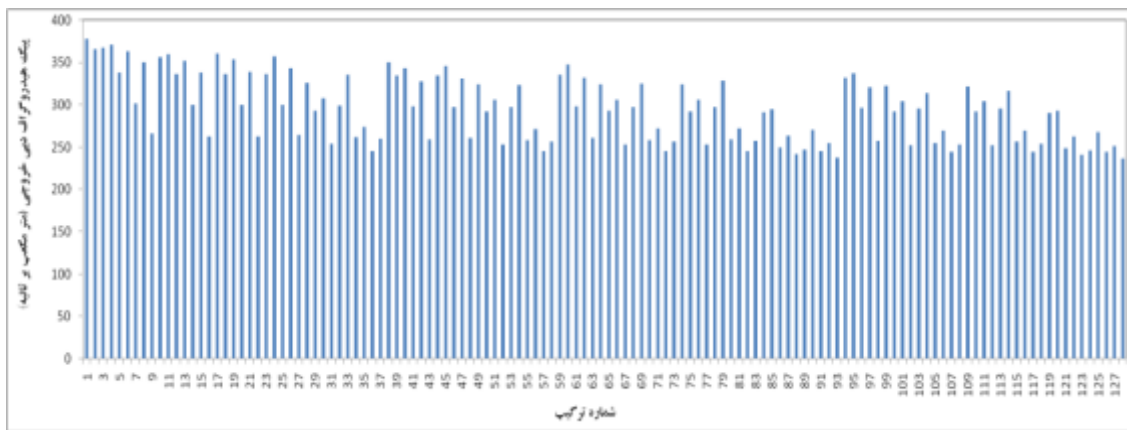
با توجه به آن‌که دو معیار هزینه و ایمنی برای انتخاب گزینه برتر ملاک عمل است و تعداد سناریوهای زیادی برای این طرح وجود دارد، برای تعیین بهترین گزینه از روش تصمیم‌گیری TOPSIS استفاده شد. در این روش m گزینه به‌وسیله n شاخص ارزیابی می‌شوند. منطق اصولی این مدل راه‌حل ایده‌آل (مثبت) و راه‌حل ایده‌آل منفی را تعریف می‌کند. راه‌حل ایده‌آل (مثبت) راه‌حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می‌دهد. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کم‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیش‌ترین فاصله از راه‌حل منفی را داشته باشد.

نتایج و بحث

هیدروگراف دبی خروجی از حوضه در

چینش‌های مختلف بندهای تأخیری

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، تعداد بندهای تأخیری برای کنترل سیلاب رودخانه کن ۸ عدد در نظر گرفته شد. با استفاده از این ۸ بند و با در نظر گرفتن وجود و یا عدم وجود آن‌ها، می‌توان ۲^۸ (۲۵۶) چینش متفاوت از بندهای



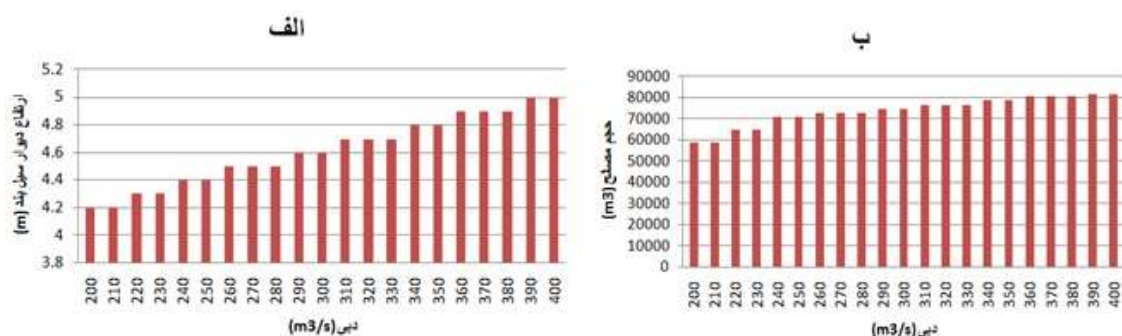
شکل (۷): دبی پیک هیدروگراف خروجی از حوضه آبریز در چینش‌های مختلف بندهای تأخیری

