مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۴/ شماره ۴/ پیاپی ۳۹/ زمستان ۱۳۹۹ (۹-۱۶)

مقاله پژوهشی

بررسی کفایت مخازن نگهداشت رواناب برای آبیاری فضای سبز حوضهٔ آب و برق و ارائه جانمایی مناسب طرح‌های توسعه

نغمه رحیمی[۱]، فرهاد خامچین مقدم[۲*] و سید ناصر باشی ازغدی[۳]

چکیده

رشد سریع جمعیت، توسعه و گسترش حریم شهرها، صنعتی شدن جوامع و گسترش سطوح آسفالتی، سطح مناطق غیرقابل نفوذ را در شهرها افزایش داده و موجب افزایش حجم و سرعت انتقال رواناب حاصل از بارش شده است. هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی شیوهٔ عملکرد سیستم زهکشی کانال‌های اصلی، استفاده از مخازن ذخیرهٔ رواناب برای نگهداشت سیلاب، بررسی تأثیر این مخازن بر کاهش دبی اوج سیلاب و جانمایی مخازن طرح توسعه با توجه به نیاز آبی در حوضهٔ شهری آب و برق منطقه ۹ شهرداری مشهد است. این حوضه در سه حالت بدون مخازن نگهداشت، استفاده از مخازن نگهداشت (در وضعیت موجود) و استفاده از مخازن پیشنهادی (در وضعیت توسعه) شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در وضعیت بدون مخازن، دبی و حجم رواناب خروجی از حوضه به‌ترتیب ۶/۵۵ مترمکعب بر ثانیه و ۱۷۵۳۱ مترمکعب است. در سناریوی استفاده از مخازن موجود، حجم کلی رواناب در حدود ۱۶۲۹۸ مترمکعب بود که نسبت به حالت بدون مخازن به مقدار ۱۲۳۳ مترمکعب یا ۷ درصد کاهش پیدا کرد. با جانمایی مخازن پیشنهادی، مقدار رواناب خروجی ۱۴۹۰۰ مترمکعب شد که مقدار ۱۳۹۸ مترمکعب یا ۹ درصد نسبت به سناریوی با مخازن موجود و ۱۵ درصد نسبت به حالت بدون مخزن کاهش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: رواناب سطحی، کنترل سیلاب، مخازن نگهداشت رواناب، نرم‌افزار ASSA، GIS.

ارجاع: رحیمی ن. خامچین مقدم ف. و باشی ازغدی س. ن. ۱۳۹۹. بررسی کفایت مخازن نگهداشت رواناب برای آبیاری فضای سبز حوضهٔ آب و برق و ارائه جانمایی مناسب طرح‌های توسعه. مجله پژوهش آب ایران. ۳۹: ۹-۱۶.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد.
۲- استادیار گروه عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد.
۳- استادیار گروه عمران، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران.
*** نویسنده مسئول**: **f.khamchin@gmail.com**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

مقدمه

رشد سریع جمعیت، توسعه و گسترش حریم شهرها و صنعتی شدن جوامع، تأثیرات نامطلوبی در هیدرولوژی حوضهٔ مناطق شهری می‌گذارد. از طرف دیگر، افزایش سطوح غیرقابل نفوذ، باعث افزایش مقدار ضریب جریان سطحی می‌شود و در نتیجه افزایش دبی حاصل از بارندگی و سیلاب را به دنبال دارد. این سیلاب‌ها می‌تواند باعث کند شدن یا توقف کامل رفت و آمدها و اختلال در وضعیت اقتصادی و اجتماعی شهرها شود. در چند دهه اخیر گزینه‌های مختلفی همچون استفاده از مخازن ذخیره نگهداشت آب که جزء روش‌های سازه‌ای توسعه کم‌اثر[1] هستند، به جهت کاهش آثار مخرب سیلاب‌ها توسعه یافته‌اند. مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی برای بررسی استفاده از مخازن نگهداشت آب در کاهش آثار مخرب سیلاب‌ها در مناطق شهری انجام شد که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

