

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

صفحه‌های ۱۵-۱

بررسی تأثیر روش توسعه کم‌اثر بشکه ذخیره آب باران در کاهش آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیلاب شهری

مریم موحدی‌نیا^۱، جمال محمد ولی سامانی^{۲*}، فخرالدین براخاصی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. کارشناس شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۴

چکیده

بهره‌گیری از روش‌های نوین توسعه کم‌اثر، از اقدامات اصلی در مدیریت سیلاب‌های شهری و کاهش مشکلات ناشی از آن است. در این تحقیق، تحلیل آب‌گرفتگی معابر شهری و کارایی وضع موجود شبکه به‌کمک مدل ریاضی EPA-SWMM برای بخشی از منطقه شهر تهران بررسی شده است. پس از تهیه مدل شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه، مقدار رواناب برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال بررسی شد. میزان درصد فرار آب از محل‌های آب‌گرفتگی در هر دوره، به ترتیب ۱۹/۳، ۲۴ و ۲۷ درصد محاسبه شد. طبق نتایج مدل‌سازی، این شبکه تنها بخشی از رواناب تولیدشده را عبور می‌دهد و باقی به‌صورت سیلاب، سبب آب‌گرفتگی معابر خواهد شد. سپس، اثر به‌کارگیری روش توسعه کم‌اثر بشکه ذخیره آب باران با دو اندازه مختلف، برای دوره‌های بازگشت مذکور بررسی شد. طبق نتایج، حجم فرار آب از محل‌های آب‌گرفتگی، در هر دوره بازگشت، در مدل‌سازی بشکه ذخیره کوچک‌تر به ترتیب ۴۷، ۲۱/۶ و ۹/۷ درصد و در بشکه ذخیره بزرگ‌تر به ترتیب ۴۷/۳، ۳۹/۶ و ۳۸/۷ درصد کاهش داشته است. مقایسه نتایج حاصل از اجرای مدل در وضع موجود و با به‌کارگیری LID در این تحقیق نشان می‌دهد که با به‌کارگیری رویکردهای نوین، می‌توان آثار منفی سیلاب‌های با دوره بازگشت کوچک را تا حدود ۴۰ درصد کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: بشکه ذخیره آب باران، رواناب شهری، روش LID، مجاری روباز، مدل EPA-SWMM، هیدرولیک.

مقدمه

آب نیازی اساسی برای وجود زندگی است. عدم کنترل صحیح آن آثار منفی در زندگی موجودات برجای می‌گذارد (۱۰). در حال حاضر، با توجه به عدم استفاده بهینه از سیستم کاربردی، در مدیریت رواناب‌های سطحی شهری، حجم قابل توجهی از رواناب‌ها به روش‌های مختلفی غیرقابل استفاده و باعث ایجاد مشکلات می‌شود (۷).

سیل یکی از مهم‌ترین رویدادهای طبیعی است که باعث وقوع این مشکلات می‌شود (۱۰). عوامل بسیاری در وقوع سیلاب و افزایش مشکلات ناشی از آن سهم است. در این بین، تغییر کاربری اراضی و افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری تأثیر به‌سزایی در تغییر حجم رواناب و وقوع سیلاب دارد (۷، ۹ و ۲۸). این عوامل باعث کاهش نفوذ آب در خاک، کاهش زمان تمرکز حوضه و کاهش ظرفیت تبخیر-تعرق می‌شود (۷، ۱۱ و ۱). و خطرات شهری و محیط‌زیستی زیادی در پی دارد (۷ و ۱۹). مطالعات مختلفی در ارتباط با اثر توسعه شهری بر تولید رواناب انجام شده است. نتایج ارزیابی آثار تغییرات کاربری اراضی بر سیلاب در حوضه آبخیز میوز نشان داد که توسعه سطوح نفوذناپذیر با کاهش ظرفیت رطوبت پیشین خاک، حجم رواناب را به میزان ۴/۰۶ درصد افزایش داده است (۱۲). بررسی اثر شهری شدن بر آینده سیلاب‌های شهری در ویتنام نشان داد که افزایش رواناب ناشی از توسعه مناطق نفوذناپذیر شهری به‌طور قابل توجهی خطر سیل را افزایش می‌دهد (۱۵). نتایج تحقیق گسترده در خصوص سیلاب‌های رخ داده در شهرهای آرژانتین، که باعث تخلیه تعداد زیادی از خانه‌ها از سکنه شد، نشان داد دلایل اصلی این مشکل، علاوه بر تغییر الگوی بارندگی از معمول به رگبار، عدم ارزیابی دوره‌ای توانایی شبکه زهکشی قدیمی در عبور سیلاب‌ها و توسعه خانه‌سازی‌های جدید در مناطقی بوده است که قبلاً نفوذپذیر بوده‌اند (۱۴).

از جمله روش‌های مؤثر در کاهش مشکلات ناشی از سیلاب و مدیریت صحیح آن، استفاده از روش‌های نوین کنترل سیلاب‌های شهری است که در آن سعی شده است بر نگه‌داشت شده است، بدون تأثیرگذاری مخرب سیلاب به‌جای دفع سریع آن (۱۷). روش توسعه کم‌اثر (LID)^۱، از جمله روش‌های نوین مدیریت رواناب شهری جهت حفظ یا برگرداندن شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوضه آبریز و بهبود محیط‌زیست در آن است که از منطقه پرنس جرج ماریلند در اوایل سال ۱۹۹۰ آغاز شد و به سرعت در حال رشد است (۲۱ و ۲۶). این روش از مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریت یکپارچه تشکیل شده است. انواع روش‌های توسعه کم‌اثر عبارت است از شبکه ذخیره آب باران^۲، جوی باغچه، ترانشه نفوذ، واحد زیست‌مانند بیولوژیکی و سنگفرش متخلخل (۲۱). از جمله مزایای به‌کارگیری این تکنیک، علاوه بر مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی، تغذیه و ذخیره آب‌های زیرزمینی، طولانی شدن زمان جاری شدن رواناب نفوذناپذیر، طولانی کردن مسیر جریان و کاهش سطوح نفوذناپذیر، همچنین زیباسازی است (۲۶). لذا، با به‌کاربردن روش‌های مدیریتی نوین می‌توان ضمن جلوگیری از آثار مخرب و منفی، حداکثر بهره‌وری از این منابع را داشت (۳).

از انواع روش‌های توسعه کم‌اثر که با توجه به ملاحظات اجرایی، اقتصادی و فرهنگی در منطقه مورد مطالعه، در این مقاله به آن پرداخته شده است، روش شبکه‌های ذخیره آب باران است که نوعی رویکرد نوین به مدیریت رواناب تلقی می‌شود (۲۷ و ۱۸). این مخازن کوچک که غالباً به‌صورت برون‌مسیری^۳ احداث می‌شود، آب حاصل از بارش باران را جمع‌آوری و ذخیره می‌کند.

1. Low Impact Development
2. rain barrel
3. Off Line

مدیریت آب و آبیاری

بارندگی، بیشترین تأثیر را بر دبی اوج سیل و عدم قطعیت آن دارد (۲۸). برای دستیابی به نتایج قابل قبول در حوضه‌های کوچک، این مدل دینامیکی قابلیت ترکیب با سایر مدل‌ها را نیز دارد (۱۳). نتایج مطالعه‌ای در کشور کره نشان داد این مدل آثار هیدرولوژیکی توسعه شهری را به‌خوبی ارزیابی می‌کند (۱۶).