ارتفاع و حجم مصالح دیوار سیل‌بند در دبی‌های مختلف

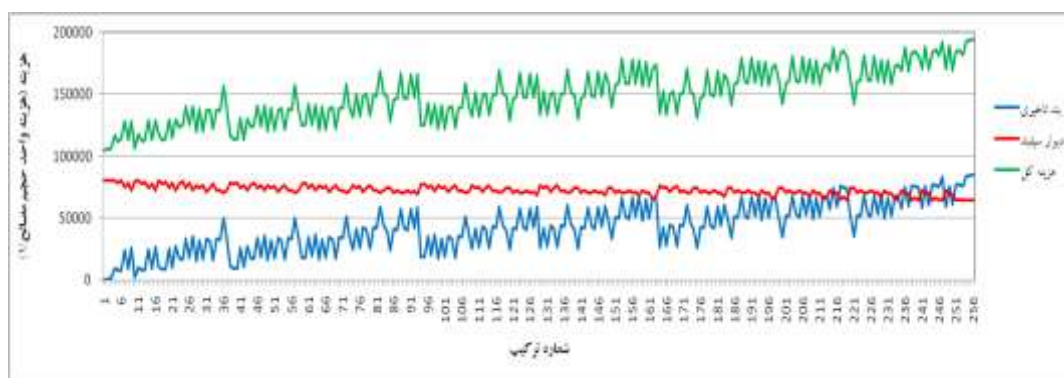
پس از تهیه مدل هیدرولیکی، جریان سیلاب برای کم‌ترین دبی خروجی از حوضه آبریز (در نظر گرفتن تمامی بندهای تأخیری) تا بیش‌ترین دبی خروجی از حوضه آبریز (عدم منظور هیچ‌گونه بند تأخیری) شبیه‌سازی شده و پروفیل‌های سطح آب و خصوصیات هیدرولیکی جریان برای محدوده دبی ذکر شده تعیین گردید. لازم به ذکر است که دبی با گام‌های ۱۰ مترمکعب بر ثانیه از کم‌ترین دبی تا بیش‌ترین دبی به مدل معرفی شد. پس از انجام شبیه‌سازی، مقادیر حداکثر عمق جریان در مقاطع عرضی، برای دبی‌های مختلف استخراج شده و با در نظر گرفتن مقادیر ارتفاع آزاد، ارتفاع نهایی و

حجم مصالح دیوار سیل‌بند به‌ازای هر دبی به ترتیب مطابق شکل‌های (۸-الف) و (۸-ب) تعیین گردید.

هزینه اجرای عملیات کنترل سیلاب شامل سه بخش بندهای تأخیری، دیوار سیل‌بند و هزینه‌های جاری است. شکل (۹) هزینه سیستم کنترل سیلاب را نشان می‌دهد. برای ترکیب شماره ۱ (بدون سد) هزینه احداث سد صفر و هزینه دیوار سیل‌بند بالاترین مقدار خود را دارد. همچنین برای ترکیب شماره ۲۵۶ (با تمام سدها) هزینه بندهای تأخیری بیش‌ترین مقدار و هزینه دیوار سیل‌بند کم‌ترین مقدار را دارا است.



شکل (۸): تغییرات مشخصات دیوار سیل بند در مقابل دبی جریان در محدوده مسکونی پایین دست حوضه: الف) ارتفاع دیوار، ب) حجم مصالح دیوار



شکل (۹): هزینه احداث بندهای تأخیری، دیوار سیل بند و هزینه کل در ترکیب‌های مختلف بندهای تأخیری

کاهش پیک سیلاب به وسیله سدهای تأخیری باعث ایمنی بیشتر می‌شود و علاوه بر این باعث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود که در محاسبات لحاظ نشده است.

