نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دهم. شماره سی و نهم. بهار۱۳۹۹

ارزیابی مدل مدیریت سیلاب SWMM5.0 در شبیه سازی رواناب شهری (مطالعه موردی: حوضه شهری نیشابور)

صدیقه اروند[۱]، مهدی دلقندی[۲*]، زهرا گنجی نوروزی[۳]، اکبر علیپور[۴]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

چکیده

افزایش شهرنشینی و مناطق نفوذناپذیر درشهرها منجر به رخداد سیلاب‌های شدیدتر می‌گردد که نتیجه این امر افزایش مشکلات شهروندان و خسارت اقتصادی می‌باشد. مدل‌های رایانه‌ای می‌توانند یک راه حل مناسب برای غلبه بر این مشکلات باشند. اما استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی رواناب مستلزم واسنجی مناسب پارامترهای دخیل در روندیابی هیدروگراف می‌باشد. بنابراین در مطالعه حاضر، مدل مدیریت سیلاب SWMM5.0 برای شبیه‌سازی مقدار کمی رواناب یک زیرحوضه شهری واقع در شهرستان نیشابور انتخاب گردید. داده‌های مورد نیاز از ۹ رخداد بارش جمع آوری شد و مدل با استفاده از ۶ رخداد واسنجی و با ۳ رخداد دیگر ارزیابی گردید. کارایی مدل با استفاده از میانگین ریشه دوم خطای نرمال شده (NRMSE)، راندمان مدل (EFF) و ضریب باقیمانده (CRM) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل SWMM5.0 می تواند با دقت، شکل هیدروگراف، دبی پیک و زمان رسیدن به دبی پیک را شبیه‌سازی کند. به طوری‌که مقادیر EFF، NRMSE، CRM در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۸۰ درصد، ۲۹/۴ درصد و ۰/۱۶ m^3/s- بدست آمد. به طور کلی می‌توان گفت مدل SWMM5.0 می‌تواند ابزار مدل‌سازی مفیدی برای شبیه-سازی هیدروگراف رواناب شهری باشد. در پایان از مدل ارزیابی شده برای شبیه‌سازی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله استفاده گردید.

واژه‌های کلیدی: هیدرولوژی شهری، رواناب، SWMM، مدل‌سازی.

[۱] گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود. sedighearvand@yahoo.com
[۲] استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود. تلفن تماس: ۰۲۳۳۲۵۲۴۶۲۰- delghandi@gmail.com (نویسنده مسئول).
[۳] استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود. تلفن تماس: ۰۲۳۳۲۵۲۴۶۲۰- z_ganji59@yahoo.com
[۴] مدیر بخش امور آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. akbaralipoor.at@gmail.com

مقدمه

بر طبق گزارش سازمان ملل، بیشتر از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری و نیمه شهری سکونت دارند که با توسعه شهری، مناطق نفوذناپذیر افزایش یافته و باعث افزایش حجم و دبی پیک سیلاب‌های شهری می‌گردد (Chunlin et al., 2014; Bellos and Tsakiris, 2015). سیستم‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی از اجزای مهم شهرسازی هستند که با توجه به خصوصیات حوضه‌های شهری طراحی می‌شوند و هرگونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آنها می‌تواند مشکل آفرین باشد. سیل زدگی شهرها، خسارات فیزیکی (ساختمان‌ها، معابر)، خسارات بهداشتی و هزینه‌های اقتصادی نمونه‌ای از این مشکلات هستند. از این رو طراحی صحیح و تأمین ظرفیت کافی شبکه جمع‌آوری، دفع آب‌های سطحی و استفاده از بهترین اقدامات مدیریتی (BMP)[5] نوین جهت مدیریت این رواناب‌ها ضروری است، که معمولا نیازمند شبیه سازی و استفاده از مدل‌های ریاضی (کامپیوتری) خواهد بود (Hsu et al., 2000; Chen et al., 2009). مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی می‌توانند باعث توسعه مدیریت سیلاب شهری و کاهش اثرات مخرب آن‌ها گردند (Barco et al., 2008). این مدل‌ها قبل از استفاده نیاز به واسنجی و صحت سنجی دارند (Muleta et al., 2012) اما در عمل گاهی به دلیل عدم دسترسی به داده‌های واقعی (کمیت و کیفیت سیلاب شهری) و همچنین مشکلات پیش رو جهت جمع‌آوری این سری از داده‌ها، ارزیابی مدل نادیده گرفته می‌شود (Kleidorfer et al., 2009; Blumensaat et al., 2012). لذا ارزیابی این مدل‌ها برای مناطق مختلف می‌تواند کمک شایانی به بهبود مدیریت سیلاب در این مناطق نماید. یکی از پرکاربرد ترین مدل‌های مدیریت رواناب شهری، SWMM[6] می باشد، که می‌توان بعد از شناسایی مناطق دارای آبگرفتگی و بروز سیلاب، از این مدل جهت مدیریت رواناب، طراحی شبکه زهکش و دفع رواناب‌ها استفاده نمود. در ادامه به بخشی از مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی مدل‌های مدیریت سیلاب شهری پرداخته شده است.

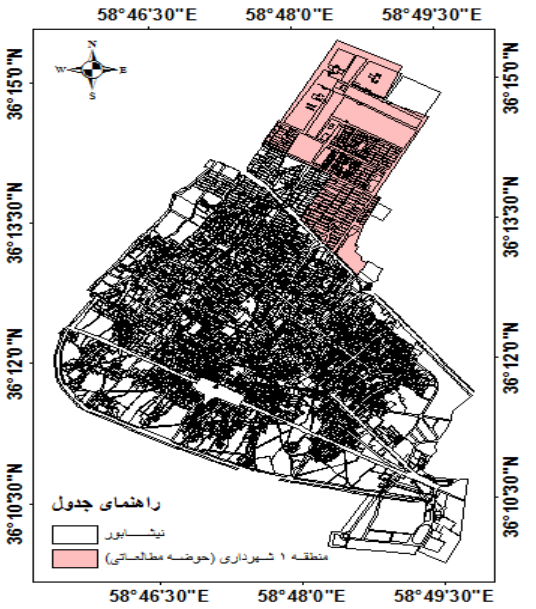
Jia et al. (2012) در تحقیقی با استفاده از مدل SWMM به شبیه‌سازی شبکه زهکشی در دهکده المپیک چین اقدام نمودند. Sun et al. (2013) جهت برآورد پارامترها و عدم قطعیت در مدل SWMM، اقدام به ارزیابی مدل در شهر سیراکیوز[7] نمودند. Kourtis et al. (2017) برای دو حوضه شهری یونان مدل SWMM را ارزیابی نمودند. علاوه بر این مطالعات، محققان دیگری نیز از این مدل برای مناطق مختلف دنیا استفاده نمودند (Krebs et al., 2013; Huang et al., 2015; Del-Guidice and Padulano 2016). در ایران نیز حیدرزاده (۱۳۹۶) به‌منظور بررسی آنالیز حساسیت مدل SWMM در شهر بندرعباس، نه پارامتر موثر در مدل را مورد بررسی قرار دادند. خلیقی و همکارن (۱۳۹۴) اقدام به ارزیابی مدل SWMM در شهرک امام علی شهر مشهد نمودند آنها به منظور واسنجی و ارزیابی مدل از سه واقعه بارندگی استفاده کردند. بدیعی زاده و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به منظور واسنجی مدل SWMM (برای شهر گرگان) عنوان نمودند دبی اوج و حجم جریان شبیه‌سازی انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد.

