Archive of SID

فصلنامه اقتصاد و برنامه ریزی شهری

سایت نشریه: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/

مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل هیدرولوژیکی - هیدرولیکی SWMM در مدیریت رواناب‌های شهری (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۱۲ شهرداری تهران)

بهنوش فرخزاده[۱*]، آرمان کیانی[۲]،ام‌البنین بذرافشان[۳]

[۱] استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر

[۲] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر

[۳] دانشیار دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۰

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

کلمات کلیدی:

شبکهٔ جمع‌آوری رواناب

رواناب سطحی

مدل SWMM

چکیده:

در مناطق شهری بخش زیادی از زمین به وسیلهٔ سطوح نفوذناپذیر پوشیده شده است که این امر منجر به تشکیل رواناب سطحی و باعث بروز سیل و آب‌گرفتگی در سطح شهرها می‌شود. برای انجام تحقیق حاضر، که در منطقهٔ ۱۲ شهرداری تهران انجام شد، با استفاده از پارامتر بارندگی و ویژگی‌های فیزیکی حوضه از طریق مدل هیدرولوژی – هیدرولیکی، SWMM میزان رواناب سطحی در دورهٔ بازگشت‌های مختلف برای سه کانال خیام، شهرداری و ۱۷ شهریور در منطقهٔ مطالعه‌شده برآورد شد. سپس، از طریق ۴ رخداد بارندگی در روزهای ۱۳۹۴/۸/۲۱، ۱۳۹۴/۹/۱۰، ۱۳۹۴/۱۱/۲۰ و ۱۳۹۵/۱/۳۰، مدل با استفاده از ۳ آمارهٔ نش-ساتکلیف، ریشهٔ مربع خطا و BIAS ارزیابی شد. نتایج نشان‌دهندهٔ کارایی مدل در برآورد رواناب سطحی است. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز حساسیت نشان داد درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیرهٔ سطحی کمترین تأثیر را در ایجاد دبی‌های اوج دارند. از آنجا که تونل ۱۷ شهریور در شرقی‌ترین قسمت منطقهٔ مطالعه‌شده توان عبور رواناب با دورهٔ بازگشت ۲۰ سال به بالا را ندارد، ابعاد کانال باید بازنگری شود که از روش سعی و خطا حالت بهینهٔ توان عبور جریان از کانال برآورد شد. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری و به تبعیت از آن، طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکهٔ جمع‌آوری آب‌های سطحی در مناطق شهری را دارد.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.04.06

مقدمه

سیلاب، جریان‌های شدید رودخانه‌ها و طغیان مسیل دشت‌هاست که به عنوان یک پدیدهٔ طبیعی در تنظیم چرخهٔ بیوژئوشیمیایی سطح زمین و ذخیره‌سازی آب نقش اساسی دارد، اما وقوع آن در سکونتگاه‌های انسانی و در زمان‌های خاص، می‌تواند ویرانگر باشد و ناپایداری سکونتگاه‌های انسانی را فراهم آورد (پارسون و همکاران، ۲۰۱۵). پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرب موجب هدر رفتن آب‌های سطحی می‌شود. از این‌رو، مهار رواناب‌های سطحی و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راه‌کاری مناسب برای جلوگیری از هدررفت آب و تبدیل تهدید به فرصت باشد. تعیین عرصه‌های مستعد تولید رواناب، سیل و مناطق در معرض آب‌گرفتگی یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده در موفقیت طرح‌های کنترل سیل است (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۴). ساخت‌وسازهای بدون برنامه، طراحی و احداث آب‌گذرها بدون در نظر گرفتن شیب و شکل زمین بالاترین نقش را در آب‌گرفتگی معابر دارد (افشاری آزاد و پولکی، ۱۳۹۰). یکی از معضلات مدیریت در بخش سیل شهری، جمع‌آوری و دفع رواناب‌های شهری است که با توجه به اهمیت این موضوع، بررسی و برآورد سیلاب‌های شهری، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است (خورسندی

نویسنده مسئول:

ایمیل: be_farokhzadeh@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

کوهانستانی و ذوالفقاری، ۱۳۹۵). در شرایطی که شبکهٔ زه‌کشی به شکل مناسبی طراحی نشده باشد، موجب تمرکز بیشتر رواناب‌ها در مناطق با شیب کمتر می‌شود و یا از به هم پیوستن رواناب‌های متعدد در نقاطی با شیب بیشتر، جریان‌های سیلابی با تخریب قدرت زیاد تشکیل می‌شود. در چنین شرایطی گاه در مناطق مسکونی حتی فرصت تخلیهٔ ساکنان فراهم نمی‌شود (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). اتخاذ روش‌های صحیح در مدیریت آبخیزهای شهری امری انکارناپذیر و ضروری است. از این‌رو، مدیران و برنامه‌ریزان شهری برای اجرای این امر مهم به برآورد میزان رواناب با درجهٔ اطمینان زیادی نیاز دارند (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از فعالیت‌های کلیدی در حوزهٔ عمران و به‌سازی شهری، جمع‌آوری، هدایت و مدیریت رواناب‌های سطحی است. به همین دلیل، این موضوع امروزه به یکی از مسائل مهم در ادارهٔ کلان‌شهرها تبدیل شده است. در زمینهٔ رواناب و مدیریت سیلاب شهری مطالعات گوناگونی انجام شده است. کرجی و همکاران (۱۳۸۹) کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی را با استفاده از مدل EPA- SWMM بررسی کردند و پی بردند مدل‌سازی سیستم جمع‌آوری آب سطحی در مقیاس واقعی و در نظر گرفتن کلیهٔ واحدهای هیدرولوژیکی آن هم به‌صورت سنتی مشکلات فراوانی دارد و بسیار زمان‌بر است. از طرفی، کاهش تعداد واحدهای هیدرولوژیکی در مدل‌سازی سبب کاهش دقت مدل می‌شود. رستمی خلجی و همکاران (۱۳۹۱) به تحلیل حساسیت متغیرهای مؤثر بر سیلاب شهری با استفاده از مدل SWMM در شهرک امام علی(ع) مشهد پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد با افزایش ۳۰ درصدی در مقدار درصد مناطق نفوذناپذیر مقدار دبی اوج به میزان ۳/۳۸ درصد افزایش می‌یابد. بدیعی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) توانایی مدل SWMM در مدیریت سیلاب شهر گرگان را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب‌های شهری را دارد و از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و شبکهٔ جمع‌آوری آب سطحی استفاده کرد. یاوو همکاران (۲۰۱۵) تأثیر گسترش فضاهای سبز شهری را بر تولید میزان رواناب را در شهر پکن بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد گسترش فضاهای نفوذناپذیر شهری حدود ۷۰ درصد بر افزایش میزان رواناب تأثیر دارد. این در حالی است که گسترش فضای سبز در حیطهٔ شهری تا حدود ۳۰ درصد از میزان رواناب می‌کاهد. نیکل و همکاران (۲۰۱۷) به برآورد رواناب حاصل از رگبار در ۶ زیرحوضهٔ شهری واقع در حوضهٔ دریاچهٔ تاهو در ایالت کالیفرنیا پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد رواناب برآوردی برای ۵ زیرحوضه با واقعیت منطبق است و روش BMP برای کاهش میزان رواناب بهترین عملکرد را دارد. با توجه به اهمیت ارزیابی عملکرد شبکه‌های جمع‌آوری رواناب‌های سطحی در مناطق شهری و دقت و کارایی مدل SWMM در این زمینه، هدف تحقیق حاضر، ارزیابی این مدل در برآورد رواناب سطحی در منطقهٔ ۱۲ شهر تهران در دوره‌های بازگشت مختلف است. نتایج این تحقیق می‌تواند در ارزیابی و بهینه‌سازی شبکهٔ جمع‌آوری رواناب در این منطقه استفاده شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