فلاح تفتی و شریفی (۱۳۸۵) با بهره‌گیری از مدل تلفیقی MIKE SWMM و GIS[2] به مدل‌سازی شبکه زهکشی رواناب‌های سطحی منطقه آب و برق اقدام کردند. پس از تحلیل شبکهٔ تحت بارش مشخص شد که ۳۱ کانال دچار اشکال بوده و دبی عبوری بیشتر از دبی طراحی است. همچنین ۹۲ کانال، بیش از اندازه گنجایش دارد و کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بینا و یزدان‌پرست (۱۳۸۹) به بررسی روش‌های نوین برای کنترل سیلاب و رسوب در مجاری سیلاب شهری با مطالعهٔ موردی شهر مسجد سلیمان پرداختند. درنهایت اهم نتایج به این صورت بود که مخازن تجمع سیلاب، تأثیر چشمگیری در کاهش پیک سیلاب و انتقال رسوبات دارند. در این پژوهش با استفاده از ۵ مخزن، پیک سیلاب ۱۰ ساله حداکثر تا ۵۵ درصد و پیک سیلاب ۱۰۰ ساله حداکثر تا ۴۸ درصد کاهش یافته است. تاجبخش و خداشناس (۱۳۹۱) با بهره‌گیری از شبیه‌سازی و کاربرد حوضچه‌های تأخیری به بازنگری شبکه زهکشی رواناب سطحی مطالعه موردی حوضهٔ اقبال شرقی شهر مشهد به مساحت ۷۱ کیلومتر مربع و بررسی سیستم عملکرد سیستم زهکشی رواناب سحطی آن پرداختند. بررسی عملکرد شبکه نشان داد که شش مجرا دچار اشکال و دبی شبیه‌سازی بیشتر از دبی طراحی است. امیری و همکاران (۱۳۹۴) به شبیه‌سازی کانال فکوری مشهد با مدل MIKE SWMM و تأثیر حوضچه‌های ذخیره بر دبی و مقایسه اقتصادی آن‌ها پرداختند. خواجه نصیری و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی نتایج استفاده از حوضچه‌های تأخیری برای تعدیل وکاهش حجم سیلاب با استفاده از نرم‌افزار ASSA و GIS پرداختند. برای تعدیل دبی سیلاب از حوضچهٔ تأخیری به‌عنوان روش توسعه کم‌اثر با پیشنهاد سه مخزن در قالب دو سناریو انجام شد. سناریوی اول استفاده از مخازن شماره ۱ و ۲ و سناریوی دوم شامل مخازن ۲ و ۳ است. مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته نشان داد که بهترین شبیه‌سازی مربوط به سناریو اول مربوط به انتخاب مخزن شماره ۱ با ابعاد ۹۰*۹۰*۴ مترمکعبی و مخزن شماره ۲ با ابعاد ۸۵*۸۵*۴ مترمکعبی است که دبی خروجی را ۳۶.۰۷ درصد کاهش داده است. قاسمی و مغربی (۱۳۹۴) به بررسی بهترین روش‌های جمع‌آوری رواناب‌های سطحی در شهر مشهد، مطالعهٔ موردی آب و برق، با به‌کارگیری حوضچه‌های تاخیری با استفاده از نرم‌افزارهای SWMM5 و GIS پرداختند و با بررسی سه مخزن تعدیل سیلاب با ابعاد متفاوت و درنظر گرفتن سه سناریوی متفاوت نتیجه گرفتند که دبی سیلاب طرح را می‌توان تا ۳۸ درصد کاهش داد. هاشمی‌منفرد و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل SWMM5 و اطلاعات موجود از قبیل نقشه‌های کاربری اراضی، توپوگرافی منطقه و آمار بارندگی، تکنیک‌های مختلفی همچون راهکارهای مدیریتی و توسعهٔ کم‌اثر را برای بارشی با دورهٔ بازگشت ده ساله در شهرستان داراب در استان فارس ارزیابی کردند و نشان دادند میزان اوج رواناب در زیرحوضه‌ها ۳۱ درصد و حداکثر ارتفاع آب در کانال محل خروجی به نصف تقلیل یافته است.

رشتن (۲۰۰۱) در یک پارکینگ ابتکاری در فلوریدا، که به‌عنوان یک سایت پژوهشی از آن استفاده کرد، نشان داد با ایجاد تغییرات کوچکی در طرح پارکینگ، می‌توان کاهش چشمگیری در رواناب و بار آلودگی ایجاد کرد. فنگ و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله‌ای تحت عنوان "استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیع شده برای ارزیابی محل سکونت و کنترل و ذخیره‌سازی سیلاب" به بررسی آثار گسترش شهرنشینی بر جریان آب‌های‌سطحی بر اساس باران با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله و همچنین شبیه‌سازی

