

مدلسازی کمی و کیفی رواناب شهری با بهره‌گیری از روش‌های توسعه کم اثر (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری تهران)

حسین زنجانیان^۱، امین سارنگ^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست-منابع آب، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۲*- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

* ایمیل نویسنده مسئول: sarang@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

چکیده

امروزه مدیریت رواناب شهری یکی از مباحث مهم در مدیریت شهری محسوب می‌شود به گونه‌ای که روش‌های مختلفی جهت کنترل کمی و کیفی سیلاب در محدوده شهری به صورت روش‌های توسعه کم اثر پیشنهاد شده است. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از اطلاعات به دست آمده از محدوده مورد مطالعه که منطقه ده شهرداری تهران می‌باشد، مدلسازی کمی در نرم افزار EPA SWMM انجام شد و نقاط بالقوه از نظر عمق آبگرفتگی، حجم، سرعت و دبی سیلاب به دست آمد. سپس با استفاده از روش‌های سلول ماند بیولوژیکی و روسازی نفوذپذیر که برای محدوده مورد مطالعه قابلیت اجرایی دارند، پارامترهای کمی ذکر شده در حالت کاربرد تکی (سناریو ۲ و ۳) و ترکیبی (سناریو ۴) این روش‌ها با شرایط بدون استفاده از آن‌ها (سناریو ۱) مورد مقایسه قرار گرفت. در مدلسازی کیفی نیز پارامترهای غلظت مواد جامد معلق، نیتروژن کل و فسفر کل به عنوان پارامترهای کلیدی جهت مدلسازی کیفی تعریف شد و مشابه حالت کمی، میزان غلظت‌های موجود برای سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که اثرپذیری این روش‌ها در کاهش پارامترهای کیفی نسبت به حالت کمی بیشتر بوده به گونه‌ای که در سناریو ۴ می‌توان حدود ۷۷ درصد از غلظت کل مواد جامد معلق را کاهش داد؛ در حالی که تأثیر این سناریو در کاهش دبی پیک سیلاب حدود ۵۵ درصد است. همچنین، در حالت کمی بیشترین تأثیر این روش‌ها بر روی دبی پیک سیلاب و عمق آبگرفتگی (به ترتیب) می‌باشد و در حالت کیفی نیز این روش‌ها در کاهش غلظت پارامتر TSS نسبت به سایر پارامترها تأثیر بیشتری دارد. در حالت استفاده تکی نیز کارایی روش روسازی نفوذپذیر نسبت به سلول ماند بیولوژیکی در مدل کمی و کیفی بهتر می‌باشد. این نتایج می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان مربوطه جهت اجرای روش‌های مؤثر برای کنترل کمی و کیفی رواناب شهری کمک نماید.

کلمات کلیدی

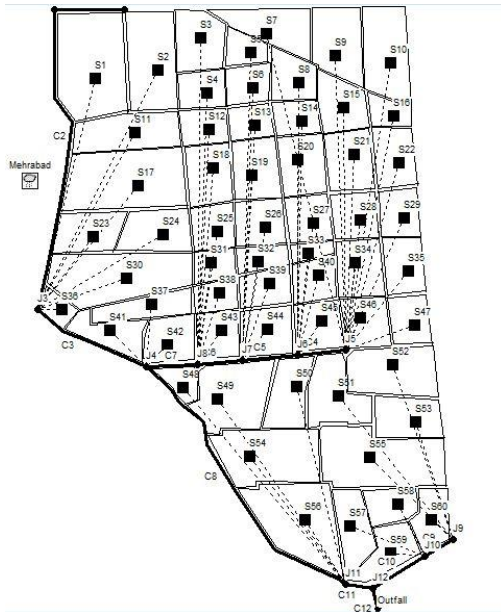
"مدل SWMM"، "منطقه ۱۰ شهرداری تهران"، "رواناب شهری"، "روش‌های توسعه کم اثر".

۱- مقدمه

طریق شبیه‌سازی رواناب سطحی در شهر گرگان با مدل SWMM انجام شد. تحقیق او این نتیجه را به دست داد که مدل SWMM، برآورد نسبتاً مناسبی را از مولفه‌های جریان داراست و از قابلیت خوبی در تعیین ابعاد بهینه کانال‌های زهکشی برخوردار است. همچنین، کریمی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق خود به منظور شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌هایی از حوزه شهری بابلسر از مدل SWMM استفاده نمودند و برای بارش‌های دو ساعته با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ ساله برای مدت ۱۲ ساعت شبیه‌سازی انجام دادند که نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که از ۲۵۹ گره موجود در شبکه مجاری زیرزمینی و سطحی ۳۲، ۵۷ و ۶۰ گره به ترتیب در دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ سال به سیلاب دچار گردیده‌اند. همچنین، نتایج مطالعه ای در چهار منطقه در کره نشان داد که این مدل می‌تواند خطاهایی از قبیل دبی اوج کوچکتر و زمان تا اوج طولانی‌تر برای شرایط بعد از توسعه را برطرف کند و آثار هیدرولوژیکی توسعه شهری را به خوبی ارزیابی کند (Janga et al, 2007). علاوه بر آن، در مطالعه دیگری به منظور شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوزه شهری ماکائو در کشور کره از مدل SWMM و نرم افزار GIS استفاده گردید و نتایج حاکی از آن است که استفاده از نرم افزار GIS در کسب بعضی از پارامترهای مدل SWMM بسیار موثر عمل می‌نماید و در مواقعی که پارامترهای کافی در دسترس است مدل SWMM از انعطاف پذیری بسیاری برخوردار خواهد بود (Dongquan et

امروزه، پیچیدگی‌های موجود در محیط شهری و زیرساخت‌های زهکشی واقع در حوضه‌های شهری، پیامدهایی بالقوه را در رواناب طبیعی ایجاد می‌نماید. در این راستا، در نتیجه ایجاد نقص یا هر نوع ناکارآمدی در سیستم‌های زهکشی شهری، آب‌گرفتگی موجود در مناطق شهری غالباً خسارات بسیاری را بر ساختمان‌ها و سایر زیرساخت‌های عمومی و خصوصی تحمیل می‌کند. بنابراین، امروزه گسترش شهرها و توسعه شهرنشینی موجب بر هم خوردن توازن و تعادل اکولوژیکی و افزایش نفوذ ناپذیری شده است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷). محققان در طی سالیان اخیر در تلاش برای برقراری ارتباط دقیق‌تری میان بارش و رواناب ناشی از آن می‌باشند. در همین راستا مدل‌های هیدرولوژیکی متعددی از قبیل مدل SWMM با دقتی قابل قبول، کمک‌های بسزایی نموده‌اند. مدل SWMM به عنوان یکی از مدل‌های دینامیک شبیه‌سازی بارش رواناب مطرح می‌باشد که قادر است تا یک واقعه یا کیفیت و کمیت رواناب مناطق شهری را به صورت مداوم شبیه‌سازی نماید (Elliott and Trowsdale, 2007). در این راستا، تحقیقات متعددی در زمینه مدلسازی رواناب در حوضه‌های شهری با استفاده از نرم افزار SWMM انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش بدیعی زاده و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد که در راستای طراحی بهینه شبکه زهکشی نسبت به بارش طرح با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ ساله و از