بنابراین طرحی بهینه است که علاوه بر در نظر گرفتن کمترین هزینه، نظر ایمنی هم بهینه باشد. عامل اصلی در ایجاد خطر سیلاب دبی پیک است؛ بنابراین با کاهش آن می‌توان ایمنی را افزایش داد. در این راستا علاوه بر هزینه طرح باید کاهش دبی هم در انتخاب گزینه برتر مد نظر قرار بگیرد.

تعیین طرح نهایی کنترل سیل توسط روش

تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS

در این روش، دو پارامتر هزینه طرح کنترل سیل و دبی

تعیین گزینه برتر برای سیستم کنترل سیل

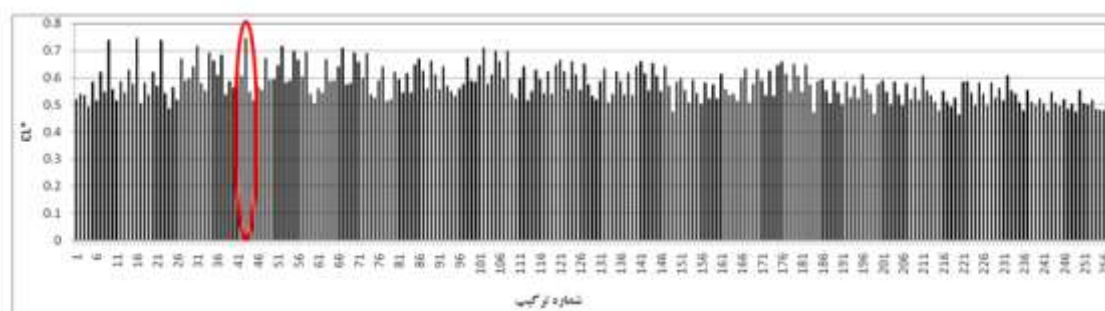
طرح مناسب برای سیستم کنترل سیل از دو جنبه اقتصادی و ایمنی است. از نظر اقتصادی طرحی بهینه است که هزینه حداقل را دارا است. نمودار هزینه کل در شکل (۹) بیانگر آن است ترکیب شماره ۱ اقتصادی‌ترین طرح است. ولی در این ترکیب، دبی خروجی از حوضه آبریز به علت عدم وجود بندهای تأخیری بیشترین مقدار را دارد که می‌تواند باعث ایجاد خطرات زیادی در محدوده مسکونی پایین دست گردد. علت آن این است که اگرچه وجود دیوارهای سیل‌بند مانع ورود آب به مناطق مسکونی می‌شود ولی هر عاملی مانند، خطا در داده‌ها، خطا در محاسبات، ایجاد انسداد در مسیر، عدم اجرای صحیح دیوارها و غیره می‌تواند باعث سرریز شدن سیل از دیوارها شود و باعث خطرات مالی و جانی شود. لذا

همان‌طور که از شکل (۱۰) و جدول (۳) مشاهده می‌شود ترکیب شماره ۴۳ دارای بیشترین مقدار C_i^* است. این ترکیب موجب کاهش ۳۱,۵ درصدی دبی پیک هیدروگراف خروجی نسبت به ارزان‌ترین طرح (ترکیب ۱) می‌شود و هزینه آن نسبت به آن ۲۴,۳٪ بیشتر است. ترکیب‌های ۱۶، ۲۲، ۹ و ۳۱ نیز با فاصله کمی از ترکیب ۴۳ قرار دارند و می‌توانند انتخاب شوند. شکل ۱۱ هیدروگراف خروجی پنج اولویت اول را نسبت به ترکیب ۱ نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پخشیدگی و کشیدگی هیدروگراف خروجی در ۵ ترکیب ذکر شده، قابل ملاحظه بوده و این ترکیب‌ها به خوبی توانسته‌اند شدت سیلاب را کاهش دهند.

شکل (۱۲) جانمایی نهایی بندهای تأخیری در سطح حوضه را برای ترکیب شماره ۴۳ نشان می‌دهد.