شهر تهران به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران با جمعیتی حدود ۱۰ میلیون نفر مساحتی حدود ۷۰۰ کیلومترمربع یکی از بزرگ‌ترین شهرهای جهان است. منطقهٔ مطالعه‌شده در پژوهش حاضر منطقهٔ ۱۲ شهرداری تهران است که بین طول جغرافیایی ″۱۷′۲۴ °۵۱ تا ″۵۳′۲۴ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳۰′۳۹ °۳۵ تا ″۰۷′۴۲ °۳۵ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر تقسیمات اقلیمی، شهر تهران جزء ناحیهٔ اقلیمی نیمه‌خشک بوده و متوسط بارش سالانهٔ آن ۳۳۳ میلی‌متر است که توزیع و پراکنش نامنظم زمانی دارد. این منطقه از لحاظ سیستم زه‌کشی، ۳ کانال اصلی به نام‌های تونل خیام، شهرداری و ۱۷ شهریور دارد.

یکی از عوامل مهمی که باید در مطالعات رواناب شهری مورد توجه قرار گیرد، چگونگی بستن مرز حوضه و زیرحوضه‌ها در این مناطق است. برای انجام عملیات حوضه‌بندی در منطقهٔ ۱۲ شهرداری عوامل زیر در نظر گرفته شده‌اند:

۱) توپوگرافی منطقه و شیب طولی نهر و به‌تبع آن، جهت جریان آب در کانال‌ها و مجاری فرعی؛

۲) موقعیت معابر اصلی و فرعی؛

۳) تونل‌های اصلی و سرشاخه‌های آن‌ها؛

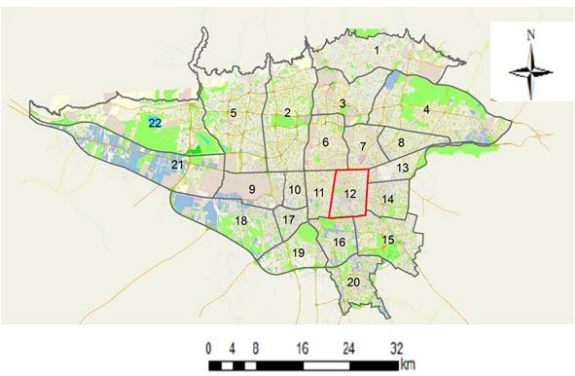
۴) نقاط اتصال و تخلیهٔ شبکهٔ فرعی به اصلی؛

۵) موقعیت چاه‌های جذبی.

از مهم‌ترین عواملی که در بستن مرز حوضه‌های شهری نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند، موقعیت چاه‌های جذبی است. به دلیل آنکه در اطراف منطقهٔ ۱۲ تعداد زیادی چاه جذبی احداث شده است، بنابراین محدودهٔ شهری آن با محدودهٔ هیدرولوژیکی آن تا حدود زیادی منطبق است (سازیان، ۱۳۹۵).

مدل SWMM

SWMM یکی از مدل‌های پیشرفته در زمینهٔ تحلیل‌های مربوط به برآورد سیلاب و آبدهی کانال‌های سطحی و زیرزمینی است. این مدل



شکل ۱: موقعیت منطقهٔ ۲۱ شهرداری تهران

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: رویداد بارش و تداوم آن‌ها اندازه‌گیری‌شده توسط شهرداری منطقهٔ ۲۱

رخداد بارندگی	۱۳۹۴/۸/۲۱	۱۳۹۴/۹/۱۰	۱۳۹۴/۱۱/۲۰	۱۳۹۵/۱/۳۰
بارش (میلی‌متر)	۸/۷	۷/۱۴	۱۴/۶	۴/۵
تداوم (ساعت)	۲	۳/۱	۱	۴/۳

قابلیت‌هایی همچون محاسبهٔ هیدروگراف زیرحوضه‌های شهر و انتقال آب‌های سطحی را دارد. هیدروگراف ناشی از بارندگی، میزان فشار بر سطح زیرحوضه‌ها را تعیین کرده و آن را به صورت مخزن غیر خطی، در زیرحوضه‌های کوچک و کانال‌ها روندیابی می‌کند (سین و همکاران، ۲۰۱۴).

داده‌های مورد نیاز مدل

۱) پارامترهای فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها شامل مساحت حوضه، شیب، درصد مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری، ذخیرهٔ سطحی مناطق نفوذناپذیر و ذخیرهٔ سطحی مناطق نفوذپذیر هستند.

۲) اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژیکی: شامل مقادیر بارش، تبخیر ماهانه، تبخیر و پارامترهای برف و همچنین، شمارهٔ منحنی رواناب استخراج‌شده از کاربری اراضی است. با توجه به فرضیات استفاده از مدل در واقعهٔ رگباری (بارش-رواناب شبکهٔ جمع‌آوری) اطلاعات یادشده به‌خصوص برف تأثیر زیادی بر نتایج مدل ندارد، پس از آن صرف نظر می‌شود. با توجه به فرضیات و امکانات مدل SWMM در خصوص دما از انتخاب نبود اطلاعات استفاده می‌شود. از آنجا که وقوع رگبارهای اندازه‌گیری‌شده در فصولی اتفاق افتاده که دما نزدیک صفر است و میزان تبخیر در این ماه‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، از آن نیز صرف نظر می‌شود.