تواند در هر زیرحوضه، پارامترهایی نظیر سرعت، دبی، عمق و حجم جریان را در لوله یا کانال مورد بررسی قرار دهد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴). از نظر کیفی نیز توانایی پیش‌بینی غلظت جامدات معلق، نیترات، فسفات و سایر آلاینده‌های موجود در رواناب را دارا می‌باشد (شم آبادی و تجریشی، ۱۳۸۶). در این راستا، در پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از مدل ذکر شده، به منظور شبیه‌سازی پارامترهای نفوذ منطقه از روش هورتون استفاده شد. مدل هورتون، به عنوان یک مدل تجربی شناخته شده و کاربرد شکل معمول آن در مواقعی است که شدت بارندگی از شدت نفوذ بیشتر است اما شکل توسعه یافته آن در EPA SWMM اقدام به برطرف نمودن این نقص نموده است (فلاح تفتی و شریفی، ۱۳۸۱). از سویی دیگر، از توابع نمای برای فرآیندهای تجمع و شست و شو آلاینده‌ها با هدف مدل‌سازی کیفی رواناب مورد استفاده قرار گرفت و به منظور نرمالایز کردن پارامترهای هر زیرحوضه در فرآیند تجمع آلاینده‌ها از پارامتر مساحت استفاده گردید. برخی پارامترها از جمله مقادیر بیشینه: حجم، دبی، سرعت و عمق جریان در مدل‌سازی کمی مورد بررسی قرار گرفت. در کنار آن، به منظور مدل‌سازی کیفی نیز مقادیر بیشینه غلظت TSS-TN-TP بررسی گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات لازم جهت مدل‌سازی، در نرم افزار SWMM به رسم زیرحوضه‌ها و سیستم زهکشی پرداخته شد که در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱ - حوضه‌بندی و سیستم زهکشی منطقه مورد مطالعه

بر اساس شکل ۱، محدوده مورد مطالعه به ۶۰ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد و همچنین از ۱۳ گره شامل گره خروجی و ۱۲ لینک به عنوان کانال‌های انتقال جریان برای ایجاد شبکه زهکشی استفاده شد. در این شکل، خطوط پررنگ کانال‌های انتقال جریان و خطوط خط چین نیز مسیر انتقال رواناب از زیرحوضه‌ها به گره خروجی زیرحوضه (Outlet) است. به منظور انتخاب معادله مناسب شدت-مدت و فراوانی بارش از معادله طرح جامع (رابطه ۱) استفاده شد.

$$I=CT^{-0.646}$$

۱.

همچنین، در سال‌های اخیر کاربرد روش‌های توسعه کم-اثر به منظور کنترل کمی و کیفی رواناب شهری مورد توجه قرار گرفته است (Baek et al., 2020; Arjenaki et al., 2021; Ekmekcioğlu et al., 2021). به طور مثال چن^۱ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود با استفاده از مدل SWMM و سنجش از دور به بررسی میزان تأثیرات و عملکرد روش‌های توسعه کم اثر در شهر جینان^۲ واقع در شرق چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد روش‌های توسعه کم اثر به صورت جفت‌شده نسبت به کاربرد تکی می‌تواند عملکرد بهتری داشته باشد (Chen et al., 2021). به طور مشابه، کاربرد این روش‌ها و مدل‌سازی آن با نرم‌افزار SWMM در ایران نیز مورد توجه محققان بوده است (پورصاحبی و همکاران، ۱۳۹۸؛ کبارفرد و همکاران، ۱۳۹۷؛ ناصح‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). با مرور مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی موردنیاز، رواناب متناظر با بارندگی را شبیه‌سازی کند، امری ضروری است. بنابراین، هدف از این مطالعه مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب شهری در منطقه ۱۰ شهرداری تهران با استفاده از مدل EPA SWMM و کاربرد روش‌های توسعه کم اثر (LID) در این منطقه به منظور کاهش پارامترهای کمی نظیر حجم، دبی، سرعت و عمق جریان و همچنین پارامترهای کیفی نظیر غلظت مواد جامد معلق (TSS)، نیتروژن کل (TN) و فسفر کل (TP) می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است تا با نمایش نتایج مدل کمی به صورت نقشه، نواحی بحرانی از نظر آب‌گرفتنی در زیرحوضه‌ها، کانال‌ها و منهول‌ها نمایش داده شود. همچنین، مرور مطالعات انجام شده در کشور نشان می‌دهد که مدل SWMM بیشتر در حیطه مدل‌سازی کمی سیلاب کاربرد داشته و مدل‌سازی کیفی خیلی کمتر مورد بحث قرار گرفته است به طوری که معمولاً در مدل کیفی نیز به مدل‌سازی مواد جامد معلق پرداخته شده است (طاهریون و همکاران، ۱۳۹۵؛ فرزین و همکاران، ۱۳۹۷). لذا، در این پژوهش سعی شده است تا با مدل‌سازی کمی-کیفی منطقه مورد مطالعه و با تمرکز بر مدل‌سازی پارامترهای غلظت مواد جامد معلق به همراه نیتروژن کل و فسفر کل در راستای بهبود خلأ تحقیقاتی اقدام شود.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، منطقه ۱۰ شهرداری تهران با مساحت حدود ۸۰۷ هکتار به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. شیب عمومی این منطقه از سمت شمال به جنوب ۲/۱٪ و از سمت شرق به غرب کمتر از یک درصد است. کاربری غالب این محدوده مسکونی بوده (۵۷٪ سطح منطقه) و بندرت سایر کاربری‌های مهم در سطح منطقه مشاهده می‌شود به گونه‌ای که در فرآیند مدل‌سازی، سه کاربری از جمله مسکونی با تراکم بالا، تجاری و فضای سبز تعریف گردید.

• مدل SWMM

این مدل که به منظور شبیه‌سازی تک‌واقعه‌ای یا پیوسته کمیت و کیفیت رواناب حوزه‌های شهری کاربرد دارد، به عنوان مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب پویا با مبنای فیزیکی شناخته می‌شود به گونه‌ای که می-

¹ Chen

² Jinan

میلی گرم بر لیتر و غلظت TN و TP نیز هر کدام به میزان ۱ میلی گرم بر لیتر است.