پیک هیدروگراف خروجی از حوضه آبریز به‌عنوان معیارهای سنجش برای چینش‌های مختلف در نظر گرفته شدند. با توجه به اهمیت هر معیار می‌توان وزن‌های مختلفی برای هر کدام قائل شد. در این تحقیق اهمیت هر دو معیار برابر در نظر گرفته شد و ضرایب معیارهای ذکر شده برابر با ۰/۵ منظور شد. در نهایت با اعمال این روش بر روی داده‌های دبی و هزینه، مقادیر C_i^* تعیین شد که نتایج آن برای ترکیب‌های مختلف در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

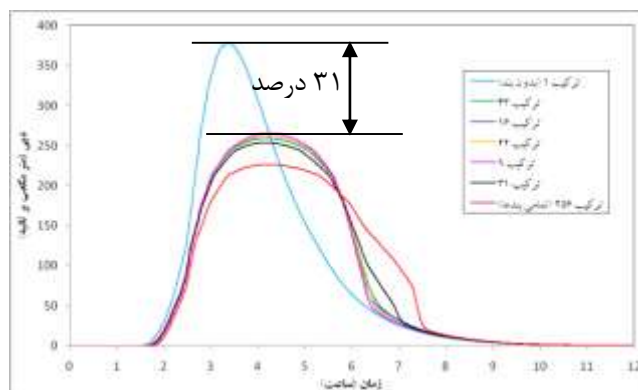
با بررسی ترکیب‌های مختلف گزینه‌های برتر که دارای شاخص C_i^* بیشتر می‌باشند تعیین می‌شوند. جدول (۴) نیز اولویت‌بندی گزینه‌های برتر کنترل سیلاب حوضه آبریز رودخانه کن به همراه مشخصات فنی و اقتصادی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): تغییرات فاکتور C_i^* روش TOPSIS برای ترکیب‌های مختلف بندهای تأخیری

جدول (۴): اولویت‌بندی گزینه‌های برتر کنترل سیلاب حوضه آبریز رودخانه کن به همراه مشخصات فنی و اقتصادی

شماره ترکیب	اولویت	بندهای موجود	ارتفاع بندهای تأخیری	ارتفاع دیوار سیل‌بند	هزینه (قیمت واحد حجم)			دبی خروجی از حوضه	کاهش پیک سیلاب	درصد افزایش هزینه
					کل	دیوار سیل‌بند	بندهای تأخیری			
۱	-	بدون	-	۵	۱۰۴۸۰۵	۸۰۶۱۹	۰	۳۷۸,۶	۰	۰
۴۳	۱	۲-۱	۶,۵ - ۵,۵	۴,۴	۱۳۰۲۸۹	۷۲۵۴۹	۲۷۶۷۴	۲۵۹,۲	٪۳۱,۵	٪۲۴,۳
۱۶	۲	۸-۱	- ۵,۵	۴,۵	۱۲۸۸۲۰	۷۲۷۰۷	۲۶۳۸۵	۲۶۲,۶	٪۳۱	٪۲۲,۹
۲۲	۳	۸-۲	- ۶,۵	۴,۵	۱۲۹۷۰۴	۷۲۷۰۷	۲۷۰۶۵	۲۶۲,۶	٪۳۱	٪۲۳,۸
۹	۴	۸	۲۷,۵	۴,۵	۱۲۸۰۳۰	۷۲۷۰۷	۲۵۷۷۶	۲۶۶,۱	٪۳۰	٪۲۲,۲
۳۱	۵	۸-۴	-۱۵,۵	۴,۴	۱۳۶۵۷۲	۷۱۴۶۱	۳۳۵۹۴	۲۵۳,۷	٪۳۳	٪۳۰,۳
۲۵۶	-	تمام	-	۴,۲	۱۹۴۴۵۱	۶۲۰۴۳	۸۷۵۳۵	۲۳۳,۲	٪۳۸	٪۸۵,۵



شکل (۱۱): مقایسه هیدروگراف خروجی از حوضه بین ترکیب‌های برتر و ترکیب ۱ (بدون سد تأخیری)



شکل (۱۲): جانمایی بندهای تأخیری گزینه برتر (ترکیب ۴۳) در حوضه آبریز کن

پایین دست گردد.