منطقه یک شهرداری نیشابور یکی از مناطق شهری درگیر با آب‌گرفتگی معابر شهری می‌باشد، لذا این تحقیق با هدف ارزیابی مدل SWMM برای این منطقه صورت پذیرفت تا بتوان از مدل ارزیابی شده برای مدیریت سیلاب شهری استفاده نمود و مشکلات آب‌گرفتگی معابر را با راهکارهایی مانند طراحی مناسب زهکش شهری، اعمال بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs) و ... حل نمود.

[5] Best Management Practice
[6] Stormwater management model
[7] Syracuse

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی این تحقیق، منطقه یک شهرداری نیشابور واقع در شمال شرقی شهر به مساحت ۵۵۴ هکتار و با شیب حدود ۱/۸ درصد می‌باشد که بر روی مخروط افکنه قرار دارد به طوری‌که پست‌ترین نقطه آن پل خیابان ۱۵ خرداد با ارتفاع ۱۲۰۵ متر و بالاترین رقم ارتفاعی منطقه، هنرستان کشاورزی در بالای شهرک قدس با ارتفاع ۱۲۶۸متر می‌باشد (شکل۱). این منطقه در هنگام بارندگی به شدت تحت تاثیر آب‌گرفتگی معابر قرار می‌گیرد.



شکل (۱): نقشه موقعیت حوضه مطالعاتی

معرفی مدل SWMM: این نرم‌افزار با بهره‌گیری از معادلات مومنتوم و سنت-ونانت برای شبیه‌سازی و مدیریت رواناب و بارش در حوضه‌های آبریز است که برای نخستین بار در سال ۱۹۷۱ توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا تولید شده است و تا به امروز نسخه پنجم آن تغییر و تحولات بسیار زیادی داشته است و قادر به شبیه‌سازی دینامیکی بارش- رواناب با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیر سطحی است (بدیعی زاده، ۱۳۹۱).

روش‌های محاسباتی

این مدل از معادلات بقای جرم، انرژی و مومنتم استفاده می کند. با توجه به اهداف تحقیق، محاسبات در سه بخش ارائه می‌گردد.

رواناب سطحی: در مدل SWMM هر زیر حوضه مانند یک مخزن عمل می‌کند که جریان ورودی به آن شامل نزولات جوی و ذوب برف می‌باشد و جریان خروجی شامل تبخیر، نفوذ و رواناب سطحی خروجی می باشد. رواناب هنگامی اتفاق می‌افتد که عمق آب در مخزن بیشتر از تلفات چالاب و نفوذ گردد و مقدار آن توسط معادله مانینگ تعیین می‌شود عمق آب در سطح زیر حوضه نیز به طور پیوسته توسط حل عددی و معادله بیلان آب محاسبه می گردد.

نفوذ: مدل برای محاسبه مقدار نفوذ از سه معادله هورتون، گرین-امپ و روش شماره منحنی استفاده می‌نماید.

روندیابی جریان: روند یابی جریان داخل مجرای آب توسط معادلات بقای جرم و مومنتم برای جریان غیر دائمی و متغیر تدریجی انجام می گیرد. بدین منظور مدل، یکی از معادلات روند یابی جریان دائمی، موج کنیماتیک و موج دینامیک را مورد استفاده قرار می دهد (سید کابلی همکاران، ۱۳۸۸).

آمار و اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت اجرای مدل SWMM عبارتند از اطلاعات هواشناسی، هیدرومتری و هیدرولوژیکی شامل اطلاعات بارش، هیدروگراف‌های سیلاب، اطلاعات زمانی رویدادها و همچنین اطلاعات مربوط به فیزیوگرافی و مورفولوژی زیرحوضه‌ها و نواحی شهری شامل زمان تمرکز و زمان تأخیر، شماره منحنی، درصد نواحی نفوذناپذیر، نفوذپذیری، مساحت زیرحوضه‌ها، مساحت هر یک از انواع کاربری اراضی در منطقه شهری، که این اطلاعات از بانک‌های اطلاعات شهرداری، آب منطقه‌ای شهر، اداره هواشناسی، استفاده ازGIS، انجام بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری قابل استخراج می‌باشد.

عملیات میدانی

از آنجایی که رفتار هر حوضه با توجه به خصوصیات هیدرولیکی که در آن، فرآیند بارش-رواناب اتفاق می‌افتد متفاوت است جهت واسنجی مدل بارش-رواناب نیازمند اندازه‌گیری دبی رواناب در چندین رخداد مختلف است. بدین منظور در این مطالعه اقدام به اندازه‌گیری دبی رواناب در کانال منوچهری واقع در انتهای خیابان ۱۵ خرداد مجاور پل خیابان ۱۵ خرداد (خروجی شبکه زهکشی) طی ۲۰ رخداد مختلف بارش شد. محل اندازه-گیری در شکل (۲) با عنوان خروجی شبکه، نمایش داده شده است. بدلیل فقدان ایستگاه هیدرومتری در مسیر کانال مورد نظر، سرعت جریان برای محاسبه دبی، با دو روش جسم شناور و میکرومولینه اندازه‌گیری شد (جهت از بین بردن خطای انسانی در برآورد سرعت از دو روش استفاده گردید). به این طریق که پس از رخداد بارش، هر ۳۰ دقیقه یک بار عمق رواناب (جهت تعیین سطح مقطع جریان) در خروجی حوضه، با استفاده از خط‌کش اندازه-گیری شد و پس از آن سرعت رواناب مشخص گردید. لازم به ذکر است که مقطع کانال، مستطیلی بوده و با اندازه‌گیری عمق جریان، سطح مقطع جریان محاسبه گردید. با داشتن سرعت و سطح مقطع جریان در زمان-های مختلف، هیدروگراف دبی ناشی از رگبار رسم گردید. این اندازه‌گیری‌ها برای بارش‌های فصل زمستان و بهار صورت پذیرفت. که از این میان به دلیل ایجاد شرایط ناخواسته طی برداشت‌ها، (نظیر طولانی شدن مدت بارش و عدم برداشت انتهای بارش، تداخل بارش با نیمه‌های شب، همراه شدن برف یا تگرگ در طی بارش، کوتاه بودن مدت بارش و ...) ۹ واقعه انتخاب شد و در نهایت اطلاعات مربوط به مقادیر این رگبارها با مراجعه به اداره هواشناسی نیشابور دریافت شد و در جدول (۱)، ارائه شده است.