۳) اطلاعات مجاری شامل طول آب‌رو، ضریب زبری، شکل، سطح مقطع، عرض کف و همچنین، مختصات اتصالات نیز به صورت دستی وارد مدل می‌شوند.

۴) جریان ورودی از دیگر مناطق شهرداری تهران همچون ۶، ۷، ۱۱، ۱۳ و ۱۴ به صورت دبی ورودی برای ۳ کانال زه‌کشی اصلی منطقهٔ مطالعه‌شده که از با استفاده از خط‌کش Rod از قبل توسط شهرداری با دورهٔ بازگشت‌های مختلف برآورد شده بود، به مدل معرفی شد.

کالیبراسیون مدل

از آنجا که منطقهٔ مطالعه‌شده ایستگاه هیدرومتری ندارد، بنابراین به منظور صحت‌سنجی مدل از ۴ رخداد بارندگی در جدول ۱ استفاده شد و با استفاده از معادلهٔ خط‌کش *Rod* میزان ارتفاع رواناب به صورت هر ۳۰ دقیقه یک بار اندازه‌گیری شده و سرعت رواناب متناظر با آن محاسبه و میزان رواناب برآورد شد.

سپس، با استفاده از شاخص‌های نش – ساتکلیف، ریشهٔ مربع خطا و بایس که از رایج‌ترین توابع احتمال در بیشتر مطالعات هیدرولوژی شهری هستند (دونکوان، ۲۰۰۹)، که به‌ترتیب در روابط ۱ـ ۳ آورده شده‌اند مقادیر تخمینی توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری‌شده مقایسه و واسنجی شدند.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{oi} - Q_{av})^2} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2} \quad (۲)$$

$$BIAS\% = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{n}Q_{oi}} \quad (۳)$$

که در معادله‌های یادشده، Q_{oi} دادهٔ مشاهداتی، Q_{si} داده شبیه‌سازی‌شده، Q_{av} میانگین دادهٔ مشاهداتی است. اگر مقدار NSE برابر ۱ باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده وجود دارد. اگر NSE بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی خوب توصیف می‌شوند، اما زمانی که مقادیر NSE بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد، نتایج مدل رضایت‌بخش است. مقدار RMSE نیز هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، *نشان‌دهندهٔ* دقت زیاد شبیه‌سازی مدل است. BIAS خطای کل در حجم جریان بوده، مقدار مثبت و منفی ضریب نشان‌دهندهٔ بیشتر یا کمتر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی‌شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است (کروک و همکاران، ۲۰۰۵).

آنالیز حساسیت مدل

در این مطالعه برای بررسی حساسیت متغیرهای مدل SWMM از روش آنالیز حساسیت جزئی یعنی تأثیر هر پارامتر به شکل مجزا با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای محاسبه استفاده شد. به این ترتیب که از مقادیر اولیه ۸ پارامتر مؤثر (جدول ۲) با توجه به دامنهٔ تغییرات ۳۰ درصد کاهش و افزایش در نظر گرفته شد (رستمی خلج و همکاران، ۱۳۹۱). در واقع، آنالیز حساسیت یک دید کلی برای مطالعهٔ نتایج مدل ایجاد می‌کند که این دید کلی برای پیش‌بینی پتانسیل خطر یا کاهش خطر خواهد بود (پاپنبرگو همکاران، ۲۰۰۸).

نتایج و بحث

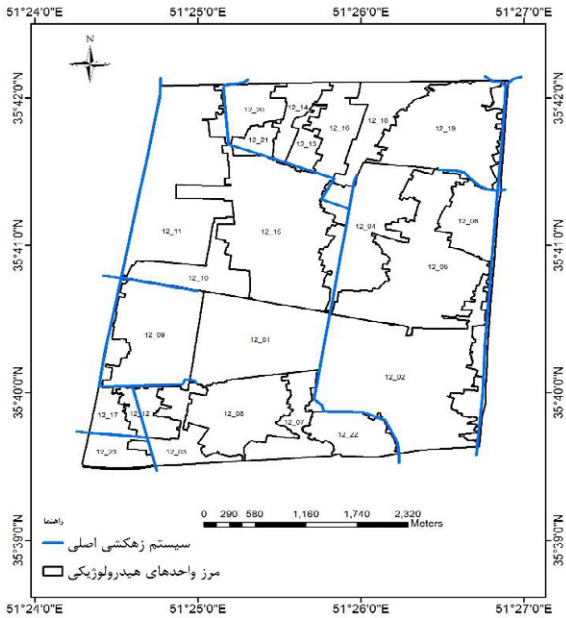
سیستم زه‌کشی منطقهٔ ۱۲ شهرداری تهران از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند، بنابراین مرز حوضه و زیرحوضه‌ها براساس توپوگرافی منطقه، شبکهٔ زه‌کشی، شبکهٔ معابر اصلی و فرعی و چاه‌های جذبی با

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: مقادیر اولیه و دامنهٔ تغییرات قابل قبول متغیرهای مدل SWMM (رستمی خلجی و همکاران، ۱۹۳۱)

متغیر	مقادیر اولیه	دامنهٔ تغییرات مجاز
درصد مناطق نفوذ ناپذیر	-	۳۰±
شیب (٪)	-	۳۰±
عرض معادل (متر)	-	۳۰±
ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱ – ۰/۰۳۳
ضریب زبری مناطق نفوذپذیر	۰/۰۶	۰/۰۲ – ۰/۸
ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذناپذیر (mm)	۰/۰۳	۰/۳ – ۲/۵
ارتفاع ذخیرهٔ مناطق نفوذپذیر (mm)	۲	۲/۵ – ۵/۱
درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیرهٔ سطحی	۱۰	۵ – ۲۰



شکل ۲: مرز زیرحوضه‌ها و شبکهٔ زه‌کشی منطقهٔ ۲۱

استفاده از نرم‌افزار ArcGIS برای منطقهٔ ۱۲ شهرداری به صورت شکل ۲ ترسیم شد.