در این تحقیق، با به‌کارگیری مدل ریاضی SWMM، به بررسی هیدرولیکی کانال‌های جمع‌آوری رواناب بخش شرقی منطقه ۱۳ شهر تهران پرداخته شد. نوآوری تحقیق در ارزیابی کفایت شبکه وضع موجود منطقه مورد مطالعه با مدل ریاضی SWMM و به‌کارگیری روش نوین شبکه ذخیره آب باران در کاهش دبی اوج سیلاب است. برای این منظور در وضع موجود، مقدار رواناب برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی بر اساس وجود یا عدم وجود اضافه‌بار و شرایط سیلابی در محل گره‌ها و مجاری، کفایت شبکه موجود برای انتقال رواناب سطحی با دوره‌های بازگشت مختلف ارزیابی شد. پس از آن، به‌منظور کاهش حجم اوج سیلاب و مشکلات ناشی از آن، استفاده از روش‌های نوین، روش شبکه‌های ذخیره باران، مدل‌سازی در دوره‌های بازگشت مذکور با دو اندازه متفاوت انجام و نتایج تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

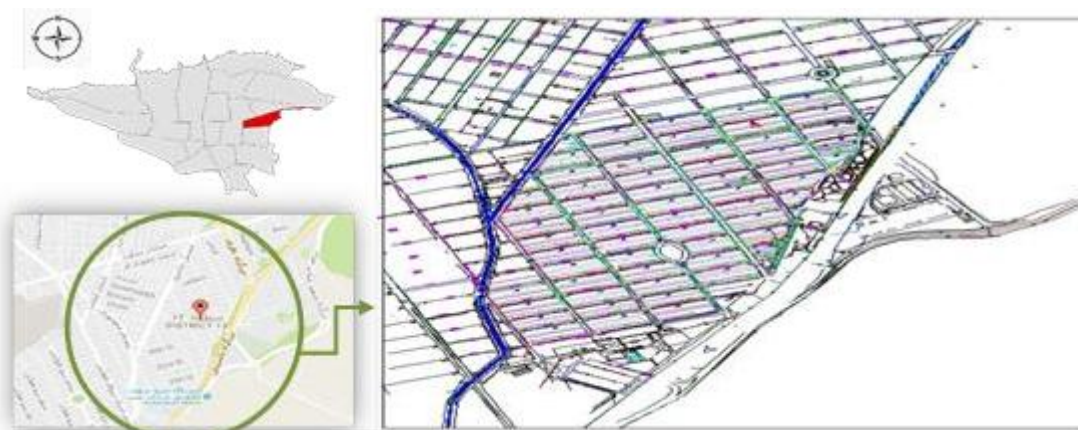
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت حدود ۱۵۰ هکتار با کاربری مسکونی، تجاری و فضای سبز، بخشی از ناحیه ۳ منطقه ۱۳ شهرداری تهران است که در محدوده بزرگراه یاسینی، بزرگراه باقری، خیابان باباطاهر و خیابان جاجرود قرار دارد. شکل ۱ محدوده منطقه مطالعه را به‌همراه شکل شماتیک مدل شده آن در نرم‌افزار SWMM شامل حوضه‌ها و مجاری شبکه فرعی نشان می‌دهد.

در غیر این صورت هدر می‌رود و یا از طریق سیستم‌های زهکشی و کانال‌ها منحرف می‌شود (۲۷).

این روش‌ها بهترین سازه‌های مدیریتی با توجه به شرایط حاکم بر ایران است و با راندمان قابل قبولی (در صورت تلفیق این سازه‌ها می‌توان میزان رواناب را تا ۹۰ درصد تعدیل بخشید) کار کنترل و هدایت آب‌های سطحی را انجام می‌دهد (۴). در مطالعه‌ای، بخشی از محدوده منطقه ۸ شهر تهران جهت ارزیابی بهترین راهکارهای مدیریتی در بهبود کمیت سیلاب‌های شهری مطالعه شد. نتایج نشان داد به‌کارگیری هم‌زمان راهکارهای نوین با توجه به تمهیدات اجرایی گامی مؤثر در مدیریت رواناب شهری تلقی می‌شود (۱۸). لزوم ارزیابی هیدرولیکی عملکرد مجاری سیلاب‌رو در مناطق شهری به‌منظور کاهش مشکلات ناشی از سیلاب باعث شده است که با توجه به هزینه بالای بررسی‌های میدانی، از مدل‌های ریاضی برای انجام این مهم بهره گرفت. مدل ریاضی EPA-SWMM^۱ را انجمن محیط‌زیست آمریکا ابداع کرد و پرکاربردترین مدل در مطالعات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جمع‌آوری رواناب حاصل از سیلاب‌های شهری است (۲۲). از این مدل برای مدیریت رواناب شهری به‌منظور کاهش خطرات آب‌گرفتگی در شهر ماهدشت استفاده شد (۶). در بررسی اثر توسعه شهری بر منابع آبی با مدل SWMM دریافتند افزایش مؤثر سطوح نفوذ ناپذیر سبب افزایش دو برابری حجم سیلاب می‌شود (۲۰). نتایج تحقیق شبیه‌سازی یکی از زیرحوضه‌های شهر شیراز با این مدل، گویای ناکارآمدی سیستم وضع موجود در بخش‌هایی از شبکه زهکشی بوده است (۵). در مطالعه دیگری، تحلیل عدم قطعیت عمق آب در مجاری شبکه‌های زهکشی با مدل ریاضی مذکور انجام شد. نتایج نشان داد پارامترهای مربوط به زیرحوضه‌ها و

1. Environmental Protection Agency-Storm Water Management Model



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

مدل‌ها را برای ارائه نتایج در حوضه‌های آبریز دارد. از آنجا که این مدل به‌طور گسترده‌ای برای طراحی، آنالیز و برآورد هزینه احداث سیستم شبکه زهکشی در مناطق شهری به‌کار گرفته می‌شود، برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی وضع موجود در این مطالعه از این مدل هیدرولوژیکی-هیدرولیکی استفاده شد. این مدل واقعه‌ای رگبار را بر اساس هایتوگرافی بارندگی، داده‌های ورودی هواشناسی، سیستم حوضه و شبکه زهکشی در تولید هیدروگرافی خروجی شبیه‌سازی می‌کند. پس از آن، هیدروگرافی ناشی از بارندگی بر سطح زیرحوضه‌ها را تعیین می‌کند و آن را به‌صورت مخزن غیرخطی، با استفاده از معادلات پیوستگی و مانینگ (۲۵)، در زیرحوضه‌های کوچک و کانال‌ها روندیابی می‌کند. معادلات سنت‌ونانت مستخرج از معادلات بقای جرم و مومنم است که قابلیت مدل‌سازی هیدرولیکی جریان در مجاری روباز و لوله‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد.