1- Low Impact Development
2- Geographic Information System

آثار اقدامات کاهش سیلاب و ارزیابی آثار آن بر اوج جریان در حوضهٔ مورد مطالعه پرداختند. پس از شبیه‌سازی هر یک از چهار مدل نتایجی به شرح ذیل به دست می‌آید: به‌طور کلی اجرای مخازن منطقه‌ای می‌تواند جریان را به‌طور مؤثرتری نسبت به حوضچه‌های محلی کاهش دهد. مدل اول باتوجه به میرایی کانال‌ها تأثیر ناچیزی بر منطقه پایین‌دست می‌گذارد. بهترین پیشنهاد برای مدل دوم برای کاهش جریان، اجرای مخازن بزرگ منطقه‌ای است. ژیا و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی بهترین اقدامات مدیریتی[1] و توسعه کم اثر به‌عنوان اقدامات مقرون به صرفه برای کاهش آثار رواناب شهری پرداختند. در این مقاله، یک روش برای برنامه‌ریزی و تجزیه و تحلیل این اقدامات با استفاده از ابزار پشتیبانی جامع تصمیم‌گیری پیشنهاد شده است. پالا و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر سیستم‌های محلی جمع‌آوری آب باران در کاهش رواناب سیلاب در مقیاس بلوک شهری پرداختند. ایشان با استفاده از ذخیرهٔ خانگی باران به‌عنوان یکی از روش‌های توسعه کم‌اثر برای ۲۱۲۵ رخداد بارش نشان دادند که به طور متوسط پیک و حجم رواناب ۳۳ و ۲۶ درصد کاهش می‌یابد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) کارایی توسعهٔ کم اثر را بر کنترل رواناب در وضعیت مختلف بارش بررسی و رابطه بین ابعاد توسعه کم‌اثر و کاهش رواناب را استنباط کردند. موحدنیا و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل SWMM آثار ناشی از پنج سناریوی توسعهٔ کم‌اثر را هنگام سیلاب شهری در منطقهٔ ۱۳ تهران با دوره بازگشت دو، پنج و ده ساله بررسی کردند. ایشان نشان دادند در وضعیت موجود (بدون وجود توسعهٔ کم‌اثر) برای تمامی دوره‌های بازگشت سرریز رخ می‌دهد، حال آن‌که استفاده از توسعهٔ کم‌اثر، باعث کاهش حجم سیلاب و سرریز می‌شود. سیلوا و همکاران (۲۰۲۰) آنالیز کارآیی استفاده از پشت بام سبز را در کاهش دبی پیک و ظرفیت مخازن نگهداشت در هنگام بارش‌های جدید بررسی کردند.

هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی شیوهٔ عملکرد سیستم زهکشی کانال‌های اصلی، استفاده از مخازن ذخیرهٔ رواناب برای نگه‌داشت سیلاب، بررسی تأثیر این مخازن بر کاهش دبی اوج سیلاب، و نیز جانمایی مخازن طرح توسعه با توجه به نیاز آبی، در حوضه شهری آب و برق مشهد است.

مواد و روش‌ها

محدودهٔ مطالعاتی از نظر تقسیمات سیاسی در کشور ایران، استان خراسان رضوی، شهرستان مشهد، منطقهٔ ۹ شهرداری مشهد و از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی در حوضهٔ شهری آب و برق مشهد به مساحت ۷۷۰ هکتار واقع شده است. این محدوده بین طول شرقی "۳۸ '۲۷ °۵۹ و "۲۶ '۳۲ °۵۹ و عرض شمالی "۲۴ '۱۷ °۳۶ و "۲۵ '۲۰ °۳۶ واقع شده است. برای بررسی وضع موجود و تعیین ابعاد و طول کانال‌ها و همچنین رقوم ارتفاعی ابتدا و انتهای کف هر کانال، از نقشه‌های تهیه شده از سازمان فاوا[2] و انجام بازدیدهای میدانی استفاده شده است. شکل ۱ مرز حوضه و زیرحوضه‌بندی و کانال‌ها را نشان می‌دهد. زیرحوضه‌ها و کانال‌ها شماره‌بندی مشابه دارند. ضرایب نفوذپذیری بسته به نوع بافت حوضه اعم از مسکونی، خیابان و زمین بایر انتخاب شده است. همچنین ضریب زبری مانینگ با توجه به قدمت و جنس آن و برای زیرحوضه‌ها باتوجه به پوشش آن‌ها تعیین شده است. از دیگر پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی رواناب، عرض مؤثر حوضه است که در این پژوهش با تقریب مناسبی از تقسیم مساحت حوضه بر طول کانال به دست آمد. برای شیب متوسط حوضه، دقیق‌ترین روش محاسبهٔ شیب حوضه، به کارگیری الگوریتم الگوی شیب در GIS است. شیب کانال‌ها به طریق مشابه با داشتن رقوم ابتدا و انتهای هر کانال محاسبه شده است.

در این پژوهش از روش کرپیچ مطابق با معادلهٔ (۱) برای محاسبه زمان تمرکز استفاده شده است (علیزاده، ۱۳۹۴). همچنین مشخصات ۱۵ زیرحوضه به‌صورت نمونه در جدول ۱ آمده است:

$$T_c = \frac{0.01947 * (L^{0.77})}{S^{0.385}} \qquad (۱)$$

که در آن Tc زمان‌تمرکز بر حسب دقیقه، L طول مسیر حرکت آب در داخل حوضه بر حسب متر و S شیب کانال بر حسب متر بر متر است.