جدول (۱): خصوصیات بارش‌های انتخابی مورد استفاده برای ارزیابی مدل SWMM

رویداد	۹۵/۱۱/۱۰	۹۵/۱۱/۱۴	۹۵/۱۱/۲۵	۹۵/۱۱/۲۹	۹۵/۱۲/۱۵	۹۵/۱۲/۲۴	۹۶/۰۱/۰۴	۹۶/۰۱/۱۳	۹۶/۰۱/۱۴
شماره بارش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
بارش(mm)	۱۶/۴	۴/۸	۲/۱۲	۳۷/۹	۲۵/۲	۲/۵	۲۱	۱۰	۱۶/۶
تداوم(h)	۱۱	۳	۷	۱۷	۱۳	۳	۱۰	۵	۱۱

در این تحقیق، تعیین مرز حوضه و زیرحوضه‌های مطالعاتی، طی چهار گام صورت گرفت. در گام اول نقشه کانال‌ها و زهکش‌های منطقه تهیه شد و در گام بعدی، جهت ایجاد یک دید کلی برای بستن مرز حوضه، از نقشه کاربری اراضی شهرداری و نقشه رقوم ارتفاعی منطقه با مقیاس۱/۵۰۰، استفاده گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc Map و نقشه DEM[8] منطقه مرز اولیه‌ای شبیه آنچه که برای یک حوضه طبیعی صورت می‌گیرد، تعیین شد. در گام سوم، با استفاده از نرم‌افزار Google Earth و تعیین شیب هر قسمت و اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای هر کوچه و یا خیابان مرز دقیق‌تری تعیین گردید. در گام آخر نقشه تعیین شده طی یک بازدید میدانی بازبینی و اصلاح شد. به این صورت که با بازدید میدانی، جهت حرکت آب در هر زیرحوضه و خروجی آن مشخص گردید و با نقشه تهیه شده آبراهه‌ها، مقایسه گردید و از این طریق نقشه آبراهه‌ها اصلاح شد. همین عمل برای شیب‌بندی خیابان‌ها و کوچه‌ها در هریک از زیرحوضه‌ها و تشخیص خروجی هرکدام نیز صورت پذیرفت. برای تعیین درصد نفوذناپذیر هر زیر حوضه، ابتدا نقشه کاربری اراضی به تفکیک مناطق مسکونی، تجاری، صنعتی، پارک و فضای سبز، میدان، ورزشی، اراضی بایر، سطوح روکش دار (خیابان، آسفالت، سنگ‌فرش) بررسی شده و مناطق

[8]. Digital Elevation Model

نفوذپذیر و نفوذناپذیر از هم تفکیک گردید. مقادیر به دست آمده با بازدیدهای میدانی اصلاح شد.

واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWMM

واسنجی و اعتبارسنجی (ارزیابی) مدل‌های هیدرودینامیکی موضوعی است که مورد توجه بسیاری از محققین و کاربران این مدل‌ها قرار گرفته است. از نقطه‌نظر بسیاری از محققین لزوم انجام فرآیند واسنجی و چگونگی انجام این فرآیند متفاوت است. دامنه این تغییرات به شکلی است که برخی از محققین شروع آن را پیش‌شرط انجام یک مدل‌سازی خوب دانسته‌اند (بدیعی زاده و همکارن، ۱۳۹۳). در این مطالعه برای ارزیابی مدل، از ۹ رخداد بارش اندازه‌گیری شده، استفاده گردید که شش واقعه برای واسنجی و سه مورد هم برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. جهت واسنجی از پارامتر-های تأثیرگذار بر زمان تمرکز[9] (T_c) حوضه استفاده شده است که عبارتند از عرض معادل، شیب حوضه، درصد مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، ضریب وزنی مانینگ مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر و ذخیره چالابی. دامنه تغییرات پارامترهای اولیه جهت اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM در جدول (۲) ارائه شده است. بر این اساس با توجه به همگن بودن منطقه مورد مطالعه، برای به حداقل‌رساندن زمان واسنجی و بالا بردن دقت مقادیر سایر پارامترها برای تمام زیرحوضه‌ها، به مقدار یکسان در نظر گرفته شد و به مقدار اولیه، به میزان ثابت افزوده و یا از آن کاسته می‌شود. از این روش به طور گسترده برای واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد (Temprano et al., 2006). واسنجی مدل تا جایی ادامه پیدا می‌کند که توسط شاخص‌های آماری مشخص شود نتایج حاصل از مدل واسنجی شده تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد.

شاخص‌های ارزیابی مدلSWMM

برای ارزیابی مدل‌ها از شاخص‌های آماری راندمان مدل (EFF)، میانگین ریشه دوم خطا[10] (RMSE)، RMSE نرمال شده[11](NRMSE) ، ضریب جرم باقیمانده[12] (CRM) و همچنین نمودار یک به یک استفاده گردید.

$$EFF = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{m}(Q_{oi}-Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^{m}(Q_{oi}-\bar{Q}_o)^2}\right)100 \qquad (۱)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - O_i\right)^2}{n}\right]^{1/2} \qquad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \qquad (۳)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \qquad (۴)$$

جدول (۲): دامنه تغییرات پارامترهای اولیه جهت اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM

پارامترهای کالیبره شده	محدوده تغییرات	منابع
N-perv[1]	۰/۰-۰۲/۸	(Huber and Dickinson, 1992)
N-Imperv[2]	۰/۰-۰۱۱/۰۳۳	(Huber and Dickinson, 1992)
Des-perv[3]	۲/۷-۵	(Tsihrintzis and Hamid, 1998)
Des-Imperv[4]	۰/۲-۳/۵	(Huber and Dickinson, 1992)
Imperv(%)[5]	±٪۳۰	(Temprano et al., 2006)
CN[6]	+۱۰٪	(خالقی و همکاران، ۱۳۹۰)