از آنجا که منطقهٔ مطالعه‌شده ایستگاه هیدرومتری ندارد و اساس یک طراحی صحیح سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی، برآورد سیلاب با دورهٔ بازگشت‌های مختلف است، رواناب زیرحوضه‌ها با استفاده از شدت – مدت – فراوانی از طریق روش SCS با به‌کارگیری مدل SWMM در ۲۳ واحدهای هیدرولوژیکی به صورت جدول ۳ محاسبه شد. برای آنکه بتوان کارایی سیستم زه‌کشی اصلی را شبیه‌سازی هیدرولیکی کرد، علاوه بر رواناب زیرحوضه‌های منطقهٔ ۱۲شهرداری تهران، جریان ورودی از دیگر مناطق شهرداری تهران شامل ۶، ۷، ۱۱، ۱۳ و ۱۴ به صورت دبی ورودی برای ۳ کانال زه‌کشی اصلی منطقهٔ مطالعه‌شده برآورد و به مدل معرفی شد. در نهایت، دبی‌های سیلابی منطقهٔ ۱۲ توسط مدل برآورد شد (جدول ۴) تا بتوان براساس آن کانال‌های منطقهٔ مطالعه‌شده را با دقت ارزیابی کرد.

نتایج واسنجی مدل با استفاده از رخداد ۴ بارندگی در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و میزان رواناب متناظر با آن در جدول ۵ آورده شده است.

نتایج صحت‌سنجی مدل نشان داد شبیه‌سازی دبی و حجم رواناب در چهار واقعهٔ بررسی‌شده انطباق خوبی با مقادیر مؤلفه‌های جریان مشاهداتی دارد و بیانگر دقت مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب شهری است و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکهٔ زه‌کشی شهری استفاده کرد. علاوه بر این، می‌توان از نتایج واسنجی برای برآورد مقدار بهینهٔ پارامترها استفاده کرده و در مناطق دیگری که از لحاظ همگنی مشابه منطقهٔ مورد نظر هستند، استفاده کرد.

نتایج آنالیز حساسیت مدل که در شکل ۴ نشان داده شده است، بیان می‌دارد که در بین تمام متغیرهای بررسی‌شده درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را روی دبی اوج دارد. همچنین، درصد مناطق نفوذناپذیر

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳: دبی‌های سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) برآوردی توسط مدل SWMM در دورهٔ بازگشت‌های مختلف برای واحدهای هیدرولوژیکی منطقهٔ ۲۱

واحد هیدرولوژیکی	دورهٔ بازگشت					
	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
۱	۱/۳	۲/۲	۲/۸	۳/۶	۴/۴	۵/۳
۲	۱/۴۸	۲/۴	۳	۳/۸	۴/۶	۵/۵
۳	۰/۳۳	۰/۵۳	۰/۶۴	۰/۸۲	۱	۱/۲
۴	۰/۹	۱/۴۳	۱/۸	۲/۳۵	۲/۸۱	۳/۴
۵	۱/۳	۱/۸	۲/۲۵	۲/۹	۳/۵	۴/۲۵
۶	۰/۵۷	۰/۹	۱/۱۵	۱/۴۵	۱/۸	۲/۱۵
۷	۰/۳	۰/۵	۰/۶۲	۰/۸۲	۱	۱/۲
۸	۰/۵۶	۰/۸۵	۱/۱	۱/۴	۱/۷	۲/۱
۹	۰/۹۸	۱/۶	۲	۲/۶	۳/۲	۳/۷
۱۰	۰/۸	۱/۴	۱/۷۸	۲/۲	۲/۸	۳/۱
۱۱	۱/۱۷	۱/۹	۲/۴	۳/۱	۳/۸	۴/۵
۱۲	۰/۲۶	۰/۴۳	۰/۵۷	۰/۷۲	۰/۸	۱/۰۵
۱۳	۰/۲	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۷۳	۰/۹
۱۴	۰/۳	۰/۵۱	۰/۶۵	۰/۸۲	۱	۱/۲
۱۵	۱/۴۲	۲/۳	۲/۸۷	۳/۷	۴/۵۵	۵/۴۵
۱۶	۰/۴۳	۰/۷۳	۰/۹۵	۱/۲	۱/۵	۱/۸
۱۷	۰/۲	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۵۸	۰/۷۴	۰/۸
۱۸	۰/۴۴	۰/۷۸	۱	۱/۲۶	۱/۶	۱/۸۵
۱۹	۱	۱/۶	۲/۱	۲/۶	۳/۲	۳/۸
۲۰	۰/۴۲	۰/۷	۰/۹	۱/۱۸	۱/۴۱	۱/۷
۲۱	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۸
۲۲	۰/۴	۰/۶۶	۰/۸۷	۱/۱	۱/۳۶	۱/۶
۲۳	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۵۶	۰/۷	۰/۸۸	۱/۱

جدول ۴: دبی‌های سیلاب (مترمکعب بر ثانیه) برآوردی توسط مدل SWMM در دورهٔ بازگشت‌های مختلف برای کانال‌های ۳ گانهٔ منطقهٔ ۲۱

حوزه (نام کانال)	دورهٔ بازگشت					
	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
خیام	۱۳/۲	۲۲	۲۷/۳	۳۴/۲	۴۲	۵۰/۵
شهرداری	۸/۸	۱۴/۲	۱۸	۲۳/۳	۲۷/۱	۳۴/۲
۱۷ شهریور	۱۳/۶	۲۵	۳۰/۵	۳۷	۴۶/۱	۵۵/۱

جدول ۵: شاخص‌های صحت‌سنجی مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ دبی برای مدل SWMM

رخداد	کانال	NSE	RMSE	BIAS%
۱۳۹۴/۸/۲۱	خیام	۰/۸۲	۰/۰۱	۵/۳
۱۳۹۵/۱/۳۰	خیام	۰/۷۹	۰/۰۰۸	۴/۹
۱۳۹۴/۹/۱۰	شهرداری	۰/۸	۰/۰۰۸	۵/۰۵
۱۳۹۴/۱۱/۲۰	۱۷ شهریور	۰/۶۵	۰/۰۳	۱۵/۱

بدون ذخیرهٔ سطحی کمترین تأثیر را روی دبی اوج خواهد داشت که بعد از درصد مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل و شیب بیشترین تأثیر را دبی اوج خواهد داشت.