۲- طبق تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS ترکیب شماره ۴۳ دارای بیش‌ترین مقدار C_i^* است و به‌عنوان ترکیب برتر کنترل سیلاب حوضه آبریز رودخانه کن می‌تواند انتخاب شود. پس از گزینه ترکیبات ۱۶، ۲۲، ۹ و ۳۱ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

۳- از نظر مسائل هیدرولیکی گزینه برتر (ترکیب) ۴۳، موجب کاهش ۳۱ درصدی دبی پیک هیدروگراف

نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت کنترل سیلاب حوضه کن شهر تهران از تلفیق بندهای تأخیری و دیوار ساحلی استفاده شد. نتایج نشان داد که:

۱- ترکیب شماره ۱ (بدون سد تأخیری و صرفاً بر اساس دیوار سیل‌بند) اقتصادی‌ترین گزینه است ولی دبی خروجی از حوضه بیش‌ترین مقدار را دارد که می‌تواند باعث ایجاد خطرات قابل توجه در محدوده مسکونی

خروجی گردید. می‌تواند منجر به یک اثر قابل‌ملاحظه از نظر
 ۴- عملکرد توأم و هم‌زمان دو یا چند سد تأخیری هیدرولیکی و اقتصادی در کل حوضه آبریز گردد.

مراجع

1. Al-Weshah R., El-Khoury, F., "Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan", *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 125, No. 3, pp 170- 177, (1999).
2. Simonovic, S.P., Carson, R. W., "Flooding in the Red River Basin- Lessons from Post Flood", *Activities Natural Hazards*, Vol. 28, No. 2-3, pp 345-365, (2003).
3. نامقی، ه.، رجایی، ن.، "کنترل سیلاب رودخانه گرگانرود بوسیله سدهای تأخیری"، هفتمین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز (۱۳۸۵).
4. شکوهی، ع. دانشور، ش. "بررسی تأثیر احداث مخازن تأخیری در حوضه های آبریز در مقایسه با عملیات موضعی مهندسی رودخانه برای کنترل سیل در محدوده شهر"، (گزارش فنی) مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۱، صفحات ۸۰-۸۳ (۱۳۸۶).
5. هلیلی، م.، سعدالدین، ا.، مساعدی، ا.، ماهیتی، ع. "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به منظور مدیریت منابع آب سطحی به کمک سدهای مخزنی در آبخیز سد بوستان - استان گلستان"، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (۱۳۸۸).
6. Lee G. Jun., K. S, Chung E.-S. "Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique", *National Hazards Earth System Science*, Vol. 13, No. 3, pp 1293-1312, (2013).
7. Jun, K. S., Chung, E. S., Kim, Y. G., & Kim, Y. "A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts". *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, No.4, pp. 1003-1013, (2013).
8. Radmehr A, Araghinejad S., "Developing strategies for urban flood management of Tehran city using SMCDM and ANN". *Journal of Compute Civil Engineering*, Vol. 28, No. 6, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000360, (2014).
9. Radmehr A., Araghinejad, S. "Flood Vulnerability Analysis by Fuzzy Spatial Multi Criteria Decision Making", *Water Resources Management*, Vol. 29, No. 12, pp. 4427-4445, (2015).
10. قهرودی، م.، مجیدی، آ.، عبدلی، ا. "آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی: تهران، درکه تاکن)، جغرافیا و مخاطرات محیطی"، شماره هفدهم، بهار ۱۳۹۵، ص ۲۱-۳۵ (۱۳۹۵).
11. هوشیاری پور، ف.، یزدی، ج.، افتخاری، م.، جوادی، ف.، شش‌انگشت، س. "مدیریت سیلاب حوضه رودخانه کن را با رویکرد شبیه‌سازی و بهینه‌سازی"، پژوهش‌های تجربی در مهندسی عمران، جلد ۳، شماره ۱، ص: ۷۳-۸۹ (۱۳۹۵).