در این مطالعه برای ارزیابی نفوذ از روش هورتن استفاده شده است (مک کویین، ۱۹۸۹). ضرایب معادله نفوذ بر اساس مشخصات منطقه، طبق مقادیر توصیه شده در راهنمای نرم‌افزار ASSA برای سرعت نفوذ حداکثر، ۱۵۰ میلی‌متر بر ساعت، برای سرعت نفوذ حداقل، ۶۰ میلی‌متر

1- Best Management Practices

۲- فناوری اطلاعات و ارتباطات

بر ساعت و ثابت کاهش سرعت نفوذ ۰/۰۰۲۵ یک بر ثانیه است.

در این پژوهش درخصوص دورهٔ بازگشت و الگوی بارش نمودار منحنی IDF[1] مشهد مطالعه شد. با توجه به این که هدف از پژوهش حاضر استفاده از مخازن نگهداشت فضای سبز و نیز جانمایی مخازن طرح توسعه است، و با این دیدگاه که پر شدن مخازن در فواصل زمانی کوتاه مدنظر است، دورهٔ بازگشت دو ساله در نظر گرفته شد. نخستین گام در برآورد سیلاب طراحی، انتخاب بارش طراحی است. بارش طراحی که پایهٔ سیلاب طراحی است، با ویژگی‌هایی مشخص می‌شود که از جمله مهم‌ترین این ویژگی‌ها، توزیع زمانی بارندگی است. برای تعیین شدت باران طرح باید از یک الگوی مناسب استفاده کرد که این الگو چگونگی ریزش باران طی زمان بارندگی را تعیین می‌کند و آن را اصطلاحا توزیع زمانی یا الگوی زمانی باران طراحی می‌نامند. رابطهٔ IDF مورد استفادهٔ شهر مشهد برای دورهٔ بازگشت دو ساله مطابق با معادلهٔ (۲) است (قهرمان، ۱۳۸۶). همچنین اطلاعات مختلف این بارش در جدول ۲ آورده شده است.

$$i = \frac{664.278}{(30 + t)^{0.929}} \qquad (۲)$$

که در آن، t مقدار بارش بر حسب میلی‌متر و i شدت بارش بر حسب میلی‌متر بر ساعت است.

دانستن نیاز آبی فضای سبز منطقه برای طراحی دقیق حجم مورد نیاز مخازن ضروری است. جدول ۳ مقدار نیاز آبی فضای سبز حوضه آب و برق را نشان می‌دهد. نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش، نرم‌افزار ASSA[2] با قابلیت مدل‌سازی جامع، پیشرفته و دقیق برای تحلیل و طراحی سیستم‌های زهکش، رواناب سطحی و فاضلاب شهری است. این نرم‌افزار می‌تواند به‌طور همزمان فرآیندهای پیچیده هیدرولوژیکی و کیفیت آب را مدل کند. از این نرم‌افزار در بسیاری از مطالعات رواناب‌های سطحی و فاضلاب در سرتاسر جهان استفاده شده است. همچنین این نرم‌افزار تمامی قابلیت‌های مدل ریاضی SWMM را دارد و نیز می‌تواند فایل‌های مربوط به این مدل را به‌عنوان ورودی دریافت کند. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان برای هریک از اجزای کلی مدل شامل زیرحوضه‌ها، گره‌ها و مجراها، اطلاعات مشخصی را به‌عنوان داده‌های خروجی از مدل گرفت. برای مدل‌سازی در نرم‌افزار ASSA اطلاعات فیزیوگرافی و توپوگرافی مورد نیاز از نرم‌افزار GIS فراخوانی شد. درمرحلهٔ بعدی ورود اطلاعات هیدرولوژیکی از قبیل بارش، تعیین حوضه، تخصیص ضرایب هورتون، تعیین روش طراحی و ورود ابعاد کانال‌ها انجام شد. در این پژوهش، میزان دبی پیک سیلاب برای سه حالت اول) بدون مخازن موجود، دوم) وضعیت فعلی (با در نظر گرفتن مخازن موجود) و سوم) وضعیت توسعهٔ مخازن اجرا و نتایج در بخش بعدی بررسی شده است.