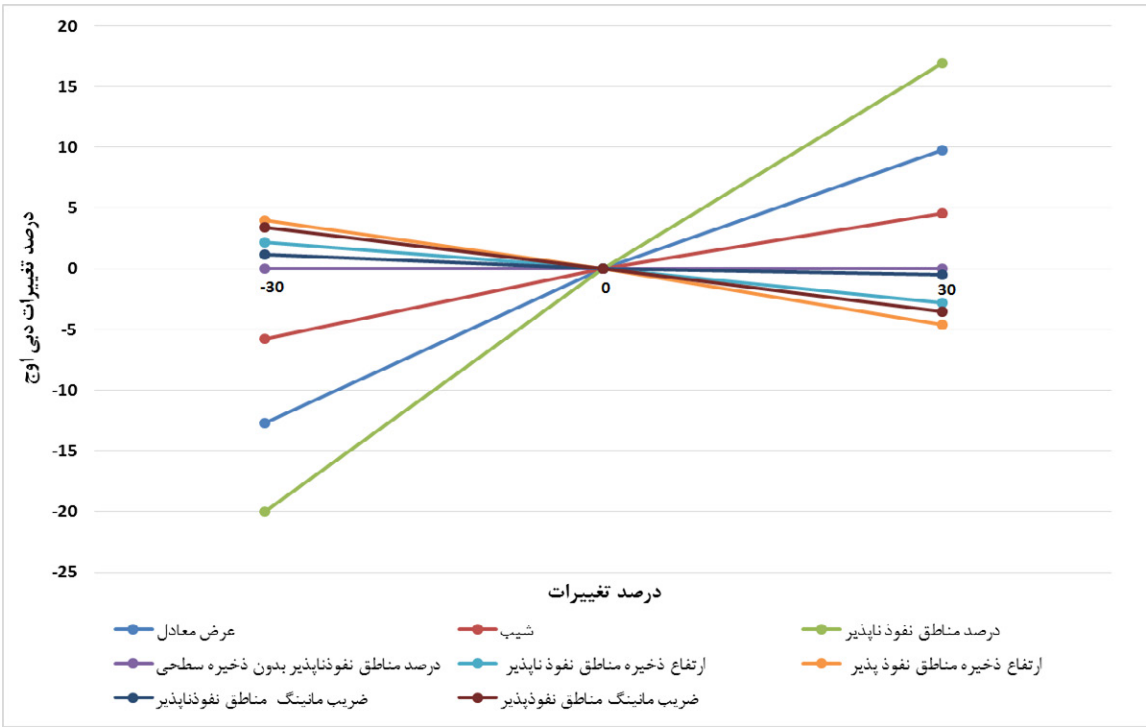
تمامی کانال‌های اصلی منطقهٔ ۱۲ تهران به صورت سرپوشیده هستند، بنابراین مبنای ظرفیت کانال، پارامتر درصد پرشدگی است. شکل‌های ۵ و ۶ میزان پرشدگی و ظرفیت کانال در دورهٔ بازگشت‌های ۲۰ و۵۰ ساله را نمایش می‌دهند که پرشدگی مجاز با توجه به نسبت عمق جریان به حداکثر ارتفاع کانال (لوله) را ۰/۸۴ و کمی کمتر باید در نظر گرفته شود و نباید از این مقدار تجاوز کند (مهاب قدس، ۱۳۹۰).

چنانچه قسمت‌هایی از کانال‌های منطقهٔ مطالعه‌شده که پرشدگی آن‌ها از میزان ۰/۸ تجاوز کند، در معرض آب‌گرفتگی هستند، برای اصلاح کانال و شبکهٔ زه‌کشی باید تمهیداتی اندیشیده شود.

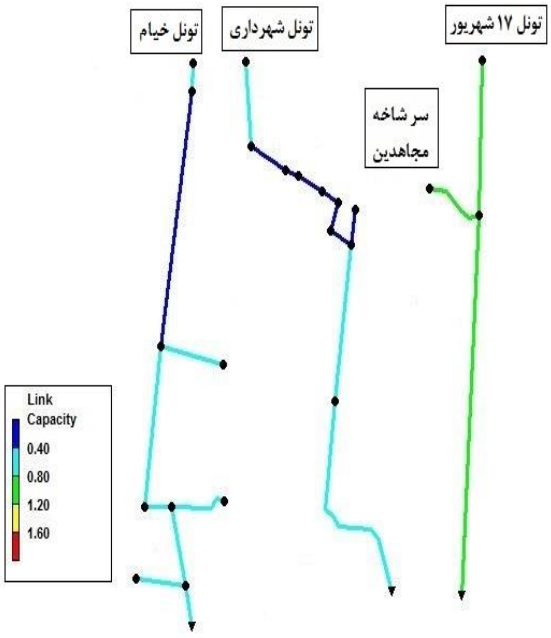
همان‌طور که از شکل‌های ۵ و ۶ مشخص است، کانال‌های خیام و شهرداری مشکل آب‌گرفتگی ندارند، اما تونل ۱۷ شهریور در دورهٔ بازگشت ۲۰ و ۵۰ سال با توجه پروفیل طولی‌ای که در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است، امکان آب‌گرفتگی معابر در مناطق مجاور وجود دارد، پس