۳- نتایج

همان طور که اشاره شد، در این پژوهش مدلسازی کمی و کیفی رواناب شهری ابتدا بدون استفاده از روش های توسعه کم اثر انجام شد (سناریو ۱). سپس از روش های سلول ماند بیولوژیکی (سناریو ۲)، روسازی نفوذپذیر (سناریو ۳) و ترکیبی از سلول ماند بیولوژیکی و روسازی نفوذپذیر (سناریو ۴) استفاده شد. در ادامه، ابتدا نتایج به دست آمده از آنالیز حساسیت مدل ارائه خواهد شد. با توجه به این که در محدوده مطالعاتی، ایستگاه هیدرومتری جهت حصول داده های مورد نیاز برای فرآیند کالیبراسیون و صحت سنجی مدل وجود ندارد، لذا به منظور اطمینان از صحت مدل می توان با تغییر برخی پارامترها و سنجش میزان دبی خروجی جهت تحلیل حساسیت مدل (جدول ۱) اقدام کرد که این روش و پارامترهای مورد نظر در برخی از مطالعات انجام شده است (بیش و همکاران، ۱۳۹۸؛ قشقایی زاده و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱- مقایسه پارامترهای مدل کمی در سناریوهای مختلف

متغیر	مقادیر اولیه	دامنه تغییرات مجاز (%)	بیشینه تغییرات دبی خروجی (%)
شیب (%)	-	±۳۰	-۳/۵۸
عرض معادل (متر)	-	±۳۰	-۶/۱۷
درصد مناطق نفوذناپذیر	-	±۱۰	-۷/۶۲
ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱	±۳۰	+۴/۵۵
ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذپذیر	۰/۱	±۳۰	+۰/۹۹
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر (mm)	۱/۵	±۳۰	+۳/۰۴
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر (mm)	۴	±۳۰	+۲/۴۴

در جدول ۱، سه پارامتر شیب، عرض معادل و درصد مناطق نفوذناپذیر برای هر زیرحوضه دارای مقدار اولیه متفاوتی می باشد و سایر پارامترها دارای مقدار اولیه یکسان برای همه زیرحوضه ها هستند. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، پارامترهای درصد مناطق نفوذناپذیر و عرض معادل به ترتیب بیشترین اثر را بر روی دبی خروجی دارند و سایر پارامترها کمتر از ±۵ درصد تأثیرگذار هستند. در این راستا، برخی مطالعات نیز به اثرگذاری بیشینه پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر بر روی دبی خروجی اشاره کرده اند (بیش و همکاران، ۱۳۹۸؛ طاهریون و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین، دو پارامتر ذکر شده به همراه پارامتر شیب برای هر زیرحوضه از نقشه های موجود در منطقه مورد مطالعه در نرم افزار GIS استخراج شد تا مدل ارائه شده از دقت مناسبی برخوردار باشد.

مدل کمی

نرم افزار SWMM این امکان را دارد تا بر اساس بازه زمانی انتخابی، شرایط کمی و کیفی جریان را نمایش دهد. شکل های ۲-۴ وضعیت کمی سیلاب را در زیرحوضه ها، منهول ها و کانال های انتقال جریان بر

در این رابطه T، I و C به ترتیب نمایانگر شدت بارندگی (میلی متر بر ساعت)، تداوم بارندگی (دقیقه) و ضریبی است که به ارتفاع محل و دوره بازگشت بستگی دارد و براساس جدول مربوطه و برای محدوده مورد مطالعه، مقادیر ضریب C برای دوره بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب ۱۱۳/۶۲۸، ۱۶۸/۷۳ و ۲۰۰/۷۷۸ می باشد.

• روش های توسعه کم اثر

در پژوهش حاضر، روش های سلول ماند بیولوژیکی (سناریو ۲) و روسازی نفوذپذیر (سناریو ۳) به صورت تکی و همچنین به صورت ترکیبی (سناریو ۴) در مدلسازی تعریف شد و با شرایط بدون استفاده از روش های توسعه کم اثر (سناریو ۱) مورد مقایسه قرار گرفت. از میان روش های موجود، روش های نام برده شده به دلیل قابلیت اجرا در محدوده مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

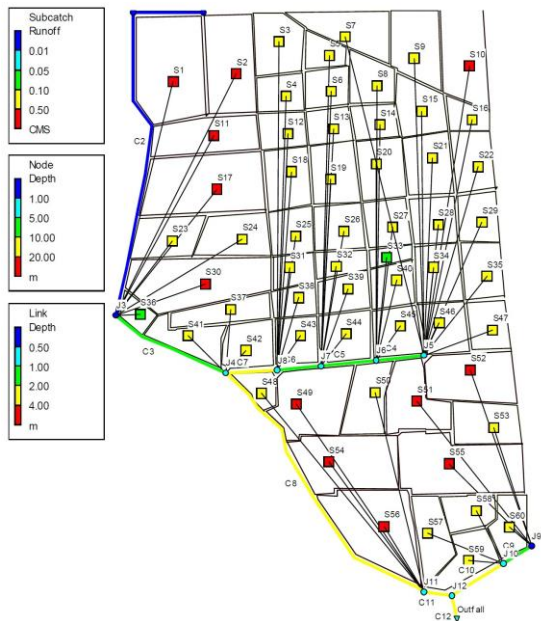
سلول ماند بیولوژیکی

راهکاری برای کنترل کیفیت و کمیت آب و گود رفتگی های سطحی کم عمق شامل لایه سطحی زیستی، لایه ی خاک ماسه ای و لایه نگهداشت است که به منظور حذف آلاینده ها از رواناب سیلاب، از ویژگی های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی گیاهان، میکروب ها و خاک استفاده می نماید (Matlock et al. 2010). لازم به ذکر است که در این پژوهش، عرض هر واحد سلول ماند ۱/۲ متر و مساحت آن ۳/۶ متر مربع در نظر گرفته شد.