معادله مخزن غیرخطی از ترکیب معادله پیوستگی و معادله مانینگ به‌وجود می‌آید. معادله پیوستگی در هر زیرحوضه به صورت رابطه (۱) است.

$$\frac{\partial d_x}{\partial t} = P - E - F - q \quad (1)$$

اراضی این ناحیه عموماً مسکونی و در برخی مناطق دارای فضای سبز، فضاهای عمومی و جزآن است. متوسط شیب این محدوده ۰/۵ درصد و شیب غالب تقریباً در جهت شمال به جنوب است. اطلاعات از نقشه‌های موجود با مقیاس ۱/۲۰۰۰ استخراج شده است. محدوده مورد مطالعه، بخشی نسبتاً توسعه‌یافته است. اکثر کوچه و خیابان‌های اصلی و پیاده‌روها در این منطقه سطوح نفوذناپذیر و عمدتاً با پوشش آسفالت دارد. ساختار اصلی کوچه و خیابان‌ها ترکیبی از کانال روباز یا سرپوشیده، فضای سبز به‌صورت پیوسته یا ناپیوسته در طول خیابان است که بسته به پهنای کوچه و خیابان این مساحت‌ها متفاوت است. تمامی این موارد و مشکلات موجب شد تا در این تحقیق به بررسی هیدرولیکی وضع موجود مجاری سیلاب‌رو، همچنین استفاده از تکنیک‌های LID در راستای کاهش این مشکلات پرداخته شود.

تهیه مدل ریاضی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی

مدل SWMM یا مدل مدیریت رواناب سطحی مدل دینامیکی شبیه‌سازی بارش رواناب است و برای واقعه‌ای به‌صورت مداوم کیفیت و کمیت رواناب را در مناطق شهری شبیه‌سازی می‌کند. همچنین، قابلیت ترکیب با سایر

مدیریت آب و آبیاری

بررسی تأثیر روش توسعه کم اثر شبکه ذخیره آب باران در کاهش آب گرفتگی ناشی از وقوع سیلاب شهری

رایانه‌ای در مدل SWMM محاسبه می‌شود (۲۴). شکل ۳ روند مدل‌سازی را در مدل ریاضی به کار گرفته شده نشان می‌دهد.

در فرایند مدل‌سازی، پس از گردآوری اطلاعات و انجام بازدیدهای میدانی، شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شامل کانال‌های فرعی درجه ۳ و ۴ روی GIS رسم شد. بر اساس خیابان‌های اصلی، کوچه‌ها و ساختمان‌های موجود در منطقه، حوضه‌بندی در لایه‌های جداگانه شامل خیابان‌ها، ساختمان‌های شمالی و جنوبی، و حیاط‌های شمالی و جنوبی صورت گرفت تا بتوان سطوح نفوذپذیر، سطوح نفوذناپذیر، مساحت‌های مؤثر و مساحت‌های غیرمؤثر را از هم تفکیک کرد. مساحت‌های غیرمؤثر در اینجا شامل بام ساختمان‌های شمالی و حیاط ساختمان‌های جنوبی است، زیرا رواناب بام ساختمان‌های شمالی مستقیم به چاه‌های جذبی تخلیه می‌شود و حیاط ساختمان‌های جنوبی نیز ارتباطی با معابر اصلی ندارد.

در این رابطه، d_x عمق آب به متر، P شدت بارش به متر بر ثانیه، E میزان تبخیر به متر بر ثانیه، F میزان نفوذ به متر بر ثانیه، $q=Q/A_s$ جریان آب در هر زیرحوضه به مترمکعب در ثانیه، A_s سطح زیرحوضه به مترمربع و Q جریان خروجی است که با استفاده از معادله مانینگ به صورت رابطه (۲) به دست می‌آید.

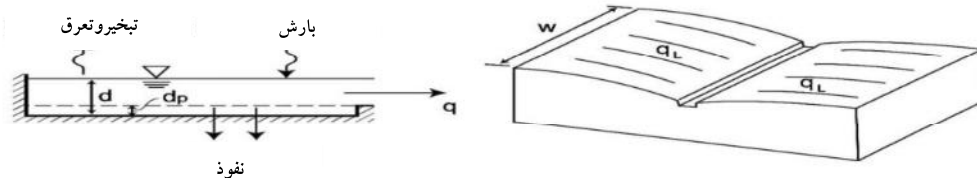
$$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (2)$$

در این رابطه، W عرض زیرحوضه به متر، n ضریب زبری مانینگ، d_p عمق ذخیره چالابی به متر (شکل ۲)، d عمق به متر و S شیب زیرحوضه است.

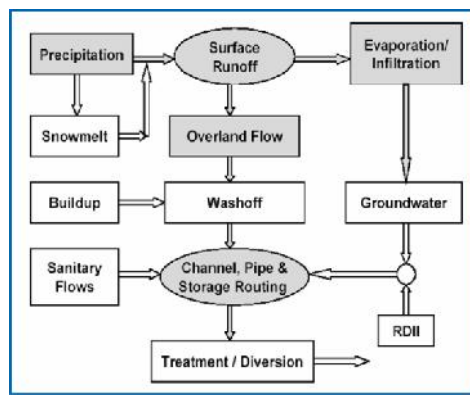
از ترکیب این دو معادله، معادله منحن غیرخطی به صورت زیر به دست می‌آید که از حل آن می‌توان مجهول d را به دست آورد.

$$\frac{dd_x}{dt} = P - E - F - \alpha d_x^{5/3}, \alpha = \frac{W \cdot S^{1/2}}{A_s \cdot n} \quad (3)$$

این معادلات به وسیله روش تکراری و تحلیل‌های عددی و



شکل ۲. شمایی از زیرحوضه در مدل ریاضی (۲۳)



شکل ۳. روند مدل‌سازی در مدل ریاضی SWMM

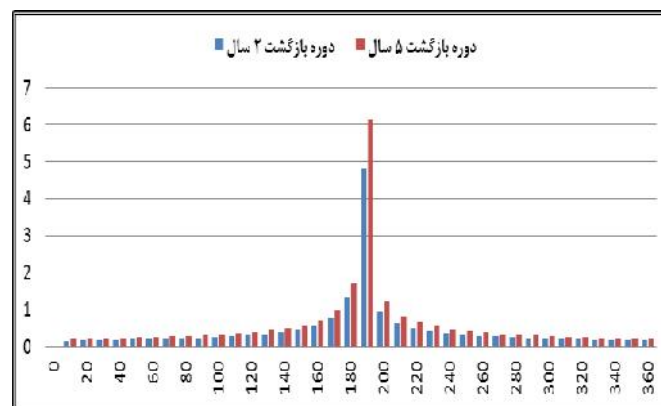
مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

حرکت آب در مجاری سیلاب‌رو تا رسیدن به محل خروجی، بیش از شش ساعت نخواهد بود (۷). لذا، برای انجام محاسبات بارش- رواناب در مدل، با استفاده از منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی (IDF) شهر تهران و به کمک روش بلوک‌های متناوب، الگوی محلی بارش تعیین شد؛ این ترتیب که با استفاده از منحنی‌های مذکور، در بارشی با تداوم شش ساعت، میزان بارندگی در تداوم‌های ۱۰ دقیقه تا ۶ ساعت تعیین و میزان بارش در هر گام زمانی منتخب با بلوک‌های بارش محاسبه می‌شود. سپس، بزرگ‌ترین بلوک بارندگی در ساعت ۳ (وسط تداوم بارش) قرار داده شد. بلوک‌های بعدی، به ترتیب بزرگی، نخست در سمت راست و سپس در سمت چپ بزرگ‌ترین بلوک قرار داده می‌شود. شکل ۴ هیتوگراف بارش را در سیلاب‌های ۲ و ۵ سال نشان می‌دهد.