www.SID.ir

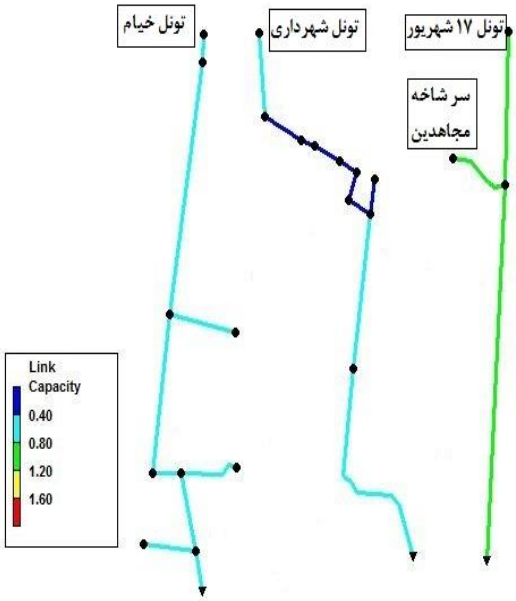
Archive of SID



شکل ۳: درصد تغییرات پارامترهای مؤثر بر دبی اوج بر حسب درصد



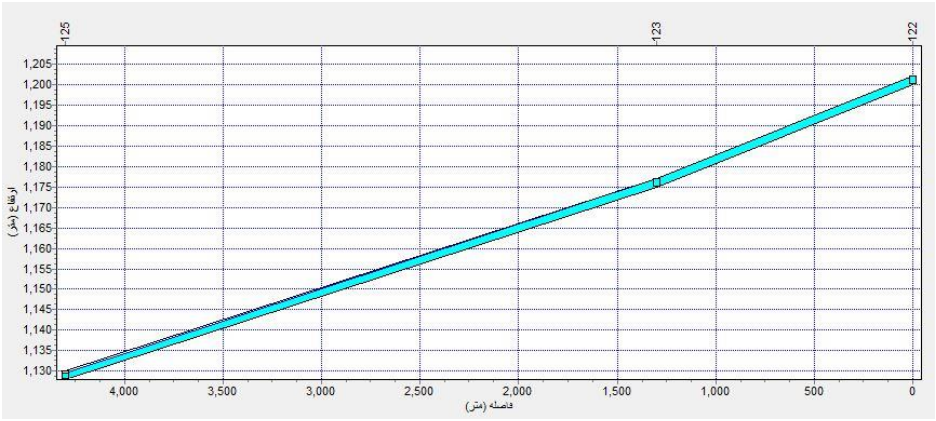
شکل ۴: میزان پرشدگی کانال‌های منطقهٔ ۱۲ در زمان ۴:۳۰ بعد از بارش در دورهٔ بازگشت ۲۰ ساله



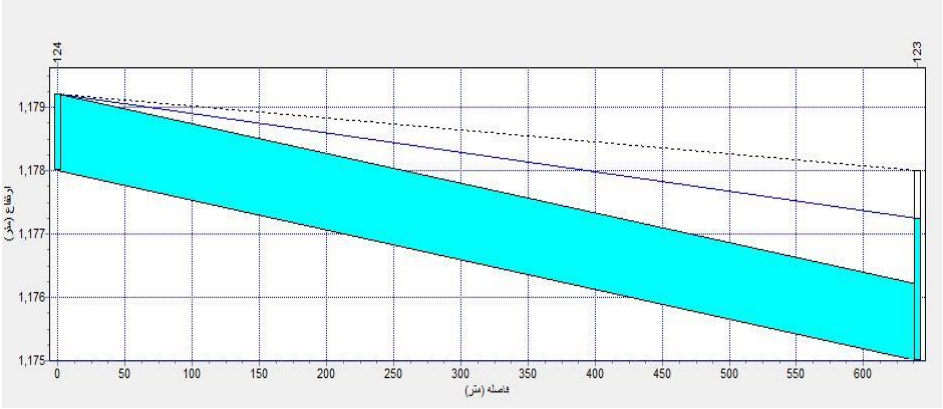
شکل ۵: میزان پرشدگی کانال‌های منطقهٔ ۱۲ در زمان ۴:۳۰ بعد از بارش در دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله

www.SID.ir

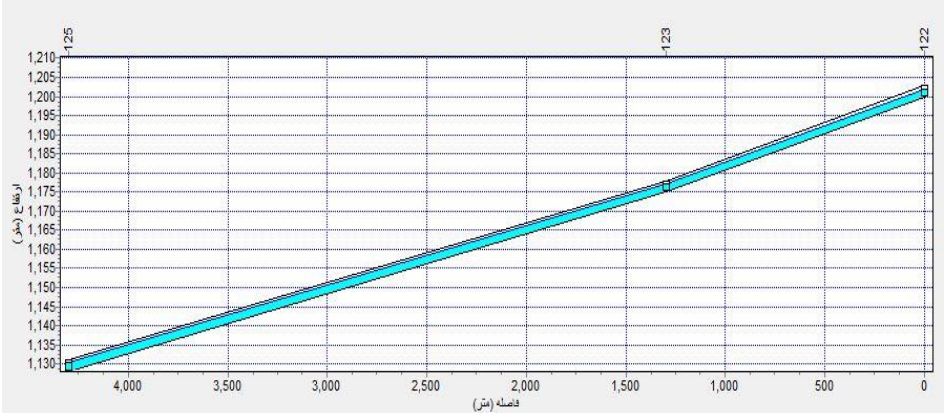
Archive of SID



شکل ۶: پروفیل طولی ظرفیت کانال ۱۷ شهریور در دورهٔ بازگشت ۲۰ سال در وضعیت فعلی



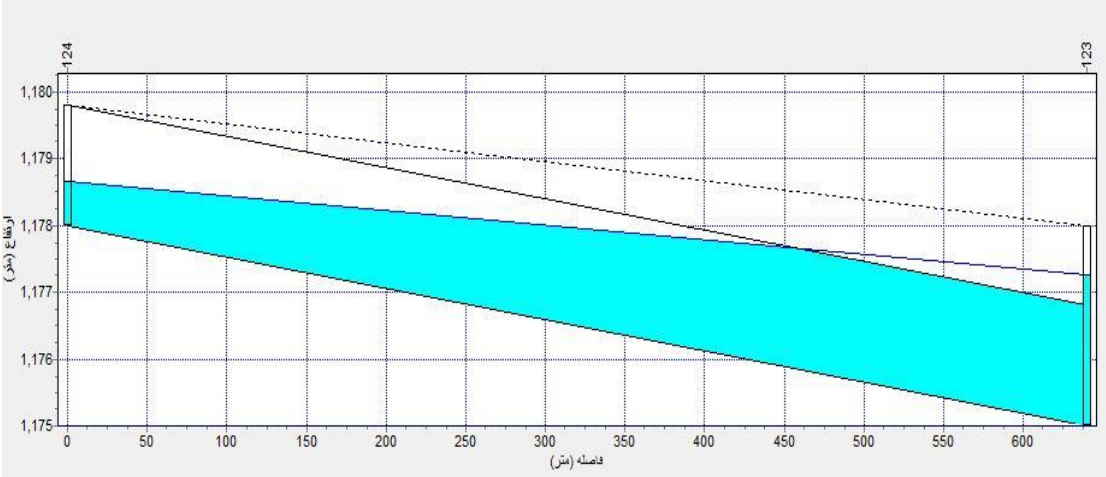
شکل ۷: پروفیل طولی ظرفیت کانال ۱۷ شهریور در دورهٔ بازگشت ۲۰ سال در سرشاخهٔ مجاهدین در وضعیت فعلی



شکل ۸: پروفیل طولی ظرفیت کانال ۱۷ شهریور در دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال در وضعیت مطلوب

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹: پروفیل طولی ظرفیت کانال ۱۷ شهریور در دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال در سرشاخهٔ مجاهدین در وضعیت مطلوب

باید تمهیداتی برای جلوگیری از آب‌گرفتگی انجام پذیرد.