[1]- n مناطق نفوذناپذیر
[2]- n مناطق نفوذناپذیر
[3]- ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر
[4]- ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر
[5]- درصد نفوذناپذیری
[6]- شماره منحنی

[9]. Time of Concentration
[10]. Root Mean Square Error
[11]. Normalized I
[12]. Coefficient of Residual Mass

که در آنها P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، n تعداد نمونه‌های بکار رفته و $\overline{O}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. حداقل مقدار RMSE صفر می‌باشد که نشان دهنده کارایی عالی مدل در شبیه‌سازی متغیر مورد بررسی می‌باشد. RMSE همچنین می‌تواند با تقسیم شدن به مقدار میانگین داده‌های مشاهداتی به عنوان RMSE نرمال شده (NRMSE) که ضریبی بدون بعد است تعریف شود. برای تعیین تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری از معیار CRM استفاده می‌شود. CRM منفی نشانگر تمایل مدل به برآورد بیش از مقادیر مشاهداتی است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی آماره‌های RMSE، CRM و NRMSE برابر صفر می‌شود (Mereu et al., 2009; Mattar et al., 2017). در نمودار یک به یک نیز، برای مقادیر اندازه گیری شده X_m و مقادیر پیش‌بینی شده X_p از برازش داده‌ها به معادله رگرسیونی زیر استفاده می‌شود:

$$x_p = \lambda \times x_m \qquad (۵)$$

که در آن λ : شیب بهترین خط برازش داده شده می‌باشد. $\lambda<1$ نشان دهنده پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی و مقادیر $\lambda>1$ نشان دهنده پیش‌بینی بیشتر از مقدار واقعی است. شاخص ضریب تعیین (R^2) تعیین کننده مناسب بودن برازش معادله فوق به داده‌ها می‌باشد. مقدار درصد متوسط خطای پیش بینی نیز توسط رابطه زیر بیان می گردد:

$$E_r = |(1-\lambda)| \times 100 \qquad (۶)$$

بررسی رواناب حاصل از بارش طرح

شدیدترین سیلاب از بارانی ناشی می‌شودکه تداوم آن برابر زمان تمرکز حوضه آبخیز باشد. لذا برای محاسبه مقدار سیلاب برای زیرحوضه‌های مختلف، حداکثر شدت بارندگی در تداوم‌هایی که مقدار آن برابر زمان تمرکز حوضه باشد، ضروری است (Badiezadeh, 2013). همچنین با توجه به این که زهکش‌های شهری اغلب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و۱۰ ساله، بسته به اهمیت سازه طراحی می‌شوند (رشیدپور، ۱۳۹۰؛ Chow et al., 1988). لذا در این تحقیق پس ارزیابی مدل، از بارش طرح با مدت، زمان تمرکز حوضه و دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله برای تعیین حجم رواناب استفاده گردید.

در این تحقیق برای بدست‌آوردن زمان تمرکز در منطقه مورد مطالعه از رابطه برانسی ویلیامز، رابطه کالیفرنیا و رابطه کرپیچ استفاده شده است. همچنین به منظور به‌دست آوردن شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های مختلف، به علت عدم وجود منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی در ایستگاه هواشناسی شهر نیشابور، ناگزیر از رابطه تجربی (۷) که برای بارندگی‌های بین ۱۵ دقیقه تا ۲۰ ساعت درایران ارائه شده، استفاده گردید.

$$P_T^t = [0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6)](0.3710 + 0.6184 t^{0.4484}) P_{10}^{60} \qquad (۷)$$

که در آن P_T^t: مقدار بارندگی در دوره بازگشت T ساله و مدت بارندگی (t) مورد نظر (میلی‌متر)، t: مدت بارش طرح (ساعت)، T: دوره برگشت مورد نظر(سال) و P_{10}^{60} : مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله بر حسب میلی‌متر است که برای ایران از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

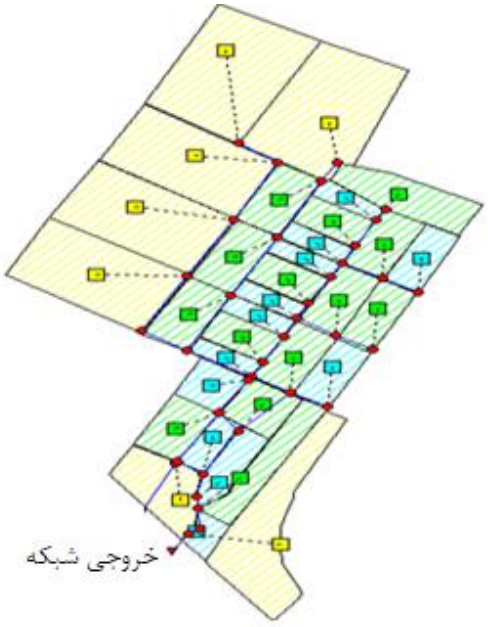
$$P_{10}^{60} = 2.26 (P_{24th})^{1.1374} (P_{year})^{-0.3072} \qquad (۸)$$

در این رابطه P_{24th} : متوسط حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته (میلی‌متر) و P_{year}: متوسط بارندگی سالانه منطقه بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از بررسی‌های انجام شده، منطقه مورد مطالعه به ۳۳ زیر حوضه تقسیم شد و خصوصیات فیزیکی زیر

حوضه‌ها شامل عرض زیر حوضه‌ها، مساحت، شیب، درصد نفوذناپذیری، ضریب زبری مانینگ و... جهت استفاده در مدل تعیین گردید. با توجه به نقشه کاربری اراضی و بازدید میدانی از منطقه، کانالهای تأثیر پذیر مشخص و مشخصات آن‌ها برداشت شد، این مشخصات شامل موقعیت کانال، طول کانال، عمق کانال، عرض بالای کانال، شکل و ضریب زبری مانینگ می‌باشند. با توجه به اینکه جنس کانال‌های شبکه زهکشی در منطقه مورد مطالعه غالباً از جنس بتن است، بر اساس توصیه دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه، مقدار ۰/۰۱۳ به عنوان ضریب زبری کانال‌های شبکه زهکشی موجود انتخاب شد. (حسینی، ابریشمی، ۱۳۸۱) و در نهایت، گره‌ها به عنوان بخش مرتبط کننده مجاری، به مدل معرفی گردیدند در شکل (۲) منطقه مورد مطالعه به همراه زیرحوضه‌ها، مجاری و گره‌ها، نمایش داده شده است.