روسازی های نفوذپذیر

این نوع روسازی ها هنگامی که بر روی سطح زمین قرار می گیرند، یک فضای خالی بین آنها به وضوح قابل رویت می باشد که آب می تواند از میان آنها نفوذ کند. این فضاهای باز در حدود ۸ تا ۲۰ درصد از مساحت کل سطح هستند که معمولاً با شن پر می شود. کل روسازی از یک لایه فیلتر ۳۸ تا ۷۶ میلی متری و یک لایه ذخیره و یک لایه سنگ فرش تشکیل شده است. سرعت نفوذپذیری در خاک زیر لایه ذخیره باید به گونه ای باشد تا اینکه تمام رواناب جمع شده در لایه ذخیره بعد از ۲۴ تا ۴۸ ساعت تخلیه گردد (Collins, 2007). لازم به ذکر است که به دلیل کاربرد این روسازی در فضاهایی که دارای بار کمتری است (نظیر پیاده رو ها)، فرض شده است که عرض معادل هر واحد آن در مدلسازی ۲ برابر عرض پیاده رو (سمت چپ و راست خیابان) و به میزان ۲/۴ متر می باشد. همچنین، با توجه به فضاهای موجود جهت اجرای این روش ها، فرض شده است که فضای ۲۰-۳۰ درصد برای سلول ماند بیولوژیکی (سناریو ۲) و ۳۰-۴۰ درصد برای روسازی نفوذپذیر (سناریو ۳) از مساحت کل زیرحوضه ها در نظر گرفته شود. همچنین، در روند مدلسازی زیرحوضه ها ضریب مانینگ برای سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر به ترتیب ۰/۱ و ۰/۱ و عمق ذخیره چالابی^۱ در مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر به ترتیب ۱/۵ و ۴ میلی متر در نظر گرفته شد. همان طور که ذکر شد، از معادله هورتن جهت مدلسازی نفوذ استفاده شده است و فرض بر این است که ارتباطی بین آب زیرزمینی و رواناب سطحی وجود ندارد و جهت مدلسازی فقط بارش ۶ ساعته طرح در نظر گرفته شده است، بنابراین پارامترهای آبخوان و همچنین بارش برف در فرآیند مدلسازی وارد نشد. در مدلسازی کیفی نیز فرض شده است که غلظت TSS در آب باران ۱۰

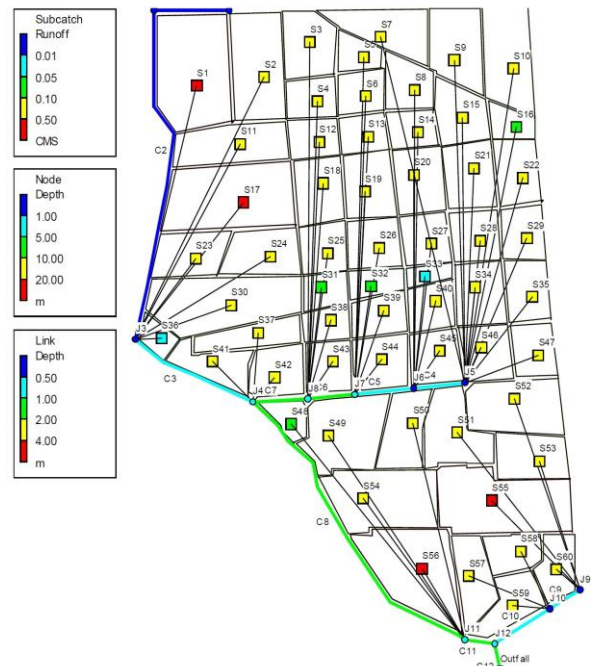
¹ Depth of depression storage



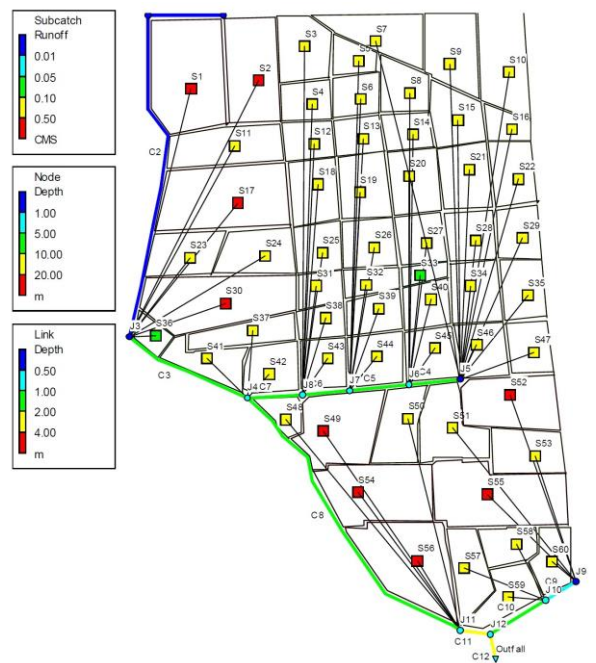
شکل ۱ - وضعیت کمی جریان در شرایط بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله

همان‌طور که در شکل‌های ۲-۴ مشاهده می‌شود، زیرحوضه‌های S1, S17, S55, S56 در بارش با شدت کمتر دارای دبی رواناب با مقادیر بیشینه (بیشتر از ۵، مترمکعب بر ثانیه) بوده و با افزایش شدت بارش زیرحوضه‌های S2, S10, S11, S30, S49, S51, S52, S54 نیز به جمع زیرحوضه‌های قبل اضافه می‌شود. می‌توان گفت که مساحت زیرحوضه‌ها در این بخش مهم بوده زیرا زیرحوضه‌های ذکر شده دارای مساحت بیشتری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها می‌باشد. همچنین در این زمان، لینک‌ها و گره‌هایی که نزدیک به گره خروجی بوده نیز با افزایش شدت بارش (دوره بازگشت ۱۰ ساله) مقادیر عمق آب در آن افزایش می‌یابد که با رنگ‌های آبی کم‌رنگ و زرد نمایش داده شده است. این نقشه‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان مربوطه کمک نماید تا در صورت برنامه ریزی جهت کاهش دبی و عمق آبگرفتگی در محل، بر روی نقاط و زیرحوضه‌های ذکر شده تمرکز بیشتری داشته باشند و همچنین در صورتی که محدودیت بودجه برای اجرای روش‌های توسعه کم اثر وجود دارد، از این روش‌ها می‌توان فقط در زیرحوضه‌های ذکر شده استفاده کرد تا شاهد کاهش عمق آبگرفتگی باشیم. در این راستا، با اجرای سناریوهای ۲ تا ۴، به مقایسه پارامترهای مهم از منظر کمی که شامل ۱- ماکزیمم دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه) ۲- ماکزیمم عمق جریان (متر)، ۳- ماکزیمم سرعت جریان (متر بر ثانیه) و ۴- ماکزیمم حجم جریان (مترمکعب) در کانال منتهی به نقطه خروجی (C12) می‌باشد، پرداخته می‌شود. پارامترهای ذکر شده می‌تواند جهت بررسی میزان اثرپذیری روش‌های توسعه کم اثر و انتخاب این روش‌ها به تصمیم‌گیرندگان مربوطه کمک نماید به گونه‌ای که در جدول ۲ با افزایش درصد کاهش، مقدار اثرپذیری این روش‌ها افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش شدت بارش، پارامترهای دبی، عمق سرعت و حجم رواناب نیز در کانال افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، استفاده از روسازی نفوذپذیر (S3) نسبت به سلول ماند بیولوژیکی (S2) دارای اثرپذیری بیشتری بوده در حالی که با استفاده ترکیبی از این دو روش (S4) شاهد کاهش چشمگیر در پارامترهای مورد بررسی خواهیم بود به گونه‌ای که در این

اساس بارش با دوره‌های مختلف بازگشت نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که این شکل‌ها مربوط به زمانی که شرایط کمی جریان به صورت بحرانی می‌باشد (حدود یک ساعت و ۱۵ دقیقه از شروع بارش).