از آنجا که کانال ۱۷ شهریور و سرشاخهٔ مجاهدین فقط در منطقهٔ ۱۲ شهرداری دچار آب‌گرفتگی می‌شوند و به دلیل آنکه تغییر در ضریب زبری و شیب در این کانال نمی‌تواند تا حد زیادی بر میزان ظرفیت کانال ۱۷ شهریور بیفزاید، بنابراین از طریق افزایش عمق از روش آزمون و خطا با کنترل دیگر پارامترها همچون شیب و کنترل سرعت باید عمق بهینه را پیشنهاد کرد، به طوری که در سرشاخهٔ مجاهدین با افزایش ۳۰ سانتی‌متر و در کانال اصلی با افزودن ۱ متر به عمق کانال می‌توان نسبت عمق جریان به حداکثر ارتفاع کانال (لوله) را ۰/۸۴ و کمی کمتر رساند و از این طریق میزان آب‌گرفتگی را کنترل کرد. شکل‌های ۹ و ۱۰ وضعیت مطلوب کانال در دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله در تونل ۱۷ شهریور را در پروفیل طولی مجاری نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به ماهیت متفاوت حوضه‌های شهری نسبت به حوضه‌های طبیعی باید در بستن مرز آن‌ها دقت کافی داشت، به طوری که در حوضه‌های آبخیز طبیعی مرز حوضه با استفاده از ارتفاع و سیستم زه‌کشی منطقه بسته می‌شود، ولی در حوضه‌های شهری برای بستن مرز، علاوه بر ارتفاع و سیستم زه‌کشی باید به مواردی همچون شبکهٔ معابر، مدیریت شهری و منطقه‌ای، فناوری‌های نوین به کار گرفته‌شده برای کاهش رواناب در سطح منطقه توجه کرد تا مدیریت سازمانی با مدیریت فنی در حیطهٔ شهری برای مناطق با هم منطبق شود.

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر نشان داد شبیه‌سازی دبی در چهار واقعهٔ بررسی‌شده با توجه مقدار ضریب نش – ساتکلیف نشان داد انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی وجود دارد که نشان‌دهندهٔ توانایی زیاد مدل SWMM برای پیش‌بینی است و می‌توان از این مدل برای طرح مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکهٔ زه‌کشی رواناب شهری منطقهٔ مطالعه‌شده استفاده کرد. نتایج واسنجی مدل با مطالعات تائه‌هو و همکاران (۲۰۰۵)، بدیعی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) و عینلو و همکاران (۱۳۹۵) همسو است.

مقدار مطلق BIAS بیشتر از ۱۵ درصد نیست که اثبات می‌کند که مدل واسنجی‌شده جریان را به‌خوبی پیش‌بینی کرده است. بنابراین، می‌توان گفت که مدل استفاده‌شده برآورد نسبتاً خوبی از مؤلفه‌های جریان دارد و در مجموع، مقادیر به‌دست‌آمده صحت فرایند واسنجی را تأیید می‌کنند که با یافته‌های جیمز و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

با توجه به ۴ پارامتر معرفی‌شده، درصد مناطق نفوذناپذیر و عرض معادل بیشترین تأثیر را در دبی اوج دارند که این تغییر در دبی اوج را می‌توان با ماهیت فیزیکی حوضه نسبت داد که با یافته‌های تائه‌هو و همکاران (۲۰۰۵) و رستمی خلجی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد. همچنین، گسترش شهر روی مناطق نفوذپذیر سبب افزایش درصد سطوح نفوذناپذیر و کاهش ضریب زبری در مناطق نفوذپذیر می‌شود. از آنجا که درصد مناطق نفوذناپذیر رابطهٔ معکوسی با دبی اوج دارند، می‌توان نتیجه گرفت که گسترش شهرها تأثیر درخور توجهی بر دبی اوج سیل دارد. در این راستا با توجه به نبود آمار برای واسنجی مدل‌های رواناب شهری پیشنهاد می‌شود که در شهرهای نسبتاً بزرگ محدوده‌ای به عنوان حوضهٔ معرف انتخاب شود و کلیهٔ آمار مربوط به بارندگی، هیدرولوژی و هیدرولیک جریان و سایر مواردی که برای شهرهای بزرگ دنیا مرسوم است، ثبت شده و به منظور واسنجی استفاده شود.

منابع

- احمدزاده، ح؛ سعیدآبادی، ر؛ نوری، ا؛ (۱۳۹۴). «بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تأکید بر سیلاب‌های شهری (مطالعهٔ موردی:هر باکو)». *فصلنامهٔ هیدروژئومورفولوژی*، ۵ (۲).