بر اساس شرایط فوق، شبکه به ۲۳۵ زیرحوضه تقسیم می‌شود که با استفاده از امکانات سیستم GIS، مشخصات مربوط به هر یک از زیرحوضه‌ها تعیین و به محیط نرم‌افزار منتقل می‌شود. فرایندهای مربوط روی آن‌ها تعریف و اجرا شده است. تعیین میزان نفوذ با استفاده از معادلات هورتون تعریف شد.

ملاحظات فنی و آماری، همچنین قوانین و مقررات جاری، در بسیاری از کشورها برای انتخاب تداوم بارندگی در نظر گرفته می‌شود. از جنبه فنی لازم است حداقل تداوم بارش طراحی برابر یا بزرگ‌تر از زمان تمرکز کل حوضه در نظر گرفته شود تا تأثیر تمامی اجزای حوضه آبریز در تولید سیلاب‌های خروجی از حوضه لحاظ شود. بررسی زمان تمرکز حوضه‌های شهر تهران نشان می‌دهد که در هیچ حالتی، مجموع زمان تمرکز حوضه‌ها به علاوه زمان تمرکز



شکل ۴. هیتوگراف بارش در دوره‌های بازگشت دو و پنج ساله

هیدرولیکی، به‌خصوص کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، با توجه به ملاحظات شهری منطقه مورد مطالعه و بر اساس آمار موجود بارش ایستگاه‌ها، شبیه‌سازی هیدرولیکی رواناب در مدل بر اساس بارش با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال انجام شد.

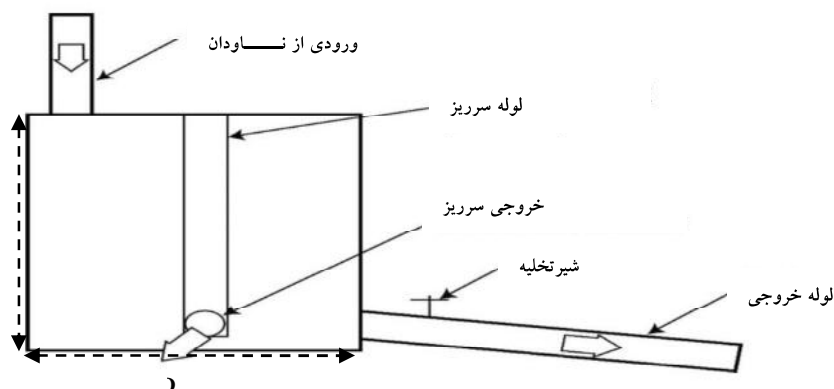
بر اساس مطالعات انجام‌شده روی بارش‌های شهر تهران و نتایج به‌دست آمده، روشن شده است که برای بارش‌های سه ساعته و طولانی‌تر، شدیدترین بخش بارندگی در اواسط بارش رخ می‌دهد. این مطلب در ساخت الگوی بارش محلی شهر تهران رعایت شده است (۲ و ۸). با توجه به اهمیت سیلاب در طراحی سازه‌های

مدیریت آب و آبیاری

روش توسعه کم‌اثر بشکه ذخیره آب باران

با توجه به شرایط اجتماعی و اقتصادی منطقه مورد مطالعه، فضای کاربری، همچنین در دسترس بودن تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای نصب و اجرا، از جمله روش‌های توسعه کم‌اثر، روش بشکه‌های ذخیره آب باران انتخاب شد تا بتوان با به‌کارگیری آن در محدوده مورد مطالعه، دبی اوج سیلاب را به‌نحو مطلوبی کاهش داد. از آنجا که در منابع مختلف و مراجع گوناگون استاندارد خاصی برای ابعاد

بشکه باران ارائه نشده است، لذا در این تحقیق بر اساس ملاحظات اجرایی و پس از مشاوره با شرکت‌های سازنده این نوع سازه‌ها، دو اندازه با قطرهای ۱ و ۱/۵ متر و ارتفاع ۲ متر توصیه شد. شایان ذکر است در ابعاد توصیه‌شده، به موجودیت در بازار و در دسترس بودن نیز توجه شده است. شکل ۵ شمایی از نمونه بشکه ذخیره آب باران را نشان می‌دهد.



شکل ۵. شمایی از بشکه ذخیره آب باران (۱۸)

این سازه‌ها با عملکرد مشابه مخزن تعدیل سیلاب و به‌صورت غیرمتمرکز در کاهش حجم دبی پیک و اوج هیدروگرافی مؤثر است و سیلاب را به‌نحو مؤثری کنترل می‌کند. روندیابی در این بشکه‌ها مانند روندیابی مخزن تعدیل سیلاب است. در مدلسازی مخزن هم‌زمان با هر جریان ورودی، یک جریان خروجی هم وجود دارد. در این روش نخست آب باران، از سطوح پشت‌بام به‌وسیله ناودانی به سمت مخزن ذخیره آب هدایت و در آنجا ذخیره می‌شود. آب مازاد به‌صورت سرریز از مخزن خارج و به سطح شهر می‌رود؛ یعنی، در مدلسازی بشکه ذخیره هیدروگراف ورودی برای کل حجم مخزن تهیه می‌شود و پس از پرشدن کامل بشکه، هیدروگراف خروجی با کاهش

حجم سیلاب و ایجاد تأخیر در نقطه اوج سیلاب به‌وجود می‌آید. شیر تخلیه برای خروج کل سیلاب در آن نیز تعبیه شده است. استفاده از این آب در داخل ملک یا اطراف آن به‌صورت مصارف غیرشرب است. با توجه به نقشه منطقه مورد مطالعه، تعداد بشکه‌های ذخیره متناسب با تعداد ساختمان‌ها (پشت‌بام‌ها) و در حدود ۱۰۰۰ بشکه تعیین شد. محل نصب آن در فضای محدود پارکینگ ساختمان‌ها و بسته به شرایط هر ساختمان در نظر گرفته می‌شود. ساخت، نصب و راه‌اندازی آسان، و قابلیت تعمیر و اتصال به فناوری‌های جدید از مزایای این سیستم است. قیمت ارزان و جداسازی رواناب ناشی از بام خانه از شبکه آب‌های سطحی از دیگر ویژگی‌های این روش است (۲۷ و ۱۸).

مدیریت آب و آبیاری

تجزیه و تحلیل اقتصادی

ارزیابی مالی - اقتصادی پروژه از مهم‌ترین رکن‌های تصمیم‌گیری برای مقایسه دو یا چند پروژه با یکدیگر است و مدیران از نتایج آن در تصمیم‌گیری جهت انتخاب پروژه‌های مناسب استفاده می‌کنند. در این تحقیق، برای سیلاب ده ساله، نخست در وضع موجود، برآورد هزینه برای بهسازی کانال‌ها انجام می‌شود. در ادامه در زمان به‌کارگیری روش شبکه باران، برآورد هزینه برای یک شبکه (با دو قطر مختلف) انجام شد. با توجه به فضای استقرار شبکه برای هر ساختمان، قیمت نصب و اجرای یک شبکه، در تعداد کل پشت‌بام ساختمان‌ها ضرب شد و هزینه اجرا برای هر دو قطر به دست آمد. مقایسه آن در بخش نتایج آمده است.