نتایج و بحث

پس از اجرای مدل برای حالت اولیه بدون در نظر گرفتن مخازن موجود، دبی خروجی ۶/۵۵ مترمکعب بر ثانیه و حجم کل رواناب خروجی ۱۷۵۳۱ مترمکعب برآورد شد. درگام بعدی مخازن موجود فضای سبز شناسایی و در مدل لحاظ شده است. تعداد مخازن موجود درحوضه عبارتند از: ۲ مخزن ۹*۹*۴ مترمکعبی، ۲ مخزن ۶*۶*۳ مترمکعبی و ۳ مخزن ۷*۷*۳ مترمکعبی که مجموع حجم آنها ۱۳۰۵ مترمکعب است. مخازن به‌صورت درمسیر[3] طراحی شده است. در شکل ۲ جانمایی مخازن وضع موجود در حوضهٔ مورد مطالعه نمایش داده شده است. در شرایط اجرای مدل با مخازن موجود، حجم کلی رواناب در حدود ۱۶۲۹۸ مترمکعب شده که به مقدار ۱۲۳۳ مترمکعب معادل ۷ درصد کاهش پیدا کرده است. مقایسه حجم کلی مخازن و حجم کاهش یافته بیانگر این است که مخازن تقریبا پر شده‌اند. همچنین دبی پیک نیز در حدود ۵/۷۱ مترمکعب بر ثانیه شده است که در حدود ۱۳% کاهش در میزان دبی پیک خروجی را نشان می‌دهد.

مکان‌های بالقوه برای احداث حوضچه‌های ذخیره سیلاب، مخازن نگهداشت، اراضی روستاها، قطعات فضای سبز، پارک‌ها یا برخی فضاهای باز شهر است که به خطوط اصلی زهکشی نزدیک باشند تا در نتیجه طول خط انتقال از زهکش اصلی به مخزن و همچنین مسیر مجرای خروجی از مخزن و اتصال آن به شبکهٔ کوتاه بوده و هزینه‌های مربوطه به حداقل ممکن برسد. با استفاده از بازدید میدانی، اطلاع از طرح تفصیلی جامع شهرداری و سامانهٔ جامع اطلاعات مکانی مشهد، مکان‌های پیشنهادی

1- Intensity-Duration-Frequency
2- Autodesk Storm and Sanitary Analysis
3- Inline

برای احداث مخازن تعدیل سیلاب در شرایط در شکل ۳ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که تعداد مخازن پیشنهادی مورد نیاز با ابعاد مشخص برای طرح توسعه، با توجه به نیاز آبی سالانه گیاهان منطقه، در ابتدا ۸ عدد بود که البته دو موقعیت به دلیل قرار گرفتن در حریم مسیل آب و برق، تراکم بالای مخازن در این محدوده، فاصلهٔ زیاد تا فضای سبز مورد نظر و همچنین اثر کمتر بر کاهش دبی پیک خروجی سیلاب حذف گردیدند. ابعاد مخازن پیشنهادی عبارتند از ۳ مخزن ۹*۹*۴ مترمکعبی و ۳ مخزن ۷*۷*۳ مترمکعبی که مجموعا حجم مخازن ۱۴۱۳مترمکعب است.

با درنظر گرفتن جانمایی مخازن پیشنهادی طرح توسعه، مقدار رواناب خروجی ۱۴۹۰۰ مترمکعب شده است که برابر با ۱۳۹۸ مترمکعب معادل ۹ درصد نسبت به حالت دوم و ۱۵ درصد نسبت به حالت اول کاهش پیدا کرده است. دبی پیک نیز ۴/۸۵ مترمکعب بر ثانیه شده است که در حدود ۱۵ درصد نسبت به حالت دوم و ۲۶ درصد نسبت به حالت اول کاهش داشته است. شکل ۴ دبی پیک خروجی از حوضه را در سه حالت مختلف نشان می‌دهد.

همچنین در جدول ۴ نیز سایر مشخصات هیدرولیکی مخازن موجود و پیشنهادی در هنگام بروز سیلاب در خروجی حوضه (گره junc-08) آورده شده است. باتوجه به نتایج به دست آمده، می‌توان گفت که استفاده از مخازن نگهداشت فضای سبز، علاوه بر صرفهٔ اقتصادی در تأمین آب مورد نیاز فضای سبز، در کاهش دبی پیک و حجم رواناب خروجی نیز تأثیر بسزایی دارد.