شکل ۲ - وضعیت کمی جریان در شرایط بارش با دوره بازگشت ۲ ساله



شکل ۳ - وضعیت کمی جریان در شرایط بارش با دوره بازگشت ۵ ساله

ساعت از شروع بارش (بارش ۶ ساعته) مقادیر غلظت این پارامترها به صفر می‌رسد و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رفتار این پارامترها و تغییرات آن مشابه یکدیگر است. در ادامه، در جدول ۳ نیز مشابه مدلسازی کمی، با بررسی و مقایسه نتایج بیشینه غلظت در سناریوهای ۲ تا ۴ با حالت بدون بهره‌گیری از روش‌های توسعه کم اثر (S1) پرداخته خواهد شد تا میزان اثرپذیری این روش‌ها در مدل کیفی نیز مشخص شود. با توجه به جدول ۳، با افزایش شدت بارش مقادیر غلظت پارامترهای فوق افزایش می‌یابد. پیرامون اثرپذیری روشهای سلول ماند بیولوژیکی و روسازی نفوذپذیر، مشاهده می‌شود که کاربرد روسازی نفوذپذیر (S3) نسبت به سلول ماند بیولوژیکی (S2) در کاهش غلظت پارامترهای TSS و TN اثرپذیری بالاتری دارد در حالی که برای پارامتر TP کاربرد سلول ماند (با اختلاف کمی) موثرتر است. به طور کلی و مشابه مدل کمی، کاربرد ترکیبی سلول ماند و روسازی نفوذپذیر دارای بیشتری اثرپذیری در کاهش غلظت پارامترها می‌باشد.

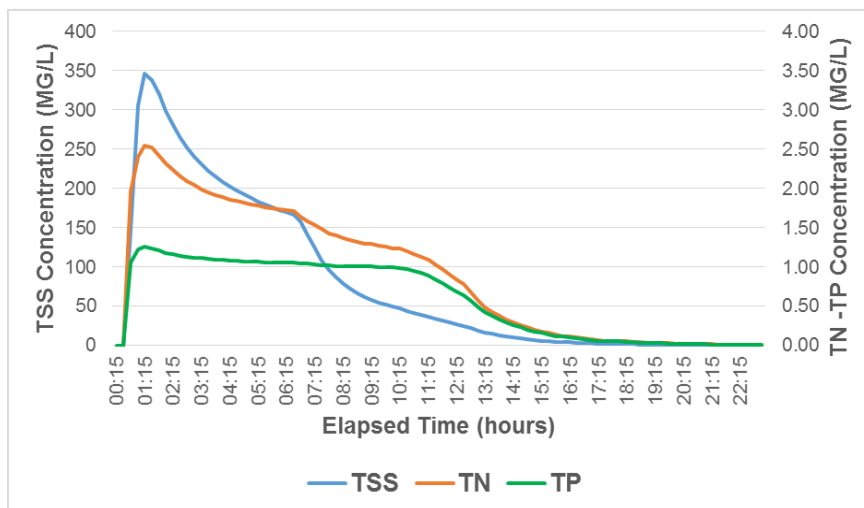
سناریو مقادیر عمق آبگرفتگی و دبی پیک سیلاب به ترتیب حدود ۵۰ و ۵۵ درصد کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که اثربخشی این روش‌ها در کنترل سرعت جریان نسبت به سایر پارامترها نظیر دبی، عمق و حجم جریان پایین تر بوده و با افزایش شدت بارش (دوره بازگشت ۱۰ ساله) نیز میزان اثربخشی این روش‌ها نسبت به بارش‌های با شدت کمتر، افت پیدا می‌کند (حدود ۴-۵ درصد) در حالی که در پارامترهای عمق و حجم جریان با افزایش شدت بارش شاهد اثربخشی بالاتری در اجرای روش‌های توسعه کم اثر خواهیم بود (حدود ۷ درصد).

مدل کیفی

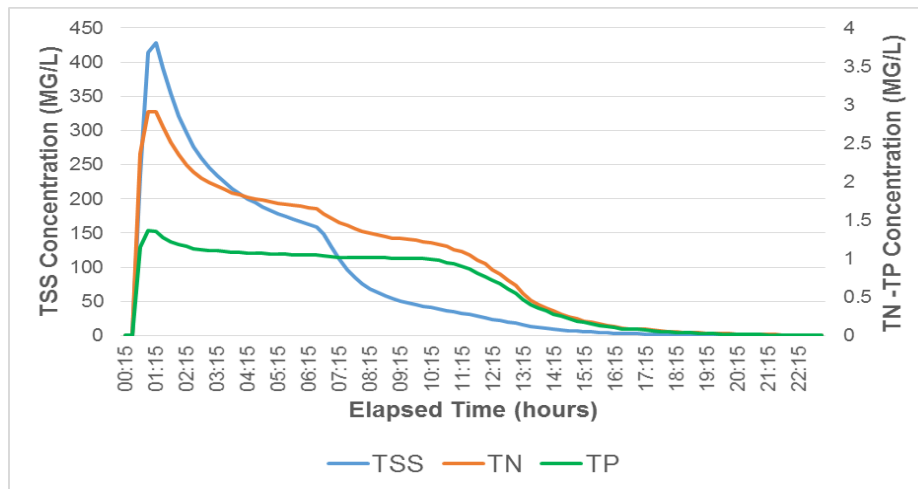
در مدلسازی کیفی، ابتدا بدون بهره‌گیری از روش‌های توسعه کم اثر (S1) به بررسی پارامترهای TSS, TN, TP در مدت زمان شبیه‌سازی و برای حالت‌های مختلف بارش در نقطه خروجی حوضه (Outfall) پرداخته شد که نتایج آن در شکل‌های ۵-۷ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۵-۷ مشاهده می‌شود، مقادیر بیشینه TSS, TN, TP در زمان یک تا یک و نیم ساعت از شروع شبیه‌سازی رخ می‌دهد پس از آن با توجه به فرآیند شستشو، مقدار تجمع این آلاینده‌ها کاهش یافته به گونه‌ای که پس از حدود ۱۷ تا ۲۰