نتایج و بحث

مطابق نتایج به دست آمده، مساحت منطقه مورد مطالعه به ۲۳۵ زیرحوضه مجزا تقسیم شد. شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شامل مجاری سرپوشیده و کانال‌های روباز است، متشکل از ۱۳۷ گره و ۱۳۶ مجرا یا کانال سیلاب‌روست. بارش طرح شش ساعته با دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده ساله به ترتیب ۱۷/۴ میلی‌متر، ۲۱/۹۲ میلی‌متر و ۲۵/۵۹ میلی‌متر محاسبه شد. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی شبکه زهکشی شهری منطقه مورد مطالعه با مدل ریاضی SWMM انجام شد. شبیه‌سازی در شبکه منطقه مورد مطالعه در سه سناریوی وضع موجود، استفاده از روش شبکه باران با قطر ۱ متر و استفاده از روش شبکه باران با قطر ۱/۵ متر برای دوره‌های بازگشت مذکور انجام شد. مدت زمان تحلیل جریان دوازده ساعت در نظر گرفته شد.

نتایج مدل‌سازی در سناریوی وضع موجود نشان می‌دهد که در دوره بازگشت دو سال، ۱۰ درصد گره‌ها دچار

آبگرفتگی شد و به میزان ۱۹/۳ درصد رواناب از گره‌ها خارج شده است. در سیل با دوره بازگشت پنج سال، با ۲۶ درصد گره با وضعیت آبگرفتگی، حدود ۲۴ درصد حجم رواناب از محل گره‌ها خارج شده است. در ادامه، نتایج مدل‌سازی در سیلاب ده سال نشان داد به‌ازای تقریباً ۴۲ درصد محل دارای آبگرفتگی، حدود ۲۷ درصد حجم رواناب از گره‌ها خارج شد. لذا، بر اساس نتایج، ناکارایی شبکه موجود در عبور سیلاب‌های مورد بررسی مشهود است و این وضعیت باعث ایجاد مشکل برای ساکنان شده است.

در سناریوی دوم با به‌کارگیری شبکه با ابعاد بزرگ‌تر، نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که در زمان وقوع سیل با دوره بازگشت دو سال، ۴ درصد گره‌ها دچار آبگرفتگی شد که به میزان ۱۰/۲ درصد آب از آن خارج شده است. درصد فرار رواناب، در سیل با دوره بازگشت پنج سال که در آن ۵ درصد گره‌ها وضعیت آبگرفتگی داشت، حدود ۱۴/۵ درصد و در سیلاب ده ساله، به‌ازای تقریباً ۷ درصد محل دارای آبگرفتگی، حدود ۱۶/۵ درصد حجم رواناب از گره‌ها خارج شد.

نتایج به دست آمده از مدل‌سازی شبکه در سناریوی سوم، با به‌کارگیری شبکه با ابعاد کوچک‌تر، نشان می‌دهد، در سیل دو ساله، که ۴ درصد گره‌ها دارای آبگرفتگی است، ۱۰/۳ درصد رواناب از آن خارج شده است. این نتایج در سیل پنج ساله به ترتیب ۱۳ و ۱۹ درصد محاسبه شده است. در سیل ده ساله، درصد فرار رواناب برای ۳۲ درصد گره دارای آبگرفتگی، معادل ۲۴/۳ درصد به دست آمده است. لذا، بر اساس نتایج شبیه‌سازی وضع موجود، ناکارایی شبکه موجود در عبور سیلاب‌های مورد بررسی مشهود است.

از نتایج به دست آمده در این مطالعه و تراز سطح آب در پروفیل‌های طولی مقاطع می‌توان چنین استنباط کرد که تمام منطقه، به‌خصوص نواحی جنوبی و شرقی، از لحاظ

بررسی تأثیر روش توسعه کم‌اثر شبکه ذخیره آب باران در کاهش آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیلاب شهری

کاربری محدود برای نصب شبکه‌ها در هر یک از ساختمان‌ها (پارکینگ‌ها) و تعداد آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. بررسی نتایج حاصل از مدلسازی (جدول ۱) نشان می‌دهد که در شرایط به‌کارگیری تکنیک نوین شبکه باران با قطر ۱ متر، میزان فرار آب از محل‌های آب‌گرفتگی در دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده سال به ترتیب معادل ۱۰/۳، ۱۹ و ۲۴/۳ درصد است که نسبت به نتایج مدلسازی در شرایط وضع موجود برای دوره‌های بازگشت مذکور نیز به ترتیب ۴۷، ۲۱/۶ و ۹/۷ درصد کاهش داشته است. اما همین کاهش در نتایج شبیه‌سازی در شرایط استفاده از روش نوین شبکه ذخیره آب باران با قطر ۱/۵ متر به ترتیب ۴۷/۳، ۳۹/۶ و ۳۸/۷ درصد بوده است.

خطر سیل آب‌گرفتگی و کارایی شبکه زهکشی تقریباً در شرایط نامساعدی قرار دارد. این موضوع در مناطقی پررنگ‌تر است که از لحاظ ابعاد ظرفیت کافی را برای عبور رواناب سطحی ندارد. هنگام اجرای پروژه‌های کنترل سیلاب شهری، این مناطق در اولویت قرار دارد. پس از شبیه‌سازی وضع موجود، به‌منظور کاهش آب‌گرفتگی و افزایش ظرفیت موضعی در کانال‌ها، روش توسعه کم‌اثر شبکه ذخیره آب باران در مدلسازی در منطقه مورد مطالعه و برای دوره‌های بازگشت مذکور استفاده شد. نتایج نشان داد در هر سه دوره بازگشت، محل‌های آب‌گرفتگی با افزایش ابعاد شبکه کاهش می‌یابد. ابعاد شبکه، همان‌طور که قبلاً هم توضیح دادیم، متناسب با شرایط منطقه و فضای

جدول ۱. محل‌های آب‌گرفتگی، برای سیل با دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده ساله در شرایط با/ بدون استفاده از شبکه ذخیره آب باران

دوره بازگشت (سال)	روش‌های مدلسازی	قطر شبکه ذخیره (متر)	تعداد گره‌های دارای فرار آب	کاهش تعداد نقاط آب‌گرفتگی (درصد)	حجم فرار آب از گره‌ها (درصد)	کاهش حجم فرار آب از گره‌ها (درصد)
۲	بدون روش توسعه کم‌اثر	-	۱۳	-	۱۹/۳	-
	با روش توسعه کم‌اثر	۱	۵	۶۱	۱۰/۳	۴۷
	کم‌اثر	۱/۵	۵	۶۱	۱۰/۲	۴۷/۳
۵	بدون روش توسعه کم‌اثر	-	۳۵	-	۲۴	-
	با روش توسعه کم‌اثر	۱	۱۷	۵۳	۱۹	۲۱/۶
	کم‌اثر	۱/۵	۶	۸۳	۱۴/۵	۳۹/۶
۱۰	بدون روش توسعه کم‌اثر	-	۵۷	-	۲۷	-
	با روش توسعه کم‌اثر	۱	۴۳	۲۵	۲۴/۳	۹/۷
	توسعه کم‌اثر	۱/۵	۹	۸۴	۱۶/۵	۳۸/۷