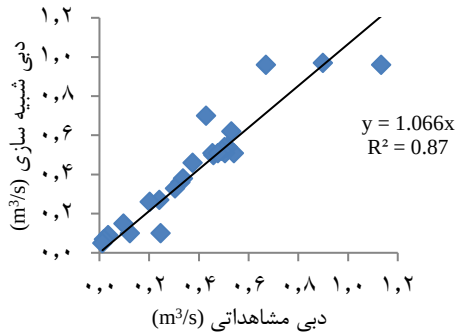
شکل (۲): زیرحوضه‌ها، مجاری و اتصالات سیستم شبکه زهکشی منطقه موردمطالعه در محیط مدل

نتایج واسنجی مدل SWMM

همان طور که بیان شد مقادیر پارامترهای تأثیرگذار بر زمان تمرکز در حوضه‌های مختلف متفاوت است، بنابراین همه پارامترها در تمامی زیر حوضه‌ها به‌طور هم‌زمان در واسنجی کاهش یا افزایش داده شد. جهت واسنجی مدل از ۶ رویداد از ۹ رویداد ذکر شده در جدول (۱) استفاده گردید. مقادیر اولیه و بهینه شده در جدول (۳) ارائه شده است و در جدول (۴) خطای بدست آمده از اجرای مدل با مقادیر بهینه شده برای سه پارامتر دبی اوج، حجم جریان تولیدی و زمان رسیدن به اوج هر رخداد ارائه شده است.

بر اساس جدول (۴) میزان خطا در تمام بارش‌ها چه برای دبی اوج چه برای حجم جریان در محدوده قابل قبولی است. همچنین با توجه به ناچیز بودن اختلاف زمان به اوج رسیدن هیدروگراف رواناب، می‌توان گفت مدل به خوبی توانسته زمان وقوع حداکثر سیلاب را با اختلاف حداکثر ۰/۵ساعت برآورد کند. این در حالی است که در سه تا از رخدادها، این اختلاف به صفر می‌رسد.

جهت ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی از ۵ شاخص استفاده شد، که مقادیر آن‌ها در جدول (۵) نشان داده شده است.



شکل(۳): برازش خط یک به یک

جدول (۳): مقادیر اولیه و بهینه‌شده نتایج اجرای واسنجی پارامترهای مهم مدل SWMM

پارامتر کالیبراسیون	مقادیر اولیه	مقادیر بهینه	میزان تغییر پارامتر
عرض معادل	برای هر زیر حوضه متفاوت است	برای هر زیر حوضه متفاوت است	+٪۱۰
درصد نفوذناپذیری	برای هر زیر حوضه متفاوت است	برای هر زیر حوضه متفاوت است	-٪۲۰
ضرب زبری مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۱	۰/۰۰۹۵	-٪۵
ضریب زبری مناطق نفوذپذیر	۰/۱	۰/۱۰۵	+٪۵
ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر	۰/۰۵	۰/۰۴۷۵	-٪۵
ذخیره چالابی مناطق نفوذپذیر	۰/۰۵	۰/۰۵۲۵	+٪۵

جدول (۴): مقایسه پارامتر های هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی رویدادهای در مرحله واسنجی

پارامتر	دبی اوج (m^3/s)		اختلاف	حجم جریان (m^3)		اختلاف	زمان رسیدن به دبی اوج(h)		اختلاف
رویداد	شبیه‌سازی	مشاهداتی	٪	شبیه‌سازی	مشاهداتی	٪	شبیه‌سازی	مشاهداتی	(h)
۹۵/۱۱/۱۰	۰/۹۷	۱/۱۳	۱۴	۴/۲۲۸	۳/۵۷	۱۸	۸	۸/۵	۰/۵
۹۵/۱۱/۱۴	۰/۶۳	۰/۶۱	۳/۲	۱/۲۷	۱/۲۱	۴/۹	۲/۵	۲	-۰/۵
۹۵/۱۱/۲۵	۱/۲۲	۱/۲۲	۰	۳/۱۸۹	۳/۳۵	۴/۸	۴/۵	۴/۵	۰
۹۵/۱۱/۲۹	۱/۱۹	۱/۲۲	۰/۰۲	۱۰/۷۳۷	۱۰/۶۰	۱/۲	۳	۳/۵	۰/۵
۹۶/۰۱/۱۳	۰/۹۵	۰/۹۸	۳	۲/۸۰۹	۲/۷۵	۲/۱	۴	۴	۰
۹۶/۰۱/۱۴	۰/۵۲	۰/۵۸	۱۰	۱/۶۲۴	۱/۵۹	۲/۱	۳/۵	۳/۵	۰

جدول (۵): مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه سازی دبی در مرحله واسنجی مدل SWMM

رخداد	EFF (%)	NRMSE (%)	CRM (m^3/s)	Er (%)	R^2
۹۵/۱۱/۱۰	۸۴	۲۴/۵۴	۰/۰۹۰	۶	۰/۸۷
۹۵/۱۱/۱۴	۸۹	۱۸/۵۸	-۰/۰۰۰۹	۱/۴	۰/۹۱
۹۵/۱۱/۲۵	۹۰	۱۸/۳۴	-۰/۰۰۳۷	۰/۹	۰/۹۱
۹۵/۱۱/۲۹	۷۶	۱۵/۳	۰/۰۲۶	۱/۸	۰/۷۹
۹۶/۰۱/۱۳	۸۶	۲۴/۳۷	۰/۰۵۴	۰/۷	۰/۷۹
۹۶/۰۱/۱۴	۸۵	۲۱/۰۵	۰/۰۰۶	۵	۰/۸۸
میانگین آماره‌ها	۸۵	۲۰/۴۰	۰/۰۲۹	۲/۶۳	۰/۸۸

بر اساس نتایج جدول (۵) میانگین راندمان محاسبه شده برای ۶ رخداد، نشان دهنده کارایی خوب مدل در پیش-بینی هیدروگراف سیلاب است.

مقادیر CRM نیز نشان می‌دهد در برخی از رخدادها مقادیر شبیه‌سازی بیشتر از مقادیر مشاهداتی بوده است و در برخی رخدادها برعکس می‌باشد ولی به طور کلی میانگین CRM برای شش رخداد ۰/۰۲۹ تعیین شده است که نشان می‌دهد مدل مقدار شبیه‌سازی را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد که این مقدار ناچیز می‌باشد.