جدول ۲- مقایسه پارامترهای مدل کمی در سناریوهای مختلف

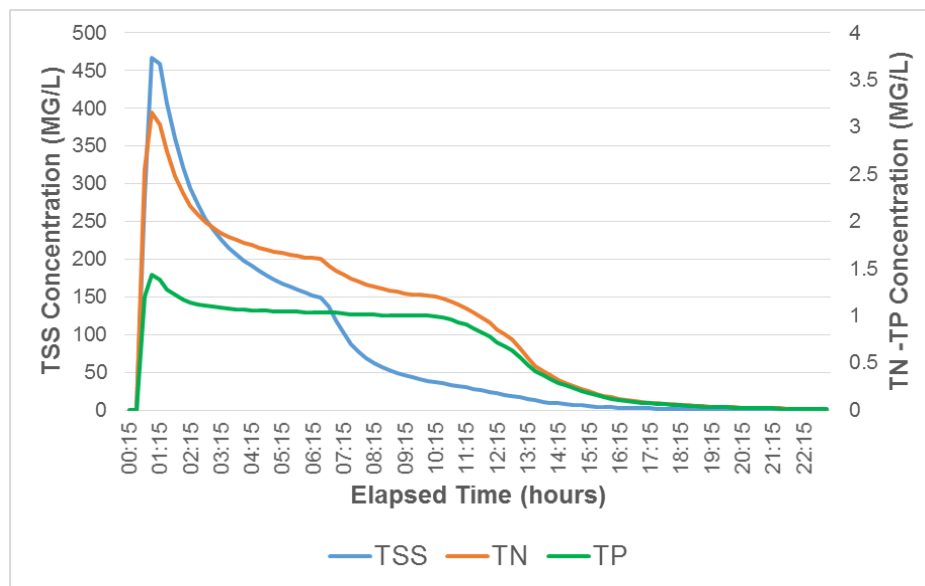
دوره بازگشت بارش	سناریو	جریان (m ³ /s)	درصد کاهش	عمق (m)	درصد کاهش	سرعت (m/s)	درصد کاهش	حجم (m ³)	درصد کاهش
۲ ساله	۱	۱۳/۱۲		۱/۳۸		۵/۴۴		۳۶۲/۰۵	
	۲	۱۰/۴۵	۲۰/۳۵	۱/۱۵	۱۶/۶۷	۵/۱۸	۴/۷۸	۳۰۲/۷	۱۶/۳۹
	۳	۹/۰۹	۳۰/۷۲	۱/۰۴	۲۴/۶۴	۵/۰۲	۷/۷۲	۲۷۱/۸۸	۲۴/۹۱
	۴	۵/۸۳	۵۵/۵۶	۰/۷۴	۴۶/۳۸	۴/۴۹	۱۷/۴۶	۱۹۴/۷۵	۴۶/۲۱
۵ ساله	۱	۲۱/۸۱		۲/۰۹		۵/۹۷		۵۴۷/۶۴	
	۲	۱۶/۹۸	۲۲/۱۵	۱/۷	۱۸/۶۶	۵/۷۲	۴/۱۹	۴۴۵/۴۲	۱۸/۶۷
	۳	۱۴/۶۱	۳۳/۰۱	۱/۵	۲۸/۲۳	۵/۵۶	۶/۸۷	۳۹۴/۳۱	۲۸/۰۰
	۴	۹/۰۹	۵۸/۳۲	۱/۰۴	۵۰/۲۴	۵/۰۲	۱۵/۹۱	۲۷۱/۸۵	۵۰/۳۶
۱۰ ساله	۱	۲۴/۴۵		۲/۶		۵/۹۶		۶۸۲/۵۷	
	۲	۲۰/۶۲	۱۵/۶۶	۱/۹۹	۲۳/۴۶	۵/۹۲	۰/۶۷	۵۲۲/۵۱	۲۳/۴۵
	۳	۱۷/۶۷	۲۷/۷۳	۱/۷۵	۳۲/۶۹	۵/۷۶	۳/۳۶	۴۶۰/۰۲	۳۲/۶۰
	۴	۱۰/۹۶	۵۵/۱۷	۱/۲	۵۳/۸۵	۵/۲۲	۱۲/۴۲	۳۱۵/۶۷	۵۳/۷۵



شکل ۵- تغییرات TSS، TN و TP در نقطه خروجی حوضه در شرایط بارش با دوره بازگشت ۲ ساله



شکل ۶- تغییرات TSS، TN و TP در نقطه خروجی حوضه در شرایط بارش با دوره بازگشت ۵ ساله



شکل ۷- تغییرات TSS، TN و TP در نقطه خروجی حوضه در شرایط بارش با دوره بازگشت ۱۰+ ساله

جدول ۳- مقایسه پارامترهای مدل کمی در سناریوهای مختلف

دوره بازگشت بارش	سناریو	غلظت TSS (mg/L)	درصد کاهش	غلظت TN (mg/L)	درصد کاهش	غلظت TP (mg/L)	درصد کاهش
۲ ساله	۱	۳۴۶/۵۵		۲/۵۴		۱/۲۶	
	۲	۱۷۷/۴۲	۴۸/۸۰	۱/۳۱	۴۸/۴۳	۰/۹۱	۲۷/۷۸
	۳	۱۴۳/۱	۵۸/۷۱	۱/۲۵	۵۰/۷۹	۰/۹۳	۲۶/۱۹
	۴	۷۸/۶۱	۷۷/۳۲	۱/۰۹	۵۷/۰۹	۰/۹۶	۲۳/۸۱
۵ ساله	۱	۴۲۸/۱۱		۲/۹۱		۱/۳۷	
	۲	۲۲۲/۴۹	۴۸/۰۳	۱/۴۷	۴۹/۴۸	۰/۸۸	۳۵/۷۷
	۳	۱۷۹/۸۲	۵۸/۰۰	۱/۳۸	۵۲/۵۸	۰/۹	۳۴/۳۱
	۴	۹۸/۰۹	۷۷/۰۹	۱/۱۶	۶۰/۱۴	۰/۹۴	۳۱/۳۹
۱۰ ساله	۱	۴۶۶/۴		۳/۱۵		۱/۴۴	
	۲	۲۴۰/۵۵	۴۸/۴۲	۱/۵۳	۵۱/۴۳	۰/۸۸	۳۸/۸۹
	۳	۱۹۵/۰۱	۵۸/۱۹	۱/۴۳	۵۴/۶۰	۰/۹	۳۷/۵۰
	۴	۱۰۶/۵۳	۷۷/۱۶	۱/۱۹	۶۲/۲۲	۰/۹۴	۳۴/۷۲