مدیریت آب و آبیاری

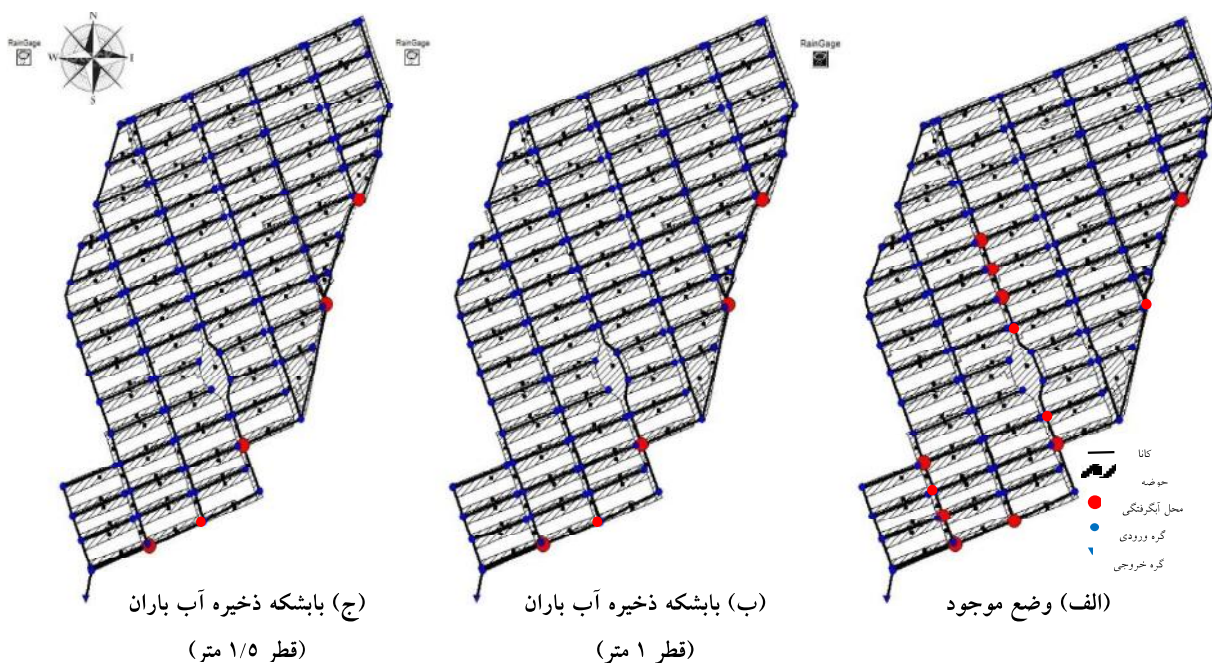
دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

مقایسه نتایج به دست آمده در جدول ۱ برای سیلاب با دوره‌های بازگشت پنج و ده سال نشان می‌دهد که در مقایسه با سیل با دوره بازگشت دو سال، افزایش ابعاد شبکه ذخیره باران در کاهش درصد آبگرفتگی تأثیر بسیاری دارد. بر این اساس در سیلاب با دوره‌های بازگشت پنج و ده سال، افزایش ابعاد شبکه باران باعث شد تا حجم فرار آب از گره‌ها حدود ۴۰ درصد کاهش پیدا کند.

نتایج در شکل‌های خروجی از مدل ریاضی SWMM با سناریوی مختلف شبیه‌سازی شامل وضع موجود و بعد از استفاده از روش شبکه ذخیره باران، به خوبی نشان‌دهنده تأثیر مثبت به کارگیری روش‌های توسعه کم‌اثر در مدیریت صحیح سیلاب‌های شهری در دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده ساله است. در شکل‌های ۶ تا ۸، محل‌های آبگرفتگی در شبکه در شرایط با/بدون استفاده از روش شبکه ذخیره آب باران، در دوره‌های بازگشت پنج و ده ساله نشان داده شده است تا نتایج بیان‌شده از وضعیت شبکه، قابل درک باشد.

در واقع، نتایج جدول ۱ بیانگر آن است که نتایج مدل‌سازی در شرایط استفاده از روش شبکه ذخیره آب باران در سیلاب‌های کوچک، تعداد محل‌های آبگرفتگی را تا میزان ۸۰ درصد و حجم فرار آب را تا میزان ۴۰ درصد کاهش می‌دهد.

مطابق نتایج مذکور، در روش استفاده از شبکه باران، برای سیل دو ساله، افزایش قطر باعث می‌شود تا درصد آبگرفتگی از ۴۷ درصد (قطر ۱ متر) به ۴۷/۳ درصد (قطر ۱/۵ متر)، معادل ۰/۳ درصد کاهش، برسد که این میزان در کاهش حجم فرار آب از شبکه تأثیر بسیار ناچیزی می‌گذارد. لذا ریزال در صورتی که هدف مدیران بهبود وضعیت موجود در سامانه‌های سیلاب‌رو برای سیلاب با دوره بازگشت دو سال باشد، بهره‌گیری از شبکه باران مؤثر است، اما افزایش قطر در این تحقیق، تغییر چندانی قابل توجهی در کاهش اثر آبگرفتگی سیلاب و تعداد محل‌های آبگرفتگی نخواهد داشت. این در حالی است که