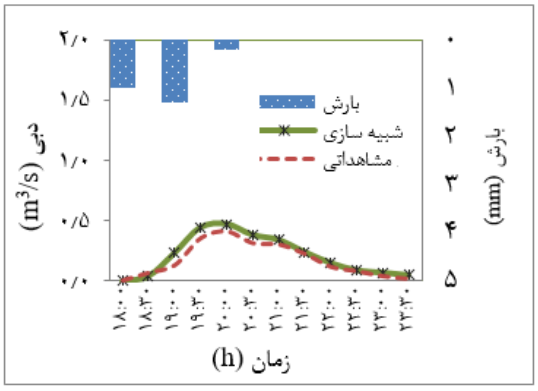
مقدار خطای متوسط شبیه سازی (E_r) برای تمام رخدادها بسیار پایین (کمتراز ۶ درصد) می‌باشد که مقدار اختلاف این آماره با آماره های NRMSE و EFF را می-توان در این دانست که این آماره بر اساس برازش خط یک به یک به داده‌ها تعیین می‌شود و در این برازش از پراکندگی داده‌ها میانگین‌گیری (شکل۳) لذا برای نشان دادن کارایی این آماره بایستی به مقدار R^2 نیز توجه گردد که مطابق (جدول ۵) مقادیر R^2 برای خط برازش داده شده با اینکه در دامنه مناسبی قرار دارد ولی از مقدار ایده‌آل آن فاصله دارد. همچنین با توجه به ناچیز بودن اختلاف زمان به اوج رسیدن هیدروگراف رواناب (جدول ۴) می‌توان گفت مدل به خوبی توانسته زمان وقوع حداکثر سیلاب را با اختلاف حداکثر ۰/۵ ساعت برآورد کند.

نتایج اعتبارسنجی مدل SWMM

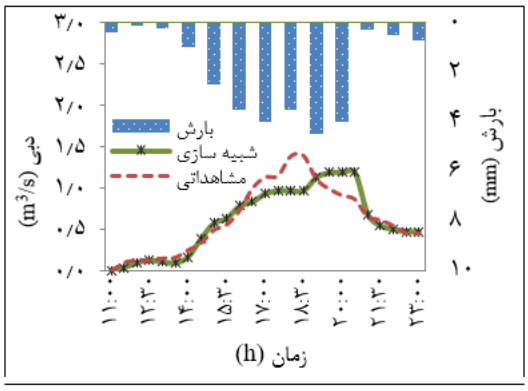
پس از واسنجی مدل هیدرولوژی، به‌منظور اعتبارسنجی مدل از سه رویداد مورخ ۹۵/۱۲/۱۵، ۹۵/۱۲/۲۵ و ۹۶/۰۱/۰۴ استفاده گردید. نتایج اعتبارسنجی مدل در جداول (۶) و (۷) آورده شده است. طبق نتایج جدول (۶) کمترین و بیشترین اختلاف حجم جریان به ترتیب ۲/۵ و ۴/۳ درصد است و همچنین بیشترین اختلاف دبی اوج تنها به ۱۳ درصد می‌رسد. همچنین شکل‌های (۴ تا ۶) به مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی برای سه بارش در مرحله ارزیابی مدل می‌پردازد.

جدول (۶): نتایج مقادیرپارامترهای هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی رویدادهای در مرحله اعتبار سنجی

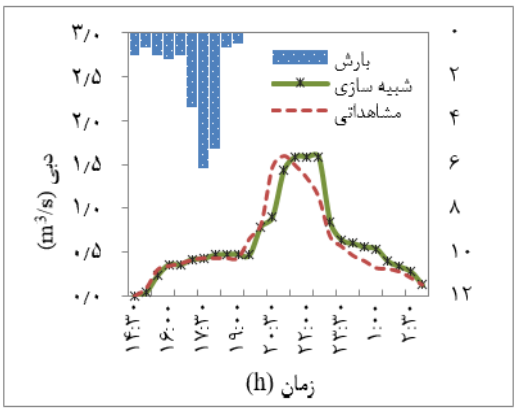
پارامتر رویداد	دبی اوج (m^3/s)		اختلاف	حجم جریان (m^3)		اختلاف	زمان رسیدن به دبی اوج (h)		اختلاف
	شبیه‌سازی	مشاهداتی	٪	شبیه‌سازی	مشاهداتی	٪	شبیه‌سازی	مشاهداتی	(h)
۹۵/۱۲/۱۵	۱/۱۹	۱/۳۸	۱۳	۷/۰۰۴	۷/۱۹	۲/۵	۹/۵	۸	-۱/۵
۹۵/۱۲/۲۴	۰/۴۴	۰/۴۰	۱۰	۰/۵۲۱	۰/۵۰	۴/۲	۳	۳	۰
۹۵/۰۱/۰۴	۱/۴۸	۱/۵۹	۶/۹	۵/۱۷۷	۵/۴۱	۴/۳	۸	۷/۵	۰/۵



شکل(۴): هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهداتی مورخ ۹۵/۱۲/۲۴



شکل (۵): هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهداتی مورخ۹۵/۱۲/۱۵



شکل (۶): هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی برای رگبار مورخ ۹۶/۰۱/۰۴

جدول(۷): مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی مدل SWMM

رخداد	EFF	NRMSE	CRM	Er	R^2
۹۵/۱۲/۱۵	۸۳	۲۶/۹۸	-۰/۰۴۲	۶/۵	۰/۸۳
۹۵/۱۲/۲۴	۹۲	۲۲/۸۸	۰/۰۶۶	۷/۳	۰/۹۴
۹۶/۰۱/۰۴	۶۵	۳۸/۲۳	-۰/۱۴۴	۱۴/۶	۰/۷۰
میانگین آماره‌ها	۸۰	۲۹/۳۶	-۰/۱۶	۹/۴۶	۰/۸۲

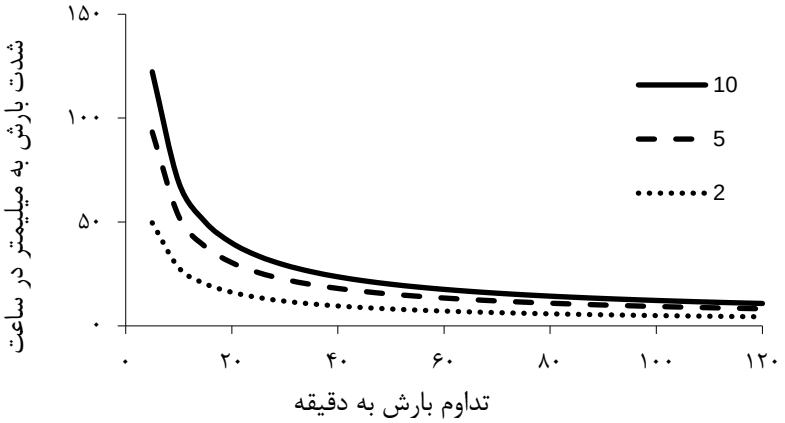
همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود روند جریان به خوبی شبیه‌سازی شده است این در حالی است که درشکل (۵) این روند تنها در ابتدا و انتهای جریان و همچنین دبی اوج به خوبی شبیه‌سازی شده است و در رابطه با زمان رسیدن به نقطه اوج دبی با یک تاخیر زمانی مواجه هستیم.