شکل ۱- زیرحوضه‌ها و کانال‌ها در محدوده مطالعاتی

شکل ۲- موقعیت حوضه و مخازن وضع موجود منطقه

شکل ۳- حوضهٔ آب و برق با توجه به جانمایی مخازن شرایط توسعه در نرم‌افزار ASSA

جدول ۱- مشخصات تعدادی از کانال‌های حوضه

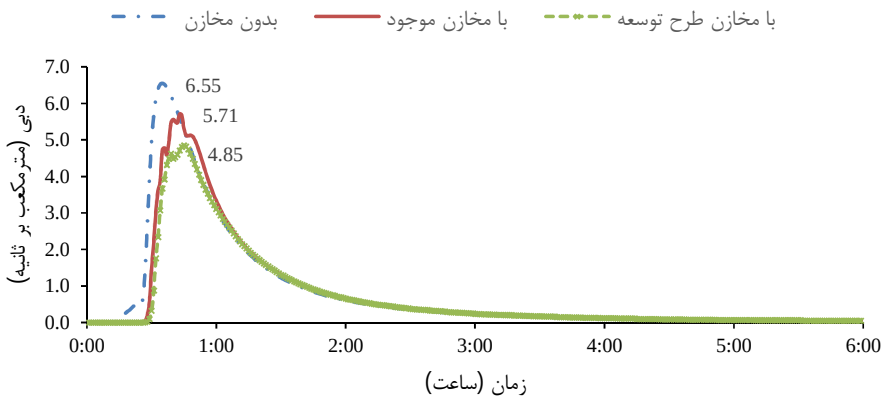
شماره حوضه	طول کانال (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	رقوم ابتدای حوضه (متر)	رقوم انتهای حوضه (متر)	شیب کانال	شیب حوضه	عرض حوضه (متر)	درصد نفوذ پذیری	ضریب ماننینگ	زمان تمرکز Tc (دقیقه)
۱	۸۰/۵۲	۱/۴۱۷	۱۱۰۰/۷۷	۱۰۹۹/۲۶	۰/۰۱۸۸	۰/۰۲۹۷	۱۷۵۹۸/۱	۷۰	۰/۰۱۵	۲/۶
۲	۴۶۲/۴۵	۰/۱۷۶	۱۱۰۵/۲۰	۱۰۹۹/۲۶	۰/۰۱۲۸	۰/۰۲۳۴	۳۸۰/۶	۵۰	۰/۰۱۵	۱۱/۷
۳	۳۱/۵۴	۰/۰۰۱	۱۰۹۹/۲۶	۱۰۹۸/۹۴	۰/۰۱۰۱	۰/۰۱۸۸	۱۰/۱	۵۰	۰/۰۱۵	۱/۶
۴	۱۰۵۲/۱۵	۰/۲۱۰	۱۱۶۹/۱۱	۱۱۵۴/۰۳	۰/۰۱۴۳	۰/۱۱۸۹	۱۹۹/۹	۵۰	۰/۰۱۵	۲۱/۲
۵	۴۹۱/۹۰	۰/۰۶۶	۱۱۶۸/۴۸	۱۱۵۴/۰۳	۰/۰۲۹۴	۰/۰۸۳۰	۱۳۳/۴	۵۰	۰/۰۱۵	۹/۰
۶	۴۰/۳۲	۰/۰۰۱	۱۱۵۴/۰۳	۱۱۵۲/۰۴	۰/۰۴۹۴	۰/۰۶۲۶	۱۲/۹	۵۰	۰/۰۱۵	۱/۱
۷	۱۵۲/۸۵	۰/۰۳۸	۱۱۵۳/۰۳	۱۱۵۲/۰۴	۰/۰۰۶۵	۰/۰۷۳۶	۲۴۶/۰	۵۰	۰/۰۱۵	۶/۵
۸	۲۴۷/۸۵	۰/۰۶۶	۱۱۵۲/۰۴	۱۱۲۶/۵۱	۰/۱۰۳۰	۰/۰۴۱۷	۲۶۴/۷	۵۰	۰/۰۱۵	۳/۳
۹	۳۲/۹۳	۰/۰۰۷	۱۱۲۶/۸۵	۱۱۲۶/۵۱	۰/۰۱۰۳	۰/۰۰۳۹	۲۱۵/۶	۵۰	۰/۰۱۵	۱/۷
۱۰	۲۹۴/۶۲	۰/۰۲۶	۱۱۲۸/۱۳	۱۱۲۶/۵۲	۰/۰۰۵۵	۰/۰۴۲۰	۸۶/۹	۵۰	۰/۰۱۵	۱۱/۵
۱۱	۴۴۹/۶۱	۰/۰۳۹	۱۱۲۶/۵۲	۱۱۰۹/۰۲	۰/۰۳۸۹	۰/۰۴۴۶	۸۷/۰	۵۰	۰/۰۱۵	۷/۵
۱۲	۱۷۹/۸۳	۰/۰۰۸	۱۱۱۰/۱۰	۱۱۰۹/۰۲	۰/۰۰۶۰	۰/۰۳۰۲	۴۶/۲	۵۰	۰/۰۱۵	۷/۶
۱۳	۴۳۸/۱۴	۰/۰۶۲	۱۱۰۹/۰۲	۱۰۹۸/۹۴	۰/۰۲۳۰	۰/۰۳۲۱	۱۴۱/۷	۵۰	۰/۰۱۵	۹/۰
۱۴	۳۴۳/۳۰	۰/۱۱۲	۱۰۹۸/۴۲	۱۰۹۶/۰۲	۰/۰۰۷۰	۰/۰۲۵۷	۳۲۵/۷	۵۰	۰/۰۱۵	۱۱/۸
۱۵	۱۷۲/۲۴	۰/۰۳۵	۱۱۰۱/۱۷	۱۰۹۶/۰۲	۰/۰۲۹۹	۰/۰۲۸۶	۲۰۰/۳	۵۰	۰/۰۱۵	۴/۰