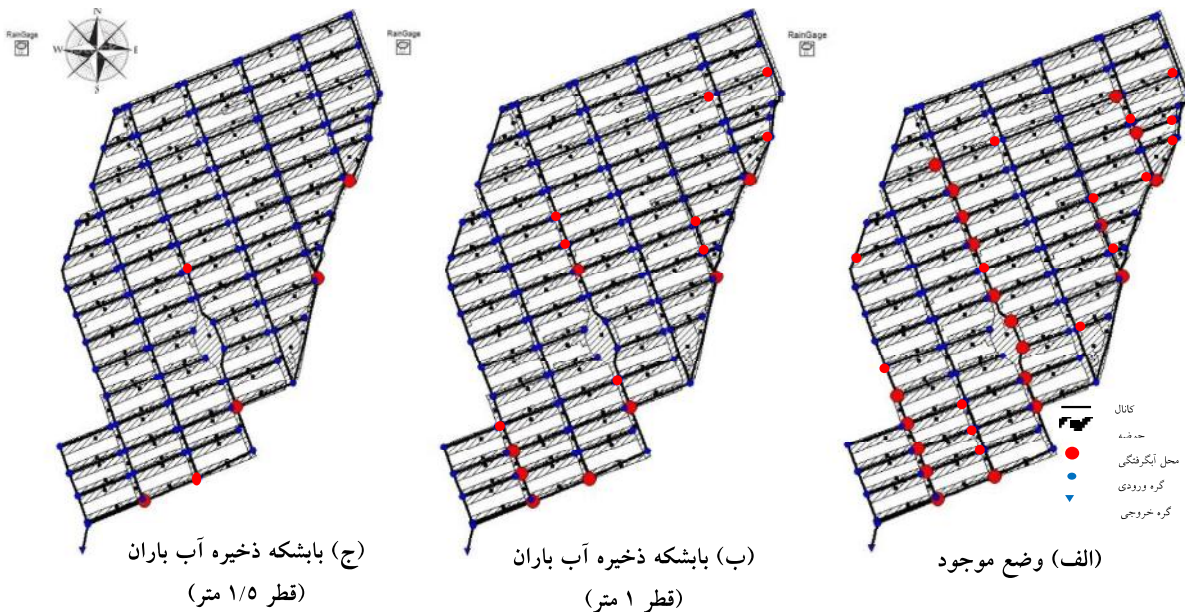


شکل ۶. محل‌های آبگرفتگی برای سیل با دوره بازگشت دو سال

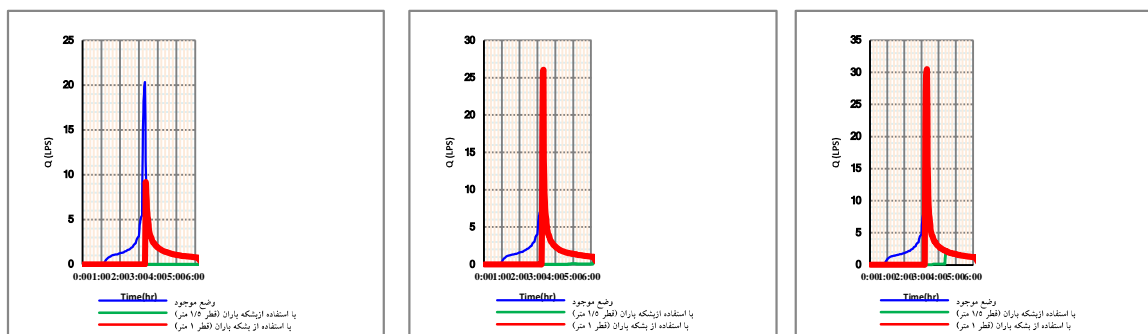
مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

بررسی تأثیر روش توسعه کم‌اثر شبکه ذخیره آب باران در کاهش آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیلاب شهری



شکل ۷. محل‌های آبگرفتگی برای سیل با دوره بازگشت پنج سال



شکل ۸. هیدروگراف ناشی از مدلسازی شبکه برای زیرحوضه Sr-1 در بالادست شبکه در حالت با/بدون شبکه باران در دوره بازگشت‌های مختلف

هیدروگراف به‌دست‌آمده از نتایج مدلسازی بر اساس سناریوهای مختلف در دوره‌های بازگشت مختلف به شرح شکل ۸ به تصویر کشیده شده است تا این بهبود شرایط پس از به‌کارگیری فناوری‌های نوین در زیرحوضه نیز نشان داده شود.

در ادامه، هیدروگراف تولیدی برای یکی از زیرحوضه‌ها در شرایط سیلاب با دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده ساله برای حالت‌های با/بدون شبکه ذخیره آب باران در قطرهای ۱ و ۱/۵ متر در شکل ۸ نشان داده شده است. مقایسه بهتر شرایط، برای یکی از زیرحوضه‌ها،

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، استفاده از شبکه ذخیره آب باران با قطر ۱ متر، علاوه بر اینکه توانسته است اوج دبی سیلاب دو ساله را در حدود ۶۸ درصد کاهش دهد، باعث ایجاد تأخیر مناسبی در اوج سیلاب دو ساله نیز شده است. این در حالی است که شبکه باران به قطر ۱ متر، تنها توانایی ایجاد تأخیر بسیار ناچیزی در اوج سیلاب پنج و ده ساله را دارد، بدون اینکه از اوج سیلاب بکاهد.

در مقایسه با شبکه ذخیره باران به قطر ۱ متر، شبکه به قطر ۱/۵ متر توانست تأثیر بسیار خوبی در کاهش اوج سیلاب پنج و ده ساله داشته باشد و تأخیر مناسبی در حدود یک ساعت را در سیل ده ساله ایجاد کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که برای سیل با دوره‌های بازگشت دو تا ده سال استفاده از شبکه ذخیره با قطر ۱/۵ متر تأثیر قابل‌قبولی هم در کاهش اوج سیلاب و هم در ایجاد تأخیر مناسب در اوج سیلاب تولیدی دارد.

پس از مقایسه نتایج هیدرولیکی، نتایج اقتصادی به‌منظور تسهیل در امر تصمیم‌گیری برای اجرای گزینه‌ها تجزیه و تحلیل شده است. در وضع موجود، هزینه بهسازی کانال‌ها به‌منظور افزایش ظرفیت کانال، در سیلاب ده ساله، معادل ۲۷ میلیارد ریال می‌شود. در زمان به‌کارگیری شبکه با ابعاد بزرگ‌تر هزینه معادل ۳۶ میلیارد ریال می‌شود که در مقایسه با وضع موجود ۲۵ درصد افزایش داشته است. اما برای شبکه با ابعاد کوچک‌تر، هزینه نصب و اجرا معادل ۱۶ میلیارد ریال محاسبه شده است که در مقایسه با وضع موجود حدود ۴۰ درصد کاهش داشته است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۱۵۰ هکتار بود که در آن وضعیت شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی محدوده مورد مطالعه که با مدل ریاضی SWMM

مدل شده بود برای سه سناریوی (۱) وضع موجود، (۲) استفاده از روش شبکه باران با قطر ۱ متر و (۳) استفاده از روش شبکه باران با قطر ۱/۵ متر برای دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده ساله شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی وضع موجود نشان داد، در دوره‌های بازگشت‌های مذکور، از کل ۱۳۷ گره به‌ترتیب ۱۰، ۲۶ و ۴۱/۶ درصد گره‌ها دچار آبگرفتگی شد. با توجه به کل حجم رواناب، درصد روانابی که از این گره‌ها خارج می‌شود به‌ترتیب به میزان ۱۹/۳، ۲۴ و ۲۷ درصد محاسبه شد. همین نتایج نشان داد در حالت استفاده از شبکه باران با ابعاد کوچک‌تر، در دوره‌های بازگشت دو، پنج و ده ساله از کل گره‌ها به‌ترتیب حدود ۴، ۱۲/۴ و ۳۱/۴ درصد گره‌ها دچار آبگرفتگی شد. حجم رواناب خروجی از این گره‌ها به‌ترتیب به میزان ۱۰/۳، ۱۹ و ۲۴/۳ درصد تعیین شد. در حالت شبیه‌سازی با استفاده از شبکه ذخیره با ابعاد بزرگ‌تر نتایج نشان داد که در همین دوره‌های بازگشت، به‌ترتیب حدود ۴، ۵ و ۷ درصد از کل گره‌ها دچار آبگرفتگی شد. حجم فرار آب از این گره‌ها به‌ترتیب به میزان ۱۰/۲، ۱۴/۵ و ۱۶/۵ درصد محاسبه شد.

مقایسه نتایج سناریوی اول و دوم نشان می‌دهد که کاهش محل‌های آبگرفتگی و حجم فرار آب در سیل دو ساله به‌ترتیب ۶۱ و ۴۷ درصد، در سیل پنج ساله به‌ترتیب ۵۱/۵ و ۲۱/۶ درصد و در سیل ده ساله به‌ترتیب ۲۴/۵ و ۹/۷ درصد به‌دست آمده است. با مقایسه نتایج سناریوهای اول و سوم، می‌توان مشاهده کرد که میزان کاهش محل‌های آبگرفتگی و حجم فرار آب در سیل دو ساله به‌ترتیب ۶۱ و ۴۷/۳ درصد، در سیل پنج ساله به‌ترتیب ۸۳ و ۳۹/۶ درصد و در سیل ده ساله به‌ترتیب ۸۴ و ۳۸/۷ درصد محاسبه شده است. مطابق نتایج مدل‌سازی به‌دست‌آمده، استفاده از روش توسعه کم‌اثر شبکه ذخیره آب باران بسیار مؤثر است و در سیلاب‌های کوچک، تعداد محل‌های آبگرفتگی را تا میزان ۸۰ درصد و حجم فرار آب را تا میزان ۴۰ درصد کاهش

مدیریت آب و آبیاری

مزیت‌های روش توسعه کم‌اثر در جمع‌آوری رواناب‌های سطحی شهر. همایش ملی استفاده از فناوری‌ها و تکنولوژی‌های نوین طراحی، محاسبه و اجرا در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی. مراغه، آذربایجان غربی.