ذکر شده در مدت زمان شبیه سازی، میزان بیشینه و همچنین مدت زمان لازم جهت شست شو کامل این پارامترها به دست آمد. سپس، با در نظر گرفتن فضای ۲۰-۳۰ درصد برای سلول ماند بیولوژیکی (سناریو ۲) و ۳۰-۴۰ درصد برای روسازی نفوذپذیر (سناریو ۳) از مساحت کل زیرحوضه‌ها، مدلسازی مجدداً انجام شد تا تغییرات پارامترهای فوق برای هر یک از روش‌های توسعه کم اثر به صورتی تکی و ترکیبی (سناریو ۴) مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این بررسی نشان داد که در حالت کمی بیشترین تأثیر این روش‌ها بر روی دبی پیک سیلاب و عمق آبگرفتگی (به ترتیب) می‌باشد و در حالت کیفی نیز این روش‌ها در کاهش غلظت پارامتر TSS نسبت به سایر پارامترها تأثیر بیشتری دارد. از سوی دیگر، اثرپذیری این روش‌ها در کاهش پارامترهای کیفی نسبت به حالت کمی بیشتر بوده به گونه‌ای که با استفاده ترکیبی از سول ماند بیولوژیکی و روسازی نفوذپذیر می‌توان حدود ۷۷ درصد از غلظت کل مواد جامد معلق را کاهش داد در حالی که تأثیر این سناریو در کاهش دبی پیک سیلاب حدود ۵۵ درصد است. همچنین، در صورتی که محدودیت اجرایی و یا محدودیت بودجه وجود داشته باشد، کارایی روش روسازی نفوذپذیر نسبت به سلول ماند بیولوژیکی در مدل کمی و کیفی بهتر می‌باشد و می‌توان فقط از این روش استفاده کرد.

لازم به ذکر است که روش‌های توسعه کم اثر در این پژوهش برای کاهش غلظت فسفر کل نسبت به TN و TSS عملکرد کمتری داشته به گونه‌ای که کاهش غلظت در فسفر حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از سایر پارامترها است. از سوی دیگر، با افزایش شدت بارش (جدول ۳)، میزان اثرپذیری روش‌های ذکرشده در کاهش غلظت TSS تقریباً ثابت بوده (در یک سناریو مشخص) در حالی که برای پارامترهای TN و TP موثرتر می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، با کاربرد روش‌های توسعه کم اثر و بررسی میزان عملکرد آن در کاهش پارامترهای مهم در مدلسازی کمی و کیفی رواناب شهری، سعی شده است تا تصمیم‌گیرندگان مربوطه را در انتخاب مناسب این روش‌ها برای منطقه مورد مطالعه (منطقه ۱۰ شهرداری تهران) یاری کند. در این راستا، ابتدا بدون بهره‌گیری از این روش‌ها مقادیر پارامترهایی نظیر حجم، دبی، سرعت و عمق جریان برای مدل کمی و همچنین میزان غلظت پارامترهای TSS, TN, TP برای مدل کیفی حاصل شد. در مدل کمی با نمایش مقادیر دبی سیلاب در زیر حوضه‌ها و عمق آبگرفتگی در منهل‌ها در نقشه منطقه مورد مطالعه، سعی شده است تا نقاط بالقوه و دارای پتانسیل آبگرفتگی شناسایی شود. همچنین در این حالت، در مدل کیفی نیز با نمایش نوسانات غلظت پارامترهای

منابع

- بدیعی زاده، س.، بهره مند، ع.ر.، دهقانی، ا.ا.، نوار، ن.، ۱۳۹۴. مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال ۲۲، شماره ۴، ص ۱۵۵-۱۷۰.
- بینش، ن.، نیک‌سخن، م.ح.، سارنگ، ا.، ۱۳۹۸. تدوین مدل یکپارچه و بهینه سیستم زهکشی پایدار شهری در تطبیق با اثرات تغییر اقلیم: پایان نامه دکتری در رشته مهندسی محیط زیست-منابع آب، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
- پورصاحبی، ع.، ذاکری نیری، م.، معظمی گودرزی، ص.، ۱۳۹۸. شبیه‌سازی روش‌های LID-BMP بر میزان رواناب شهری (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)، مجله آب و فاضلاب، سال ۳۰، شماره ۳، ص ۱۱۴-۱۲۱.
- رضایی، ف.، بهره مند، ع.، بردی شیخ، و.، دستورانی، م.، تاج بخش، س.، م.، ۱۳۹۷. کالیبراسیون و ارزیابی مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب منطقه ۹ شهرداری مشهد، مجله آب و توسعه پایدار، سال ۵، شماره ۲، ص ۹۱-۱۰۰.
- شم آبادی، ع.، تجربیسی، م.، ۱۳۸۶. مدلسازی کیفی دریاچه‌های درون شهری به کمک GIS: پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-گرایش محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف.
- طاهریون، م.، فلاحی زرنندی، ا.، اسدالله فردی، غ.، ۱۳۹۵. شناسایی سناریوی مناسب بهترین راهکارهای مدیریتی در ارتقاء کمی و کیفیت رواناب شهری با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، مجله پژوهش آب ایران، سال ۱۰، شماره ۲۱، ص ۸۵-۹۶.
- فرزین، س.، نوری، ح.، کرمی، ح.، ۱۳۹۷. توسعه عملکرد روش‌های نوین با استفاده از بهینه‌سازی چند هدفه در کنترل رواناب شهری، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۴، شماره ۳، ص ۴۵-۵۸.
- فلاح تفتی، ا.، شریفی، م.، ب.، ۱۳۸۱. شبیه سازی شبکه زهکشی رواناب‌های سطحی منطقه آب و برق مشهد با استفاده از مدل تلفیقی Mike SWMM و GIS: پایان نامه کارشناسی ارشد عمران-گرایش مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
- قشقایی زاده، ن.، مرادی، ع.، ملکیان، آ.، حلی ساز، ا.، مهدوی، ر.، ۱۳۹۷. چالش آب شهری و بررسی سناریوهای مدیریت رواناب‌های شهری (مطالعه موردی: بخشی از شهر بندرعباس)، مجله دانش شهرسازی، سال ۲، شماره ۳، ص ۷۱-۸۳.
- کیار فرد، م.، فضل اولی، ر.، ضرغامی، م.، اکبریور، ا.، ۱۳۹۷. ارزیابی کاراترین روش توسعه کم‌اثر و تعیین بهترین راه‌کار مدیریتی کمی سیلاب شهری با استفاده از رخدادهای به‌هنگام، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، سال ۱۲، شماره ۱، ص ۴۰-۵۲.
- کریمی، و.ا.، سلیمانی، ک.، حبیب نژاد روشن، م.، شاهدهی، ک.گ.، ۱۳۹۴. شبیه سازی جریان در مجاری آبروی زیرزمینی و سطحی با مدل SWMM-EPA مطالعه موردی: حوزه شهری بابلسر، پژوهشنامه مدیریت حوضه، سال ۶، شماره ۱۱، ص ۱۶۲-۱۷۰.
- ناصح پور، م.، خزیمه نژاد، ح.، فروتن، ا.، ۱۳۹۹. ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: استان قم)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال ۲۲، شماره ۱۲، ص ۷۹-۸۹.