بر اساس آماره‌های محاسبه شده در مرحله اعتبارسنجی که عبارتند از EFF=۸۰٪، NRMSE=۲۹/۳۶٪، m^3/s CRM=۰/۱۶، Er=۹/۴۶٪ و R^2=۰/۸۲ نشان می‌دهد، پارامترهای بهینه شده در مرحله واسنجی، به خوبی برآورد شده‌اند و مدل به خوبی روند جریان را شبیه‌سازی کرده است. قابل ذکر است پایین بودن راندمان محاسبه شده در رخداد ۹۶/۰۱/۰۴ تنها به علت وجود یک تأخیر زمانی صورت گرفته در جریان شبیه‌سازی می‌باشد. گواه این امر تطابق خوب هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی شکل (۶) و مقدار پایین درصد اختلاف محاسبه شده در دبی پیک و حجم جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی (جدول ۶) می باشد. با توجه به این جدول، در این رخداد درصد اختلاف دبی پیک و حجم جریان به ترتیب برابر ۶/۹ و ۴/۳ درصد است. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده در رابطه با ارزیابی مدل SWMM می‌توان از این مدل جهت شبیه سازی بارش-های احتمالی در منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطقی که از لحاظ همگنی، مشابه منطقه مورد نظر است استفاده نمود و شبکه زهکشی شهری را با استفاده از این مدل بهبود بخشید و نقاط مربوط به آب گرفتگی را تعیین کرده و علت آن را مورد برررسی قرار داده و در نهایت اصلاح نمود.

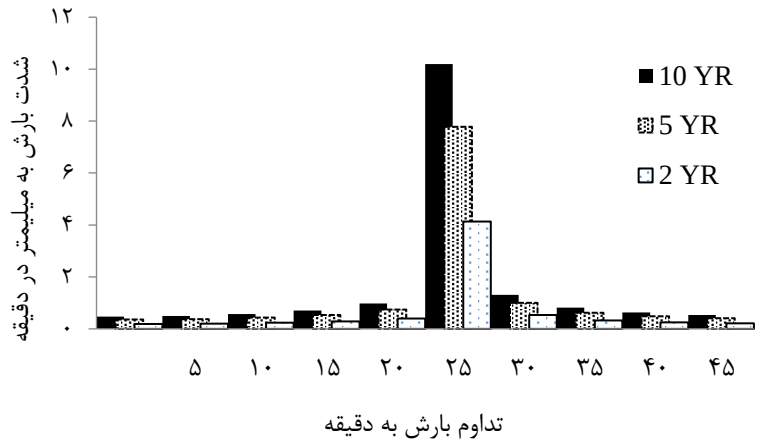
نتایج شبیه‌سازی رواناب در برای باران طرح

زمان تمرکز برای حوضه مورد مطالعه، بر اساس سه روش کالیفرنیا، کرپیچ و برانسی ویلیامز به ترتیب ۵۱/۶، ۴۸/۶ و ۵۷/۴ دقیقه تعیین گردید بنابراین جهت برآورد بارش طرح، زمان تمرکز ۵۰ دقیقه مبنای کار قرار گرفت. در این مطالعه، استخراج هایتوگراف بارش طرح از منحنی های IDF صورت پذیرفت. بدین ترتیب که بعد از انتخاب دوره بازگشت طرح، شدت بارش از روی منحنی شدت-مدت-فراوانی شکل (۸) برای فواصل زمانی متفاوت

استخراج گردید. در نهایت هایتوگراف بارش طرح، به ازای رگبارهای برابر با زمان تمرکز حوضه (۵۰ دقیقه) و در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله استخراج شد (شکل ۹). سپس از این هایتوگراف جهت اجرای مدل با دوره بازگشت‌های مختلف استفاده شد. و مشخصات رواناب شکل گرفته در خروجی حوضه، در جدول (۹) ارائه شده است و از این نتایج می توان برای مدیریت رواناب شهری استفاده نمود.



شکل (۸): نمودار شدت – مدت در دوره برگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ساله در ایستگاه هواشناسی نیشابور



شکل (۹): هایتوگراف رگبار طراحی با تداوم ۵۰ دقیقه و دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله

جدول (۱۰): دبی و حجم رواناب خروجی برای بارش‌های طرح با مدت برابر با زمان تمرکز و دوره بازگشت متفاوت

رویداد	اندازه بارش(mm)	دبی ماکزیمم (m^3/s)	حجم رواناب (m^3/s)
۲ ساله	۶/۷۷	۰/۹۱	۱/۵۷
۵ ساله	۱۲/۷۴	۳/۵۵	۳/۰۸
۱۰ ساله	۱۶/۷۰	۵/۵۶	۴/۱۱

نتیجه گیری

این مطالعه با هدف واسنجی و اعتبارسنجی مدل بارش-رواناب SWMM5.0، برای منطقه یک شهرداری نیشابور صورت پذیرفت. با بررسی نتایج بدست آمده از ارزیابی مدل SWMM مشخص گردید که در مجموع؛ مدل به خوبی می‌تواند رواناب حاصل از بارش‌های مختلف (با شدت و مدت متفاوت) را شبیه سازی نماید. بدیعی زاده و همکاران (۱۳۹۳)، Barco et al. (2008), Hsu et al. (2000) Mattar et al. (2017) نیز در تحقیقات خود به چنین نتیجه‌ای دست یافته‌اند. به طوری‌که که مقادیر آماره های EFF، NRMSE، CRM در مرحله واسنجی به ترتیب، ۸۰ درصد، ۲۰/۴ درصد و m^3/s ۰/۰۲۹ تعیین شد. این مقادیر برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۸۰ درصد، ۲۹/۴ درصد و m^3/s ۰/۱۶- بدست آمد. مقادیر مربوط به آماره‌ها نشان داد که پارامترهای تأثیر گذار بر زمان تمرکز حوضه به خوبی بهینه شده است علاوه بر این، مقایسه هیدروگراف رواناب شبیه سازی با هیدروگراف مشاهداتی نشان داد، مدل می تواند به خوبی دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج را تخمین بزند همچنین مدل توانست شکل هیدروگراف را به خوبی شبیه‌سازی نماید. در پایان با استفاده از مدل ارزیابی شده، رواناب حاصل از بارش طرح با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله (که برای طراحی شبکه زهکش شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد) شبیه‌سازی شد و مقادیر حجم رواناب و دبی ماکزیمم برای منطقه مورد مطالعه برای هر باران طرح مشخص گردید.