۴. سلطانی ک.، سلیمانی باب‌صاد ح. و رضوانی پوردستجردی ف. (۱۳۹۳) روش‌های نوین معماری و شهرسازی در توسعه کم‌اثر. اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. تهران.

۵. شریفان ر.، روشن ا. و اوجی م. (۱۳۸۷) به‌کارگیری مدل SWMM در طراحی و جمع‌آوری رواناب سطحی. هفتمین کنفرانس هیدرولیک. دانشگاه صنعت آب و برق، تهران.

۶. شهبازی، ع. (۱۳۹۲) مدیریت رواناب برای کاهش خطرات با استفاده از مدل SWMM. مطالعه موردی شهر ماهدشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.

۷. طاهری بهبهانی م. و بزرگ‌زاده م. (۱۳۷۵) سیلاب‌های شهری. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، تهران، ۵۳۶ صفحه.

۸. طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی تهران (۱۳۹۱) جلد یازدهم، خلاصه گزارش مطالعات، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران. ۲۶۹ صفحه.

۹. نصری م. و همکاران (۱۳۸۲) سیمای اقلیمی منطقه اردستان، رخدادهای سیل و خشکسالی و اثرات آن. مجموعه مقالات همایش منطقه‌ای اردستان. اصفهان.

10. Alca'ntara-Ayala I. (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Geomorphology. 47: 107-124.

می‌دهد. همچنین، استفاده از روش شبکه ذخیره با ابعاد بزرگ‌تر برای کاهش دبی پیک سیلاب در دوره‌های بازگشت پنج و ده ساله در مقایسه با دو ساله مفیدتر و کاربردی‌تر است. مطابق نتایج اقتصادی، گزینه استفاده از شبکه باران با ابعاد کوچک‌تر هر چند به لحاظ نتایج مدلسازی هیدرولیکی و مؤثر بودن در کاهش دبی پیک، بعد از شبکه باران با ابعاد بزرگ‌تر قرار می‌گیرد، از لحاظ اقتصادی تا حدود ۴۰ درصد کاهش هزینه دارد که باید به ترکیبی از شرایط هیدرولیکی و اقتصادی در تصمیم‌گیری توجه داشت.

لازم به ذکر است استفاده از مدل ریاضی به‌کار گرفته‌شده در این تحقیق، به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، علاوه بر شناخت کافی وضعیت سیستم، منجر به ارائه راهکارهای کاربردی و عملی‌تر شود. علاوه بر این، با استفاده از این ابزار، این امکان برای مدیران اجرایی به وجود می‌آید تا سناریوهای مختلف مدیریتی را که امکان اجرای آن‌ها در زمان کوتاه وجود ندارد، بدون صرف هزینه سنگین ارزیابی کنند و با تحلیل نتایج، بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند.

منابع

۱. رستمی پ.، فروتن ا.، وروانی ج. و عباسی‌زاده م. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر شهرسازی در رواناب حوزه‌های آبخیز شهری با استفاده از مدل SWMM - مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران. پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. کرمان.

۲. رضیی ط. (۱۳۷۹) تعیین الگوی زمانی و مکانی بارش‌های کوتاه‌مدت در استان تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳. سعیدی م.، حسینی ر. و ملازاده م. (۱۳۹۴) بررسی

11. Chiang Y.M., Chang L.C., Tsai M.J., Wang Y.F. and Chang F.J. (2010) Dynamic neural networks for real time, water level predictions of sewerage systems— covering gauged and ungagged sites. *Hydrology and Earth System Sciences*. 7: 2317-2345.
12. De Hoo A., Odijk M., Koster E. and Lucieer A. (2001) Assessing the effects of land use changes on floods in the meuse and oder catchments. *Phys.Chem. Earth (B)*. 26(7-8): 593-599.
13. Elliott A.H. and Trowsdale S.A. (2007) A review of models for low impact urban storm water drainage. *Environmental Modeling & Software*. 22(3): 394-405.
14. Fernandez D.S. and Lutz M.A. (2010) Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*. 111.1: 90-98.
15. Huong H.T.L. and Pathirana A. (2013) Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydro l. Earth Syst. Sci*. 17: 379-394.
16. Janga S., Chob M., Yoone J., Yoond Y., Kime S., Kimf G., Kimg L. and Aksoyh H. (2007) Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*. 212(1): 344-356.
17. Jung-min L., Kyoung-hak H., Jong-soo C., Yeojin Y., Franz K. and Geronimo F. (2012) Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5. *Desalination and Water Treatment*. 38(1-3): 255-261.
18. MAbi Aad M.P., Suidan M.T. and Shuster W.D. (2009) Modeling techniques of best management practices(BMPs): rain barrels and rain gardens using EPA SWMM-5. *Hydrologic Engineering*. 15(6): 434-443.
19. Matlock M., Tate R., Niederman Z., Lewis S.E. and Metrailer J. (2010) Low impact development manual for Arkansas, Center for Agricultural and Rural Sustainability.
20. Mikovits C., Rauch W. and Kleidorfer M. 2014. Dynamics in urban development, population growth and their influences on urban water infrastructure. *Procedia Engineering*. 70: 1147-1156.
21. Prince George's County (1999) Low-impact development design strategies: An integrated design approach. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, Prince George's County, Maryland.
22. Rossman L.A. (2010) Storm water management model user's manual, version 5.0 , Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, p. 276.
23. Rossman L. (2016) Storm water management model reference manual volume 1 - hydrology - revised, EPA No. 600/R-15/162A, 235 pp.
24. Sharifian R.A., Roshan A., Afaltoni M., Jahadi A. and Zolghadr M. (2010) Uncertainty and sensitivity analysis of SWMM model in computation of manhole water depth and sub catchment peak flood. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. [In Persian]
25. Sin J., Jun C., Zhu J.H. and Yoo C. (2014) Evaluation of flood runoff reduction effect of LID (low impact development) based on the decrease in CN: Case studies from Gimcheon Pyeonghwa district, Korea. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry. CCWI2013, *Procedia Engineering*, 70: 1531-1538.

26. US Environmental Protection Agency (USEPA) (2000) Low Impact Development (LID): A literature review. Washington, DC, <http://water.epa.gov/polwaste/green/upload/lid.pdf> Accessed Sept. 7.
27. Weston Solutions, Inc. (2010) Rain barrel downspout disconnect best management practice effectiveness monitoring and operations program final report. Storm Water Department, Pollution Prevention Division, San Diego, 53 p.
28. Young K.D., Younos T., Dymond R.L. and Kibler D.F. (2009) Virginia's storm water impact evaluation: developing an optimization tool for improved site development, selection and placement of storm water runoff best management practices (BMPs). Virginia Water Resources Research Center (VWRRC) SR44-2009, Virginia Tech, Blacksburg, USA.