جدول ۲- محاسبه مقدار بارش به روش یکنواخت به ازای دوره بازگشت دو ساله

زمان تمرکز (دقیقه)	شدت بارش (میلی‌متر بر ساعت)	مقدار بارش (میلی‌متر)	توزیع یکنواخت بارش (میلی‌متر)
۰-۵	۲۴	۲	۰/۴۱
۵-۱۰	۲۲	۴	۰/۳۶
۱۰-۱۵	۱۹	۵	۰/۳۲
۱۵-۲۵	۱۶	۷	۰/۲۷
۲۵-۳۵	۱۴	۸	۰/۲۳

جدول ۳- نیاز آبی فضای سبز حوضهٔ‌آبریز آب و برق مشهد بر حسب مترمکعب

راندمان (درصد)	مساحت (هکتار)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۷۰	۱۲/۷	۷۲۸۹۸	۱۸۵۰۵۷	۳۲۷۱۱۵	۳۸۸۲۵۷	۳۶۷۵۷۴	۲۷۴۵۰۱	۱۵۹۴۰۳	۶۶۰۰۳	۴۱۷۲	۰	۰	۱۹۹۵
۹۰	۱۲/۷	۵۶۶۹۸	۱۴۳۹۳۳	۲۵۴۴۲۳	۳۰۱۹۷۷	۲۸۵۸۹۱	۲۱۳۵۰۱	۱۲۳۹۸۰	۵۱۳۳۶	۳۲۴۵	۰	۰	۱۵۵۲



شکل ۴- مقایسهٔ هیدروگراف دبی خروجی حوضه در سه حالت بدون مخزن، با مخزن موجود، با مخزن موجود و پیشنهادی

جدول ۴- وضعیت هیدرولیکی در خروجی حوضه

سناریو	میزان پرشدگی (متر)	دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه)	حداکثر عمق هیدرولیکی (متر)	حداکثر ارتفاع هیدرولیکی (متر)
بدون مخزن	۱۰۳۵/۸۷	۶/۵۵	۰/۴۲	۱۰۳۶/۲۹
مخازن موجود	۱۰۳۵/۸۷	۵/۷۱	۰/۷۹	۱۰۳۶/۶۶
موجود و پیشنهادی	۱۰۳۵/۸۷	۴/۸۵	۰/۷۰	۱۰۳۶/۵۷

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مسیل‌های واقع در حوضهٔ آب و برق با وسعت حدود ۷۷۰ هکتار در مشهد بررسی شد. برای تعیین بارش منتخب به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد سیستم از منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی، با دوره بازگشت دو ساله استفاده شد. پس از تحلیل شبکهٔ تحت بارش فوق، نتایج نشان داد که هیچ‌یک از کانال‌های مسیل، دچار اشکال نیستند و جریان دچار پس‌زدگی نمی‌شود و دبی عبوری کمتر از دبی‌طراحی است. از ویژگی‌های نوین این تحقیق نسبت به تحقیقات مشابه استفاده از مخازن موجود نگهداشت فضای سبز و همچنین یافتن محل مناسبی برای ساخت مخازن ذخیره باتوجه به وضعیت توپوگرافی و شرایط محیطی است. بر این اساس علاوه بر مخازن موجود، در مکان‌های پیشنهادی شامل ابتدای خیابان کوثر، خیابان هاشمیه ۳۳، هنرستان ۲۱، حدفاصل صارمی ۳۵ و هفت تیر ۸، میدان حکمت و حافظ ۱۹ و خیابان لادن ۲۳، مخازن ذخیره رواناب برای وضعیت توسعه و اثر آن‌ها بر رواناب بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از مخازن موجود باعث کاهش ۷ درصد حجم رواناب و ۱۳ درصد دبی پیک نسبت به حالت بدون مخزن شده است. همچنین در صورت احداث مخازن طرح توسعه، دبی پیک نسبت به حالت اولیه در حدود ۲۶ درصد و حجم رواناب در حدود ۱۵ درصد کاهش داشته است.