www.SID.ir

Archive of SID

- افشاری آزاد، م؛ پولکی، ه؛ (۱۳۹۰). «مورفولوژی شهر رشت و آب‌گرفتگی معابر رشت». *فصلنامهٔ آمایش محیط*، (۲).
- بدیعی‌زاده، س؛ بهره‌مند، ع؛ دهقانی، ا؛ نورا، ن؛ (۱۳۹۴). «مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان در استان گلستان». نشریهٔ *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و دوم*، (۴).
- حجازی‌زاده، ز؛ خسروی، ف؛ ناصری‌زاده، م؛ (۱۳۹۰). «مدیریت بحران در شهر جدید بهارستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، با تکیه بر سیل و تعیین مسیر زهکش شهری مناسب برای دفع آب‌های سطحی». نشریهٔ *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۱(۲۰).
- خورسندی کوهانستانی، ز؛ ذوالفقاری، م؛ (۱۳۹۵). «بررسی تأثیر توزیع مکانی سطوح نفوذناپذیر بر دبی اوج هیدروگراف سیل در نواحی شهری». فصلنامهٔ بین‌اللملی پژوهشی *تحلیلی منابع آب و توسعه*، ۵(۱).
- رستمی خلجی، م؛ مهدوی، م؛ خلیقی سیگارودی، ش؛ سلاجقه، ع؛ (۱۳۹۱). «تحلیل حساسیت متغیرهای مؤثر بر سیلاب شهری با استفاده از مدل SWMM.» پژوهش‌نامهٔ *مدیریت حوضهٔ آبخیز*، ۳(۵).
- سازبان. (۱۳۹۵). *مطالعات عملیاتی کردن طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی و تهیهٔ طرح بهسازی انهار و کانال‌ها تهران*، تهران: سازمان مدیریت آب‌های سطحی تهران.
- سلوکی، ج. (۱۳۹۲). *بررسی اثرات توسعهٔ شهری بر افزایش رواناب با استفاده از مدل SWMM*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.
- شهبازی، ع؛ خلیقی سیگارودی، ش؛ ملکیان، ا؛ سلاجقه، ع؛ (۱۳۹۲). «انتخاب بهترین فرمول تجربی برآورد زمان تمرکز در حوضه‌های آبخیز شهری (مطالعهٔ موردی: شهر ماهدشت)». *مجلهٔ منابع طبیعی ایران*، ۶۴(۳).
- عینلو، ف؛ سلاجقه، ع؛ خلیقی سیگارودی، ش؛ ملکیان، ا؛ احدنژاد، م؛ (۱۳۹۵). «بررسی اثر توسعهٔ شهری بر تغییرات حجم رواناب با استفاده از مدل بارش – رواناب SWMM (مطالعهٔ موردی: آبخیز شهری زنجان)». *نشریهٔ علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۰(۹۵).
- کرجی، ا؛ میرقاسمی، س؛ زواری، م؛ نیک صفا، غ. (۱۳۸۹). «*کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی سیستم جمع آوری آب‌های سطحی شهری با نرم‌افزار EPA SWMM*». اولین کنفرانس مدیریت سیلاب شهری. تهران، ایران.
- مهاب قدس. (۱۳۹۰). *طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی تهران. بررسی شبکهٔ اصلی موجود آب‌های سطحی، تهران*: سازمان مدیریت آب‌های سطحی تهران.
- Corke, B., Andrews, F., Spate, J., Cuddy, S. (2005). *IHACRES User Guide*. Technical Report.
- Donquan, Z., Jining, C., Haozheng, W., Qingyuan, T., shangbing, C., and Zheng, S. 2009.*GIS-based urban rain fall-run off modeling using an automatic catchment-discretization* approach: a case study in Macaa. Environ. Earth Sci. 59: 465-472.
- Ebrahimian, A., Bruce, N., Wilson, B., John, S., Gulliver, A. (2016). *Improved methods to estimate the effective impervious area in urban catchments using rainfall-runoff data.* Journal of Hydrology, 536, 109-118.
- James, D. M., Kim, H., Kjeldsen, T. R., Packman, J., Grebby, S., & Dearden, R. (2014). *Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover*. Journal of Hydrology, 515, 59-70.
- Nicole, G. Beck, G. C., Kanner, L., Mathias, M. (2017). *An urban runoff model designed to inform stormwater management decisions*. Journal of Environmental Management, 193, 257-269.
- Parson, P., Baldassareeg, G., Shrodor, J.. (2015). Hydro-Meteorological Hazards,Risks and Disaster. Elsivier, 35-64.
- Pappeenberger, F. K., Beven, M., Matgen, P. (2008). *Multi-Method global sensitivity analysis of flood inundation models Advances*. Water Resources. 31, 1-14.
- Pataki, G.E. (2007). *Stormwater Management Design Manual*.
- Taehwa, K., Sungchul, H., & Jongtae, L. (2005). *"Sensitivty Analysis of The Parameters of SWMM Based on Design Rainfall Conference"* 6th Japan Hydrology Conference, Tokyo.
- Yao, L., Chen, L., Wei, W., Sun, R. (2015). *Potential reduction in urban runoff by green spaces in Beijing: A scenario analysis*. Urban Forestry & Urban Greening, 14(2), 300-308.
- Zhang, Y., & Shuster, W. (2014). *Impacts of Spatial Distribution of Impervious Areas on Runoff Response of Hillslope Catchments.* Journal of Hydrology engineering, 19, 1089-1100.
- Sin J, Jun C, Zhu JH, Yoo C. *Evaluation of flood runoff reduction effect of LID (Low Impact Development) based on the decrease in CN: case studies from Gimcheon Pyeonghwa district*, Korea. Procedia Eng. 2014;70:1531–8

www.SID.ir

Archive of SID

Urban Economics and Planning Vol 9(4), Winter 2021

Urban Economics and Planning

Homepage: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Evaluation of SWMM hydrological-hydraulic model in urban runoff management (Case study: District 12 of Tehran Municipality)

Behnoush farokhzadeh[1,*], Arman Kiany[2], Omolbanin Bazrafshan[3]

[1] *Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran*
[2] *Graduated from Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran*
[3] *Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Natural Resources Engineering, Hormozga University, Bandar Abbas, Iran*

ARTICLE INFO

Article History:
Received 2020-09-10
Accepted 2020-10-24

Keywords:
runoff collection network
surface runoff
SWMM model

ABSTRACT

In urban areas, a large part of the land is covered by impermeable surfaces, which leads to the formation of surface runoff and floods and waterlogging in cities. To conduct this research, in District 12 of Tehran Municipality, using the rainfall parameter and physical characteristics of the basin through the hydrological-hydraulic model, SWMM, the amount of surface runoff in different return periods for three canals of Khayyam, shahrdary and 17 Shahrivar was estimated. Then, through 4 rainfall events on 12/11/2015, 1/12/2015 and 18/4/2016 the model was validated using 3 statistics of Nash-Sutcliffe, square root error and BIAS. The results show the efficiency of the model in estimating surface runoff. The results of sensitivity analysis showed that the percentage of impermeable areas has the most impact and the percentage of impermeable areas without surface storage have the least impact on peak discharges. Since the 17 Shahrivar tunnel in the eastern part of the study area does not have the ability to cross the runoff with a return period of 20 years, so the dimensions of the canal should be reviewed, which was estimated by trial and error method. In general, it can be concluded that the SWMM model has the accuracy required to simulate urban runoff and urban runoff management plans and design a surface water collection network in urban areas.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.04.06

©2021 Urban Economy. All rights reserved.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

farokhzadeh B, KianyA, BazrafshanO. (2021). Evaluation of SWMM hydrological-hydraulic model in urban runoff management(Case study: District 12 of Tehran Municipality). Urban Economics and Planning, 9(4): 243-251.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.04.06

url: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/article_120552.html

*Corresponding Author: Email: *be_farokhzadeh@yahoo.com*

www.SID.ir