- Arjenaki, M. O., et al. 2021. Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (case study: Shahrekord City). *Modeling Earth Systems and Environment*, Vol. 71, P. 1-16.
- Chen, Y., et al. 2021. Effectiveness evaluation of the coupled LIDs from the watershed scale based on remote sensing image processing and SWMM simulation. *European Journal of Remote Sensing*, Vol. 54, P. 77-91.
- Collins, K. A. 2007. A Field Evaluation of Four Types of Permeable Pavement with Respect to Water Quality Improvement and Flood Control. Published by the Graduate School of North Carolina State University
- Baek, S. S., et al. 2020. A novel water quality module of the SWMM model for assessing low impact development (LID) in urban watersheds. *Journal of Hydrology*, Vol. 586, Article 124886.
- Dongquan, Z., et al. 2009. GIS based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Macau. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 592, P. 465-472.
- Ekmekcioğlu, Ö., et al. 2021. Investigation of the low impact development strategies for highly urbanized area via auto-calibrated Storm Water Management Model (SWMM). *Water Science and Technology*.
- Elliott, A.H. , Trowsdale, S.A. 2007. A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 22, P. 394-405.
- Janga, S., et al. 2007. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*, Vol. 212, P. 344-356.
- Matlock, M., et al. 2010. *Low Impact Development Manual for Arkansas*. Center for Agricultural and Rural Sustainability.

Quantitative and Qualitative Stormwater Modeling Using Low Impact Development Approach (Case Study: District 10 of Tehran Municipality)

Hossein Zanjanian¹; Amin Sarang^{2*}

¹ PhD Student, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

*Email Address: sarang@ut.ac.ir

Abstract

Introduction

Due to defects or any inefficiency of urban drainage systems, flooding in urban areas causes significant damage to buildings and other public and private infrastructure. Therefore, researchers in recent years have tried to establish a more accurate relationship between rainfall and runoff. Various hydrological models have made significant contributions, and the SWMM model is one of the models with acceptable accuracy in this field (Zoppou, 2001). The SWMM model is a dynamic model for simulating runoff precipitation (event-based or continuous) and can simulate the quality and quantity of runoff for urban areas. Moreover, District 10 of Tehran Municipality is chosen as the study area, with an area of 807 hectares, the north-south and east-west slopes are approximately 1.2% and 1%, respectively. The primary land use in this region is high-density residential. The severe population density in the region and the lack of green spaces are the most critical environmental problems in the region. Therefore, the purpose of this study is to model quantitatively and qualitatively urban runoff modeling in District 10 of Tehran Municipality using the EPA SWMM model and the application of Low Impact Development methods (LID) in this area to reduce quantitative parameters such as flow rate, depth, velocity, and volume as well as qualitative parameters including the concentration of total suspended solids (TSS), total nitrogen (TN), and total phosphorus (TP).

Methodology

The subcatchments of the study area are shown in Figure 3. Also, the characteristics of all subcatchments modeled in SWMM are presented in Table 1. According to Figure 3, the study area is divided into 60 subcatchments, 13 nodes (including the output node), and 12 links to create the drainage network. In this figure, the bold lines and dash lines indicate the flow channels and the route of runoff transfer from the subcatchments to the outlet nodes, respectively. In addition, Equation 1 is derived from intensity-duration-frequency curves having an estimate of the precipitation intensity based on the duration and frequency of the precipitation. In this study, to take advantage of Low Impact Development methods, the Bioretention Cell method (Scenario 2) and the Permeable Pavement method (Scenario 3) are defined individually as well as combined (Scenario 4) in the modeling process and compared these scenarios with Scenario 1, which did not use the LID methods. These LID methods are selected due to the possibility of their implementation in the study area. Also, considering the available spaces for implementing these methods, it is assumed that 20-30% and 30-40% of the land uses for each subcatchment are allocated to bioretention cell (Scenario 2) and permeable pavement (Scenario 3), respectively. Then, by quantitative and qualitative modeling, the results from Scenario 1 are presented for rainfall with return periods of 2, 5, and 10 years. Finally, the results of other scenarios are compared with Scenario 1 to discuss the effectiveness of each LID method.

Conclusion

Based on the results of quantitative modeling, Figures 6-8 indicate the critical flood status in subcatchments, manholes, and flow channels with precipitation with different return periods. In this section, in terms of area, the vast subcatchments have critical flood conditions. Also, at this time, with increasing rainfall intensity (10-year return period), the amount of water depth in the links and nodes that are close to the output node increases, which is shown in light blue and yellow. These figures can help relevant decision-makers focus more on the critical subcatchments and manholes to reduce the discharge and depth of flooding in the region. In addition, if the budget for implementation of the LID methods is limited, decision-makers can benefit from LID methods in the presented critical location to reduce the depth of flooding. By implementing scenarios 2-4, the critical parameters (Tables 2-4) for quantitative modelling are compared in the channel leading to the output node (C12), including 1-

maximum flow rate (cubic meter per second), 2- maximum flow depth (meter), 3- maximum flow velocity (meter per second), and 4- maximum flow volume (cubic meter). According to these tables, with increasing rainfall intensity, flow rate, velocity, depth, and runoff volume in the channel increase. On the other hand, the use of permeable pavement (S3) is more effective than bioretention cells (S2), while using a combination of these methods (S4), we will see a significant reduction in the flow parameters in which the peak of the flow depth and flow depth are reduced by approximately 50 and 55%, respectively. It should be noted that the effectiveness of these methods in controlling the flow velocity compared to other parameters such as flow rate, depth and volume is lower. With increasing rainfall intensity (10-year return period), the effectiveness of these methods decreases compared to precipitation with less intensity (about 4-5%). In contrast, in the flow depth and volume parameters, we will see higher efficiency in applying LID methods (about 7%) with increasing rainfall intensity. Additionally, the qualitative modelling findings and comparison of Tables 5-7 indicate that the TSS, TN, and TP concentrations rise when rainfall intensity increases. Regarding the effectiveness of bioretention cell and permeable pavement methods, it is observed that the application of permeable pavement (S3) is more effective than bioretention cell (S2) in reducing the concentration of TSS and TN parameters. In contrast, for the TP parameter, the bioretention cell is more effective. Similar to the quantitative model, the combined application of these methods is more effective in reducing the concentration of parameters. It should be noted that LID methods to reduce the TP concentration were less effective (approximately 20 to 30%) than TN and TSS. On the other hand, with increasing rainfall intensity (comparing Tables 5-7), the performance of each LID method in reducing the TSS concentration is almost constant (in a specific scenario). At the same time, it is more effective for TN and TP parameters. In general, the effectiveness of LID methods in reducing the quality parameters is greater than the quantitative one, so that by using the combination of bioretention cell and permeable pavement, the concentration of total suspended solids can be reduced by about 77%, while the effect of this scenario on the reducing peak flood discharge is about 55%. Also, if there is an executive constraint or limitation budgeting, the efficiency of the permeable pavement method is better than the bioretention cell in the quantitative and qualitative analysis.

Keywords

SWMM; Urban Runoff; Low Impact Development; District 10.