منابع

۱. امیری دلوئی م. ر.، گل‌کار حمزیی یزد ح. و طاوسی م. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی کانال فکوری مشهد توسط MIKE SWMM و تأثیر حوضچه‌های ذخیره بر

دبی و مقایسه اقتصادی، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند، ۳ دی، تهران. ۱۱ ص.

۲. بینا م. و یزدان‌پرست س. ۱۳۸۹. روش‌های نوین جهت کنترل سیلاب و رسوب در مجاری سیلاب‌شهری (مطالعه مورد شهر مسجد سلیمان). کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، ۲-۱ مرداد، تهران. ۷ ص.

۳. تاج‌بخش م. و خداشناس س. ۱۳۹۱. بازنگری شبکه زهکشی رواناب‌سطحی با استفاده از شبیه-سازی و کاربرد حوضچه‌های تأخیری (مطالعه موردی: حوضه اقبال‌شرقی، مشهد). مجله دانش آب و خاک. ۲۲(۱): ۱۰۹-۱۲۳.

۴. خواجه نصیری ع. گلکار حمزیی یزد ح. ر. و طاوسی م. ۱۳۹۴. استفاده از حوضچه‌های تأخیری جهت تعدیل و کاهش حجم سیلاب با نرم‌افزار Storm and Sanitary Analysis (ASSA) و GIS. چهارمین همایش بین‌المللی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۲۹-۲۸ بهمن، مشهد. ۷ ص.

۵. علیزاده ا. ۱۳۹۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ چهلم، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. ۹۴۲ ص.

۶. فلاح‌تفتی ا. و شریفی م. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی شبکه زهکشی رواناب سطحی با استفاده از مدل تلفیقی MIKE SWMM و GIS، مطالعه موردی حوضه آب و برق مشهد. اولین همایش ملی مهندسی مسیل‌ها (کال‌ها)، ۱۰-۹ اسفند، مشهد. ۸ ص.

۷. قاسمی ث. و مغربی م. ۱۳۹۴. بررسی بهترین روش جمع‌آوری رواناب‌های سطحی در شهر مشهد (مطالعه موردی: منطقه آب و برق مشهد). چهاردهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران، ۲۲-۲۰ آبان، مشهد. ۸ ص.

۸. قهرمان ب. ۱۳۸۶. دسته منحنی‌های بروز شده IDF شهر مشهد، مجله نیوار. ۳۲(۶۵-۶۴): ۲۱-۴۰.

۹. هاشمی‌منفرد س. آ. عزیزیان غ. درخشان علمدارلو پ. و رییس‌پور ج. ۱۳۹۷. بررسی کفایت سیستم زهکشی موجود در مناطق شهری جهت عبور سیلاب و امکان اصلاح آن به کمک مدل SWMM5 (مطالعه موردی: شهرستان داراب). مجله مخاطرات محیطی. ۷(۱۵): ۲۱۹-۲۳۶.

10. Fang Z. Zimmer A. Bedient P. Robinson H. Christian J. and Vieux B. 2010. Using a distributed hydrologic model to evaluate the location of urban development and flood control storage. Journal of Water Resources Planning and Management. 136: 597-601.
11. Jia H. Yao H. Tang Y. Yu S. L. Field R. and Tafuri A. N. 2015. LID-BMPs planning for urban runoff control and the case study in China. Journal of Environmental Management. 149: 65-76.
12. McCuean R. H. 1989. Hydrologic Analysis & Design, Prentice– Hall Inc Walesh S, Esposito C, Carr R. 1999. Street surface storage for CSO control. 29th Annual Water resources Planning and Management Conference. Tempe, Arizona, United States, June 6-9. 11 p.
13. Movahedinia M. Mohammad Vali Samani J. Barakhasi F. Taghvaeian S. and Stepanian R. 2019. Simulating the effects of low impact development approaches on urban flooding: a case study from Tehran, Iran. Water Science and Technology. 80(8): 1591-1600.
14. Palla A. Gnecco I. and La Barbera P. 2017. The impact of domestic rainwater harvesting systems in storm water runoff mitigation at the urban block scale, Journal of Environmental Management. 191: 297-305.
15. Rushton B. T. 2001. Low compact parking lot design reduce run off and pollutant load. Journal of Water Resources Planning and Management. 127(3): 172-179.
16. Silva M. D. Najjar M. K. Hammad A. W. A. Haddad A. and Vazquez E. 2020. Assessing the Retention Capacity of an Experimental Green Roof Prototype. Water. 12(1): 90.
17. Zhang J. Zhang Y. Sun S. J. Zhang W. W. and Zhang S. H. 2019. Analysis of the Effect of Low Impact Development on Urban Runoff Control Based on the SWMM Model. Journal of Coastal Research. 96(1): 62-67.