منابع

بدیعی زاده، س. ۱۳۹۱. تعیین ابعاد بهینه شبکه زهکشی ازطریق شبیه سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMMدر شهر گرگان، استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

بدیعی زاده، س.، بهره‌مند، ع.ر.، دهقانی، ا.ا و ن. نورا. ۱۳۹۳. مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان، استان گلستان. نشریه حفاظت آب و خاک. جلد ۲۲. شماره ۱۴. ص ۱۵۵-۱۷۰.

سیدکابلی، ح.، معاضد، ه.، دلقندی، م و م. همتی. ۱۳۸۸. پیش بینی کمی و کیفی فاضلاب‌های سطحی درحوضه های شهری با استفاده ازنرم افزار EPA SWMM. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، کرج، انجمن آبخیزداری ایران.

حیدرزاده، م.، نوحه‌گر، ا.، ملکیان، آ و ا.ا خورانی. ۱۳۹۶. ارزیابی و آنالیز حساسیت کمیت رواناب و سیستم زهکشی در حوضه شهری ساحلی با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: بخشی از شهر بندرعباس). نشریه حفاظت آب و خاک. جلد ۲۴ شماره ۳. ص ۲۰۳-۲۱۸.

خلیقی، ش.، رستمی خلج، م.، مهدوی، م و ع. سلاجقه. ۱۳۹۴. واسنجی و ارزیابی مدل SWMM به منظور شبیه سازی رواناب شهری (مطالعهٔ موری: شهرک امام علی(ع) شهر مشهد). نشریه مرتع و آبخیزداری دوره ۶۸ شماره سوم. ص ۴۸۷-۴۹۸.

رشیدپور، م. ۱۳۹۰. تعیین و پیش بینی عمق مغروق شدگی سیلاب شهری ناشی از بارش‌های رگباری (مطالعه موردی، حوزه شهری بابلسر)، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۱۹ ص.

Barco J., K.M. Wong and M.K. Stenstrom. 2008. Automatic calibration of the US EPA SWMM model for a large urban catchment, Journal of Hydraulic Engineering, 134(4): 466-474.

Bellos, V and G. Tsakiris. 2015. Comparing various methods of building representation for 2D flood modelling in built-up areas, Water Resources Management, 29(2): 379-397.

Blumensaat, F., M. Wolfram, and P. Krebs. 2012. Sewer model development under minimum data requirements. Environ. Earth Sci. 65, 1427–1437.

Chen, J., A. A. Hill and L. D. Urbano. 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. Journal of Hydrol ,373, 184-19.

Chow, V.T, D.R. Maidment and L.W. Mars. 1988. Applied Hydrology, Mcgraw-Hill. 572p

Chunlin L., L. Miao, H. Yuanman, G. Jiping, S. Fengyun and X. Yanyan. 2014. Characterization and first flush analysis in road and roof runoff in Shenyang, China. Water Science & Technology, 70, 397.

Hsu, M. H., S. H. Chen and T. J. Chang. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system, Journal of Hydrology. 234, 21-37.

Huber, W. C. and R. E. Dickinson. 1992. Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

Jia, H., Y. Iu, S. Yu and Y. Chu. 2012. Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic village. Journal Separation and Purification Technology, PP:112-119 .

Kleidorfer, M., M. Moederl, S. Fach and W. Rauch. 2009. Optimization of measurement campaigns for calibration of a conceptual sewer model. Water Sci. Technol. 59, 1523–1530.

Kourtis I.M., G. Kopsiaftis, V. Bellos and V. Tsihrintzis. 2017. A Calibration and validation of SWMM model in two urban catchments in Athens, Greece. 15th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 31 August to 2 September 2017.

Mattar, M.A. and A. I. Alamoud . 2017. Gene expression programming approach for modeling the hydraulic performance of labyrinth-channel emitters. Computers and Electronics in Agriculture. 142, 450-460.

Mereu, V. 2009. Climate change impact on durum wheat in Sardinia. Ph.D. Dissertation. Agrometeorology and Ecophysiology of agricultural Systems and Forestry, XXII ciclo – UniversitadegliStudi di Sassari.

Muleta, M.K., J. McMillan, G. G. Amenu and S. J Burian. 2012. Bayesian approach for uncertainty analysis of an urban storm water model and its application to a heavily urbanized watershed, Journal of Hydrologic Engineering, 18(10): 1360-1371.

Sun, N., B. Hong and M. Hall. 2013. Assessment of the SWMM Model Uncertainties within the Generalized Likelihood 4 Uncertainty Estimation (GLUE) Framework for a High Resolution Urban Sewershed, Hydrological Processes.

Temprano, J., O. Arango, J. Cagiao, J. Suarez and I. Tejero. 2006. Storm Water quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain. Water SA, 32, 55-63.

Evaluation of Storm Water Management Model (SWMM5.0) in simulation of urban runoff (case study: urban catchment of Neyshabur)

Sedigheh Arvand[1], Mahdi Delghandi[2], Zahra Ganji Noroozi[3], Akbar Alipour[4]

Abstract

The increasing of urbanization and the increase of impervious areas in cities has as a consequence extreme flooding events, with increase in citizens' problems and economical losses. In order to be able to overcome mentioned problems, computer models are an appropriate solution. The use of hydrological- model to simulate the runoff necessitates the proper calibration of the different parameters involved in the routed hydrograph. Therefore, In the present study, the Storm Water Management Model (SWMM5.0) was chosen to simulate quantity of runoff of an urban subcatchment, located in Neyshabur. Data from nine rainfall events were collected. the model was calibrated using six rainfall events and validated using three new events. The model performance was evaluated based on the Normalized Root Mean Squared Error (NRMSE), Coefficient of Residual Mass (CRM), and EFFiciency of model (EFF). The results showed that the SWMM model could simulate accurately the shape of the hydrograph, the peak discharge and the time of peak. For validation events, values of NRMSE, EFF and CRM were 29.4%, 80% and -0.16 m^3/s, respectively. Overall SWMM model was found to be a very useful modelling tool, which can be used for the simulation of urban runoff hydrographs. finally, the evaluated model used to simulate 2, 5 and 10-year return period flood.

Key words: urban hydrology, runoff, SWMM, Modeling.

[1] Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of technology.

Email: sedighearvand@yahoo.com.

[2] Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of technology.
Email: delghandi@gmail.com. Tell: 023-32524620 (corresponding author).
[3] Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of technology.
Email: z_ganji59@yahoo.com. Tell: 023-32524620.
[4] Regional Water Company of Khorasan Razavi. Email: akbaralipoor.at@gmail.com